



**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 niches – Relazione tecnica nicchie**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	27.04.2020	Première diffusion/Prima emissione	G. LODIGIANI	M. GATTI	G. CASSANI
A	08.05.2020	Révision suite aux commentaires / Revisione a seguito commenti	G. LODIGIANI	M. GATTI	G. CASSANI
B	08.05.2020	Élaboré approuvé/Elaborato approvato	G. LODIGIANI	M. GATTI	G. CASSANI
C	28.05.2020	Elaboré approuvé avec transposition Commentaires TELT/ Elaborato approvato con recepimento commenti TELT	G. LODIGIANI	M. GATTI	G. CASSANI

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

E	R	E	G	C	0	7	0	4	C
Fase Phase	Tipo documento Type de document		Objet 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	ITER PROGETTUALE ANTECEDENTE IL PROGETTO ESECUTIVO .....	5
2.1	Progetto Definitivo (PD2) .....	5
2.2	Progetto di Variante (PRV).....	6
3	CARATTERISTICHE DEL CUNICOLO LA MADDALENA .....	10
4	QUADRO GEOLOGICO, GEOMECCANICO E IDROGEOLOGICO .....	13
4.1	Sintesi della geologia incontrata durante lo scavo del cunicolo .....	13
4.2	Caratterizzazione geomeccanica .....	15
4.3	Quadro riassuntivo della circolazione idrogeologica incontrata nel Cunicolo esplorativo .....	21
4.4	Individuazione delle situazioni di potenziale rischio .....	24
5	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	26
5.1	Sezioni tipo di scavo delle nicchie e campi di applicazione.....	29
5.1.1	Sezione tipo S1-1 .....	29
5.1.2	Sezione tipo S1-2 .....	31
5.1.3	Sezione tipo S1-3 .....	33
5.1.4	Sezione tipo S2-1 .....	35
5.1.5	Sezione tipo S2-2 .....	37
5.2	Sezioni tipo particolari .....	40
5.2.1	Sezione allargata (NS8).....	40
5.2.2	Sezioni con ramo (NLS4 – NLS9) .....	44
5.3	Criteri di applicazione delle sezioni tipo .....	46
5.4	Modalità di abbattimento della roccia .....	49
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	51

## RESUME / RIASSUNTO

Le présent rapport est établi dans le cadre du projet exécutif des travaux prévus pour la construction des niches d'échange à l'intérieur du tunnel d'exploration 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 tunnelier.

L'objectif du document est la description détaillée des activités pour la construction des niches d'échange, qui représentent l'élément central et le plus important du projet.

Après un résumé du projet lter préalable à la rédaction du projet exécutif et un aperçu du contexte géologique et géomécanique dans lequel les travaux seront réalisés, une description détaillée des travaux prévus est fournie, indiquant pour chacune des sections de fouille le champ d'application, les phases de construction et les travaux à réaliser.

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 dettagliata delle attività di realizzazione delle nicchie di interscambio, che rappresentano l'elemento centrale e più rilevante del progetto.

Dopo una sintesi dell'Iter progettuale antecedente la redazione del progetto esecutivo e un inquadramento del contesto geologico geomeccanico in cui verranno realizzati i lavori, si riporta una descrizione di dettaglio degli interventi previsti, indicando per ciascuna delle sezioni tipo di scavo predisposte il campo di applicazione, le fasi costruttive e gli interventi da eseguire.

## 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 dettagliata delle attività di realizzazione delle nicchie di interscambio, che rappresentano l'elemento centrale e più rilevante del progetto.

Nel seguito, dopo una sintesi dell'Iter progettuale antecedente la redazione del progetto esecutivo e un inquadramento del contesto geologico geomeccanico in cui verranno realizzati i lavori, si riporta una descrizione di dettaglio degli interventi previsti, indicando per ciascuna delle sezioni tipo di scavo predisposte il campo di applicazione, le fasi costruttive e gli interventi da eseguire.

## 2 ITER PROGETTUALE ANTECEDENTE IL PROGETTO ESECUTIVO

Il Progetto Esecutivo di cui il presente documento è parte rappresenta l'elemento conclusivo di un iter progettuale che ha avuto inizio nel 2012-13 con la redazione del Progetto Definitivo PD2, successivamente aggiornato, nel 2016-17, con la redazione del Progetto di Variante PRV. Nel seguito si riporta una breve descrizione dei principali elementi caratterizzanti le due fasi progettuali.

### 2.1 Progetto Definitivo (PD2)

Il Progetto Definitivo PD2 prevedeva che l'accesso al sito di sicurezza Val Clarea (situato nei pressi del confine tra l'Italia e la Francia) venisse realizzato attraverso la discenderia della galleria La Maddalena.

La galleria La Maddalena era quindi concepita, in fase di cantiere, come cunicolo esplorativo per la successiva realizzazione del Tunnel di Base e come discenderia per l'attacco della galleria di ventilazione del sito di sicurezza di Val Clarea. In fase di esercizio la discenderia sarebbe stata quindi utilizzata come discenderia di accesso al sito di sicurezza stesso.

Successivamente al completamento dello scavo del cunicolo si prevedeva lo scavo delle nicchie ed il getto dei rivestimenti definitivi, in modo tale da adibire la galleria al transito di veicoli bimodali per l'accesso al Tunnel di Base, oltre a garantire spazi per la manutenzione o il soccorso.

Era prevista la realizzazione di 23 nicchie di incrocio per i veicoli, delle quali 4 equipaggiate di cabina elettrica, 6 di cabina per telecomunicazioni, una di entrambe, e una prevista sia per l'incrocio che per l'inversione dei veicoli.

NICCHIA	FUNZIONE	PK. INIZIO	PK. FINE	LUNGHEZZA (m)
N1	Incrocio	0+385	0+415	30
N2	Incrocio + cabina el.	0+544	0+596	52
N3	Incrocio	0+725	0+755	30
N4	Incrocio + TLC	0+892.5	0+927.5	35
N5	Incrocio	1+065	1+095	30
N6	Incrocio	1+465	1+495	30
N7	Incrocio + cabina el. + TCL	1+851.5	1+908.5	57
N8	Incrocio	2+265	2+295	30
N9	Incrocio + TCL	2+662.5	2+697.5	35
N10	Incrocio	3+065	3+095	30
N11	Incrocio e inversione	3+205	3+235	30
N12	Incrocio + cabina el.	3+334	3+386	52
N13	Incrocio	3+485	3+515	30
N14	Incrocio + TCL	3+622.5	3+657.5	35
N15	Incrocio	4+025	4+055	30
N16	Incrocio	4+140	4+170	30
N17	Incrocio + TCL	4+537.5	4+572.5	35
N18	Incrocio + cabina el.	4+929	4+981	52
N19	Incrocio + TCL	5+337.5	5+372.5	35
N20	Incrocio	5+740	5+770	30
N21	Incrocio + TCL	6+137.5	6+172.5	35
N22	Incrocio + cabina	6+529	6+581	52
N23	Incrocio	6+940	6+970	30

**Tabella 1 – Tabella riassuntiva delle nicchie previste dal PD2**

Il progetto prevedeva il mantenimento di una sagoma libera per l'incrocio dei mezzi pari a 6.6x3.5 m, con una zona di manovra per la nicchia di inversione di 3.5x3.5 m.

Le nicchie, posizionate sul lato destro del cunicolo esplorativo, avevano un'interdistanza pari a 400 m nei tratti rettilinei, 170 m nel primo tratto di curva verso destra a raggio 1500 m e 140 m nel secondo tratto di curva verso sinistra a raggio 1000 m, in modo da garantire sempre la visibilità tra due nicchie consecutive.

Il progetto prevedeva infine la realizzazione del sistema di impermeabilizzazione e drenaggio e del rivestimento definitivo lungo tutta la galleria già realizzata e in corrispondenza delle nicchie da realizzare, compresa la sistemazione finale della galleria (piano viabile, cavidotti, illuminazione ecc.), come illustrato nella seguente Figura 1.

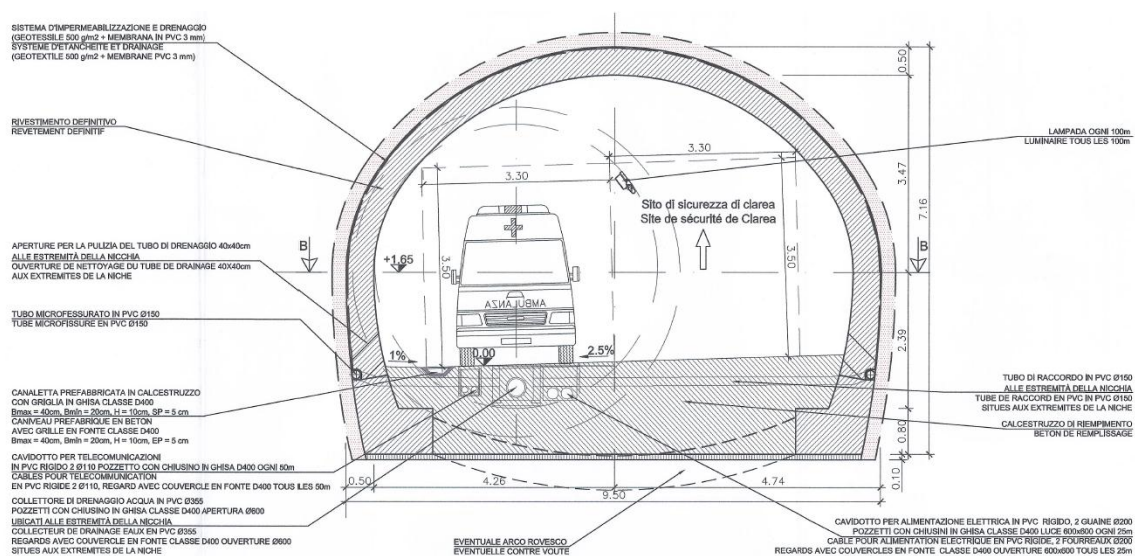


Figura 1 – Sistemazione finale nicchie PD2

## 2.2 Progetto di Variante (PRV)

Il Progetto di Variante ha previsto lo spostamento del sito di sicurezza di Val Clarea di circa 4.5 km verso l'imbocco di Susa del Tunnel di Base. Conseguentemente solo la prima parte del cunicolo La Maddalena (fino alla pk 2+200 circa) rimane adibita a via d'accesso al sito di sicurezza, mentre il tratto rimanente viene destinato al futuro stoccaggio delle rocce verdi, potenzialmente amiantifere, che saranno scavate nel tratto del Tunnel di Base in corrispondenza dell'imbocco di Susa.

Il PRV prevede inoltre la realizzazione di una galleria di connessione, scavata in tradizionale, che parte dalla progressiva 2+200 ca. della galleria La Maddalena e la collega al futuro sito di sicurezza di Val Clarea, e di una galleria denominata Maddalena 1bis, che si sviluppa parallela all'attuale galleria della Maddalena tra le progressive 4+900 e 6+000 ca., anch'essa scavata in tradizionale e che sarà utilizzata esclusivamente per lo stoccaggio delle rocce verdi.

In fase di cantiere l'attuale galleria La Maddalena, fino alla progressiva 2+200 ca., sarà quindi utilizzata come via d'accesso per la realizzazione della galleria di connessione e dell'area di sicurezza di Val Clarea, mentre il tratto successivo, dalla progressiva 2+200 ca., sarà utilizzato

come via d'accesso per la realizzazione della galleria Maddalena 1bis, e per la messa in deposito definitiva delle rocce verdi.

In fase di esercizio verrà quindi solamente utilizzato il tratto di galleria La Maddalena fino alla progressiva 2+200 ca. per l'accesso dei mezzi di soccorso o di servizio all'area di sicurezza di Val Clarea.

Si prevede quindi la realizzazione di 8 nicchie di incrocio dei mezzi nella tratta di accesso ai mezzi di soccorso, fino alla progressiva 2+200 ca. Di queste 2 sono equipaggiate di cabina elettrica, 2 di cabina per le telecomunicazioni e l'ultima nicchia in corrispondenza dell'innesto con la galleria di connessione, è prevista con una sezione allargata e la possibilità di inversione dei veicoli e equipaggiata con cabina per le telecomunicazioni.

NICCHIA	FUNZIONE	PM INIZIO	PM FINE	PM ASSE	LUNGHEZZA (m)
NS1	Incrocio	385	415	400	30
NS2	Incrocio + cabina el.	544	596	570	52
NS3	Incrocio + telecom	722.5	757.5	740	35
NS4	Incrocio	892.5	927.5	910	35
NS5	Incrocio	1065	1095	1080	30
NS6	Incrocio + telecom	1462.5	1497.5	1480	35
NS7	Incrocio + cabina el.	1854	1906	1880	52
NS8	Incrocio + inversione + telecom	2180	2245	2220	65/45*

**Tabella 2 – Tabella riassuntiva delle nicchie previste dal PRV nel tratto del tunnel utilizzato in fase di esercizio come via di accesso al sito di sicurezza**

Nel tratto successivo è prevista la realizzazione di ulteriori 15 nicchie che serviranno in fase di lavoro per garantire l'incrocio dei mezzi d'opera e verranno progressivamente riempite con il procedere delle operazioni di stoccaggio delle rocce verdi.

NICCHIA	PM INIZIO	PM FINE	PM ASSE	LUNGHEZZA ALLARGAMENTO (m)	LUNGHEZZA RAMO (m)
NLS1	2662.5	2697.5	2680	35	-
NE1	-	-	2805	-	24
NLS2	3062.5	3097.5	3080	35	-
NLS3	3202.5	3237.5	3220	35	15
NLS4	3342.5	3677.5	3360	35	-
NLS5	3482.5	3517.5	3500	35	-
NLS6	3622.5	3657.5	3640	35	-
NLS7	4022.5	4057.5	4040	35	-
NE2	-	-	4091	-	55
NLS8	4382.5	4417.5	4400	35	-
NLS9	4782.5	4817.5	4800	35	15
NLS10	5182.5	5217.5	5200	35	-
NLS11	5582.5	5617.5	5600	35	-
NLS12	6022.5	6057.5	6040	35	-
NLS13	6382.5	6417.5	6400	35	-
NLS14	6782.5	6817.5	6800	35	-
NLS15	7182.5	7217.5	7200	35	-

**Tabella 3 – Tabella riassuntiva delle nicchie previste dal PRV nel tratto del tunnel utilizzato per lo stoccaggio delle rocce verdi**

Anche il PRV prevede la realizzazione di un sistema di impermeabilizzazione e drenaggio e del rivestimento definitivo, compresa la sistemazione finale della galleria, ma solo fino alla pk 2+200 ca.. Nel tratto successivo di stoccaggio delle rocce verdi è previsto invece solamente il completamento del rivestimento provvisorio e la realizzazione dell'impermeabilizzazione con uno strato di membrana impermeabilizzante a spruzzo sull'intero profilo di scavo. In quest'ultimo tratto non sono inoltre previsti impianti in quanto la galleria sarà completamente ritombata.

Per quanto riguarda le nicchie, l'interdistanza è stata leggermente variata in modo da non ubicarle nelle zone di faglia (GSI<50), e per non interferire con la galleria Maddalena 1bis (scavata sul lato sinistro della galleria La Maddalena).

Per passare alla fase esecutiva si è reso necessario adeguare il progetto delle nicchie del PRV alla reale situazione di AS BUILT del cunicolo della Maddalena pertanto nel 2018, propedeuticamente alla messa in gara dei lavori di realizzazione delle nicchie di interscambio e di realizzazione del rivestimento di prima fase all'interno della galleria La Maddalena, i contenuti del PRV sono stati ripresi e adattati alle effettive condizioni del cunicolo.

Con riferimento alle lavorazioni di realizzazione delle nicchie di interscambio il progetto prevede l'esecuzione di tutte le nicchie NS, dalla 1 alla 8, previste dal PRV, che sono identiche come posizione e dimensioni per entrambe le missioni, ad eccezione del ramo della nicchia NS8 verso la galleria di collegamento.

Non viene invece realizzata la nicchia NLS15 che era prevista nel PRV tra le progressive 7+182.5 e 7+217.5, in quanto collocata oltre la progressiva finale della galleria realizzata (7+020) (vedi parere CTVA n. 2471 del 21/07/2017).

Missione 2 (PRV)					
Nicchia	Funzione	Pk. Inizio	Pk. Fine	Lunghezza [m]	Lunghezza ramo [m]
NS1	Incrocio	0+385.0	0+415.0	30	-
NS2	Incrocio + cab. el.	0+544.0	0+596.0	52	-
NS3	Incrocio + TLC	0+725.0	0+755.0	30	-
NS4	Incrocio	0+892.5	0+927.5	35	-
NS5	Incrocio	1+065.0	1+095.0	30	-
NS6	Incrocio + TLC	1+462.5	1+497.5	35	-
NS7	Incrocio + cab. el.	1+854.0	1+906.0	52	-
NS8	Incrocio e inversione + TLC	2+180.0	2+245.0	65	-
NLS1	incrocio - stoccaggio	2+662.5	2+697.5	35	-
NLS2	incrocio - stoccaggio	3+062.5	3+097.5	35	-
NLS3	incrocio - stoccaggio	3+202.5	3+237.5	35	15
NLS4	incrocio - stoccaggio	3+342.5	3+377.5	35	-
NLS5	incrocio - stoccaggio	3+482.5	3+517.5	35	-
NLS6	incrocio - stoccaggio	3+622.5	3+657.5	35	-
NLS7	incrocio - stoccaggio	4+022.5	4+057.5	35	-
NLS8	incrocio - stoccaggio	4+382.5	4+417.5	35	-
NLS9	incrocio - stoccaggio	4+782.5	4+817.5	35	15
NLS10	incrocio - stoccaggio	5+182.5	5+217.5	35	-
NLS11	incrocio - stoccaggio	5+582.5	5+617.5	35	-
NLS12	incrocio - stoccaggio	6+022.5	6+057.5	35	-
NLS13	incrocio - stoccaggio	6+382.5	6+417.5	35	-
NLS14	incrocio - stoccaggio	6+782.5	6+817.5	35	-

**Tabella 3 – Nicchie da realizzare a seguito dell'aggiornamento progettuale**

Viene inoltre apportata una leggera variazione alle dimensioni delle nicchie stesse, con un



innalzamento della quota di fondo scavo da -1,65m a -0,54m rispetto alla quota di progetto.

Considerando inoltre la presenza di alcuni impianti lungo il cunicolo, collocati sul paramento destro della galleria, il progetto prevede una serie di lavorazioni per la risoluzione delle interferenze con essi non previste in fase di PRV. In dettaglio:

- Dalla pk 0+198 fino alla pk 4+130 ca. (ovvero fino alla nicchia NE2) in cui sono presenti le tubazioni per l'evacuazione delle acque, i cavi di media tensione e la tubazione antincendio si prevede lo spostamento degli impianti in corrispondenza dell'arco rovescio della galleria già realizzata e il loro ricoprimento con il materiale di riempimento del piano stradale e dalla platea provvisoria in calcestruzzo.
- Dalla pk 4+130 ca. fino alla pk 7+020 (progressiva finale di scavo della galleria) non sono presenti installazioni in galleria. In questa tratta verrà installata solamente la tubazione antincendio in corrispondenza dell'arco rovescio in galleria.

Propedeuticamente all'esecuzione dei lavori il progetto prevede inoltre la realizzazione di un piano stradale provvisorio lungo tutto lo sviluppo del cunicolo per la movimentazione dei mezzi di lavoro. Anche questa lavorazione non era inizialmente prevista in fase di PRV.

Rimangono invece sostanzialmente invariati il completamento del rivestimento provvisorio già presente con la realizzazione di uno strato di calcestruzzo proiettato di 15 cm con rete elettrosaldato e la realizzazione del sistema di impermeabilizzazione e drenaggio e del rivestimento definitivo (fasi opzionali).

### 3 CARATTERISTICHE DEL CUNICOLO LA MADDALENA

Gli interventi in oggetto verranno realizzati all'interno del cunicolo esplorativo La Maddalena, realizzato con precedente lotto di appalto (contratto C5011) e il cui scavo è terminato nel Febbraio 2017. La galleria si sviluppa per una lunghezza di 7020 m all'interno del massiccio dell'Ambin a partire dall'imbocco posto nel comune di Chiomonte (TO) al di sotto del viadotto autostradale della A32 Torino-Bardonecchia.

Da un punto di vista planimetrico il tracciato si compone come segue:

- Km 0+000,00 ÷ 0+300,00: rettilineo
- Km 0+300,00 ÷ 1+117,08: curva (raggio 1500 m)
- Km 1+117,08 ÷ 3+072,76: rettilineo
- Km 3+072,76 ÷ 3+668,27: curva (raggio 1000 m)
- Km 3+668,27 ÷ 7+020,00: rettilineo

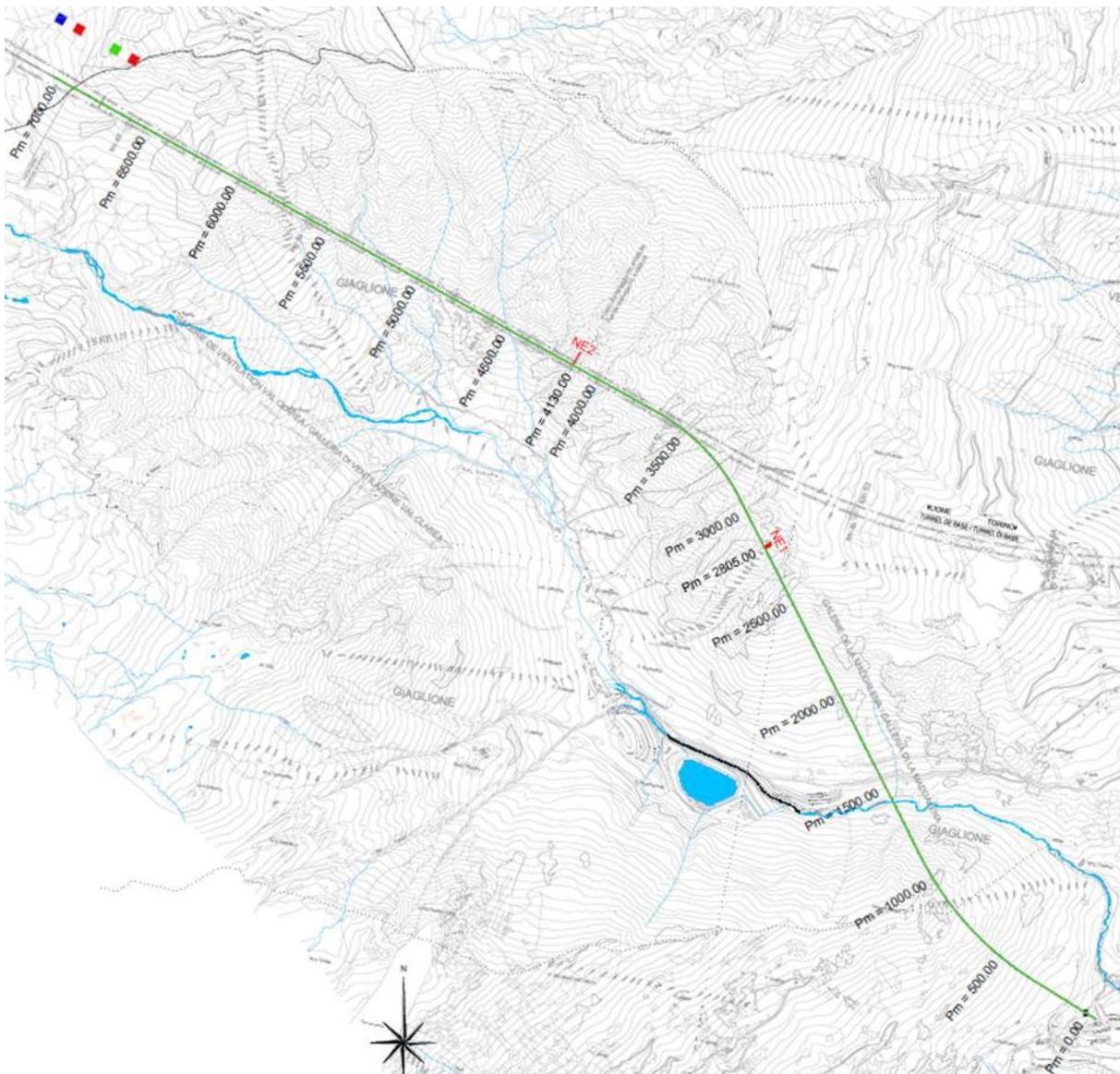
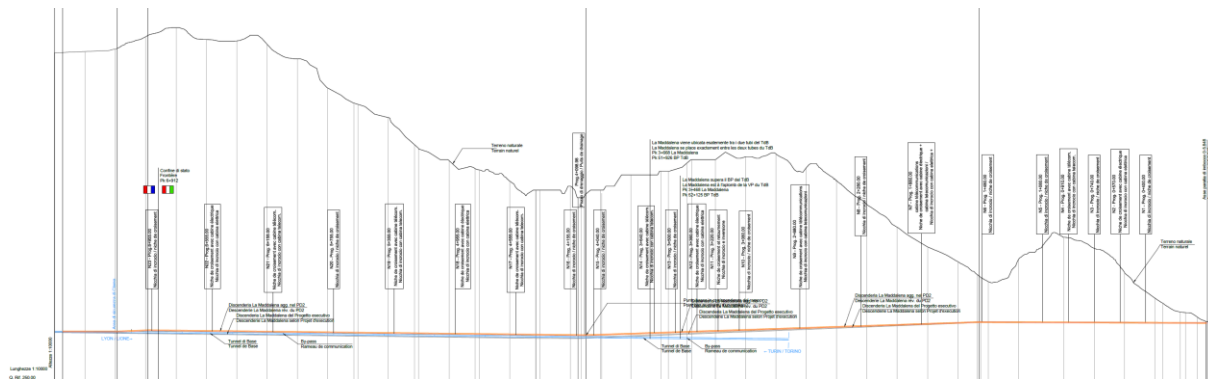


Figura 2 – Stralci planimetrico del cunicolo

Altimetricamente il tracciato è invece costituito da 4 differenti livellette, opportunamente raccordate:

- Km 0+000,00 ÷ 1+500,00: salita con pendenza 0.343%
- Km 1+500,00 ÷ 4+090,97: discesa con pendenza 3.312%
- Km 4+090,97 ÷ 6+979,66: salita con pendenza 1.102%
- Km 6+979,66 ÷ 7+020,00: discesa con pendenza 3.94%



**Figura 3 – Profilo altimetrico del cunicolo**

La galleria è stata scavata per i primi 198 m in tradizionale, per attraversare i depositi glaciali e fluvioglaciali nella zona dell’imbocco e successivamente fino alla progressiva finale per mezzo di una TBM aperta, con diametro di scavo pari a 6,30 m.

Nel tratto scavato in tradizionale il rivestimento di prima fase è già stato realizzato e, parzialmente, anche il rivestimento definitivo. Al contrario la tratta scavata in meccanizzato ha previsto l’applicazione di sezioni tipo di scavo con bullonature radiali sporadiche o sistematiche, bullonature radiali e posa di rete elettrosaldata e centinino in calotta, o posa di rete elettrosaldata (o barre metalliche) e centine su tutto il perimetro di scavo, senza l’esecuzione sistematica di un rivestimento in calcestruzzo proiettato (vedi esempio in Figura 4). Gli interventi di sostegno risultano quindi al momento “a vista”.

All’interno della galleria sono presenti due nicchie, scavate in tradizionale a paramento destro, alle progressive 2805 e 4130 m. La nicchia alla progressiva 4130 m si trova nel punto più basso della galleria e al suo interno sono allocate due vasche per l’accumulo delle acque di falda drenate dalla galleria e le pompe per l’evacuazione delle acque. La nicchia alla progressiva 2805 m ospita anch’essa due vasche intermedie per il rilancio dell’acqua al di fuori della galleria.

Alle progressive 587 m e 1420 m sono presenti due nicchie geognostiche realizzate per poter eseguire indagini di caratterizzazione in sito.

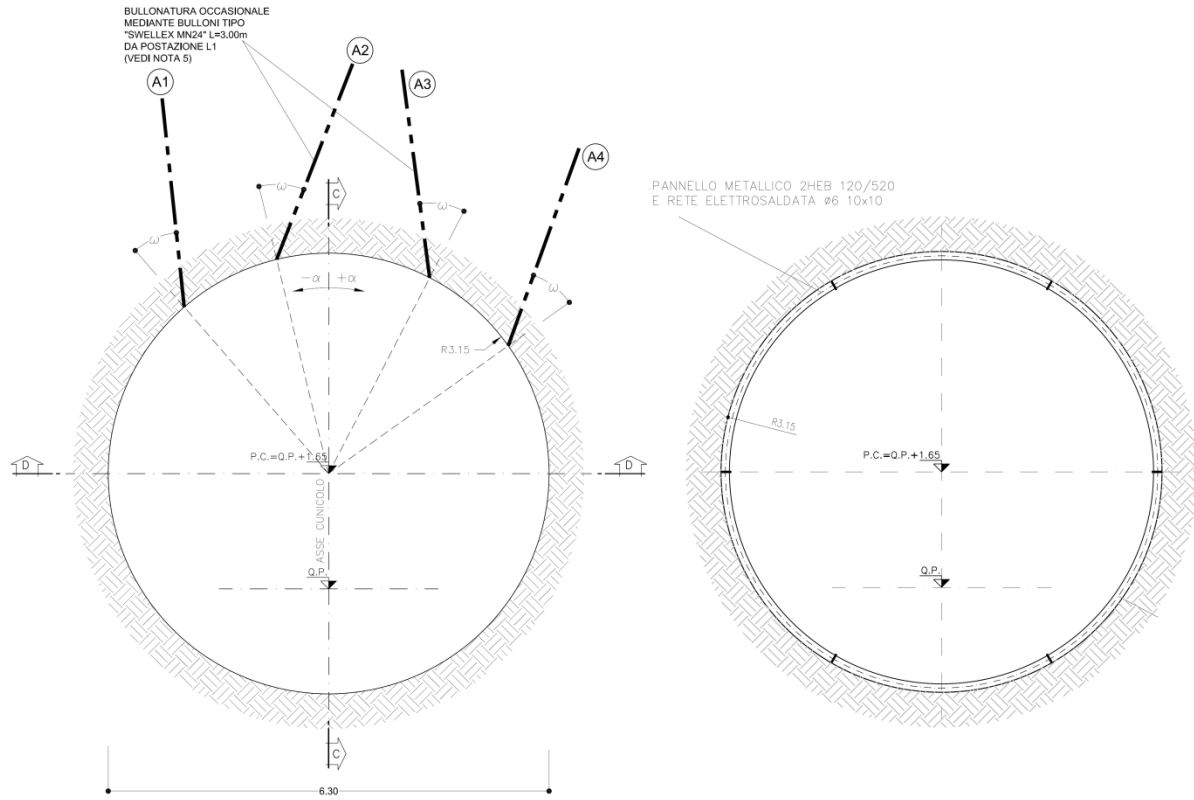


Figura 4 – Esempi di sezioni di scavo del cunicolo bullonate (a sinistra) e centinate (a destra)

## 4 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

### 4.1 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 fluvioglaciale 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.

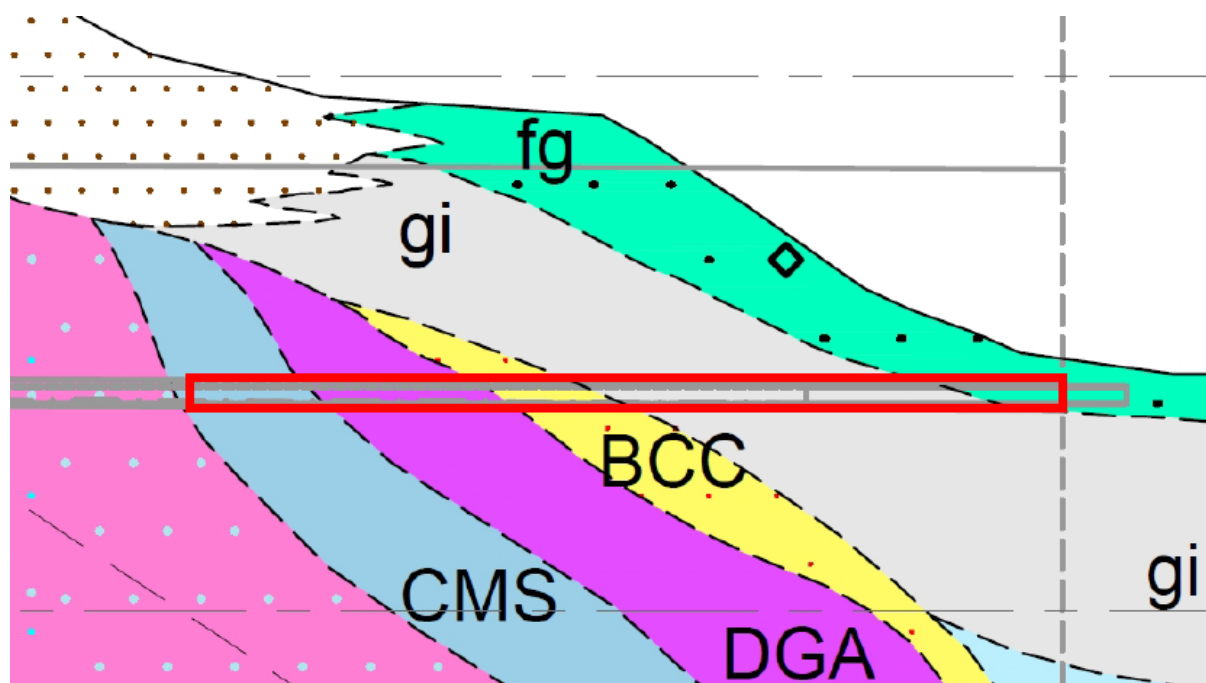
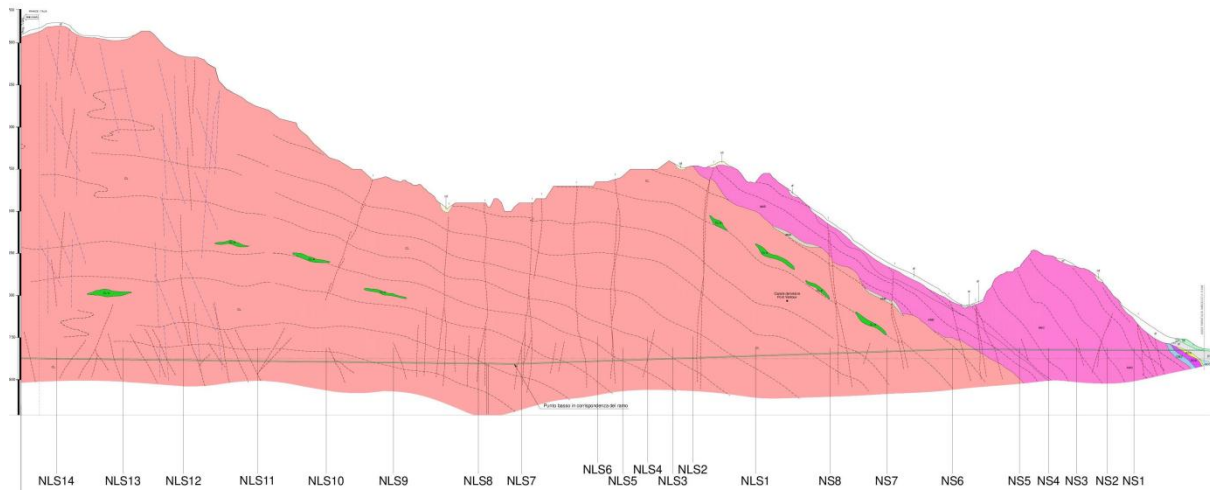


Figura 5 – Stralcio del profilo geologico (in rosso il tratto scavato in tradizionale)

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 6 – 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°

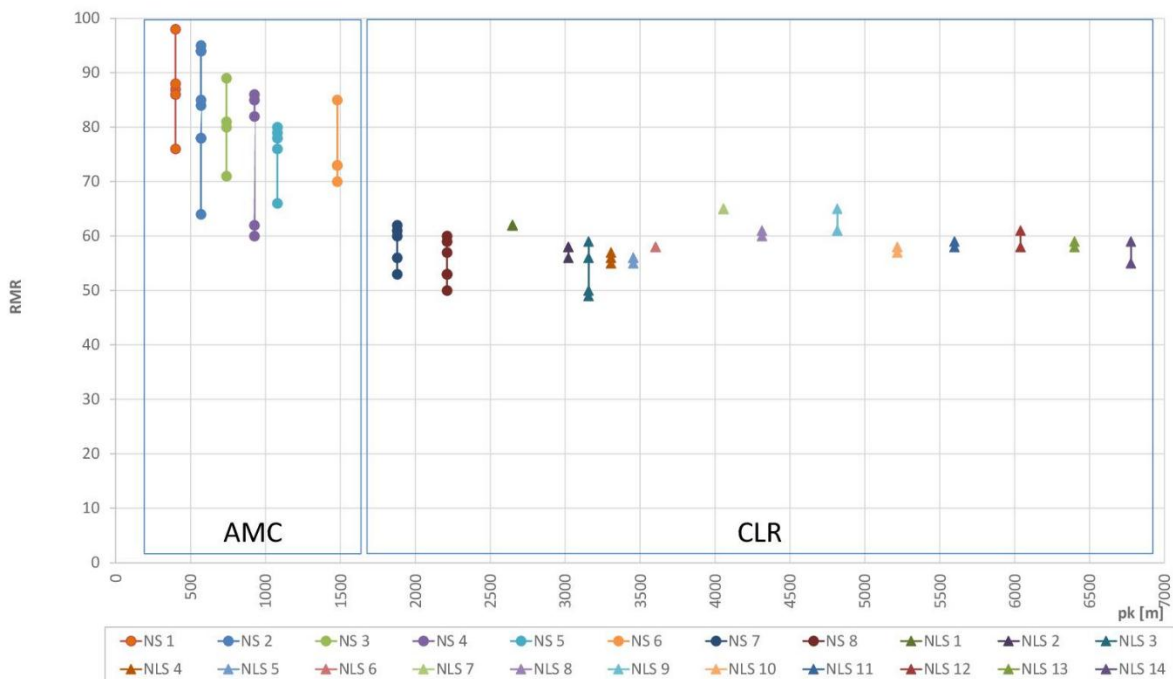
Tabella 4 – Sintesi geologia nicchie

#### 4.2 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".



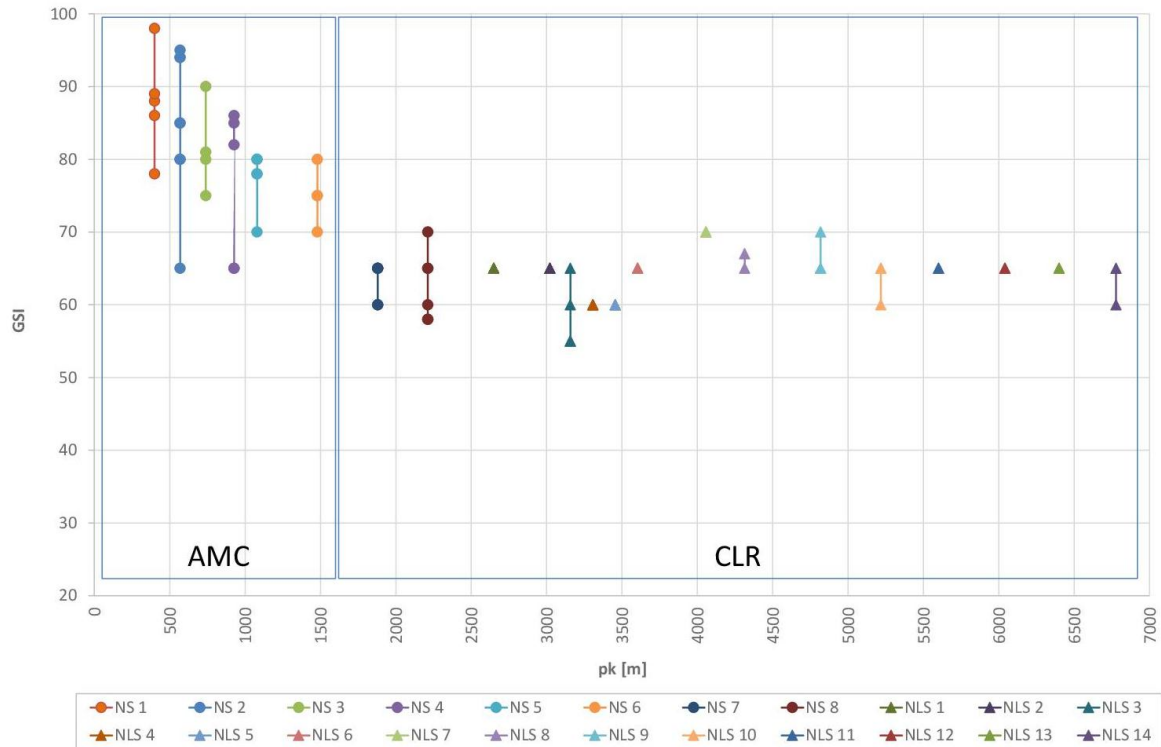
**Figura 7 – Distribuzione dei valori di RMR di Bieniawsky (1989) e delle classi di qualità valutati per ciascuna nicchia**

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 8 – 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  $\sigma_c$  medio, parallelo e ortogonale alla scistosità.

Per i litotipi AMC, e in parte gli AMD, non sono definiti valori di  $\sigma_c$  orientato (parallelo e ortogonale) a causa della foliazione mal definita e della sostanziale anisotropia dei litotipi. La distribuzione dei valori di  $\sigma_c$  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 ( ).

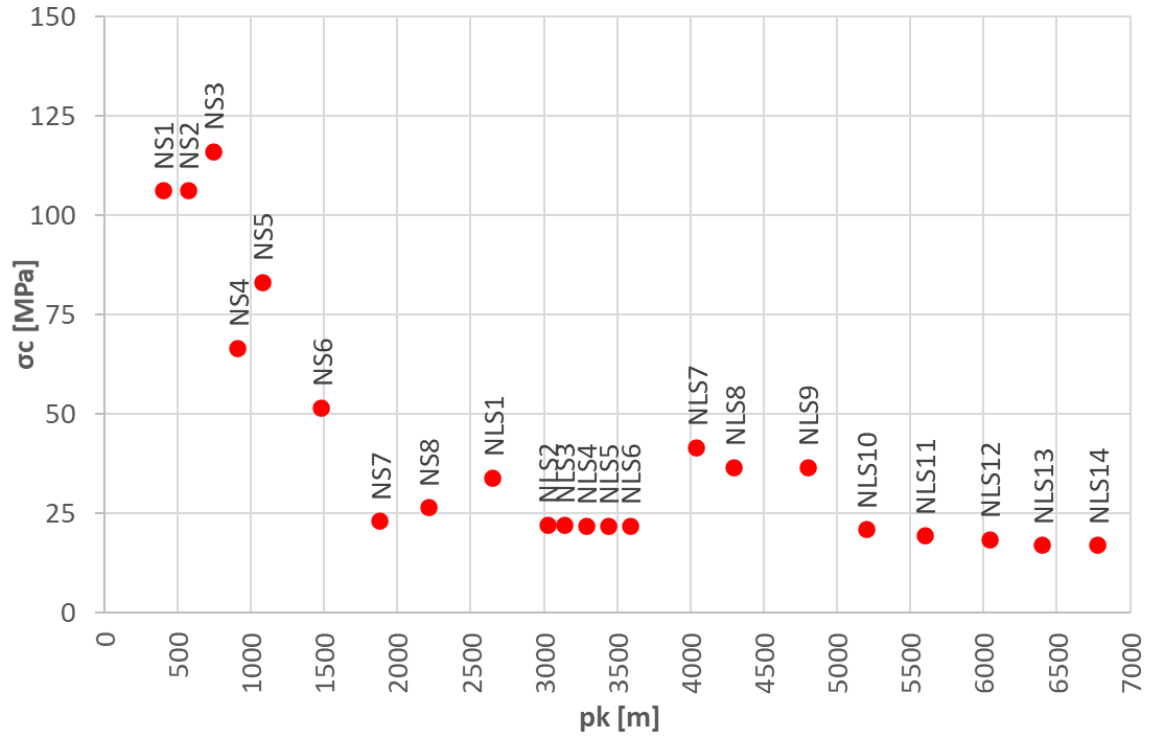


Figura 9 – Distribuzione dei valori di  $\sigma_c$  medio ricavato dalle prove di PLT (Point Load Test) eseguiti in corrispondenza delle future nicchie.

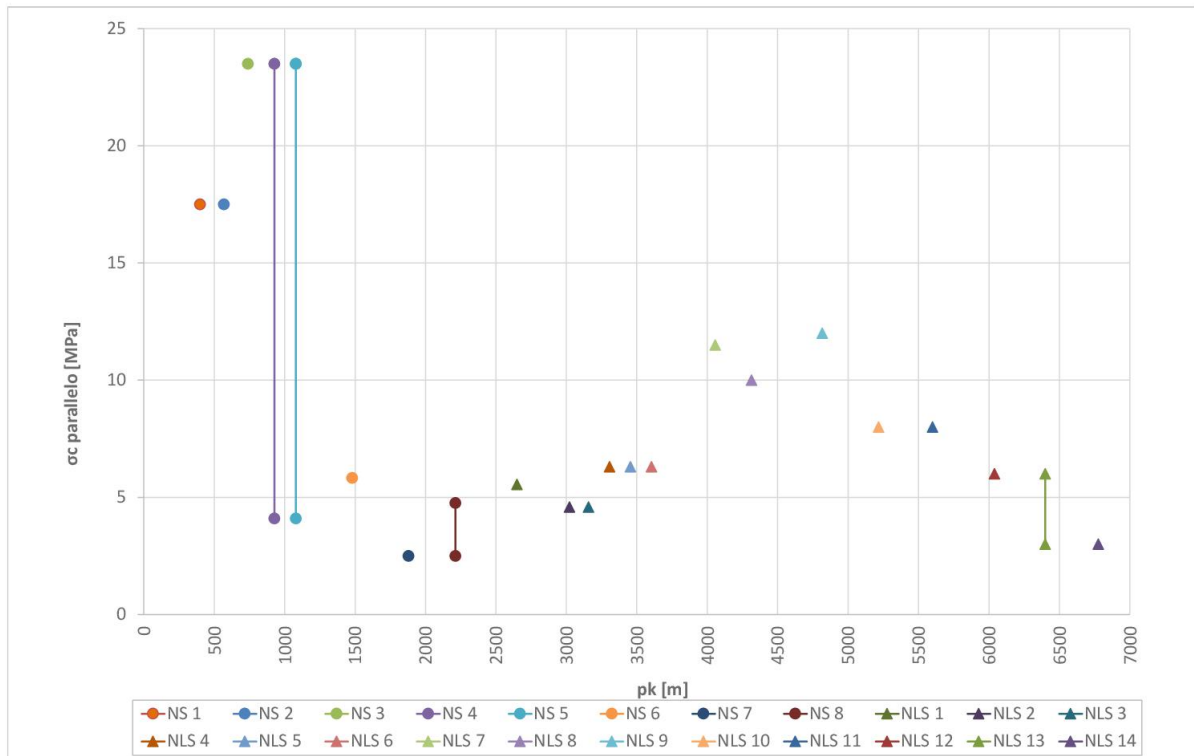


Figura 10 – Distribuzione dei valori di  $\sigma_c$  parallelo alla scistosità principale ricavato dalle prove di PLT (Point Load Test) eseguiti in corrispondenza delle future nicchie

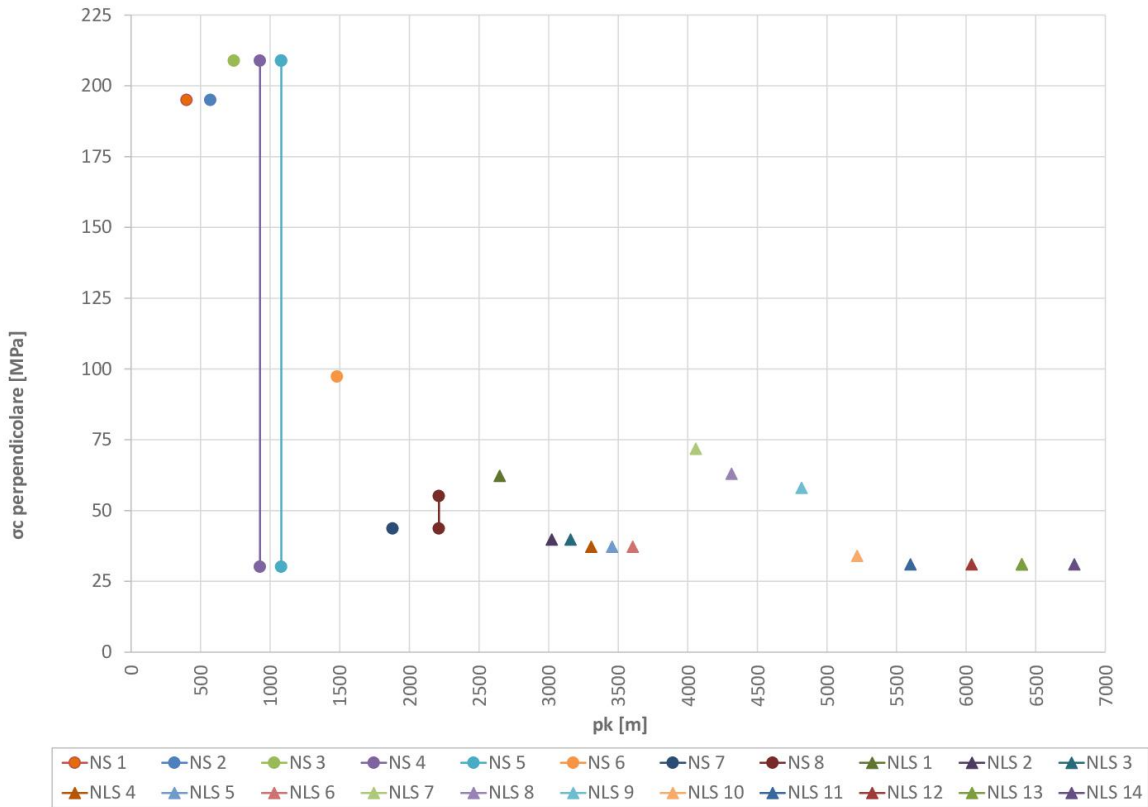


Figura 11 – Distribuzione dei valori di  $\sigma_c$  ortogonale alla scistosità principale ricavato dalle prove di PLT (Point Load Test) eseguiti in corrispondenza delle future nicchie.

Nella tabella seguente si riporta una sintesi delle considerazioni espresse.

Geologia	Litotipo	Classe geomeccanica	RMR	GSI	$\sigma_c$ [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 $\sigma_c$ [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

### 4.3 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 Figura 12, si possono evidenziare lungo lo sviluppo del Cunicolo esplorativo tre scenari differenti con le caratteristiche indicate di seguito:

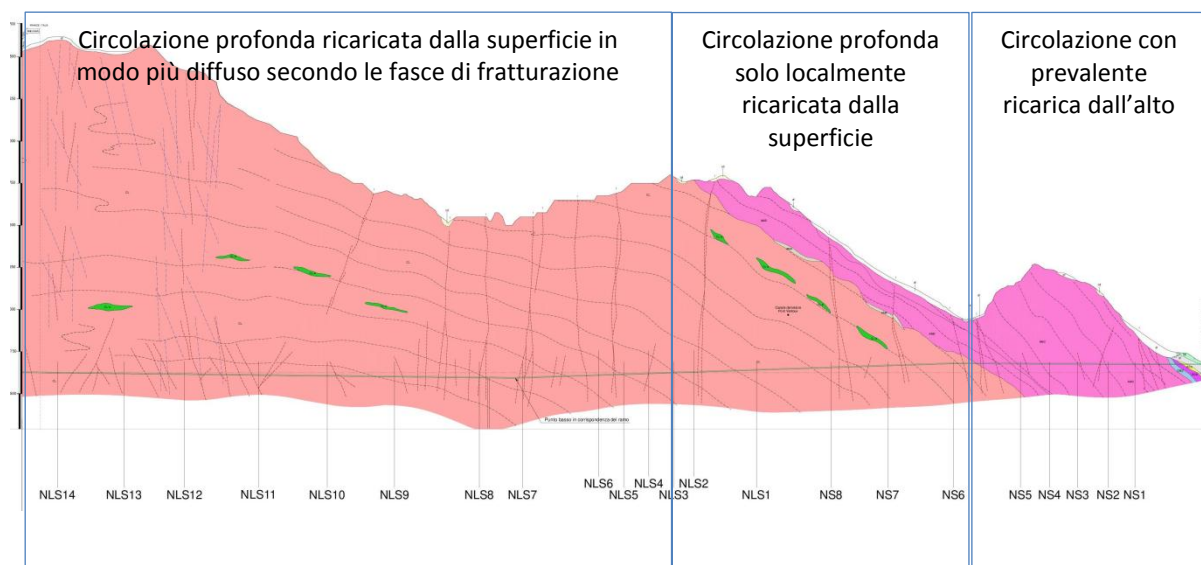


Figura 12 – Suddivisione della tratta per settori di circolazione idrica sotterranea

- **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 tabella 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 0.5 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**

#### 4.4 Individuazione delle situazioni di potenziale rischio

Dato che le nicchie costituiscono sezioni di allargo di un cunicolo già scavato e le caratteristiche geomeccaniche e le manifestazioni idrogeologiche sono di conseguenza in gran parte conosciute, i fattori di rischio risultano essere relativamente contenuti e rappresentano più un'indicazione di attenzione e studio che dei potenziali fattori di criticità.

In ogni caso i maggiori fattori individuati risultano essere:

- **Elevate coperture:** Ricoprimenti superiori ai 1000 m sono attesi già a partire dalla nicchia NLS1, ovvero dall'innesto della galleria di connessione 1. Elevate coperture possono favorire l'occorrenza di fenomeni di rilascio tensionale, come quelli osservati nell'intorno della pk 4+200. Coperture rilevanti, superiori a 1900 m, in combinazione con condizioni geomeccaniche mediocri (valori di GSI nell'intorno di 60) possono facilitare fenomeni di plasticizzazione che aumentano le convergenze al fronte.
- **Fratturazione spaziata dell'ammasso roccioso:** Numerose zone con fratturazione spaziata ma persistente sono state intercettate nel corso degli scavi, come riportato sui profili geomeccanici di as built. L'intensa fratturazione, oltre ad aumentare i fenomeni di splaccaggio di cunei rocciosi, favorisce la circolazione di acqua, aumenta la porosità secondaria dell'ammasso e provoca l'usura di utensili di scavo.
- **Condizioni geomeccaniche mediocri:** Condizioni geomeccaniche mediocri ( $50 \leq \text{GSI} \leq 60$ ), sono state rilevate e riportate nel profilo geomeccanico AS BUILT ad alte coperture nel Complesso di Clarea.
- **Anisotropia:** La scistosità dell'ammasso roccioso causa un comportamento meccanico diverso nelle direzioni e favorisce la rottura lungo piani preferenziali. Pertanto, la scistosità, unitamente alla presenza di ricorrenti famiglie di discontinuità e a elevati stati tensionali legati alle alte coperture, sono la principale causa di fenomeni gravitativi di rilascio e sono una condizione diffusa in quasi tutte le nicchie.
- **Venute di acqua:** Il rischio di venute d'acqua durante lo scavo è minimo perché tali venute sono principalmente legate allo svuotamento della rete di fratture comunicanti. Solo tra le pk 2+600-2+750 sono state registrate portate maggiori (circa 10-15 l/s), che comunque si sono ridotte nell'arco di qualche settimana. Pertanto, si suppone che nel momento dello scavo delle nicchie il contributo delle venute d'acqua sarà drasticamente diminuito (se non addirittura esaurito) e potrà essere stabilizzato puntualmente.
- **Temperature elevate:** Dalla progressiva 3+030 circa sono attese temperature maggiori di 30°. Tuttavia, il ritorno di esperienza del cunicolo esplorativo ha permesso di escludere le elevate temperature come fattore di rischio per lo scavo delle nicchie, in quanto sono sempre risultate in linea con quelle attese alle alte coperture.

La combinazione dei fattori di rischio individuati può portare all'insorgere di fenomeni quali:

- **Fenomeni di rottura fragile:** Condizioni di decompressione violenta con conseguente rottura fragile sono prospettate in corrispondenza di rocce dure e poco fratturate in condizioni di elevate coperture nel basamento dell'Ambin. Il rischio è elevato in quanto sono stati già osservati fenomeni simili di rottura fragile durante lo scavo del cunicolo geognostico in condizioni di elevate coperture, condizioni geomeccaniche



caratterizzate da valori GSI compresi tra  $62 \div 75$ , e a livello strutturale, una presenza di scistosità sub-orizzontale dell'ammasso e discontinuità inclinate spesso con riempimenti carbonatici. In genere questi fenomeni si accompagnano a improvvisi boati cui fa seguito una immediata forte deformazione del sostegno applicato (spostamenti radiali pluridecimetrici del sostegno superficiale tra i bulloni).

La frammentazione della roccia e le caratteristiche dell'evento principale, avvenuto durante lo scavo del cunicolo alla pk 4+200, hanno permesso di evidenziare un meccanismo di danno classificabile secondo CRRP (1996) in "*Bulking without ejection*": l'energia accumulata si è consumata nel processo di fratturazione, con conseguente importante aumento di volume per dilatanza.

Da analisi 3D svolte dalla Direzione ai Lavori le principali caratteristiche risultati sono riassunte nel seguito:

- Inizio fessurazione ("damage") circa al fronte di scavo (calotta e arco rovescio);
  - Condizioni potenziali per rockburst entro circa un diametro di scavo;
  - Profondità di danno max 1-(1.5) m.
- **Fenomeni di rilascio gravitativo:** I fenomeni di rilascio gravitativo rappresentano il rischio più diffuso per lo scavo delle nicchie. Infatti, come riportato dai profili geomeccanici AS BUILT, splaccaggi di cunei rocciosi si sono verificati lungo tutta la tratta, con maggiore frequenza e con una certa entità a partire da circa pk 3+500. Tali fenomeni di instabilità hanno comportato la necessità della messa in opera di sostegni per mezzo di centinature sia leggere (sezioni tipo F3C\_1 e FMV) che pesanti (F4 e F5) al posto delle previste bullonature.
  - **Forti plasticizzazioni al contorno del cavo:** In presenza di coperture elevate e indici GSI bassi è possibile osservare fenomeni di plasticizzazione del cavo a causa dello scavo che possono indurre convergenze rilevanti.

## 5 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 13. 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 13).

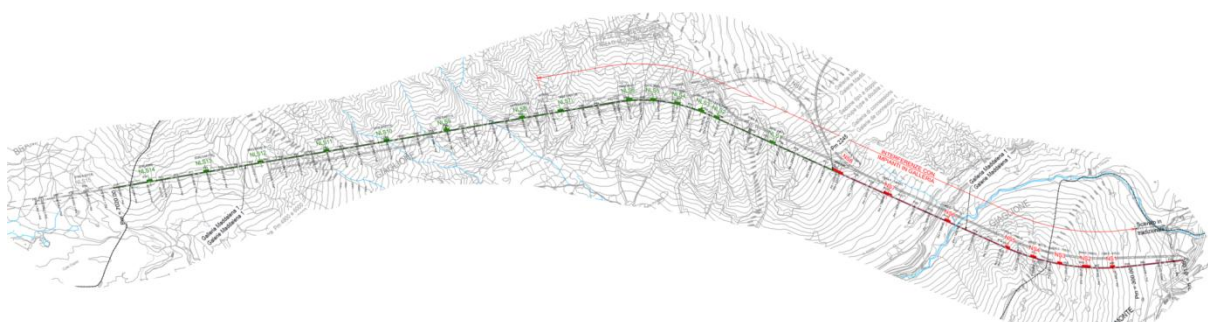


Figura 13 – Planimetria cunicolo con indicazione delle nicchie da realizzarsi

La posizione delle nicchie di interscambio lungo il cunicolo è sintetizzata nella seguente Tabella 8. 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).

Gli spostamenti introdotti sono sintetizzati anche nella Figura 14 seguente in cui vengono rappresentate in blu le nicchie che hanno mantenuto invariata la loro posizione ed in rosso quelle con posizione modificata (in grigio è rappresentata la posizione originaria).

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 8 – Posizione nicchie

Si è 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.

Nel dettaglio lo spostamento della nicchia NLS1 verso l'imbocco (circa 30m) ha consentito di evitare quasi completamente l'interferenza degli scavi con le centine UPN 120 applicate sulla calotta del cunicolo nei tratti scavati con sezione tipo F3c1 (per dettagli relativi alle sezioni si faccia riferimento all'elaborato di P.E. MAD-EXE-VEN-0142-A-PA-PLA).

Per le successive 5 nicchie (NLS2 – NLS3 – NLS4 – NLS5 – NLS6), localizzate in corrispondenza di una curva con raggio  $R = 1000\text{m}$ , gli spostamenti sono dettati non solo da ragioni di opportunità ma anche dalla necessità di garantire condizioni di visibilità. Lo spostamento consente di evitare di approcciare gli scavi in presenza di centine UPN in calotta (nicchia NLS2) ma soprattutto nelle zone dove in fase di scavo si è reso necessario il posizionamento di centine HEB 180 e blindaggi metallici associati alle sezioni di scavo F4 e F5 (nicchie NLS4 – NLS5 – NLS6). Per dettagli relativi alle sezioni di scavo del cunicolo si faccia riferimento agli elaborati di P.E. MAD-EXE-VEN-0156-E-AP-PLA e MAD-EXE-VEN-0157-C-AP-PLA). Solo la nicchia NLS3 risulta penalizzata dallo spostamento, necessario per garantire la visibilità, andando ad interessare per 15m una porzione di cunicolo scavata con sezione F5 (nel complesso comunque gli spostamenti hanno consentito di ridurre l'estensione degli scavi in tratte centinate/blindate).

Anche per la nicchia NLS8, in rettilineo, lo spostamento consente di realizzare lo scavo in un tratto scavato con sezione tipo F3c1 invece che F4-F5. Da ultimo anche per la nicchia NLS14 un anticipo di circa 22m consente di evitare tratti con blindaggio.

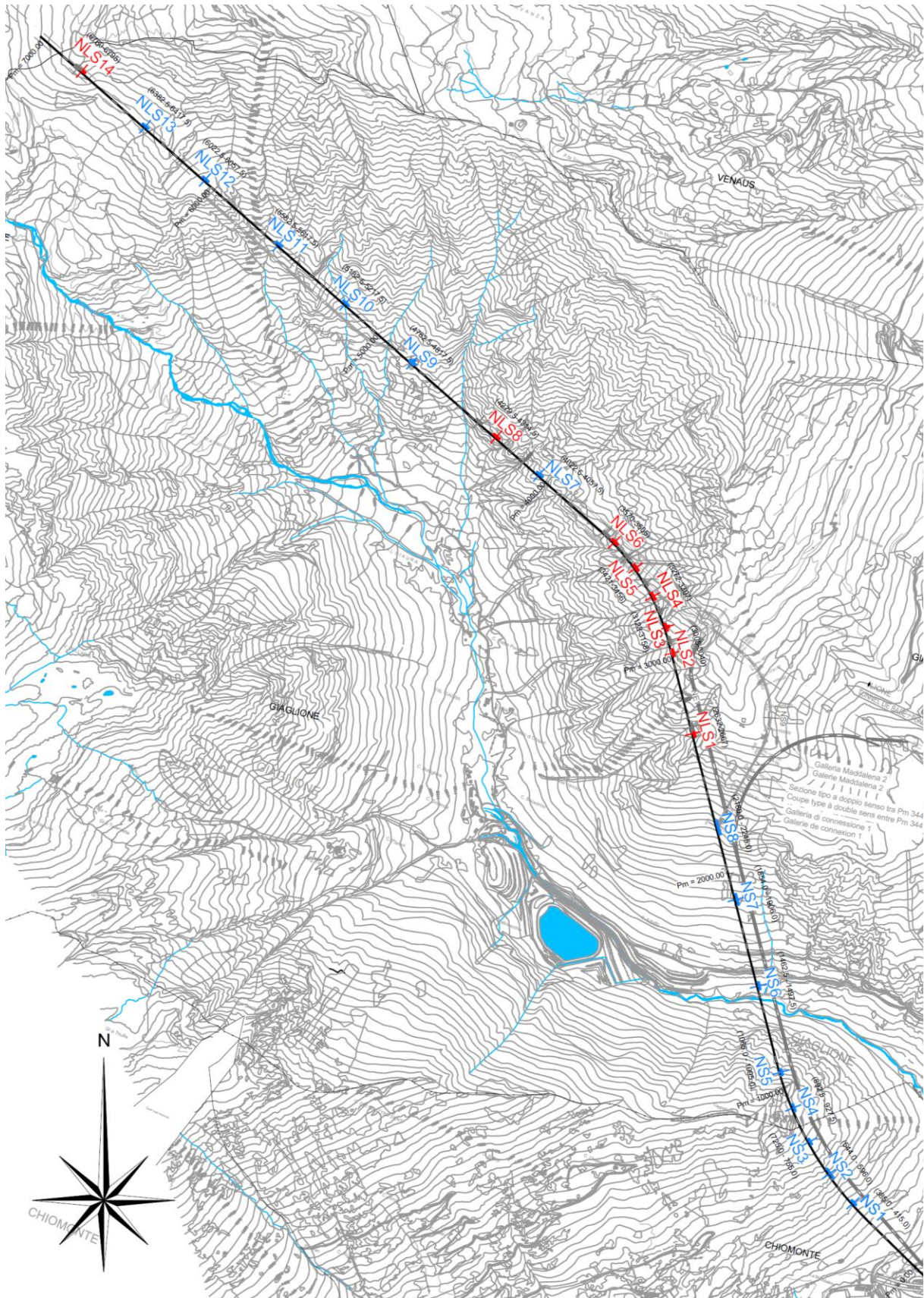


Figura 14 – Nicchie – Spostamenti rispetto al PRV

Una sintesi delle sezioni di scavo del cunicolo previste in corrispondenza delle nicchie prima e dopo gli spostamenti previsti è riportata nella seguente Tabella 9. 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 rettilineo - 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 9 – Spostamento nicchie – Sezioni di scavo cunicolo

## 5.1 Sezioni tipo di scavo delle nicchie e campi di applicazione

### 5.1.1 Sezione tipo S1-1

#### Campo di applicazione

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.

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.

#### Fasi Esecutive

Propedeuticamente agli scavi si dovrà procedere all'esecuzione di uno strato di spritz beton fibrorinforzato dello spessore di 5,0cm in corrispondenza del tratto di galleria interessato dai lavori, da 5,0m prima a 5,0m dopo l'inizio e la fine della nicchia.

Lo scavo delle nicchie procederà mediante la predisposizione di un attacco laterale a paramento, effettuando 3 volate su altrettanti fronti di ampiezza 2 m. A seguito di ciascuna



## Interventi previsti

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 (trav.) 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.  $\geq 5.0$  cm a fine sfondo (profondità massima pari a 4.0 m).

### **5.1.2 Sezione tipo S1-2**

#### Campo di applicazione

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).

#### Fasi Esecutive

Propedeuticamente agli scavi si dovrà procedere all'esecuzione di uno strato di spritz beton fibrorinforzato dello spessore di 5,0cm in corrispondenza del tratto di galleria interessato dai lavori, da 5,0m prima a 5,0m dopo l'inizio e la fine della nicchia. Nel caso che essi vengano effettuati laddove lo scavo del cunicolo è stato affrontato mediante l'applicazione di una sezione tipo F3c1, prima di ogni fase di scavo si dovrà procedere inoltre allo smantellamento delle centine UPN 120 installate sulla volta della galleria nel tratto interessato.

Lo scavo delle nicchie procederà quindi mediante la predisposizione di un attacco laterale a paramento, effettuando 3 volate su altrettanti fronti di ampiezza 2 m. A seguito di ciascuna volata si procederà alla messa in sicurezza delle pareti e dei fronti esposti mediante posa in opera di spritz fibrorinforzato sp. 5 cm e bullonatura radiale tipo Swellex Pm 24 lunghezza 5 m, disposta a maglia 1.5 x 2.0 m. Dopo l'esecuzione dei bulloni si provvederà al completamento del priverstimento con posa in opera di un ulteriore strato di spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata di spessore pari a 15 cm, per raggiungere uno spessore complessivo di 20 cm.

La successione sopra descritta consentirà la creazione di un primo settore di nicchia di dimensioni minime utili al posizionamento del jumbo con aste di perforazione allineate longitudinalmente rispetto alla galleria.

L'avanzamento proseguirà quindi per sfondi progressivi di lunghezza massima pari a 2.0 m, effettuati a mezzo esplosivo, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

Si procederà quindi alla posa in opera degli interventi di sostegno e rivestimento provvisorio previsti (5 cm di spritz beton fibrorinforzato e bullonatura radiale tipo Swellex Pm 24 lunghezza 5 m, disposta a maglia 2.0 x 1.5 m). Ad ogni sfondo verrà anche eseguito un tampone di spritz beton fibrorinforzato sul fronte di scavo, con spessore minimo pari a 5 cm.

Si provvederà quindi al completamento del rivestimento provvisorio con posa in opera di uno secondo strato di spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata di spessore pari a 15 cm, per raggiungere uno spessore complessivo di 20 cm.

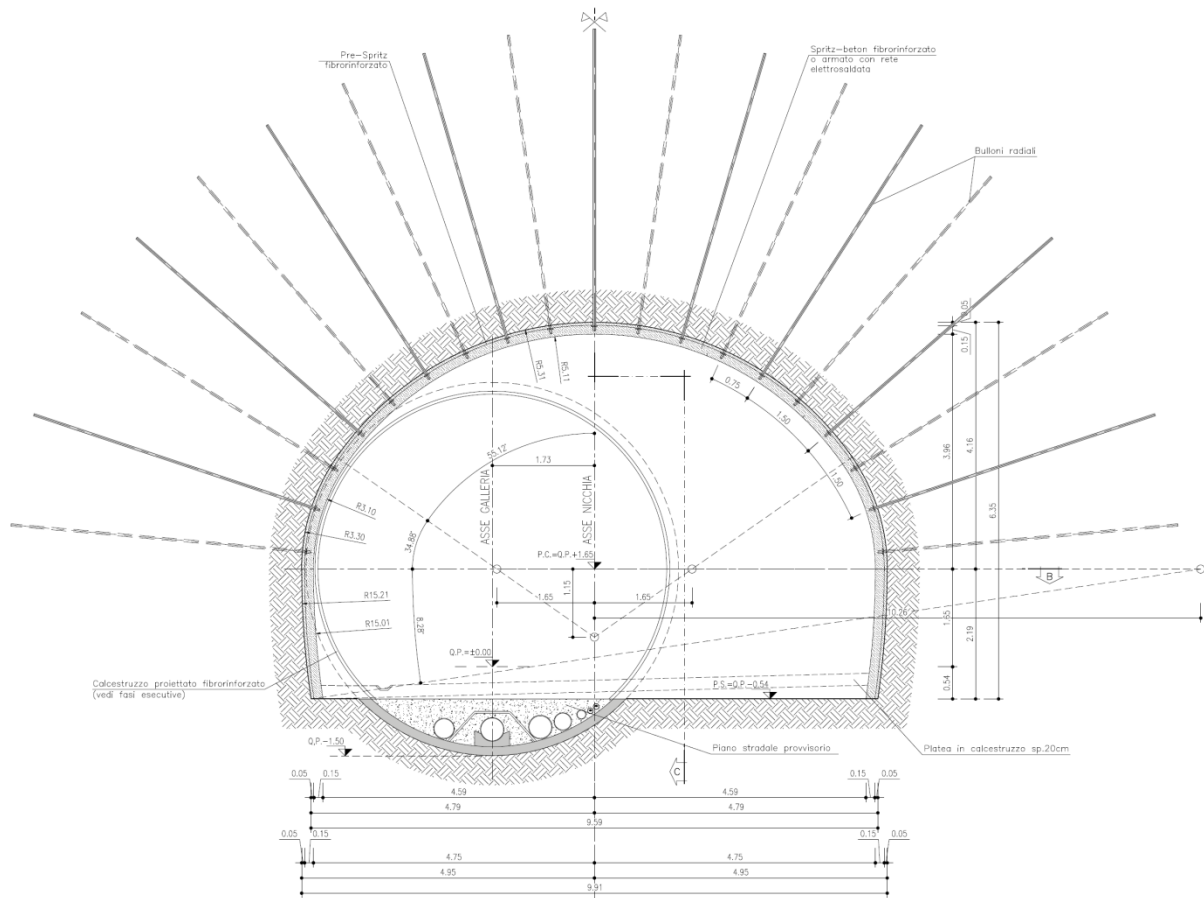


Figura 16 – Sezione tipo S1-2

### Interventi previsti

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.  $\geq 5.0$  cm a fine sfondo (profondità massima pari a 2.0 m).



### 5.1.3 Sezione tipo S1-3

#### Campo di applicazione

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.

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).

#### Fasi Esecutive

Propedeuticamente agli scavi si dovrà procedere all'esecuzione di uno strato di spritz beton fibrorinforzato dello spessore di 5,0cm in corrispondenza del tratto di galleria interessato dai lavori, da 5,0m prima a 5,0m dopo l'inizio e la fine della nicchia. Prima di ogni fase di scavo si dovrà procedere inoltre allo smantellamento delle centine UPN 120 installate sulla volta della galleria nel tratto interessato.

Lo scavo delle nicchie procederà quindi mediante la predisposizione di un attacco laterale a paramento, effettuando 3 volate su altrettanti fronti di ampiezza 2 m. A seguito di ciascuna volata si procederà alla messa in sicurezza delle pareti e dei fronti esposti mediante posa in opera di spritz fibrorinforzato sp. 5 cm e bullonatura radiale tipo Swellex Pm 24 lunghezza 5 m, disposta a maglia 1.0 x 1.0 m. Dopo l'esecuzione dei bulloni si provvederà al completamento del prerivestimento con posa in opera di un ulteriore strato di spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldato di spessore pari a 15 cm, per raggiungere uno spessore complessivo di 20 cm.

La successione sopra descritta consentirà la creazione di un primo settore di nicchia di dimensioni minime utili al posizionamento del jumbo con aste di perforazione allineate longitudinalmente rispetto alla galleria.

L'avanzamento proseguirà quindi per sfondi progressivi di lunghezza massima pari a 2.0 m, effettuati a mezzo esplosivo, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

Si procederà quindi alla posa in opera degli interventi di sostegno e rivestimento provvisorio previsti (5 cm di spritz beton fibrorinforzato e bullonatura radiale tipo Swellex Pm 24 lunghezza 5 m, disposta a maglia 1.0 x 1.0 m). Ad ogni sfondo verrà anche eseguito un tampone di spritz beton fibrorinforzato sul fronte di scavo, con spessore minimo pari a 5 cm.

Si provvederà quindi al completamento del rivestimento provvisorio con posa in opera di uno secondo strato di spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldato di spessore pari a 15 cm, per raggiungere uno spessore complessivo di 20 cm.

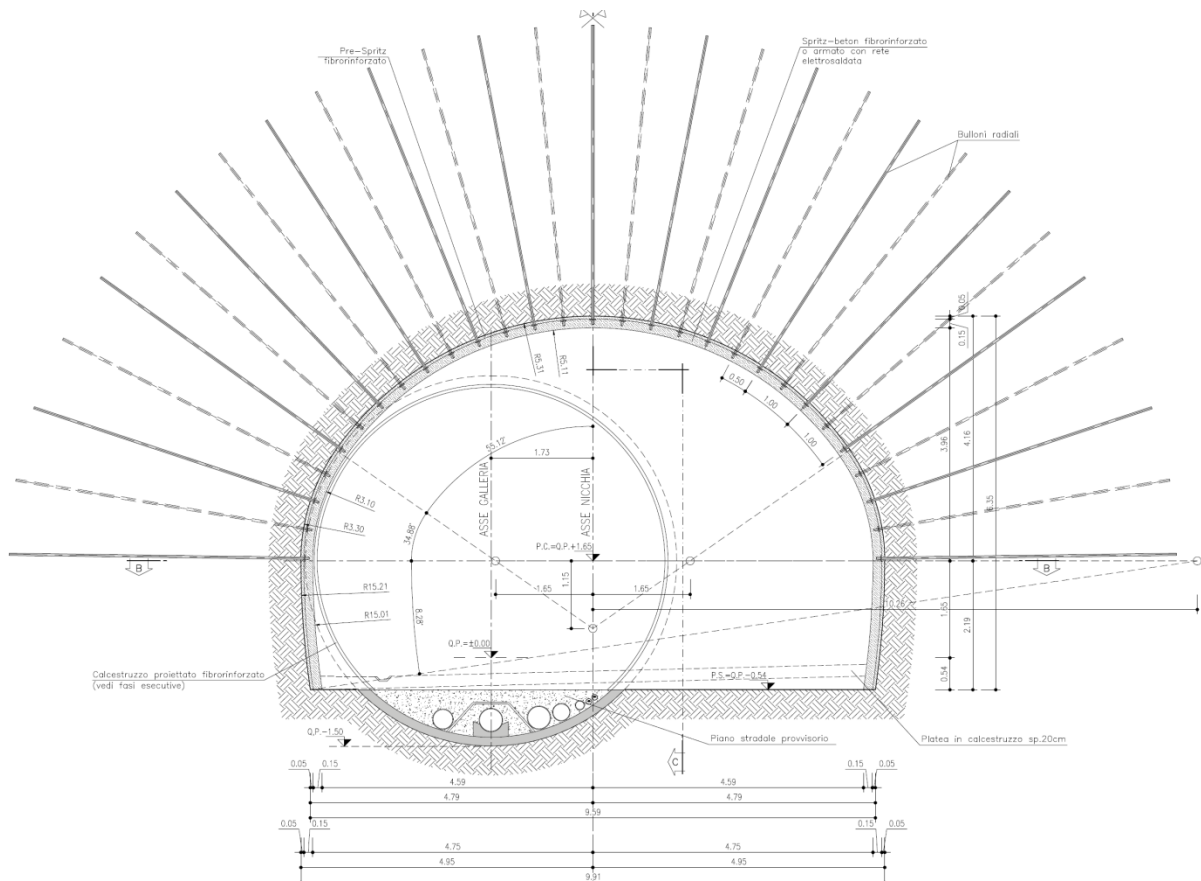


Figura 17 – Sezione tipo S1-3

### Interventi previsti

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.  $\geq 5.0$  cm a fine sfondo (profondità massima pari a 2.0 m).

### 5.1.4 Sezione tipo S2-1

#### Campo di applicazione

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  $\geq 60$ .

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).

#### Fasi Esecutive

Propedeuticamente agli scavi si dovrà procedere all'esecuzione di uno strato di spritz beton fibrorinforzato dello spessore di 5,0cm in corrispondenza del tratto di galleria interessato dai lavori, da 5,0m prima a 5,0m dopo l'inizio e la fine della nicchia. Prima di ogni fase di scavo si dovrà procedere inoltre allo smantellamento nel tratto interessato del sistema di sostegno predisposto sulla calotta della galleria in fase di scavo del cunicolo.

Le operazioni saranno condotte con metodologia analoga a quella prevista per le sezioni chiodate, provvedendo alla rimozione delle centine su settori di 2.0 m di estensione e all'esecuzione di 3 sfondi laterali di ampiezza 2.0 m secondo le modalità già descritte per le sezioni S1-1, S1-2 e S1-3.

Dopo ogni allargo di 2.0 m (eseguito per mezzo di esplosivo in presenza di sezioni tipo F3c1 e FMV o con mezzi meccanici in presenza di sezioni F4) si procederà alla messa in sicurezza delle pareti e dei fronti esposti mediante spritz fibrorinforzato sp. 5 cm e alla posa in opera di centine HEB 180 disposte a passo 1.30 m. Visto il poco spazio disponibile la posa delle centine verrà effettuata introducendo semi-centine (due elementi), fissate mediante intervento di bullonatura radiale all'ammasso circostante. Si procederà quindi all'erezione della seconda semi-centina ed alla solidarizzazione con quella già posta in opera (bloccaggio giunto in chiave).

Si provvederà quindi al completamento del rivestimento provvisorio con posa in opera di uno secondo strato di spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata di spessore pari a 20 cm, per raggiungere uno spessore complessivo di 25 cm.

Portate a compimento le fasi di allargo laterale sopra descritte gli avanzamenti potranno proseguire in modalità ordinaria, operando sfondi progressivi di lunghezza massima pari a 1.3 m (effettuati a mezzo esplosivo in presenza di sezioni tipo F3c1 e FMV o con mezzi meccanici in presenza di sezioni F4), sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili, con successiva posa del rivestimento di prima fase secondo le modalità già descritte.

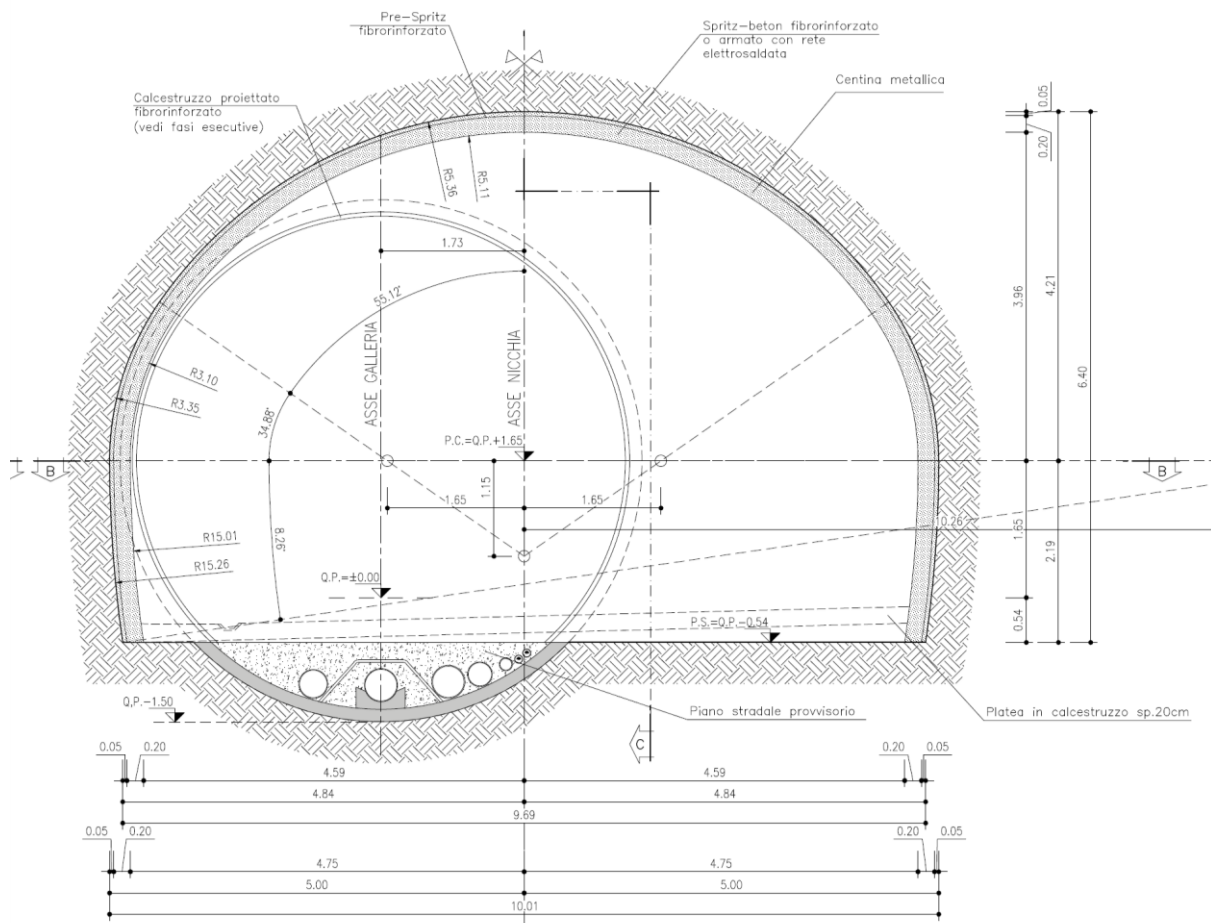


Figura 18 – Sezione tipo 2-1

### Interventi previsti

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

- Centina metallica 1 HEB 180 a passo 1.30 m;
- Spritz-beton fibrinforzato o armato con rete elettrosaldata al contorno sp. 25,0 cm (5.0 cm + 20.0 cm);
- Spritz-beton fibrinforzato o armato con rete elettrosaldata al fronte di scavo sp.  $\geq$  5.0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 1.3 m).

### 5.1.5 Sezione tipo S2-2

#### Campo di applicazione

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).

#### Fasi Esecutive

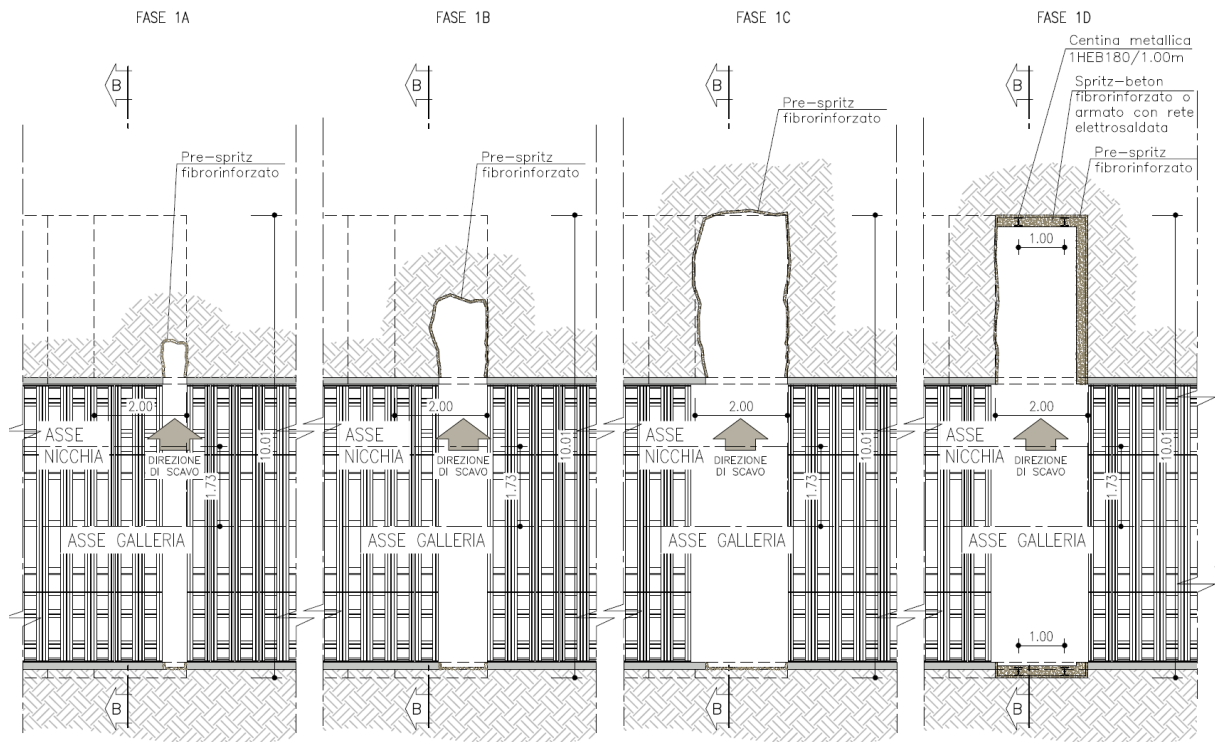
Propedeuticamente agli scavi si dovrà procedere all'esecuzione di uno strato di spritz beton fibrorinforzato dello spessore di 5,0cm in corrispondenza del tratto di galleria interessato dai lavori, da 5,0m prima a 5,0m dopo l'inizio e la fine della nicchia (tranne che nelle tratte scavate con sezione F5). Prima di ogni fase di scavo si dovrà procedere inoltre allo smantellamento nel tratto interessato del sistema di sostegno predisposto sulla calotta della galleria in fase di scavo del cunicolo.

Le operazioni saranno condotte con metodologie differenti a seconda della sezione di scavo del cunicolo applicata. In presenza di sezioni tipo F3c1, FMV o F4, si provvederà alla rimozione delle centine su settori di 2.0 m di estensione e all'esecuzione di 3 sfondi laterali di ampiezza 2.0 m secondo le modalità già descritte per le sezioni S1-1, S1-2 e S1-3. In presenza di sezioni che hanno previsto l'installazione sistematica di pannelli metallici costituiti da profilati circolari in acciaio HEB120 accoppiati (sezione tipo F5) le operazioni risulteranno invece più complesse e seguiranno la seguente fasistica:

1. Rimozione della prima serie di pannellature metalliche (circa 0.5 m di profondità);
2. Allargo laterale con martellone su una fascia di larghezza 0.5 m e profondità 0.5 m circa e posa in opera sulla parete di scavo di uno strato di spritz beton fibrorinforzato di spessore  $\geq 5.0$  cm;
3. Ripetizione delle operazioni sulla seconda e terza serie di pannelli, provvedendo ad un progressivo ampliamento delle superfici esposte fino a raggiungere la massima profondità di intervento prevista, pari a circa 3.5-4.0 m dalla parete del cunicolo, su una larghezza di circa 2.0m;

Dopo l'esecuzione dell'allargo di 2.0 m si procederà alla messa in sicurezza delle pareti e dei fronti esposti mediante spritz fibrorinforzato sp. 5 cm e alla posa in opera di centine HEB 180 disposte a passo 1.00 m. Visto il poco spazio disponibile la posa delle centine verrà effettuata introducendo semi-centine (due elementi), fissate mediante intervento di bullonatura radiale all'ammasso circostante. Si procederà quindi all'erezione della seconda semi-centina ed alla solidarizzazione con quella già posta in opera (bloccaggio giunto in chiave).

Si provvederà quindi al completamento del rivestimento provvisorio con posa in opera di uno secondo strato di spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata di spessore pari a 20 cm, per raggiungere uno spessore complessivo di 25 cm.



**Figura 19 – Sezione S2-2 in corrispondenza di sezione cunicolo F5 – Esecuzione del primo sfondo laterale**

Lo scavo laterale verrà quindi completato con l'esecuzione di ulteriori 4 sfondi laterali di ampiezza pari a 1,0 m ciascuno fino al raggiungimento di un'ampiezza complessiva di 6,0 m, sufficiente al posizionamento del martellone per il successivo approccio degli scavi in direzione longitudinale. Ciascuno sfondo verrà eseguito mediante mezzi meccanici, provvedendo alla posa in opera in successione di uno strato di pre-spritz fibrorinforzato di 5,0 cm di spessore, delle centine metalliche e dello spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldada fino al raggiungimento dello spessore complessivo di 25,0 cm.

Portate a compimento le fasi di allargò laterale sopra descritte gli avanzamenti potranno proseguire in modalità ordinaria, operando sfondi progressivi di lunghezza massima pari a 1.0 m (effettuati a mezzo esplosivo in presenza di sezioni tipo F3c1 e FMV o con mezzi meccanici in presenza di sezioni F4 e F5), sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disgiungimento meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili, con successiva posa del rivestimento di prima fase secondo le modalità già descritte.

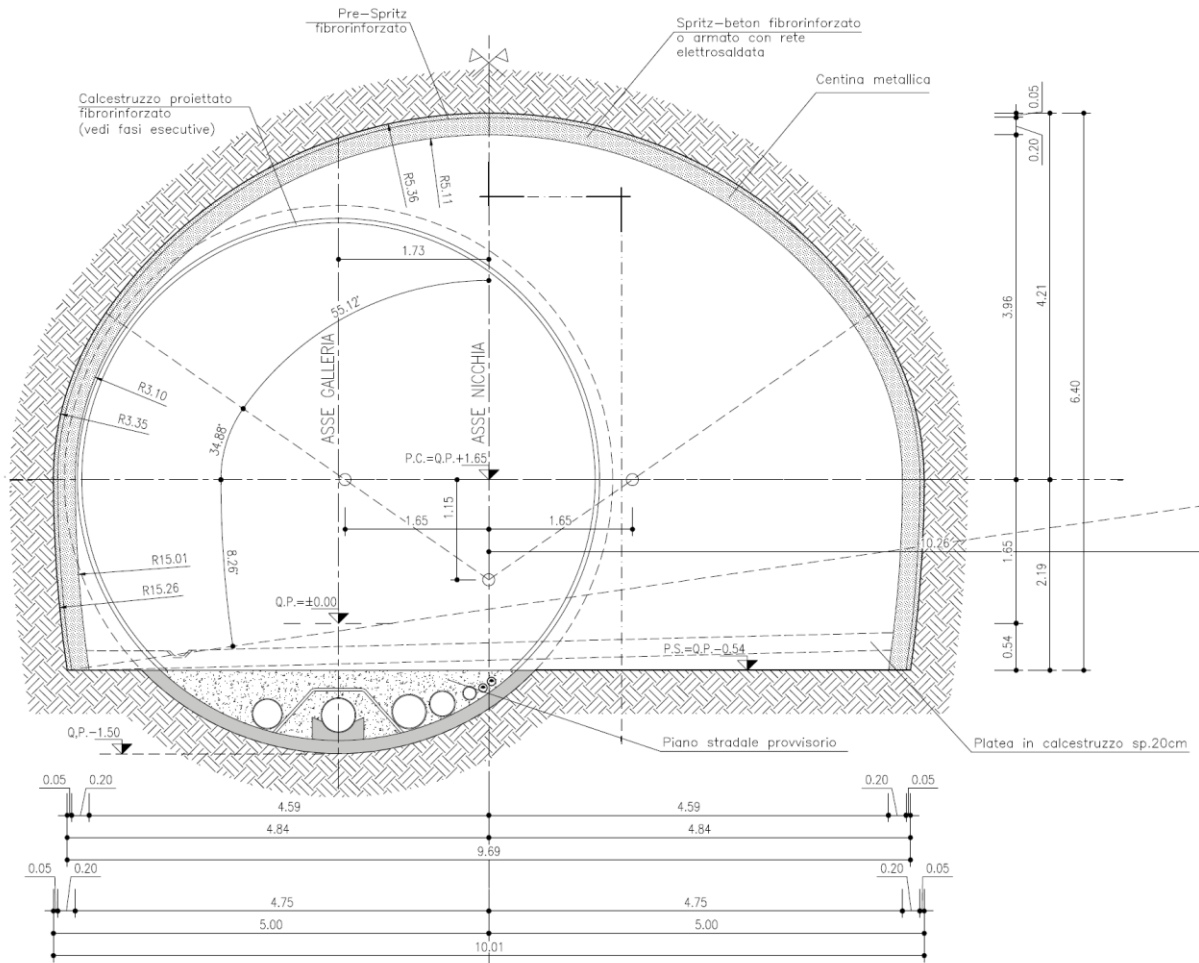


Figura 20 – Sezione tipo 2-2

### Interventi previsti

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).

## 5.2 Sezioni tipo particolari

La sagoma delle nicchie è costante (a meno di una differenza di 5cm sul profilo di scavo, dettata dal diverso spessore del prerivestimento previsto per le sezioni tipo S1 [20cm] ed S2 [25cm]) ed è rappresentata nella seguente Figura 21. In particolare ciascuna nicchia avrà un'altezza di circa 6,40m ed una larghezza massima, in corrispondenza del piano dei centri, di circa 9,70m.

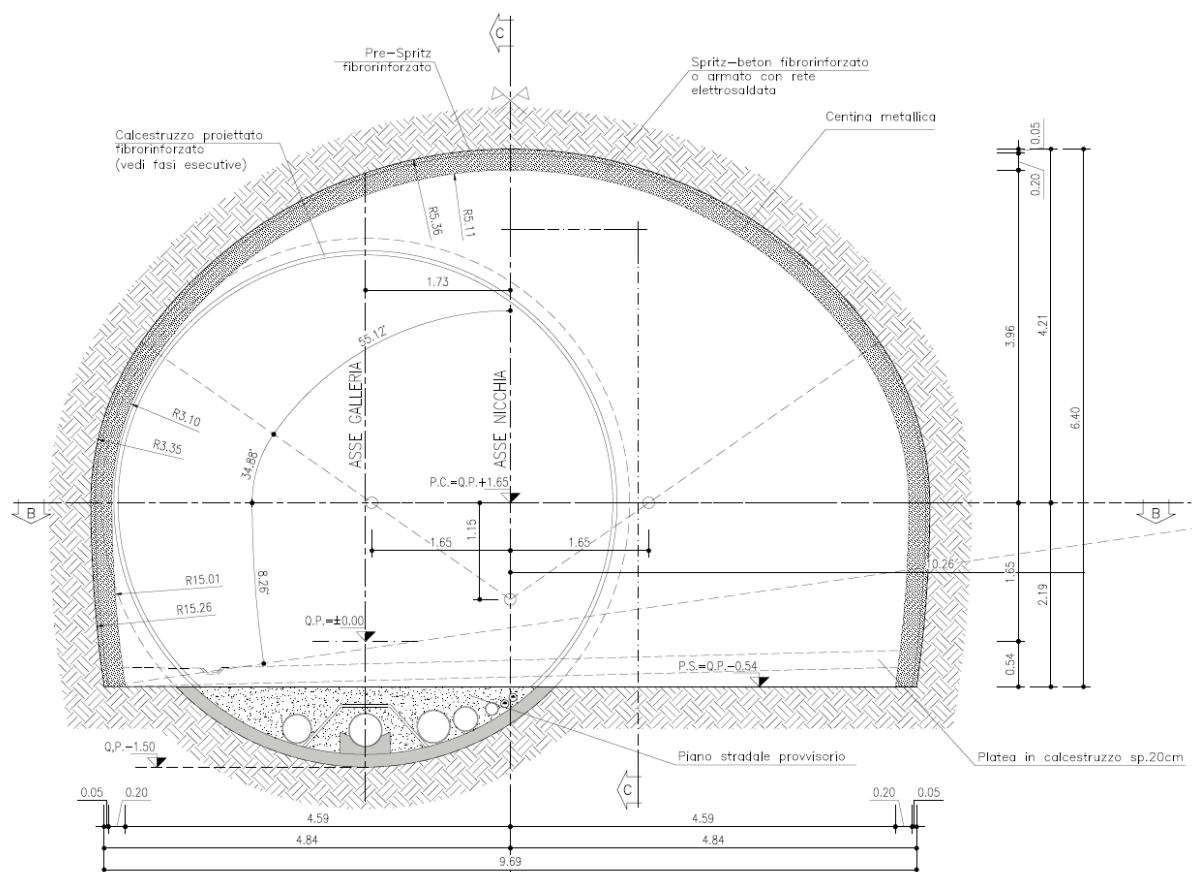


Figura 21 – Sagoma corrente nicchie

L'unica eccezione è rappresentata dalla nicchia NS8, prevista in corrispondenza del futuro innesto con la galleria di connessione 1, che verrà realizzata con una sagoma allargata, come descritto in dettaglio nel successivo paragrafo 5.2.1.

Va inoltre segnalato che in corrispondenza delle due nicchie NLS4 e NLS9 verrà realizzato un ramo ortogonale alla nicchia, con estensione pari a 15m, per consentire l'inversione dei mezzi d'opera impegnati nelle lavorazioni (paragrafo 5.2.2).

### 5.2.1 Sezione allargata (NS8)

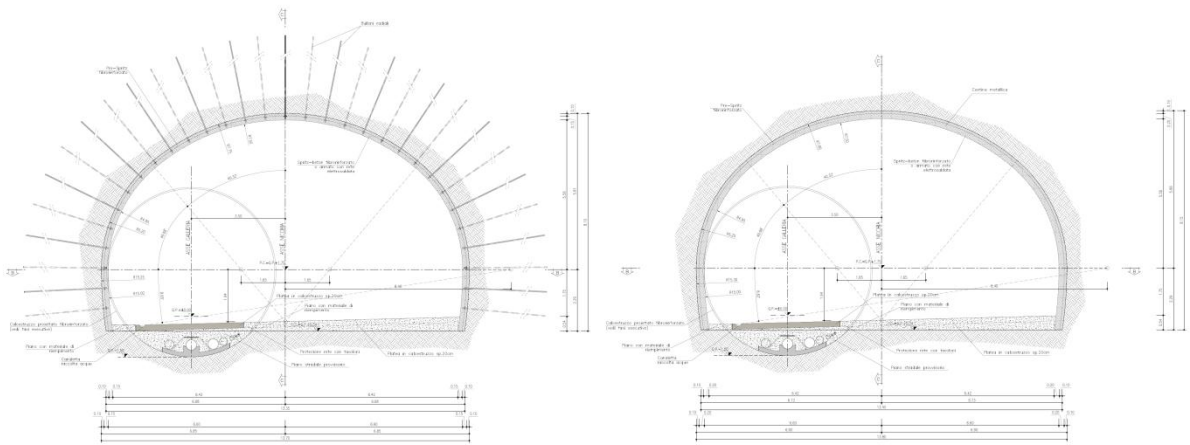
La nicchia NS8 si sviluppa longitudinalmente per 65m tra la progressiva 2180 e la progressiva 2245 e, come anticipato, verrà realizzata con una sagoma maggiorata rispetto a quella prevista per le altre 21 nicchie, in modo tale da favorire la connessione in obliquo con la galleria di connessione 1 di futura realizzazione.

Come mostrato nella successiva Figura 22, la nicchia avrà un'altezza di circa 8,15m per una larghezza massima, in corrispondenza del piano dei centri, di circa 13,80m.

Si prevede l'applicazione di due possibili sezioni di scavo, sviluppate sulla falsariga di quanto previsto per le nicchie correnti. Si avrà quindi una sezione che prevede l'impiego di



bullonatura radiale (sezione tipo 1/2) ed una sezione che prevede invece la posa in opera di cinte metalliche (sezione tipo 2/2).



**Figura 22 – Nicchia NS8 – Sezioni di scavo**

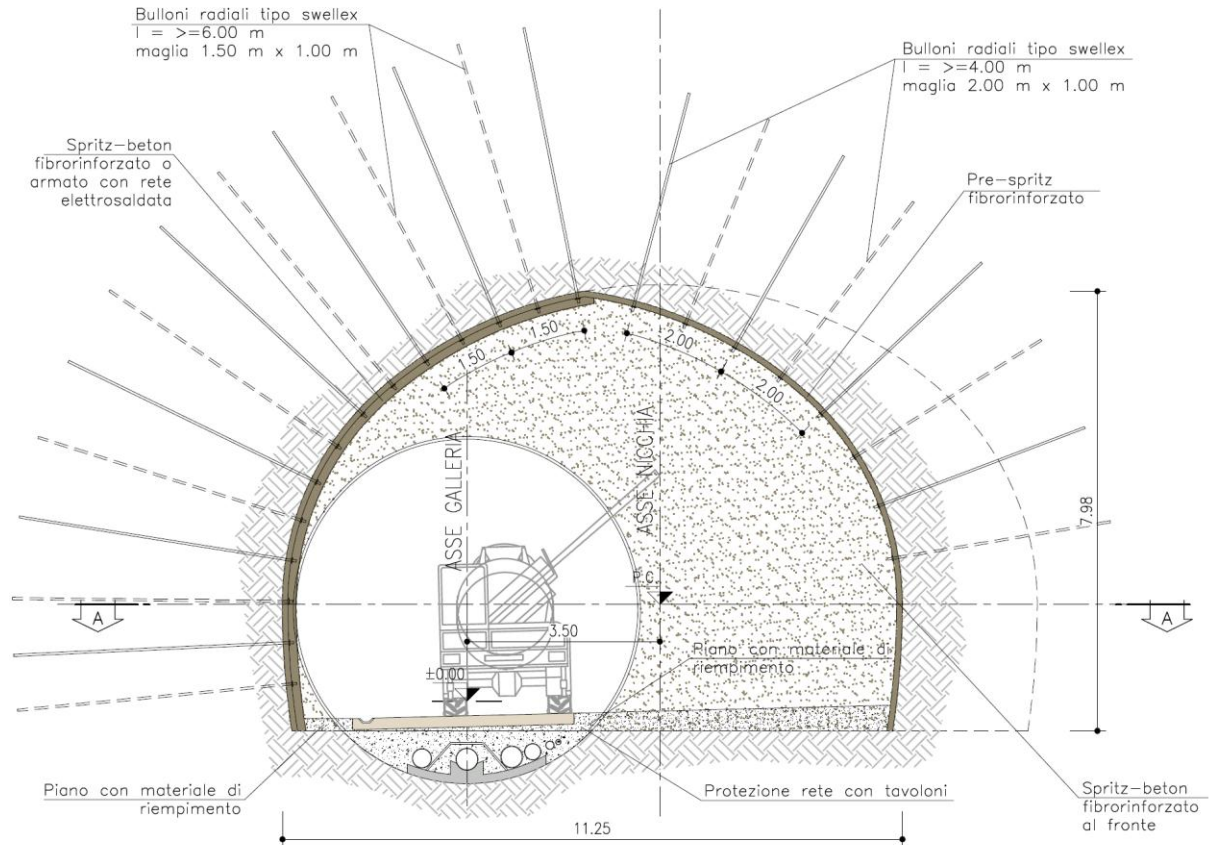
### Fasi Esecutive

Propedeuticamente agli scavi si dovrà procedere all'esecuzione di uno strato di spritz beton fibrorinforzato dello spessore di 5,0cm in corrispondenza del tratto di galleria interessato dai lavori, da 5,0m prima a 5,0m dopo l'inizio e la fine della nicchia. Nel caso che essi vengano effettuati laddove lo scavo del cunicolo è stato affrontato mediante l'applicazione di una sezione tipo F3c1, prima di ogni fase di scavo si dovrà procedere inoltre allo smantellamento delle cinte UPN 120 installate sulla volta della galleria nel tratto interessato.

Lo scavo procederà quindi mediante la predisposizione di un attacco laterale a paramento per consentire la creazione di un primo settore di nicchia di dimensioni minime utili al posizionamento del jumbo con aste di perforazione allineate longitudinalmente rispetto alla galleria.

Vista la notevole estensione trasversale della nicchia l'allargò verrà effettuato in due fasi. Si realizzerà dapprima un allargò provvisorio, secondo la geometria indicata in Figura 23, che prevederà l'esecuzione mediante esplosivo di tre sfondi laterali di 2,0m di ampiezza.

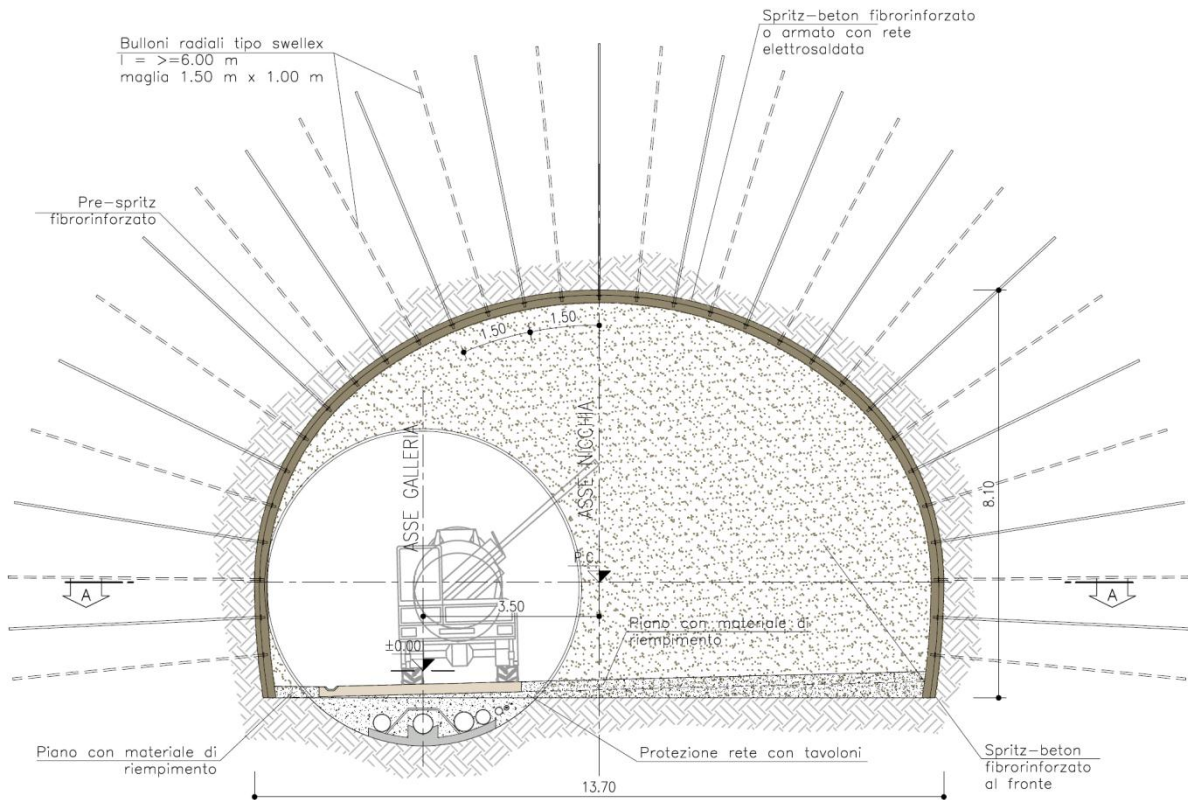
A seguito di ciascuna volata si procederà alla messa in sicurezza delle pareti e dei fronti esposti mediante posa in opera di spritz fibrorinforzato sp. 10 cm e bullonatura radiale. Sul paramento sinistro, già in configurazione definitiva, si provvederà alla posa di bulloni tipo Swellex Pm 24 lunghezza 6 m, disposta a maglia 1.0 x 1.0 m. Sul alto destro invece si provvederà alla posa di bulloni tipo Swellex Pm 24 lunghezza 4m, disposta a maglia 2.0 x 1.0 m. Dopo l'esecuzione dei bulloni si provvederà al completamento del privervestimento sul paramento sinistro della sezione, con posa in opera di un ulteriore strato di spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata di spessore pari a 15 cm, per raggiungere uno spessore complessivo di 25 cm.



**Figura 23 – Nicchia NS8 – Attacco scavi – Allargo provvisorio**

Concluso l'allargo provvisorio si procederà in immediata successione al completamento dell'allargo laterale mediante esecuzione di ulteriori tre sfondi laterali di estensione pari a 2,0m ciascuno, fino al raggiungimento della geometria di progetto (Figura 24). In funzione delle effettive condizioni dell'ammasso riscontrate in situ e del comportamento da esso evidenziato nel corso delle prime fasi di allargo si potrà prevedere in alternativa l'esecuzione della seconda fase di allargo con due sfondi laterali di estensione pari a 3.0m.

Anche in questo caso, dopo ciascuna volata si procederà alla messa in sicurezza delle pareti e dei fronti esposti mediante posa in opera di spritz fibrorinforzato sp. 10 cm e bullonatura radiale tipo Swellex Pm 24 lunghezza 6 m, disposta a maglia 1.0 x 1.0 m. Dopo l'esecuzione dei bulloni si provvederà al completamento del priverstimento, con posa in opera di un ulteriore strato di spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata di spessore pari a 15 cm, per raggiungere uno spessore complessivo di 25 cm.



**Figura 24 – Nicchia NS8 – Attacco scavi – Allargo completo**

Completata la fase iniziale di allargo l'avanzamento proseguirà quindi per sfondi progressivi di lunghezza massima variabile in funzione della sezione tipo applicata, effettuati a mezzo esplosivo, sagomando il fronte a forma concava e provvedendo ad un accurato disaggio meccanico di tutti i blocchi potenzialmente instabili.

Dopo ogni sfondo si provvederà alla messa in sicurezza delle pareti e dei fronti esposti mediante posai in opera di uno strato di pre-spritz fibrorinforzato di 10 cm di spessore. Si provvederà quindi alla posa delle centine o dei bulloni (in funzione della sezione tipo di applicazione) secondo la geometria di progetto ed al completamento del rivestimento di prima fase mediante posa in opera di un ulteriore strato di 15/20 cm di spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata sulle pareti di scavo fino a raggiungere lo spessore complessivo di 25/30 cm (in funzione della sezione tipo di applicazione).

#### Sezione tipo 1/2 - Interventi previsti

La sezione tipo 1/2 è costituita dai seguenti interventi:

- Bulloni radiali tipo Swellex Pm 24, di lunghezza  $L \geq 6.00$  m, maglia 1.5 m (trasv.) x 1.0 m (long.);
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al contorno sp. 25,0 cm (10.0 cm + 15.0 cm);
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al fronte di scavo sp.  $\geq 10.0$  cm a fine sfondo (profondità massima pari a 2.0 m).

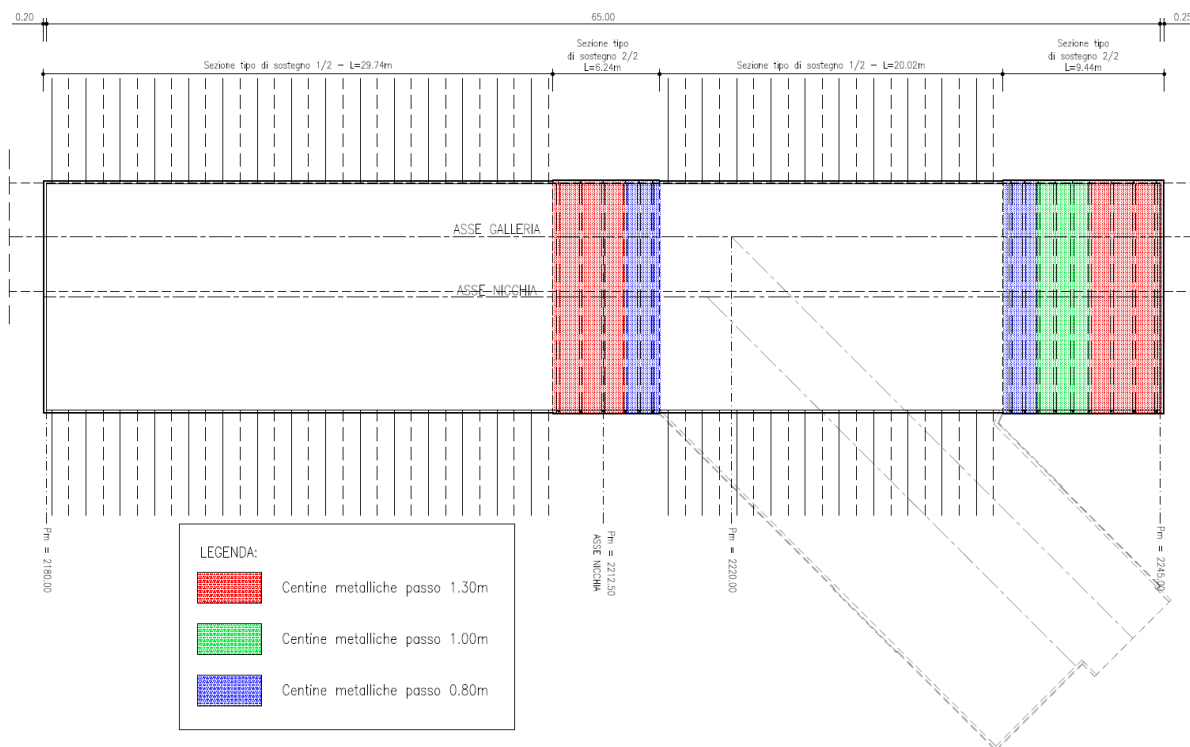
#### Sezione tipo 2/2 - Interventi previsti

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

- Centina metallica 1 HEB 180 a passo 0.80m - 1.00 m – 1.30 m in funzione della posizione;
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al contorno sp. 30,0 cm (10.0 cm + 20.0 cm);
- Spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata al fronte di scavo sp.  $\geq$  10.0 cm a fine sfondo (profondità massima pari a 1.30 m).

### Applicazione sezioni

L'applicazione degli interventi di sostegno lungo lo sviluppo della nicchia è indicata nella successiva Figura 25.



**Figura 25 – Nicchia NS8 – Applicazione interventi di sostegno**

Come si può osservare, si prevederà l'applicazione della sezione tipo 1/2, con bullonatura radiale (in bianco in figura) per la maggior parte dell'estensione della nicchia. Ai due lati del futuro attacco della galleria di connessione 1 si procederà alla posa di 3 centine ravvicinate (a passo 80 cm – in blu in figura) al fine di garantire un ulteriore elemento rinforzo dei piedritti del futuro innesto. Il posizionamento delle centine nel tratto finale della nicchia è invece dettato prevalentemente dall'esigenza di evitare interferenze dei sostegni con le future operazioni di scavo del ramo.

### 5.2.2 Sezioni con ramo (NLS4 – NLS9)

Come anticipato, in analogia con quanto già indicato in fase di PRV, il progetto prevede l'esecuzione, in corrispondenza di due nicchie, di un ramo ortogonale all'asse della nicchia e con sagoma omologa ad essa al fine di consentire l'inversione dei mezzi d'opera.

In fase di PRV i rami erano previsti in corrispondenza della nicchia NLS3 (progressiva Km 3+220) e della nicchia NLS9 (progressiva Km 4+800). Alla luce degli spostamenti descritti in precedenza, al fine di mantenere i due rami nella posizione più prossima a quella originaria,

essi verranno realizzati in corrispondenza delle nicchie NLS4 (progressiva Km 3+289.5) e NLS9 (progressiva Km 4+800 – la nicchia non ha subito spostamenti rispetto al PRV).

### Fasi Esecutive

Lo scavo del ramo verrà affrontato solo dopo la completa realizzazione di ciascuna delle due nicchie interessate, che verranno eseguite secondo le modalità previste per le nicchie correnti, in funzione della sezione tipo applicata.

Per consentire le successive operazioni di scavo, nel tratto di nicchia in corrispondenza dell'innesto del ramo dovrà in ogni caso essere applicata una sezione tipo con bullonatura radiale. Per la nicchia NLS9, alla luce delle caratteristiche dell'ammasso riscontrate nel corso dello scavo del cunicolo (che è stato affrontato con riferimento ad una sezione di scavo F4), si è predisposta una sezione di scavo ad hoc per la tratta di innesto, denominata S1-3\*, che prevede un incremento dello spessore dello spritz beton rispetto alla sezione S1-3 corrente descritta al precedente paragrafo 5.1.3 (5cm + 20cm contro 5cm + 15cm. Per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato specifico 04A-1735700-GN20-N-3-E-SE-GC-1024 "*Nicchia NLS9 - Sezione tipo S1-3\* - Sezioni di sostegno*").

Come già descritto anche per la nicchia NS8, ai due lati del futuro attacco del futuro attacco del ramo si procederà alla posa di 3 centine ravvicinate (a passo 80 cm) al fine di garantire un ulteriore elemento rinforzo dei piedritti del futuro innesto.

Lo scavo del ramo prevedrà dapprima lo scavo della lunetta di innesto, da eseguirsi mediante martellone con sfondi di lunghezza pari a 1 m e posa in opera di bulloni a maglia 1,0 x 1,0 m. Completato lo scavo della lunetta si procederà allo scavo del ramo, che verrà eseguito a piena sezione (sempre mediante mezzi meccanici), con sfondi di lunghezza pari a 0,80m – 1,00m – 1,30m (in funzione del passo previsto per le centine). Per ogni sfondo si prevede:

- Esecuzione dello sfondo con lunghezza pari a 0,80-1,30 m in funzione del passo previsto per le centine;
- Posa in opera di uno strato di pre-spritz fibrorinforzato di 5,0 cm di spessore;
- Posa in opera della centina metallica secondo la geometria di progetto;
- Posa in opera di un ulteriore strato di 20,0 cm di spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata sulle pareti di scavo fino al raggiungimento dello spessore complessivo di 25,0 cm.

Dopo la posa in opera di 5 centine (nicchia NLS4 - rif elab. 04A-1735700-GN20-N-3-E-SE-GC-1023 "*Nicchie NLS4 - Ramo - Sezioni di sostegno*") o 6 centine (nicchia NLS9 - rif elab. 04A-1735700-GN20-N-3-E-SE-GC-1025 "*Nicchie NLS9 - Ramo - Sezioni di sostegno*") lo scavo potrà procedere a piena sezione, con sfondi eseguiti mediante esplosivo. Dopo ogni sfondo si prevede:

- Posa in opera di uno strato di pre-spritz fibrorinforzato di 5,0 cm di spessore;
- Posa in opera dei bulloni radiali (NLS4) o centine (NLS9) secondo la geometria di progetto;
- Posa in opera di un ulteriore strato di 15,0 cm (NLS4) o 20,0 cm (NLS9) di spritz beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata sulle pareti di scavo fino al raggiungimento dello spessore complessivo di 20,0 cm (NLS4) o 25,0 cm (NLS9).



Sulla base di quanto osservato in situ, dei dati rilevati in fase di scavo e dei risultati del sistema di monitoraggio in atto l'applicazione della sezione potrà essere cambiata in corso d'opera, prevedendone un alleggerimento o un appesantimento in funzione delle evidenze raccolte.

Il cambiamento di sezione tipo dovrà considerare la tendenza di comportamento della cavità. L'analisi dovrà essere condotta per settori di circa 4-5 m di estensione, per condurre a variazioni nel terzo settore. L'approccio progettuale può essere schematizzato come segue:

- settore 1: situazione di allerta/raccolta dati;
- settore 2: verifica di quanto evidenziato nel campo 2;
- settore 3: situazione di intervento.





## 5.4 Modalità di abbattimento della roccia

La definizione circa l'applicazione delle sezioni tipo di avanzamento, descritta in dettaglio nei capitoli precedenti, consente di definire anche la metodologia impiegata per l'abbattimento della roccia, ovvero individua se lo scavo dovrà essere condotto, in funzione delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso, con mezzi meccanici (quali martellone, ripper ... ) oppure mediante l'adozione di esplosivo.

La definizione puntuale delle attrezzature impiegate ed il dimensionamento delle volate, in termini di quantitativo di esplosivo, ritardi, micro-ritardi ..., saranno messe a punto in dettaglio dall'Impresa Esecutrice dei lavori nella fase di avvio degli scavi.

Al fine di valutare in dettaglio la risposta vibrazionale a seguito dell'esecuzione delle volate, si prescrive la necessità di effettuare, in corrispondenza della nicchia NS1, la più prossima alle pre-esistenze presenti al contorno dell'area dei lavori, uno specifico "campo prova", supportato da un piano di monitoraggio delle vibrazioni indotte.

I parametri oggetto di monitoraggio e la definizione dei livelli ammissibili dovranno essere definiti con riferimento alla Norma UNI 9916/2014 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici" che, nel rimandare ai Norma DIN 4150, esprime appunto i limiti ammissibili in termini di velocità e accelerazione e alle Raccomandazioni AFTES GT3R7F1 (pubblicate il 20 gennaio 2020) "Vibrations générées par les tirs des mines. Détermination des seuils de vibration lors des étude d'avant-projet" che definiscono la relazione della legge di sito per la previsione del valore massimo di velocità di vibrazione e, quindi, la massima quantità di carica per ritardo ammissibile affinché ad una determinata distanza non siano superati i valori di vibrazioni di soglia. La quantità di carica dovrà essere verificata e definita nel dettaglio per mezzo del sopra citato campo prova). In particolare, il principale parametro da monitorare dovrà essere la velocità di propagazione delle vibrazioni (espressa in mm/sec), da confrontare, in funzione della frequenza in Hz della vibrazione, con quanto indicato nella tabella dei valori limiti di riferimento contenuta nelle DIN4150 (per edifici vincolati si indicano valori di velocità inferiori a 3-10 mm/sec in funzione della frequenza).

Il campo prova dovrà prevedere l'esecuzione di volate ridotte, al fine di verificare, in tutta sicurezza, la "legge di trasmissione" delle vibrazioni del sito, utile alla messa a punto sperimentale delle specifiche tecniche di brillamento della roccia. Saranno quindi effettuate volate prove, con controllo delle vibrazioni indotte, solo a seguito delle quali si procederà con l'avvio degli scavi. Sarà quindi possibile definire le modalità di scavo allo scopo di evitare interferenza con le preesistenze, specie quelle presenti nelle aree tutelate.

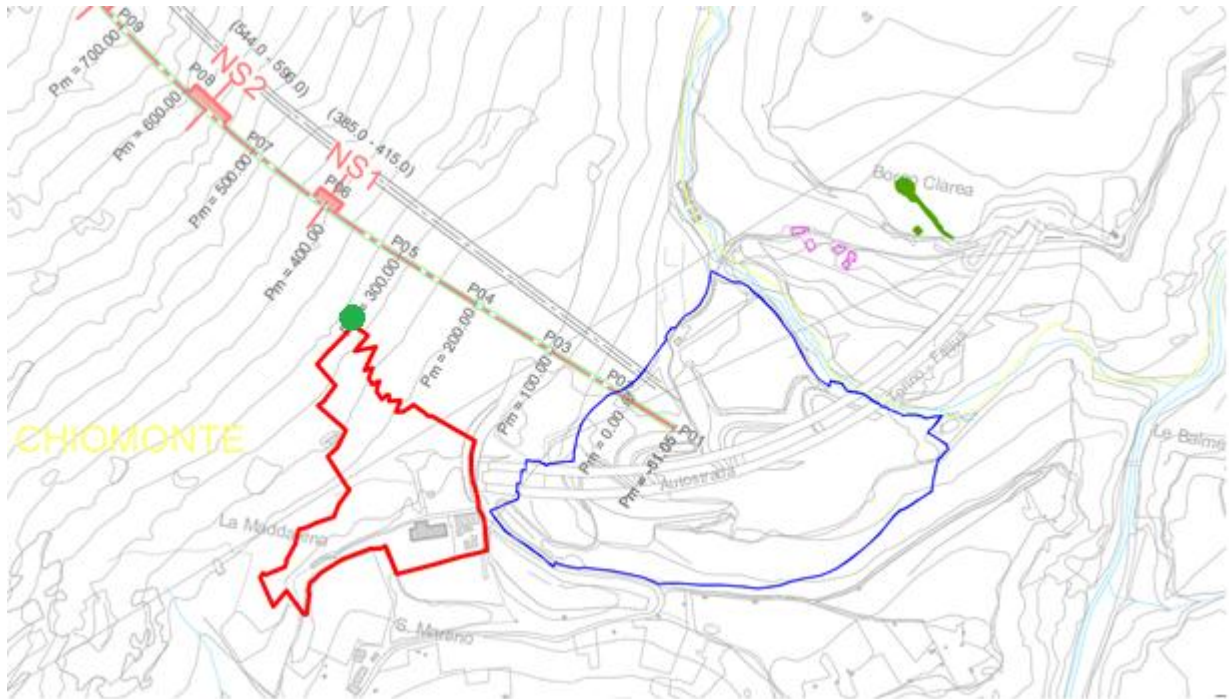
Durante la fase di svolgimento del campo prova sarà infatti condotto un piano di monitoraggio delle vibrazioni, come in dettaglio descritto all'interno del PGA Piano di Gestione Ambientale. Si propone il rilievo delle vibrazioni in due punti di controllo:

- uno in corrispondenza di una pila del Viadotto più prossimo all'imbocco della galleria;
- l'altro in corrispondenza del settore dell'area a tutela archeologica più prossima alla nicchia NS1, come indicato nella figura seguente.

Il monitoraggio verrà condotto durante il campo prova e le prime volate eseguite durante i primi 7 gg di svolgimento dei lavori, al fine di effettuare un controllo circa l'assenza di interferenze tra i lavori e le pre-esistenze.

In particolare il controllo vibrometrico in corrispondenza dell'area archeologica è anche richiamata dalla prescrizione n. 107 della Delibera CIPE n.86 del 18 novembre 2010.

Si ricorda inoltre che per il Piano di Monitoraggio Ambientale, al fine di tutelare sin dall'inizio l'area di interesse archeologico, preventivamente a qualsiasi intervento dovranno essere collocati anche nell'area archeologica punti di monitoraggio delle polveri e vibrazioni.



**Figura 28 – Punto di controllo delle vibrazioni in corrispondenza del settore dell'area a tutela archeologica più prossima alla nicchia NS1**

## 6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le principali caratteristiche dei materiali utilizzati negli interventi di progetto sono sintetizzate di seguito:

- **Calcestruzzo e miscele cementizie:**

- Spritz beton: fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata  
C 25/30  
 $R_{ck} \geq 30$  MPa
- Calcestruzzo soletta: RCC  
C20/25  
 $R_{ck} \geq 25$  MPa

- **Acciaio:**

- Rete elettrosaldata: B450 C  
 $f_{yk} \geq 450$  MPa
- Centine: S 355  
 $f_{yk} \geq 355$  MPa
- Fibre per spritz beton: Con estremità sagomate ad uncino  
Realizzate con filo ottenuto per trafilatura di acciaio a basso contenuto di carbonio  
Lunghezza 20-40mm  
Diametro  $\varnothing 0.55$ mm  
 $L/D = 60$   
Tensione di rottura  $f \geq 1200$  MPa  
Dosaggio minimo  $30 \text{ Kg/m}^3$

- **Bulloni:**

- Swellex: Mn 24 o equivalente  
Diametro  $\varnothing 54$ mm  
Spessore 3mm  
Diametro di perforazione  $\varnothing 43-52$ mm  
 $F_{uk} \geq 200$  KN  
 $F_{yk} \geq 180$  MPa

In funzione delle esigenze operative dell'impresa i bulloni tipo swellex potranno essere sostituiti con bulloni autopercoranti (IBO) a condizione che siano garantite le medesime prestazioni (o superiori)