

# ADEGUAMENTO S.S. n°87 "SANNITICA"

## INTERVENTI LOCALIZZATI PER GARANTIRE LA PERCORRIBILITA' IMMEDIATA TRATTO "CAMPOBASSO – BIVIO S.ELIA" LOTTE A2 E A3

PROGETTO DEFINITIVO

CB-150

A.T.I. di PROGETTAZIONE:  
(Mandataria)



(Mandante)



(Mandante)



IL PROGETTISTA:

Ing. Franco Persio Bocchetto - Ordine Ing. Roma n.° 8664-Sez A  
Ing. Luigi Albert – Ordine Ing. Milano n.° 14725-Sez A  
Ing. Paolo Franchetti – Ordine Ing. Vicenza n.° 2013-Sez A

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Anna Maria Bruna  
- Ordine Geol. Lazio n. 1531

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE  
DISCIPLINE SPECIALISTICHE

Ing. Franco Persio Bocchetto - Ordine Ing. Roma n.° 8664-Sez A

COORDINATORE PER LA SICUREZZA:

Ing. Andrea Maria Enea Failla - Ordine Ing. Catania n.°A6701

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. CLAUDIO BUCCI

## GE-GEOLOGIA GEOTECNICA E SISMICA

Geotecnica e sismica

Relazione di monitoraggio Geotecnico

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV.PROG. ANNO

D	P	C	B	0	1	5	0	D	2	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

NOME FILE:  
T00GE00GETRE03A

CODICE ELAB. T 0 0 G E 0 0 G E T R E 0 3

REVISIONE

SCALA

A

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	EMISSIONE	Aprile 2022	Geol. M.Zonca	Geol. F.Staffini	Ing.L.Albert

**INDICE**

1	Analisi delle problematiche e scopo.....	1
1.1	Viadotti.....	1
1.1.1	Fondazioni delle Pile .....	1
1.1.2	Spalle .....	2
1.1.3	Opere di sostegno della carreggiata .....	2
1.1.4	Rilievo topografico delle pile dei viadotti.....	3
1.1.5	Programma di gestione dei dati.....	3
2	Strumentazione di controllo per il monitoraggio: distribuzione, quantità e tipologia .....	4
2.1	Viadotti.....	4
2.1.1	Batterie di celle inclinometriche all'interno di uno dei pali delle edicole di protezione:.....	4
2.1.2	Tiranti delle edicole.....	4
2.1.3	Distanziometro .....	4
2.1.4	Deformazione spaziale del plinto.....	4
2.1.5	Piezometri.....	5
2.2	Opere lungo la carreggiata .....	5
2.2.1	Recupero dei tubi inclinometrici già in opera e installazione al loro interno di "inclinometro automatico tridimensionale flessibile" .....	5
2.2.2	Inclinometri.....	5
2.2.3	Celle di carico toroidali per il controllo del tiro nei tiranti di linea .....	5
2.2.4	Piezometri.....	6
2.3	Stazioni di raccolta dati (centralizzatori).....	6
2.3.1	Viadotti .....	6
2.3.2	Tubi inclinometrici esistenti .....	6
2.3.3	Opere di sostegno lungo il tracciato .....	6
2.3.4	Gestione dati.....	6
2.3.5	Rilievo topografico dello spostamento delle fondazioni dei viadotti .....	6
3	Voci di capitolato.....	8
3.1	Inclinometro automatico tridimensionale verticale flessibile.....	8
3.2	Cella di carico toroidale e cavo di collegamento .....	8
3.3	Distometro laser .....	8
3.4	Clinometro.....	9
3.5	Piezometro a corda vibrante .....	9
3.6	Inclinometro automatico tridimensionale verticale flessibile.....	9
3.7	Datalogger di tipo A.....	9
3.8	Datalogger di tipo B.....	10
3.9	Datalogger di tipo C.....	10
3.10	Gestione dati .....	11

## **1 ANALISI DELLE PROBLEMATICHE E SCOPO**

Il contesto di riferimento cui il programma della strumentazione deve essere riferito è quello di un'area potenzialmente in frana all'interno della quale sia le strutture (viadotti) che il corpo stradale sono state dimensionate per contrastare significative deformazioni attese. Se ne suddivide il programma secondo la classificazione di cui sopra, distinguendo cioè i viadotti dal resto del tracciato.

La filosofia che si intende applicare nel seguito è quella di far ricorso per quanto possibile a strumenti in grado di trasmettere a distanza la propria misura con la frequenza desiderata dall'utilizzatore finale, in modo da evitare la necessità di accesso al sito. Sarà pertanto necessario organizzare sia una opportuna stazione ricevente sia il quadro nell'ambito del quale ciascun nuovo dato dovrà essere collocato e ove esso assuma fin da subito il significato fisico assegnato a ogni elemento del monitoraggio di cui al seguito.

### **1.1 VIADOTTI**

#### **1.1.1 Fondazioni delle Pile**

Le pile sono difese da edicole costituite da pali trivellati accostati, tirantati in prossimità della sommità e collegati dalla trave porta-tiranti e da una sottostante soletta in cemento armato, entrambe di forma semicircolare. Si dovrà prevedere quanto segue:

a) Pali dell'edicola

Per l'edicola centrale dei viadotti 1-2 e 4 (tutti con 3 pile intermedie) e per le edicole 2 e 4 per il viadotto 3 (5 pile): batteria di celle inclinometriche distanziate tra loro di 0.5m (le quattro inferiori: distanza di 1m da quella superiore adiacente) spinte 12m al di sotto dell'intradosso della trave porta tiranti (21 celle in totale; quella di sommità: a 0.5m dalla trave). Ne consegue che 2÷4 delle celle più profonde risulteranno intestate all'interno dello "Strato 3", quello cioè più compatto (di base) ove le deformazioni orizzontali del palo saranno trascurabili fornendo così lo spostamento "zero" di riferimento.

Scopo della misura è la valutazione innanzi tutto degli spostamenti orizzontali dell'edicola (sia verso il plinto che verso i relativi pali di sostegno), stimato come molto contenuto nella fase di progetto. Le celle verranno cementate all'interno di un tubo in plastica di opportuno diametro messo in opera contemporaneamente all'armatura dei pali dell'edicola. La misura della inclinazione locale permetterà:

- la ricostruzione diretta della curva di deformazione orizzontale del palo;
- una stima approssimata del momento flettente. Sarà indispensabile per lo specifico palo misurare accuratamente la distribuzione del volume del calcestruzzo di getto (ai fini della ricostruzione della sua sezione con la profondità nel tratto interessato dalle misure) e il prelievo di alcuni cubetti di prova dallo stesso per una misura puntuale del suo modulo elastico.

Si installerà inoltre tra la generatrice esterna del palo e la superficie affacciata più vicina del plinto della pila un distanziometro (anch'esso con capacità di trasmissione a remoto della misura) avente lo scopo di controllare l'eventuale avvicinamento dell'edicola alla pila stessa (riscontro in ridondanza delle misure inclinometriche). Esso sarà dotato di uno snodo a ciascuna delle due estremità che ne permetta il fissaggio alle due pareti, indipendentemente dall'inclinazione relativa della linea di distanza minima tra i due elementi di cui sopra, di cui si vuole misurare l'accorciamento nel tempo.

Lo strumento sarà ovviamente protetto dal rinterro circostante.

Tutte le apparecchiature di cui sopra dovranno essere alimentate da un sistema locale indipendente (batterie solari) ed essere in grado di trasmettere il dato quando "interrogate" dall'utilizzatore.

b) Tirante delle edicole

Due tiranti delle stesse edicole di cui sopra (quello centrale e uno immediatamente adiacente) verranno strumentate con **celle di carico toroidali**, da mettere in opera contemporaneamente al loro collegamento strutturale con l'edicola. Anch'esse saranno in grado di operare con trasmissione a remoto del dato.

c) Plinti

In corrispondenza delle due facce adiacenti di monte del plinto all'interno delle stesse edicole di cui sopra, in posizione centrale, si installeranno una cella inclinometrica verticale e una orizzontale. Lo scopo della prima è quello di segnalare la eventuale rotazione del plinto nel piano verticale, a seguito di eventuali spinte dell'edicola o del terreno; quello della seconda è di monitorare l'eventuale rotazione dello stesso plinto nel piano (torsione), sempre a seguito delle stesse azioni esterne.

d) Piezometri

Appena a monte di ciascuna delle edicole fin qui considerate, si installeranno due piezometri a corda vibrante con capacità di trasmissione del segnale in remoto. La prima cella sarà posizionata tra circa 4 e 4.5m da p.c.; la seconda tra 9 e 9.5m di profondità. Entrambe saranno isolate e accuratamente protette da infiltrazioni lungo la perforazione.

Scopo dei due strumenti è monitorare l'eventuale sviluppo di pressioni interstiziali nel terreno, all'interno dei due strati potenzialmente più critici per la stabilità del versante.

Nello scegliere la verticale di posizionamento, si manterrà la massima distanza possibile, in pianta, dai dreni installati a partire da ciascuna edicola adiacente.

### **1.1.2 Spalle**

In corrispondenza della spalla più interna al percorso di ciascun viadotto si installeranno: un inclinometro (come in §1.1.1a)), due celle di carico sui tiranti in zona (come in §1.1.1b)), una coppia di clinometri (celle inclinometriche) – uno verticale e uno orizzontale – (come in §1.1.1c)) su due facce ortogonali (fronte e lato monte) della fondazione e una coppia di piezometri (come in §1.1.1d)).

### **1.1.3 Opere di sostegno della carreggiata**

a) Recupero dei tubi inclinometrici esistenti.

Per facilitare le letture da remoto, si suggerisce di installare all'interno dei tubi inclinometrici esistenti una batteria di celle inclinometriche. Causa la minore precisione richiesta per la intelleggibilità della misura nella parte sommitale (fino a circa 6.5m da p.c.) si adotterà una spaziatura di 0.75m, seguita a intervalli di 1.0m fino a 12.5m di profondità. Per la "sostituzione" in esame si procederà come segue

- esecuzione dell'ultima lettura utilizzando il tubo esistente;
- posa in opera delle nuove celle e cementazione delle stesse all'interno della tubazione di cui sopra;
- esecuzione di una prima lettura dalle nuove celle inclinometriche la cui linea di riferimento sarà quella ricavata dalla misura di cui sopra

b) Inclinometri, celle di carico e piezometri

Ogni circa 250m di tracciato si provvederà a:

## **RELAZIONE DI MONITORAGGIO GEOTECNICO**

- posa di una batteria di celle inclinometriche all'interno di un palo di supporto (come in 1.1.1);
- posa di 2 celle di carico sui due tiranti "a cavallo" del palo di cui sopra;
- posa di n°2 piezometri (come in §1.1.1d)) nella zona immediatamente a monte del palo strumentato.

### ***1.1.4 Rilievo topografico delle pile dei viadotti***

Vista la impossibilità di ottenere misure dirette degli spostamenti assoluti delle fondazioni, si raccomanda la posa in opera di 2 mire topografiche per ogni pila e (muro interno di) spalla, con rilievo avente frequenza di 6 mesi nei primi due anni e da decidere per il prosieguo in funzione dei risultati ottenuti; si disporrà così delle deformazioni orizzontali e verticali di ogni appoggio delle strutture principali. Attraverso ad essi sarà possibile una migliore valutazione e controllo di quanto fornito da tutti gli inclinometri presenti in adiacenza.

### ***1.1.5 Programma di gestione dei dati***

Per una elaborazione rapida e razionale delle misure sarà indispensabile disporre di un programma di gestione dati, in grado di fornire direttamente all'utilizzatore le principali quantità sotto controllo, in accordo a quanto già sottolineato in precedenza.

## **2 STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO PER IL MONITORAGGIO: DISTRIBUZIONE, QUANTITÀ E TIPOLOGIA**

### **2.1 VIADOTTI**

#### **2.1.1 Batterie di celle inclinometriche all'interno di uno dei pali delle edicole di protezione:**

a) Ubicazione:

- Viadotto 1: pila 2 e spalla B;  
Viadotto 2: pila 2 e spalla B;  
Viadotto 3: pile 2 e 4; spalla A  
Viadotto 4: pila 2 e spalla A;

b) Per ciascuna verticale si installerà all'interno del palo centrale dell'edicola un "inclinometro automatico flessibile" costituito da 21 celle (voci di capitolato; 3.1a) al paragrafo §3;

c) Per la tipologia si farà riferimento alla voce di capitolato 1 qui allegata al paragrafo §3.

Il numero delle batterie di celle da porre in opera come sopra è: 9, per un totale di  $(9 \times 21) = 189$  celle.

Si dovrà valutare il costo della posa in opera dello strumento, comprensivo dell'assistenza nel corso della fase di posa insieme all'armatura del palo e di sigillatura della batteria di celle al tubo esterno in plastica di protezione.

Individuata la posizione del palo strumentato, si dovrà valutare la distanza tra ciascuno strumento e la centralina di acquisizione e trasmissione dei dati con il costo del relativo cavo di collegamento.

#### **2.1.2 Tiranti delle edicole**

a) Ubicazione: 2 per ogni edicola per un totale di:  $(9 \times 2) = 18$  (come al § 2.1.1a));

b) Strumentazione: celle di carico toroidali (voce capitolato 3.2a) e 3.2b), comprensivo del cavo di collegamento alla centralina di raccolta e trasmissione dati).

#### **2.1.3 Distanziometro**

a) Ubicazione:

- Viadotto 1: pila 2 e spalla B;  
Viadotto 2: pila 2 e spalla B;  
Viadotto 3: pile 2 e 4; spalla A  
Viadotto 4: pila 2 e spalla A;

b) Strumentazione; distanziometro dotato di sensore laser per la misura in automatico della distanza tra il palo dell'edicola e il lato del plinto su di esso affacciato. Esso sarà dotato di un sensore MEMS integrativo per il rilevamento della variazione di inclinazione del dispositivo nonché di un termometro per la misura della temperatura locale (essa influenza la lettura dell'inclinometro).

Oltre al dispositivo di misura di cui sopra, ci si dovrà dotare di un target di riscontro del raggio laser, di due sistemi di fissaggio (al palo e al plinto) e del cavo di trasmissione dei dati.

Il totale di strumenti da approvvigionare è: 9 (voci di capitolato 3.3a) e 3.3b)).

#### **2.1.4 Deformazione spaziale del plinto**

a) Ubicazione: sulle due facce tra loro perpendicolari di ciascun plinto all'interno delle edicole strumentate come sopra;

- b) Strumentazione: clinometro costituito da MEMS 3D dotato di accelerometro triassiale e termometro più magnetometro triassiale per il controllo dell'eventuale torsione, per un totale di:  $9+9 = 18$  clinometri e relativo cavo di trasmissione dei dati alla centralina (voci di capitolato 3.4a) e 3.4b).

### **2.1.5 Piezometri**

- a) Ubicazione: appena a monte di tutte le edicole di cui sopra (9 verticali). Si prevede l'installazione sulla stessa verticale di due celle, la prima a  $4.0 \div 4.5$ m e la seconda  $9.0 \div 9.5$ m dal p.c.;
- b) Strumentazione: piezometro a corda vibrante con cavo di collegamento di ciascuno strumento (2 per ogni verticale) al centralizzatore (voci di capitolato 3.5a), 3.5b) e 3.5c).  
Totale di celle di misura:  $9+9$ .

## **2.2 OPERE LUNGO LA CARREGGIATA**

### **2.2.1 Recupero dei tubi inclinometrici già in opera e installazione al loro interno di "inclinometro automatico tridimensionale flessibile"**

- a) Ubicazione: sono stati messi in opera (e letti) tubi inclinometrici in alcuni dei sondaggi della campagna d'indagine 2021. Si propone di attrezzare le stesse verticali con analoga strumentazione (celle inclinometriche) ma che permetta la lettura da remoto. I sondaggi attrezzati sono. S4-S7-S10-S11-S12-S14-S15-S16-S17-S18-S19 e S21 (12 in totale);
- b) Strumentazione: si installeranno all'interno di ciascun tubo inclinometrico "batterie" di celle inclinometriche a formare un "inclinometro automatico tridimensionale e flessibile" in grado di mantenere il suo funzionamento anche in presenza di spostamenti orizzontali significativi. Il collegamento tra le celle successive è assicurato da un cavo in Kevlar che garantisce il requisito di cui sopra.

La prima cella sarà fissata a 0.5m dal p.c.; le 7 successive verranno posizionate con intervallo di 0.75m (fino a 6.5m da p.c.), seguiti da altre 6 spaziate di 1m (fino a 12.5m da p.c.; numero di celle totale: 14).

Tale sequenza garantisce una ottima precisione di lettura nel tratto presumibilmente interessato dagli spostamenti superficiali (più elevati), assicurando nel contempo un punto fisso al piede che consentirà di valutare lo spostamento assoluto in sommità.

Ne consegue un numero totale di celle inclinometriche pari a:  $14 \times 12 = 168$  cui si dovrà aggiungere, per ciascuna delle 12 postazioni previste, il cavo di collegamento alla centralina di alimentazione e raccolta dati (voci di capitolato 6.1 e 6.2).

### **2.2.2 Inclinometri**

- a) Ubicazione: da cementare all'interno della gabbia di armatura di un palo ogni 250m circa, per un totale di 11 posizioni.
- b) Strumentazione: voce di capitolato 3.1a), con distribuzione delle celle come in §2.2.1b) (14 per ciascuna palo) per un totale di :  $(11 \times 14) = 154$  celle.

### **2.2.3 Celle di carico toroidali per il controllo del tiro nei tiranti di linea**

- c) Ubicazione: 2, nei due pali a cavallo di quello strumentato come sopra (per 11 postazioni).
- d) Strumentazione: come in §2.1.1b) per un totale di  $(11 \times 2) = 22$  celle toroidali e relativi cavi.

#### **2.2.4 Piezometri**

- a) Ubicazione: 2 sovrapposti, in posizione immediatamente a monte della sezione strumentata come sopra (11 postazioni), alle quote 4.0÷ 4.5m e 9.0÷ 9.5, come in §2.1.5a);
- b) Strumentazione: come in §§2.1.5b). Numero totale di piezometri a corda vibrante: 11 superficiali e 11 più profondi (totale 22).

### **2.3 STAZIONI DI RACCOLTA DATI (CENTRALIZZATORI)**

#### **2.3.1 Viadotti**

Si prevede l'impiego di una centralina di raccolta dati da ubicarsi in prossimità di ciascuna fondazione strumentata:

- Pile: (3+2) = 5;
- Spalle: 4

Totale 9 Datalogger tipo A (voci di capitolato: 3.7, da ubicarsi in prossimità di ciascuna fondazione strumentata.

#### **2.3.2 Tubi inclinometrici esistenti**

Datalogger tipo B (voce di capitolato: 3.8) da posizionarsi in prossimità delle verticali citate al punto §2.2.1a). Per maggiore sicurezza sarebbe opportuno raccogliere i centralizzatori in questione in area protetta, da decidere in corso d'opera. Totale: 12

#### **2.3.3 Opere di sostegno lungo il tracciato**

Si ricorrerà a un centralizzatore tipo C di cui alla voce di capitolato 3.9, per un totale di 11 stazioni. Anche per esse sarà opportuno individuare in corso d'opera una zona protetta.

#### **2.3.4 Gestione dati**

Si deve prevedere una stazione ove tutti i dati di cui sopra vengano raccolti, elaborati e rappresentati nelle modalità di prevista utilizzazione immediata da parte degli addetti alla manutenzione dell'opera. Si dovrà pertanto prevedere un costo specifico per ciascuno strumento posto in opera nonché un abbonamento annuo per la gestione di una scheda telefonica SIM (per ciascun centralizzatore) dotata di IP pubblico (voce di capitolato 3.10).

#### **2.3.5 Rilievo topografico dello spostamento delle fondazioni dei viadotti**

Si dovrà disporre e posare n° (22x2)=44 mini prismi con diametro D=25mm con montatura in PVC, fissato su giunto cardanico, comprensivi di adattatore con attacco a baionetta in acciaio inox per fissaggio a parete e tassello.

**RELAZIONE DI MONITORAGGIO GEOTECNICO**

Cod.	Descrizione	Stazioni (num)	Dettaglio strumentazione		
				n°	voce
A	Monitoraggio Edicole Spalle e Pile	9	Verticali inclinometriche: celle inclinometriche: (9x21)	9 189	3.1
			Tiranti edicole : (9x2) Celle toriodali	18 18	3.2
			Distanziometro (Distometro= Sensore laser, MEMS, ecc.	9 9	3.3
			Deformazione spaziale plinto 2 MEMS 3D: clinometro: (2x9)	9 18	3.4
			Piezometri a 4.0÷4.5m e 9.0÷9.5m da p.c. Trasduttri a corda vibrante	9+9 18	3.5
B	Opere di presidio del tracciato stradale	11	Inclinometri all'interno dei pali Celle inclinometriche: (11x14)	11 154	3.1
			Tiranti per le opere di sostegno : (2x11) Celle toriodali	22 22	3.2
			Piezometri come sopra: (2x11) Celle per piezometro a corda vibrante (2x11)	22 22	3.5
C	Recupero dei tubi inclinometrici esistenti	12	Verticali da strumentare Celle inclinometriche per ogni verticale: (14x12)	12 168	3.6
D	Letture topografiche di spalle e pile	22	Mire topografiche: (2x22)	44	-

Tabella 2.1 – Tabella riassuntiva strumentazione di controllo

### **3 VOCI DI CAPITOLATO**

#### **3.1 INCLINOMETRO AUTOMATICO TRIDIMENSIONALE VERTICALE FLESSIBILE**

- a) Lo strumento si presenta come una catena di nodi (a distanza definibile a seconda delle esigenze) in resina epossidica, uniti da cavo elettrico per l'alimentazione e trasmissione dati e da un'asta in fibra di vetro e/o in acciaio per la tenuta meccanica del sistema, con giunti a conservazione di azimut. I sensori al loro interno dispongono di un sensore MEMS 3D, dotato di accelerometro triassiale e termometro, oltre a un magnetometro triassiale per controllo della spiratura della catena in foro. I sensori descritti vengono solidarizzati all'opera e seguono le deformazioni orizzontali della stessa, consentendo di individuare l'entità e la direzione degli eventuali movimenti. La sensibilità deve essere pari ad almeno 0.01°, la dipendenza dalla temperatura deve essere contenuta entro lo 0.3% F.S., il campo operativo da -40°C a +125°C. la sensibilità richiesta per il termometro è di 0.05°C, mentre la sensibilità del magnetometro 0.00015 Gauss. Lo strumento permette il calcolo dei seguenti parametri: spostamenti locali 2D, spostamenti cumulati 3D, spostamenti locali e cumulati in direzione Nord-Sud, spostamenti locali e cumulati in direzione Est-Ovest, cedimento stimato per ogni sensore, velocità e accelerazione degli spostamenti, andamento nel tempo delle grandezze descritte, direzione di spostamento rispetto al sistema di riferimento magnetico terrestre, temperatura ad ogni profondità. Il prezzo unitario va inteso a nodo/sensore.
- b) Cavo elettrico funzionale all'alimentazione e trasmissione dei dati (si veda: voce 3.2b)).

#### **3.2 CELLA DI CARICO TOROIDALE E CAVO DI COLLEGAMENTO**

- a) Cella di carico toroidale resistiva, diametro foro 165mm, F.S. 1250kN, parte sensibile 190mm, dimensione esterna 260mm, spessore 40mm. Ripetibilità +/-0,02% F.S., uscita mV/V, carico ammesso 150% F.S., temperatura di funzionamento da -20 a +70°C, materiale costruzione acciaio inox, classe di protezione IP 68.
- b) Cavo di segnale 6x0.32mm<sup>2</sup>, 22 AWG, 6 conduttori, rinforzato con filo in PE, rame stagnato, guaina esterna in PUR, singolo conduttore in PE, calza metallica. Diametro esterno 6.2mm.

#### **3.3 DISTOMETRO LASER**

- a) Caratteristiche tecniche sensore laser:
- Risoluzione: ± 1 mm
  - Campo di misura: 0.03 - 40m
  - Classe laser: 2
  - Tipologia laser: 620-690 nm, < 1mV
- b) Caratteristiche tecniche sensore MEMS e Termometro:
- Campo di misura: 360°
  - Sensibilità dell'accelerometro: 105 LSB/° (0.0095°)
  - Dipendenza della sensibilità dalla temperatura: Min. -0.3% - Max. +0.3%
  - Errore di linearità dell'accelerometro: Min. - 4mg - Max. + 4mg
  - Campo operativo di temperatura dell'accelerometro: -40°C ÷ +125°C
  - Campo di misura del termometro: -50°C ÷ +150°
  - Sensibilità del termometro: 18.9 LSB/°C

### **3.4 CLINOMETRO**

- a) Lo strumento si presenta come un nodo in resina epossidica o scatolare, dal quale esce un cavo elettrico per l'alimentazione e trasmissione dati, da collegare in centralina. Il sensore presente è un MEMS 3D, dotato di accelerometro triassiale e termometro, oltre a un magnetometro triassiale per controllo dell'eventuale torsione dell'opera. I sensori descritti consentono di individuare rotazioni secondo gravità e rotazioni nel piano. La sensibilità deve essere pari ad almeno 0.01°, la dipendenza dalla temperatura deve essere contenuta entro lo 0.3% F.S., il campo operativo da -40°C a +125°C. la sensibilità richiesta per il termometro è di 0.05°C, mentre la sensibilità del magnetometro 0.00015 Gauss. Lo strumento permette il calcolo dei seguenti parametri: Angolo di inclinazione asse X, Angolo di inclinazione asse Y, eventuale rotazione rispetto al sistema di riferimento magnetico terrestre, temperatura, andamento nel tempo delle grandezze descritte.
- b) Cavo elettrico funzionale all'alimentazione e trasmissione dei dati di strumenti digitali come inclinometrici automatici, distometri e i clinometri. Isolamento E4, schermo rame stagnato, guaina Pur, diametro esterno 6.8mm.

### **3.5 PIEZOMETRO A CORDA VIBRANTE**

- a) Trasduttore a corda vibrante, 170kPa. Sovrappressione 200 % F.S., accuratezza +/- 0,1%, non linearità <0.5% F.S., deriva termica < 0.5% FS/°C, temperatura di funzionamento da -20 a +80°C, termistore integrato 3kohm.
- b) Trasduttore a corda vibrante, 69kPa. Sovrappressione 200 % F.S., accuratezza +/- 0,1%, non linearità <0.5% F.S., deriva termica < 0.5% FS/°C, temperatura di funzionamento da -20 a +80°C, termistore integrato 3kohm.
- c) Cavo di segnale 4x0.32mm<sup>2</sup>, 22 AWG, rinforzato con filo in PE, rame stagnato, guaina esterna in PUR, guaina singolo conduttore in PE, filo di drenaggio. Diametro esterno 8.2mm.

### **3.6 INCLINOMETRO AUTOMATICO TRIDIMENSIONALE VERTICALE FLESSIBILE**

- a) Lo strumento si presenta come una catena di nodi (a distanza variabile a seconda delle esigenze) in resina epossidica, uniti da cavo elettrico per l'alimentazione e trasmissione dati e da un cavo in fibra aramidica per la tenuta meccanica del sistema, aventi al loro interno un sensore MEMS 3D, dotato di accelerometro triassiale e termometro, oltre a un magnetometro triassiale. I sensori descritti vengono calati in verticale e cementati all'interno dei tubi inclinometrici esistenti e ne seguono le deformazioni orizzontali, consentendo di individuare l'entità e la direzione degli eventuali movimenti. La sensibilità deve essere pari ad almeno 0.01°, la dipendenza dalla temperatura deve essere contenuta entro lo 0.3% F.S., il campo operativo da -40°C a +125°C. la sensibilità richiesta per il termometro è di 0.05°C, mentre la sensibilità del magnetometro 0.00015 Gauss. La resistenza a trazione deve essere di almeno 15 kN. Lo strumento permette il calcolo dei seguenti parametri: spostamenti locali 2D, spostamenti cumulati 3D, spostamenti locali e cumulati in direzione Nord-Sud, spostamenti locali e cumulati in direzione Est-Ovest, cedimento stimato per ogni sensore, velocità e accelerazione degli spostamenti, andamento nel tempo delle grandezze descritte, direzione di spostamento rispetto al sistema di riferimento magnetico terrestre, temperatura ad ogni profondità. Il prezzo unitario va inteso a singolo nodo/sensore.
- b) Cavo elettrico funzionale all'alimentazione e trasmissione dei dati (si veda: voce 3.2b)).

### **3.7 DATALOGGER DI TIPO A**

Centralizzatore dati composto da:

## **RELAZIONE DI MONITORAGGIO GEOTECNICO**

- Centralina di acquisizione a basso assorbimento energetico dotata di almeno 2 porte digitali RS485, 1 porta Ethernet e uno slot per scheda SD. Il datalogger deve poter acquisire i dati dai vari strumenti collegati ad esso e inviarli ad un server remoto con una frequenza definibile dall'utente e modificabile in corso d'opera. Inoltre, i principali parametri della centralina devono essere riconfigurabili da remoto;
- Multiplexer digitale per l'acquisizione fino a 4 strumenti digitali con comunicazione RS485;
- Multiplexer a 4 canali per l'acquisizione di strumenti analogici (4-20mA, mV/V, V, PT100, NTC e a corda vibrante) in grado di comunicare con la centralina mediante RS485;
- Armadio con grado di protezione IP66, Router Wi-Fi 4G LTE industriale comprensivo di antenne, Batteria 12 V 12 Ah, Pannello fotovoltaico, regolatore di carica e sistema di aggancio a palo tipologia innocenti.

Ciascun centralizzatore dati sarà funzionale alla gestione di:

- 1 Catena inclinometrica composta da numerose celle inclinometriche;
- 1 Distanziometro;
- 2 Celle di carico toroidali;
- 2 Clinometri;
- 2 Piezometri.

### **3.8 DATALOGGER DI TIPO B**

Centralizzatore dati composto da:

- Datalogger ad interfaccia Bluetooth/Wi-Fi per l'acquisizione di strumentazione digitale su rete RS485. La centralina deve poter acquisire i dati dai vari strumenti collegati ad essa e inviarli ad un server remoto con una frequenza definibile dall'utente e modificabile in corso d'opera. La frequenza di campionamento ed invio deve poter essere riconfigurata da remoto.
- Armadio con grado di protezione IP66, Router Wi-Fi 4G LTE industriale comprensivo di antenne, Batteria 12 V 7 Ah, Pannello fotovoltaico, regolatore di carica e sistema di aggancio a palo tipologia innocenti.

Ciascun centralizzatore dati sarà funzionale alla gestione di:

- 1 Catena inclinometrica automatica.

### **3.9 DATALOGGER DI TIPO C**

Centralizzatore dati composto da:

- Centralina di acquisizione a basso assorbimento energetico dotata di almeno 2 porte digitali RS485, 1 porta Ethernet e uno slot per scheda SD. Il datalogger deve poter acquisire i dati dai vari strumenti collegati ad esso e inviarli ad un server remoto tramite apposito Router con una frequenza definibile dall'utente e modificabile in corso d'opera. Inoltre i principali parametri della centralina devono essere riconfigurabili da remoto.
- Multiplexer a 4 canali per l'acquisizione di strumenti analogici (4-20mA, mV/V, V, PT100, NTC e a corda vibrante) in grado di comunicare con la centralina mediante RS485.
- Armadio con grado di protezione IP66, Router Wi-Fi 4G LTE industriale comprensivo di antenne, Batteria 12 V 12 Ah, Pannello fotovoltaico, regolatore di carica e sistema di aggancio a palo tipologia innocenti.

Ciascun centralizzatore dati sarà funzionale alla gestione di:

- 1 Catena inclinometrica automatica;
- 2 Celle di carico toroidali;
- 2 Piezometri.

### **3.10 GESTIONE DATI**

Abbonamento annuo di gestione dei dati provenienti da sensori analogici o digitali, comprensiva di raccolta automatica, elaborazione, integrazione in database sicuro con backup integrato e possibilità di consultazione in remoto tramite piattaforma web ad accesso controllato. Il sistema di gestione deve permettere l'immagazzinamento dei dati su server multipli in Cloud con Backup su server fisici, che successivamente dovranno essere elaborati mediante un apposito software. L'applicativo deve permettere una pre-validazione automatica dei dati. Attraverso algoritmi di tipo statistico il software deve essere in grado di riconoscere eventuali Spike, ridurre il rumore del segnale e individuare in automatico eventuali sensori scalibrati temporaneamente o permanentemente ed escluderli dall'elaborazione, segnalando la temporanea assenza di informazioni da parte del sensore in oggetto.

Al termine dell'elaborazione, in caso di superamento di soglie preimpostate multilivello e multicriterio, deve essere prevista l'attivazione automatica del sistema di allertamento. Il servizio deve prevedere l'invio di e-mail ed SMS, nonché l'attivazione remota di dispositivi luminosi o sonori remoti.

I risultati dell'elaborazione devono essere rappresentati su una piattaforma web, accessibile in qualunque momento da molteplici periferiche (PC, Smartphone, Tablet). La rappresentazione deve avvenire in due modalità, mediante grafici dinamici adattabili in funzione del periodo di monitoraggio scelto e mediante una rappresentazione di tipo GIS nella quale vengono riportate, oltre ai dati registrati, le posizioni di installazione degli strumenti.

Il sistema inoltre deve essere programmato per inviare in automatico una e-mail informativa nel caso sia stato individuato un livello di batteria insufficiente oppure in caso di mancata ricezione dei dati.