



**NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE
CUP C11J05000030001
Lotto Costruttivo 1 – Opera anticipatoria propedeutica**

**Chantier Opérationnel 04 – Cantiere Operativo 04
CIG Ze11ed230d**

**Travaux de réalisation des niches de retournement et d'aménagement intérieur de la galerie de La Maddalena, transport et mise en dépôt des matériaux excavés
Lavori di realizzazione delle nicchie di interscambio e di sistemazione interna della galleria La Maddalena, trasporto e messa a deposito del materiale di scavo**

**Projet Exécutif – Progetto Esecutivo
Génie civil – Opere civili
Rapport technique monitoring – Relazione tecnica monitoraggio**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	28.04.2020	Première diffusion/Prima emissione	G. LODIGIANI	M. GATTI	G. CASSANI
A	07.05.2020	Révision suite aux commentaires / Revisione a seguito commenti	G. LODIGIANI	M. GATTI	G. CASSANI
B	07.05.2020	Élaboré approuvé/Elaborato approvato	G. LODIGIANI	M. GATTI	G. CASSANI

0	4	A	1	7	3	5	7	0	0	0	-	-	0	Z
Cantiere Operativo Chantier Opérationnel			Contratto Contrat				Opera Ouvrage			Tratta Tronçon	Parte Partie			

E	R	E	G	N	0	5	0	1	B
Fase Phase	Tipo documento Type de document	Oggetto Objet		Numero documento Numéro de document			Indice		

-
Scala / Echelle

A	P
Stato / Statut	

Indirizzo / Adresse GED			

Il progettista / Le designer

L'appaltatore / L'entrepreneur

Il Direttore dei Lavori / Le Maître d'Oeuvre



SOMMAIRE / INDICE

1	INTRODUZIONE.....	4
2	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	5
2.1.1	Sezioni tipo di scavo delle nicchie	6
3	QUADRO GEOLOGICO, GEOMECCANICO E IDROGEOLOGICO	10
3.1	Sintesi della geologia incontrata durante lo scavo del cunicolo	10
3.2	Caratterizzazione geomeccanica	12
3.3	Quadro riassuntivo della circolazione idrogeologica incontrata nel Cunicolo esplorativo	18
4	SISTEMA DI MONITORAGGIO	21
4.1	Monitoraggio in fase di scavo.....	21
4.2	Monitoraggio successivo alla realizzazione delle nicchie.....	23
4.3	Specifiche tecniche della strumentazione e frequenze di lettura	27
4.3.1	Rilievi del fronte	27
4.3.2	Misura delle convergenze	27
4.3.3	Monitoraggio tenso-deformativo del rivestimento di prima fase mediante strain gauges	28
4.3.4	Monitoraggio deformativo dell’ammasso mediante estensimetri multibase	29
4.4	Gestione dei dati.....	30
	ALLEGATO - SCHEDA TIPO PER L’ESECUZIONE DEI RILIEVI DI TIPO ANALITICO.....	31

RESUME / RIASSUNTO

Ce rapport est établi dans le cadre du projet exécutif des travaux prévus pour la construction des niches d'échange à l'intérieur du tunnel exploratoire de La Maddalena et pour l'installation du revêtement de la première phase à l'intérieur du tunnel lui-même, pour toute la section excavée au TBM.

L'objectif de ce document est la description du système de surveillance géotechnique mis en place, qui sera développé en référence à deux phases distinctes (phase de fouille et phase suivant la construction des niches) et visera à contrôler le comportement tendu-déformant des structures et le stockage dans les zones affectées par les travaux, permettant ainsi de vérifier l'adéquation des interventions et des modalités d'exécution prévues dans le projet et de définir les éventuelles actions correctives, en termes d'interventions et de phases d'exécution.

Après une description générale des principales caractéristiques des travaux d'excavation des niches du projet et un aperçu du contexte géologico-géomécanique des travaux, le suivi envisagé pour les avancements souterrains est analysé en détail, en décrivant le type d'instrumentation adopté, la quantité et la localisation des instruments.

La presente Relazione viene redatta nell'ambito del Progetto Esecutivo dei lavori previsti per la realizzazione delle nicchie di interscambio da eseguirsi all'interno del cunicolo esplorativo La Maddalena e per la posa in opera del rivestimento di prima fase all'interno della galleria stessa, per tutto il tratto scavato con TBM.

Obiettivo del documento è la descrizione del sistema di monitoraggio geotecnico predisposto, che si svilupperà con riferimento a due momenti distinti (fase di scavo e fase successiva alla realizzazione delle nicchie) e sarà finalizzato al controllo del comportamento tenso-deformativo delle strutture e dell'ammasso nelle aree interessate dai lavori, consentendo quindi di verificare l'idoneità degli interventi e delle modalità esecutive previste in progetto e di definire eventuali azioni correttive, in termini di interventi e fasi esecutive.

Dopo una descrizione generale delle caratteristiche principali delle lavorazioni di scavo delle nicchie in progetto ed un inquadramento del contesto geologico-geomeccanico di lavoro si analizza nel dettaglio il monitoraggio previsto per gli avanzamenti in sottoterraneo, descrivendo la tipologia della strumentazione adottata, la quantità e l'ubicazione degli strumenti.

1 INTRODUZIONE

La presente Relazione viene redatta nell'ambito del Progetto Esecutivo dei lavori previsti per la realizzazione delle nicchie di interscambio da eseguirsi all'interno del cunicolo esplorativo La Maddalena e per la posa in opera del rivestimento di prima fase all'interno della galleria stessa, per tutto il tratto scavato con TBM (sia il primo tratto, che verrà successivamente utilizzato per l'accesso dei veicoli bimodali e di soccorso al Tunnel di Base, che per il secondo tratto destinato allo stoccaggio irreversibile delle rocce verdi provenienti dallo scavo del Tunnel di Base. Il tratto iniziale del cunicolo, scavato in tradizionale, è già stato rivestito).

In particolare l'obiettivo del documento è la descrizione del sistema di monitoraggio geotecnico predisposto, che si svilupperà con riferimento a due momenti distinti (fase di scavo e fase successiva alla realizzazione delle nicchie) e sarà finalizzato al controllo del comportamento tenso-deformativo delle strutture e dell'ammasso nelle aree interessate dai lavori, consentendo quindi di verificare l'idoneità degli interventi e delle modalità esecutive previste in progetto e di definire eventuali azioni correttive, in termini di interventi e fasi esecutive.

Nel seguito, dopo una descrizione generale delle caratteristiche principali delle lavorazioni di scavo delle nicchie in progetto ed un inquadramento del contesto geologico-geomeccanico di lavoro si analizzerà nel dettaglio il monitoraggio previsto per gli avanzamenti in sotterraneo, descrivendo la tipologia della strumentazione adottata, la quantità e l'ubicazione degli strumenti.

2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Il progetto esecutivo di cui il presente documento è parte prevede la realizzazione di 22 nicchie di interscambio lungo il tracciato del cunicolo La Maddalena. Nello specifico lungo il primo tratto del cunicolo (da pk 0+000 a pk 2+245 circa), che verrà successivamente utilizzato per l'accesso dei veicoli bimodali e di soccorso al Tunnel di Base, sono previste 7 nicchie di incrocio dei veicoli (di cui 2 equipaggiate di cabina elettrica e 2 di cabina telecomunicazioni) a cui se ne aggiunge un'ottava all'innesto con la galleria di connessione 1 (anch'essa da equipaggiarsi con cabina telecomunicazioni). Queste nicchie sono indicate in rosso nella seguente Figura 1. Il secondo tratto, destinato invece allo deposito irreversibile delle rocce verdi provenienti dallo scavo del Tunnel di Base, prevede la realizzazione di 14 nicchie per la logistica di stoccaggio (in verde in Figura 1).

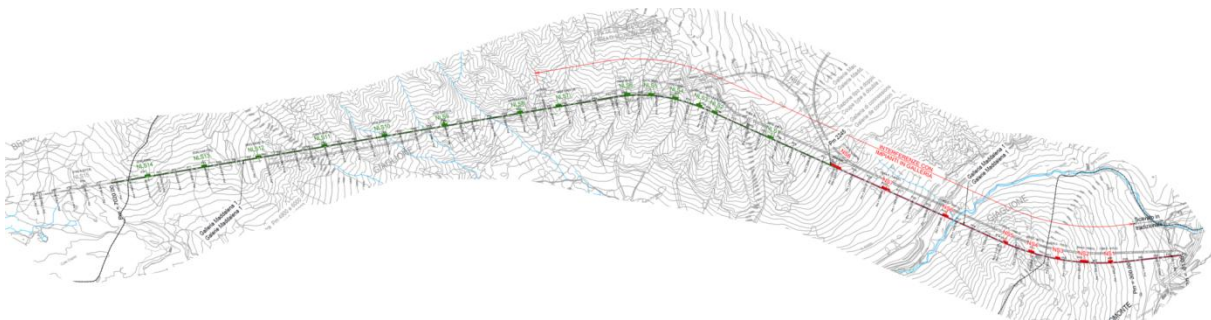


Figura 1 – Planimetria cunicolo con indicazione delle nicchie da realizzarsi

La posizione delle nicchie di interscambio lungo il cunicolo è sintetizzata nella seguente Tabella 1. In rosso sono indicate le posizioni modificate rispetto alla precedente soluzione di PRV, con indicazione anche dell'entità degli spostamenti effettuati (con segno positivo sono indicati gli spostamenti verso progressive crescenti mentre con segno negativo quelli verso l'imbocco della galleria).

Si è infatti considerato ammissibile prevedere lo spostamento di alcune nicchie a condizione di garantire la visibilità tra una nicchia e la successiva, così da consentire la gestione in sicurezza del transito dei mezzi nel corso delle fasi di lavoro.

Nicchia	da pk	a pk	Lunghezza	Spostamento	Interdistanza
	km	km	m	m	m
NS1	385	415	30		
NS2	544	596	52		170
NS3	722.5	757.5	35		170
NS4	892.5	927.5	35		170
NS5	1065	1095	30		170
NS6	1462.5	1497.5	35		400
NS7	1854	1906	52		400
NS8	2180	2245	65		332.5
NLS1	2632	2667	35	-30.5	437
NLS2	3005	3040	35	-57.5	373
NLS3	3123	3158	35	-79.5	118
NLS4	3272	3307	35	-70.5	149

Nicchia	da pk	a pk	Lunghezza	Spostamento	Interdistanza
	km	km	m	m	m
NLS5	3421	3456	35	-61.5	149
NLS6	3570	3605	35	-52.5	149
NLS7	4022.5	4057.5	35		452.5
NLS8	4279.5	4314.5	35	-103.0	257
NLS9	4782.5	4817.5	35		503
NLS10	5182.5	5217.5	35		400
NLS11	5582.5	5617.5	35		400
NLS12	6022.5	6057.5	35		440
NLS13	6382.5	6417.5	35		360
NLS14	6760	6795	35	-22.5	377.5

Tabella 1 – Posizione nicchie

Una sintesi delle sezioni di scavo del cunicolo previste in corrispondenza delle nicchie prima e dopo gli spostamenti previsti è riportata nella seguente Tabella 2. Come si può osservare, pur conservando i requisiti del progetto definitivo (la visibilità è garantita – come illustrato negli specifici elaborati di verifica allegati alla Relazione Generale 04A-1735700-OO---0-Z-E-RE-GN-0102 - e l'interdistanza massima è di circa 500 m – in un tratto in rettilo - contro i 460 m previsti in PRV), le modifiche introdotte consentono una notevole ottimizzazione del contesto di scavo.

Nicchia	PRV			PROPOSTA P.E.			
	da pk	a pk	Sezioni tipo cunicolo	da pk	a pk	Spostamento	Sezioni tipo cunicolo
	km	km		km	km		
NLS1	2662.5	2697.5	F3c - 5m F3c1 - 30m	2632	2667	-30.5	F3c - 34m F3c1 - 1m
NLS2	3062.5	3097.5	F3c1	3005	3040	-57.5	F3c
NLS3	3202.5	3237.5	F3c1	3123	3158	-79.5	F3c1 - 20m F5 - 15m
NLS4	3342.5	3377.5	F3c1 - 7.5m F4 - 27.5m	3272	3307	-70.5	F3c - 16m F3c1 - 19m
NLS5	3482.5	3517.5	F4 - 4.5m F5 - 30.5m	3421	3456	-61.5	F3c1
NLS6	3622.5	3657.5	F3c1 - 32.5m F4 - 2.5m	3570	3605	-52.5	F3c1
NLS8	4382.5	4417.5	F4 - 20m F5 - 15m	4279.5	4314.5	-103.0	F3c1
NLS14	6782.5	6817.5	FMV - 28.5m F4 - 6.5m	6760	6795	-22.5	FMV

Tabella 2 – Spostamento nicchie – Sezioni di scavo cunicolo

2.1.1 Sezioni tipo di scavo delle nicchie

Il progetto a Base Gara, in analogia con il PRV, prevedeva di affrontare lo scavo delle nicchie con riferimento a due possibili sezioni di scavo:

- **Sezione tipo S1:** il rivestimento di prima fase è costituito da spritz beton (20 cm. 5 cm fibrinforzato + 15 cm armato con rete elettrosaldata) e bullonatura radiale con bulloni tipo Swellex Mn24 di lunghezza pari a L=5.0m (6.0m per la nicchia NS8 di dimensioni maggiori) disposti a passo 1.50m (trasv.) x 2.00m (long.).

- **Sezione tipo S2:** il rivestimento di prima fase è costituito da spritz beton (25 cm. 5 cm fibrorinforzato + 20 cm armato con rete elettrosaldata) e centine metalliche tipo HEB180 disposte a passo 1,0m.

In Progetto Esecutivo si è ricercata una maggiore flessibilità di intervento con l'introduzione di un maggior numero di sezioni tipo di scavo (definite imponendo una variabilità degli interventi sulla base delle due sezioni proposte in fase di PRVm), i cui elementi costitutivi sono riassunti nel seguito. Per un maggiore dettaglio si rimanda alla Relazione Generale (04A-1735700-OO---0-Z-E-RE-GN-0102) e alla relazione tecnica delle nicchie (04A-1735700-OO---0-Z-E-RE-GC-0704).

Sezione Tipo	Criterio di applicazione
S1-1	<p>La sezione tipo S1-1 è prevista per scavi all'interno dello Gneiss di Ambin per le situazioni geologiche e geomeccaniche più favorevoli, laddove in fase di scavo del cunicolo si sono rilevati valori di GSI pari a 80-90, che hanno richiesto un'applicazione sporadica di interventi di bullonatura. La sezione potrà essere applicata anche nei primi tratti all'interno del Complesso di Clarea, con coperture di 300-400 m circa, nei tratti in cui si sono rilevati valori di GSI pari a circa 80.</p> <p>In particolare la sezione verrà applicata laddove l'ammasso non evidenzia alcuna criticità geologica quali fenomeni di instabilità (dislocazioni di cunei rocciosi, rilasci tensionali) né la presenza (se non eventualmente molto localizzata) di zone tettonizzate e/o faglie.</p>
S1-2	<p>La sezione tipo S1-2 è prevista per scavi sia all'interno del Complesso di Ambin che del Complesso di Clarea in presenza di un ammasso con buone caratteristiche geologico-geomeccaniche, caratterizzato da valori di GSI superiori a 60 e limitati fenomeni deformativi e/o di instabilità, che hanno richiesto nel corso dello scavo del cunicolo l'applicazione di sezioni tipo semplicemente bullonate, a varia intensità di bullonatura e, localmente, con installazione di rete elettrosaldata sul profilo di scavo (F1, F2, F3c) ovvero sezioni bullonate prevedenti, ad integrazione, l'installazione di rete e centine full round UPN 120 quale ulteriore intervento di presidio nei confronti dei fenomeni di rilascio gravitativo (F3c1).</p>
S1-3	<p>La sezione tipo S1-3 è prevista per scavi all'interno del Complesso di Clarea in presenza di un ammasso con caratteristiche geologico-geomeccaniche intermedie, caratterizzato da valori di GSI prossimi a 60 e con potenziale rischio di formazione di cunei e/o fenomeni di splaccaggio.</p> <p>La sezione verrà applicata in contesti che hanno richiesto nel corso dello scavo del cunicolo l'applicazione di interventi di bullonatura al contorno accoppiati con centine UPN 120 quale ulteriore intervento di presidio nei confronti di possibili fenomeni di rilascio gravitativo (F3c1).</p>
S2-1	<p>La sezione tipo S2-1 è prevista per le tratte scavate nel Complesso di Clarea in contesti ad elevate coperture, superiori ai 1000m, ma in presenza di condizioni geomeccaniche intermedie-buone, caratterizzate da valori di GSI ≥ 60.</p> <p>La sezione verrà applicata prevalentemente in contesti che, anche per l'elevato stato tensionale indotto dalla configurazione di copertura, hanno richiesto nel corso dello scavo del cunicolo la messa in opera sistematica di centine e pannellature metalliche full round (con campo di variabilità degli interventi che spazia dalla sezione tipo FMV – con centine HEB 120 passo 1.35 m - alla sezione tipo F4, con pannelli di profondità nell'ordine del mezzo metro - costituiti da doppia centina HEB 120 - posti ad interasse di 1,40m).</p>

Sezione Tipo	Criterio di applicazione
S2-2	La sezione tipo S2-2 è prevista per le tratte in cui le caratteristiche dell'ammasso roccioso risultano più scadenti, con un GSI compreso tra 50 e 60 o inferiore. In queste condizioni possono insorgere, in seguito allo scavo, fenomeni di plasticizzazione più estesi al contorno del cavo, con convergenze e fenomeni di instabilità più marcati. La sezione verrà applicata prevalentemente in contesti che hanno richiesto nel corso dello scavo del cunicolo la messa in opera sistematica di centine e pannellature metalliche full round (con campo di variabilità degli interventi che spazia dalla sezione tipo FMV – con centine HEB 120 passo 1.35 m - alla sezione tipo F5, con pannelli di profondità nell'ordine del mezzo metro - costituiti da doppia centina HEB 120 - posti in adiacenza a costituire un blindaggio continuo).

Tabella 3 – Criterio di applicazione sezioni di scavo nicchie

2.1.1.1 Sezione tipo S1-1

La sezione tipo S1-1 è costituita dai seguenti interventi:

- Bulloni radiali tipo Swellex Pm 24, di lunghezza $L \geq 4.00$ m, maglia 2.0m (trasv.) x 2.0 m (long.);
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al contorno sp. 20,0 cm (5.0 cm + 15.0 cm);
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al fronte di scavo sp. ≥ 5.0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 4.0 m).

2.1.1.2 Sezione tipo S1-2

La sezione tipo S1-2 è costituita dai seguenti interventi:

- Bulloni radiali tipo Swellex Pm 24, di lunghezza $L \geq 5.00$ m, maglia 1.5m (trasv.) x 2.0 m (long.);
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al contorno sp. 20,0 cm (5.0 cm + 15.0 cm);
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al fronte di scavo sp. ≥ 5.0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 2.0 m).

2.1.1.3 Sezione tipo S1-3

La sezione tipo S1-3 è costituita dai seguenti interventi:

- Bulloni radiali tipo Swellex Pm 24, di lunghezza $L \geq 5.00$ m, maglia 1.0 m (trasv.) x 1.0 m (long.);
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al contorno sp. 20,0 cm (5.0 cm + 15.0 cm);
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al fronte di scavo sp. ≥ 5.0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 2.0 m).

2.1.1.4 Sezione tipo S2-1

La sezione tipo S2-1 è costituita dai seguenti interventi:

- Centina metallica 1 HEB 180 a passo 1.30 m;
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al contorno sp. 25,0 cm (5.0 cm + 20.0 cm);

- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al fronte di scavo sp. \geq 5.0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 1.3 m).

2.1.1.5 Sezione tipo S2-2

La sezione tipo S2-2 è costituita dai seguenti interventi:

- Centina metallica 1 HEB 180 a passo 1.00 m;
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al contorno sp. 25,0 cm (5.0 cm + 20.0 cm);
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al fronte di scavo sp. \geq 5.0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 1.0 m).

3 QUADRO GEOLOGICO, GEOMECCANICO E IDROGEOLOGICO

Nel seguito si riporta una sintesi del quadro geologico, geomeccanico e idrogeologico di riferimento, definita sulla base delle informazioni rilevate nel corso dello scavo del cunicolo esplorativo de La Maddalena e raccolte nei documenti di as-built e nella “*Relazione ritorno di esperienza scavo Cunicolo esplorativo della Maddalena*” a cui si rimanda per ulteriori dettagli, reinterpretrate ed organizzate in funzione dell’ubicazione delle previste nicchie in esame

3.1 Sintesi della geologia incontrata durante lo scavo del cunicolo

Lo scavo del cunicolo della Maddalena ha coinvolto nella sua parte iniziale materiali sciolti di origine glaciale e fluvio-glaciale e litotipi di diversa natura, principalmente calcarei, per interessare successivamente i litotipi del Complesso di Ambin e, nella parte centrale, dalle rocce corrispondenti al Complesso di Clarea.

Nel dettaglio nel tratto scavato in tradizionale (fino alla progressiva Km 0+198), per i primi 97m circa, sono stati intercettati depositi sciolti rappresentati da depositi glaciali e fluvio-glaciali, incontrando successivamente litotipi di diversa natura rappresentati dalle carniole, afferenti agli orizzonti tettonici di scollamento, dolomie e marmi dolomitici, verosimilmente afferenti all’Unità tettonica del Gad e micascisti e scisti carbonatici, verosimilmente riconducibili a un lembo di copertura mesozoica dell’Ambin. L’attribuzione degli scisti/micascisti carbonatici alle coperture dell’Ambin non è tuttavia certa e non si può escludere che tali litotipi possano anche far riferimento ai calcescisti dell’Unità Puy-Venaus (GCC).

In generale lo scavo di questo settore, dove non è prevista alcuna nicchia, non ha comportato particolari problemi sia in termini geotecnici/geomeccanici che idrogeologici.

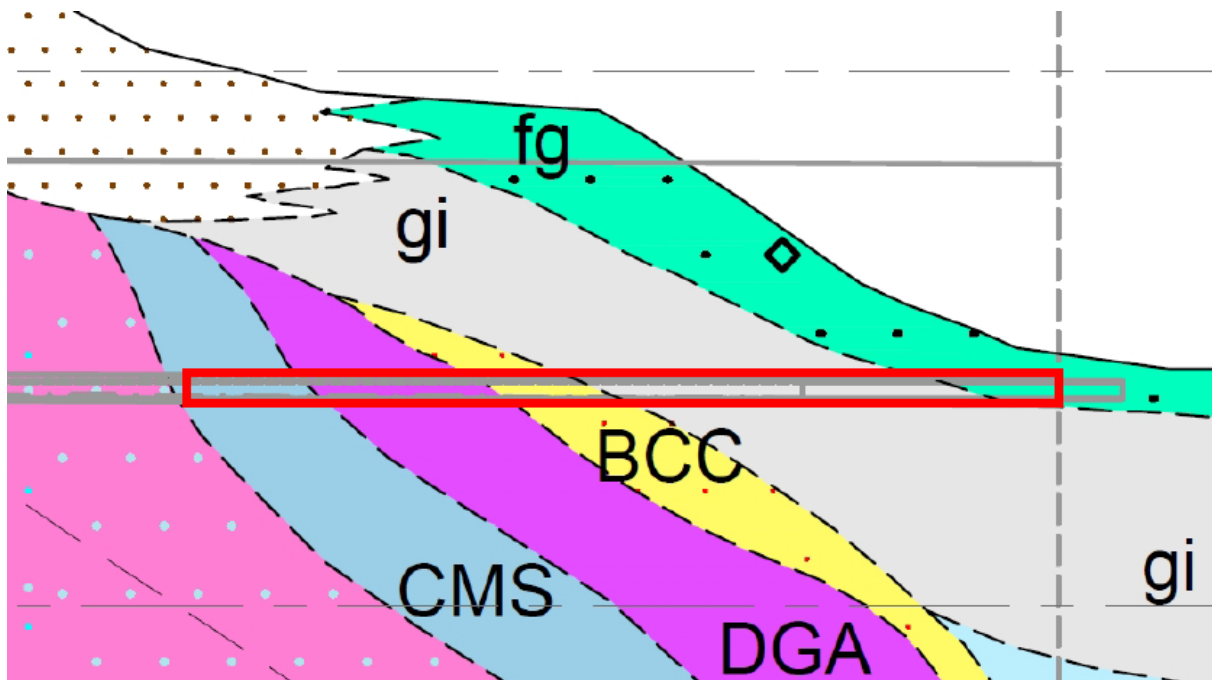


Figura 2 – Stralcio del profilo geologico (in rosso il tratto scavato in tradizionale)

Il tratto successivo, scavato con metodo meccanizzato, ha interessato, come da previsioni di Progetto Esecutivo la struttura a duomo costituita nella parte più esterna dai litotipi del Complesso di Ambin e nella parte centrale dalle rocce corrispondenti al Complesso di Clarea.

Nel dettaglio tra le progressive Km 0+198 e 1+148 (nicchie da NS1 a NS5) sono stati attraversati gli gneiss aplitici, di colore da grigio scuro a grigio chiaro, fino a verde chiaro per presenza di clorite. Queste rocce di origine metamorfica presentano grana medio fine, struttura eteroblastica e tessitura da isotropa a debolmente foliata, per effetto dell'alternanza di livelli sialici di quarzo e subordinatamente feldspati e livelli lepidoblastici di mica bianca. Le principali famiglie di giunti e faglie risultano orientate circa sub-parallele ai piani di scistosità. Lungo il settore compreso tra le pk 0+950 e 1+050 (nessuna nicchia) è presente un tratto, di circa 100 m, caratterizzato da alternanze tra gneiss albitici minuti e micascisti quarzosi. Nel settore compreso tra pk 1+050 e 1+148 (nicchia NS5) la fratturazione risulta essere più marcata.

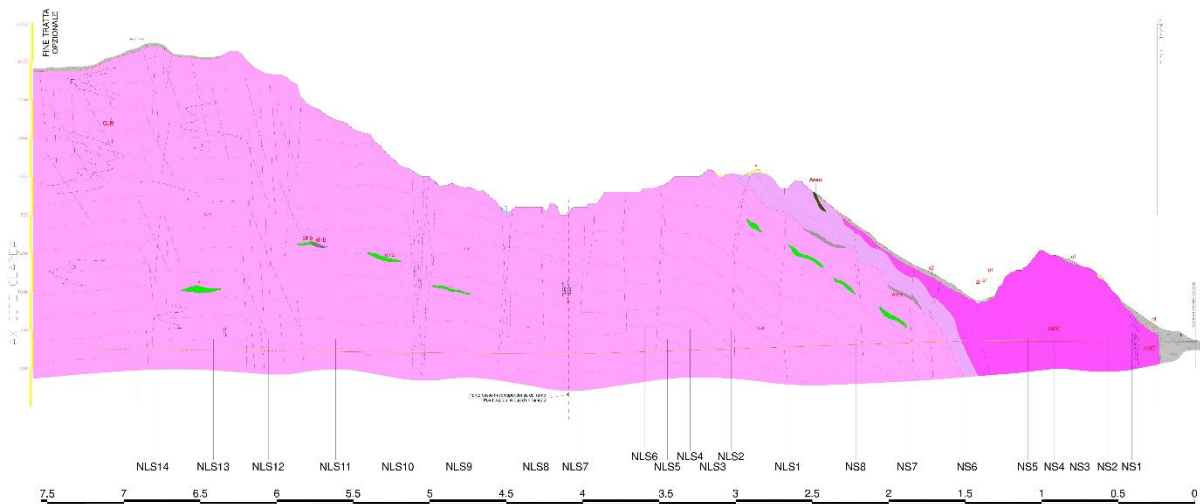


Figura 3 – Profilo geologico

Nei successivi 202 m (tra progressive Km 1+148 e 1+350 – nessuna nicchia) sono stati incontrati i litotipi rappresentati dagli gneiss albitici minuti (granofels ad albite, quarzo e fengite) passanti a micascisti quarzosi. In generale la roccia è di colore scuro, a grana medio fine, tessitura in genere foliata dovuta all'alternanza di livelli di scisti nerastri intensamente laminati con gneiss minuti, micascisti e vene di quarzo. Il contatto con i precedenti gneiss aplitici è risultato essere di tipo tettonico duttile.

A partire dalla pk 1+350 (dalla nicchia NS6 in poi) il Cunicolo esplorativo ha intercettato micascisti grigio scuri, i micascisti quarzosi e gli gneiss minuti (a glaucofane più o meno albitizzati) del Complesso di Clarea.

Il passaggio tra il Complesso di Ambin e quello di Clarea è caratterizzato da una zona con intensa fratturazione (nessuna nicchia interessata).

Si segnala inoltre che, durante lo scavo del Cunicolo, non sono state incontrate o attraversate le lenti di metabasiti segnalate in letteratura e in taluni casi rinvenute in affioramento in superficie entro i litotipi del Complesso di Clarea.

Focalizzando l'attenzione sulle sole nicchie, nella seguente si riporta una sintesi delle principali caratteristiche geologiche individuate nei tratti di cunicolo in cui verranno realizzati gli scavi di allargo.

Nicchia	Pk inizio	Pk fine	Formazione	Copertura	Faglie e zone tettonizzate	Criticità geologiche
NS 1	385	415	AMBIN	195 - 215	Locali	Non rilevate
NS 2	544	596	AMBIN	335-400	Locali	Non rilevate
NS 3	722.5	757.5	AMBIN	475-495	Locali	Non rilevate
NS 4	892.5	927.5	AMBIN	550-560	Zone con fratturazione spaziata ma persistente (parte finale - 12m)	Non rilevate
NS 5	1065	1095	AMBIN	485-520	Zone con fratturazione spaziata ma persistente (18m)	Non rilevate
NS 6	1462.5	1497.5	CLAREA	275-295	Zone con fratturazione spaziata ma persistente (12m)	Non rilevate
NS 7	1854	1906	CLAREA	515-550	Faglie locali	Non rilevate
NS 8	2180	2245	CLAREA	761 - 810	Zone con fratturazione spaziata ma persistente (parte iniziale - 26m)	Non rilevate
NLS 1	2632	2667	CLAREA	1025-1060	Non rilevata	Non rilevate
NLS 2	3005	3040	CLAREA	1130-1135	Non rilevata	Temperature > 30° (ultimi 5m)
NLS 3	3123	3158	CLAREA	1145-1165	fratturazione spaziata ma persistente	Temperature > 30°
NLS 4	3272	3307	CLAREA	1120-1130	fratturazione spaziata ma persistente. Faglie e zone tettonizzate ultimi 21 m	Temperature > 30°
NLS 5	3421	3456	CLAREA	1085-1120	fratturazione spaziata ma persistente 22m	Temperature > 30°
NLS 6	3570	3605	CLAREA	1060	Zone con fratturazione spaziata ma persistente (ultimi 9m)	Temperature > 30°
NLS 7	4022.5	4057.5	CLAREA	950	Faglie e zone tettonizzate 7m	Temperature > 30°
NLS 8	4279.5	4314.5	CLAREA	950	fratturazione spaziata ma persistente. Faglie e zone tettonizzate 22 m	Temperature > 30°
NLS 9	4782.5	4817.5	CLAREA	1075-1085	Non rilevate	Temperature > 30°
NLS 10	5182.5	5217.5	CLAREA	1210-1235	Zone con fratturazione spaziata ma persistente (primi 16.5 m)	Temperature > 30°
NLS 11	5582.5	5617.5	CLAREA	1470-1505	Zone con fratturazione spaziata ma persistente (primi 6.5 m). Faglie e zone tettonizzate 20.5m	Temperature > 30°
NLS 12	6022.5	6057.5	CLAREA	1795-1800	Zone con fratturazione spaziata ma persistente (Ultimi 17.5m)	Temperature > 30°
NLS 13	6382.5	6417.5	CLAREA	1905-1910	Non rilevate	Temperature > 30°
NLS 14	6760	6795	CLAREA	1985-1995	Faglie e zone tettonizzate 2m	Temperature > 30°

Tabella 4 – Sintesi geologia nicchie

3.2 Caratterizzazione geomeccanica

Nelle figure seguenti si riportano i grafici con la distribuzione per ciascuna nicchia dei principali parametri che definiscono o la qualità geomeccanica dell'ammasso roccioso. I dati

sono stati presi dai numerosi rilievi geomeccanici delle superfici di scavo eseguiti durante lo scavo del cunicolo esplorativo

Nel grafico di è presentato il dettaglio della distribuzione delle classi di RMR di Bieniawsky (1989) per tutte le nicchie in Progetto. I valori di RMR più elevati sono associati agli gneiss aplitici (AMC), che in generale presentano struttura massiva ed elevata resistenza. In corrispondenza dei micascisti di Clarea (CLR) si registra una diminuzione dell'indice di qualità della roccia, verosimilmente legata al maggiore carattere scistoso e micaceo delle rocce, ad un generale maggior grado di fratturazione dell'ammasso con sistemi di discontinuità sovente impostati lungo la stessa foliazione. Il valore RMR rimane tuttavia sufficientemente elevato (> 50), rientrando nella classificazione di "roccia buona".

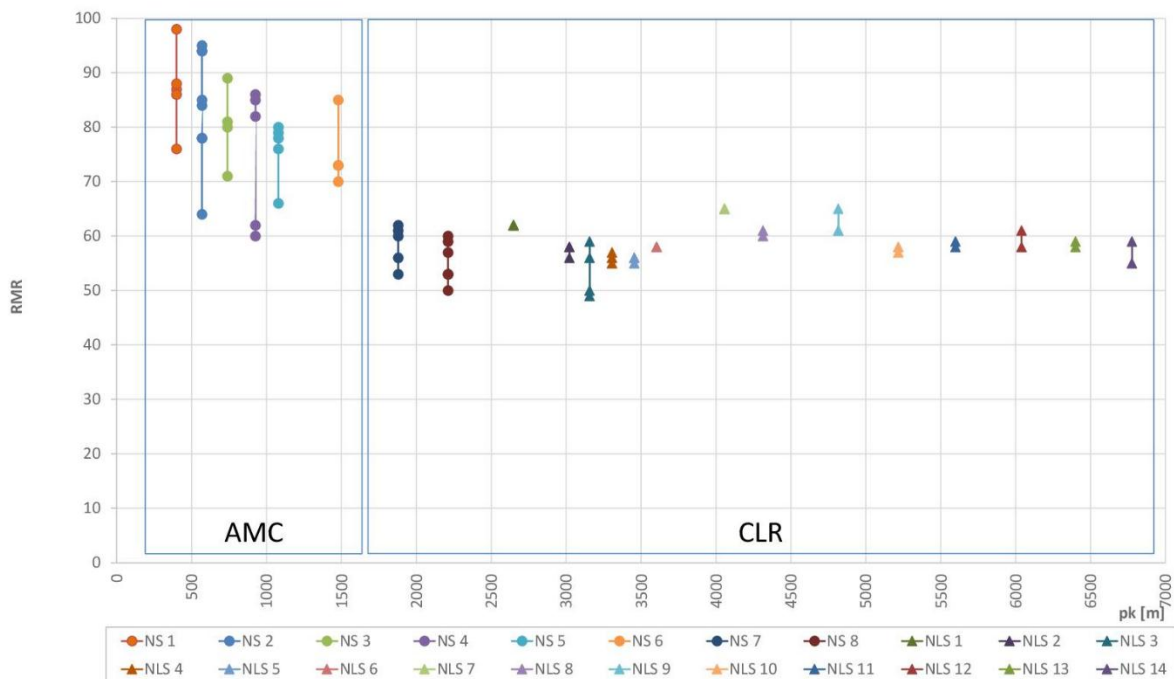


Figura 4 – Distribuzione dei valori di RMR di Bieniawsky (1989) e delle classi di qualità valutati per ciascuna nicchia

Nei rilievi geologici dei paramenti eseguiti in avanzamento, oltre alle diverse caratteristiche strutturali che hanno permesso di calcolare il valore dell'indice RMR di Bieniawsky, sono anche stati stimati i valori di GSI (Geological Strength Index) lungo i diversi settori di ammasso roccioso.

La distribuzione dei diversi valori di GSI, stimati per ciascuna nicchia, è riportata nella seguente.

Anche per il valore di GSI, la cui distribuzione lungo il tracciato del cunicolo risulta essere coerente con quello del RMR, si registrano i valori più elevati nella prima tratta dove lo scavo ha interessato gli gneiss aplitici (AMC), mentre valori inferiori sono stati rilevati in corrispondenza dei micascisti di Clarea (CLR).

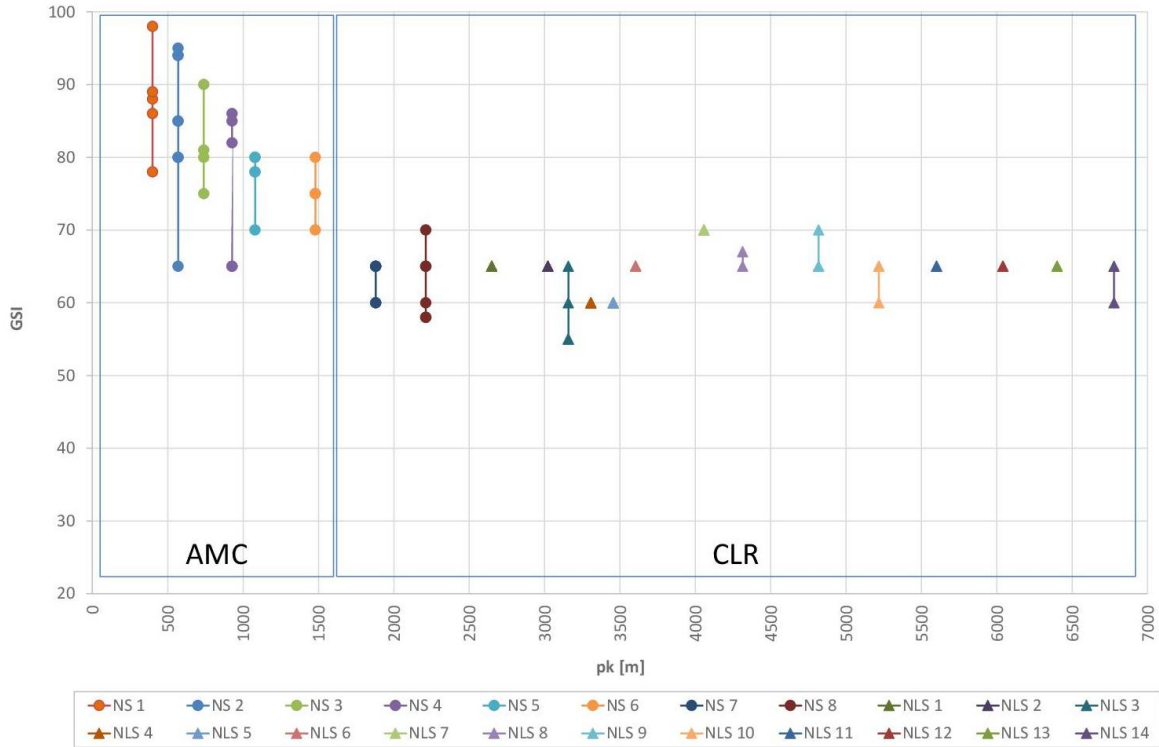


Figura 5 – Distribuzione dei valori di GSI rilevati in corrispondenza delle future nicchie

In avanzamento allo scavo sono stati eseguiti una serie di prove di PLT (Point Load Test) su diversi provini di roccia, eseguite sia in direzione parallela che ortogonale alla scistosità principale. Dai diversi valori di PLT sono stati successivamente ricavati i valori di σ_c medio, parallelo e ortogonale alla scistosità.

Per i litotipi AMC, e in parte gli AMD, non sono definiti valori di σ_c orientato (parallelo e ortogonale) a causa della foliazione mal definita e della sostanziale anisotropia dei litotipi. La distribuzione dei valori di σ_c è riportata nei grafici delle figure seguenti.

Appare evidente, come è naturale aspettarsi, che i valori di resistenza alla compressione ortogonali alla foliazione () sono più elevati rispetto a quelli misurati in direzione parallela ().

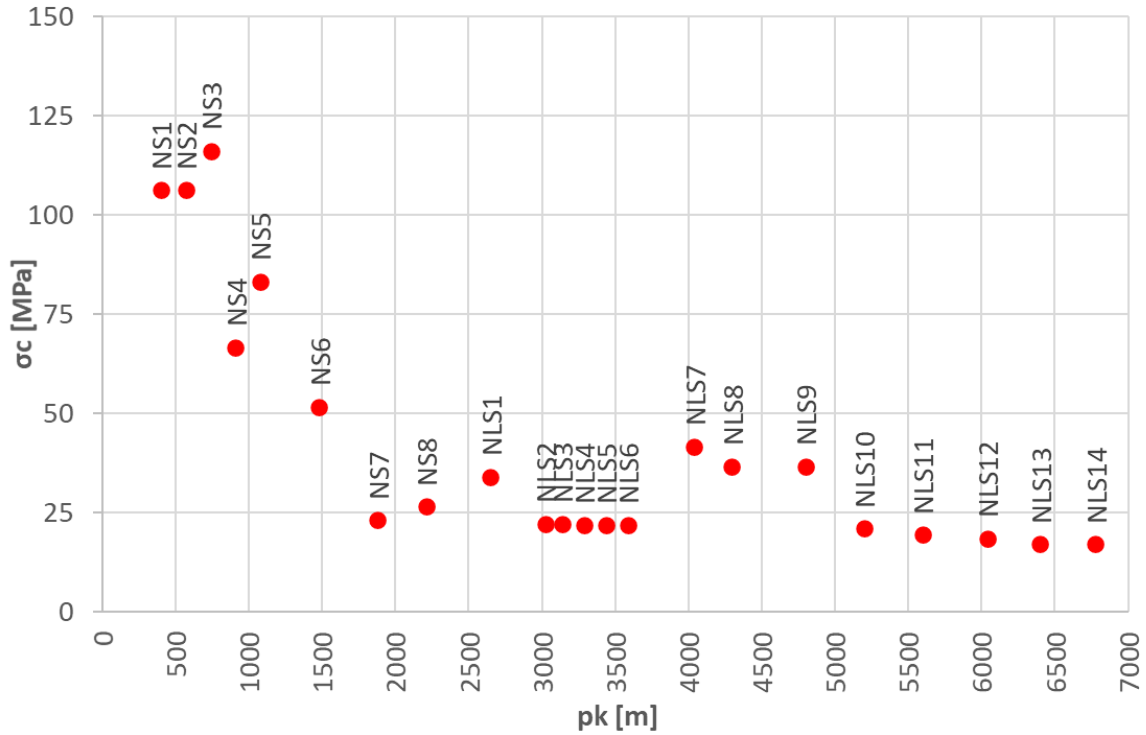


Figura 6 – Distribuzione dei valori di σ_c medio ricavato dalle prove di PLT (Point Load Test) eseguiti in corrispondenza delle future nicchie.

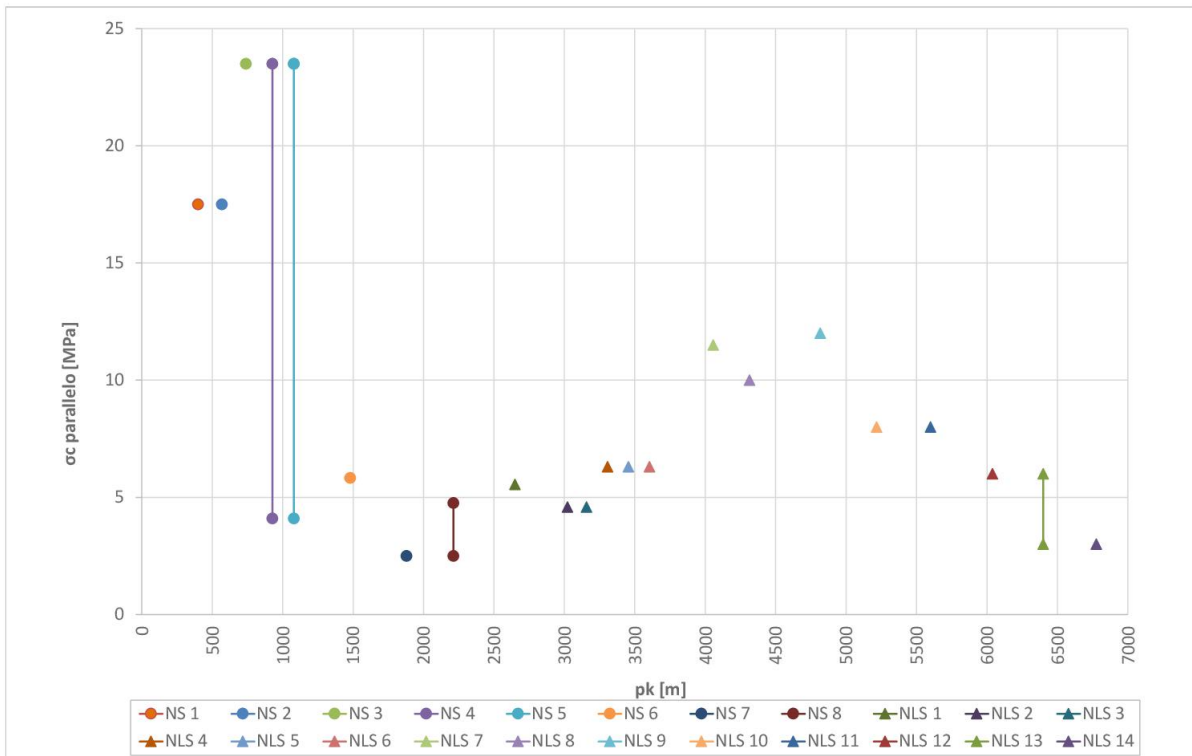


Figura 7 – Distribuzione dei valori di σ_c parallelo alla scistosità principale ricavato dalle prove di PLT (Point Load Test) eseguiti in corrispondenza delle future nicchie

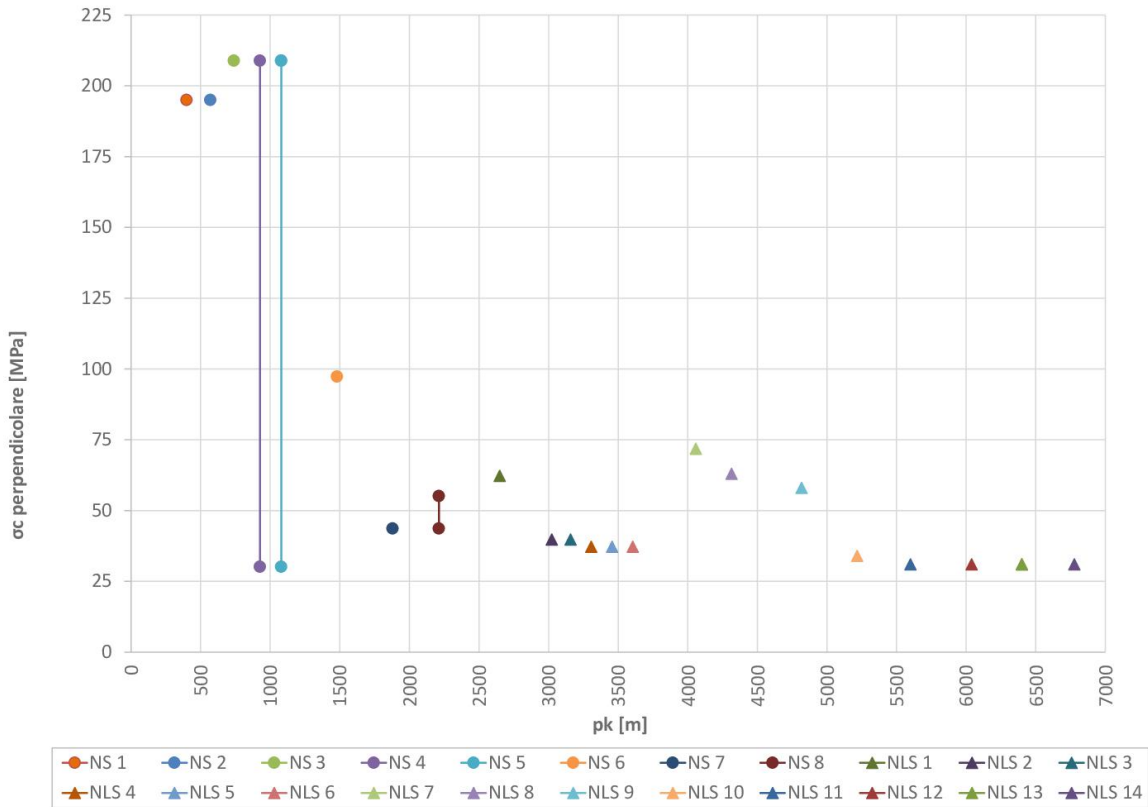


Figura 8 – Distribuzione dei valori di σ_c ortogonale alla scistosità principale ricavato dalle prove di PLT (Point Load Test) eseguiti in corrispondenza delle future nicchie.

Nella tabella seguente si riporta una sintesi delle considerazioni espresse.

Geologia	Litotipo	Classe geomeccanica	RMR	GSI	σ_c [MPa]
Complesso di Ambin	AMC - Gneiss Aplitici	da I a III (II prevalente)	$52 \leq RMR \leq 98$	$54 \leq GSI \leq 98$ valore medio 76,5	$68 \leq \sigma_{c \text{ medio}} \leq 251$
	AMD - Gneiss albitici passanti a micascisti quarzosi	da II a IV (III prevalente)	$40 \leq RMR \leq 66$	$43 \leq GSI \leq 70$ valore medio 53,5	$70 \leq \sigma_{c \text{ medio}} \leq 149$
Complesso di Clarea	CLR - Micascisti e gneiss minuti più o meno albitizzati	da I a IV (III prevalente)	$34 \leq RMR \leq 85$	$30 \leq GSI \leq 85$ valore medio 64	$60 \leq \sigma_{c \text{ medio}} \leq 255$

Tabella 5 – Sintesi geomeccanica

Nella seguente si riporta una sintesi delle principali caratteristiche geomeccaniche individuate nei tratti di cunicolo in cui verranno realizzati gli scavi di allargo.

Nicchia	Pk inizio	Pk fine	Formazione	Copertura	RMR	GSI	Fenomeni di instabilità	Resistenza a compressione σ_c [MPa]	m Hoek e Brown
NS 1	385	415	AMBIN	195 - 215	76 87 88 98 86	78 88 89 98 86	Non rilevati	17.5 - 195	4.1 - 11.2
NS 2	544	596	AMBIN	335-400	94 95 94 84 85 78 78 64	94 95 94 85 85 80 80 65	Distacco di cunei tra 576 e 582	17.5 - 195	4.1 - 11.2
NS 3	725	755	AMBIN	475-495	71 80 81 89	75 80 81 90	Non rilevati	23.5 - 208.9	4.4 - 10.4
NS 4	892.5	927.5	AMBIN	550-560	86 82 85 60 62	86 82 85 65 65	Distacco di cunei tra 904 e 909	23.5 - 208.9 4.09 - 30.1	4.4 - 10.4 1.17 - 2
NS 5	1065	1095	AMBIN	485-520	80 78 76 66 79	80 78 78 70 80	Distacco di cunei tra 1086 e 1093	23.5 - 208.9 4.09 - 30.1 23.5 - 208.9	4.4 - 10.4 3.1 - 3.5 4.4 - 10.4
NS 6	1462.5	1497.5	CLAREA	275-295	85 70 73 73	80 70 75 75	Distacco di cunei tra 1466 e 1478	5.82 - 97.29	4.11 - 7.02
NS 7	1854	1906	CLAREA	515-550	62 61 56 53 60	65 65 60 60 65	Distacco di cunei per tutto lo sviluppo	2.49 - 43.62	1.40 - 2.39
NS 8	2180	2245	CLAREA	761 - 810	53 50 57 53 60 59	58 58 70 60 65 65	Distacco di cunei tra 2180 e 2184	2.49 - 43.62 4.75-55.09	1.40 - 2.39 1.40-2.01
NLS 1	2632	2667	CLAREA	1025-1060	62 62 62 62	65 65 65 65	Non rilevati	5.55 - 62.24	1.80 - 3.08
NLS 2	3005	3040	CLAREA	1130-1135	58 58 56	65 65 65	Distacco di cunei tra 3027 e 3040	4.58 - 39.75	1.68 - 2.58
NLS 3	3123	3158	CLAREA	1145-1165	59 56 50 49	65 60 55 55	Distacco di cunei per tutto lo sviluppo	4.58 - 39.75 4.99-17.7	1.68 - 2.58 1.4-1.4
NLS 4	3272	3307	CLAREA	1120-1130	57 56 55	60 60 60	Non rilevati	6.30 - 37.20	1.56 - 2.58
NLS 5	3421	3456	CLAREA	1085-1120	56 56 55 56	60 60 60 60	Distacco di cunei tra 3421 e 3430 Distacco di cunei tra 3440 e 3456	6.30 - 37.20	1.56 - 2.58
NLS 6	3570	3605	CLAREA	1060	58 58 58	65 65 65	Distacco di cunei per tutto lo sviluppo	6.30 - 37.20	1.56 - 2.58
NLS 7	4022.5	4057.5	CLAREA	950	65 65 65	70 70 70	Non rilevati	11.50-71.85	2.58-4.84
NLS 8	4279.5	4314.5	CLAREA	950	60 61	65 67	Non rilevati	10.00-63.00	2.6-4.5
NLS 9	4782.5	4817.5	CLAREA	1075-1085	65 61 61	70 65 65	Distacco di cunei per tutto lo sviluppo	12.00-58.00	2.6-4.5
NLS 10	5182.5	5217.5	CLAREA	1210-1235	57 58 58	65 65 60	Distacco di cunei per tutto lo sviluppo	8.00-34.00	1.7-2.6
NLS 11	5582.5	5617.5	CLAREA	1470-1505	59 58	65 65	Distacco di cunei per tutto lo sviluppo	8.00-31.00	1.7-2.6
NLS 12	6022.5	6057.5	CLAREA	1795-1800	61 58	65 65	Distacco di cunei per tutto lo sviluppo	6.00-31.00	1.7-2.6
NLS 13	6382.5	6417.5	CLAREA	1905-1910	59 58	65 65	Distacco di cunei per tutto lo sviluppo	3.00-31.00	1.4-2.6
NLS 14	6760	6795	CLAREA	1985-1995	59 55	65 60	Distacco di cunei per tutto lo sviluppo	3.00-31.00	1.4-2.6

Tabella 6 – Sintesi geomeccanica Nicchie

3.3 Quadro riassuntivo della circolazione idrogeologica incontrata nel Cunicolo esplorativo

Lo scavo del Cunicolo esplorativo ha permesso di raccogliere una buona mole di dati che, uniti all'assetto geologico strutturale conosciuto dalle fasi progettuali precedenti, hanno permesso di verificare più in dettaglio il quadro della circolazione idrica presente nel massiccio roccioso del Complesso di Ambin e del Complesso di Clarea interessato dallo scavo delle nicchie in Progetto.

In definitiva le manifestazioni idriche registrate in galleria non sono state di elevata intensità e non è stata incontrata nessuna struttura idrogeologica di particolare rilevanza. Tale dato è confortante in quanto l'asse del tracciato ha sotto attraversato il torrente Clarea (coperture inferiori a 300m) senza registrare particolari criticità di carattere idrogeologico.

Lungo lo sviluppo del Cunicolo esplorativo le portate transitorie sono state, per la maggior parte dei casi, di qualche litro al secondo e solo tra le pk 2+600-2+750 sono state registrate portate maggiori (circa 10-15 l/s). Queste portate in fase di scavo si sono ridotte nell'arco di qualche settimana a pochi litri al secondo, con tassi di decrescita variabili da 50% a 90%.

Le portate stabilizzate (puntuali), tutt'ora in fase di monitoraggio, variano da meno di un litro al secondo ad un massimo di circa 5 l/s.

Come indicato in , si possono evidenziare lungo lo sviluppo del Cunicolo esplorativo tre scenari differenti con le caratteristiche indicate di seguito:

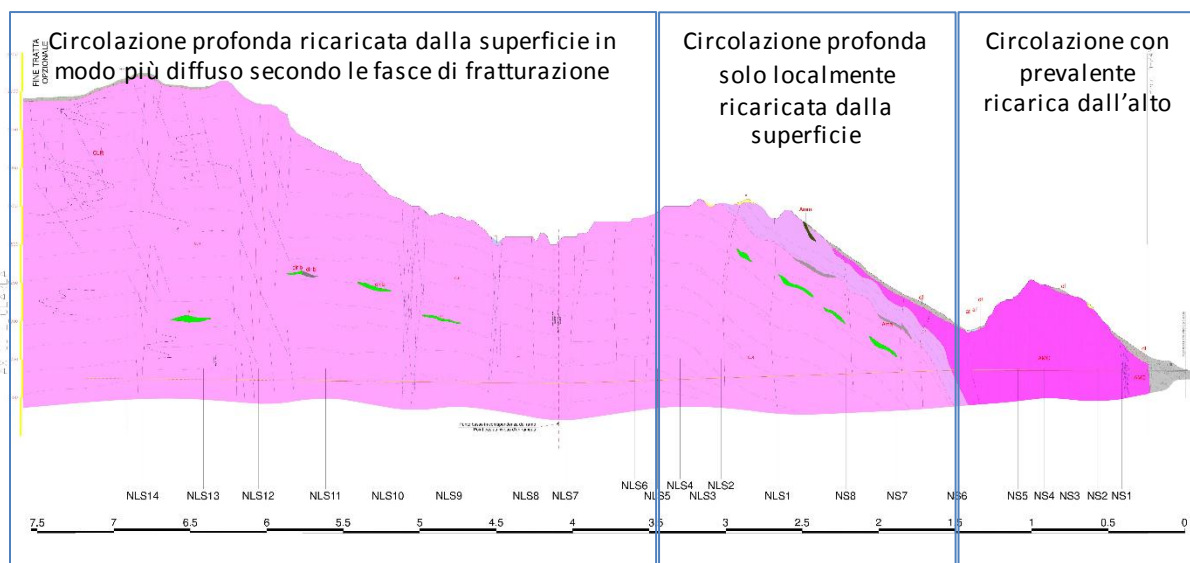


Figura 9 – Suddivisione della tratta per settori di circolazione idrica sotterranea

- **settore a bassa copertura:** circolazione con prevalente ricarica superficiale dove probabilmente le portate sono ancora influenzate, con tempi relativamente rapidi, dalle precipitazioni meteoriche;
- **settore di versante a copertura crescente:** circolazione profonda di acque lente cariche dove solo localmente le acque più fresche e giovani provenienti dall'infiltrazione superficiale si miscelano con quelle profonde. E' possibile che nei settori a minor copertura (fino alla pk 1500) la ricarica stagionale possa influenzare le portate in galleria;

- **settore di elevata copertura:** la circolazione profonda è poco sviluppata ma influenzata dalla infiltrazione di apporti superficiali lungo i fasci di fratturazione ad elevata persistenza orientati NE-SW. Le portate, una volta stabilizzate non risentono, se non in maniera marginale, degli eventi stagionali (scioglimento delle nevi, precipitazioni intense).

Nella seguente sono sintetizzate le venute puntuali (in regime stabilizzato) misurate nel corso degli scavi in corrispondenza della posizione delle future nicchie.

Nicchia	Pk inizio	Pk fine	Formazione	Copertura	Venute d'acqua [l/s]
NS 1	385	415	AMBIN	195 - 215	0.1
NS 2	544	596	AMBIN	335-400	0.5
NS 3	725	755	AMBIN	475-495	Non rilevate
NS 4	892.5	927.5	AMBIN	550-560	0.2 0.3
NS 5	1065	1095	AMBIN	485-520	0.1 0.1 0.1
NS 6	1462.5	1497.5	CLAREA	275-295	Non rilevate
NS 7	1854	1906	CLAREA	515-550	0.2 0.1 venuta in foro cross-hole venuta in foro sparo TSP
NS 8	2180	2245	CLAREA	761 - 810	0.2 0.1 0.5 0.5 0.2 0.2 0.2 0.1 0.2 0.2 0.5 1 1 0.1
NLS 1	2632	2667	CLAREA	1025-1060	0.1 0.1 0.1 0.1 0.1
NLS 2	3005	3040	CLAREA	1130-1135	Non rilevata
NLS 3	3123	3158	CLAREA	1145-1165	Non rilevata
NLS 4	3272	3307	CLAREA	1120-1130	0.1 0.1 0.1
NLS 5	3421	3456	CLAREA	1085-1120	0.1
NLS 6	3570	3605	CLAREA	1060	0.1
NLS 7	4022.5	4057.5	CLAREA	950	Non rilevate
NLS 8	4279.5	4314.5	CLAREA	950	0.05 0.1 0.2 0.1 0.1
NLS 9	4782.5	4817.5	CLAREA	1075-1085	> 0.1
NLS 10	5182.5	5217.5	CLAREA	1210-1235	Non rilevate
NLS 11	5582.5	5617.5	CLAREA	1470-1505	0.4
NLS 12	6022.5	6057.5	CLAREA	1795-1800	0.1 0.1 0.1
NLS 13	6382.5	6417.5	CLAREA	1905-1910	Non rilevate
NLS 14	6760	6795	CLAREA	1985-1995	0.1

Tabella 7 – Sintesi venute puntuali (in regime stabilizzato) misurate in corrispondenza della posizione delle nicchie

4 SISTEMA DI MONITORAGGIO

La strumentazione da predisporre per il monitoraggio dovrà consentire la verifica delle condizioni geologiche-geomeccaniche di previsione e la misura dello stato di tensione e di deformazione delle opere in costruzione.

Per la corretta e sicura gestione delle operazioni di allargò del cunicolo si renderà quindi necessaria la messa in servizio, preventivamente all'inizio delle lavorazioni, di un sistema di monitoraggio topografico delle convergenze su tutta la tratta interessata dai lavori. In corrispondenza delle tratte in cui in fase di scavo del cunicolo si è resa necessaria la posa in opera di elementi metallici di blindaggio, alla misura delle convergenze si accoppierà il controllo dello stato tensionale delle centine costituenti i pannelli di blindaggio, mediante posa in opera di barrette estensimetriche che consentano di verificare possibili effetti sui rivestimenti indotti dalle operazioni di scavo, associati a modificazioni dello stato tensionale nell'ammasso nell'immediato contorno della galleria.

Nel corso degli scavi si provvederà all'esecuzione sistematica di rilievi del fronte e alla posa in opera di sezioni di misura delle convergenze in corrispondenza di tutte le nicchie realizzate. In situazioni specifiche si prevedranno inoltre sezioni di misura dello stato tensionale del priverivestimento e delle deformazioni nell'ammasso al contorno del cavo.

Nel seguito si descrivono in dettaglio le attività di monitoraggio previste, con indicazione delle specifiche tecniche relative alla strumentazione da installare e delle frequenze di lettura previste (che potranno in ogni caso essere rimodulate in corso d'opera in funzione delle misure rilevate).

4.1 Monitoraggio in fase di scavo

Come anticipato, preventivamente allo scavo di ciascuna nicchia si dovrà prevedere l'installazione di una sezione di misura, costituita da 4 mire topografiche (vedi Figura 10), ogni 20 m circa per tutta l'estensione del tratto di intervento, prevedendo inoltre due ulteriori sezioni prima e dopo l'area interessata dagli scavi. Tale strumentazione consentirà di valutare il comportamento deformativo del cunicolo nel corso delle lavorazioni, consentendo di cogliere repentinamente potenziali comportamenti anomali dell'ammasso e/o della struttura e poter eventualmente intervenire con adeguati interventi integrativi sugli specifici settori che ne risultino interessati.

Laddove il cunicolo presenta elementi metallici di blindaggio si prevedrà inoltre la posa in opera di barrette estensimetriche (sempre in numero di 4 per sezione – vedi Figura 11) per la misura dello stato tensionale delle centine, così da valutare possibili effetti sui rivestimenti indotti dalle operazioni di scavo, che tenendo conto della maggiore rigidità dei sostegni risulterebbero più difficilmente identificabili con le sole letture di convergenza.

La frequenza di esecuzione delle misure sarà indicativamente di una lettura al giorno, ma potrà essere calibrata in relazione agli avanzamenti giornalieri.

In fase di scavo si provvederà inoltre all'esecuzione di un rilievo del fronte in corrispondenza di ogni sfondo, secondo le modalità descritte nel seguente paragrafo 4.3.1.

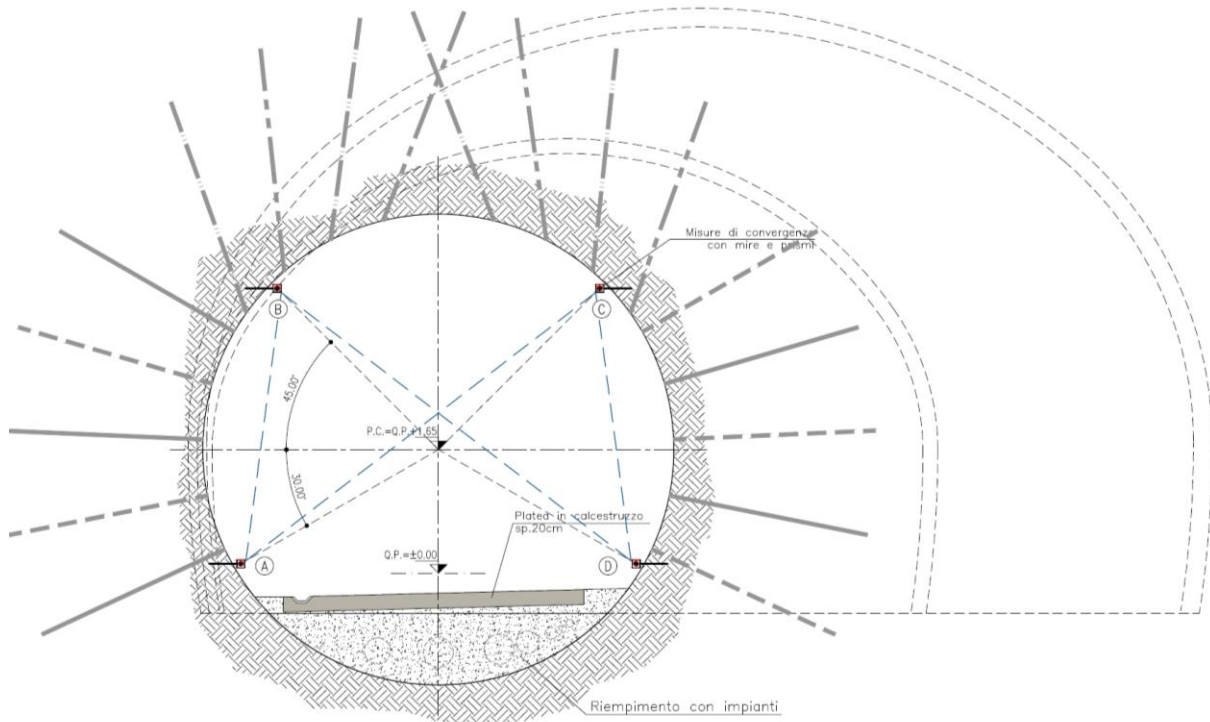


Figura 10 – Monitoraggio in fase di scavo – Sezione di misura delle convergenze

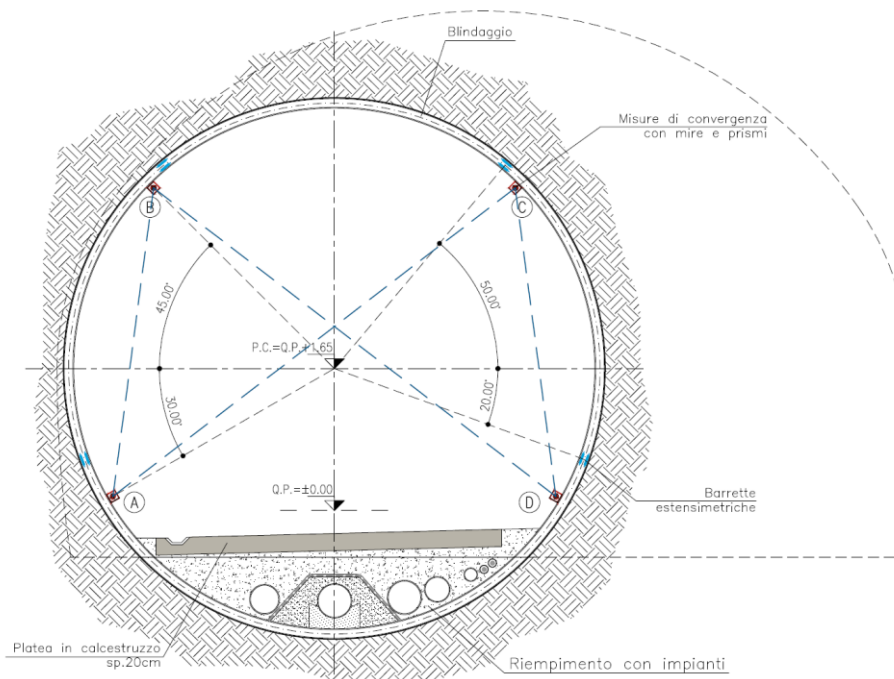


Figura 11 – Monitoraggio in fase di scavo – Sezione di misura dello stato tensionale

Nella seguente (*) vedi paragrafo 4.3.1

Tabella 8 sono sintetizzate le attività di monitoraggio previste in fase di scavo.

Nicchia	Pk inizio	Pk fine	Lunghezza	Sezione Cunicolo	Monitoraggio		
					Mire e prismi	Strain gauges	Rilievi del fronte
					[n° sezioni]	[n° sezioni]	[n° sezioni]
NS1	385	415	30	F1	2+2		Ogni sfondo (*)
NS2	544	596	52	F1-F2	2+2		Ogni sfondo (*)
NS3	722.5	757.5	35	F1-F2	2+2		Ogni sfondo (*)
NS4	892.5	927.5	35	F1-F2-F3c	2+2		Ogni sfondo (*)
NS5	1065	1095	30	F1-F2	2+2		Ogni sfondo (*)
NS6	1462.5	1497.5	35	F1-F2	2+2		Ogni sfondo (*)
NS7	1854	1906	52	F3c	3+2		Ogni sfondo (*)
NS8	2180	2245	65	F3a-F3c-F3c1	4+2	2	Ogni sfondo (*)
NLS1	2632	2667	35	F3c-F3c1	2+2		Ogni sfondo (*)
NLS2	3005	3040	35	F3c	2+2		Ogni sfondo (*)
NLS3	3123	3158	35	F3c1-F5	2+2	1	Ogni sfondo (*)
NLS4	3272	3307	35	F3c-F3c1	2+2	2	Ogni sfondo (*)
NLS5	3421	3456	35	F3c1	2+2		Ogni sfondo (*)
NLS6	3570	3605	35	F3c1	2+2		Ogni sfondo (*)
NLS7	4022.5	4057.5	35	F3c1	2+2		Ogni sfondo (*)
NLS8	4279.5	4314.5	35	F3c1	2+2		Ogni sfondo (*)
NLS9	4782.5	4817.5	35	F4	2+2	2+2	Ogni sfondo (*)
NLS10	5182.5	5217.5	35	FMV-F4	2+2	2+2	Ogni sfondo (*)
NLS11	5582.5	5617.5	35	FMV	2+2	2+2	Ogni sfondo (*)
NLS12	6022.5	6057.5	35	FMV	2+2	2+2	Ogni sfondo (*)
NLS13	6382.5	6417.5	35	FMV	2+2	2+2	Ogni sfondo (*)
NLS14	6760	6795	35	FMV	2+2	2+2	Ogni sfondo (*)

(*) vedi paragrafo 4.3.1

Tabella 8 – Sintesi monitoraggio in fase di scavo

4.2 Monitoraggio successivo alla realizzazione delle nicchie

Come già anticipato il sistema di monitoraggio verrà esteso anche successivamente allo scavo delle nicchie, con la definizione di 3 differenti sezioni di monitoraggio definite come indicato nel seguito:

- Sezione di monitoraggio convergenze
5 mire ottiche per la misura di convergenza del cavo;
- Sezione di monitoraggio dello stato tensionale del priverimento
3 strain gauges montati sulle ali delle centine
- Sezione di monitoraggio delle deformazioni al contorno del cavo
2 estensimetri multibase, di lunghezza non inferiore a 12 m, per la misura delle deformazioni e dell'estensione della fascia plastica al contorno della sagoma di scavo.

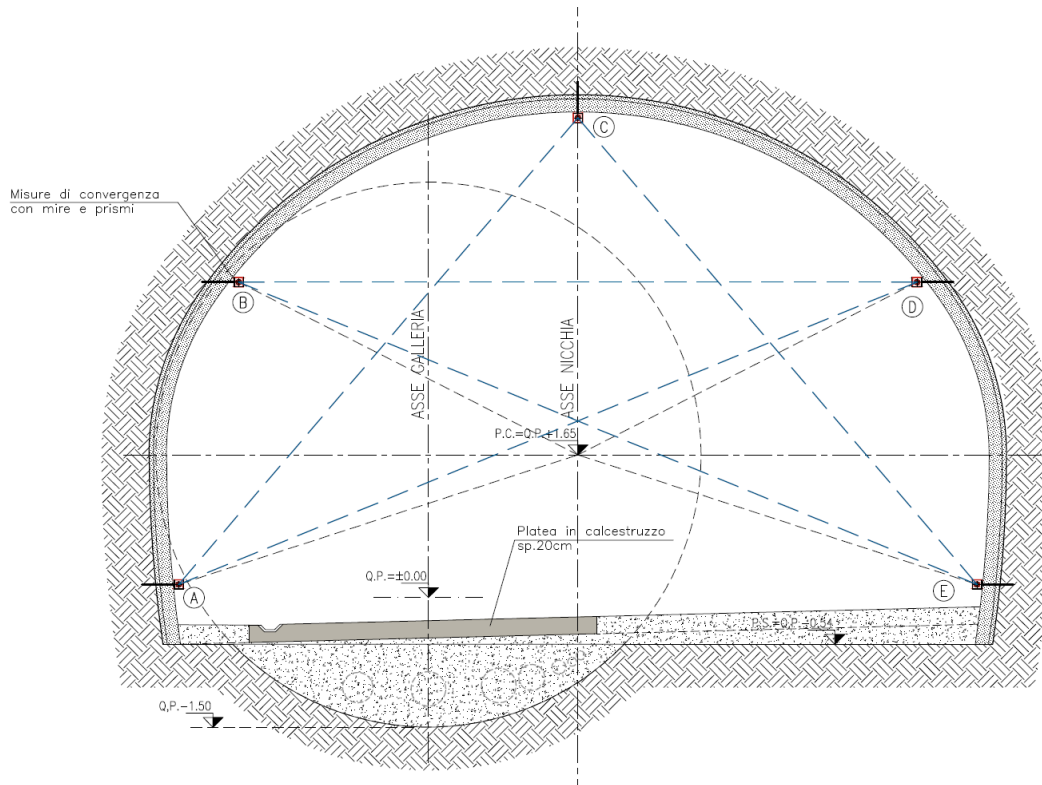


Figura 12 – Monitoraggio successivo alla realizzazione delle nicchie – Sezione di misura delle convergenze

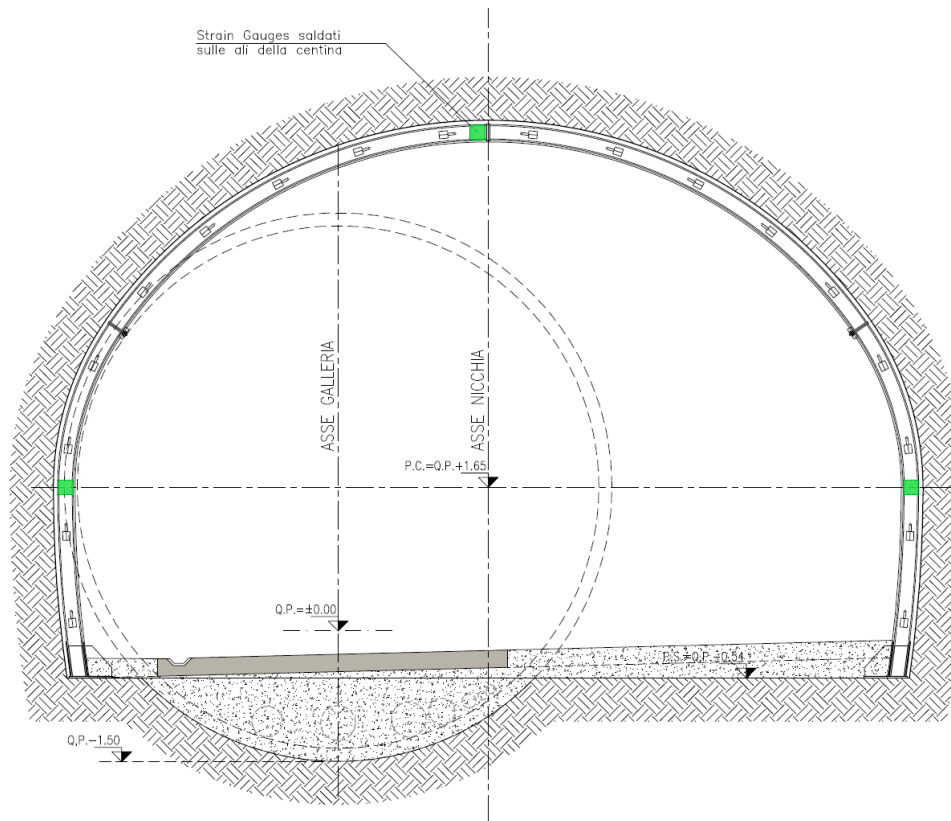


Figura 13 – Monitoraggio successivo alla realizzazione delle nicchie – Sezione di misura dello stato tensionale del privervestimento

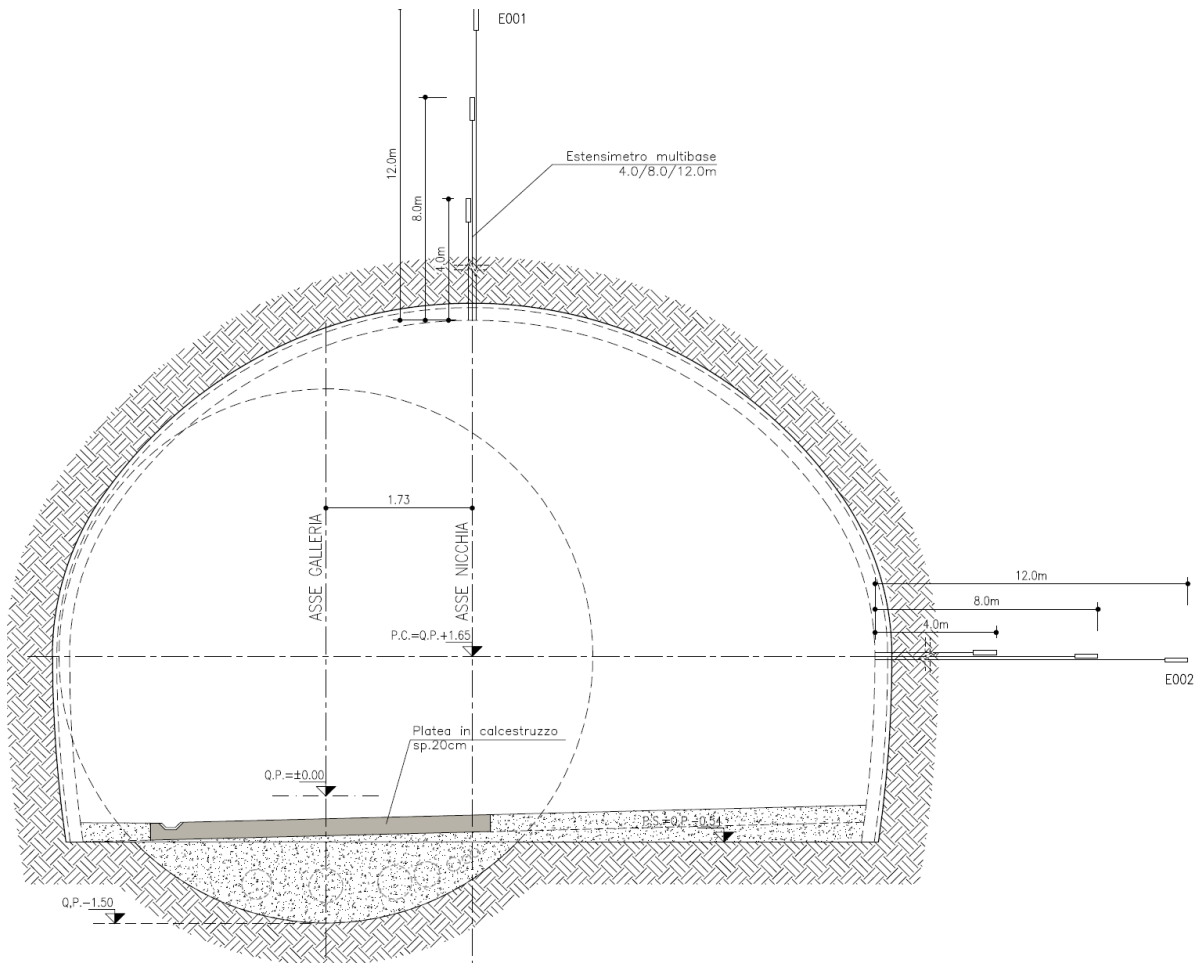


Figura 14 – Monitoraggio successivo alla realizzazione delle nicchie – Sezione di misura deformazioni al contorno del cavo

La frequenza di lettura dovrà essere giornaliera fino al raggiungimento della stabilizzazione delle misure. Successivamente dovrà prevedersi una lettura a settimana (per 4 settimane dopo la stabilizzazione delle misure) ed infine una lettura mensile fino all'esecuzione del rivestimento definitivo. Le frequenze potranno in ogni caso essere rimodulate in corso d'opera in funzione delle misure rilevate.

Le sezioni verranno messe in opera ad una distanza massima di 1.0 m dal fronte di scavo e provvedendo all'immediata esecuzione della lettura di zero, minimizzando quindi l'entità delle deformazioni scontate dalla struttura prima dell'inizio del monitoraggio.

Rispetto a quanto previsto dal PRV, in cui le sezioni di monitoraggio erano ubicate in corrispondenza di sole 4 nicchie, il sistema di monitoraggio è stato reso più capillare. In particolare:

- Le sezioni di monitoraggio delle convergenze saranno previste in corrispondenza di ciascuna nicchia, collocando le sezioni ad un interasse pari a circa 20m e mantenendo attive anche le sezioni prima e dopo l'allargò poste in opera in fase di scavo. Una sezione di convergenza sarà prevista anche in corrispondenza di ciascuno dei due rami di inversione presenti alle nicchie NLS4 e NLS9.
- Le sezioni di monitoraggio dello stato tensionale saranno previste in corrispondenza di ogni nicchia in cui lo scavo verrà effettuato con posa in opera di centine metalliche (n°1 sezione per ogni nicchia). Si prevedrà inoltre una sezione in corrispondenza di

ciascuno dei gruppi di 3 centine ravvicinate posti in opera ai lati degli innesti dei rami e della galleria di connessione per un totale di 6 sezioni ulteriori.

- Le sezioni di monitoraggio delle deformazioni al contorno del cavo verranno ubicate in corrispondenza delle seguenti nicchie:
 - **Nicchia NS8**, in cui è localizzato l'innesto con la galleria di connessione 1, data la sezione più grande e la presenza di un innesto tra due differenti cunicoli;
 - **Nicchie NLS4 e NLS9** in cui verranno realizzati i due rami di inversione per i mezzi d'opera;
 - **Nicchie NLS3 e NLS 14** a cui, secondo quanto rilevato nel corso degli scavi del cunicolo, corrispondono valori minimi di GSI.

Una sintesi delle sezioni previste è riportata nella seguente tabella:

Nicchia	Pk inizio	Pk fine	Lunghezza	Sezione Cunicolo	Monitoraggio		
					Mire e prismi	Strain gauges	Estensimetro multibase
					[n° sezioni]	[n° sezioni]	[n° sezioni]
NS1	385	415	30	F1	2		
NS2	544	596	52	F1-F2	3		
NS3	722.5	757.5	35	F1-F2	2		
NS4	892.5	927.5	35	F1-F2-F3c	2		
NS5	1065	1095	30	F1-F2	2		
NS6	1462.5	1497.5	35	F1-F2	2		
NS7	1854	1906	52	F3c	3		
NS8	2180	2245	65	F3a-F3c-F3c1	4	2.00	1
NLS1	2632	2667	35	F3c-F3c1	2		
NLS2	3005	3040	35	F3c	2		
NLS3	3123	3158	35	F3c1-F5	2	1	1
NLS4	3272	3307	35	F3c-F3c1	2	2	1
	RAMO		15		1		
NLS5	3421	3456	35	F3c1	2		
NLS6	3570	3605	35	F3c1	2		
NLS7	4022.5	4057.5	35	F3c1	2		
NLS8	4279.5	4314.5	35	F3c1	2		
NLS9	4782.5	4817.5	35	F4	2	3	1
	RAMO		15		1		
NLS10	5182.5	5217.5	35	FMV-F4	2	1	
NLS11	5582.5	5617.5	35	FMV	2	1	
NLS12	6022.5	6057.5	35	FMV	2	1	
NLS13	6382.5	6417.5	35	FMV	2	1	
NLS14	6760	6795	35	FMV	2	1	1
TOTALE					50	13	5

Tabella 9 – Sintesi strumentazione di monitoraggio

4.3 Specifiche tecniche della strumentazione e frequenze di lettura

4.3.1 Rilievi del fronte

Il rilievo del fronte di scavo consiste nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche del fronte di scavo valutate durante gli avanzamenti.

Si possono distinguere due differenti tipologie di rilievo:

- rilievi di tipo “analitico”; indicativamente 2 per nicchia o cambio litologia geomeccanica
- 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, JRS), 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 (pressiometriche, dilatometriche, scissometriche...). Una scheda tipo (di esempio) per l’esecuzione dei rilievi di tipo analitico è riportata in allegato.

Nei rilievi di tipo speditivo, basterà rilevare qualitativamente le caratteristiche litologico-stratigrafiche e strutturale dell’ammasso, a conferma delle previsioni progettuali e delle indicazioni dei rilievi analitici effettuati.

Si prevede la seguente frequenza di rilievi, da tarare eventualmente in corso d’opera in funzione delle effettive condizioni dell’ammasso:

- rilievi analitici: indicativamente 2 per ogni nicchia o in presenza di cambi del contesto litologico/geomeccanico
- rilievi speditivi: ogni sfondo.

4.3.2 Misura delle convergenze

Le misure in oggetto, come già anticipato, consentono di stimare le deformazioni del cavo della galleria attraverso il sistematico rilievo ad alta precisione delle coordinate di punti di misura disposti lungo il perimetro del cavo stesso e attrezzati con mire ottiche rilevabili mediante strumento topografico di precisione.

Principio di Misura	Puntamento ottico e misurazione elettronica (angoli e distanze)
Precisione sistema collimazione automatica	≤ 1 mm a 200 metri
Precisione lettura angolare	1”
Precisione misura della distanza	1 mm + 2 ppm

Le mire ottiche vengono generalmente installate durante la posa in opera della centina, quando è possibile, mediante un foro eseguito con un fioretto, ancorare efficacemente ed in completa sicurezza i supporti all’ammasso e successivamente, appena terminata la

proiezione dello spritz-beton sulla centina, procedere al posizionamento delle mire ottiche e all'effettuazione della lettura di riferimento (lettura di zero).

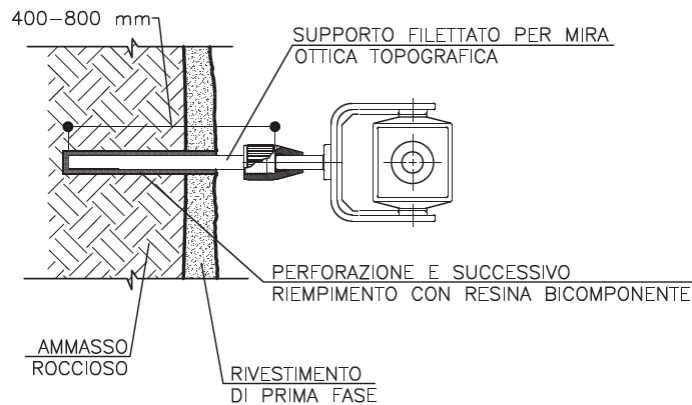


Figura 15 – Mire ottiche per il rilievo delle convergenze

Le misure saranno effettuate con strumento topografico a lettura manuale.

La frequenza dei rilevamenti sarà di massima la seguente:

- **Fase di scavo** (rif. par. 4.1)
 - n. 1 lettura al giorno, da calibrarsi in relazione agli avanzamenti giornalieri.
- **Fase successiva alla realizzazione delle nicchie** (rif. par. 4.2)
 - n. 1 lettura al giorno, fino a stabilizzazione delle misure;
 - n.1 lettura a settimana successivamente alla stabilizzazione delle misure (per 4 settimane);
 - n.1 lettura al mese fino alla realizzazione del rivestimento definitivo.

Le frequenze potranno in ogni caso essere rimodulate in corso d'opera in funzione delle misure rilevate.

4.3.3 Monitoraggio tenso-deformativo del rivestimento di prima fase mediante strain gauges

Per la determinazione delle deformazioni e dei carichi nelle centine del rivestimento di prima fase è prevista l'installazione di coppie di estensimetri a corda vibrante posizionate tangenzialmente in intradosso e estradosso sulle ali della centina, come indicato nella seguente Figura 16.

Principio di Misura	Corda Vibrante
Campo di Misura (f.s.)	- / + 1500 $\mu\epsilon$
Precisione	<2 % f.s.
Campo di Temperatura	-20° / +80° C
Coefficiente di espansione	11.6 $\mu\epsilon$ /°C
Lunghezza	min 150 mm
Segnale in Uscita	Hz

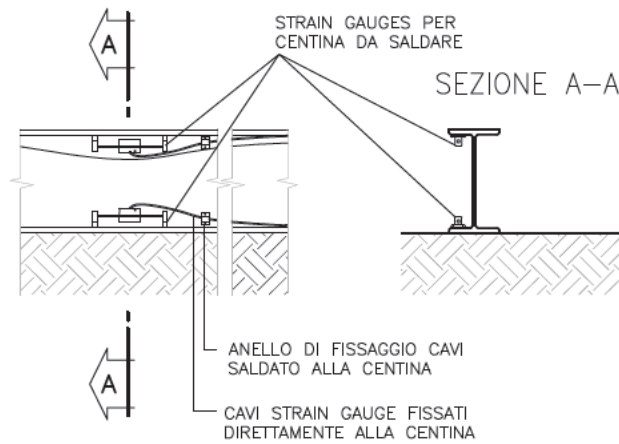


Figura 16 – Estensimetri su rivestimento di prima fase

Le barrette estensimetriche saranno collegate ad un'unità di acquisizione dati, la quale a sua volta invierà i dati all'unità centrale, da cui saranno scaricati i dati dei sensori mediante apposita centralina mobile.

La frequenza dei rilevamenti sarà di massima la seguente:

- **Fase di scavo** (rif. par. 4.1)
 - n. 1 lettura al giorno, da calibrarsi in relazione agli avanzamenti giornalieri.
- **Fase successiva alla realizzazione delle nicchie** (rif. par. 4.2)
 - n. 1 lettura al giorno, fino a stabilizzazione delle misure;
 - n.1 lettura a settimana successivamente alla stabilizzazione delle misure (per 4 settimane);
 - n.1 lettura al mese fino alla realizzazione del rivestimento definitivo.

Le frequenze potranno in ogni caso essere rimodulate in corso d'opera in funzione delle misure rilevate.

4.3.4 Monitoraggio deformativo dell'ammasso mediante estensimetri multibase

Per la determinazione delle deformazioni radiali del cavo e dell'ammasso nel medio lungo termine è prevista l'installazione di sezioni strumentate composte da 2 estensimetri multibase (a 3 basi) ubicati radialmente all'altezza del rene destro e della chiave di calotta, attrezzati con trasduttori di spostamento elettrico per consentire la misura in automatico delle deformazioni. Il sistema prevede l'installazione, all'interno di perforazioni, di punti di ancoraggio collegati alla superficie con aste di vetroresina protette da una robusta guaina esterna. Le aste, libere di scorrere all'interno della loro guaina protettiva, trasferiscono il movimento del punto di ancoraggio alla testa dello strumento. Tale movimento viene rilevato tramite un trasduttore di spostamento elettrico.

La frequenza dei rilevamenti sarà di massima la seguente:

- **Fase successiva alla realizzazione delle nicchie** (rif. par. 4.2)
 - n. 1 lettura al giorno, fino a stabilizzazione delle misure;
 - n.1 lettura a settimana successivamente alla stabilizzazione delle misure (per 4 settimane);

- n.1 lettura al mese fino alla realizzazione del rivestimento definitivo.

Le frequenze potranno in ogni caso essere rimodulate in corso d'opera in funzione delle misure rilevate.

Estensimetro a barre	
Materiale aste	Fibra di vetro
Coefficiente di espansione	$3,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Diametro astine	7 mm
Guaina protettiva	nylon
Numero basi	3
Trasduttore di spostamento	
Principio di Misura	Potenziometrico
Campo di Misura (f.s.)	0-25 / 0-50 / 0-100 / 0-50
Precisione	<0.25 % F.S.
Campo di Temperatura	-20° / +70° C
Segnale in Uscita	Volt/mA

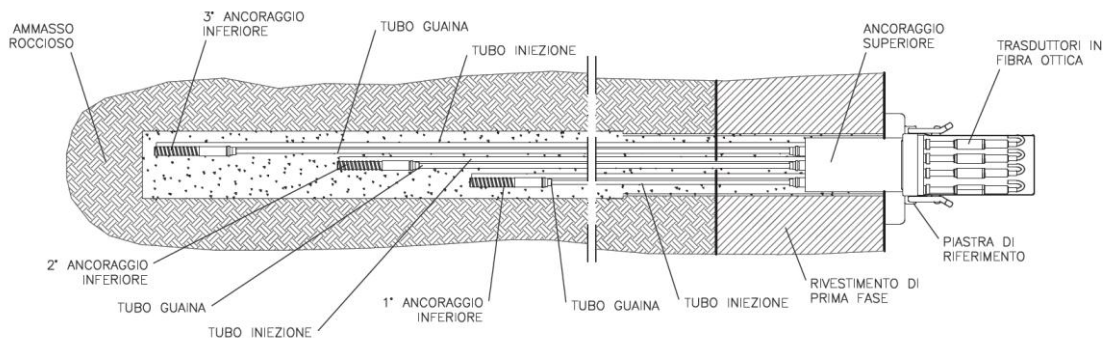




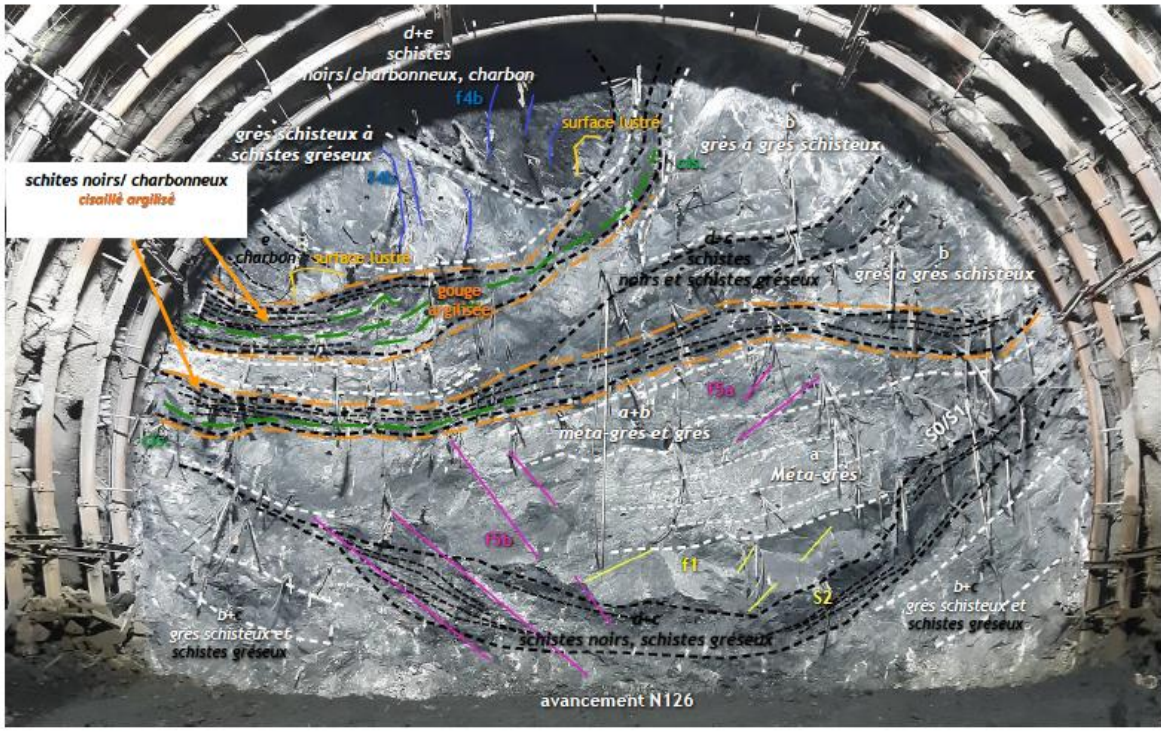
Figura 17 – Estensimetri multibase





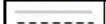




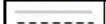




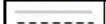




4.4 Gestione dei dati




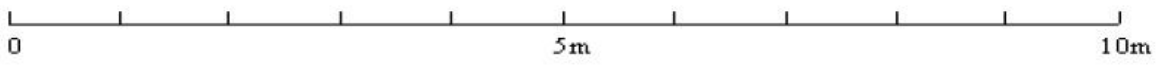
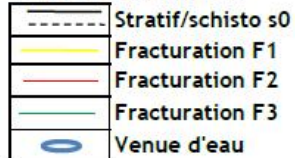
Tutti i dati prodotti dalle attività di monitoraggio geotecnico-strutturale e di carattere geologico/idrogeologico/geotecnico, (misure delle convergenze e strumentazione di monitoraggio geotecnico strutturale installata, rilievi geostrutturali del fronte di scavo, eventuali prove di caratterizzazione, verbali e relazioni, ecc.) dovranno essere caricati nel portale informatico di TELT, “Geo-database”, nella sezione dedicata, con le modalità e secondo le specifiche tecniche che saranno indicate dalla stessa TELT. Il portale consiste in un data base in Oracle accessibile via internet, un manuale d'utilizzo del portale informatico sarà messo a disposizione dell'Appaltatore.



TELT: Inserire il percorso di distribuzione dei dati in analogia con quanto previsto per il PMA PRESCRIZIONE 160



ALLEGATO - SCHEDA TIPO PER L'ESECUZIONE DEI RILIEVI DI TIPO ANALITICO



 <p>TUNNEL EURALPIN LYON TURIN</p>	 <p>De projet est cofinancé par l'Union européenne (RTE-T)</p>												
RELEVÉ DE FRONT DE TAILLE N°		98	PAGE : 1/8										
SMP4 Partie 3 - Galerie 3b Tube Sud (Est) - Grande Section													
PM FRONT (m) : 10418,5	DATE : 29/08/2019	HEURE : 15h00	AUTEUR :										
PHOTO ou DESCRIPTION DU FRONT DE TAILLE													
													
<p>Unités géologiques</p> <p>1 Zone Briançonnaise houillère</p> <p>2</p> <p>3</p>	<p>Lithologie</p> <p>a Méta-grès</p> <p>b Grès schisteux</p> <p>c Schistes gréseux</p> <p>d Schistes noirs</p> <p>e Charbon</p>	<p>Légende structures</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 1px dashed black;"></td> <td>Stratif/schisto s0</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 1px solid yellow;"></td> <td>Fracturation F1</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 1px solid red;"></td> <td>Fracturation F2</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 1px solid green;"></td> <td>Fracturation F3</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 1px solid blue; border-radius: 50%;"></td> <td>Venue d'eau</td> </tr> </table>			Stratif/schisto s0		Fracturation F1		Fracturation F2		Fracturation F3		Venue d'eau
	Stratif/schisto s0												
	Fracturation F1												
	Fracturation F2												
	Fracturation F3												
	Venue d'eau												
<p>Notes:</p> <p>Lithologies : Front particulièrement hétérogène et très fracturé. Alternances entre des niveaux pluri-décimétriques dominés par des schistes noirs et des niveaux métriques de grès. Des veinules de quartz parcourent les blocs de méta-grès en partie centrale. Deux zones cisailées traversent le front, elles sont mises en avant par la présence de gouge de faille décimétrique argilisée de couleur gris clair. Une zone charbonneuse et des plans lustrés sont visibles sous la voûte.</p> <p>Structures :</p> <ul style="list-style-type: none"> - S0/S1 : stratification visible grâce aux alternances: N140/50. S2 visible proche du radier sur niveaux schisteux: N110/60-70. - cis: N100/30 - F1: présente en partie inférieure et dans les niveaux gréseux N10/60 - F4b: dans les zones charbonneuses, sous la voûte: N290/80 - Une famille de fracture: F5b: N210/50 bien représentée en bas de front et avec remplissage quartzeux parfois décimétrique et F5a: N60/60 dans les grès. <p>Stabilité : Tenue moyenne à faible: front fragilisé dû aux nombreuses fractures, cisaillement et niveaux schisteux/charbonneux instables. Quelques chutes pendant le levé.</p> <p>Venues d'eau : front sec.</p>													

	 <p>De projet est cofinancé par l'Union européenne (RTE-1)</p>												
<p>RELEVÉ DE FRONT DE TAILLE N°</p>		<p>98</p>	<p>PAGE : 2/8</p>										
<p>SMP4 Partie 3 - Galerie 3b Tube Sud (Est) - Grande Section</p>													
<p>PM FRONT (m) : 10418,5</p>	<p>DATE: 29/08/2019</p>	<p>HEURE: 15h00</p>	<p>AUTEUR: TOURNIER Ilona</p>										
<p>PHOTO ou DESCRIPTION DES PAREMENTS</p>													
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>													
<p>Unités géologiques</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Zone Briançonnaise houillère 2 3 <p>Notes:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%;"></div>	<p>Lithologie</p> <ol style="list-style-type: none"> a Méta-grès b Grès schisteux c Schistes gréseux d Schistes noirs e Charbon 	<p>Légende structures</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>Stratif/schisto s0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Fracturation F1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Fracturation F2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Fracturation F3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Venue d'eau</td> </tr> </table>			Stratif/schisto s0		Fracturation F1		Fracturation F2		Fracturation F3		Venue d'eau
	Stratif/schisto s0												
	Fracturation F1												
	Fracturation F2												
	Fracturation F3												
	Venue d'eau												

 <p>TUNNEL EURALPIN LYON TURIN</p>	 <p>Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (RTE-T)</p>			
RELEVÉ DE FRONT DE TAILLE N°		98	PAGE :	3/8
SMP4 Partie 3 - Galerie 3b Tube Sud (Est) - Grande Section				
PM FRONT (m) :	10418,5	DATE: 29/08/2019	HEURE: 15h00	AUTEUR: TOURNIER Ilona
PHOTO ou DESCRIPTION DE LA VOÛTE				
				
				
Unités géologiques 1 Zone Briançonnaise houillère 2 3		Lithologie a Méta-grès b Grès schisteux c Schistes gréseux d Schistes noirs e		Légende structures 
Notes: <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>				

		 <p>Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (RTE-T)</p>			
RELEVÉ DE FRONT DE TAILLE N°			98	PAGE :	1/8
SMP4 Partie 3 - Galerie 3b Tube Sud (Est) - Grande Section					
PM FRONT (m) :	10418,5	DATE:	29/08/2019	HEURE:	15h00
			AUTEUR:	TOURNIER Ilona	
Qualité de la roche:					
<p>Tenue très moyenne. Nombreuses fractures d'orientation différente qui découpent la roche et la débitent plus facilement ce qui la rend plus fragile. De nombreux niveaux avec des schistes noirs/charbonneux traversent le front et présente une plus faible compétence.</p>					
Conditions hydrogéologiques:					
Debit (l/s):	<input type="text"/>	Observations: <input type="text"/>			
Pression (bar):	<input type="text"/>				
Temperature (°C):	<input type="text"/>				
pH (-):	<input type="text"/>				
Conductivité (µS/cm) :	<input type="text"/>				
Incidence sur l'avancement:	<input type="text"/>				
Résistance Rc:					
Roche dominante (MPa):	<input type="text" value="70"/>	Observations: PLT pm 10+393 : 54-82 Mpa (perp 50): Grès grossier PLT pm 10+394 : 37-55 Mpa: grès pétiliques PLT pm 10+399/10+400 : 42-64 MPa: schistes noirs gréseux PLT pm 10+403: 78-117 Mpa: méta-grès			
La plus mauvaise (MPa):	<input type="text" value="37"/>				
La meilleure (MPa):	<input type="text" value="117"/>				
Présence de gaz: <input type="text"/>					
Nature de gaz: <input type="text"/>					
Classification de l'amas:					
Rock Mass Rating:	<input type="text" value="50"/>	Observations: <input type="text"/>			
GSI:	<input type="text" value="45-50"/>				
Class Bieniawski:	<input type="text" value="III - Moyen"/>				
Température de l'amas					
En trou (°C)	<input type="text"/>	Observations: <input type="text"/>			
En surface (°C)	<input type="text"/>				
Divers: <input type="text"/>					

		 Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (RTE-T)							
RELEVÉ DE FRONT DE TAILLE N°			98	PAGE :	1/8				
SMP4 Partie 3 - Galerie 3b Tube Sud (Est) - Grande Section									
PM FRONT (m) : 10418,5		DATE: 29/08/2019		HEURE: 15h00					
				AUTEUR: TOURNIER Ilona					
CLASSIFICATION AFTES									
Nombre de familles de discontinuité/fracturation									
classes		NOMBRE DE DISCONTINUITES							
N1		Peu de discontinuité ou quelques discontinuités diffuses							
N2	a	Une famille principale							
	b	Une famille principale et des discontinuités diffuses							
N3	a	deux familles principales							
	b	Deux familles principales et des discontinuités diffuses							
N4	a	Trois (et plus) familles principales							
	b	Trois (et plus) familles principales et des discontinuités diffuses							
N5		Nombreuses discontinuités sans organisation							
Géométrie des familles de discontinuité									
	Type		Direction de plongement	Plongement					
S0/S1	stratification/schistosité		140	50					
S2	schistosité		110	60-70					
f1	fracture		10	60					
f4b	fracture		290	80					
f5b	fracture		210	50					
f5a	fracture		60	60					
Orientations des familles de discontinuité									
Classe	orientation		Conditions de creusement	Familles de discontinuité					
	angle/axe	pendage		S0/S1	S2	f1	f4b	f5b	f5a
OR1	quelconque	0 à 20°	En bancs sub-horizontaux						
OR2 a	0° à 30°	20 à 90°	En travers bancs avec le pendage	x	x				
OR2 b			En travers bancs contre le pendage			x			
OR3	30 à 65°	20 à 90°	Conditions intermédiaires			x			
OR4 a	65 à 90°	20 à 60°	En direction, pendage moyen						
OR4 b		60 à 90°	En direction, pendage fort					x	x
Espacement des familles de discontinuité									
Classe	Valeurs d'espacement en cm	Espacement des discontinuités d'une même famille	Familles de discontinuité						
			S0/S1	S2	f1	f4b	f5b	f5a	
ES1	> 200	Discontinuités très espacées							
ES2	60 à 200	Discontinuités espacées	x						
ES3	20 à 60	Discontinuités moyennement espacées	x		x	x	x	x	x
ES4	6 à 20	Discontinuités rapprochées	x	x		x	x		
ES5	< 6	Discontinuités très rapprochées		x					

		 <p>Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (RTE-T)</p>				
RELEVÉ DE FRONT DE TAILLE N°				98	PAGE :	6/8
SMP4 Partie 3 - Galerie 3b Tube Sud (Est) - Grande Section						
PM FRONT (m) :	10418,5	DATE:	29/08/2019	HEURE:	15h00	AUTEUR: TOURNIER Ilona
CLASSIFICATION ROCK MASS RATING (RMR)						
A - Résistance à compression uniaxiale						
σ_c (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5
Index	15	12	7	4	2	1
						Index A 7
Observations						
B - Pourcentage de recuperation modifié						
RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%	
Index	20	17	13	8	3	
						Index B 10
Observations						
C - Espacement des discontinuités						
S	>2m	0.6m-2m	20cm-60cm	6cm-20cm	<6cm	
Index	20	15	10	8	5	
						Index C 7
Observations						
D - Conditions des discontinuités						
Persistence	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	
Index	6	4	2	1	0	
Ouverture	0	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm	
Index	6	5	4	1	0	
Rugosité	Très rugueuse	Rugueuse	Légerment rugueuse	Lisse	Potie	
Index	6	5	3	1	0	
Remplissage	Absent	Compact <5mm	Compact >5mm	Mou <5mm	Mou >5mm	
Index	6	4	2	2	0	
Alteration	Non altéré	Légerement altéré	Moyennement altéré	Très altéré	Décomposé	
Index	6	5	3	1	0	
						Index D 20
Observations						
E - Presence d'eau						
Conditions	Sec	Humide	Mouillé	Faibles venues	Forts venues	
Index	15	10	7	4	0	
						Index E 15
Observations						
RMR_{basic} (A+B+C+D+E)		59				
F- Conditions des discontinuités par rapport à l'axe du tunnel						
Direction du vecteur pendage parallèle à l'axe du tunnel						
Avec pendage		Index	Contre pendage		Index	
Pendage	45° -90°	0	Pendage	45° -90°	-5	
	20° -45°	-2		20° -45°	-10	
Vecteur pendage perpendiculaire a l'axe du tunnel			Toutes directions du vecteur pendage			
		Index			Index	
Pendage	45° -90°	-12 (f2)	Pendage	0° -20°		-5
	20° -45°	-5				
						Index F -9
Observations						
RMR (A+B+C+D+E+F)		50				
Classe roche			III - Moyen			



Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (RTE-T)

RELEVÉ DE FRONT DE TAILLE N°

98

PAGE :

7/8

SMP4 Partie 3 - Galerie 3b Tube Sud (Est) - Grande Section

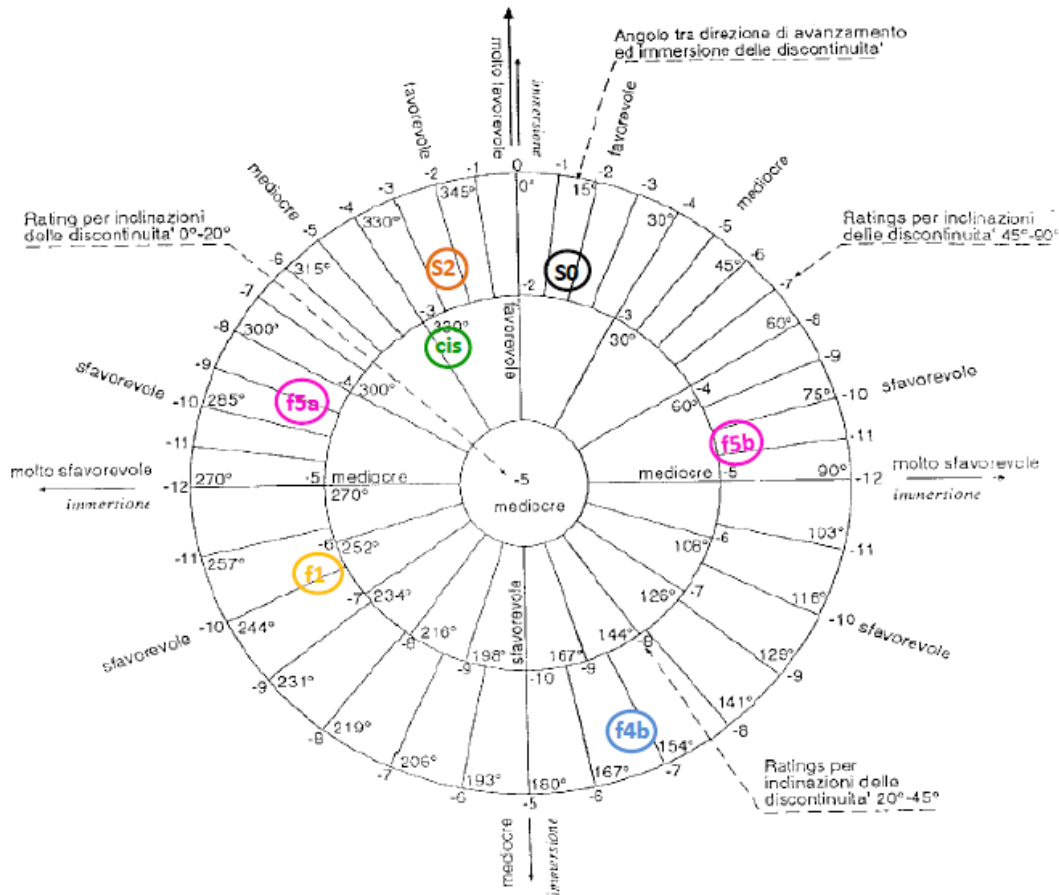
PM FRONT (m) : 10418,5

DATE: 29/08/2019

HEURE: 15h00

AUTEUR: TOURNIER Ilona

STEREOGRAMME POUR DETERMINATION DU PARAMETRE F DE LA CLASSIFICATION RMR



Observations

S0 = -2 (plus représentée), f5 = -11. -9 retenue

