

**E 78 GROSSETO - FANO
TRATTO SELCI - LAMA (E 45) - S.STEFANO DI GAIFA
Adeguamento a 2 corsie del tratto Mercatello sul Metauro Ovest -
Mercatello sul Metauro Est (Lotto 4°)**

PROGETTO DEFINITIVO

AN 245

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111 Cof. 1002 Progettista a-b-c</p> <p><i>Ing. Morena Panfili</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. David Crenca</i> Ordine Ingegneri Provincia di Frosinone n. A1762</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p>GPI INGEGNERIA GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p> cooprogetti</p> <p> engeko</p> <p> Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> ORDINE INGEGNERI ROMA N° 14035</p>
<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Vincenzo Catone</i></p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		

**STUDI ED INDAGINI
GEOLOGIA GEOTECNICA
Monitoraggio geotecnico – strutturale
Relazione Piano di monitoraggio strutturale – Viadotti**

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE	SCALA	
PROGETTO	LIV.PROG	ANNO	TOOGE00MOGRE01A.				
D	D	22	T O O G E O O M O G R E O 1			A	-
D							
C							
B							
A	Emissione		Ottobre '22	Vitello	Signorelli	Guiducci	
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

INDICE

1. <u>PREMESSA</u>	3
2. <u>MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO</u>	4
3. <u>CRITERI GENERALI PER IL PROGETTO DI MONITORAGGIO</u>	5
4. <u>PIANO DI MONITORAGGIO GEOTECNICO-STRUTTURALE</u>	6
4.1. UBICAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE	6
4.1.1. <i>Opere d'arte minori – Paratie di pali/Micropali</i>	6
4.1.2. <i>Opere d'arte minori – Muri di sostegno</i>	7
4.1.3. <i>Opere d'arte provvisoriale – Paratie di imbocco</i>	7
4.1.4. <i>Opere d'arte maggiori – Ponti e viadotti</i>	8
4.2. FREQUENZA DELLE LETTURE A CARICO DELL'IMPRESA	9
4.2.1. <i>Paratie di pali/Micropali</i>	9
4.2.2. <i>Muri di sostegno</i>	9
4.2.3. <i>Viadotti</i>	10
4.3. ANALISI DEI DATI DI MONITORAGGIO.....	10
5. <u>PIANO DI MONITORAGGIO SULLE GALLERIE NATURALI</u>	11
5.1. GALLERIA MERCATELLO 1	11
5.1.1. <i>MISURE DI CONVERGENZA</i>	12
5.1.2. <i>MISURE DI TENSIONE CON CELLE DI CARICO E BARRETTE ESTENSIMETRICHE</i>	14
5.1.3. <i>RESTITUZIONE DATI</i>	16
5.1.4. <i>MISURE DI ESTRUSIONE DEL FRONTE</i>	16
5.1.5. <i>RILIEVO GEOLOGICO – GEOSTRUTTURALE DEL FRONTE DI SCAVO</i>	17
5.2. GALLERIA MERCATELLO 2	18
5.2.1. <i>MISURE DI CONVERGENZA</i>	19
5.2.2. <i>MISURE DI TENSIONE CON CELLE DI CARICO E BARRETTE ESTENSIMETRICHE</i>	21
5.2.3. <i>MISURE DI ESTRUSIONE DEL FRONTE</i>	24
5.2.4. <i>RILIEVO GEOLOGICO – GEOSTRUTTURALE DEL FRONTE DI SCAVO</i>	24
6. <u>PIANO DI MONITORAGGIO OPERE DI DIFESA DALLA CADUTA MASSI</u>	26
6.1. DESCRIZIONE INTERVENTO	26
6.2. STRUMENTAZIONE	28
6.3. SOGLIE DI ALLERTA ED ALLARME	29
6.4. FREQUENZA DI LETTURA	29
7. <u>PIANO DI MONITORAGGIO GEOMORFOLOGICO</u>	30

PROGETTAZIONE ATI:

7.1.	UBICAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE	30
7.2.	FREQUENZA DELLE LETTURE	30
8.	<u>PIATTAFORMA DI GESTIONE DEI DATI DI MONITORAGGIO</u>	31
8.1.	ARCHITETTURA DI SISTEMA	31
8.2.	INTERFACCIA UTENTE E VISUALIZZAZIONE DEI DATI.....	32
8.3.	CONFIGURAZIONE DEL SOFTWARE.....	33
9.	<u>CONCLUSIONI</u>	34

1. PREMESSA

La presente relazione illustra il piano di Monitoraggio geotecnico-strutturale e geomorfologico relativo al Progetto Definitivo dell'intervento di adeguamento a 2 corsie del tratto della "S.G.C. E78 Grosseto – Fano, adeguamento a 2 corsie del tratto Mercatello sul Metauro Ovest – Mercatello sul Metauro Est (Lotto 4°)".

Il piano, redatto in accordo alle "Linee Guida ANAS per il Monitoraggio Geotecnico" e del paragr. 6.2.6 del DM 17/01/2018, ha lo scopo di verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati e di controllare la funzionalità dei manufatti nel tempo, mediante la misura di grandezze fisiche significative, prima durante e dopo la costruzione del manufatto.

Il sistema di monitoraggio è stato definito in modo da poter fornire gli elementi necessari ad una corretta valutazione in corso d'opera, al fine di poter intervenire con eventuali azioni correttive da adottare qualora ci si discosti dalle previsioni progettuali, in termini di comportamento delle nuove strutture.

2. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Per definire la tipologia di monitoraggio si fa riferimento a:

- Modello di riferimento geologico-geomorfologico;
- Modello di riferimento geotecnico

I modelli di riferimento sono descritti nelle specifiche relazioni ed elaborati grafici allegati.

3. CRITERI GENERALI PER IL PROGETTO DI MONITORAGGIO

Il piano di monitoraggio proposto si prefigge lo scopo di:

- verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e il comportamento osservato;
- verificare la qualità delle prestazioni dell’opera, dopo la costruzione;
- verificare lo stato di attività degli elementi geomorfologici osservati e controllare la validità della soluzione progettuale proposta;
- controllare la possibilità di riattivazione di fenomeni definiti “quiescenti”.

Note le condizioni di progetto, la scelta della strumentazione da installare è una diretta conseguenza dei parametri che si intendono monitorare.

Tabella 3-1 Grandezze da misurare e strumentazione prevista

	Grandezza da misurare	Strumentazione prevista
<i>Regime idraulico</i>	Misura di pressioni interstiziali	Piezometri a tubo aperto
<i>Controllo degli spostamenti lungo la profondità</i>	Spostamenti	Inclinometri
<i>Comportamento delle strutture (paratie, muri di sostegno)</i>	Spostamenti della struttura Carico sui tiranti	Mire ottiche, inclinometri, celle di carico
<i>Comportamento delle strutture (viadotti)</i>	Spostamenti della struttura Deformazione dei pali	Mire ottiche, clinometri, barrette estensimetriche
<i>Gallerie naturali</i>	Deformazioni	

Il monitoraggio comprende il controllo delle:

- Strutture: paratie, rivestimento provvisorio e definitivo delle gallerie, muri, viadotti;
- 1. Terreno: piano campagna, corpi di frana, fronti di scavo.

Gli strumenti di monitoraggio dovranno essere installati:

- all’esterno, almeno tre mesi prima dell’inizio dei lavori, in modo da poter acquisire un numero di dati significativi ai fini della valutazione della situazione “ante-operam”;
- all’interno delle parti componenti l’opera, durante le fasi realizzative.

Il piano di monitoraggio prevede l’installazione di strumenti topografici e geotecnici posizionati nelle posizioni ritenute significative, almeno tre mesi prima dell’inizio dei lavori, laddove significativo in funzione dell’opera.

Nella seguente tabella sono sintetizzate le tempistiche del monitoraggio e il soggetto a carico del quale sono previste le lavorazioni.

	Ante operam (3 mesi)	Corso d’opera (durata lavori)	Post operam (12 mesi)	A carico dell’Appaltatore	A carico dell’Amministrazione
Strutture (paratie, muri, viadotti)	--	✓	✓	Installazione strumenti Lecture	Lecture corso d’opera (50%)
Strutture (opere provvisoriale)	--	✓	--	Installazione strumenti Lecture	Lecture corso d’opera (50%)
Strutture (gallerie naturali)	--	✓	--	Installazione strumenti Lecture	Lecture corso d’opera (50%)
Monitoraggio geomorfologico	✓	✓	✓	--	Installazione strumenti Lecture

PROGETTAZIONE ATI:

4. PIANO DI MONITORAGGIO GEOTECNICO-STRUTTURALE

4.1. UBICAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

4.1.1. OPERE D'ARTE MINORI – PARATIE DI PALI/MICROPALI

Per le paratie di pali/micropali, il monitoraggio prevede il controllo degli aspetti tensionali e deformativi dell'opera. Sono previste sezioni di misura attrezzate con:

- Tubo inclinometrico in alluminio, di lunghezza variabile in funzione della lunghezza dei pali/micropali ed in relazione alla lunghezza dell'opera;
- Mire ottiche installate sul cordolo di testa, con una distribuzione di circa 1 mira ogni 6 m;
- Mire ottiche lungo il fusto dei pali e sul rivestimento, in funzione delle diverse sezioni di calcolo;
- Celle di carico elettrica per il monitoraggio del carico dei tiranti, (in funzione delle diverse sezioni di calcolo).

Si prevede di materializzare, lungo lo sviluppo dell'opera, una sezione strumentata di monitoraggio per ogni tratta omogenea di sviluppata, distinguendo due tipologie di sezioni: sezioni "principali" (M-PAp_n) e sezioni "secondarie" (M-Pas_n).

Nelle sezioni M-PAp_n è prevista l'installazione e la misura della seguente strumentazione:

- MO – Mira ottica di precisione in testa al singolo palo strumentato;
- MO – Mira ottica di precisione lungo il fusto del palo/micropalo;
- CC – Cella di carico toroidale in corrispondenza di ognuno degli n livelli di ancoraggio
- INCL – Tubo inclinometrico posizionato all'interno dell'armatura del palo o a monte dei micropali.

Nelle sezioni M-PAp_s è prevista l'installazione e la misura della seguente strumentazione:

- MO – Mira ottica di precisione in testa al singolo palo strumentato;
- MO – Mira ottica di precisione lungo il fusto del palo/micropalo;
- CC – Cella di carico toroidale in corrispondenza di ognuno degli n livelli di ancoraggio.

Per i tratti in cui la paratia è a sbalzo (senza tiranti) le sezioni strumentate non prevedono l'installazione delle celle di carico e delle mire ottiche lungo lo sviluppo del palo ma solamente mire ottiche installate sul cordolo.

Il numero e la tipologia degli strumenti installati sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 4-1 Strumenti installati sulle paratie

Opera	Inclinometri	L _{incl}	Mire ottiche cordolo	Mire ottiche pali/rivestimento	Celle di carico tiranti
[-]	[n.]	[m]	[n.]	[n.]	[n.]
Paratia OS-01	2	12-12	15	-	-
Paratia OS2-02	3	10-10-10	28	12	12
Totali	5	54	43	12	12

4.1.2. OPERE D'ARTE MINORI – MURI DI SOSTEGNO

Per i muri di sostegno in c.a., sono previste sezioni di misura attrezzate con:

- Mire ottiche installate in testa, con una distribuzione di circa 1 mira ogni 6 m;
- Mire ottiche installate alla base, con una distribuzione di circa 1 mira ogni 12 m.

Il numero e la tipologia degli strumenti installati sono riportati in Tabella 4-2

Tabella 4-2 Strumenti installati sui muri di sostegno

Opera	n. mire ottiche testa muro	n. mire ottiche base muro
Muro OS-03	8	4
Muro OS-04	14	7
Muro OS-05	16	8
Muro OS-06	18	9
Totali	56	28

4.1.3. OPERE D'ARTE PROVVISORIALI – PARATIE DI IMBOCCO

Così come riportato negli elaborati specifici riguardanti la progettazione degli imbocchi delle gallerie, per il monitoraggio delle paratie provvisoriali è prevista l'installazione della seguente strumentazione:

- Tubo inclinometrico in alluminio, di lunghezza variabile in funzione della lunghezza dei pali/micropali ed in relazione alla lunghezza dell'opera;
- Mire ottiche installate sul cordolo di testa, con una distribuzione di circa 1 mira ogni 10 m circa;
- Mire ottiche lungo il fusto dei micropali, in funzione delle diverse sezioni di calcolo;
- Celle di carico elettrica per il monitoraggio del carico dei tiranti, (in funzione delle diverse sezioni di calcolo).

Il numero degli strumenti installati viene riportato in Tabella 4-3.

Tabella 4-3 Strumenti installati sulle paratie provvisoriali (imbocchi gallerie)

Opera	n. incl.	L _{incl} [m]	n. mire ottiche cordolo	n. mire ottiche micropali	n. celle di carico tiranti
GA01 Imbocco Ovest galleria "Mercatello 1"	-	-	7	4	3
GA02 Imbocco Est galleria "Mercatello 1"	-	-	7	-	3
GA03 Imbocco Ovest galleria "Mercatello 2"	1	20	11	-	4
GA03 Area tecnica galleria "Mercatello 2"	1	20	6	-	4
GA04 Imbocco Est galleria "Mercatello 2"	-	-	5	-	2
Totali	2	40	36	4	16

4.1.4. OPERE D'ARTE MAGGIORI – PONTI E VIADOTTI

Per spalle, pile e le fondazioni dei viadotti è prevista l'installazione della seguente strumentazione:

- N. 2 mire ottiche installate su ogni pila/spalla;
- N. 1 clinometro per ogni fondazione;
- N. 1 barretta estensimetrica ogni 2 m per i pali di fondazione (n. 2 pali monitorati a fondazione).

Il numero e la tipologia degli strumenti installati sono riportati nella Tabella 4-4.

Tabella 4-4 Strumenti installati sui viadotti

Opera	n. mire ottiche	n. barrette estensimetriche	n. clinometri
VI01 - Viadotto S. Antonio	8	(3X2) X 2 X 4 =48	4
VI02 - Viadotto Romito	4	(3X2) X 2 X 2 =24	2
Totali	12	72	6

4.2. FREQUENZA DELLE LETTURE A CARICO DELL'IMPRESA

Il piano di monitoraggio previsto per la lettura della strumentazione su opere di sostegno e viadotti consta di letture iniziali, effettuate durante la costruzione della singola opera, e di letture successive ed effettuate per tutta la durata di realizzazione dell'intera infrastruttura fino ad un anno dopo il termine dei lavori.

La frequenza delle misurazioni è stata ipotizzata a partire dalle indicazioni contenute nelle "Linee Guida ANAS per il Monitoraggio Geotecnico". La durata complessiva dei lavori è pari a 1095 giorni. Si considera una frequenza "in corso d'opera" con riferimento alla durata delle lavorazioni necessarie alla realizzazione della singola opera e una frequenza "post operam" distinta tra una frequenza di letture durante le lavorazioni di cantiere (opportunamente ridotta nel tempo) e una frequenza di letture che prosegue fino a 12 mesi dal termine dei lavori.

Una volta raggiunta la stabilizzazione delle misure, le eventuali ulteriori letture di controllo proseguiranno con frequenze da definire in corso d'opera. Pertanto, in funzione dei risultati e dell'andamento, le frequenze esposte potranno essere ridefinite dal Progettista e/o dalla D.L..

4.2.1. PARATIE DI PALI/MICROPALI

Per le paratie, le letture previste durante la sola costruzione della singola opera sono:

- Lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target);
- Almeno 1 lettura prima dell'esecuzione degli scavi di ribasso;
- Almeno 1 lettura dopo la tesatura dei tiranti.

Le frequenze delle successive letture in corso di realizzazione della singola opera sono riportate in Tabella 4-5.

La frequenza delle letture successive, da effettuare dal termine della costruzione della singola opera al termine di realizzazione dell'intera infrastruttura e per l'anno successivo a quest'ultimo termine vengono riportate nella tabella successiva, in funzione della tipologia di strumentazione e del tempo trascorso dal fine lavori della singola opera.

Tabella 4-5 Frequenza delle letture su paratie

Tipologia di strumentazione	Corso d'opera di realizzazione	Corso d'opera 0-6 mesi	Corso d'opera 6-12 mesi	Corso d'opera >12 mesi	Post operam 12 mesi
Inclinometri	1/7gg	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg
Mire ottiche	1/7gg	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg
Celle di carico	3/7gg	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg

4.2.2. MURI DI SOSTEGNO

Per i muri di sostegno si prevede la lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target).

La frequenza delle letture successive, da effettuare dal termine della costruzione della singola opera al termine di realizzazione dell'intera infrastruttura e per l'anno successivo a quest'ultimo termine vengono riportate nella tabella successiva, in funzione della tipologia di strumentazione e del tempo trascorso dal fine lavori della singola opera.

Tabella 4-6 Frequenza delle letture sui muri di sostegno

Tipologia di strumentazione	Corso d'opera 0-6 mesi	Corso d'opera 6-12 mesi	Corso d'opera >12 mesi	Post operam 12 mesi
Mire ottiche	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg

4.2.3. VIADOTTI

Per i ponti e i viadotti è prevista una sola lettura iniziale, ovvero la lettura di zero effettuata al momento dell’installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target).

A seguito della lettura zero sono previste letture della strumentazione con cadenza prestabilita nelle seguenti fasi:

- Dal termine della singola opera fino alla conclusione dei lavori dell’intera infrastruttura;
- Per i 12 mesi successivi al termine di realizzazione dell’intera infrastruttura.

Le frequenze di lettura in queste fasi vengono riportate in Tabella 4-7 in funzione della tipologia di strumentazione e del tempo trascorso dal fine lavori della singola opera.

Tabella 4-7 Frequenza delle letture su ponti e viadotti

Tipologia di strumentazione	Corso d’opera 0-6 mesi	Corso d’opera 6-12 mesi	Corso d’opera >12 mesi	Post operam 12 mesi
Mire ottiche	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg
Barrette estensimetriche	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg
Clinometri	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg

4.3. ANALISI DEI DATI DI MONITORAGGIO

L’analisi dei dati di monitoraggio sarà a cura di figure professionali specifiche all’interno delle strutture organizzative dell’impresa e della Direzione Lavori. L’installazione degli strumenti e l’analisi dei dati di monitoraggio sono previsti a cura dell’Impresa esecutrice dei lavori, mentre la D.L. avrà la possibilità di fare dei controlli puntuali sia con misure in contraddittorio (stimate in quantità pari a circa il 50% delle misure previste a carico dell’Impresa), sia tramite verifiche specifiche.

5. PIANO DI MONITORAGGIO SULLE GALLERIE NATURALI

5.1. GALLERIA MERCATELLO 1

Di seguito si riporta il programma di monitoraggio per la realizzazione della galleria naturale per seguire le diverse fasi costruttive della galleria consentendo la valutazione degli effetti prodotti dalle operazioni di scavo nei terreni e nelle strutture presenti nell'area di influenza.

L'acquisizione di dati significativi (variazione dello stato tenso-deformativo nel terreno, variazione delle pressioni neutre, evoluzione degli spostamenti e delle sollecitazioni nelle strutture di sostegno, ecc.) conseguenti alle operazioni di scavo, consente infatti di avere un controllo continuo e completo dell'evoluzione verso le nuove condizioni di equilibrio del terreno e delle strutture di sostegno. Dal confronto sistematico tra i dati acquisiti e le previsioni progettuali, sarà possibile avere conferma delle ipotesi e degli schemi assunti nei calcoli, verificando in maniera continua l'efficacia delle strutture di sostegno delle gallerie e, se necessario, adeguare i metodi costruttivi e l'entità dei sostegni alla reale risposta tenso – deformativa del cavo, in modo da assicurare la stabilità dell'opera nel breve e lungo termine, la sicurezza del cantiere e delle lavorazioni al fronte.

Il programma si articola, in particolare, in una serie di rilievi e nell'installazione di strumenti atti alla valutazione delle caratteristiche dell'ammasso e del comportamento tenso-deformativo del cavo durante l'esecuzione della galleria. Per la galleria naturale si hanno:

- stazioni di misura sistematiche delle convergenze;
 - a. stazioni di misura con celle di carico o coppie di barrette estensimetriche sul rivestimento di prima fase e definitivo;
 - b. misure topografiche di estrusione del fronte;
- rilievo geologico-geostrutturale del fronte di scavo;
- rilievo sistematico delle fasi esecutive e delle cadenze di avanzamento.

Nei paragrafi che seguono vengono indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

L'insieme di questi dati concorrerà alla determinazione delle grandezze necessarie per l'applicazione delle linee guida, relativamente alla definizione dell'intensità degli interventi, delle cadenze lavorative e della sezione tipo da applicare tra quelle previste nella tratta.

I parametri da monitorare per la valutazione del comportamento dell'ammasso e dei sistemi di consolidamento e sostegno in ciascuna sezione tipo di scavo adottata, sono i seguenti:

- deformazioni del sistema ammasso/struttura, valutate attraverso misure di convergenza dei punti al contorno del cavo con l'utilizzo di prismi installati sulle centine del rivestimento di prima fase;
- deformazioni del nucleo di scavo, valutate attraverso l'installazione di estrusometri;
- tassi di lavoro delle strutture (rivestimenti di prima fase e definitivi) misurati indirettamente mediante barrette estensimetriche e livello di carico delle centine del rivestimento provvisorio misurato mediante celle di carico.

Il sistema di monitoraggio è integrato mediante l'esecuzione di:

- rilievi geostrutturali dei fronti di scavo e misure di resistenza uniassiale su provini carotati da blocchi di roccia, al fine di valutare con continuità le caratteristiche geologico-geostrutturali dell'ammasso scavato.

L'installazione di tutta la strumentazione di monitoraggio prevista, deve avvenire sotto la supervisione di personale tecnico qualificato (ingegneri e geologi); l'impresa dovrà garantire la piena disponibilità della strumentazione stessa al fine di eseguire misure in contraddittorio. La raccolta, l'analisi e l'interpretazione di tutti i dati di monitoraggio derivati dalle misure in corso d'opera devono essere riportati in un apposito archivio digitale consultabile online dall'impresa esecutrice e dalla DDLL. In particolare, allo scopo di fornire informazioni utili alla prosecuzione in sicurezza degli scavi, la restituzione delle misure elaborate dovrà essere tempestiva e deve avvenire entro le 3 ore dal completamento delle attività di rilievo in sito (a meno dei rilievi geologico-geostrutturali).

5.1.1. MISURE DI CONVERGENZA

5.1.1.1. DEFINIZIONE

Tali misure consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica degli spostamenti nel piano trasversale alla galleria, in direzione verticale e orizzontale, di 5 punti per ogni stazione di misura, posizionati come indicato nella Figura 5.1 e attrezzati con mire ottiche rilevabili mediante strumento topografico di precisione.

La convergenza del cavo si intende riferita al valore medio delle tre misure diametrali condotte.

CONVERGENZE DIAMETRALI MEDIE

$$\bar{C} = \frac{A + B + C}{3}$$

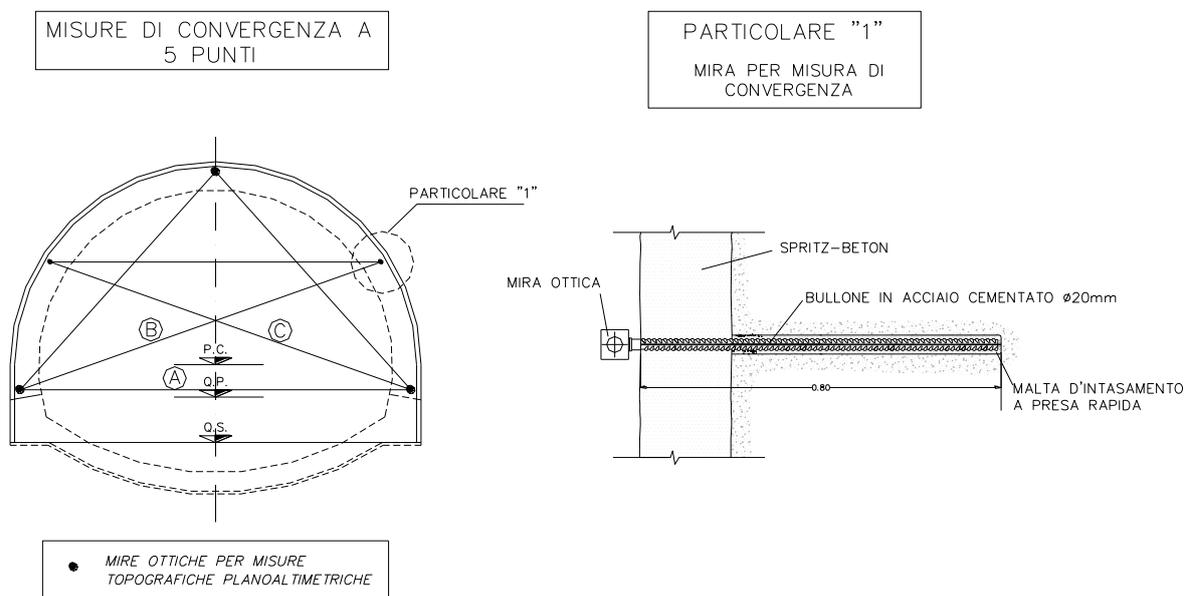


Figura 5.1: Misure di convergenza

5.1.1.2. INSTALLAZIONE

Le basi di misura sono costituite da 5 chiodi di convergenza L = 80 cm posizionati sullo spritz-beton del rivestimento di 1a fase (Figura 5.1) su cui vengono montati altrettanti marcatori costituiti da prismi cardanici riflettenti o catadiottri, posizionati a ridosso del fronte di scavo alla progressiva della stazione di misura. Nel caso in cui si manifestassero comportamenti differenziati in termini

PROGETTAZIONE ATI:

deformativi tra spritz-beton e centine, a tali chiodi andranno affiancati dei supporti vincolati alle centine, su cui potranno essere montati i già citati marcatori.

5.1.1.3. FREQUENZA DELLE STAZIONI E DEI RILEVAMENTI

Fermo restando che l'effettiva distribuzione delle stazioni potrà essere modulata in funzione del reale comportamento dell'ammasso, le stazioni stesse andranno indicativamente installate secondo le seguenti frequenze:

- n. 1 stazione ogni 16.0 m, per le sezioni di scavo tipo A1;
- n. 1 stazione ogni 8.0 m, per le sezioni di scavo tipo B0,
- n. 1 stazione ogni 8.0 m, per le sezioni di scavo tipo B0v;

Il numero minimo di rilevamenti da eseguire per ogni stazione, esclusa la misurazione di riferimento, dipende ovviamente dall'effettiva distanza del rivestimento definitivo dal fronte. In linea di massima si prevedono 10 rilevamenti per ogni stazione di convergenza.

La frequenza dei rilevamenti, da precisare in corso d'opera, è la seguente:

- n. 1 misura al giorno fino ad una distanza dal fronte di circa 2 diametri;
- n. 2 misure a settimana ad una distanza dal fronte compresa tra circa 2 e circa 4 diametri;
- n. 1 misura al mese ad una distanza dal fronte maggiore di circa 4 diametri.

Ciascuna stazione di misura viene posizionata in prossimità del fronte di scavo, in particolare presso le prime due centine del campo di avanzamento. Le letture a distanza maggiore di circa 4 diametri dovranno essere effettuate fino al completo esaurimento degli eventuali movimenti.

5.1.1.4. SISTEMA DI ACQUISIZIONE

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite e distanziometro elettronico che misurano le posizioni assolute della base di misura rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da capisaldi siti in galleria. La misura permette di risalire alle coordinate spaziali delle basi con tolleranza $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$.

5.1.1.5. RESTITUZIONE DATI

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- spostamenti trasversali;
- spostamenti verticali;
- spostamenti nel piano (deformata);
- velocità di convergenza (mm/giorno).

I dati elaborati per ciascuna misura di ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo.

5.1.2. MISURE DI TENSIONE CON CELLE DI CARICO E BARRETTE ESTENSIMETRICHE

5.1.2.1. DEFINIZIONE

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica dello stato tensionale entro i rivestimenti di prima fase e definitivo. In particolare, le tensioni sul rivestimento di prima fase verranno misurate con 4 celle di carico, posizionate fra le piastre di giunzione e sotto i piedi della centina, o con 3 coppie di barrette estensimetriche per metallo a corda vibrante posizionate sull'anima della centina in chiave e sui piedritti (Figura 5.2).

Le tensioni nel calcestruzzo del rivestimento definitivo verranno misurate con 4 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante, posizionate all'estradosso e all'intradosso della sezione da monitorare (Figura 5.2).

5.1.2.2. INSTALLAZIONE

Si prevede l'installazione di stazioni per il monitoraggio in corso d'opera del rivestimento di 1a fase e del rivestimento definitivo.

Per il rivestimento di prima fase si prevede, in linea di massima:

- n. 1 stazione ogni 80 m, per le sezioni di scavo tipo B0, B0v;

Per il rivestimento definitivo si prevede, in linea di massima:

- n. 1 stazione ogni 200 m, per la sezione di tipo A1
- n. 1 stazione ogni 160 m, per la sezione di scavo tipo B0 e B0v;

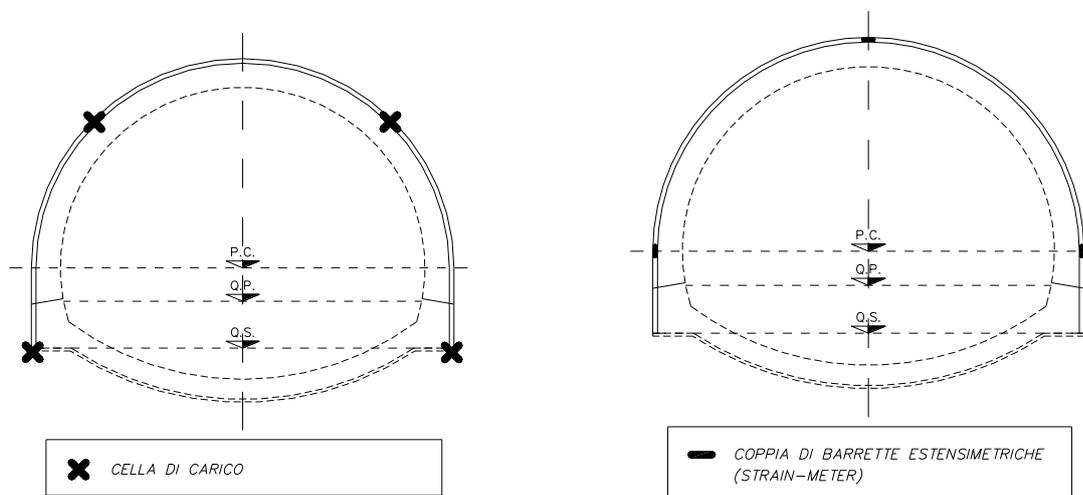


Figura 5.2: A sinistra, stazione con celle di carico sotto i piedi e fra le piastre di giunzione della centina; a destra stazione di misura dello stato tensionale nel rivestimento di prima fase

Per i rilievi nel calcestruzzo sarà indispensabile tarare le letture tenendo in considerazione la variazione del modulo elastico nel tempo, gli effetti di ritiro e gli effetti della temperatura sugli strumenti.

5.1.2.3. MODALITÀ DI RILEVAMENTO

Il sistema di rilevamento dei dati avviene mediante celle di carico o barrette estensimetriche, in funzione dello stato tensionale che si vuole rilevare, poste in opera nel numero e nei punti indicati in progetto, con gli accorgimenti necessari per una perfetta installazione e funzionamento.

a) celle di carico

Le celle di carico sono previste tra le piastre di giunzione e sotto i piedi delle centine. Esse sono sostanzialmente costituite da un corpo in acciaio inossidabile sensibilizzato da una serie di griglie estensimetriche (strain-gauges) applicate alla superficie interna del corpo stesso ed isolate. Una piastra di acciaio permette l'omogenea ripartizione del carico sull'intero corpo della cella. La deformazione indotta dal carico alla cella viene rilevata dagli strain-gauges e trasformata in un segnale elettrico proporzionale al carico agente.

b) barrette estensimetriche (a corda vibrante)

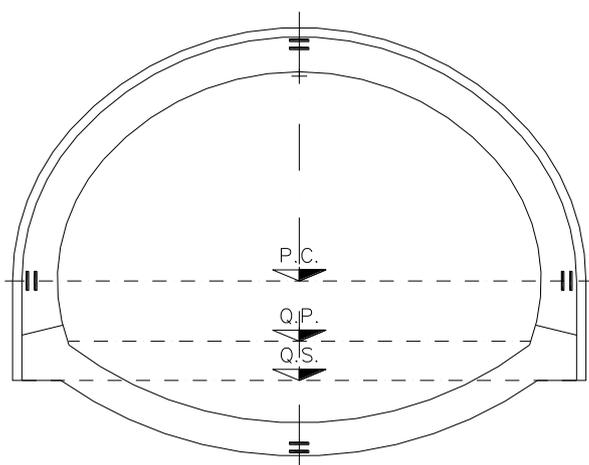
Le barrette estensimetriche a corda vibrante sono costituite da un cavo in acciaio armonico teso tra due blocchi, fissati a loro volta all'anima della centina, mediante bullonamento o resinatura. La frequenza di vibrazione del cavo di acciaio, è funzione delle deformazioni della centina nella sezione considerata.

Mediante l'applicazione della legge di Hooke ($\sigma = \epsilon E$) è possibile risalire allo stato tensionale presente.

Il campo di misura e la precisione richiesta sono i seguenti:

a) celle di carico

- campo di misura	funzione del profilato adottato
- sovrapp. massima	50% F.S.
- sensibilità	0.1% F.S.
- precisione	1% F.S.



= COPPIE BARRETTE ESTENSIMETRICHE (STRAIN METER)

Figura 5.3: Stazione di misura dello stato tensionale nel rivestimento definitivo

b) barrette estensimetriche

- campo di misura 3000 $\mu\epsilon$
- sovrapp. massima 20 % F.S.
- precisione $\leq 1\%$ F.S.
- segnale di uscita Hz

5.1.2.4. FREQUENZA DEI RILEVAMENTI

Il numero minimo di rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento e dopo una prima lettura da eseguirsi prima della maturazione dello spritz-beton, per ogni cella di carico / barretta estensimetrica è il seguente:

a) per le centine:

- 1 lettura al giorno con il fronte distante fino a circa 2 diametri;
- 2 letture a settimana con il fronte a una distanza compresa tra circa 2 e circa 4 diametri;
- 1 lettura al mese con il fronte distante oltre a circa 4 diametri.

b) per il rivestimento definitivo:

- 1 lettura al giorno con il fronte distante fino a circa 2 diametri;
- 2 letture a settimana con il fronte a una distanza compresa tra circa 2 e circa 4 diametri;
- 1 lettura al mese con il fronte distante oltre a circa 4 diametri.

5.1.3. RESTITUZIONE DATI

Il sistema di elaborazione dati richiede i seguenti diagrammi e tabulati numerici:

- carichi o tensioni in funzione del tempo;
- carichi o tensioni in funzione della distanza dal fronte di scavo;
- deformazione in funzione del tempo e relativi delta rispetto allo "0".

5.1.4. MISURE DI ESTRUSIONE DEL FRONTE

5.1.4.1. MISURE TOPOGRAFICHE

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica degli spostamenti superficiali del fronte di scavo nelle tre direzioni, valutati su nove punti per ogni stazione di misura e attrezzati con mire ottiche del medesimo tipo di quelle impiegate per il rilievo delle convergenze, che consentano la lettura mediante strumento topografico di precisione.

Le basi di misura sono costituite da 9 tavolette in legno delle dimensioni adeguate, fissate alla superficie del fronte, costituita da spritz-beton, mediante chiodi a pressione. Su tali tavolette devono essere fissati i prismi ottici riflettenti.

In alternativa si possono utilizzare chiodi analoghi a quelli installati per la misura delle convergenze con lunghezza anche inferiore ($l \approx 30$ cm). È essenziale, per l'attendibilità delle misure, che i chiodi vengano infissi per tutta la loro lunghezza all'interno dello spritz-beton e del terreno, in maniera da risentire il meno possibile degli effetti dovuti alle lavorazioni di consolidamento ed in modo tale da non essere urtati dal posizionatore. Tali basi vanno posizionate sul fronte, prima di iniziare le operazioni di consolidamento relative ai singoli campi di avanzamento.

La frequenza di esecuzione di tali misure è, di massima:

PROGETTAZIONE ATI:

- 1 stazione ogni 16 m per la sezione tipo B0v.

Inoltre, andrà eseguito un rilevamento ad ogni fermo prolungato del fronte (superiore a 24 h).

Il numero minimo di letture da eseguire è il seguente:

- 1 lettura di riferimento prima del consolidamento del fronte;
- 1 lettura immediatamente prima di riprendere gli scavi.

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite o distanziometro elettronico che rilevano le posizioni assolute delle basi di misura rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale fisso costituito da capisaldi siti in galleria.

Le misure permettono di risalire alle coordinate spaziali delle nove basi e quindi allo spostamento in direzione longitudinale delle stesse.

La tolleranza massima consentita è di $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$.

Il sistema di elaborazione dati avviene su apposito software e si richiede la restituzione grafica e numerica di:

- spostamenti lungo l'asse della galleria per ogni punto;
- spostamenti integrati nelle due direzioni x e y.

5.1.5. RILIEVO GEOLOGICO – GEOSTRUTTURALE DEL FRONTE DI SCAVO

Il rilievo geologico - strutturale ha la funzione principale di conferma e verifica delle assunzioni progettuali, nonché di documentazione delle situazioni realmente incontrate in corso d'opera. I rilievi consistono nel rilevamento e nella restituzione fotografica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche dei fronti di scavo durante l'avanzamento secondo le modalità di seguito descritte; si prevedono rilievi con frequenza:

- ogni 24 m, per la sezione di scavo tipo A1;
- ogni 16 m, per la sezione di scavo tipo B0, B0v.

In dettaglio si devono rilevare le seguenti caratteristiche dell'ammasso:

- la natura del litotipo;
- le litologie, i rapporti stratigrafici tra le litologie e le caratteristiche petrografiche macroscopiche;
- il grado e il tipo di fratturazione e/o alterazione;
- la granulometria;
- l'assetto generale dell'ammasso individuabile alla scala del fronte comprendente la stratificazione, la scistosità, l'inclinazione, la direzione e gli spessori;
- la condizione delle discontinuità: la localizzazione e la giacitura delle stesse, la geometria e il tipo di riempimento;
- la presenza di faglie e fratture;
- l'ubicazione e le geometrie dei volumi di roccia potenzialmente soggetti a distacchi gravitativi;
- le eventuali venute d'acqua e la loro localizzazione.

Ogni informazione dedotta circa le caratteristiche dell'ammasso, deve essere quantificata e utilizzata per classificare la qualità dell'ammasso nella tratta considerata.

I dati desunti dai rilievi geostrutturali devono essere riportati in apposite schede contenenti la restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche del fronte di scavo, durante l'avanzamento.

Di fatto, il complesso delle informazioni rilevate dovrà consentire di determinare il valore dell'indice GSI dell'ammasso in corrispondenza della sezione rilevata, in quanto il valore numerico di questo parametro è uno degli elementi importanti su cui è basata la scelta della sezione tipo da impiegare per lo scavo del campo successivo o semplicemente per gli affinamenti da utilizzare sui consolidamenti al fronte e/o sul passo delle centine nell'ambito della stessa sezione tipo. A questo scopo, il laboratorio di cantiere dovrà essere attrezzato per misure rapide di resistenza a compressione mediante prove di compressione uniassiale e/o di trazione indiretta del tipo brasiliana.

Il numero di rilievi richiesti è da intendersi come numero minimo; qualora l'ammasso presentasse modifiche rilevanti della sua qualità, già evidenti in fase di avanzamento, la DDLL potrà ordinare l'infittimento della frequenza dei rilievi.

5.2. GALLERIA MERCATELLO 2

Di seguito si riporta il programma di monitoraggio per la realizzazione della galleria naturale per seguire le diverse fasi costruttive della galleria consentendo la valutazione degli effetti prodotti dalle operazioni di scavo nei terreni e nelle strutture presenti nell'area di influenza.

L'acquisizione di dati significativi (variazione dello stato tenso-deformativo nel terreno, variazione delle pressioni neutre, evoluzione degli spostamenti e delle sollecitazioni nelle strutture di sostegno, ecc.) conseguenti alle operazioni di scavo, consente infatti di avere un controllo continuo e completo dell'evoluzione verso le nuove condizioni di equilibrio del terreno e delle strutture di sostegno. Dal confronto sistematico tra i dati acquisiti e le previsioni progettuali, sarà possibile avere conferma delle ipotesi e degli schemi assunti nei calcoli, verificando in maniera continua l'efficacia delle strutture di sostegno delle gallerie e, se necessario, adeguare i metodi costruttivi e l'entità dei sostegni alla reale risposta tenso – deformativa del cavo, in modo da assicurare la stabilità dell'opera nel breve e lungo termine, la sicurezza del cantiere e delle lavorazioni al fronte.

Il programma si articola, in particolare, in una serie di rilievi e nell'installazione di strumenti atti alla valutazione delle caratteristiche dell'ammasso e del comportamento tenso-deformativo del cavo durante l'esecuzione della galleria. Per la galleria naturale si hanno:

- stazioni di misura sistematiche delle convergenze;
- c. stazioni di misura con celle di carico o coppie di barrette estensimetriche sul rivestimento di prima fase e definitivo;
- rilievo geologico-geostrutturale del fronte di scavo;
- d. misure topografiche di estrusione del fronte
- rilievo sistematico delle fasi esecutive e delle cadenze di avanzamento.

Nei paragrafi che seguono vengono indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

L'insieme di questi dati concorrerà alla determinazione delle grandezze necessarie per l'applicazione delle linee guida, relativamente alla definizione dell'intensità degli interventi, delle cadenze lavorative e della sezione tipo da applicare tra quelle previste nella tratta.

I parametri da monitorare per la valutazione del comportamento dell'ammasso e dei sistemi di consolidamento e sostegno in ciascuna sezione tipo di scavo adottata, sono i seguenti:

- deformazioni del sistema ammasso/struttura, valutate attraverso misure di convergenza dei punti al contorno del cavo con l'utilizzo di prismi installati sulle centine del rivestimento di prima fase;
- deformazioni del nucleo di scavo, valutate attraverso l'installazione di estrusometri;

PROGETTAZIONE ATI:

- tassi di lavoro delle strutture (rivestimenti di prima fase e definitivi) misurati indirettamente mediante barrette estensimetriche e livello di carico delle centine del rivestimento provvisorio misurato mediante celle di carico.

Il sistema di monitoraggio è integrato mediante l'esecuzione di:

- rilievi geostrukturali dei fronti di scavo e misure di resistenza uniassiale su provini carotati da blocchi di roccia, al fine di valutare con continuità le caratteristiche geologico-geostrukturali dell'ammasso scavato.

L'installazione di tutta la strumentazione di monitoraggio prevista, deve avvenire sotto la supervisione di personale tecnico qualificato (ingegneri e geologi); l'impresa dovrà garantire la piena disponibilità della strumentazione stessa al fine di eseguire misure in contraddittorio.

La raccolta, l'analisi e l'interpretazione di tutti i dati di monitoraggio derivati dalle misure in corso d'opera devono essere riportati in un apposito archivio digitale consultabile online dall'impresa esecutrice e dalla DDLL. In particolare, allo scopo di fornire informazioni utili alla prosecuzione in sicurezza degli scavi, la restituzione delle misure elaborate dovrà essere tempestiva e deve avvenire entro le 3 ore dal completamento delle attività di rilievo in sito (a meno dei rilievi geologico-geostrukturali).

5.2.1. MISURE DI CONVERGENZA

5.2.1.1. DEFINIZIONE

Tali misure consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica degli spostamenti nel piano trasversale alla galleria, in direzione verticale e orizzontale, di 5 punti per ogni stazione di misura, posizionati come indicato nella Figura 5.1 e attrezzati con mire ottiche rilevabili mediante strumento topografico di precisione.

La convergenza del cavo si intende riferita al valore medio delle tre misure diametrali condotte.

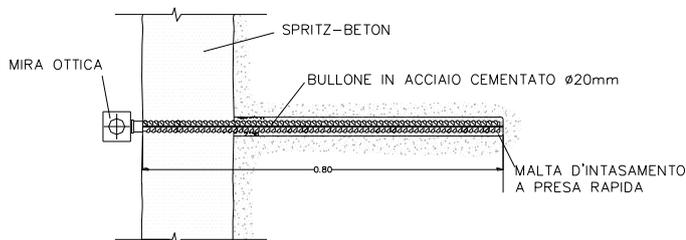
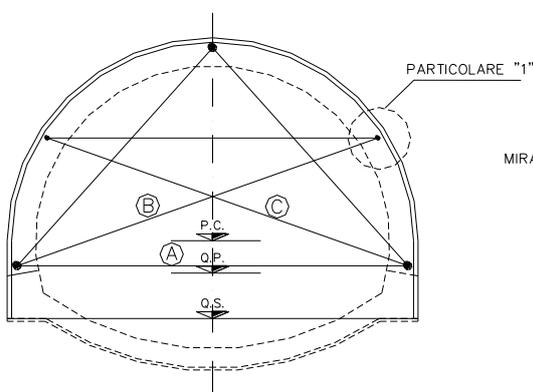
CONVERGENZE DIAMETRALI MEDIE

$$\bar{C} = \frac{A + B + C}{3}$$

MISURE DI CONVERGENZA A 5 PUNTI

PARTICOLARE "1"

MIRA PER MISURA DI CONVERGENZA



- MIRE OTTICHE PER MISURE TOPOGRAFICHE PLANOALTIMETRICHE

PROGETTAZIONE ATI:

Figura 5-4: Misure di convergenza

5.2.1.2. INSTALLAZIONE

Le basi di misura sono costituite da 5 chiodi di convergenza $L = 80$ cm posizionati sullo spritz-beton del rivestimento di 1a fase (Figura 5.1) su cui vengono montati altrettanti marcatori costituiti da prismi cardanici riflettenti o catadiottri, posizionati a ridosso del fronte di scavo alla progressiva della stazione di misura. Nel caso in cui si manifestassero comportamenti differenziati in termini deformativi tra spritz-beton e centine, a tali chiodi andranno affiancati dei supporti vincolati alle centine, su cui potranno essere montati i già citati marcatori.

5.2.1.3. FREQUENZA DELLE STAZIONI E DEI RILEVAMENTI

Fermo restando che l'effettiva distribuzione delle stazioni potrà essere modulata in funzione del reale comportamento dell'ammasso, le stazioni stesse andranno indicativamente installate secondo le seguenti frequenze:

- n. 1 stazione ogni 16.0 m, per le sezioni di scavo tipo A1;
- n. 1 stazione ogni 8.0 m, per le sezioni di scavo tipo B0,
- n. 1 stazione ogni 8.0 m, per le sezioni di scavo tipo B0v;
- n. 1 stazione ogni 16.0 m, per le sezioni di scavo tipo A1c;
- n. 1 stazione ogni 8.0 m, per le sezioni di scavo tipo B0c,
- n. 1 stazione ogni 8.0 m, per le sezioni di scavo tipo B0vc;
- n. 1 stazione ogni 8.0 m, per le sezioni di scavo tipo C1c.

Il numero minimo di rilevamenti da eseguire per ogni stazione, esclusa la misurazione di riferimento, dipende ovviamente dall'effettiva distanza del rivestimento definitivo dal fronte. In linea di massima si prevedono 10 rilevamenti per ogni stazione di convergenza.

La frequenza dei rilevamenti, da precisare in corso d'opera, è la seguente:

- n. 1 misura al giorno fino ad una distanza dal fronte di circa 2 diametri;
- n. 2 misure a settimana ad una distanza dal fronte compresa tra circa 2 e circa 4 diametri;
- n. 1 misura al mese ad una distanza dal fronte maggiore di circa 4 diametri.

Ciascuna stazione di misura viene posizionata in prossimità del fronte di scavo, in particolare presso le prime due centine del campo di avanzamento.

Le letture a distanza maggiore di circa 4 diametri dovranno essere effettuate fino al completo esaurimento degli eventuali movimenti.

5.2.1.4. SISTEMA DI ACQUISIZIONE

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite e distanziometro elettronico che misurano le posizioni assolute della base di misura rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da capisaldi siti in galleria. La misura permette di risalire alle coordinate spaziali delle basi con tolleranza ± 2 mm ± 2 ppm.

5.2.1.5. RESTITUZIONE DATI

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- spostamenti trasversali;
- spostamenti verticali;
- spostamenti nel piano (deformata);
- velocità di convergenza (mm/giorno).

I dati elaborati per ciascuna misura di ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo.

5.2.2. MISURE DI TENSIONE CON CELLE DI CARICO E BARRETTE ESTENSIMETRICHE

5.2.2.1. DEFINIZIONE

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica dello stato tensionale entro i rivestimenti di prima fase e definitivo. In particolare, le tensioni sul rivestimento di prima fase verranno misurate con 4 celle di carico, posizionate fra le piastre di giunzione e sotto i piedi della centina, o con 3 coppie di barrette estensimetriche per metallo a corda vibrante posizionate sull'anima della centina in chiave e sui piedritti (Figura 5.2).

Le tensioni nel calcestruzzo del rivestimento definitivo verranno misurate con 4 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante, posizionate all'estradosso e all'intradosso della sezione da monitorare (Figura 5.2).

5.2.2.2. INSTALLAZIONE

Si prevede l'installazione di stazioni per il monitoraggio in corso d'opera del rivestimento di 1^a fase e del rivestimento definitivo.

Per il rivestimento di prima fase si prevede, in linea di massima:

- n. 1 stazione ogni 80 m, per le sezioni di scavo tipo B0, B0v;
- n. 1 stazione ogni 80 m, per le sezioni di scavo tipo B0c, B0vc;
- n. 1 stazione ogni 50 m, per la sezione di scavo tipo C1c.

Per il rivestimento definitivo si prevede, in linea di massima:

- n. 1 stazione ogni 200 m, per la sezione di scavo tipo A1;
- n. 1 stazione ogni 160 m, per le sezioni di scavo tipo B0, B0v, B0c, B0v e C1c.

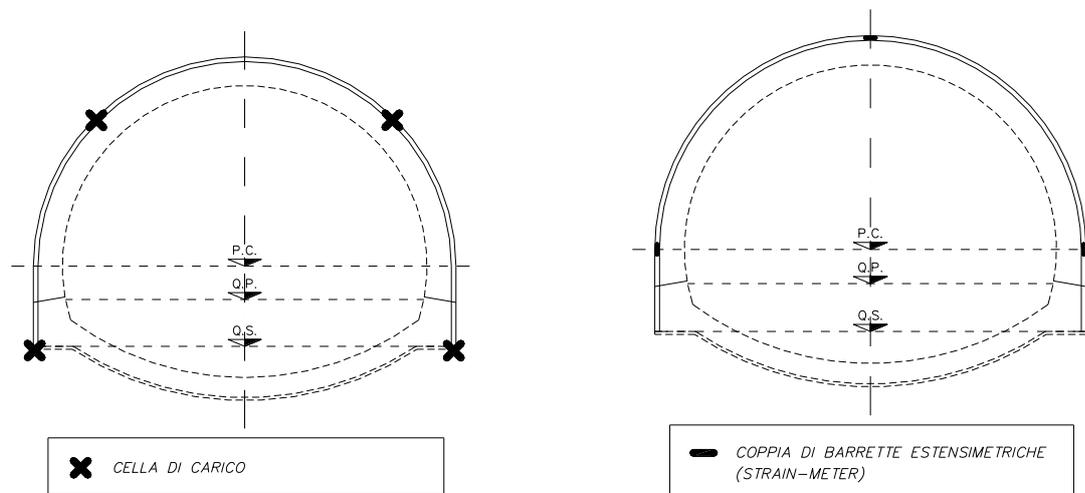


Figura 5-5: A sinistra, stazione con celle di carico sotto i piedi e fra le piastre di giunzione della centina; a destra stazione di misura dello stato tensionale nel rivestimento di prima fase

Per i rilievi nel calcestruzzo sarà indispensabile tarare le letture tenendo in considerazione la variazione del modulo elastico nel tempo, gli effetti di ritiro e gli effetti della temperatura sugli strumenti.

5.2.2.3. MODALITÀ DI RILEVAMENTO

Il sistema di rilevamento dei dati avviene mediante celle di carico o barrette estensimetriche, in funzione dello stato tensionale che si vuole rilevare, poste in opera nel numero e nei punti indicati in progetto, con gli accorgimenti necessari per una perfetta installazione e funzionamento.

c) celle di carico

Le celle di carico sono previste tra le piastre di giunzione e sotto i piedi delle centine. Esse sono sostanzialmente costituite da un corpo in acciaio inossidabile sensibilizzato da una serie di griglie estensimetriche (strain-gauges) applicate alla superficie interna del corpo stesso ed isolate. Una piastra di acciaio permette l'omogenea ripartizione del carico sull'intero corpo della cella. La deformazione indotta dal carico alla cella viene rilevata dagli strain-gauges e trasformata in un segnale elettrico proporzionale al carico agente.

d) barrette estensimetriche (a corda vibrante)

Le barrette estensimetriche a corda vibrante sono costituite da un cavo in acciaio armonico teso tra due blocchi, fissati a loro volta all'anima della centina, mediante bullonamento o resinatura. La frequenza di vibrazione del cavo di acciaio, è funzione delle deformazioni della centina nella sezione considerata. Mediante l'applicazione della legge di Hooke ($\sigma = \epsilon E$) è possibile risalire allo stato tensionale presente.

Il campo di misura e la precisione richiesta sono i seguenti:

- a) celle di carico
- campo di misura funzione del profilato adottato
 - sovrapp. massima 50% F.S.

PROGETTAZIONE ATI:

- sensibilità 0.1% F.S.
- precisione 1% F.S.

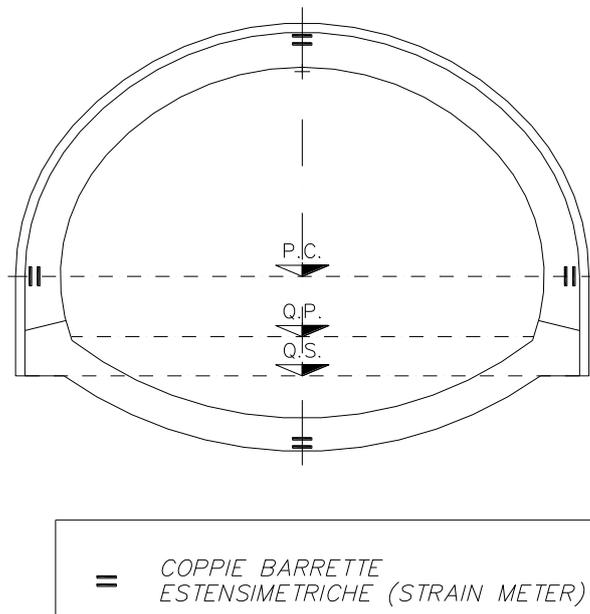


Figura 5-6: Stazione di misura dello stato tensionale nel rivestimento definitivo

b) barrette estensimetriche

- campo di misura 3000 $\mu\epsilon$
- sovrapp. massima 20 % F.S.
- precisione $\leq 1\%$ F.S.
- segnale di uscita Hz

5.2.2.4. FREQUENZA DEI RILEVAMENTI

Il numero minimo di rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento e dopo una prima lettura da eseguirsi prima della maturazione dello spritz-beton, per ogni cella di carico / barretta estensimetrica è il seguente:

- a) per le centine:
 - 1 lettura al giorno con il fronte distante fino a circa 2 diametri;
 - 2 letture a settimana con il fronte a una distanza compresa tra circa 2 e circa 4 diametri;
 - 1 lettura al mese con il fronte distante oltre a circa 4 diametri.
- b) per il rivestimento definitivo:
 - 1 lettura al giorno con il fronte distante fino a circa 2 diametri;
 - 2 letture a settimana con il fronte a una distanza compresa tra circa 2 e circa 4 diametri;
 - 1 lettura al mese con il fronte distante oltre a circa 4 diametri.

5.2.2.5. RESTITUZIONE DATI

Il sistema di elaborazione dati richiede i seguenti diagrammi e tabulati numerici:

PROGETTAZIONE ATI:

- carichi o tensioni in funzione del tempo;
- carichi o tensioni in funzione della distanza dal fronte di scavo;
- deformazione in funzione del tempo e relativi delta rispetto allo “0”.

5.2.3. MISURE DI ESTRUSIONE DEL FRONTE

5.2.3.1. MISURE TOPOGRAFICHE

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica degli spostamenti superficiali del fronte di scavo nelle tre direzioni, valutati su nove punti per ogni stazione di misura e attrezzati con mire ottiche del medesimo tipo di quelle impiegate per il rilievo delle convergenze, che consentano la lettura mediante strumento topografico di precisione.

Le basi di misura sono costituite da 9 tavolette in legno delle dimensioni adeguate, fissate alla superficie del fronte, costituita da spritz-beton, mediante chiodi a pressione. Su tali tavolette devono essere fissati i prismi ottici riflettenti.

In alternativa si possono utilizzare chiodi analoghi a quelli installati per la misura delle convergenze con lunghezza anche inferiore ($l \approx 30$ cm). È essenziale, per l’attendibilità delle misure, che i chiodi vengano infissi per tutta la loro lunghezza all’interno dello spritz-beton e del terreno, in maniera da risentire il meno possibile degli effetti dovuti alle lavorazioni di consolidamento ed in modo tale da non essere urtati dal posizionatore. Tali basi vanno posizionate sul fronte, prima di iniziare le operazioni di consolidamento relative ai singoli campi di avanzamento.

La frequenza di esecuzione di tali misure è, di massima:

- 1 stazione ogni 8 m per la sezione tipo C1c;
- 1 stazione ogni 16 m per la sezione tipo B0v/B0vc.

Inoltre, andrà eseguito un rilevamento ad ogni fermo prolungato del fronte (superiore a 24 h).

Il numero minimo di letture da eseguire è il seguente:

- 1 lettura di riferimento prima del consolidamento del fronte;
- 1 lettura immediatamente prima di riprendere gli scavi.

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite o distanziometro elettronico che rilevano le posizioni assolute delle basi di misura rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale fisso costituito da capisaldi siti in galleria.

Le misure permettono di risalire alle coordinate spaziali delle nove basi e quindi allo spostamento in direzione longitudinale delle stesse.

La tolleranza massima consentita è di ± 2 mm ± 2 ppm.

Il sistema di elaborazione dati avviene su apposito software e si richiede la restituzione grafica e numerica di:

- spostamenti lungo l’asse della galleria per ogni punto;
- spostamenti integrati nelle due direzioni x e y.

5.2.4. RILIEVO GEOLOGICO – GEOSTRUTTURALE DEL FRONTE DI SCAVO

Il rilievo geologico - strutturale ha la funzione principale di conferma e verifica delle assunzioni progettuali, nonché di documentazione delle situazioni realmente incontrate in corso d’opera. I rilievi consistono nel rilevamento e nella restituzione fotografica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche dei fronti di scavo durante l’avanzamento secondo le modalità di seguito descritte; si prevedono rilievi con frequenza:

- ogni 24 m, per la sezione di scavo tipo A1, A1c;

PROGETTAZIONE ATI:

- ogni 16 m, per la sezione di scavo tipo B0, B0v, B0c, B0vc;
- ogni 8 m, per le sezioni di scavo tipo C1c.

In dettaglio si devono rilevare le seguenti caratteristiche dell'ammasso:

- la natura del litotipo;
- le litologie, i rapporti stratigrafici tra le litologie e le caratteristiche petrografiche macroscopiche;
- il grado e il tipo di fratturazione e/o alterazione;
- la granulometria;
- l'assetto generale dell'ammasso individuabile alla scala del fronte comprendente la stratificazione, la scistosità, l'inclinazione, la direzione e gli spessori;
- la condizione delle discontinuità: la localizzazione e la giacitura delle stesse, la geometria e il tipo di riempimento;
- la presenza di faglie e fratture;
- l'ubicazione e le geometrie dei volumi di roccia potenzialmente soggetti a distacchi gravitativi;
- le eventuali venute d'acqua e la loro localizzazione.

Ogni informazione dedotta circa le caratteristiche dell'ammasso, deve essere quantificata e utilizzata per classificare la qualità dell'ammasso nella tratta considerata.

I dati desunti dai rilievi geostrutturali devono essere riportati in apposite schede contenenti la restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche del fronte di scavo, durante l'avanzamento.

Di fatto, il complesso delle informazioni rilevate dovrà consentire di determinare il valore dell'indice GSI dell'ammasso in corrispondenza della sezione rilevata, in quanto il valore numerico di questo parametro è uno degli elementi importanti su cui è basata la scelta della sezione tipo da impiegare per lo scavo del campo successivo o semplicemente per gli affinamenti da utilizzare sui consolidamenti al fronte e/o sul passo delle centine nell'ambito della stessa sezione tipo. A questo scopo, il laboratorio di cantiere dovrà essere attrezzato per misure rapide di resistenza a compressione mediante prove di compressione uniassiale e/o di trazione indiretta del tipo brasiliana.

Il numero di rilievi richiesti è da intendersi come numero minimo; qualora l'ammasso presentasse modifiche rilevanti della sua qualità, già evidenti in fase di avanzamento, la DDLL potrà ordinare l'infittimento della frequenza dei rilievi.

6. PIANO DI MONITORAGGIO OPERE DI DIFESA DALLA CADUTA MASSI

Le opere di difesa dalla caduta massi sono di tipo passivo (barriere a rete) e di tipo attivo (consolidamenti e rivestimenti in parete).

Per le opere passive è previsto l'utilizzo di un dispositivo di trasmissione dati ogni 30 m circa di barriere, indipendentemente dalle loro energie di assorbimento e altezze.

Per le opere attive non è previsto l'installazione di strumentazione di monitoraggio. Si tratta infatti di un intervento diffuso sul versante e un monitoraggio puntuale non sarebbe indicativo di un comportamento d'insieme e pertanto gli oneri per la fornitura, l'installazione e il mantenimento in esercizio sarebbero superiori ai benefici.

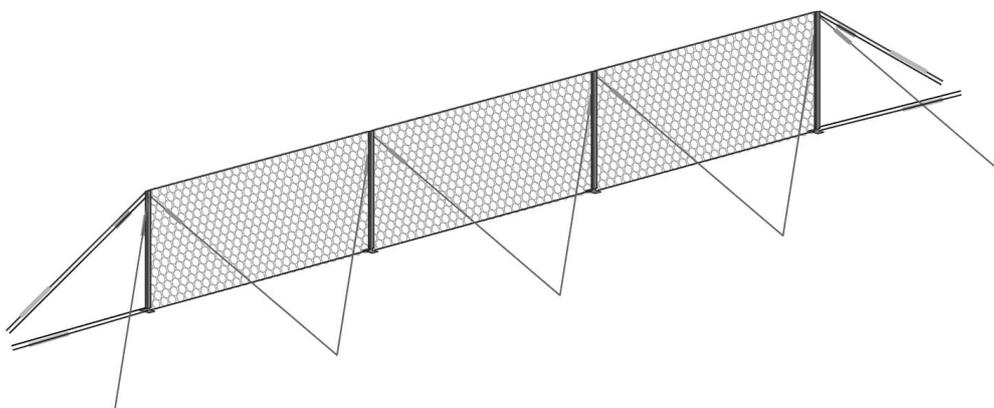
6.1. DESCRIZIONE INTERVENTO

Si prevede la realizzazione di una barriera paramassi di classe energetica 5 (norma EOTA) con energia di impatto (MEL) pari a 1500 kJ e massima deformazione pari a 5,25 m.

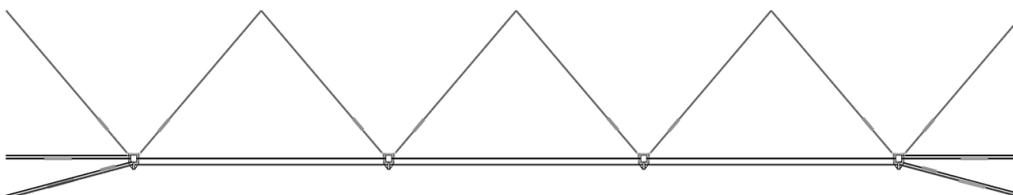
Tabella 6-1 Caratteristiche barriera paramassi

Barriera	L (m)	H (m)	E (kJ)
B01	60,00	4,00	1500

A S S O N O M E T R I A



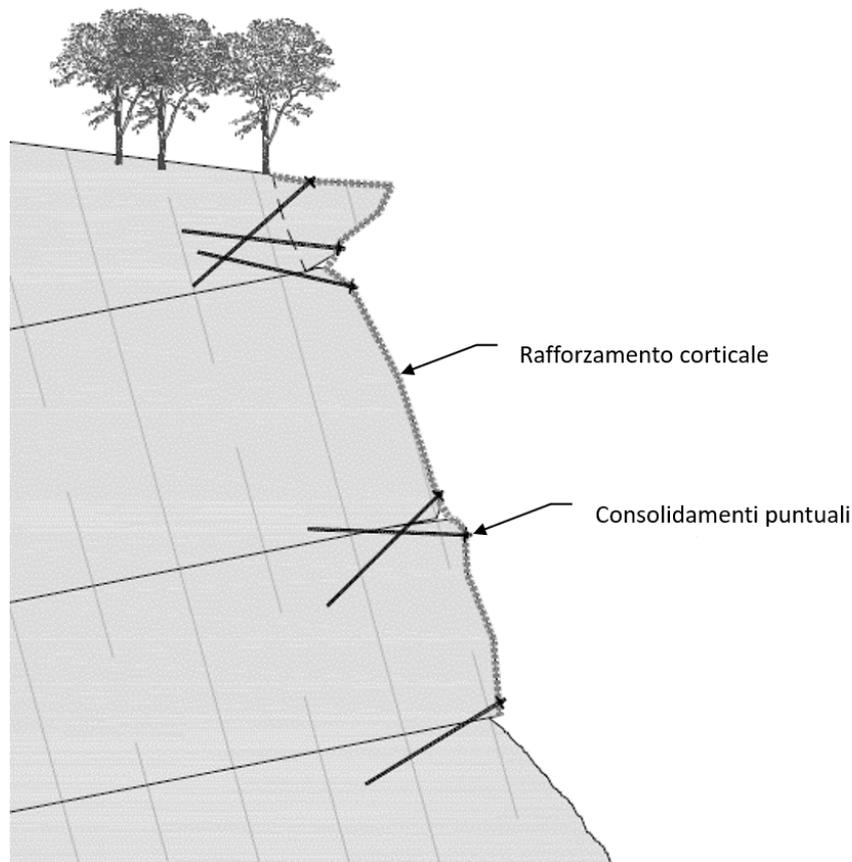
P I A N T A



PROGETTAZIONE ATI:



Dove non possibile, per mancanza di spazio o per il possibile crollo di volumi multipli, sarà necessario intervenire mediante tecniche di rafforzamento corticale, se non di vero e proprio consolidamento puntuale con barre d'acciaio, previa pulizia e disgaggio dei volumi già pericolanti.



PROGETTAZIONE ATI:

6.2. STRUMENTAZIONE

Lo strumento di monitoraggio delle barriere paramassi è caratterizzato da un funzionamento tanto semplice quanto efficace, in quanto le informazioni che il dispositivo invia sono estremamente dettagliate e di facile interpretazione ai fini di garantire la massima reattività di coloro che sono preposti alla sicurezza.

Errore. Riferimento a collegamento ipertestuale non valido.



Si tratta in effetti di una vera e propria stazione di rilevamento che registra, analizza e segnala in continuo, 7 giorni su 7, 24 ore su 24, i dati ambientali e lo stato dei materiali della barriera.

In particolare il sistema rileva:

- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| - Temperatura | compresa tra 50° C e 80° C |
| - Umidità | compresa tra 0% e 100% |
| - Corrosione dell'acciaio | misurata in μ A |
| - Orientamento | sugli assi x, y e z |
| - Accelerazione | compresa tra 0 g e 200 g |
| - Forze sulle funi | compresa tra 0 kg e 30.000 kg |
| - Stato della batteria | |

Normalmente il dispositivo è in uno stato “quiescente”, ovvero si attiva in automatico solo una volta alla settimana per dare conferma della sua funzionalità e inviare al server i dati relativi a temperatura, umidità e stato generale della corrosione degli acciai.

Nel momento in cui si verifica un impatto, il sistema, attraverso il rilevatore di accelerazione, si “risveglia” e trasmette al server i dati della situazione successiva all’urto. È cruciale che il dispositivo sia installato su funi soggette a trazione, che trasferiscono le forze ricevute ai freni e quindi ai sistemi di ancoraggio al suolo, per dare riscontro dell’effettivo impegno subito dalla struttura nel suo complesso.

In particolare, la nuova posizione dell’apparecchio rilevata sugli assi x, y e z consente di avere informazioni sulla deformazione subita dallo schermo di intercettazione della barriera paramassi, mentre la forza rilevata sulle funi permetterà di stimare l’energia con cui la barriera è stata impattata. Grazie a questi due parametri sarà possibile valutare nel tempo l’evoluzione degli eventi e stimare il grado di riempimento della barriera e, in ultima analisi, le capacità residue della barriera stessa.

Una scheda SIM in dotazione con il sistema, uno per ogni dispositivo, consente di trasmettere i dati attraverso una rete GSM, in modalità 2G, 3G e LTE cat. M1, quindi a copertura pressoché omogenea sul territorio nazionale. Sempre in merito alla funzionalità, essa è stata verificata all’aperto in ambienti particolarmente estremi del Nord Europa, al freddo, all’umido e all’esposizione dei raggi UV e le batterie sono garantite per il funzionamento di 5 anni minimo.

I dati trasmessi sono visionabili in continuo su una piattaforma in cloud il cui accesso è consentito tramite credenziali concesse a chi di competenza. La visualizzazione di quanto riscontrabile sulla piattaforma dati è riportato nelle immagini che seguono, che illustrano, a titolo di esempio,

rispettivamente i diagrammi di variazione delle condizioni ambientali e lo storico degli eventi registrati da un determinato dispositivo.

Oltre all'accesso alla piattaforma, il proprietario del dispositivo è informato di eventi di impatto tramite messaggi SMS.

6.3. SOGLIE DI ALLERTA ED ALLARME

Per tutta la strumentazione installata sono definite le rispettive soglie di allerta e allarme, ottenute mediante valutazione quantitative teoriche.

Per gli impatti sui dispositivi delle barriere paramassi:

- soglia di 5 g per gli impatti;
- soglia di 20 cm per gli spostamenti legati all'accumulo lento di materiale detritico a monte della barriera.

6.4. FREQUENZA DI LETTURA

I dispositivi di cui saranno dotate le barriere paramassi subiranno una lettura iniziale all'attivazione. La lettura consentirà la referenziazione geografica, che costituirà la posizione zero su cui verranno confrontate le successive letture. I dispositivi sono come detto "quiescenti" (segnalando la propria attività ogni settimana), ma trasmetteranno impulsi soltanto al superamento di soglie prestabilite.

7. PIANO DI MONITORAGGIO GEOMORFOLOGICO

Per il monitoraggio delle aree potenzialmente instabili si prevede l'installazione della seguente strumentazione:

- piezometro, per il controllo dello stato di regime idraulico;
- inclinometro, per il controllo degli spostamenti con la profondità.

7.1. UBICAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

Per maggiori dettagli sull'ubicazione della strumentazione si rimanda all'elaborato grafico del monitoraggio geomorfologico (codice elaborato T00GE00MOGDI07A).

Nella Tabella 7-1 si riporta, per ogni area interessata dagli interventi di stabilizzazione, la strumentazione prevista nel piano di monitoraggio geomorfologico.

Tabella 7-1 Strumentazione prevista per gli interventi di stabilizzazione

Intervento	Sigla	Piezometro		Sigla	Inclinometro	
		n°	Lunghezza		n°	Lunghezza
Sistema di drenaggio Frana CO2 prog. km 2+850 ÷ 3+150	Pz01	1	20 m	In01	1	20 m
	Pz02	1	20 m	In02	1	20 m
	Pz03	1	20 m	In03	1	20 m

L'inclinometro in corrispondenza del sondaggio S10 In verrà dismesso perché ricadente all'interno del corpo stradale e sostituito dall'inclinometro In01.

7.2. FREQUENZA DELLE LETTURE

Nella Tabella 7-2 si riporta la frequenza delle letture considerata nel monitoraggio geomorfologico.

Tabella 7-2 Frequenza delle letture strumentazione monitoraggio geomorfologico

Strumentazione	Ante operam (3 mesi)	Corso d'opera (durata lavori)	Post operam (24 mesi)	Post operam (96 mesi)
Piezometro	1/30 gg	1/30gg	1/90 gg	1/180 gg
Inclinometro	1/30 gg	1/30gg	1/90 gg	1/180 gg

8. PIATTAFORMA DI GESTIONE DEI DATI DI MONITORAGGIO

I dati raccolti dovranno essere gestiti mediante un sistema informativo geografico (GIS) per il monitoraggio, che ha lo scopo di archiviare, rendere consultabili ed elaborabili i dati derivanti dal monitoraggio durante le diverse fasi realizzative dell'opera, confrontarli fra di loro e con tutti gli altri dati derivanti da ulteriori indagini, fornendo un supporto alle decisioni in tempo reale.

La piattaforma per la gestione dei dati di monitoraggio comunemente usata è del tipo web-based o equivalente. Dovrà prevedere un sistema di archiviazione dati su database SQL o equivalente, garantendo la totale sicurezza dei dati.

La piattaforma web di gestione dovrà avere le seguenti funzionalità:

- Consentire l'accesso alle informazioni solamente agli utenti autorizzati
- Archiviare e visualizzare tutti i documenti
- Archiviare e visualizzare le tavole di progetto
- Visualizzare gli elaborati relativi al monitoraggio
- Raggruppare gli elaborati secondo una struttura logica
- Consentire il download degli elaborati
- Visualizzare le informazioni all'interno di una planimetria (GIS)

Il sistema di gestione dati dovrà garantire la riservatezza delle informazioni attraverso un accesso protetto da password fornito esclusivamente agli utenti autorizzati. Inoltre dovrà consentire la corretta archiviazione di tutti i documenti, dalle tavole di progetto alle relazioni tecniche con possibilità di visualizzazione online.

Infine, si potrà avere la possibilità d'interagire con la planimetria dell'area, visualizzando i diversi "layers" (isolinee e stradale), la planimetria dell'intervento e la posizione degli strumenti di monitoraggio.

All'occorrenza, dovrà essere pensato per gestire in tempo reale su sito Web i dati generati con macchine di scavo meccanizzate.

8.1. ARCHITETTURA DI SISTEMA

Il Sistema, basato su Web Server GIS, dovrà presentare almeno le seguenti peculiarità:

- la banca dati risiederà fisicamente su un unico computer ma sarà consultabile a chiunque abbia una connessione internet, secondo diversi livelli di accesso e conseguentemente di disponibilità delle informazioni.
- qualsiasi utente avrà accesso al sistema senza la necessità di avere i software dedicati installati sul suo computer ma utilizzando i programmi residenti sul server
- si dovrà prevedere almeno la realizzazione di due postazioni, una ubicata in area locale e una presso l'entità che gestisce il server Web.

Quella locale (cantiere) sarà dotata di Personal Computer su cui saranno installati tutti i software applicativi e dedicati alla strumentazione installata oltre che i software idonei all'interrogazione automatica dei datalogger e lo scarico dei dati (Multilogger). Il Server remoto, installato presso gli uffici del gestore del sito Web, sarà invece dotato dei programmi e degli strumenti per la gestione del Data Base sul Web.

Il flusso delle informazioni sarà il seguente:

- Esecuzione delle misure in automatico mediante interrogazione degli strumenti installati da parte dei Data Logger.
- Esecuzione delle misure manuali (p.es con strumentazione portatile) o automatiche con scarico manuale (mediante collegamento locale ai sensori con centralina portatile o personal computer portatile).
- Nell'ufficio di cantiere/locale: creazione nel Data Base dei nuovi eventuali strumenti/famiglie di strumenti.
- Nell'ufficio di cantiere/locale: scarico automatico dei dati acquisiti in automatico mediante trasmissione con GSM o dispositivo analogo e caricamento o scarico manuale da centralina/pc computer portatile dei dati acquisiti/trasferiti manualmente; trasferimento e caricamento manuale dei dati tramite opportuni file excel/csv direttamente nel database o tramite maschere di inserimento; creazione di archivio locale dei dati grezzi di cantiere (backup locale) in modo da avere sempre disponibili i dati sperimentali di cantiere.
- trasferimento da ufficio di cantiere/locale a ufficio remoto di gestione Web via rete dei dati grezzi e loro caricamento sul Data Base Web.
- interrogazione da ufficio di cantiere/locale (PCSR) del Web per validazione dei dati prima della pubblicazione definitiva sul Web. La validazione dei dati, intesa come valutazione critica dell'accettabilità del dato grezzo e le motivazioni relative saranno comunque disponibili agli utenti autorizzati per la verifica del processo;
- da ufficio remoto: pubblicazione dei dati su Web resi disponibili ai vari utenti con diversi livelli di abilitazione.
- da ufficio di cantiere/locale: verifica degli eventuali superamenti delle soglie preimpostate, comunicate dai "Responsabili". Tali soglie, definite come "di attenzione" e "di allarme" porteranno all'attivazione di contromisure. Nel caso di superamento della soglia di attenzione potranno essere aumentati il numero degli strumenti o la frequenza delle misure allo scopo di meglio individuare e definire la problematica in atto e valutare le possibili ricadute sull'avanzamento dei lavori. Nel caso di superamento della soglia di allarme, dovranno intervenire il Progettista e la Direzione Lavori per l'individuazione delle opportune contromisure

8.2. INTERFACCIA UTENTE E VISUALIZZAZIONE DEI DATI

Un'apposita interfaccia consentirà di realizzare i grafici e/o le tabelle del periodo desiderato (dalla data xxx alla data yyy) o degli ultimi nn ore/giorni/mesi e consentirà di impostare manualmente e/o automaticamente la scala delle ascisse.

Sarà possibile realizzare report personalizzati consultabili a schermo o stampabili in PDF, eventualmente sarà anche possibile mandare automaticamente via mail questi report agli indirizzi desiderati.

I dati potranno essere esportati in formato ASCII/csv per l'importazione ed elaborazione ulteriore con excel.

L'individuazione della strumentazione potrà essere effettuata tramite mappa georeferenziata (GIS). Gli hot-spot consentiranno di visualizzare grafici, schede tecniche (monografie, certificati, ecc.) e fotografie relative agli strumenti.

8.3. CONFIGURAZIONE DEL SOFTWARE

Saranno possibili diversi livelli di accesso al Data Base:

- AMMINISTRATORE: per l'amministrazione degli utenti e le impostazioni generali del progetto;
- POWER USER: per la validazione dei dati e loro pubblicazione sul Web
- EDITOR: per l'inserimento, lettura e cancellazione dei dati, nonché impostazioni generali del progetto;
- USER: per l'inserimento e lettura dei dati;
- READER: per la lettura dei dati.

Tali livelli andranno definiti in funzione delle varie competenze, con possibilità di accesso diversificate per i singoli attori coinvolti nelle attività del monitoraggio (Direttore di Cantiere, Responsabili dei monitoraggi, Progettisti, Direzione Lavori, ecc...).

9. CONCLUSIONI

Il programma di monitoraggio descritto prevede la posa in opera e la lettura programmata delle strumentazioni di monitoraggio. Nei paragrafi precedenti sono state indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

Le indicazioni fornite nella presente relazione sono scaturite da considerazioni di tipo teorico e tecnico. In corso d'opera andranno quindi verificate e meglio adattate alla situazione reale valutando la possibilità di incrementare o ridurre le strumentazioni e la frequenza delle letture, in funzione del reale comportamento registrato.