

AUTOSTRADA VALDASTICO

A31 NORD

1° LOTTO

Piovene Rocchette - Valle dell'Astico

PROGETTO DEFINITIVO

CUP G21B1 30006 60005
WBS B25.A31N.L1
COMMESSA J16L1

COMMITTENTE



S.p.A. AUTOSTRADA BRESCIA VERONA VICENZA PADOVA
Area Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA
PER LA PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Gabriella Costantini

PRESTATORE DI SERVIZI:
CONSORZIO RAETIA



RAPPRESENTANTE: Dott. Ing. Alberto Scotti

RESPONSABILE DELL'INTERPRETAZIONE
TRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Technita S.p.A. - Dott. Ing. Andrea Renso



PROGETTAZIONE:

ROCKSOIL S.p.A.



ELABORATO: OPERE D'ARTE MAGGIORI
OPERE IN SOTTERANEO
PARTE GENERALE - GALLERIE CON SCAVO IN TRADIZIONALE
RELAZIONE DI MONITORAGGIO

Progressivo Rev.
07 02 01 027 02

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA: --
00	MARZO 2017	PRIMA EMISSIONE	ROCKSOIL - VITIELLO	AMADI	GATTI	NOME FILE: J16L1_07_02_01_027_0101_OPD_02.doc
01	GIUGNO 2017	REVISIONE PER VERIFICA	ROCKSOIL - VITIELLO	AMADI	GATTI	CM. PROGR. FG. LIV. REV. J16L1_07_02_01_027_0101_OPD_02
02	LUGLIO 2017	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI	ROCKSOIL - VITIELLO	AMADI	GATTI	

INDICE

1	PROGRAMMA DI MONITORAGGIO	4
2	MONITORAGGIO IN SOTTERRANEO (METODO DI SCAVO TRADIZIONALE)	5
2.1	INDAGINI IN AVANZAMENTO	7
2.1.1	<i>PERFORAZIONI IN AVANZAMENTO</i>	<i>7</i>
2.1.2	<i>MISURE DI PORTATA IN CASO DI VENUTE D'ACQUA</i>	<i>8</i>
2.1.3	<i>INDAGINI SISMICHE IN AVANZAMENTO</i>	<i>8</i>
2.2	STAZIONI DI MISURA DELLE CONVERGENZE	10
2.3	RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE DEI FRONTI DI SCAVO	17
2.4	SONDAGGI A CAROTAGGIO E PRELIEVO CAMPIONI PER PROVE DI LABORATORIO	18
2.5	STAZIONI DI MONITORAGGIO PRINCIPALI	19
2.5.1	<i>Estensimetri multibase</i>	<i>23</i>
2.5.2	<i>Installazione</i>	<i>23</i>
2.5.3	<i>Frequenza di lettura e restituzione dei dati</i>	<i>24</i>
2.5.4	<i>Misure piezometriche al contorno del cavo</i>	<i>25</i>
2.5.5	<i>Installazione</i>	<i>25</i>
2.5.6	<i>Frequenza di lettura e restituzione dei dati</i>	<i>25</i>
2.5.7	<i>Stazioni di misura delle convergenze</i>	<i>26</i>
2.5.8	<i>Misure di estrusione estensimetriche</i>	<i>26</i>
2.5.9	<i>Installazione</i>	<i>26</i>
2.5.10	<i>Frequenza di lettura e restituzione dei dati</i>	<i>28</i>

2.5.11	Misura dello stato tensionale del pririvestimento con barrette estensimetriche	30
2.5.12	Installazione delle barrette estensimetriche a corda vibrante.....	30
2.5.13	Frequenza dei rilevamenti e restituzione dei dati.....	31
2.5.14	Misura dello stato tensionale del pririvestimento con celle di carico	32
2.5.15	Installazione delle celle di carico	32
2.5.16	Frequenza dei rilevamenti e restituzione dei dati.....	32
2.5.17	Celle di pressione per cls del rivestimento definitivo	33
2.5.18	Installazione delle celle di pressione	33
2.5.19	Frequenza dei rilevamenti e restituzione dei dati.....	34
2.5.20	Barrette estensimetriche a corda vibrante entro il rivestimento definitivo	35
2.5.21	Installazione.....	35
2.5.22	Frequenza dei rilevamenti e restituzione dei dati.....	35
2.5.23	Mire e prismi ottici sul rivestimento definitivo.....	37
2.5.24	Installazione.....	37
2.5.25	Frequenza dei rilevamenti e restituzione dei dati.....	37
2.6	MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO	39
3	MONITORAGGIO IMBOCCHI	42
3.1	FREQUENZA DEI RILEVAMENTI.....	43
3.2	MIRE OTTICHE	48
3.2.1	Installazione.....	48
3.2.2	Restituzione dati	48
3.3	CELLE DI CARICO.....	49

3.3.1	<i>Installazione</i>	50
3.3.2	<i>Restituzione dati</i>	51
3.4	INCLINOMETRI	51
3.4.1	<i>Installazione</i>	52
3.4.2	<i>Prescrizioni minime di accettazione della tubazione inclinometrica</i>	56
3.4.3	<i>Documentazione richiesta relativa all'installazione</i>	57
3.4.4	<i>Restituzione dati</i>	58
4	MONITORAGGIO IN SUPERFICIE	59
5	LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO	61
5.1	PREVISIONE DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO ALLO SCAVO	61
5.2	APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO	62
5.3	APPLICAZIONE SEZIONI TIPO D'IMPERMEABILIZZAZIONE ED INTERVENTI D'INIEZIONE IN AVANZAMENTO IN FUNZIONE DELLE SOGLIE DI PORTATA IN GALLERIA ED IN SUPERFICIE	65

ALLEGATI

1 PROGRAMMA DI MONITORAGGIO

Nell'ambito dei lavori per la realizzazione delle opere che rientrano nel progetto definitivo del 1° lotto funzionale dell'autostrada A31 Vicenza – Piovene Rocchette – Trento, (dallo svincolo di Piovene Rocchette, dove oggi termina l'autostrada, fino allo svincolo di San Pietro, al confine con la provincia di Trento), è necessario mettere in atto un programma di monitoraggio costituito da una serie di controlli in corso d'opera per verificare il comportamento tenso-deformativo degli ammassi rocciosi che saranno interessati dagli scavi e dalla realizzazione dei manufatti, paratie e rivestimenti in sotterraneo, previsti per la realizzazione delle opere di progetto, sia in relazione alle nuove opere, che in relazione a quelle eventualmente già esistenti.

In tal modo sarà possibile tarare adeguatamente gli interventi progettuali previsti mantenendosi all'interno di intervalli di deformazioni compatibili con la stabilità delle opere.

I monitoraggi oggetto della presente Relazione interessano principalmente la fase di realizzazione, con metodo di scavo tradizionale, delle gallerie naturali previste nel presente lotto 1, e gli scavi a cielo aperto, (come le opere di imbocco), che prevedono sbancamenti con altezze importanti.

2 MONITORAGGIO IN SOTTERRANEO (METODO DI SCAVO TRADIZIONALE)

Per gli avanzamenti in sotterraneo, con metodo di scavo tradizionale, il programma di monitoraggio previsto si articola in:

- Indagini in avanzamento sistematiche, dai fronti di scavo, al fine di individuare con anticipo passaggi imprevisi, zone di fratturazione, cavità, venute d'acqua, etc..;
- stazioni di misura sistematiche delle convergenze;
- rilievo geologico sistematico dei fronti di scavo (all. 1);
- eventuali sondaggi a carotaggio continuo, prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio;
- stazioni principali, prevedenti la misura dello stato deformativo dell'ammasso al contorno, con eventuali misure di estrusione al fronte, dello stato tensio deformativo dei rivestimenti di prima fase e definitivi, nonché delle altezze piezometriche presenti al contorno del cavo;
- misure piezometriche e di portata delle sorgenti in superficie e misure di portata in galleria (MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO);
- monitoraggio di superficie mediante misure topografiche, piezometriche ed inclinometriche (zona imbocco Sud g. S. Pietro – Frana Marogna).

Nei paragrafi che seguono vengono indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma predisposto. L'insieme di questi dati concorrerà alla determinazione

delle informazioni necessarie per la gestione dell'applicazione delle sezioni tipo e per la definizione dell'intensità degli interventi e delle cadenze lavorative.

2.1 INDAGINI IN AVANZAMENTO

2.1.1 PERFORAZIONI IN AVANZAMENTO

Al fine di verificare, in anticipo rispetto all'arrivo del fronte di scavo, soprattutto la presenza di possibili venute d'acqua, (da fasce di fratturazione e/o da cavità carsiche), si prevede l'esecuzione sistematica di n° 6 perforazioni in avanzamento, a distribuzione di nucleo, aventi ciascuna lunghezza $L \geq 27\text{m}$ e sovrapposizione $s \geq 9\text{m}$.

Le caratteristiche geometriche delle perforazioni sono illustrate in dettaglio negli specifici elaborati grafici di progetto, di cui si riporta uno stralcio in figura 2.1 e 2.2

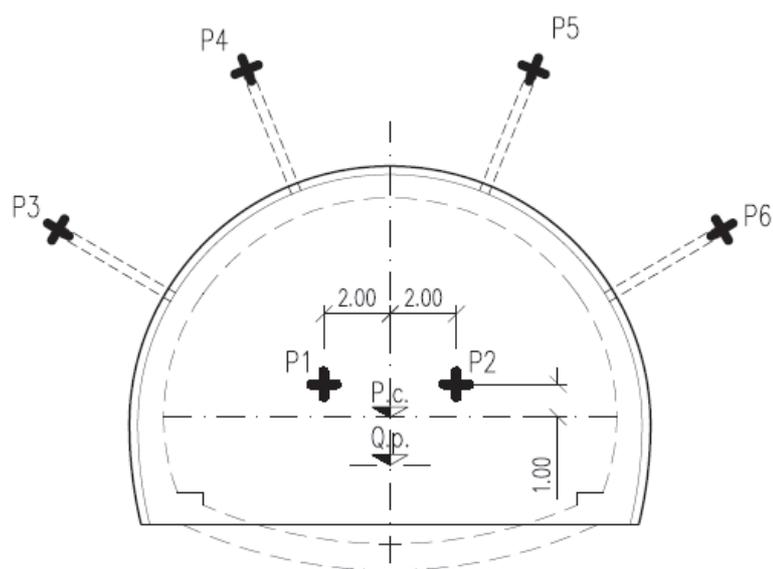


Figura 2.1 Perforazioni in avanzamento. Schema in sezione trasversale

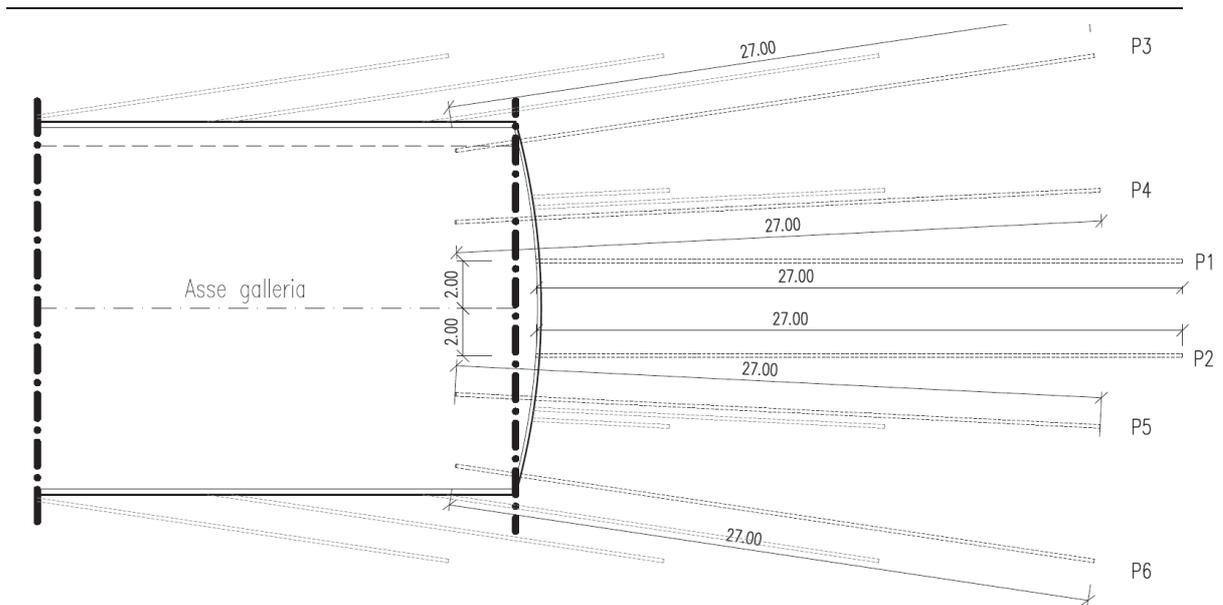


Figura 2.2 Perforazioni in avanzamento. Schema posizionamento fori – planimetria

2.1.2 MISURE DI PORTATA IN CASO DI VENUTE D'ACQUA

In presenza di acqua intercettata dalle perforazioni in avanzamento sarà necessario eseguire misure di portata (mediante misuratore di portata a stramazzo nell'area prossima al fronte o con contatore a valle delle tubazioni di aggotamento delle acque e di pressione (con manometri da installarsi a bocca foro delle perforazioni in avanzamento). Per le venute d'acqua significative la misurazione delle portate andrà proseguita anche in seguito al progressivo allontanamento del fronte, per una quantificazione delle venute d'acqua provenienti da ogni singola tratta (mediamente ogni 10 m di galleria) ed anche, complessivamente, lungo tutto il cavo.

2.1.3 INDAGINI SISMICHE IN AVANZAMENTO

Inoltre, in presenza di cavità carsiche rilevate dalle perforazioni in avanzamento, saranno da prevedersi indagini sismiche in avanzamento.

Le caratteristiche geometriche delle indagini sismiche sono illustrate in dettaglio negli specifici elaborati grafici di progetto, di cui si riporta uno stralcio in figura 2.3 e 2.4.

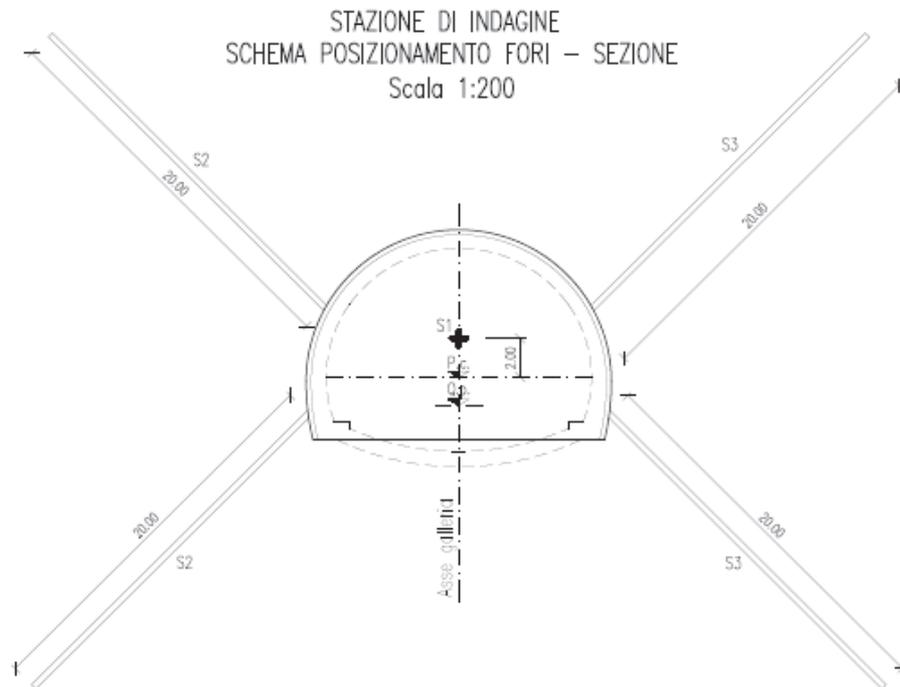


Figura 2.3 Indagini sismiche in avanzamento. Schema in sezione trasversale

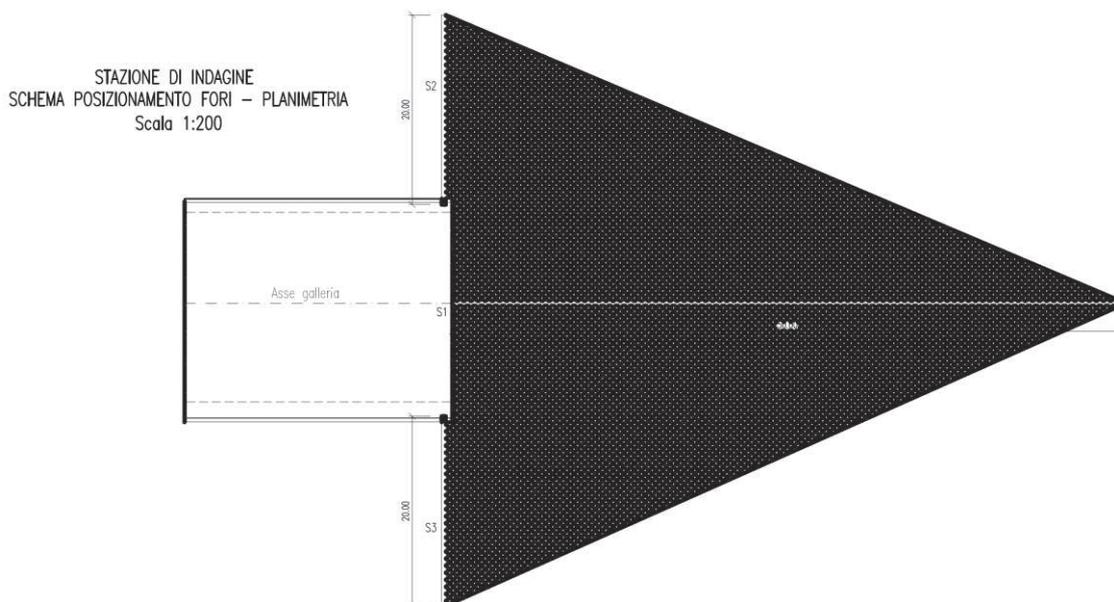


Figura 2.4 Indagini sismiche in avanzamento. Schema in planimetria

Le soluzioni progettuali da mettere in opera in seguito al riscontro di faglie, cavità, venute d'acqua, sono indicate negli specifici elaborati di progetto (vedi Relazione Tecnica, Idrogeologica ed Elaborati grafici).

2.2 STAZIONI DI MISURA DELLE CONVERGENZE

Il progetto prevede una sistematica verifica in corso d'opera, durante la fase di scavo delle gallerie, della risposta deformativa dell'ammasso e delle strutture di rivestimento nei confronti delle condizioni geomeccaniche effettivamente incontrate nella galleria, consentendo la taratura delle tecnologie esecutive e l'affinamento delle soluzioni progettuali adottate.

Per condurre questo lavoro, che rappresenta una vera e propria appendice della progettazione, è necessario disporre lungo il tracciato della galleria di un congruo numero di sezioni strumentate, per poter raccogliere i dati sul comportamento del sistema statico costituito dai rivestimenti di prima fase e dall'ammasso roccioso prospiciente la cavità.

I dati così raccolti, permetteranno sia il controllo diretto e quanto più possibile immediato degli effetti dell'avanzamento della galleria, verificando che i valori di tensione e deformazione instauratisi siano compatibili con gli interventi adottati, sia l'estrapolazione degli stessi, in particolare quelli provenienti dai primi avanzamenti, anche per le tratte di galleria ancora da scavare.

Per fare sì che i dati provenienti dai controlli in corso d'opera siano da considerarsi attendibili e comunque facilmente controllabili, è necessario che:

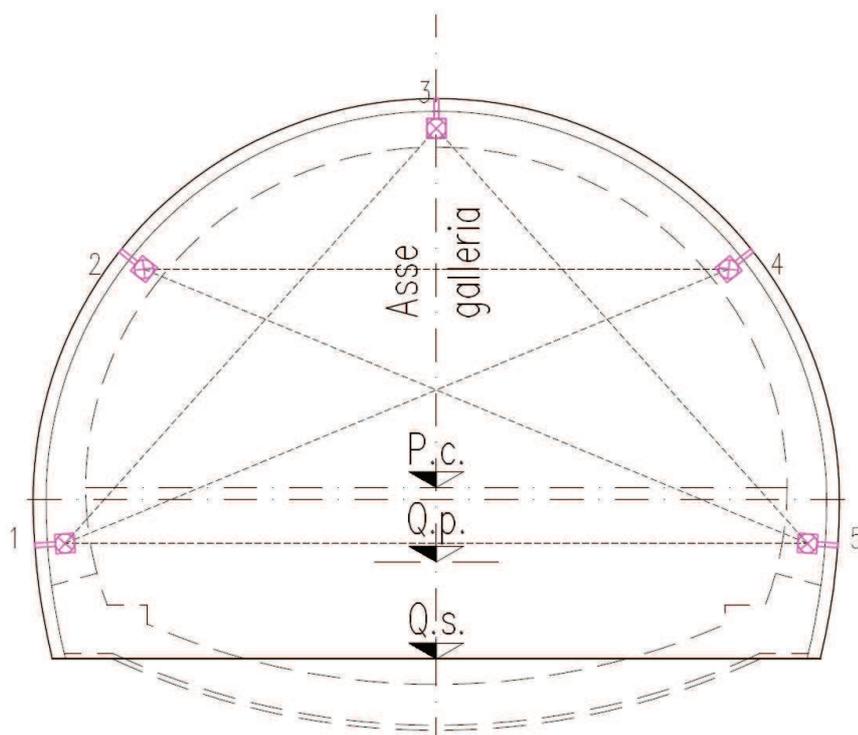
- le strumentazioni impiegate siano affidabili
- le strumentazioni impiegate siano poste in opera correttamente
- l'installazione degli strumenti sia documentata accuratamente
- le strumentazioni impiegate siano tra loro differenziate
- le grandezze misurate siano tra loro facilmente correlabili
- le sezioni strumentate siano poste in opera in numero congruo
- le sezioni strumentate siano accuratamente documentate da un punto di vista geologico-geomeccanico
- le letture siano condotte secondo un programma preciso
- i dati raccolti siano presentati in modo organico e facilmente interpretabile.

In particolare, le stazioni di misura delle convergenze, e comunque della risposta deformativa del cavo, 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 lungo il profilo della sagoma della galleria (2 sui piedritti, 2 sulle reni, 1 in chiave calotta) e attrezzati con mire ottiche rilevabili mediante strumento topografico di precisione. Le basi di misura sono costituite da 5 chiodi di convergenza $L = 80$ cm infissi attraverso lo spritz-beton

del rivestimento di prima fase, 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 (prismi cardanici riflettenti o catadiottri). 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 caposaldi siti in galleria.

La convergenza del cavo si intende riferita al valore medio delle tre misure diametrali condotte, con riferimento a quanto riportato in fig. 2.5.

MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DEL CAVO




 Chiodi o mire ottiche per misure di convergenza

Figura 2.5: stazioni di convergenza

Convergenza diametricale media = $(\text{corda}_{1÷5} + \text{corda}_{1÷4} + \text{corda}_{2÷5}) / 3$

Sarà importante, in corso d'opera, rispettare l'ubicazione delle mire secondo lo schema illustrato in figura, in caso contrario i valori di convergenza rilevati non sarebbero confrontabili con i valori progettualmente attesi e perderebbero di significato.

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 30 m, per le tratte in cui sono previste le sezioni tipo Ab, Ac, B0;
- n. 1 stazione ogni campo di avanzamento (9m), per le tratte in cui sono previste le sezioni tipo B0V, B2V, C1b, C2V.
- Per le tratte con coperture $\leq 50\text{m}$, (vedi zone prossime agli imbocchi), indipendentemente dalla sezione applicata, si dovrà prevedere l'installazione di una stazione di misura ogni 9m circa.

La frequenza dei rilevamenti, da precisare in corso d'opera in funzione della risposta deformativa effettivamente registrata, è la seguente:

- n. 1 misura al giorno fino ad una distanza dal fronte di 20 m, quindi 1 misura alla settimana fino al getto del rivestimento definitivo, per le tratte in cui sono adottate le sezioni tipo Ab, Ac, B0 e la risposta deformativa sia inferiore rispetto alle soglie di attenzione indicate in progetto per la sezione in uso; in caso contrario la frequenza di monitoraggio dovrà essere intensificata adottando frequenze almeno pari a quelle previste nel paragrafo seguente, valutando in corso d'opera necessità di ulteriori adeguamenti.

n. 1 misura al giorno fino ad una distanza dal fronte di 25÷30 m, n. 3 misure alla settimana con il fronte a 45 m, quindi 1 misura alla settimana fino al getto del rivestimento definitivo, per le tratte in cui sono previste le sezioni tipo B0V, B2V, C1b e C2V e la risposta deformativa sia inferiore rispetto alle soglie di attenzione indicate in progetto per la sezione in uso; in caso contrario la frequenza di monitoraggio dovrà essere intensificata secondo cadenze da precisare in corso d'opera .

Ciascuna stazione di misura viene posizionata in prossimità del fronte di scavo, in particolare a circa 1.0 ÷ 3.0 m dal fronte stesso, con immediata lettura di zero.

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

- spostamenti nel piano (deformata);
- spostamenti trasversali dei singoli punti;
- spostamenti verticali dei singoli punti;
- spostamenti longitudinali dei singoli punti;
- convergenza delle corde
- convergenza diametrale media $(corda1 \div 5 + corda1 \div 4 + corda2 \div 5) / 3$
- 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, permettendo l'archiviazione di tali dati anche su supporto informatico.

Dovrà essere sempre indicato l'andamento nel tempo del fronte di scavo (avanzamento) e dei getti dei rivestimenti definitivi, (arco rovescio, murette e calotta)

in modo da poterle mettere immediatamente in relazione con le convergenze misurate.

2.3 RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE DEI FRONTI DI SCAVO

Tali rilievi consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche del fronte di scavo, durante l'avanzamento, secondo le seguenti distinzioni:

- rilievi di tipo “analitico”;
- rilievi di tipo “speditivo”;

Nei rilievi di tipo analitico devono essere descritte in dettaglio le caratteristiche litologiche stratigrafiche e strutturali dell'ammasso, con indicazione della litologia e delle caratteristiche petrografiche, del grado e tipo di compattezza/cementazione, della granulometria, dello stato di alterazione, delle caratteristiche delle discontinuità (tipo, localizzazione, giacitura, geometria, tipo di riempimento, JRC, JCS), della resistenza a compressione della roccia sana, nonché osservazioni sulle venute d'acqua e sugli eventuali distacchi. Durante i rilievi di tipo analitico, si potranno prelevare campioni per prove di laboratorio (prove di classificazione, di compressione, triassiali, di taglio su giunto, di estrusione ...) ed eventualmente eseguire prove in situ (sclerometriche, pressiometriche, dilatometriche, scissometriche...).

Nei rilievi di tipo speditivo, basterà rilevare qualitativamente le caratteristiche litologico-stratigrafiche e strutturali dell'ammasso.

Si prevede la seguente frequenza di rilievi:

- Un rilievo ogni campo, (9m) per le tratte di applicazione delle sezioni tipo B0V, B2V, C1b e C2V;

- Un rilievo ogni 9m anche per le tratte con copertura $\leq 50m$, indipendentemente dalla sezione in uso
- Un rilievo ogni 30m per le tratte di applicazione delle sezioni tipo Ab, Ac, B0;

Ogni 3 rilievi eseguiti consecutivamente, almeno uno deve essere di tipo analitico.

Tali frequenze andranno comunque verificate, ed eventualmente modificate, in corso d'opera, in funzione di eventuali passaggi litologici o stratigrafici di particolare rilevanza.

Nei rilievi di tipo Analitico verrà ricavato il valore di GSI partendo dalla classificazione di Beniaowski e con abaco grafico di confronto.

Nei rilievi di tipo speditivo il valore di GSI sarà stimato con abaco grafico, (vedi allegati).

La presentazione dei dati raccolti dovrà essere predisposta su apposite schede il cui formato è illustrato in ALLEGATO 1 , permettendo l'archiviazione di tali schede anche su supporto informatico.

2.4 SONDAGGI A CAROTAGGIO E PRELIEVO CAMPIONI PER PROVE DI LABORATORIO

In particolari contesti in cui si ritenga necessario un approfondimento di indagine, è da prevedersi l'esecuzione di eventuali sondaggi a carotaggio e/o l'eventuale prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio. In generale ogni 500/600 m di galleria e comunque qualora si evidenzino ai ronti di scavo diversità sostanziali rispetto alle previsioni progettuali, si prevede la realizzazione di N° 1 sondaggio a carotaggio continuo L= 30 ma ca. su cui prelevare n° 5 campioni per eseguire prevalentemente prove di laboratorio di compressione semplice.

I campioni da sottoporre alle prove di laboratorio potranno essere prelevati dalle carote estratte dai sondaggi sopra citati, o direttamente in prossimità dei fronti di scavo.

2.5 STAZIONI DI MONITORAGGIO PRINCIPALI

Le stazioni principali, da realizzarsi all'immediato ridosso del fronte di avanzamento, permettono la misurazione dello stato tenso-deformativo dell'ammasso vicino e lontano dallo scavo appena eseguito, dell'estensione della eventuale zona di plasticizzazione e della sua evoluzione nel tempo. Permette inoltre di misurare lo stato tenso-deformativo dei rivestimenti di prima fase e dei rivestimenti definitivi, nonché la misura delle altezze piezometriche al contorno del cavo.

Parte della strumentazione potrà essere mantenuta anche in esercizio, per il controllo a lungo termine del manufatto. Essa si compone di:

- tre estensimetri multibase (o estensimetri incrementali), di lunghezza pari a 20 m, posti in opera radialmente in zona di calotta e ai piedritti della cavità, immediatamente dopo il passaggio del fronte sulla sezione prescelta; ciascun estensimetro multibase deve avere almeno quattro basi di misura poste come indicato nella figura 2.6 seguente, estratta dagli elaborati progettuali di riferimento;
- Una coppia di piezometri lanciati radialmente dalle reni della cavità, per una lunghezza pari a 15 m per ciascun piezometro (vedi figura 2.6);
- cinque punti per la misura delle convergenze posti sul rivestimento di prima fase ed eventuale estrusometro lanciato in avanzamento dal fronte di scavo (figura 2.7); La misura della convergenza avverrà secondo le modalità di lettura e restituzione dati già descritta al precedente paragrafo 2.2.

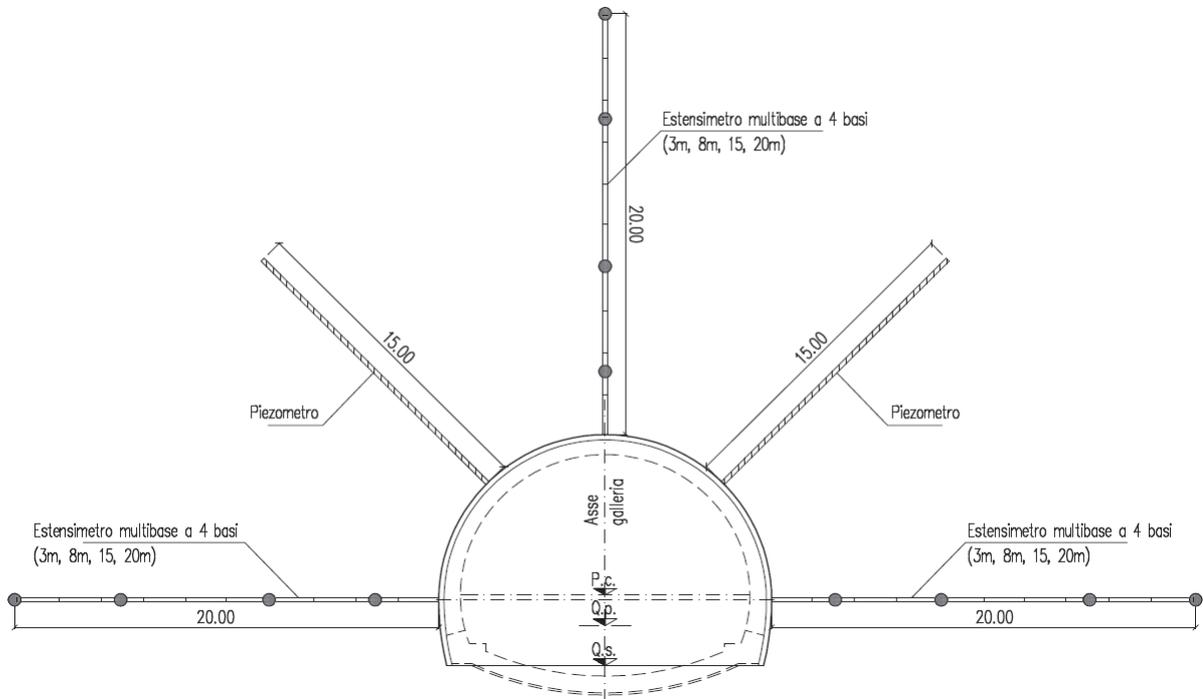
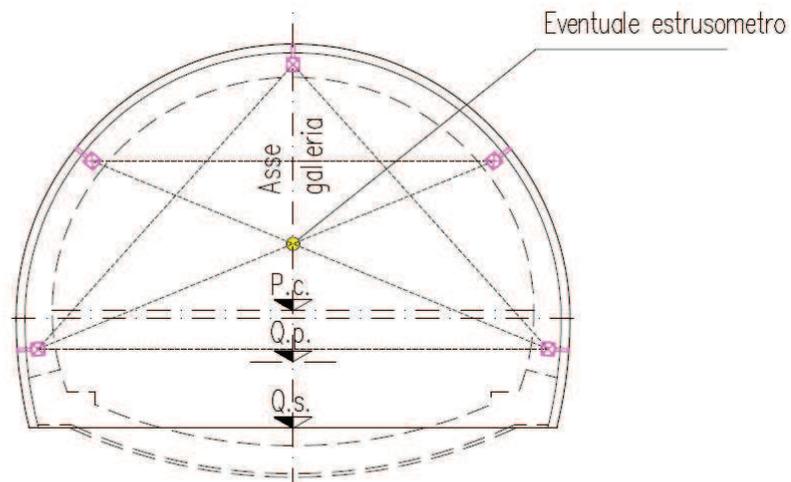


Figura 2.6



 Chiodi o mire ottiche per misure di convergenza

Figura 2.7

- cinque coppie di barrette estensimetriche posizionate sulle ali delle centine metalliche del prerivestimento (Figura 2.8);
- due celle di carico posizionate sotto il piede delle centine ed eventuali anche alle reni, tra le piastre di giunzione delle centine (Figura 2.8);

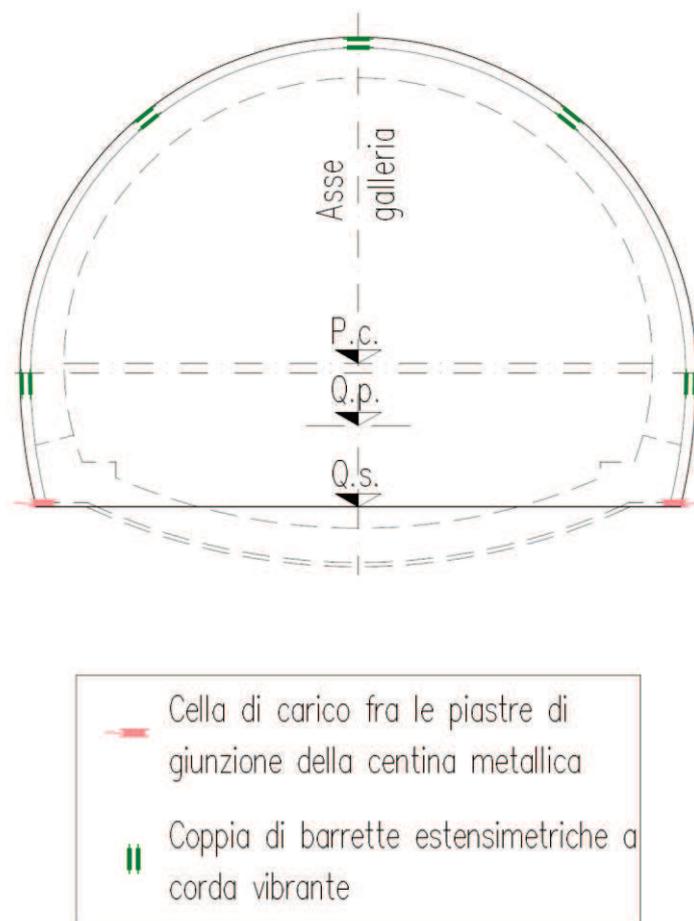


Figura 2.8

- due celle di pressione poste a tergo dei rivestimenti definitivi (Figura 2.9);

- 5 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante che verranno annegate nel rivestimento definitivo; alle due coppie di barrette estensimetriche poste all'altezza dei piedritti, verranno affiancate anche 2 barrette estensimetriche longitudinali (Figura 2.9);
- N° 5 mire o, preferibilmente prismi ottici per il monitoraggio dello stato deformativo del rivestimento definitivo (Figura 2.9);

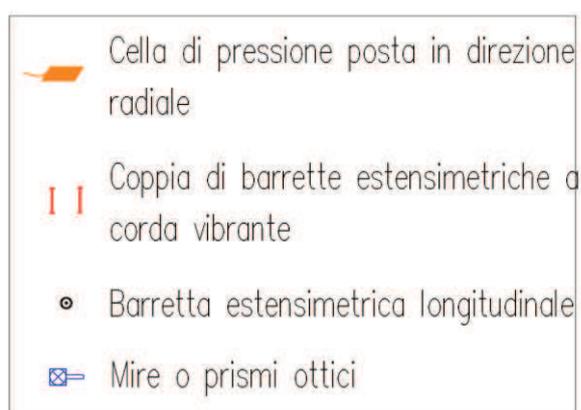
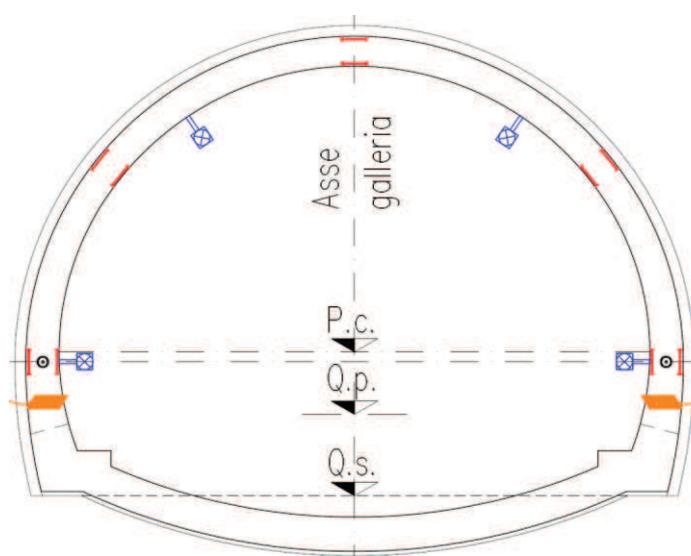


Figura 2.9

Il progetto prevede l'installazione delle stazioni di monitoraggio principali illustrate, in corrispondenza delle faglie principali e nelle tratte caratterizzate da coperture $\leq 50\text{m}$, in prossimità degli imbocchi. Le progressive in cui è indicativamente prevista l'installazione di detta strumentazione, (comunque da affinarsi in corso d'opera in funzione della effettiva zona di intercettazione delle faglie), sono riportate sui profili geomeccanici.

Si descrivono di seguito le caratteristiche di tutta la strumentazione di monitoraggio sopra citata, la cui installazione è prevista nelle stazioni di monitoraggio principali.

2.5.1 ESTENSIMETRI MULTIBASE

L'estensimetro multibase da foro è costituito da una o più aste di vetroresina alla cui estremità è posizionato il punto di misura costituito da una barra in acciaio a aderenza migliorata, ancorata in profondità all'interno di perforazioni e libera di scorrere all'interno di una guaina in nylon rilsan. Le aste trasmettono rigidamente il movimento degli ancoraggi profondi rispetto alla testa. Tali spostamenti relativi sono misurabili utilizzando un semplice calibro oppure possono essere acquisiti utilizzando trasduttori elettrici di spostamento lineare remotizzabili.

Questo strumento consente di rilevare lungo lo stesso asse spostamenti a profondità diverse rispetto alla bocca foro.

L'estensimetro multibase viene largamente impiegato per la misura del bulbo di deformazione in galleria, se eseguito radialmente, o per il calcolo dei cedimenti dovuti allo scavo della galleria se installati a piano campagna.

2.5.2 INSTALLAZIONE

In corso d'opera si potrà adeguare la lunghezza degli estensimetri e il numero delle basi in funzione dell'altezza di copertura e della sezione tipo prevista; ad esempio

nelle tratte a bassa copertura, in prossimità degli imbocchi, la lunghezza dell'estensimetro in zona di calotta andrà convenientemente ridotta in funzione della copertura effettivamente presente alla progressiva di installazione.

Il progetto in linea generale prevede l'installazione di estensimetri radiali di lunghezza pari a 20m dotati ciascuno di 4 basi poste a 3m, 8m, 15m e 20m.

2.5.3 FREQUENZA DI LETTURA E RESTITUZIONE DEI DATI

La frequenza delle letture rispetterà le seguenti cadenze:

- n. 1 lettura ogni giorno con il fronte distante fino a 10 m.
- n. 1 lettura ogni 3 giorni con il fronte distante da 10 m a 30 m.
- n. 1 lettura alla settimana fino a stabilizzazione avvenuta.

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (sito, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo altrimenti indicazioni in merito a passaggi significativi, se eseguito a distruzione di nucleo);
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;
- coordinate assolute della estremità superiore del tubo estensimetrico (guida di riferimento);
- risultati della lettura iniziale di riferimento;
- osservazioni e note eventuali.

I dati vengono graficati nel diagramma “cedimenti verticali - profondità” che permette di valutare l’andamento delle deformazioni dell’ammasso lungo la verticale dello strumento.

2.5.4 MISURE PIEZOMETRICHE AL CONTORNO DEL CAVO

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica delle pressioni neutre al contorno del cavo mediante un’apparecchiatura (piezometro) posta all’interno di un foro di sondaggio eseguito dall’interno della galleria.

Si prevedono 2 piezometri per la predisposta stazione principale.

2.5.5 INSTALLAZIONE

La messa in opera di ciascun piezometro richiede l’esecuzione di un foro di sondaggio, all’interno del quale vengono posizionate le tubazioni e la cella piezometrica.

Si adoterà un tubo cieco e cementato nei primi 5m di lunghezza, partendo dalla cavità e microfessurato nei restanti 10m. La cella piezometrica sarà di tipo elettrico a corda vibrante o a strain-gauges e sarà posta indicativamente a +5 m dal paramento del cavo, all’interno dei tubi radiali sopra descritti

2.5.6 FREQUENZA DI LETTURA E RESTITUZIONE DEI DATI

A seguito dell’installazione e delle successive manovre di spurgo si procede alla lettura di riferimento.

Le successive letture avverranno con cadenza indicativamente settimanale. Si valuterà in corso d’opera la necessità di tarare le frequenze di lettura sopra indicate.

Il sistema di acquisizione si compone di un manometro e di un'unità di lettura elettronica dedicata in grado di alimentare i trasduttori e di visualizzare su display alfanumerico il segnale di ritorno.

Il sistema di elaborazione dati avviene su software apposito e si dovranno fornire i diagrammi ed i tabulati relativi alle variazioni della pressione neutra in funzione del tempo.

2.5.7 STAZIONI DI MISURA DELLE CONVERGENZE

Le modalità di installazione e di lettura e restituzione dei dati seguono quanto già descritto al precedente paragrafo 2.2

2.5.8 MISURE DI ESTRUSIONE ESTENSIMETRICHE

La determinazione della distanza di influenza entro la quale si manifestano gli effetti dello scavo, nel volume di ammasso situato nel nucleo di avanzamento, oltre il fronte, è l'obiettivo principale di questo tipo di monitoraggio. Queste misure di spostamento dell'ammasso roccioso a seguito dell'avanzamento del fronte di scavo, congiuntamente alle misure di convergenza, consentiranno di valutare il comportamento tenso-deformativo dell'ammasso nella zona più prossima al fronte di scavo (estrusioni).

2.5.9 INSTALLAZIONE

L'elemento di misura è costituito da una serie di tubi in PVC di lunghezza pari a un metro e di diametro interno pari a circa 60 mm, opportunamente assemblati per raggiungere la lunghezza desiderata. Gli spezzoni di tubo sono forniti di manicotti che fungono sia da collegamento che da base per la battuta della sonda. L'installazione del tubo si completa con la cementazione dello strumento all'interno del foro. Le misure all'interno del tubo saranno effettuate per mezzo di sonda

manuale in grado di rilevare sia gli spostamenti planimetrici per tutta la lunghezza del tubo con passo di 1 metro

La colonna estensimetrica deve essere installata in un foro con diametro minimo di 100 mm. Precedentemente e/o contemporaneamente all'esecuzione del sondaggio si devono assemblare i vari spezzoni di tubo estensimetrico secondo la seguente procedura :

- collegare due tubi estensimetrici tramite l'apposito manicotto. Il collegamento viene eseguito grazie agli appositi quattro fori circolari i quali devono coincidere con le rispettive sedi presenti nel tubo che viene infilato nel manicotto;
- Sulla testa del tubo che viene infilato nel manicotto deve essere spalmato uno strato di silicone;
- inserire le viti a brugola nei quattro fori del manicotto ed avvitarle fino a portarle a filo del manicotto stesso, senza forzarle nelle loro sedi;
- sigillare con nastro adesivo la giunzione dei due tubi così uniti al fine di impedire l'entrata di boiaccia all'interno della colonna estensimetrica;
- prendere un terzo tubo e collegarlo agli altri due seguendo le istruzioni suddette;
- ripetere le operazioni sopra descritte per gli altri spezzoni fino a raggiungere la lunghezza necessaria ma senza assemblare insieme più di tre tubi alla volta;
- collegare la cannetta di sfiato (costituita da materiale in PEAD PN6-10 DN 16-20) al tubo di fondo foro tramite robusti legacci realizzati con nastro adesivo o fascette tenditrici;
- calare nel foro i primi tre spezzoni di tubi, tra loro precedentemente assemblati, insieme alla cannetta di sfiato già ad essi collegata;
- calare nel foro altri tre metri di tubo, collegandoli direttamente a quelli già presenti nel foro attraverso il manicotto e seguendo le istruzioni precedentemente descritte;

-
- contemporaneamente calare nel foro anche la cannetta di iniezione e collegarla alla tubazione tramite nastro adesivo o fascette tenditrici;
 - ripetere le ultime tre operazioni precedentemente descritte fino a raggiungere la bocca foro avendo collegate negli ultimi 3 metri di tubo, anche la cannetta corta di iniezione ;
 - prima di procedere all'iniezione della boiaccia cementizia si deve realizzare un tappo a bocca foro, (cianfrinatura), utilizzando cemento a presa rapida;
 - iniettare a partire dalla cannetta corta la boiaccia cementizia;
 - a livello di riempimento raggiunto e stabilizzazione avvenuta, si deve procedere al lavaggio dell'interno del tubo strumentato al fine di eliminare eventuale sporcizia.
 - Lettura di zero da eseguirsi, atteso un congruo tempo per la maturazione della boiaccia, prima di riprendere gli avanzamenti

2.5.10 FREQUENZA DI LETTURA E RESTITUZIONE DEI DATI

Attesa la maturazione dell'iniezione si procede alla lettura di riferimento prima della ripresa dell'avanzamento.

Per i primi 2 campioni di avanzamento le letture vanno così cadenzate:

- lettura di zero prima di rompere il tampone e riprendere l'avanzamento
- lettura a metà campo di avanzamento, previa messa in sicurezza del fronte con adeguato disaggio e tampone di spritz beton;
- lettura a fine campo di avanzamento, previa messa in sicurezza del fronte con adeguato disaggio e tampone di spritz beton;
- lettura prima dell'inizio del campione di scavo successivo.

Nel caso avvengano fermi delle lavorazioni superiori a 24 h, si dovrà eseguire, previa messa in sicurezza del fronte con disaggio e adeguato tampone di spritz beton, una lettura subito dopo il fermo e subito prima della ripresa delle attività.

Le suddette frequenze e l'eventuale prosecuzione delle misure potranno essere modificate in corso d'opera.

La documentazione relativa all'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio, altrimenti, se eseguito a distruzione, indicazioni in merito a cambiamenti litologici o geomeccanici particolarmente evidenti)
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;
- Schema grafico con indicazione dell'ubicazione dello strumento sul fronte;

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- spostamenti relativi di ciascuna coppia di ancoraggi adiacenti in funzione della profondità (grafico degli spostamenti differenziali);
- sommatoria degli spostamenti differenziali (spostamenti integrali), rispetto alla base più profonda che viene ipotizzata fissa.

I dati rilevati saranno elaborati mediante l'ausilio di un software dedicato che permetterà la restituzione tramite elaborati grafici da allegare ai tabulati numerici. Questi ultimi dovranno essere forniti anche su supporto informatico in formato testo.

2.5.11 MISURA DELLO STATO TENSIONALE DEL PRERIVESTIMENTO CON BARRETTE ESTENSIMETRICHE

Si prevede l'utilizzo di barette estensimetriche a corda vibrante da saldarsi sulle ali delle centine per la determinazione della deformazione nei prerivestimenti. Si ingloba nel corpo strumentale un termistore per la misura della temperatura. Si prevede la presenza di un filo di acciaio tra due estremità sul supporto da monitorare del quale si misurano le deformazioni ottenute in seguito ad una eccitazione del cavo causata da un input elettrico.

2.5.12 INSTALLAZIONE DELLE BARRETTE ESTENSIMETRICHE A CORDA VIBRANTE

Si prevede l'installazione di 5 coppie di barrette estensimetriche (1 in calotta, 2 alle reni e 2 sui piedritti) posizionate nel prerivestimento.

Le barrette estensimetriche sono composte da una barra in acciaio zincato di sezione rettangolare forata all'estremità per permettere la connessione di eventuali prolunghe ed alla quale sono applicati, nella parte centrale, estensimetri elettrici. La disposizione degli estensimetri deve permettere di compensare il segnale elettrico dagli effetti termici e dalla flessione. Strati sovrapposti di resine sono posti a protezione della parte sensibilizzata della barra per preservarne la funzionalità in caso di urti o immersione.

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, (una barretta in intradosso e una in estradosso), 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.

2.5.13 FREQUENZA DEI RILEVAMENTI E RESTITUZIONE DEI DATI

Il sistema di elaborazione dati richiede la creazione di diagrammi e tabulati numerici dell'andamento del carico e delle tensioni in funzione del tempo ed in funzione della distanza dal fronte di scavo.

La frequenza delle letture rispetterà le seguenti cadenze:

- n. 1 lettura ogni giorno con il fronte distante fino a 10 m.
- n. 1 lettura ogni 3 giorni con il fronte distante da 10m a 30 m.
- n. 1 lettura alla settimana fino a stabilizzazione avvenuta.

2.5.14 MISURA DELLO STATO TENSIONALE DEL PRERIVESTIMENTO CON CELLE DI CARICO

Si prevede inoltre l'utilizzo di celle di carico installate tra le piastre di giunzione delle centine o sotto il piede delle centine, al fine di misurare il grado di carico al quale è sottoposto il profilato metallico.

2.5.15 INSTALLAZIONE DELLE CELLE DI CARICO

Saranno installate 2 celle di carico poste sotto al piede delle centine (ed eventuali celle di carico fra le piastre di giunzione delle centine ad altezza delle reni).

La cella di carico tipo è costituita da un corpo in acciaio inossidabile sensibilizzato da una serie di griglie estensimetriche (strain-gauges) applicate alla superficie interna del corpo stesso e 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.

Le celle di carico vengono impiegate fra le piastre di giunzione delle centine o sotto al piede delle centine stesse per valutare il carico e quindi la pressione a cui esse sono sottoposte.

2.5.16 FREQUENZA DEI RILEVAMENTI E RESTITUZIONE DEI DATI

Il sistema di elaborazione dati richiede la creazione di diagrammi e tabulati numerici dell'andamento del carico e delle tensioni in funzione del tempo ed in funzione della distanza dal fronte di scavo.

La frequenza delle letture rispetterà le seguenti cadenze:

- n. 1 lettura ogni giorno con il fronte distante fino a 10 m.
- n. 1 lettura ogni 3 giorni con il fronte distante da 10m a 30 m.
- n. 1 lettura alla settimana fino a stabilizzazione avvenuta.

2.5.17 CELLE DI PRESSIONE PER CLS DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

La cella di pressione consiste in un piatto di forma rettangolare o circolare, riempito di olio e collegato ad un trasduttore di pressione elettrico o a corda vibrante mediante un tubo idraulico. La pressione che grava nel rivestimento definitivo viene trasmessa all'olio di cui è riempita la cella e viene misurata in modo elettrico la deformazione del diaframma sensibilizzato che costituisce il trasduttore di pressione.

2.5.18 INSTALLAZIONE DELLE CELLE DI PRESSIONE

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- una corretta installazione deve essere eseguita in modo che l'accoppiamento tra la cella e il getto di calcestruzzo sia garantito perfettamente.
- fissare la cella, mediante della legatura metallica, all'armatura o a rinforzi metallici del calcestruzzo o agli anelli di rinforzo della struttura. La cella deve essere fissata molto bene in modo da evitare che cambi posizione durante le fasi di cementazione;
- fissare il tubo idraulico di ripressurizzazione della cella ad una struttura di rinforzo (centina, rete o tubo di protezione), in modo tale da evitare stiramenti, proteggendolo con un leggero strato di malta;
- portare le terminazioni idrauliche in un punto facilmente accessibile per potere eventualmente ripressurizzare le celle;
- svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla Unità di Acquisizione Dati fissandoli mediante legature di ferro al paramento della galleria.

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- Codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico di installazione degli strain meters e delle celle di pressione all'interno del rivestimento definitivo con indicazione dell'orientazione e della posizione;
- documentazione tecnica relativa agli strumenti installati rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura dei singoli strumenti, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.
- risultati della lettura iniziale (lettura di zero)
- documentazione di eventuali misure di controllo effettuate;

2.5.19 FREQUENZA DEI RILEVAMENTI E RESTITUZIONE DEI DATI

Il numero minimo dei rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento, è il seguente:

- letture ogni 4 ore (con centralina di acquisizione automatica), a partire dal momento in cui viene scasserato il concio di cls, per i primi 28 giorni. Tali letture permetteranno di valutare le deformazione all'interno della struttura in concomitanza con i fenomeni di ritiro ed escursione termica tipici del calcestruzzo in fase di maturazione.
- a partire dal 28° giorno saranno effettuate letture manuali a cadenza settimanale per i primi 2 mesi e mensile per quelli successivi.

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

-
- pressioni in funzione del tempo e in funzione della distanza dal fronte di scavo (per le celle di pressione);

Ad ognuno dei grafici funzione del tempo dovrà essere associato un grafico che riporti il graduale avanzamento nel tempo delle diverse fasi esecutive (avanzamento del fronte di scavo, scavo dell'arco rovescio, getto dell'arco rovescio, getto delle murette, getto della calotta). La restituzione dei dati deve avvenire sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo ed excel.

2.5.20 BARRETTE ESTENSIMETRICHE A CORDA VIBRANTE ENTRO IL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

2.5.21 INSTALLAZIONE

Si prevede l'installazione di 5 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante all'interno del rivestimento definitivo e si prevede inoltre l'adozione di barrette supplementari, disposte longitudinalmente, al fine di determinare la variazione della temperature all'interno del rivestimento e gli effetti del ritiro.

E' previsto un filo d'acciaio tensionato tra due estremità fisse sul supporto da monitorare, le deformazioni del supporto modificheranno le tensioni presenti e tramite la misura della tensione si ottiene le deformazione alla quale è soggetto il supporto.

2.5.22 FREQUENZA DEI RILEVAMENTI E RESTITUZIONE DEI DATI

Il numero minimo dei rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento, è il seguente:

- letture ogni 4 ore (con centralina di acquisizione automatica), a partire dal momento in cui viene scasserato il concio di cls, per i primi 28 giorni. Tali letture permetteranno di valutare le deformazione all'interno della struttura in

concomitanza con i fenomeni di ritiro ed escursione termica tipici del calcestruzzo in fase di maturazione.

- a partire dal 28° giorno saranno effettuate letture manuali a cadenza settimanale per i primi 2 mesi e mensile per quelli successivi.

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- deformazioni (micro ε) in funzione del tempo e in funzione della distanza dal fronte di scavo (per gli estensimetri a corda vibrante);

Ad ognuno dei grafici funzione del tempo dovrà essere associato un grafico che riporti il graduale avanzamento nel tempo delle diverse fasi esecutive (avanzamento del fronte di scavo, scavo dell'arco rovescio, getto dell'arco rovescio, getto delle murette, getto della calotta). La restituzione dei dati deve avvenire sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo ed excel.

2.5.23 MIRE E PRISMI OTTICI SUL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Tali misure consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica degli spostamenti nel piano trasversale alla galleria, in direzione verticale e orizzontale di 4 punti per ogni stazione di misura (due in calotta e due sui piedritti) posizionati sul rivestimento definitivo ed attrezzati con mire ottiche, o preferibilmente microprismi ottici, rilevabili mediante strumento topografico di precisione.

2.5.24 INSTALLAZIONE

I prismi ottici dovranno essere ancorati solidalmente al rivestimento definitivo, nella sezione da monitorare, rispettando la disposizione indicata negli elaborati grafici di progetto.

2.5.25 FREQUENZA DEI RILEVAMENTI E RESTITUZIONE DEI DATI

La lettura di zero viene eseguita all'atto del disarmo dei getti.

Successivamente l'intensità delle letture sarà la seguente:

- 1 misura alla settimana per il primo mese
- 1 misura al mese fino al termine dei lavori

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 caposaldi siti in galleria. La misura permette di risalire alle coordinate spaziali delle basi con tolleranza ± 2 mm.

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo degli spostamenti verticali e trasversali, dell'andamento della deformata,

della velocità di convergenza e delle fasi esecutive principali. I dati elaborati per ciascuna misura di ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo. Si richiede una copia di tali dati anche su supporto informatico.

2.6 MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO

Sarà da prevedersi un monitoraggio finalizzato alla misura delle portate e delle caratteristiche qualitative delle venute d'acqua sia in galleria che in superficie mediante il controllo dei piezometri, pozzi sorgenti e corsi d'acqua ubicati in un intorno significativo dell'opera (circa 1 Km a cavallo del tracciato delle gallerie).

Al fine di effettuare le necessarie correlazioni tra le variazioni piezometriche e le lavorazioni in sotterraneo e quindi verificare e/o tarare il modello idrogeologico di progetto nonché consentire di tarare i valori di soglia delle grandezze idrauliche da tenere sotto controllo in superficie e in galleria, risulterà necessario effettuare le seguenti misure:

- Un monitoraggio ante – operam rilevando, per un periodo di almeno un anno prima dell'inizio delle lavorazioni di costruzione dell'opera, i valori di portata di pozzi e sorgenti ed i livelli di falda nei piezometri. La frequenza di misura dovrà essere tale da consentire uno studio di correlazione tra i livelli di falda e gli eventi meteorici. A tale scopo si propone di attrezzare i piezometri con trasduttori elettrici in modo tale da consentire una acquisizione con cadenza settimanale; i piezometri utili per tale monitoraggio saranno tutti quelli attualmente funzionanti e alcuni piezometri integrativi già previsti nel PMA. Si propone altresì, compatibilmente con la possibilità di accesso e registrazione dei dati, di consentire un monitoraggio delle portate con frequenza settimanale/quindicinale, anche per tutte o alcune delle seguenti sorgenti, utilizzate a scopo potabile che, dalle analisi condotte nella Relazione Idrogeologica sono risultate, senza considerare l'effetto degli interventi progettuali finalizzati a minimizzare l'impatto idrogeologico, con rischio di impatto medio-alto: Sorgente e pozzi Rutello, sorgente Pedescala, Bellasio per Righele, Pozzo Veronica, sorgenti Valpegara; si aggiungano anche i Pozzi

Scalini 1 e 2, per i quali, pur essendo caratterizzati da rischio di impatto basso, è richiesto un monitoraggio dalle prescrizioni CIPE. Per tutti gli altri punti d'acqua si manterrà comunque una frequenza di misura almeno mensile.

- Saranno anche registrate le principali caratteristiche qualitative delle acque quali temperatura (dell'acqua e dell'aria al momento del prelievo), conducibilità elettrica, pH etc., con eventuali analisi sul chimismo se disponibili.
- Un monitoraggio durante la fase costruttiva, rilevando i valori di portata delle venute d'acqua significative in galleria e la portata di pozzi, sorgenti nonché i livelli piezometrici, secondo le seguenti frequenze.
 - In galleria: misura quotidiana delle venute d'acqua significative
 - In superficie:
 - Frequenza settimanale quando la sorgente/pozzo è ad una distanza dal fronte e dal tratto di galleria non rivestito > del Raggio di influenza R_t , valutato per ciascuna risorsa idrica (estensione orizzontale, da asse tracciato, della zona in cui si può verificare depressione della falda). Cautelativamente verrà preso il valore di R_t valutato senza considerare gli interventi progettuali di mitigazione – vedi figura 8.8 della Relazione Idrogeologica). Frequenza di due-tre misure a settimana quando la distanza sopra descritta è < R_t
 - Per i piezometri, la frequenza sarà settimanale quando la distanza tra piezometro e fronte galleria o tratto non rivestito è >750m e di due-tre letture a settimana se tale distanza è <750m.

A tale proposito tutti i piezometri saranno attrezzati con trasduttori elettrici.

Ove possibile saranno anche registrate le principali caratteristiche qualitative delle acque quali temperatura (dell'acqua e dell'aria), conducibilità elettrica, pH etc..

- Sarà inoltre da prevedersi anche un monitoraggio post-operam, prolungato per almeno 2 anni, al fine di consentire un confronto con le condizioni ante-operam.

I punti d'acqua da monitorare, indicativamente scelti nell'ambito di un intorno significativo dell'opera (circa 1 Km a cavallo del tracciato), saranno quelli presi in esame per la valutazione delle condizioni di vulnerabilità degli stessi, nella Relazione Idrogeologica, valutando comunque, in accordo con le ARPA locali, la necessità di ulteriori ampliamenti/approfondimenti nella loro definizione, secondo i seguenti criteri, in ordine di priorità:

1. presenza di una pericolosità d'isterilimento;
2. sorgenti captate e loro utilizzo;
3. portata più elevata;
4. vicinanza con le opere in progetto;
5. contesto idrogeologico.

3 MONITORAGGIO IMBOCCHI

In corrispondenza delle opere di imbocco si prevede la predisposizione di un piano di monitoraggio finalizzato al controllo dei fenomeni deformativi indotti dagli scavi per la realizzazione delle opere.

La strumentazione predisposta è relativa al controllo dei seguenti parametri:

- deformazioni delle paratie; al fine di verificare la rispondenza con le previsioni di progetto e validare le assunzioni geotecniche in termini di caratterizzazione geotecnica e spinte sulle opere;
- tassi di lavoro dei tiranti di ancoraggio; al fine di verificare l' idoneità degli interventi di contrasto secondo le previsioni di progetto e di verificarne la funzionalità ed efficacia;
- deformazioni profonde del versante; per verificare che gli scavi per la realizzazione delle nuove opere non inneschino importanti fenomeni gravitativi nei versanti retrostanti;
- deformazioni superficiali del terreno, mediante riferimenti topografici; finalizzato a misurare i fenomeni di cedimenti sui versanti a tergo degli imbocchi.

A tal fine è stata prevista la messa in opera di:

- inclinometri
- targets topografici per la rilevazione degli spostamenti della paratia;
- celle di carico toroidali per la rilevazione del tasso di lavoro delle teste dei tiranti e per la loro evoluzione nel tempo;

L'installazione degli inclinometri e la lettura dei rispettivi dati dovrebbe preferibilmente precedere di almeno sei mesi l'attivazione dei lavori (monitoraggio

ante-operam); quelle relative agli altri strumenti procederanno contestualmente alla progressione dei lavori degli imbocchi.

La disposizione geometrica delle mire ottiche, delle celle di carico e della strumentazione inclinometrica, è indicativamente riportata nelle figure 3.1 e 3.2 di seguito riportate e comunque indicata nel dettaglio, per le opere di imbocco di ciascuna galleria, nei relativi elaborati grafici.

Per gli imbocchi ad attacco diretto o comunque per tutte le opere di sbancamento, sarà comunque prevista l'installazione di mire ottiche disposte nel versante sovrastante e prospiciente l'area di imbocco, nonché nell'area direttamente interessata dagli sbancamenti, con disposizione geometrica tale da consentire una valutazione immediata del tipo di movimento del versante roccioso interessato dalle operazioni di progressivo ribasso (Figura 3.3); in aggiunta a tali strumenti di monitoraggio topografico si potrà valutare la necessità di predisporre anche la posa di strumentazione inclinometrica.

3.1 FREQUENZA DEI RILEVAMENTI

La cadenza della misure è quella di seguito elencata:

- Durante le fasi di abbassamento dello scavo fino alla quota di imposta, una lettura al giorno durante le fasi di ribasso in senso stretto ed il primo giorno successivo alle stesse e una lettura a settimana durante l'esecuzione di tiranti, drenaggi, consolidamenti in genere;
- una lettura al giorno, (riconducibile a una-due letture alla settimana nel caso di valori sostanzialmente stabili), durante le fasi di realizzazione della dima.
- Una lettura al giorno durante l'avanzamento dei primi 30 metri di galleria naturale;

- Lettura di verifica, con frequenza mensile (eventualmente intensificata in funzione della risposta deformativa registrata), fino al getto della galleria artificiale.

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO

TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

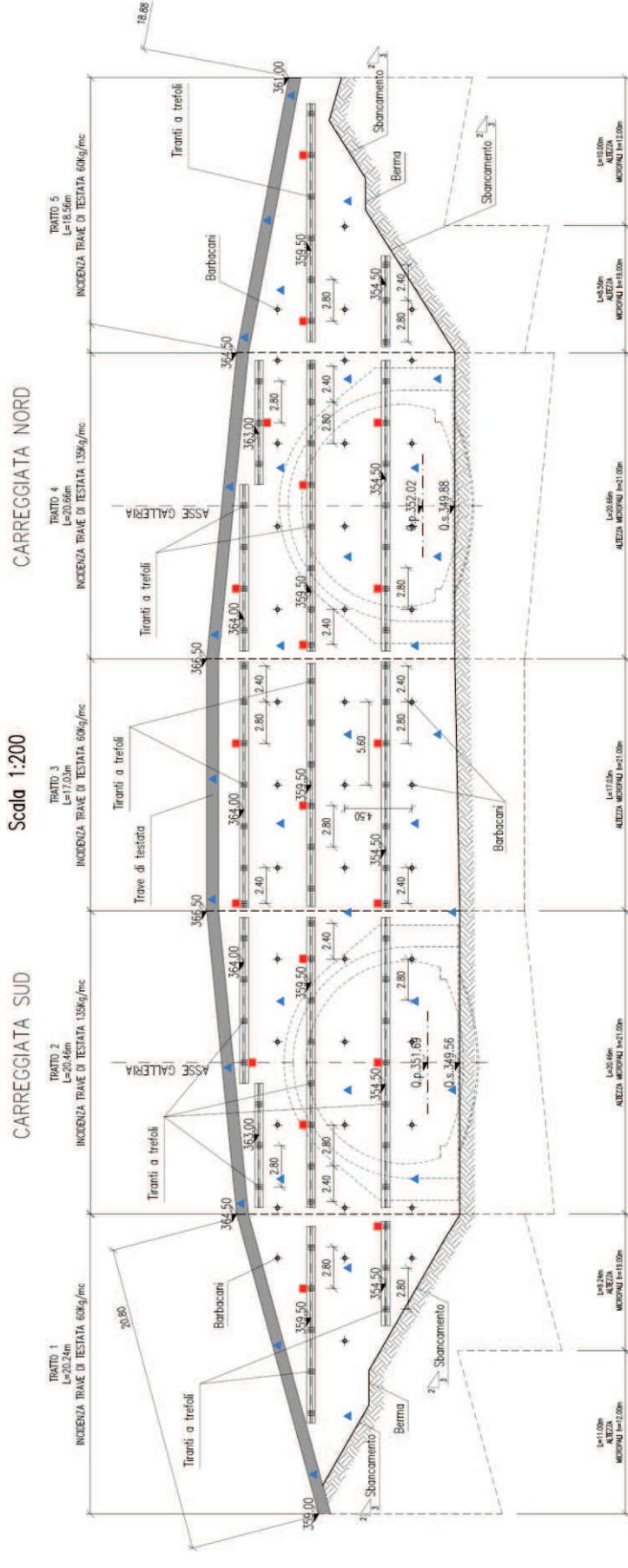


Figura 3.1 – Monitoraggio paratia di imbocco – sviluppata

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO

TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE



Figura 3.2 – Monitoraggio paratia di imbocco – vista planimetrica

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

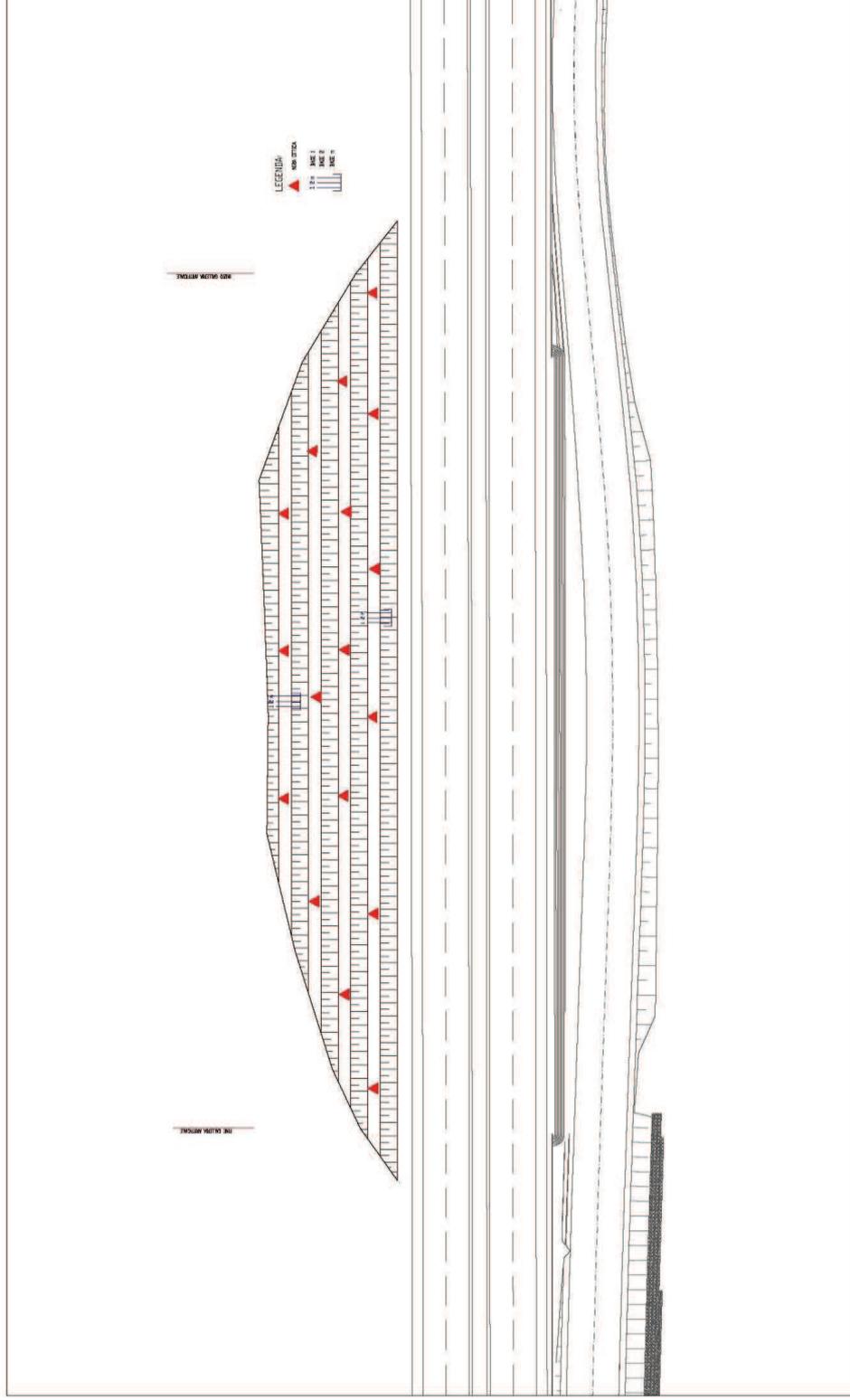


Figura 3.3 – Monitoraggio imbocchi ad attacco diretto o porzioni di versante interessate da sbancamenti

Si descrivono di seguito le caratteristiche salienti della strumentazione sopra descritta:

3.2 MIRE OTTICHE

Le opere di sostegno dovranno essere strumentate attraverso la messa in opera di misuratori di spostamento topografici.

I riferimenti topografici saranno scelti in modo da garantire una precisione di misura di ± 1 mm, in funzione della posizione e della distanza di lettura.

3.2.1 INSTALLAZIONE

L'installazione dei riferimenti di misura topografica dovrà essere realizzata secondo le consuete procedure in funzione della tipologia scelta, previo tracciamento topografico delle posizioni di installazione.

Al termine delle operazioni di posa potrà essere realizzata la prima livellazione topografica di riferimento per i successivi rilievi (lettura di zero). I caposaldi di riferimento dovranno essere in posizione stabile, scelta in modo tale che i capisaldi non risentano delle operazioni di scavo della paratia. Eventuali spostamenti dei capisaldi dovranno essere minimi e comunque controllabili topograficamente con altri riferimenti certi.

I caposaldi di riferimento dovranno essere installati prima dell'esecuzione dello scavo di sbancamento della paratia e controllati periodicamente in modo da accertare la loro condizione di stabilità

3.2.2 RESTITUZIONE DATI

I riferimenti così installati dovranno fornire gli spostamenti assoluti in testa alla paratia nelle tre componenti: abbassamenti, spostamenti radiali e tangenziali della paratia, o in alternativa, abbassamenti, spostamenti N e spostamenti E.

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da un teodolite accoppiato a un distanziometro elettronico di precisione. È richiesta la precisione seguente:

- teodolite: lettura angolare non superiore a 2 secondi centesimali;
- distanziometro elettronico: $\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$.

3.3 CELLE DI CARICO

Le celle di carico devono essere disposte in testa ad alcuni tiranti con lo scopo di misurare i carichi trasmessi e l'evoluzione degli stessi nel tempo e col proseguire delle lavorazioni. Le celle devono essere dotate di target ottici per la misura degli spostamenti che eventualmente potranno subire.

Nel caso in esame dovranno essere disposte celle di carico di tipo toroidale, alloggiare tra la piastra di ripartizione e la testa di ancoraggio del tirante

Le celle di carico per tiranti strumentati sono costituite da:

- Un corpo in acciaio di forma toroidale sensibilizzato con strain-gauge di tipo resistivo in numero variabile ma dimensionati in modo tale da garantire una minore sensibilità ai carichi eccentrici, collegati in modo da permettere l'acquisizione dati su un unico canale di misura 4-20 mA;
- Una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico sull'intero corpo della cella;

- Un cavo elettrico di opportune caratteristiche che realizzi il collegamento dello strumento all'unità di lettura.

Sotto carico la cella toroidale subisce una deformazione che viene rilevata dagli estensimetri, i quali variando il loro valore di resistenza generano in uscita un segnale elettrico proporzionale al carico applicato.

Le principali caratteristiche tecniche delle celle di carico per bulloni strumentati sono le seguenti:

- Campo di misura, $0 \div 600$ kN
- Sovraccarico ammissibile, 150 % f.s.
- Segnali in uscita, $4 \div 20$ mA
- Precisione globale, < 0.5 % f.s.
- Deriva termica di zero, < 0.01 % f.s./°C
- Campo di temperatura, $-10 \div +50$ °C

3.3.1 INSTALLAZIONE

Le celle vanno inserite nel punto di rilevamento del carico ponendo particolare cura affinché le due superfici d'appoggio della cella risultino piane e non deformabili, così che il carico sia trasferito correttamente alla cella.

La superficie di contatto cella – piastra di ripartizione deve essere perfettamente piana e per garantire una sufficiente rigidità è necessario che la cella di carico appoggi su una piastra d'acciaio di spessore opportuno e di diametro superiore a quello della cella.

Analogamente, sull'altra superficie della cella, per le stesse ragioni, viene installata una piastra di acciaio che garantisca una migliore ripartizione del carico.

Lo strumento sarà installato con la seguente procedura:

- Spianare e lisciare la superficie di contatto all'interno del foro predisposto per il tirante da strumentare;
- Appoggiare la cella di carico alla superficie predisposta, collegare il cavo strumentale al pannello di centralizzazione e installare la piastra di distribuzione;
- Iniziare le operazioni di tesatura del tirante, valutando subito l'opportunità di regolarne la posizione onde garantire la perfetta planarità della cella e conseguentemente la perfetta distribuzione del carico; tale operazione sarà eseguita controllando i valori elettrici restituiti dalla cella;
- Procedere con la messa in carico fino al valore di progetto.

In aggiunta alle suddette celle di carico, andrà installata una cella termometrica, per la misura delle variazioni di temperatura dell'aria.

3.3.2 RESTITUZIONE DATI

Contemporaneamente alle letture dei carichi si dovranno eseguire le misure con cella termometrica.

I dati misurati saranno restituiti in forma di tabella e con i seguenti diagrammi:

- Variazioni di carico rispetto al tempo;
- Variazioni di carico rispetto alla temperatura.

3.4 INCLINOMETRI

L'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la misura dello spostamento orizzontale del terreno lungo tutta la verticale. Tali misure vengono effettuate introducendo nel tubo una apposita

sonda inclinometrica che, dotata di sensori servoaccelerometrici di elevata precisione, consente di misurare l'inclinazione del tubo in corrispondenza di una determinata sezione.

Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 4622 -86 (1993) - Standard Test Method for Rock Mass Monitoring Using Inclinometers.

3.4.1 INSTALLAZIONE

I tubi inclinometrici dovranno essere di alluminio o in ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda inclinometrica. Le dimensioni del tubo inclinometrico, per una perforazione di 101 mm, dovranno essere le seguenti:

- $\varnothing_{\text{int}} \text{ tubo} = 76 \text{ mm};$
- $\varnothing_{\text{int}} \text{ guide} = 82 \text{ mm};$
- $\varnothing_{\text{est}} \text{ guide} = 86 \text{ mm};$

Dimensioni diverse del tubo inclinometrico da installare nel foro, in funzione di un diverso diametro di perforazione, dovranno essere indicate nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Direzione Lavori. I tubi inclinometrici, che dovranno essere disponibili in spezzoni di 3 m, dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- massa non inferiore a 1350 g/m;
- spirality dei tubi inferiore a $0.5^\circ/\text{m}$;
- assoluta perpendicolarità delle sezioni terminali degli spezzoni di tubo rispetto all'asse del tubo, con la tolleranza di 1° .

I tubi inclinometrici dovranno essere assemblati mediante manicotti di giunzione, della lunghezza minima di 300 mm, che dovranno soddisfare il seguente requisito: $\varnothing_{\text{int}} \text{ guide} \text{ manicotto} < \varnothing_{\text{est}} \text{ guide} \text{ tubo inclinometrico} + \text{circa } 1 \text{ mm}$. Il gioco massimo di accoppiamento tra i tubi (sfalsamento rotazionale) dovuto ai soli manicotti non dovrà essere superiore a

1°giunto. In caso di installazione di tubi inclinometrici in ambiente aggressivo (ambienti alcalini, presenza di correnti vaganti, ecc.) in luogo dei tubi in alluminio si utilizzeranno tubi in ABS di spessore minimo non inferiore a 4 mm, il cui utilizzo tuttavia dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori. In nessun caso potranno essere installati tubi inclinometrici in materiali diversi (ad es. PVC o vetroresina).

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- il tubo per l'iniezione della miscela di cementazione, applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione che dovrà essere costituita da acqua, cemento pozzolanico e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- dovranno essere controllati infine il diametro delle punte del trapano, il diametro e la lunghezza dei rivetti, il tipo e la scadenza del mastice, l'efficienza della morsa di sostegno.

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo inclinometrico dovrà essere verticale e di diametro non inferiore a 101 mm e non superiore a 127 mm, con una deviazione globale dalla verticale non superiore al 2%. La perforazione dovrà essere eseguita a carotaggio continuo. Diametri di perforazione non inclusi nel range indicato dovranno essere approvati dalla DL. Una volta installato il tubo inclinometrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti e soprattutto fenomeni di spiratura del tubo inclinometrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere

giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

La posa in opera dei tubi inclinometrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi inclinometrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. La realizzazione dei giunti dovrà avvenire nel modo seguente:
- inserimento del manicotto sul tubo per metà della sua lunghezza;
- realizzazione dei fori per i rivetti (> 4 per ogni tubo) lungo generatrici equidistanti dalle guide e a circa 50 mm dall'estremità del manicotto;
- con il manicotto in posizione mediante delle spine, inserimento di un altro tubo e realizzazione degli altri fori per i rivetti;
- rimozione del manicotto;
- applicazione di un sottile strato di mastice all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
- inserimento del primo tubo nel manicotto e chiodatura con rivetti;
- attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela quest'ultima operazione non sarà necessaria;

- inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- inserimento dello spezzone successivo; incollaggio, rivettatura e sigillatura del giunto;
- allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- cementazione del tubo inclinometrico da fondo foro, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo inclinometrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo inclinometrico mediante attrezzo a fori radiali preferibilmente dotato di pattini zigrinati per la pulizia delle guide;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo inclinometrico, dovrà

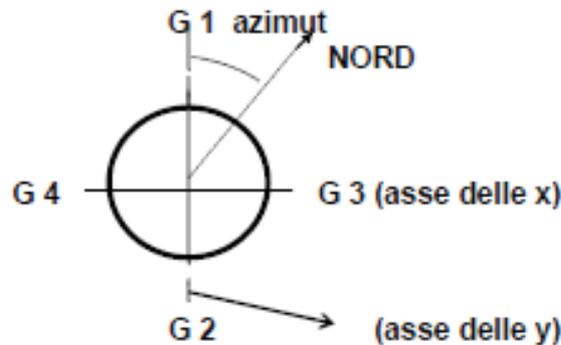
essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla

- Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- controllo della funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. Il tubo inclinometrico verrà dichiarato idoneo, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

3.4.2 PRESCRIZIONI MINIME DI ACCETTAZIONE DELLA TUBAZIONE INCLINOMETRICA

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione del tubo, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione inclinometrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo e la verifica della rispondenza dell'inclinazione e della spiratura della tubazione alle specifiche di accettazione. Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, in contraddittorio con l'Impresa e alla presenza della Direzione Lavori. Il controllo verrà eseguito calando nel foro una sonda testimone (di caratteristiche analoghe a quella da utilizzarsi per le successive misure), facendola scorrere lungo

le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo inclinometrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita. In questa fase inoltre verrà scelta la guida di riferimento (guida 1), preferibilmente orientata secondo la probabile direzione di movimento, se ne misurerà l'azimut, e si numereranno tutte le guide secondo lo schema seguente:



Successivamente dovranno essere verificate anche la verticalità e la spirality del tubo, che verrà dichiarato idoneo se la deviazione dalla verticale rilevata sarà inferiore al 2% e la spirality totale sarà inferiore a 0.5°/metro lineare.

3.4.3 DOCUMENTAZIONE RICHIESTA RELATIVA ALL'INSTALLAZIONE

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio;
- caratteristiche del tubo inclinometrico installato;

- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo inclinometrico;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- azimuth della guida di riferimento e schema della numerazione delle guide;
- misura di deviazione dalla verticale;
- misura della spiralatura.

La documentazione richiesta deve essere fornita sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo o excel.

- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa.

3.4.4 RESTITUZIONE DATI

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- Grafico differenziale locale dello spostamento;
- Grafico differenziale locale della direzione di spostamento (AZIMUT);
- Grafico differenziale integrale dello spostamento;
- Grafico differenziale integrale della direzione di spostamento (AZIMUT);

I dati rilevati saranno elaborati mediante l'ausilio di un software dedicato che permetterà la restituzione tramite elaborati grafici da allegare ai tabulati numerici. Questi ultimi dovranno essere forniti anche su supporto informatico in formato testo.

4 MONITORAGGIO IN SUPERFICIE

La realizzazione di una galleria naturale, nelle fasi di consolidamento con iniezioni ad alta pressione (jet-grouting) e di scavo, comporta delle modifiche del volume di roccia attraversato. Tali modifiche possono ripercuotersi con innalzamenti e/o abbassamenti del piano campagna. L'entità di tali variazioni è funzione delle caratteristiche geologico-geomeccaniche dell'ammasso e dell'entità della copertura. L'influenza maggiore è comunque quella generata dallo scavo, con il conseguente fenomeno di decompressione dell'ammasso (causato dalle perdite di volume) e la ripercussione in superficie di tale decompressione con la formazione progressiva di un bacino di subsidenza.

Tale fenomeno può essere controllato mediante un monitoraggio topografico che consente il controllo plano-altimetrico dell'area potenzialmente interessata dall'abbassamento. Ciò, evidentemente, si rende necessario se al di sopra dello scavo di una galleria è presente un fabbricato o una strada, o una qualsiasi opera pre-esistente e se le coperture sono tali da far temere una ripercussione fino in superficie della risposta deformativa che si registrerà all'interno del cavo (o durante le fasi di ribasso della paratia di imbocco).

Tale monitoraggio può essere ottenuto mediante una stazione di misura che acquisisce le letture degli eventuali movimenti di una maglia di punti di misura (microprismi) disposti lungo sezioni parallele e ortogonali all'asse della galleria. Tali microprismi potranno essere posizionati su pilastri in cls appositamente preparati o su barre metalliche adeguatamente infisse nel terreno. I componenti principali di tale stazione sono:

- una stazione di misura dotata di sistema di puntamento (eventualmente automatico) del prisma e misura della distanza con distanziometro coassiale elettronico;

- un insieme di prismi per i punti da monitorare;
- un insieme di prismi per capisaldi;
- software topografico per l'analisi dei dati e la restituzione grafica degli stessi e per il controllo degli strumenti.

In particolari contesti, di sottoattraversamento di coltri detritiche in condizioni di coperture ridotte, si potrà valutare la necessità di inserire anche strumentazione inclinometrica, dello stesso tipo di quella prevista in prossimità degli imbocchi. In particolare, per le gallerie in oggetto si segnala la criticità di interazione degli scavi della Galleria San Pietro lato Nord con la frana della Marogna. In questa area, in prossimità delle paratie di imbocco e nel tratto di versante a monte dell'opera ed all'interno dell'accumulo di frana, dovrà essere predisposto uno specifico piano di monitoraggio che preveda sia misure topografiche di superficie che inclinometri e piezometri di lunghezza tale da raggiungere il substrato in posto (secondo quanto indicato nello specifico elaborato grafico).

5 LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO

5.1 PREVISIONE DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO ALLO SCAVO

In virtù dei materiali attraversati, prevalentemente di buone caratteristiche geomeccaniche, i calcoli hanno indicato, per ciascuna delle classi d'ammasso indagate, convergenze diametrali da millimetriche a centimetriche (vedi relazioni tecniche e di calcolo).

Tali valori sono da ritenersi i minimi attesi, considerando il fatto che i valori determinati dal calcolo non possono tenere in conto di fattori difficilmente schematizzabili e modellabili numericamente, quali anisotropie nel comportamento deformativo del cavo, condizioni geomeccaniche particolari e localizzate, fasi esecutive e cadenze d'avanzamento, per la valutazione e l'interpretazione delle misure stesse.

Per questi motivi nella pratica il range delle convergenze attese può essere più elevato, come indicato nella seguente tabella riepilogativa, ove si riportano le convergenze diametrali da assumere come riferimento per le varie sezioni di avanzamento, in funzione delle classi geomeccaniche e tenendo conto anche di quanto evidenziato durante scavi in contesti analoghi.

Sezione tipo	Convergenze diametrali min÷max [cm]
--------------	--

Ab1	0 – 0.5
Ab2	
Ac	0 - 1
B0	0.5 – 1.5
B0V	1 - 2
B2V	1 - 3
C2V	2- 4
C1	

Tabella 1 – risposta deformativa attesa

5.2 APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO

In corso d'opera potrà essere verificata l'adeguatezza delle sezioni tipo definite sulla base dei rilievi geostrutturali e del comportamento deformativo del cavo (convergenze), in rapporto alle lavorazioni condotte secondo le fasi e cadenze prestabilite nel progetto.

Gli elementi raccolti in fase di scavo permetteranno infatti di:

- confermare la sezione tipo prevista in una determinata tratta e riportata sull'elaborato "Profilo geomeccanico" di progetto;
- individuare una diversa sezione tipo, tra quelle previste in progetto, qualora le condizioni realmente riscontrate risultino difformi da quelle ipotizzate per la tratta in esame.

I criteri di valutazione nell'ambito dell'applicazione delle sezioni tipo sono essenzialmente legati alla caratterizzazione dell'ammasso al fronte mediante rilievi geomeccanici ed alla valutazione della risposta deformativa del cavo mediante misure di convergenza.

Nella tabella seguente vengono sintetizzate le linee guida per la definizione dei campi di applicazione di ogni sezione tipo, in funzione delle caratteristiche geomeccaniche e dei range di convergenze attesi.

Sezione tipo	Campo di Applicazione					
	CONTESTO GEOMECCANICO	GRUPPO GEOMECCANICO	CLASSE	RMRc min-max	GSI min-max	Convergenze diametrali attese min-max [cm]
Ab1	Ammasso sano e compatto in Dolomia Principale	1A	III	55-60	60-65	0 – 0.5
Ab2			III	50-55	55-60	
Ac	Ammasso sano poco fratturato in Dolomia Principale	1B	III	40-50	45-55	0 - 1
B0	Ammasso da poco a mediam. fratturato ed alterato in Dolomia Principale	2A	IV	35-40	40-45	0.5 – 1.5
B0V	Ammasso alterato e/o in faglia (damage zone)	2B	IV	25-30	35-40	1 - 2
B2V	Ammasso in faglia (core zone)	3A	IV-V	15-25	25-35	1 - 3
				10-20	20-25	1 - 3
C2V	Detriti in zona d'imbocco	3B	V	< 10	< 20	2- 4
C1						

Tabella 2 – Sintesi campo di applicazione sezioni tipo gallerie naturali

L'applicazione delle suddette linee guida avverrà attraverso la verifica in corso d'opera delle caratteristiche geomeccaniche del fronte (rilievi geomeccanici del fronte) e del comportamento deformativo del cavo (misure di convergenza) con riferimento ai seguenti casi:

- se i valori di GSI e convergenza determinati risultano compresi entro i range indicati si procede con la sezione tipo prevista, con riferimento alla situazione media degli interventi previsti;
- se i valori di GSI e convergenza determinati risultano inferiori o superiori ai range indicati si procede con la sezione ad applicare la sezione tipo rispettivamente più “leggera” o più “pesante” prevista in progetto.

5.3 APPLICAZIONE SEZIONI TIPO D'IMPERMEABILIZZAZIONE ED INTERVENTI D'INIEZIONE IN AVANZAMENTO IN FUNZIONE DELLE SOGLIE DI PORTATA IN GALLERIA ED IN SUPERFICIE

Allo scopo di evitare significativi impatti idrogeologici sul territorio in termini di abbattimento delle falde, si dovranno prevedere i seguenti interventi progettuali:

- 1) Sistematiche prospezioni in avanzamento per individuare l'eventuale presenza di significative venute d'acqua (n° 6 perforazioni in avanzamento, a distruzione di nucleo, aventi ciascuna lunghezza $L \geq 27\text{m}$ e sovrapposizione $s \geq 9\text{m}$) sulle quali, nel caso, dovranno essere predisposte misure di portata e di pressione;

-
- 2) Qualora da tali perforazioni si registri complessivamente una portata emunta complessiva pari a **Q= 3-4 l/sec** (corrispondente ad una Q= 10 l/sec su 10 m di galleria) dovranno essere eseguiti opportuni interventi mediante iniezioni d'impermeabilizzazione in avanzamento, secondo quanto descritto negli specifici elaborati progettuali. Fa eccezione il caso della g. S. Pietro nel tratto corrispondente alle sorgenti della "Valpegara" dove, in virtù dell'elevato grado di rischio di depauperamento associato, il valore di portata dalle 6 perforazioni oltre la quale dovranno essere eseguite le iniezioni d'impermeabilizzazione in avanzamento dovrà essere ridotto cautelativamente a **Q= 0.5-0.6 l/sec** (corrispondente ad una Q= 1 l/sec su 10 m di galleria);
 - 3) Qualora la portata emunta per 10 m di galleria risulti essere **Q> 1 l/sec** si procederà alla messa in opera della sezione d'impermeabilizzazione full-round TIPO 2;
 - 4) Qualora la portata emunta per 10 m di galleria risulti compresa tra **1<Q≤ 5 l/sec** la distanza del getto del rivestimento definitivo dal fronte e la corrispondente messa in opera dell'impermeabilizzazione TIPO 2 non dovrà superare il valore **D= 4 diametri di scavo** (fermo restando le prescrizioni relative alle varie sezioni tipo, se più restrittive);
 - 5) Qualora la portata emunta per 10 m di galleria risulti compresa tra **5<Q≤ 10 l/sec** la distanza del getto del rivestimento definitivo dal fronte e la corrispondente messa in opera dell'impermeabilizzazione TIPO 2 non dovrà superare il valore **D= 2 diametri di scavo**;
 - 6) Qualora la pressione idraulica misurata con appositi manometri nelle perforazioni in avanzamento risulti essere **P> 5 bar**, per il getto dei rivestimenti definitivi di AR, murette e calotta si dovrà provvedere ad utilizzare un cls di classe superiore C 32/40.

Secondo quanto analizzato ed illustrato in dettaglio nella Relazione Idrogeologica (vedi capitolo 8 *Impatti sulle risorse idriche*, capitolo 9 *Soluzioni previste al fine di inibire il drenaggio nei contesti critici*, e capitolo 10 *considerazioni in merito all'efficacia delle soluzioni progettuali previste per mitigare l'impatto sulle risorse idriche*), per tutte le sorgenti, a seguito della messa in opera delle soluzioni progettuali finalizzate a mitigare il drenaggio, risulta una probabilità di sterimento/depauveramento trascurabile, con raggi di influenza decisamente inferiori rispetto alle distanze tra sorgente e galleria.

A scopo cautelativo, si definiscono di seguito i valori di soglia delle grandezze idrauliche, da tenere sotto controllo anche in superficie, (oltre ai valori di soglia sopra definiti per le misure in galleria), utili per una verifica e eventuale taratura degli interventi progettualmente previsti, nel corso d'opera.

	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
Pozzi e sorgenti	Quando la sorgente o pozzo, entrata nella zona in cui la distanza dal fronte di scavo o dal tratto di galleria non rivestito è < Rt registra una riduzione di portata pari al 10% - 20% rispetto alle misure immediatamente precedenti.	Quando la sorgente o pozzo, entrata nella zona in cui la distanza dal fronte di scavo o dal tratto di galleria non rivestito è < Rt registra una riduzione di portata > 20% rispetto alle misure immediatamente precedenti.
Piezometri	Quando il piezometro entrato nella zona in cui la distanza dal fronte di scavo o dal tratto di galleria non rivestito è < 750m ca. registra una riduzione del livello di falda, di 1 - 1,5m rispetto alle misure immediatamente precedenti.	Quando il piezometro entrato nella zona in cui la distanza dal fronte di scavo o dal tratto di galleria non rivestito è < 750m ca. registra una riduzione del livello di falda, di almeno 2m rispetto alle misure immediatamente precedenti.

Al superamento delle soglie di attenzione si dovrà provvedere ad una intensificazione delle frequenze di lettura delle portate e dei livelli di falda sia in galleria sia in superficie, nonché ad un confronto di quanto registrato dalle risorse idriche che evidenziano valori di soglia di attenzione, con le altre sorgenti dell'area, più distanti dal cavo, nonché con il regime pluviometrico del

periodo, per verificare se effettivamente il raggiungimento dei valori di soglia può essere attribuibile al drenaggio indotto dalla galleria.

Al superamento dei valori di soglia di allarme, occorre procedere prontamente, in funzione del caso specifico in esame, ad intensificare gli interventi di mitigazione del drenaggio, adottando gli strumenti già previsti in progetto, passando però dalla sezione in uso, a quella più pesante; (cambiando ad esempio il sistema di impermeabilizzazione da TIPO 1 a TIPO 2, o da TIPO 2 con getti a 4 diametri a TIPO 2 con getti a 2 diametri dal fronte, oppure da TIPO 2 a iniezioni in avanzamento).

ALLEGATI

Allegato 1 – Rilievo del fronte (Analitico)

Allegato 2 – Rilievo del fronte (Speditivo)

ALLEGATO 1

LOGO		RILIEVO GEOMECCANICO					
		REDATTO DA:		DATA:		RILIEVO N°	
AFFIORAMENTO	ORIENTAZIONE	DIMENSIONI (LxHxP)			LITOLOGIA		
UBICAZIONE						Coord. Gauss Boaga (Roma40)	Foto n° ____
						E:	
						N:	
						q.ta:	

RILIEVO PITTORICO

fam.	tipo	legenda			Tipo di discontinuità
1	St		Giac.		SC = Scistosità ST = Stratificazione K = Giunto generico CT = Contatto VN = Vena – intrusione F = Faglia FR = Frattura aperta CL = Clivaggio
			Spaz. (cm)		
2	K		Giac.		
			Spaz. (cm)		
3	K		Giac.		
			Spaz. (cm)		
4			Giac.		
			Spaz. (cm)		
5			Giac.		
			Spaz. (cm)		

Descrizione / Note:

R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA

Classe	R	σc (MPa)	IS 50 PLT	Coeff.
Medio alta		> 250	> 10	15
Alta	44-58	110-250	4-10	10-15
Medio - alta	32-43	60 - 110	2-4	6-10
Moderata	12-31	20 - 60	1-2	3-6
Bassa	<12	10-20	<1	2-3
Molto bassa	0	<10		1

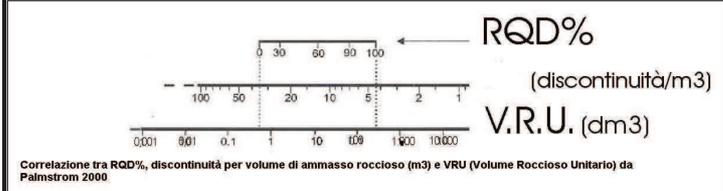
prove sclerometriche

	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	MPa

R2 - RQD

Qualità	%	s (cm)*	Coeff.
Eccellente	90-100	>19	18-20
Buona	75-90	10,9-19	15-18
Discreta	50-75	6-10,5	10-15
Bassa	25-50	3,5-6	6-10
Molto bassa	<25	<3,5	3-6

* Priest & Hudson (1976)



VOLUME ROCCIOSO UNITARIO (V.R.U.)

<input type="checkbox"/> > 20 m3 (sp >600 cm)	<input type="checkbox"/> 0,2-8 dm3 (sp 6-20 cm)	<input type="checkbox"/> 0,08-0,2 dm3 (sp 2-6 cm)
<input type="checkbox"/> 8-200 m3 (sp 200-600 cm)	<input type="checkbox"/> 8-200 dm3 (sp 20-60 cm)	<input type="checkbox"/> < 8 cm3 (sp < 2 cm)

R5 - CONDIZIONI IDRICHE AMMASSO

Condizioni generali	Venute d'acqua per 10 m di lunghezza (l/min)	σw/σh	Coeff.
Asciutta	nessuna	0	15
Umida	<10	<0,1	10
Bagnata	10-25	0,1-0,2	7
Stillicidio	25-125	0,2-0,5	4
Venute	>125	>0,5	0

R6 - CORREZIONE PER L'ORIENTAZIONE

Immersione	Inclinazione	Coeff.	
parallela all'asse galleria	reggipoggio	45-90 20-45	0 -2
	franapoggio	45-90 20-45	-5 -10
		45-90	-12
	perpendicolare all'asse galleria	20-45	-5
Qualsiasi	<20	-5	

R3 - SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'

	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Coeff.
Molto larga	> 1,8 m				20
Larga	0,6 - 1,8 m				12-19
Moderata	20 - 60 cm				8-12
Stretta	8-20 cm				6-8
Molto stretta	< 8 cm				5

R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'

	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Coeff.
PERSISTENZA	Molto bassa	< 1m (0-10%)			6
	Bassa	1-3m (10-25%)			4
	Media	3-10m (25-50%)			2
	Alta	10-20m (50-100)			1
	Molto alta	> 20 m (100%)			0

x = si estende oltre la parte visibile - r = termina in roccia - d = termina contro un'altra discontinuità

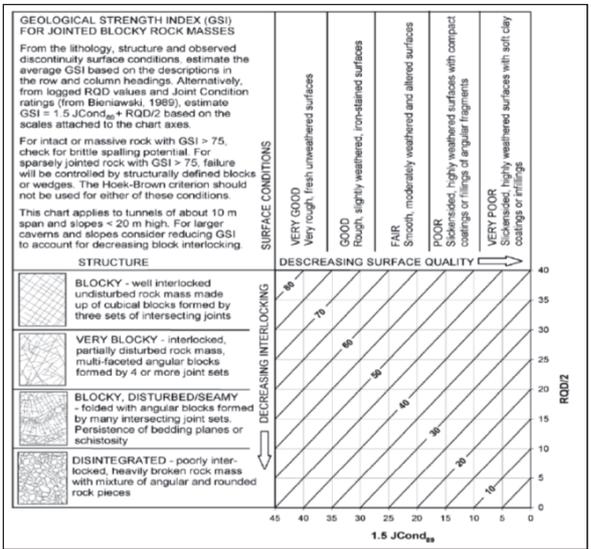
						Coeff.
APERTURA	molto chiusi	nessuna				6
	chiusi	< 0,1 mm				5
	moderat. aperti	0,1 - 1,0 mm				4
	aperti	1 - 5 mm				1
	molto aperti	> 5 mm				0
RUGOSITA'	molto rugose	16-18 18-20				6
	rugose	12-14 14-16				5
	legg. rugose	8-10 10-12				3
	piane	4-6 6-8				1
	levigate	0-2 2-4				0
RIEPIIMENTO	Nessuno					6
	compatto < 5mm					5
	Compatto > 5mm					3
	Sciolto < 5mm					1
	sciolto > 5mm					0
ALTERAZIONE	Non alterata					6
	Leggermente alterata					5
	Moderatamente alterata					3
	Altamente alterata					1
	Suolo residuale					0

RMR - BIENIAWSKI (1989)

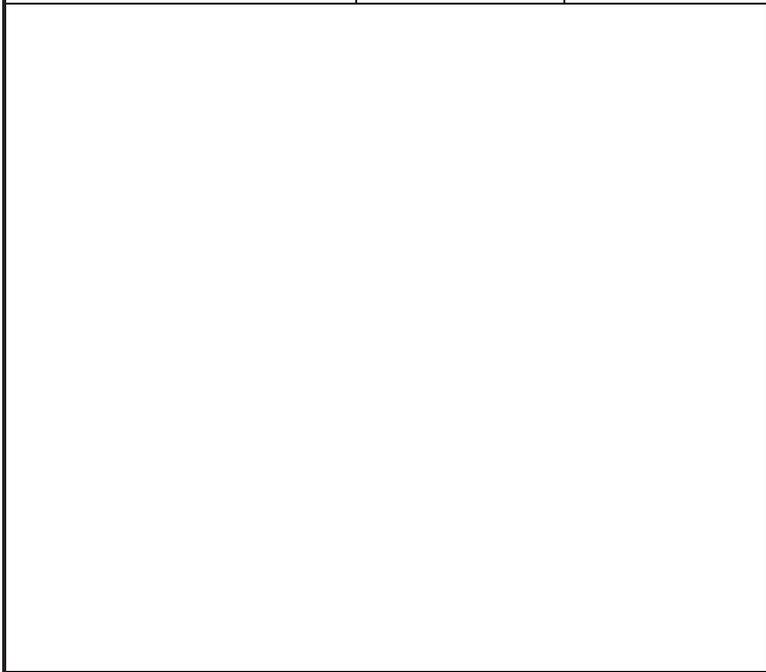
PARAMETRI				COEFF.
Resistenza roccia intatta				R1
Rock Quality Designation (R.Q.D.)				R2
Spaziatura discontinuità				R3
Condizioni delle discontinuità				R4
Presenza di acqua nella roccia				R5
Compensazione orientazione				R6

RMR				
CLASSE DI BIENIAWSKI				
I ottima	II buona	III discreta	IV scadente	V molto scad.
100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

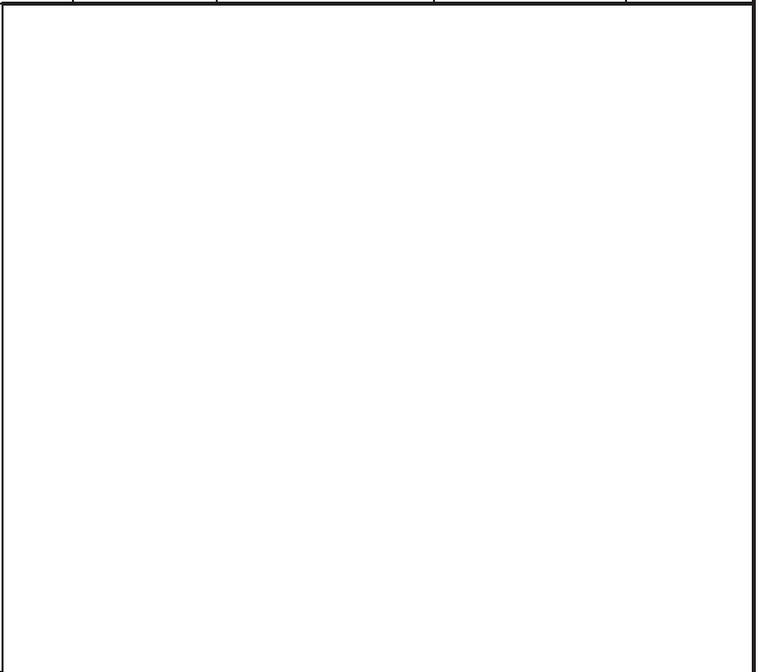
Abaco per la stima di GSI



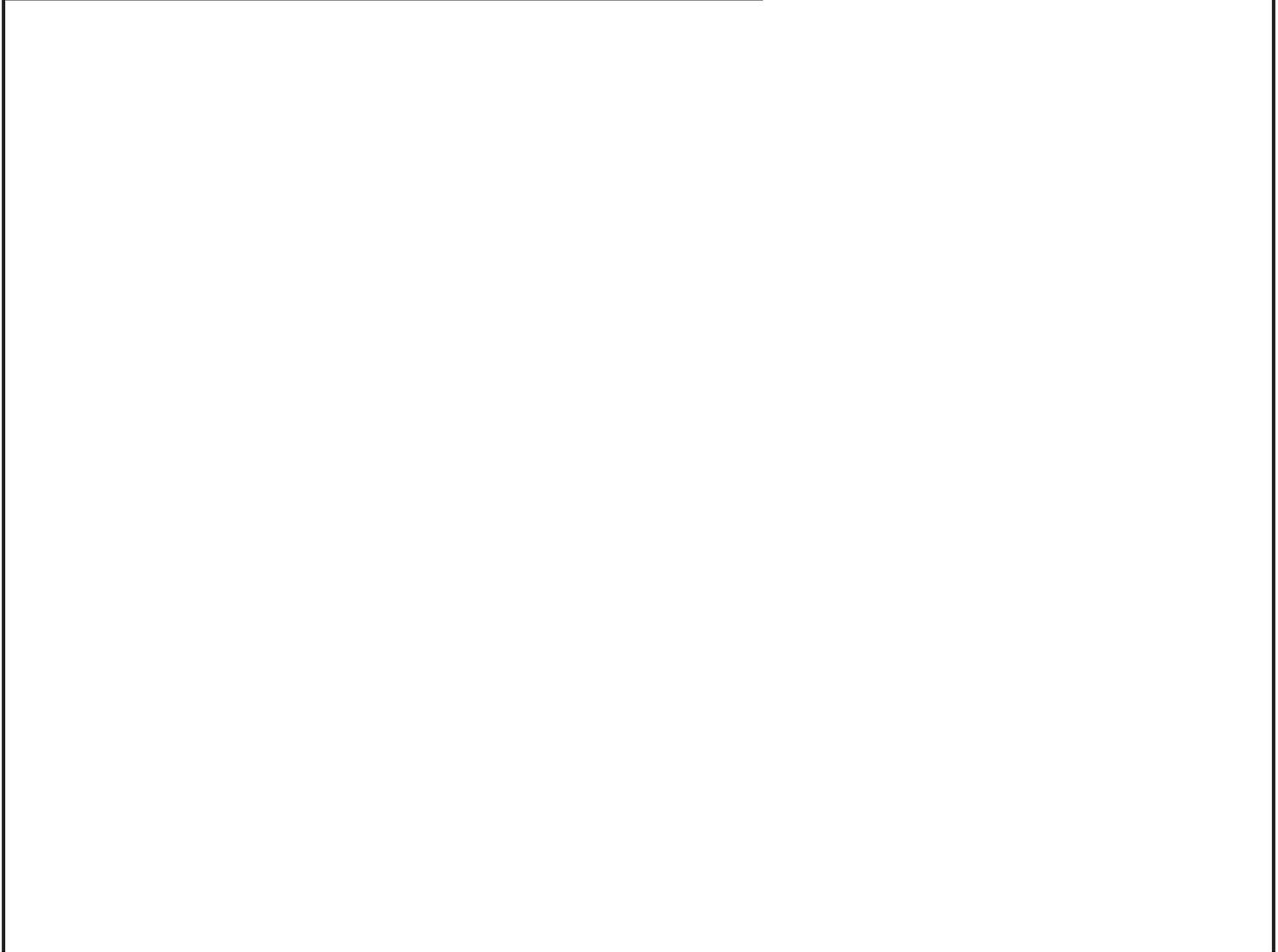
RMR base (secco)	
GSI = RMR base (secco) - 5 =	#VALORE!



Stereogramma delle discontinuità (eventuale)



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



ALLEGATO 2

LOGO		RILIEVO GEOMECCANICO					
		REDATTO DA:		DATA:		RILIEVO N°	
AFFIORAMENTO	ORIENTAZIONE	DIMENSIONI (LxHxP)			LITOLOGIA		
UBICAZIONE						Coord. Gauss Boaga (Roma40)	Foto n° ____
						E:	
						N:	
						q.ta:	

RILIEVO PITTORICO

fam.	tipo	legenda			Tipo di discontinuità
1	St		Giac.		SC = Scistosità ST = Stratificazione K = Giunto generico CT = Contatto VN = Vena - intrusione F = Faglia FR = Frattura aperta CL = Clivaggio
			Spaz. (cm)		
2	K		Giac.		
			Spaz. (cm)		
3	K		Giac.		
			Spaz. (cm)		
4			Giac.		
			Spaz. (cm)		
5			Giac.		
			Spaz. (cm)		

Descrizione / Note:

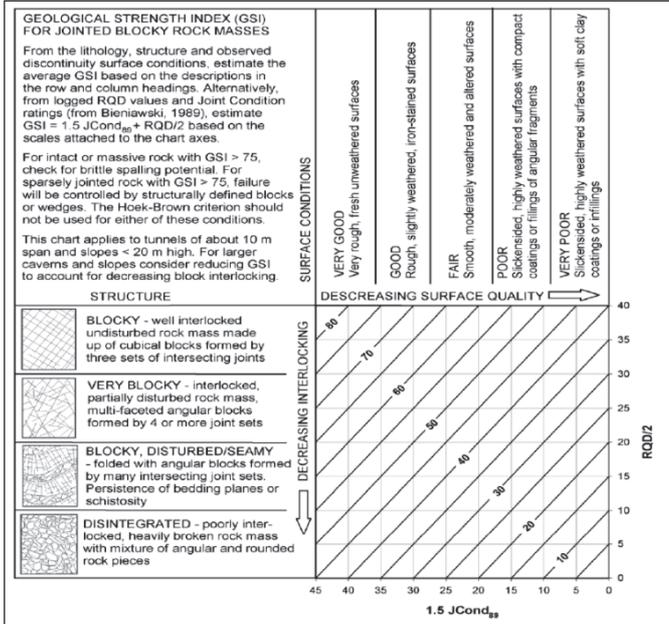
LOGO

RILIEVO GEOMECCANICO

REDATTO DA:

DATA:

RILIEVO N°



Abaco per la stima del valore di GSI (eventuale)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA