

VARIANTE ALLA S.S. 1 "VIA AURELIA"
Viabilità di accesso all'hub portuale di La Spezia
Lavori di costruzione della variante alla S.S. 1 Via Aurelia - 3°Lotto
2° Stralcio Funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di San Venerio
COMPLETAMENTO

PRECEDENTI LIVELLI DI PROGETTAZIONE DELL'APPALTO INTEGRATO ORIGINALE

PD n°1861 del 09/07/03 aggiornato al 10/12/08 - Delibera CIPE n°60 del 02/04/08
PE n° 103 del 14/07/2011 - D.A. CDG-103321-P del 20/07/11
PVT n°112 del 21/01/16 aggiornata al 28/10/16 - D.A. CDG-92950-P del 21/02/17
Progetto Esecutivo Cantierabile Opere da Completare

PROGETTO ESECUTIVO

COD. GE266

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

Dott. Ing. Antonio Scalamandrè
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Flavio Capozucca
Ordine Geol. del Lazio n. 1599

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Emiliano Paiella

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Fabrizio Cardone

PROTOCOLLO

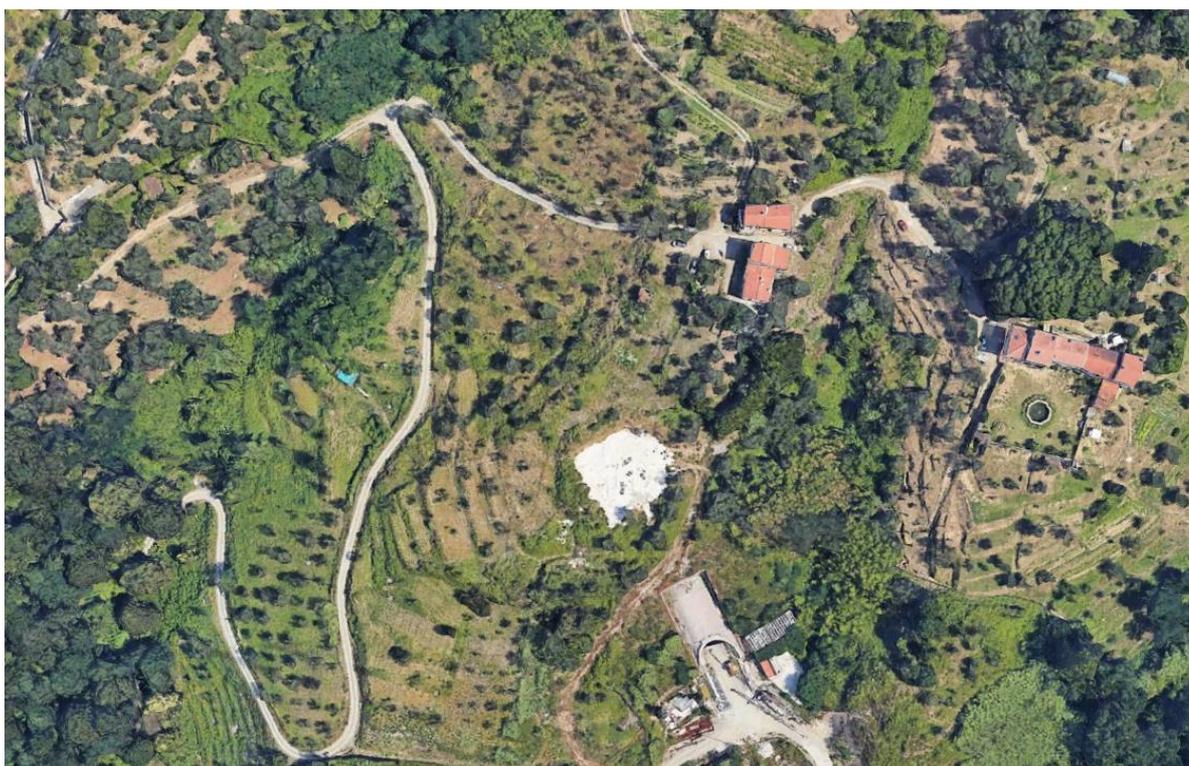
DATA

OPERE D'ARTE MAGGIORI
GALLERIA FELETTINO I
COMPLETAMENTO GALLERIA NATURALE
LINEE GUIDA DI APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	T00GN01OSTRE04B			
D P G E 0 2 6 6	E 2 0	CODICE ELAB.	T 0 0 G N 0 1 O S T R E 0 4	B	-
D					
C					
B	Emissione in seguito ad istruttoria DIV		Dicembre 2020		
A	Emissione		Giugno 2020	Ing.	Ing.
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA VARIANTE ALLA SS1 AURELIA – 3°
LOTTO TRA FELETTINO ED IL RACCORDO AUTOSTRADALE

OPERE MAGGIORI - GALLERIA NATURALE



GALLERIA NATURALE FELETTINO I

LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO

T00GN01OSTRE04B

-	30.06.2020	Ago	CR
Versione	Data	Redatto	Verificato

Lombardi Ingegneria S.r.l. – Socio Unico

Via Giotto 36, IT-20145 Milano

Telefono +39 02 583 03 324, Fax +39 02 583 03 190

milano@lombardi.group, www.lombardi.group

Unità locale Torino

Via R. Montecuccoli 9, IT-10121 Torino, Italy

Telefono: +39 011 192 149 20, Fax: +39 02 583 03 190

torino@lombardi.group, www.lombardi.group

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
1.1	Premessa	1
1.2	Normativa di riferimento	2
1.3	Riferimenti bibliografici	3
1.4	Documenti di progetto	3
2.	APPROCCIO METODOLOGICO E SEZIONI TIPO	4
2.1	Generalità sull'applicazione del metodo osservazionale	4
2.2	Approccio progettuale e costruttivo	5
2.3	Sezioni tipo - generalità	7
2.4	DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO	8
2.5	Sezione tipo B2	10
2.6	Sezione tipo C2	12
2.7	Sezione tipo C2P	14
2.8	Sezione tipo C2VP	16
3.	PARAMETRI E COMPORTAMENTO DEFORMATIVO	18
4.	CRITERI DI APPLICAZIONE	19
4.1	Premesse generali	19
4.2	Indicazioni specifiche	20

1. INTRODUZIONE

1.1 Premessa

La presente relazione tratta della galleria "Felettino I", prevista lungo il tracciato del 3° Lotto della variante alla S.S. 1 "Aurelia" a La Spezia, tra la località di Felettino e il raccordo autostradale.

La galleria, della lunghezza totale di 777.28 m, presenta una sezione policentrica con raggio interno in calotta pari 6,18 m, nella quale è alloggiata una piattaforma stradale formata da una corsia per ciascun senso di marcia di larghezza 3,75 m e banchine laterali da 1,50 m, per una larghezza complessiva di 10,50.

Planimetricamente la galleria presenta un andamento rettilineo da Nord-Ovest verso Sud-Est; presso l'imbocco lato Nord della galleria si trovano le rampe dello svincolo di Via di Buonviaggio, mentre presso l'imbocco lato Sud si trova il viadotto S.Venerio I.

Trattandosi di galleria con lunghezza superiore a 500 m, è prevista per un tratto l'adozione di una sezione di scavo all'interno della quale viene ricavato un cunicolo di emergenza per l'evacuazione degli utenti e la realizzazione di uscite di emergenza in galleria verso il cunicolo ogni 300 m.

Allo stato attuale la galleria si presenta realizzata parzialmente, lo scavo è stato effettuato da entrambi gli imbocchi per un totale di 217m così suddivisi:

- Da imbocco Lato Sud : da pk 2497 a 2461 (L=36m)
- Da imbocco Lato Nord: da pk 1805 a 1986 (L=181m)

Il presente documento si propone di fornire dei criteri di applicazione delle sezioni tipo previste in fase di progettazione per il tratto rimanente di galleria naturale. Elementi quantitativi e qualitativi sono riportati al fine di contribuire alla valutazione della migliore sezione di scavo con cui affrontare l'avanzamento della galleria.



Figura 1: Vista dell'area della galleria Felettino I adiacente all'abitato di Carozzo.

1.2 Normativa di riferimento

- [1] D.M. LL. PP. 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988, N. 30483 - Circolare Ministero Lavori Pubblici 9 gennaio 1996, N. 218/24/3).
- [2] Legge 5 novembre 1971, N. 1086 "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio normale, precompresso ed a struttura metallica".
- [3] D.M. LL. PP. 14 febbraio 1992 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 giugno 1993, N. 37406/STC).
- [4] D.M. LL. PP. 9 gennaio 1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 15 ottobre 1996, N. 252).
- [5] D.M. LL. PP. 16 gennaio 1996 "Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi»" e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 4 luglio 1996, N. 156AA.GG./STC).
- [6] Legge 2 Febbraio 1974 n° 64 - "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".

- [7] D.M. LL. PP. 16 gennaio 1996 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche” e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 10 aprile 1997, N. 65/AA.GG.).
- [8] Ordinanza n. 3274 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e s.m.i.
- [9] Presidenza del Consiglio dei Ministri – Ordinanza n. 3519 del 28 Aprile 2006 - “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.
- [10] Decreto Ministero Infrastrutture 14/01/2008 - “Nuove Norme tecniche per le costruzioni”.
- [11] Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 617 del 2 Febbraio 2009 - “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 Gennaio 2008”.

1.3 Riferimenti bibliografici

- [12] Hoek E. [2004]: “Numerical Modelling for Shallow Tunnels in Weak Rock” – Rocscience.
- [13] Lombardi G., Amberg W. A. [1974]: “Une méthode de calcul élasto-plastique de l'état de tension et de déformation autour d'une cavité souterraine”. Congrée Internationale ISRM, Denver.
- [14] Lunardi P. [2000]: “The design and construction of tunnels using the approach based on the analysis of controlled deformation in rocks and soils”. Tunnels & Tunnelling International.
- [15] Oreste P.P. [1999]: “Aspetti Notevoli dell'Analisi e Dimensionamento dei Sostegni di Gallerie attraverso i Metodi di Calcolo Numerici”, Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, Nr. 57, 1999, 39-50.

1.4 Documenti di progetto

- [16] Relazione di calcolo (T00GN01OSTRE04A)
- [17] Nota di caratterizzazione geomeccanica (T00GN01OSTRE01A)

2. APPROCCIO METODOLOGICO E SEZIONI TIPO

2.1 Generalità sull'applicazione del metodo osservazionale

La progettazione esecutiva dell'opera in sotterraneo si è sviluppata in relazione alle risultanze della caratterizzazione geologico-geotecnica (individuazione del modello geotecnico) e ricorrendo a idonei metodi di analisi, conducendo alla definizione di:

- metodo di scavo;
- interventi di miglioramento;
- rinforzo e stabilizzazione;
- rivestimenti da adottare.

Tali scelte sono riferite a tratti di galleria omogenei dal punto di vista geotecnico/geomeccanico nei quali vengono definite opportune sezioni tipo o di progetto, mediante anticipazione dei possibili comportamenti allo scavo, assieme ai limiti ammissibili delle grandezze caratteristiche atte a definire tali comportamenti.

Nei contesti in cui si prevedono situazioni geologiche e geotecniche complesse per le quali, anche dopo accertamenti ragionevolmente estesi e approfonditi, rimangono elementi di incertezza che possono essere risolti solo in fase costruttiva, la progettazione si basa sul Metodo Osservazionale (Terzaghi et al., 1945 e Peck, 1969).

Questo prevede che in sede di progettazione siano predisposte soluzioni alternative in relazione ai diversi scenari attesi, definendo per ciascuna i limiti ammissibili delle grandezze caratteristiche che saranno oggetto di controlli e misure mediante il sistema di monitoraggio. Sarà così possibile, nel caso in cui i limiti prima definiti per la soluzione applicata siano raggiunti, adottare tempestivamente una delle soluzioni alternative proposte dal progetto.

Nell'ingegneria geotecnica, Peck (1969) ha razionalizzato il Metodo Osservazionale proposto per la prima volta da Terzaghi (1945) descrivendolo nel seguente modo:

1. predisposizione di una campagna di indagine geotecnica iniziale sufficiente a stabilire la natura, lo schema e le proprietà dell'ammasso roccioso;
2. valutazione delle condizioni più probabili e delle più sfavorevoli deviazioni dalle stesse: in questo caso le valutazioni di natura geologica spesso giocano il ruolo principale;
3. redazione del progetto basato sulle ipotesi di lavoro circa il comportamento previsto nelle condizioni più probabili;
4. scelta delle grandezze da osservare durante la costruzione e il calcolo dei loro valori previsti sulla base delle ipotesi di lavoro;
5. definizione dei valori delle stesse grandezze nelle condizioni più sfavorevoli, compatibili con i dati concernenti le condizioni dell'ammasso roccioso;

6. scelta di una serie di azioni o modifiche del progetto per ogni prevedibile significativa deviazione delle grandezze misurate rispetto a quelle previste sulla base delle condizioni di lavoro;
7. misura delle grandezze da osservare e valutazione delle condizioni effettivamente incontrate;
8. modifica del progetto sulla base di quanto definito e adattamento alle condizioni incontrate.

I valori di riferimento delle grandezze osservate sono quelli previsti dal progetto iniziale allo stadio di avanzamento in atto in corso d'opera. Le condizioni del sito e i parametri geotecnici del terreno, valutate sulla base delle indagini geotecniche, sono verificate mediante analisi a ritroso (back-analysis) dei dati forniti dal monitoraggio; questo tipo di operazione viene definita "conferma delle assunzioni di progetto".

2.2 Approccio progettuale e costruttivo

La sequenza delle varie fasi di studio adottate nell'ambito del progetto esecutivo può essere riassunta nei seguenti punti fondamentali

- fase conoscitiva;
- fase di diagnosi;
- fase di terapia.

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dall'opera in sotterraneo.

Nell'ambito della fase di diagnosi, sulla base delle informazioni disponibili, si procede con l'individuazione delle tratte a comportamento geomeccanico omogeneo lungo il tracciato, avendo fissato:

- geometria della sezione;
- stati tensionali attesi (coperture);
- caratteristiche geomeccaniche.

Per ogni tratta si valuta la categoria di comportamento attesa (A, B o C) in assenza di interventi, mettendo dunque in evidenza le zone caratterizzate da:

- comportamento dell'ammasso allo scavo del tipo "a fronte stabile" (caso A);
- comportamento dell'ammasso allo scavo del tipo "a fronte stabile a breve termine" (caso B);
- comportamento dell'ammasso allo scavo del tipo "a fronte instabile" (caso C).

Le analisi di stabilità sono state condotte nelle diverse condizioni geomeccaniche riscontrabili durante gli scavi, prendendo in esame le diverse geometrie delle sezioni tipo previste e le tratte a comportamento geomeccanico omogeneo individuate in precedenza.

Nella fase di terapia si procede ad associare alle singole categorie di comportamento gli interventi di consolidamento, preconsolidamento e rivestimento più adatti; tali elementi concorrono alla definizione della sezione tipo "media" in funzione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dell'ammasso.

In corso d'opera l'applicazione delle sezioni tipo potrà essere adeguata dal progettista seguendo le "linee guida" di seguito riportate, sulla base di rilievi geostrutturali e di verifica del comportamento deformativo del cavo in rapporto alle lavorazioni condotte secondo le fasi e cadenze prestabilite nel progetto.

In base alle condizioni geotecniche/geomeccaniche dell'ammasso attraversato dalla galleria, risultato delle campagne geotecniche e delle analisi condotte, sono state identificate alcune sezioni tipologiche adatte allo scavo.

Le sezioni tipologiche di avanzamento previste per lo scavo includono le seguenti caratteristiche peculiari (il suffisso C nelle sezioni tipologiche indica la presenza del cunicolo di fuga al di sotto del piano viario) :

- **Sezione tipo B2**, avanzamento a piena sezione (escluso il ribasso) con sfondi contenuti, rivestimento con shotcrete e centine, esecuzione del rivestimento definitivo in prossimità del fronte.
- **Sezione tipo C2**, avanzamento a piena sezione (escluso il ribasso) con sfondi contenuti, rivestimento con shotcrete e centine, consolidamento in avanzamento al fronte e al contorno con elementi in vetroresina, esecuzione del rivestimento definitivo in prossimità del fronte.
- **Sezione tipo C2P**, avanzamento a piena sezione (escluso il ribasso) con sfondi contenuti, rivestimento con shotcrete e centine con puntone in arco rovescio, consolidamento in avanzamento al fronte e al contorno con elementi in vetroresina, esecuzione del rivestimento definitivo in prossimità del fronte.
- **Sezione tipo C2VP (ripartenze)**, avanzamento a piena sezione (escluso il ribasso) con sfondi contenuti, rivestimento con shotcrete e centine con puntone in arco rovescio, consolidamento in avanzamento al fronte e al contorno con elementi in vetroresina, esecuzione del rivestimento definitivo in prossimità del fronte.

I rivestimenti provvisori sono costituiti per tutte le sezioni sopra citate da centine e calcestruzzo proiettato mentre il rivestimento definitivo delle gallerie è costituito da calcestruzzo armato gettato in opera. Lo scavo viene effettuato a piena sezione con metodo tradizionale mediante escavatore meccanico e/o martellone e si procederà alla realizzazione di presostegni in funzione delle caratteristiche geomeccaniche e del comportamento del materiale scavato.

A distanza dal fronte di scavo, funzione del comportamento deformativo del cavo, si procederà al getto del rivestimento definitivo previa posa del sistema di impermeabilizzazione.

Il tracciato della galleria è stato suddiviso in tratte omogenee sulla base del comportamento atteso dello scavo, funzione delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso, della copertura e della sezione di scavo. All'interno di ogni tratta omogenea, le sezioni tipo descritte precedentemente sono state distribuite.

2.3 Sezioni tipo - generalità

Le sezioni tipo di scavo e consolidamento individuate in progetto per la galleria naturale sono quattro:

- la sezione tipo **B2**, individuata per le tratte di roccia migliore lungo lo sviluppo della galleria in oggetto che non necessitano di un sostegno del fronte, lo scavo tuttavia si caratterizza da sfondi limitati ed il cavo è sostenuto da un prerivestimento provvisorio;
- la sezione tipo **C2**, per le tratte in roccia tettonizzata o decompressa che necessita un consolidamento in avanzamento (al fronte e al contorno),;
- la sezione tipo **C2P**, per l'avanzamento in tratte che evidenziano la tendenza a convergenze non trascurabili del cavo, per le quali si rende necessario un puntone di chiusura alla base del rivestimento provvisorio;
- la sezione tipo **C2VP**, per le tratte di ripartenza da entrambi i fronti attuali, per le quali si ritiene necessario una ulteriore protezione, rispetto alla sezione C2P, costituita da infilaggi al contorno con tubi metallici.

Tutte le sezioni tipo prevedono lo scavo a piena sezione con l'utilizzo di interventi di presostegno e preconsolidamento del fronte e/o del contorno di scavo. Nel seguito si fornisce una breve descrizione degli interventi previsti, rimandando per il dettaglio geometrico e tipologico ai relativi elaborati di progetto.

Per quanto riguarda l'incidenza delle sezioni in esame, i dati disponibili consentono di fare la seguente previsione:

- C2VP : 3 campi di scavo (27m) alla ripartenza da entrambi i lati della galleria
- B2 : 25% del tratto rimanente da scavare
- C2 : 25% del tratto rimanente da scavare
- C2P : 50% del tratto rimanente da scavare

Nella tabella che segue sono riportate in dettaglio le tratte relative alle diverse sezioni tipo. La distribuzione delle sezioni tipo è inoltre riportata nel profilo geomeccanico longitudinale della galleria.

Tratta	pk inizio	pk fine	Lungh.	C2VP / C2VPc	B2 / B2c	C2 / C2c	C2P1 / C2Pc
(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1 (senza cunicolo)	1986	2062	76	27	12.25	12.25	24.5
2 (con cunicolo)	2062	2308	246	27	54.75	54.75	109.5
TOT	-	-	322	54	67	67	134

Tabella 1: Sezioni tipo di avanzamento - Sintesi dei tratti di applicazione delle sezioni tipo.

2.4 DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO

Le sezioni tipo previste per il completamento della galleria naturale sono descritte nel presente capitolo, in **Tabella 2** e **Tabella 3** sono riportati in sintesi gli interventi provvisori e definitivi previsti e le dimensioni delle sezioni, mentre nei paragrafi successivi sono descritte le fasi di esecuzione.

Sezione tipo di avanzamento	Dimensioni (largh. base centine)	Area di scavo senza ribasso	Lungh. Campo	Lungh. sfondo
	BxH	A	L	L
	[m]	[m ²]	[m]	[m]
B2	12.6x10.8	128.9	16	1.2
B2c	12.6x10.8	128.9	16	1.2
C2	12.6x10.8	128.9	12	1.0
C2c	12.6x10.8	128.9	12	1.0
C2P1	12.8x10.9	131.9	9	1.0
C2PC	11.9x11.5	137.5	9	1.0
C2VPC	14.0x11.45	148.9	9	1.0

Tabella 2: Sezioni tipo di avanzamento – Sintesi delle dimensioni, lunghezze di campo e sfondi.

Sezione tipo	Drenaggi al fronte Ø60mm	Shotcrete al fronte	RIVESTIMENTO PROVVISORIO		CONSOLIDAMENTO/RINFORZO IN AVANZAMENTO			RIVESTIMENTO DEFINITIVO (impermeabilizzazione full round)	
			Shotcrete 19 MPa @48h	Centine S275	Fronte	Contorno		Calotta e murette	Arco rovescio
					VTR cem. Ø60/40	VTR cem. Ø60/40	MP 114.3 sp. 8mm cem.		
B2/B2c	Ev. 4 L=30 m sovr. 16m	Sp.=10cm	Sp.=25cm	2xIPN160 Passo 1.2m	-	-	-	s=60cm + ARM Getto a dist. 1 Ø dal fronte	s=70cm + ARM Getto a dist. 3 Ø dal fronte
C2/C2c	Ev. 6 L=36 sovr. 24m	Sp.=10cm	Sp.=25cm	2xIPN160 Passo 1.0m	N°40 L=24m sovr. 12m	N°39 L=24m sovr. 12m	-	s=60cm + ARM Getto a dist. 0.5/1 Ø dal fronte	s=80cm + ARM Getto a dist. 2 Ø dal fronte
C2P1/ C2Pc	Ev. 4 L=18 m sovr. 9m	Sp.=10cm	Sp.=25cm	2xIPN220 Passo 1.0m Con puntone (Ev.)	N°45 L=18m sovr. 9m	N°45 L=18m sovr. 9m	-	s=60cm + ARM Getto a dist. 1/1.5 Ø dal fronte	s=80cm + ARM Getto a dist. 3 Ø dal fronte
C2VP/ C2VPc	Ev. 4 L=27 m sovr. 18m	Sp.=10cm	Sp.=25cm	2xIPN200 1.0 Con puntone	N°45 L=18m sovr. 9m	N°49 L=18m sovr. 9m	N°24 15 sovr. 6	s=60-1.25cm + ARM Getto a dist. 0.5/1 Ø dal fronte	s=80cm + ARM Getto a dist. 3 Ø dal fronte

Tabella 3: Sezioni tipo di avanzamento - Sintesi degli interventi provvisori e definitivi

2.5 Sezione tipo B2

Lo scavo di avanzamento avverrà a piena sezione per campi di consolidamento di lunghezza 16 m e singoli sfondi di 1.2 m con immediata posa in opera del pririvestimento costituito da spritz-beton e centine metalliche.

In particolare, i dispositivi di sostegno provvisorio dello scavo saranno costituiti da:

- betoncino proiettato rinforzato con fibre in poliestere nella misura di 5 kg al mc, di spessore 25 cm,
- centina metallica costituita da 2 IPE 160 accoppiate, passo 1.2 m.

Il rivestimento definitivo sarà costituito da calcestruzzo armato di spessore 70 cm in arco rovescio e 60 cm in calotta, con getto della calotta e dell'arco rovescio alla distanza massima di 1 diametri e 3 diametri dal fronte rispettivamente, dopo la messa in opera di impermeabilizzazione continua con tessuto non tessuto e manto in PVC.

Di seguito sono descritte le fasi operative:

Esecuzione di eventuali drenaggi in avanzamento

L'esecuzione di drenaggi in avanzamento al contorno della sezione è da prevedersi in caso di presenza d'acqua osservata durante gli scavi. In tal caso si prevede la realizzazione di n°4 drenaggi costituiti da tubi in PVC, di lunghezza pari a 32 m, microfessurati per 24 m a partire dal fondo foro e ciechi per 8 m verso bocca foro, del diametro $\varnothing = 60$ mm spessore ≥ 4 mm e protezione con tessuto non tessuto, messi in opera all'interno di un foro con diametro $\varnothing = 100$ mm con sovrapposizione di 16 m con i successivi. Il tratto cieco deve essere reso solidale al foro mediante iniezioni di miscele cementizie; un sacco otturatore o altro sistema analogo dovrà essere posto all'estremità superiore. La posizione e l'inclinazione saranno definite in dettaglio in corso d'opera in funzione della situazione effettivamente riscontrata.

Esecuzione strato spritz-beton sul fronte

Prima di iniziare i consolidamenti sul fronte sarà realizzato su di esso uno strato di spritz-beton fibrorinforzato con poliestere dello spessore di 10 cm.

Esecuzione scavo

Esecuzione dello scavo di avanzamento a piena sezione per singoli sfondi di 1.2 m.

Posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di prima fase costituito da n. 2 centine metalliche accoppiate IPE 160 controventate passo 1.2 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 25 cm, additivato con 5 kg/mc di fibre di poliestere.

Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

Impermeabilizzazione

Posa in opera dell'impermeabilizzazione da eseguire prima del getto del rivestimento definitivo. Si prevede la messa in opera di uno strato protettivo di tessuto non tessuto, di un telo impermeabilizzante in PVC di spessore 2 mm e di tubi in PVC microfessurati per la raccolta delle acque ($\varnothing = 125$ mm, spessore ≥ 3 mm).

Getto arco rovescio

Il getto dell'arco rovescio, armato, deve avvenire ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro, in funzione dei dati di monitoraggio delle convergenze.

Si prevede uno spessore pari a 70 cm.

Getto rivestimento definitivo di calotta

Il getto del rivestimento definito di calotta sarà da eseguire ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri e comunque regolata in funzione del comportamento tenso-deformativo monitorato.

Si prevede uno spessore pari a 60 cm.

Armatura del rivestimento definitivo

Si prevede di armare l'arco rovescio, le murette e la calotta.

2.6 Sezione tipo C2

Lo scavo a piena sezione avverrà per sfondi da 1 m e campi di consolidamento della lunghezza di 12 m.

In particolare i dispositivi di sostegno provvisorio dello scavo saranno costituiti da:

- betoncino proiettato rinforzato con fibre in poliestere nella misura di 5 kg al mc, di spessore 25 cm,
- centina metallica costituita da 2 IPE 160 accoppiate, passo 1.0 m.

Il rivestimento definitivo sarà costituito da calcestruzzo armato di spessore 80 cm in arco rovescio e 60 cm in calotta, con getto della calotta e dell'arco rovescio alla distanza massima di 0.5 - 1 diametri e 2 diametri dal fronte rispettivamente, dopo la messa in opera di impermeabilizzazione continua con tessuto non tessuto e manto in PVC.

Esecuzione degli eventuali drenaggi in avanzamento

L'esecuzione di drenaggi in avanzamento al contorno della sezione sono da prevedersi in caso di presenza d'acqua osservata durante gli scavi. In tal caso si prevede la realizzazione di n° 6 drenaggi costituiti da tubi in PVC, di lunghezza pari a 36 m, microfessurati per 24 m a partire dal fondo foro e ciechi per 8 m verso bocca foro, del diametro $\varnothing = 60$ mm spessore ≥ 4 mm e protezione con tessuto non tessuto, messi in opera all'interno di un foro con diametro $\varnothing = 100$ mm, con sovrapposizione di 24 m con i successivi. Il tratto cieco deve essere reso solidale al foro mediante iniezioni di miscele cementizie; un sacco otturatore o altro sistema analogo dovrà essere posto all'estremità superiore. La posizione e l'inclinazione saranno definite in dettaglio in corso d'opera in funzione della situazione effettivamente riscontrata.

Esecuzione strato spritz-beton sul fronte

Prima di iniziare i consolidamenti sul fronte sarà realizzato su di esso uno strato di spritz-beton fibrorinforzato con poliestere dello spessore di 10 cm.

Esecuzione del preconsolidamento del fronte

Dal fronte di scavo si realizza il consolidamento del nucleo di terreno ancora da scavare mediante la posa in opera di n° 40 elementi strutturali in vetroresina cementati con le seguenti caratteristiche:

- tubi $\varnothing 60/40$ mm ad aderenza migliorata,
- lunghezza minima 24.0 m
- sovrapposizione ≥ 12.0 m
- Perforazione $\varnothing \geq 140$ mm;

Esecuzione del preconsolidamento al contorno

Gli interventi di preconsolidamento consistono nella realizzazione di una coronella di terreno consolidato mediante n° 39 elementi in VTR lungo la corona di terreno al perimetro della sezione di scavo e nella zona sotto al piede delle centine, con le seguenti caratteristiche:

- tubi Ø 60/40mm ad aderenza migliorata
- lunghezza minima 24.0 m
- sovrapposizione ≥ 12.0 m
- Perforazione Ø ≥ 140 mm.

Esecuzione scavo

Esecuzione dello scavo di avanzamento a piena sezione per singoli sfondi di 1 m.

Posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di prima fase costituito da n. 2 centine metalliche accoppiate IPE 160 passo 1 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 25 cm, additivato con 5 kg/mc di fibre di poliestere.

Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

Impermeabilizzazione

Per tale fase esecutiva vedi paragrafo precedente.

Getto arco rovescio

Il getto dell'arco rovescio, armato, deve avvenire entro una distanza massima pari a 0.5 - 1 diametri e comunque in funzione del comportamento tenso-deformativo del cavo e del fronte. Si prevede uno spessore pari a 80 cm.

Getto rivestimento definitivo di calotta

Il getto del rivestimento definito di calotta sarà da eseguire ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento monitorato e comunque non dovrà essere maggiore di 2 diametri. Il rivestimento definitivo avrà uno spessore in calotta di 60 cm.

Armatura del rivestimento definitivo

Si prevede di armare l'arco rovescio, le murette e la calotta.

2.7 Sezione tipo C2P

Lo scavo a piena sezione avverrà per sfondi da 1 m e campi di consolidamento della lunghezza di 12 m.

In particolare i dispositivi di sostegno provvisorio dello scavo saranno costituiti da:

- betoncino proiettato rinforzato con fibre in poliestere nella misura di 5 kg al mc, di spessore 25 cm,
- centina metallica costituita da 2 IPE 220 accoppiate, passo 1.0 m.

Il rivestimento definitivo sarà costituito da calcestruzzo armato di spessore 80 cm in arco rovescio e 60 cm in calotta, con getto della calotta e dell'arco rovescio alla distanza massima di 0.5 - 1 diametri e 2 diametri dal fronte rispettivamente, dopo la messa in opera di impermeabilizzazione continua con tessuto non tessuto e manto in PVC.

Esecuzione degli eventuali drenaggi in avanzamento

L'esecuzione di drenaggi in avanzamento al contorno della sezione è da prevedersi in caso di presenza d'acqua osservata durante gli scavi. In tal caso si prevede la realizzazione di n° 6 drenaggi costituiti da tubi in PVC, di lunghezza pari a 36 m, microfessurati per 24 m a partire dal fondo foro e ciechi per 8 m verso bocca foro, del diametro $\varnothing = 60$ mm spessore ≥ 4 mm e protezione con tessuto non tessuto, messi in opera all'interno di un foro con diametro $\varnothing = 100$ mm, con sovrapposizione di 24 m con i successivi. Il tratto cieco deve essere reso solidale al foro mediante iniezioni di miscele cementizie; un sacco otturatore o altro sistema analogo dovrà essere posto all'estremità superiore. La posizione e l'inclinazione saranno definite in dettaglio in corso d'opera in funzione della situazione effettivamente riscontrata.

Esecuzione strato spritz-beton sul fronte

Prima di iniziare i consolidamenti sul fronte sarà realizzato su di esso uno strato di spritz-beton fibrorinforzato con poliestere dello spessore di 10 cm.

Esecuzione del preconsolidamento del fronte

Dal fronte di scavo si realizza il consolidamento del nucleo di terreno ancora da scavare mediante la posa in opera di n° 45 elementi strutturali in vetroresina cementati con le seguenti caratteristiche:

- tubi $\varnothing 60/40$ mm ad aderenza migliorata,
- lunghezza minima 24.0 m
- sovrapposizione ≥ 12.0 m
- Perforazione $\varnothing \geq 140$ mm;

Esecuzione del preconsolidamento al contorno

Gli interventi di preconsolidamento consistono nella realizzazione di una coronella di terreno consolidato mediante n° 45 elementi in VTR lungo la corona di terreno al perimetro della sezione di scavo e nella zona sotto al piede delle centine, con le seguenti caratteristiche:

- tubi Ø 60/40mm ad aderenza migliorata
- lunghezza minima 24.0 m
- sovrapposizione \geq 12.0 m
- Perforazione Ø \geq 140mm.

Esecuzione scavo

Esecuzione dello scavo di avanzamento a piena sezione per singoli sfondi di 1 m.

Posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di prima fase costituito da n. 2 centine metalliche accoppiate IPE 220 passo 1 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 25 cm, additivato con 5 kg/mc di fibre di poliestere.

Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

Le centine prevedono la predisposizione per l'eventuale presenza di un puntone orizzontale costituito dagli stessi profili metallici

Impermeabilizzazione

Per tale fase esecutiva vedi paragrafo precedente.

Getto arco rovescio

Il getto dell'arco rovescio, armato, deve avvenire entro una distanza massima pari a 0.5 - 1 diametri e comunque in funzione del comportamento tenso-deformativo del cavo e del fronte. Si prevede uno spessore pari a 80 cm.

Getto rivestimento definitivo di calotta

Il getto del rivestimento definito di calotta sarà da eseguire ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento monitorato e comunque non dovrà essere maggiore di 2 diametri. Il rivestimento definitivo avrà uno spessore in calotta di 60 cm.

Armatura del rivestimento definitivo

Si prevede di armare l'arco rovescio, le murette e la calotta.

2.8 Sezione tipo C2VP

Lo scavo a piena sezione avverrà per sfondi da 1 m e campi di consolidamento della lunghezza di 12 m.

In particolare i dispositivi di sostegno provvisorio dello scavo saranno costituiti da:

- betoncino proiettato rinforzato con fibre in poliestere nella misura di 5 kg al mc, di spessore 25 cm,
- centina metallica costituita da 2 IPE 220 accoppiate, passo 1.0 m.

Il rivestimento definitivo sarà costituito da calcestruzzo armato di spessore 80 cm in arco rovescio e 60 cm in calotta, con getto della calotta e dell'arco rovescio alla distanza massima di 0.5 - 1 diametri e 2 diametri dal fronte rispettivamente, dopo la messa in opera di impermeabilizzazione continua con tessuto non tessuto e manto in PVC.

Esecuzione degli eventuali drenaggi in avanzamento

L'esecuzione di drenaggi in avanzamento al contorno della sezione è da prevedersi in caso di presenza d'acqua osservata durante gli scavi. In tal caso si prevede la realizzazione di n° 6 drenaggi costituiti da tubi in PVC, di lunghezza pari a 36 m, microfessurati per 24 m a partire dal fondo foro e ciechi per 8 m verso bocca foro, del diametro $\varnothing = 60$ mm spessore ≥ 4 mm e protezione con tessuto non tessuto, messi in opera all'interno di un foro con diametro $\varnothing = 100$ mm, con sovrapposizione di 24 m con i successivi. Il tratto cieco deve essere reso solidale al foro mediante iniezioni di miscele cementizie; un sacco otturatore o altro sistema analogo dovrà essere posto all'estremità superiore. La posizione e l'inclinazione saranno definite in dettaglio in corso d'opera in funzione della situazione effettivamente riscontrata.

Esecuzione strato spritz-beton sul fronte

Prima di iniziare i consolidamenti sul fronte sarà realizzato su di esso uno strato di spritz-beton fibrorinforzato con poliestere dello spessore di 10 cm.

Esecuzione del preconsolidamento del fronte

Dal fronte di scavo si realizza il consolidamento del nucleo di terreno ancora da scavare mediante la posa in opera di n° 45 elementi strutturali in vetroresina cementati con le seguenti caratteristiche:

- tubi $\varnothing 60/40$ mm ad aderenza migliorata,
- lunghezza minima 24.0 m
- sovrapposizione ≥ 12.0 m
- Perforazione $\varnothing \geq 140$ mm;

Esecuzione del preconsolidamento al contorno

Gli interventi di preconsolidamento consistono nella realizzazione di una coronella di terreno consolidato mediante n° 49 elementi in VTR lungo la corona di terreno al perimetro della sezione di scavo e nella zona sotto al piede delle centine, con le seguenti caratteristiche:

- tubi Ø 60/40mm ad aderenza migliorata
- lunghezza minima 24.0 m
- sovrapposizione ≥ 12.0 m
- Perforazione Ø ≥ 140 mm.

Vengono effettuato al contorno un intervento di consolidamento con ombrello di micropali metallici in avanzamento con le seguenti caratteristiche:

- Tubi metallici Ø 114.3 mm, sp.8mm
- lunghezza minima 15.0 m
- sovrapposizione ≥ 9.0 m
- Perforazione Ø ≥ 140 mm.

Esecuzione scavo

Esecuzione dello scavo di avanzamento a piena sezione per singoli sfondi di 1 m.

Posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di prima fase costituito da n. 2 centine metalliche accoppiate IPE 220 passo 1 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 25 cm, additivato con 5 kg/mc di fibre di poliestere.

Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

Le centine prevedono la predisposizione per la presenza di un puntone orizzontale costituito dagli stessi profili metallici.

Impermeabilizzazione

Per tale fase esecutiva vedi paragrafo precedente.

Getto arco rovescio

Il getto dell'arco rovescio, armato, deve avvenire entro una distanza massima pari a 0.5 - 1 diametri e comunque in funzione del comportamento tenso-deformativo del cavo e del fronte. Si prevede uno spessore pari a 80 cm.

Getto rivestimento definitivo di calotta

Il getto del rivestimento definito di calotta sarà da eseguire ad una distanza dal fronte regolata in funzione del comportamento monitorato e comunque non dovrà essere maggiore di 2 diametri. Il rivestimento definitivo avrà uno spessore in calotta di 60 cm.

Armatura del rivestimento definitivo

Si prevede di armare l'arco rovescio, le murette e la calotta.

3. PARAMETRI E COMPORTAMENTO DEFORMATIVO

La caratterizzazione geomeccanica ed i parametri di riferimento sono riportati nella relazione dedicata ([17]) a cui si rimanda per l'inquadramento geologico /geomeccanico e per la procedura di selezione dei parametri base. In questa sede sono riportati i parametri di riferimento associata alle diverse sezioni tipo previste lungo il tratto di completamento della galleria naturale (escluse le zone di ripartenza dai fronti attuali).

La variazione di riferisce principalmente alla resistenza a compressione monoassiale e al modulo della roccia intatta, in quanto gli altri parametri di base sono stati ritenuti essere soggetti a variazioni maggiormente contenute.

SEZION E TIPO DI SCAVO	Peso specifico	Resist. a compr. monoass iale	Modulo della roccia intatta	Geologic al strength index	Modulo d'ammas so	Rock mass uniaxial strength	Coesione	Angolo d'attrito
[-]	γ [kN/m ³]	σ_{ci} [MPa]	E_i [MPa]	GSI [-]	E_m [MPa]	σ_{Cm1} [MPa]	c [kPa]	ϕ [°]
B2/B2c	23.0	70.0	15000	35.0	857	0.80	220	40
C2/C2c	23.0	60.0	13000	35.0	743	0.69	205	39
C2P1/C2 Pc	23.0	15.0	4000	35.0	229	0.17	105	28

Tabella 4: Sezioni tipo di avanzamento – Parametri di resistenza e deformabilità associati alle vare sezioni

4. CRITERI DI APPLICAZIONE

4.1 Premesse generali

Il quadro geologico-geotecnico e la previsione del comportamento deformativo del fronte e del cavo permetteranno, nel corso degli avanzamenti, di disporre di criteri progettuali per l'applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità degli interventi previsti. La raccolta sistematica delle condizioni geologiche-geotecniche in fase di avanzamento (mediante la redazione dei rilievi del fronte di scavo) e l'analisi del comportamento deformativo del cavo (mediante le misure di convergenza ed eventualmente le letture di subsidenza al piano campagna), permetteranno il confronto delle evidenze in corso d'opera con le previsioni progettuali, la calibrazione degli interventi da adottare e la successione delle fasi esecutive.

La previsione del comportamento deformativo del fronte e del cavo è descritta nella relazione di calcolo della galleria. Da questa relazione sono stati estratti i principali valori di convergenze attese per ciascuna delle diverse sezioni tipo, come riportato nel precedente capitolo; sulla base di tali valori, nel corso degli avanzamenti sarà possibile l'applicazione delle presenti linee guida con riferimento alle seguenti cinque condizioni:

1. se i valori di estrusione e di convergenza misurati risultano coerenti con quanto ipotizzato dalle previsioni progettuali, si procede con la sezione tipo indicata per la tratta in esame, con riferimento alla condizione "media" degli interventi di progetto;
2. se i valori di estrusione e di convergenza misurati risultano minori di quelli attesi, si procede nell'ambito delle variabilità previste dal progetto per la sezione tipo indicata nella tratta in esame, con variazione verso la condizione "minima" degli interventi progettuali previsti, fino al raggiungimento dei valori tenso-deformativi di riferimento;
3. se i valori di estrusione e di convergenza misurati risultano maggiori di quelli attesi, si procede nell'ambito delle variabilità previste dal progetto per la sezione tipo indicata nella tratta in esame, con variazione verso la condizione "massima" degli interventi progettuali previsti, fino al raggiungimento dei valori tenso-deformativi di riferimento;
4. se l'appesantimento degli interventi non risulta sufficiente a normalizzare i valori di convergenza ed estrusione, rispetto ai limiti previsti per la sezione tipo indicata nella tratta in esame, si procederà all'applicazione di una differente sezione tipo scelta tra quelle più conservative previste per lo scavo della galleria in oggetto;
5. se anche a seguito della modifica della sezione tipo si raggiungono i limiti superiori previsti per le deformazioni (soglia di allarme) sarà necessaria una nuova valutazione delle condizioni geomeccaniche e di avanzamento. L'approccio proposto permette dunque di definire la strategia di variazione delle caratteristiche delle sezioni di avanzamento, in funzione di quanto osservato durante le lavorazioni.

La variazione all'interno della medesima sezione tipo, degli interventi di consolidamento e confinamento, dovrà considerare la tendenza di comportamento della cavità.

Generalmente l'analisi sarà condotta per due campi di avanzamento al fine di confermare la validità delle osservazioni effettuate conducendo a variazioni nel terzo campo. L'approccio progettuale identifica questo processo come articolato nelle seguenti fasi:

campo 1: fase di raccolta dati;

campo 2: fase di controllo e verifica di quanto rilevato nel campo precedente;

campo 3: fase di intervento.

Accanto all'analisi del comportamento deformativo, un ruolo fondamentale è rappresentato dalla raccolta dei dati geomeccanici al fronte tramite l'esecuzione sistematica di rilievi geologico-strutturali del fronte di scavo.

L'analisi congiunta di tali dati guiderà la scelta in merito alla messa in opera degli interventi sostegno, presostegno e/o preconsolidamento.

Di seguito si riportano i criteri di applicazione per le sezioni tipo.

4.2 Indicazioni specifiche

La previsione del comportamento deformativo del fronte di scavo e l'analisi di dettaglio del comportamento del cavo, condotta nel presente progetto esecutivo, permetterà, sulla base dei rilievi e delle osservazioni condotte nel corso degli avanzamenti, l'adozione della presente sezione con riferimento ai seguenti casi:

- se le condizioni geomeccaniche al fronte e/o i valori di convergenza risultano coerenti con quanto previsto si procede con la sezione tipo prevista. Il monitoraggio della convergenza del cavo consentirà inoltre di definire nel dettaglio le distanze dal fronte per il getto dei diversi elementi strutturali definitivi (arco rovescio, murette e calotta). Nel caso in cui le convergenze del cavo risultino inferiori delle previsioni di progetto, potranno essere adottate le massime distanze previste dal fronte di scavo per il getto dell'arco rovescio e della calotta; per quest'ultima, in caso di convergenze trascurabili sia nel valore che nel gradiente, potranno essere adottate distanze ancora maggiori, in funzione delle esigenze operative. Prima dell'esecuzione dei getti si dovrà comunque verificare che l'evoluzione nel tempo delle convergenze sia stabilizzata su gradienti trascurabili, per consentire una adeguata maturazione dei getti stessi e uno sviluppo delle resistenze conforme ai requisiti richiesti dal Progetto.
- se le condizioni geomeccaniche al fronte risultano peggiori di quelle attese (maggiore grado di fratturazione) e/o i valori di convergenza risultano maggiori di quelli attesi, si procederà per passi e controlli successivi, dapprima con la riduzione del passo delle centine, successivamente con l'aumento del numero dei consolidamenti al fronte e infine, qualora necessario, con l'adozione della sezione tipo successiva tra quelle presenti nel progetto.

SEZIONE TIPO DI SCAVO	Variabilità passo centine	Variabilità interventi al contorno	Variabilità interventi al fronte
[-]	interasse	N° di VTR	N° di VTR
B2/B2c	± 20cm	± 20%	± 20%
C2/C2c	± 20cm	± 20%	± 20%
C2P1/C2Pc	± 20cm	± 20%	± 20%

Tabella 5: Sezioni tipo di avanzamento – Variabilità degli interventi