

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI
PROGETTO DEFINITIVO**

**INTERCONNESSIONE DI NOVI LIGURE ALTERNATIVA ALLO SHUNT
GALLERIA NATURALE BINARIO DISPARI
Relazione tecnica e linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo**

| | |
|---|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR | DIRETTORE DEI LAVORI |
| Consorzio Cociv Ing. E. Pagani | |

| | | | | | | | |
|----------|-------|------|------|-----------|------------------|--------|------|
| COMMESSA | LOTTO | FASE | ENTE | TIPO DOC. | OPERA/DISCIPLINA | PROGR. | REV. |
| A 3 0 1 | 0 X | D | C V | C L | G N V B 0 X | 0 0 1 | C |

Progettazione :

| Rev | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Progettista Integratore | Data | IL PROGETTISTA |
|-----|---------------------------|--------------|------------|--------------|------------|-------------------------|------------|---|
| A00 | Emissione | Rocksoil | 25/08/2014 | Rocksoil | 27/08/2014 | A. Palomba | 29/08/2014 | Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R |
| B01 | Revisione generale | Rocksoil | 20/04/2015 | Rocksoil | 22/04/2015 | A. Palomba | 24/04/2015 | |
| C00 | Revisione per istruttoria | Rocksoil | 28/07/2015 | Rocksoil | 28/07/2015 | A. Mancarella | 28/07/2015 | |

n. Elab.:

File: A3010XDCVCLGNVBOX001C00

CUP: F81H9200000008

| | | |
|---|--|---------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | |
| | <p>A3010XDCVCLGNVB0X001C00</p> | <p>Foglio 3 di 35</p> |

INDICE

| | | |
|---|--|----|
| INDICE..... | | 3 |
| 1. INTRODUZIONE..... | | 5 |
| 2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI..... | | 6 |
| 3. MATERIALI IMPIEGATI..... | | 9 |
| 3.1 Gallerie naturali..... | | 9 |
| 4. PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI E CRITERI DI CALCOLO | | 12 |
| 4.1 Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo | | 13 |
| 5. LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO | | 15 |
| 5.1 Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso | | 17 |
| 5.2 Risposta deformativa del fronte e del cavo..... | | 19 |
| 5.3 Fasi esecutive e cadenze di avanzamento | | 20 |
| 5.4 Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità | | 20 |
| 6. DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO E DELLE FASI COSTRUTTIVE 23 | | |
| 6.1 Sezione tipo B2i / B2i con puntone | | 23 |
| 6.2 Sezione tipo C2i / C2i con puntone..... | | 26 |
| 7. ANALISI DEL RISCHIO | | 30 |
| 7.1 Analisi dei rischi lungo il tracciato della Galleria | | 31 |
| 7.2 Soglie di attenzione e allarme | | 31 |
| 7.2.1 Sezione tipo B2i | | 32 |
| 7.2.2 Sezione tipo C2i | | 33 |
| 7.2.3 Messa in opera del puntone in arco rovescio | | 34 |

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



A3010XDCVCLGNVB0X001C00

Foglio
4 di 35

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 |
| | Foglio 5 di 35 |

1. INTRODUZIONE

Finalità della presente Relazione è fornire i chiarimenti atti a dimostrare la rispondenza del progetto alle finalità dell'intervento e fornire indicazioni circa l'applicazione delle sezioni tipo previste nel calcolo.

A tale scopo verrà fornito un inquadramento delle opere nel contesto territoriale ed una descrizione delle stesse, i dati ed i requisiti di base nel rispetto dei quali è stata sviluppata la progettazione, le caratteristiche prestazionali e descrittive dei materiali prescelti, le ipotesi progettuali adottate per il suo dimensionamento e le principali caratteristiche geometriche e dimensionali. Verranno inoltre dettagliati i criteri di scelta che il progettista adotterà in corso d'opera per l'applicazione e la gestione delle sezioni tipo previste in sede di progettazione esecutiva.

La relazione è articolata nei seguenti punti principali:

- Individuazione del comportamento allo scavo e criteri di calcolo: il lavoro riassume la metodologia di calcolo utilizzata e la filosofia di dimensionamento degli interventi di consolidamento e sostegno;
- Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo: verranno fornite indicazioni circa l'applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità previste, la tecnica di scavo adottata e criteri di scelta, le fasi costruttive e i criteri di calcolo;

Per quanto riguarda l'inquadramento geologico, geotecnico ed idrogeologico dell'opera si rimanda alla relazione di calcolo e alla relazione geotecnica generale.

| | | |
|--|--|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 | Foglio 6 di 35 |

2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

Per il calcolo e per le verifiche delle opere strutturali si è fatto riferimento alle seguenti norme:

- Legge 5/11/1971 n. 1086

Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge n° 64 del 2 febbraio 1974

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 11951 del 14/2/1974

Legge 5 novembre 1971, n. 1086. Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica. Istruzioni per l'applicazione.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 20049 del 9/1/1980

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Istruzioni relative ai controlli sul conglomerato cementizio adoperato per le strutture in cemento armato.

- Istruzioni C.N.R. 10012-81

Azioni sulle costruzioni.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/3/1988

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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 30483 del 24/9/1988

Legge 2 febbraio 1974 art. 1-D.M. 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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.

- Nota Ministero Lavori Pubblici n. 183 del 13/4/1989

D.M. 11.3.88. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, la progettazione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 14/02/1992

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24/06/1993 n. 406/STC

| | | |
|--|--|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 | Foglio 7 di 35 |

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 14/02/1992.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 9/01/1996

Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996

Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 15/10/1996 n. 252

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 9/01/96.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 4/07/1996 n. 156AA.GG/STC

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 10/04/1997 n. 65/AA./GG.

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D. M. 16/01/96.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 5/08/1999

Modificazioni al decreto ministeriale 9 gennaio 1996 contenente norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.P.R. 6 Giugno 2001, n°380

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia edilizia

| | | |
|--|--|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 | Foglio 8 di 35 |

RACCOMANDAZIONI

- Eurocodice 1 UNI-EN-1991

Criteri generali di progettazione strutturale

- Eurocodice 2 UNI-EN-1992

Progettazione delle strutture in calcestruzzo

- Eurocodice 3 UNI-EN-1993

Progettazione delle strutture in acciaio

- Eurocodice 4 UNI-EN-1994

Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo

- Eurocodice 7 UNI-EN-1997

Progettazione Geotecnica

- Eurocodice 8 UNI-EN-1998

Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

| | | |
|--|--|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 | Foglio 9 di 35 |

3. MATERIALI IMPIEGATI

3.1 Gallerie naturali

Consolidamenti e rivestimenti provvisori

| | |
|--|---|
| Spritz beton fibrorinforzato | <ul style="list-style-type: none"> - Resistenza media su carote $h/\phi = 1$ a 48 ore ≥ 13 MPa, a 28 gg ≥ 25 - dosaggio per fibre in acciaio ≥ 30 kg/m³ |
| Acciaio per centine, piastre e collegamenti: | S275 |
| Acciaio per catene | S275 |
| Acciaio per armatura e rete elettrosaldata: | B450 C |
| Drenaggi | Tubi microfessurati in PVC <ul style="list-style-type: none"> - $\phi_{est} > 60$ mm, sp. 5 mm - Resistenza alla trazione 4.5 MPa, perforo 80 mm rivestiti con TNT - I primi 10m da boccaforo devono essere ciechi |
| Impermeabilizzazione in PVC | <ul style="list-style-type: none"> - teli sp. 2+/-0.5 mm, - Resistenza a trazione ≥ 15 MPa - Allungamento a rottura $\geq 250\%$ - Resistenza alla lacerazione ≥ 100N/mm - Resistenza alla giunzione ≥ 10.5 MPa - Stabilità al calore = 70°C - Flessibilità a freddo = -30°C - Resistenza alle soluzioni acide alcaline = +/-20% max allungamento - Comportamento al fuoco B2 - Resistenza alla pressione dell'acqua a 1 MPa per 10 ore : impermeabile |

| | |
|--|--|
| <p>Tubi in VTR (caratteristiche del composito)</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Diametro esterno = 60 mm ad aderenza migliorata - Diametro di perforazione = 100-120 mm - Spessore medio = 10 mm - Densità ≥ 1.8 t/mc - Res. a trazione ≥ 600 MPa - Res. a taglio ≥ 100 MPa - Modulo elastico ≥ 30000 MPa - Contenuto in vetro ≥ 50 % - Resistenza a flessione ≥ 600 MPa - Resistenza allo scoppio ≥ 8 MPa - Perforazione eseguita a secco |
| <p>Miscele cementizie per cementazione a bassa pressione</p> | <p>Cemento 42.5R</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rapporto a/c = 0.5-0.7 - Fluidificante = 4 % di peso sul cemento - Resistenza a compressione a 48 ore > 5 MPa |
| <p>Iniezioni di guaina</p> | <p>Cemento R32.5 – R42.5</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rapporto a/c $\approx 1.5-2$ - Bentonite $\approx 5-8$ % sul peso di cemento - Densità ≈ 1.3 t/m³ - Rendimento volumetrico ≥ 95 % - Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 30-35 sec. |
| <p>Iniezione di consolidamento</p> | <p>Cemento R42.5</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cemento a finezza di macinazione non inferiore a 4500 cm/g Blaine - Rapporto a/c $\approx 0.4-0.7$ - Bentonite < 2 % - Additivo fluidificante (Flowcable o simili) ≈ 4 % di peso del cemento - Viscosità Marsh (ugello 4.7 mm) 35-45 sec. - Densità ≈ 1.8 t/m³ - Rendimento volumetrico > 95 % |

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 Foglio 11 di 35 |

| | |
|--|--|
| Parametri minimi del terreno consolidato | <ul style="list-style-type: none"> - Resistenza a compressione 48h > 1.0 MPa - Resistenza a compressione 7gg > 1.5 MPa - R.Q.D. 48h > 50% - R.Q.D. 7gg > 70% |
|--|--|

Rivestimenti definitivi

| | |
|--|---------------------------------|
| Acciaio per armatura: | B450 C |
| Calcestruzzo strutturale calotta e piedritti | C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S4 |
| Calcestruzzo strutturale arco rovescio | C25/30, Tipo CEM III-V, XC2, S3 |
| Magrone di pulizia di sottofondo | Rm ≥ 15 MPa, Tipo CEM I-V |

Per le sezioni non armate la classe di esposizione del calcestruzzo è X0.

| | | |
|--|--|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 | Foglio 12 di 35 |

4. PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI E CRITERI DI CALCOLO

L'apertura di una cavità in un materiale caratterizzato da un campo di tensioni naturali preesistente indisturbato, dovuto essenzialmente a carichi litostatici e a sforzi tettonici, porta ad una generale ridistribuzione degli sforzi, sia in direzione trasversale che longitudinale, con conseguente incremento delle tensioni al contorno della galleria e già oltre il fronte di scavo.

Si genera così un nuovo campo tensionale che tende a far evolvere l'ammasso intorno al cavo verso una nuova situazione di equilibrio diversa da quella naturale, dando luogo a fenomeni deformativi.

Sulla base delle conoscenze dei terreni interessati dalle gallerie, è possibile, elaborando anche le esperienze maturate in lavori analoghi, svolgere delle previsioni sul comportamento dei terreni allo scavo, necessarie alla definizione degli interventi di stabilizzazione e degli schemi di avanzamento.

Queste previsioni sono strettamente connesse con lo studio dello stato tenso-deformativo instauratosi nell'ammasso al contorno della galleria e indotto dalle operazioni di scavo.

La previsione delle modalità di avanzamento in sotterraneo è stata principalmente condotta secondo l'approccio del "Metodo per l'Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e nei Suoli (ADECO-RS)". Sulla base dei dati raccolti in fase di studio geologico e di caratterizzazione geomeccanica degli ammassi da attraversare, sono state effettuate le previsioni di comportamento tenso-deformativo della galleria in assenza di interventi, ed in particolare modo la previsione sul "comportamento deformativo del fronte di scavo", il quale riveste notevole importanza nella definizione delle condizioni di stabilità, a breve e lungo termine, e degli interventi più idonei per garantirle. Il comportamento del fronte è principalmente condizionato da:

- le caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso connesse con le varie strutture geologiche che interessano le gallerie;
- il comportamento del materiale nel breve e lungo termine: rigonfiamento, squeezing, fluage e rilasci tensionali;
- i carichi litostatici corrispondenti alle coperture in gioco;
- la forma e le dimensioni della sezione di scavo;
- lo schema di avanzamento e la tipologia dello scavo.

Il comportamento del fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente di tre tipi: "stabile", "stabile a breve termine" e "instabile", come di seguito brevemente illustrato.

Gallerie a fronte stabile (CASO A)

In presenza di fronte di scavo stabile lo stato tensionale al contorno della cavità in prossimità del fronte si mantiene in campo prevalentemente elastico e i fenomeni deformativi osservabili sono di

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 |
| | Foglio 13 di 35 |

piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile (rimanendo prevalentemente in campo elastico) e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento. Saranno sufficienti, nel breve termine, interventi di confinamento delle pareti di scavo, e nel lungo termine, la realizzazione del rivestimento definitivo.

Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B)

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera le caratteristiche di resistenza meccanica del materiale al fronte, che assume un comportamento di tipo elasto-plastico. I fenomeni deformativi connessi con tale redistribuzione delle tensioni sono più accentuati che nel caso precedente e producono nell'ammasso roccioso al fronte una decompressione che porta ad una riduzione della resistenza interna. Questa decompressione deve essere opportunamente regimata, nel breve termine, mediante adeguati interventi di preconsolidamento al fronte (e talora al contorno del cavo), in grado di contenere l'ammasso e condurlo verso condizioni di stabilità; diversamente lo stato tenso-deformativo può evolvere verso condizioni di instabilità del cavo. Il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

Gallerie a fronte instabile (CASO C)

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi nel campo plastico, che risultano immediati, più rilevanti e si manifestano prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Di conseguenza tali deformazioni producono una decompressione più spinta nell'ammasso roccioso al fronte e portano ad un decadimento rapido e progressivo delle caratteristiche meccaniche d'ammasso. Questo tipo di decompressione più accentuata deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento che consentiranno di creare artificialmente l'effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile nel breve termine e, con l'aggiunta del rivestimento definitivo, anche nel lungo termine.

4.1 Calcolo e determinazione delle categorie di comportamento allo scavo

Nella Relazione di Calcolo relativa alla galleria in oggetto è stato determinato il comportamento dell'ammasso allo scavo per le suddivisioni operate sui litotipi precedentemente esaminati, considerando un unico ricoprimento e la variabilità della sezione di scavo.

Nella fase di diagnosi, sulla base degli elementi raccolti nella fase conoscitiva, vengono sviluppate le previsioni sul comportamento deformativo del fronte e del cavo in assenza di interventi, al fine di giungere all'individuazione di tratte a comportamento omogeneo, suddivise nelle tre categorie di comportamento precedentemente descritte.

In fase di terapia, in cui sono stati definiti gli interventi necessari per l'avanzamento nelle diverse classi di comportamento, ad una stessa classe di comportamento possono corrispondere diverse sezioni tipo, adeguate alle caratteristiche geologiche e fisiche di ogni formazione.

| | | |
|---|--|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  | |
| | <p>A3010XDCVCLGNVB0X001C00</p> | <p>Foglio 14 di 35</p> |

Gli strumenti numerici adottati per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo sono stati:

- Analisi di stabilità del fronte (metodi di analisi empirici in forma chiusa);
- Analisi agli elementi finiti 2D

Si rimanda alla Relazione di Calcolo per la completa definizione delle fasi di diagnosi e terapia e per i risultati in termini numerici delle analisi effettuate per l'opera in esame.

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 Foglio 15 di 35 |

5. LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO

Come illustrato nei precedenti capitoli, il progetto delle gallerie naturali, è stato sviluppato attraverso:

- la caratterizzazione degli ammassi presenti lungo il tracciato, per mezzo dell'individuazione delle caratteristiche geologiche, litologiche, idrogeologiche e geomeccaniche (fase conoscitiva);
- la previsione di comportamento dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi e la suddivisione del tracciato in sotterraneo in tratte a comportamento geomeccanico omogeneo in funzione dello stato tensionale agente e delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso (fase di diagnosi);
- l'individuazione delle sezioni tipo prevalenti (quelle che appaiono in percentuale maggiore sui profili geomeccanici delle gallerie naturali) in ogni tratta definita omogenea ed eventualmente anche di altre sezioni subordinate alle precedenti e previste lungo la tratta per situazioni differenti dalle precedenti: zone di faglia, zone di intensa fratturazione, elevata variabilità dei parametri geomeccanici, tratte a bassa copertura, morfologie particolari, condizioni idrogeologiche particolarmente critiche, possibili interferenze con le preesistenze di superficie (fase di terapia).

Le sezioni tipo prevalenti sono state verificate staticamente in varie condizioni tensionali e considerando parametri geomeccanici rappresentativi all'interno del "range" di valori indicati sui profili geologico-tecnici e geomeccanici per la tratta in esame. Da qui si è potuto dedurre, nell'ambito della sezione tipo prevista, l'applicazione delle variabilità previste per la sezione tipo stessa.

Come previsto dal progetto, le gallerie sono classificate in funzione del comportamento del cavo, con riferimento anche al fronte di scavo, distinguendo tre casi (categorie di comportamento):

- caso A, galleria a fronte e cavità stabili, caratterizzata da fenomeni deformativi che evolvono in campo elastico, immediati e di entità trascurabile;
- caso B, galleria a fronte stabile a breve termine e cavità instabile, caratterizzata da fenomeni di tipo elastico presso il fronte di scavo, che evolvono in campo elasto-plastico con l'avanzamento del fronte;
- caso C, galleria a fronte e cavità instabili, caratterizzata da fenomeni deformativi di tipo plastico fino al collasso che coinvolgono anche il fronte di scavo.

Con le presenti "linee guida" s'intende creare uno strumento che definisce quali saranno i criteri che il progettista adotterà in corso d'opera per:

| | |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |
| | <p>A3010XDCVCLGNVB0X001C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 16 di 35</p> |

1. confermare la sezione tipo più adeguata, tra quelle già previste in una determinata tratta e riportate in chiaro sugli elaborati “profili geomeccanici”;
2. variare quegli interventi che, senza alterare strutturalmente le caratteristiche finali dell’opera, devono adeguarsi alle reali condizioni geomeccaniche riscontrate al fronte di avanzamento nonché al comportamento estrusivo del fronte stesso e deformativo del cavo (questi ultimi come noto sono dipendenti sia dalla natura dell’ammasso in termini geologici, geomeccanici ed idrogeologici, sia dagli stati tensionali preesistenti, così come da quelli conseguenti alle operazioni di scavo);
3. individuare una diversa sezione tipo, tra quelle previste in quella tratta o comunque previste in progetto nella stessa formazione, qualora le condizioni realmente riscontrate risultino difformi da quelle ipotizzate.

Per la gestione di tali “linee guida” sarà necessaria la conoscenza dei seguenti elementi e la messa in atto delle seguenti attività sistematiche:

- formazione geologica e coperture in esame;
- raccolta dei dati geologici e geomeccanici rilevabili al fronte che consentono una completa caratterizzazione dell’ammasso in esame evidenziandone l’intrinseca complessità caratteristica delle formazioni. Oltre i parametri di resistenza e deformabilità tale caratterizzazione deve inoltre contenere le informazioni geostrutturali e di carattere qualitativo che risultino essere necessarie a completare la descrizione ai fini progettuali e a comprendere il reale comportamento dell’ammasso allo scavo;
- raccolta dei dati riguardanti le deformazioni superficiali e profonde del fronte (estrusioni) e al contorno del cavo (convergenze) durante l’avanzamento. Si valuta il comportamento dell’ammasso precedentemente descritto sottoposto ai reali stati tensionali e all’azione combinata delle operazioni di scavo e di messa in opera degli interventi di stabilizzazione previsti dalla sezione tipo adottata;
- registrazione attraverso osservazioni dirette di tutte le reali fasi di avanzamento tra le quali è opportuno evidenziare: distanza dal fronte di messa in opera dei rivestimenti e la successione delle fasi di consolidamento etc...;
- raccolta dei dati relativi a sezioni di monitoraggio esterne (ad esempio nel sottoattraversamento di edifici).

Nelle presenti linee guida sono descritti alcuni parametri essenziali, riscontrabili al fronte, caratterizzanti l’ammasso per i comportamenti A,B,C.

Per ogni sezione tipo sono state definite delle soglie di “attenzione” ed “allarme” inerenti alle deformazioni del fronte e del cavo, a cui far corrispondere quantità maggiori o minori di interventi (previsti variabili) o il cambio di sezione tipo.

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 Foglio 17 di 35 |

E' evidente che tali valori di deformazioni ipotizzati non vanno intesi come l'unica informazione che possa incidere sulle scelte già adottate per una determinata tratta poichè le scelte progettuali sono state fatte tenendo conto di un insieme di elementi, illustrati nello sviluppo di tutto il progetto, più significativi del solo parametro deformativo; codesti valori servono soltanto a fornire indicazioni sul campo dei valori deformativi più probabili per le sezioni già indicate in progetto.

Solo quando saranno osservate situazioni geologiche/geomeccaniche sensibilmente differenti da quelle ipotizzate e deformazioni al di fuori dei campi previsti o non tendenti alla stabilizzazione nel tempo o valori deformativi (entità e/o direzione) anomali, il progettista potrà adottare una sezione diversa da quella prevista, attingendo tra quelle indicate nella tratta in esame sui profili geomeccanici del progetto esecutivo.

Qualora si verifichi il solo superamento della soglia di attenzione, senza il superamento della soglia di allarme, si potranno allora modificare gli interventi di precontenimento e contenimento della sezione tipo prevista in progetto, secondo quanto riportato nella "variabilità sezione tipo" tenendo peraltro conto anche di tutte le altre informazioni derivanti dallo scavo.

La variabilità è anche legata agli stati tensionali, ovvero alle coperture ed alla presenza d'acqua; la stessa sezione tipo, a coperture e/o parametri geomeccanici diversi, potrà avere un'intensità d'interventi di contenimento e pre-contenimento differenziati.

Si sottolinea inoltre che la variabilità risulta anche legata alle misure delle sezioni di monitoraggio esterne, i valori di subsidenza misurati sul piano campagna potranno portare ad una modifica degli interventi di consolidamento.

Qualora il contesto riscontrato non corrisponda a nessuno di quelli ipotizzati nella tratta in esame e di conseguenza nessuna delle sezioni previste può essere applicata, il progettista individuerà attraverso i medesimi strumenti citati precedentemente una diversa sezione tipo tra quelle già presenti nel progetto esecutivo ed applicate in altre gallerie qualora il contesto sia analogo ad altri presenti lungo il tracciato e descritti nei profili geomeccanici del progetto esecutivo.

Il caso in cui la situazione riscontrata sia del tutto imprevista, qualora non vi siano analogie possibili lungo il tracciato e qualora la situazione in analisi esuli dalle presenti linee guida, potranno essere applicate sezioni tipo non previste dal presente progetto la cui tipologia dovrà essere concordata con l'ente appaltante.

5.1 Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso

Gli ammassi rocciosi e i terreni incontrati lungo il tracciato sono descritti sulla base delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche individuate in progetto.

Per comodità di rappresentazione gli ammassi incontrati lungo il tracciato sono raggruppati in "gruppi geomeccanici". Ciò è legato alla variabilità delle caratteristiche di resistenza e deformabilità di alcune formazioni geologiche. Tale variabilità può essere legata alla stessa natura geologica (cicli di deposizione/erosione) alle coperture in esame, alla presenza o meno di acqua, alla vicinanza di altre formazioni geologiche. In linea generale l'ammasso interessato da uno scavo in sotterraneo può comportarsi in modo differente anche alle stesse coperture in esame. Da qui nasce la necessità

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 Foglio 18 di 35 |

di suddividere in gruppi i parametri geotecnici/geomeccanici ove possibile e/o significativo. Ciò consente di ipotizzare un susseguirsi discontinuo di comportamento allo scavo legato ad una serie di fattori difficilmente correlabili tra loro.

A ciascuna formazione sono stati attribuiti, in sede di progetto, campi di variazione dei principali parametri geomeccanici (quali ad es. c' , ϕ' , E'); tali campi tengono conto sia delle diverse configurazioni che una formazione può presentare nell'ambito dello stesso gruppo sia delle diverse coperture in esame.

Tali campi di variazione individuano così una "fascia intrinseca", compresa tra la curva di resistenza inferiore e la curva di resistenza superiore, che definisce univocamente ciascuna porzione di ammasso da un punto di vista geomeccanico.

Nel corso dei lavori gli ammassi rocciosi e i terreni verranno descritti sulla base delle caratteristiche litologiche, geostrutturali, geomeccaniche e idrogeologiche che si evidenziano sul fronte alla scala della galleria attraverso rilievi analitici (prove in situ e/o di laboratorio) e rilievi speditivi.

In riguardo alla parametrizzazione dell'ammasso al fronte, ossia per la definizione della sua curva intrinseca, non si farà ricorso a nessun tipo di classificazione ma a valutazioni dirette attraverso determinazioni sperimentali (prove in situ e/o laboratorio) durante i rilievi analitici.

Tali rilievi vengono condotti secondo le frequenze previste dal programma di monitoraggio tramite l'impiego di un'apposita scheda su cui riportare i dati rilevati e gli indici valutati secondo le prescrizioni ISRM, International Society of Rock Mechanics. In particolare, si distinguono due tipi di rilievi:

- a) rilievi analitici che prevedono la compilazione completa della scheda citata e l'eventuale esecuzione di prove e determinazioni in situ e/o di laboratorio. Tali rilievi sono previsti agli imbocchi, in concomitanza dei passaggi stratigrafici e tettonici significativi e comunque secondo le frequenze indicate dal programma di monitoraggio;
- b) rilievi speditivi che prevedono in particolare il rilievo pittorico del fronte di scavo. Si tratta di un rilievo di tipo qualitativo e di confronto con quello analitico dell'ammasso in esame che consente comunque al progettista di valutarne le caratteristiche principali.

I rilievi che sono svolti in corso d'opera consentono di evidenziare qualitativamente le diverse situazioni in cui una formazione può presentarsi nell'ambito di uno stesso gruppo, definito dalla propria fascia intrinseca, come descritto a titolo esemplificativo nei punti seguenti:

- un ammasso che si presenta detensionato evidenzierà valori dei parametri geomeccanici del relativo gruppo prossimi alla curva intrinseca inferiore;
- un ammasso che al contrario si presenta competente evidenzierà valori dei parametri geomeccanici prossimi alla curva intrinseca superiore;
- la presenza di acqua, anche sotto forma di stillicidi ma soprattutto in presenza di litologie ricche di minerali argillosi, si riscontrano valori dei parametri geomeccanici più prossimi alla curva intrinseca inferiore;

| | | |
|---|---|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 <table border="1" style="float: right;"> <tr> <td>Foglio 19 di 35</td> </tr> </table> | Foglio 19 di 35 |
| Foglio 19 di 35 | | |

- nei terreni eterogenei, il rapporto tra i litotipi più granulari e più fini determina il rapporto tra i valori di angolo d'attrito e coesione, quindi diversi andamenti della curva intrinseca;
- in un ammasso stratificato sollecitato in campo elastico una sfavorevole anisotropia strutturale gioca un ruolo determinante comportando valori dei parametri geomeccanici più prossimi alla curva intrinseca inferiore;
- al contrario in un ammasso stratificato con stati tensionali più elevati che lo sollecitano in campo elasto-plastico, l'effetto di una sfavorevole anisotropia strutturale è inferiore e il comportamento può essere meglio rapportato a un mezzo omogeneo.

5.2 Risposta deformativa del fronte e del cavo

La risposta deformativa del fronte e del cavo rilevabile in corso d'opera, unitamente ai rilievi anzidetti, ha lo scopo di verificare la validità delle sezioni adottate e previste in progetto in termini di:

- tipologia ed intensità degli interventi di 1^a fase
- fasi esecutive e cadenze di avanzamento

Essa dipende dalle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso in rapporto agli stati tensionali indotti all'atto dello scavo; il progetto definitivo fornisce indicazioni sul campo dei valori di convergenza diametrale e di estrusione attesi per ogni sezione tipo.

Tali valori, riferiti al diametro e riportati nel progetto, effettivamente misurabili in corso d'opera sono dati da:

$$\delta = \delta_f - \delta_o$$

dove:

δ_o = deformazione iniziale al fronte e non misurabile in galleria;

δ_f = deformazione finale lontano dal fronte, a distanze tipicamente superiori a $2 \varnothing$ o da definirsi sulla base delle esperienze e dati raccolti.

La frequenza con cui procedere al rilievo della risposta deformativa del fronte e del cavo durante gli avanzamenti è indicata nel progetto del monitoraggio e nei profili geomeccanici.

Nel corso dei lavori il rilievo della risposta deformativa del fronte e del cavo viene condotto utilizzando delle apposite schede all'interno delle quali è possibile leggere la risposta deformativa in funzione della distanza del fronte e dei rivestimenti.

Le risultanze di questi rilievi forniscono la reale risposta deformativa del fronte e del cavo. Tale risposta consente di valutare come quei fattori, difficilmente schematizzabili e prevedibili a priori ma sempre presenti in natura, agiscono sul comportamento del cavo previsto in via teorica nel progetto.

Tali rilievi consentiranno di verificare qualitativamente lo stato tensionale agente sul cavo mediante la ricostruzione della deformata:

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 Foglio 20 di 35 |

- valori delle deformazioni radiali omogenei nei punti rilevati evidenziano uno stato tensionale di tipo isotropo ($K \approx 1$);
- valori delle deformazioni radiali diversi nei punti rilevati evidenziano stati tensionali diversi da quello isotropo ($K \neq 1$), che si verificano in corrispondenza di:
 - a) zone fortemente tettonizzate ed in presenza di lineamenti tettonici per cui gli stati tensionali possono subire forti alterazioni con orientazioni comuni alle azioni tettoniche principali;
 - b) in corrispondenza di zone corticali e/o parietali dove gli stati tensionali sono funzione della morfologia dell'area;
 - c) all'interno di ammassi a struttura caotica, per cui gli stati tensionali possono subire repentine e continue modificazioni in intensità e orientazione;
 - d) qualora il fronte di scavo si presenti "parzializzato" ovvero siano presenti due formazioni di diversa natura e comportamento;
 - e) in presenza di stratificazioni e comunque per coperture confrontabili con il diametro della galleria.

5.3 Fasi esecutive e cadenze di avanzamento

Il progetto definisce per ogni sezione le fasi esecutive e le cadenze di avanzamento, fornendo in particolare le distanze massime dal fronte di avanzamento entro cui porre in opera gli interventi di contenimento di prima e seconda fase (rivestimento di 1a fase, arco rovescio e rivestimento definitivo).

Come accennato, nel corso dei lavori il rilievo delle fasi esecutive e delle cadenze di avanzamento viene condotto secondo particolari schede riportanti ogni dettaglio esecutivo. Tale procedura viene effettuata al fine di correlare l'andamento delle deformazioni con le fasi lavorative.

Le risultanze di tali rilievi hanno lo scopo di fornire gli elementi necessari per valutare l'influenza delle fasi e delle cadenze di avanzamento sulla risposta deformativa del fronte e del cavo descritta nel paragrafo precedente (ad esempio una più efficace regimazione dei fenomeni deformativi può essere ottenuta rinforzando gli interventi di preconsolidamento al fronte o in alcuni casi avvicinando gli interventi di contenimento quali murette e arco rovescio al fronte).

5.4 Procedura di applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità

Il progetto, attraverso la caratterizzazione degli ammassi presenti lungo il tracciato e la successiva fase di previsione di comportamento dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi, ha definito le tratte a comportamento geomeccanico omogeneo attribuendone la relativa categoria di comportamento (A,B,C).

All'interno di ciascuna tratta, in sede di progetto, sono state definite nel profilo geomeccanico le sezioni tipo e le relative percentuali di applicazione in funzione delle caratteristiche geologiche dell'ammasso in esame e del grado di instabilità del fronte di avanzamento.

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 Foglio 21 di 35 |

Una volta verificata la rispondenza con le ipotesi di progetto, riguardo alla situazione geologico-geomeccanica e agli stati tensionali con i criteri descritti nei paragrafi precedenti, si procede alla scelta e all'applicazione della sezione tipo prevista per la tratta in esame.

In conformità con i criteri indicati nei paragrafi precedenti verranno raccolti durante gli avanzamenti i dati riguardo alle condizioni geologiche e geomeccaniche al fronte di avanzamento, la risposta deformativa del fronte e del cavo, le fasi e le cadenze di avanzamento. La loro elaborazione consentirà di confrontare la situazione così riscontrata con quella di progetto e a procedere di conseguenza alla gestione del progetto secondo i punti di seguito indicati.

1. Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevabili al fronte e la risposta deformativa si mantengono all'interno dei valori previsti, si prosegue con l'applicazione della sezione in corso di esecuzione.
2. Se la risposta deformativa manifesta la tendenza al miglioramento o al raggiungimento della soglia di attenzione del campo ipotizzato, tendenza confermata dall'evidenza dei precedenti rilievi geologici/geotecnici/geomeccanici, il progettista definirà se procedere alla modifica della distanza dal fronte entro cui eseguire il getto dell'arco rovescio, delle murette, del rivestimento definitivo e/o alla modifica dell'intensità degli interventi mantenendosi nell'ambito dei range di variabilità previsti per la sezione adottata.
3. Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevate al fronte di avanzamento manifestano un miglioramento, ovvero un peggioramento rispetto al rilievo precedente (pur rimanendo nell'ambito dei parametri caratterizzanti la tratta), il progettista valuta la possibilità di procedere alla modifica dell'intensità degli interventi nell'ambito degli intervalli di variabilità previsti per quella sezione e di seguito descritti, anche con modeste variazioni dei parametri deformativi (ad esempio in categoria di comportamento B0 la struttura dell'ammasso gioca un ruolo determinante ai fini della definizione dell'intensità degli interventi di 1a fase, anche a fronte di deformazioni trascurabili).

I valori e le misure registrate in corso d'opera dovranno essere interpretate globalmente osservando il loro andamento; eventuali oscillazioni anomale delle misure, attribuibili ad un malfunzionamento o ad un incorretto posizionamento dello strumento di misura, dovranno essere escluse.

Nell'ambito di una stessa tratta a comportamento geomeccanico "omogeneo" possono essere presenti diverse sezioni tipo, oltre a quella prevalente la cui percentuale di applicazione è definita in progetto in funzione di:

- caratteristiche geologiche e geostrutturali dell'ammasso,
- caratteristiche geomeccaniche e idrogeologiche dell'ammasso,
- stato tensionale agente,
- possibili disturbi di natura tettonica

| | |
|--|---|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |
| | <p>A3010XDCVCLGNVB0X001C00</p> <p>Foglio 22 di 35</p> |

Quando le situazioni geologiche/geomeccaniche osservate risultano sensibilmente differenti da quelle ipotizzate e le deformazioni sono al di fuori dei campi previsti, si procede al passaggio ad una diversa sezione tipo, tra quelle previste in progetto per quella tratta.

Qualora la situazione riscontrata non corrisponda a nessuna di quelle ipotizzate nella tratta in esame e di conseguenza nessuna delle sezioni tipo previste possa essere adottata, si procederà all'adozione di una diversa sezione tipo, non prevista in quella tratta, ma già prevista in progetto in altre gallerie in contesti analoghi.

Nel passaggio da una sezione ad un'altra con differenti limitazioni esecutive si procederà con l'adeguamento, possibilmente in modo graduale, in modo da evitare la perdita della continuità operativa del cantiere. In questa ottica, nell'ambito del progetto costruttivo si adotteranno quei criteri di flessibilità esecutiva che consentano la massima velocità di avanzamento e quindi tali da ridurre al minimo lo sviluppo reologico temporale del processo di detensionamento e rilassamento dell'ammasso al contorno e sul fronte.

| | | |
|--|--|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 | Foglio 23 di 35 |

6. DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO DI SCAVO E DELLE FASI COSTRUTTIVE

Vengono di seguito descritte le sezioni tipo previste per l'avanzamento degli scavi riferimento alla variabilità media. Per quanto concerne la variabilità di ciascuna sezione tipo, nonché il relativo campo di applicazione, si rimanda ai paragrafi successivi.

Verranno inizialmente presentate tutte le sezioni da impiegarsi.

6.1 Sezione tipo B2i / B2i con puntone

La sezione tipo B2i, eventualmente dotata di puntone, in fase costruttiva è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo \varnothing 60 mm e sp. 5 mm (eventuali) ;
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 40 tubi in VTR, $L \geq 15$ m, sovrapp. ≥ 6 m;
- prerivestimento composto da uno spessore di 25 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine di tipo 2IPN160 con passo $p = 1.20$ m;
- impermeabilizzazione tipo "2";
- rivestimento definitivo in cls avente spessore minimo di 80 cm in arco rovescio e 70 cm in calotta.

Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

In caso di presenza d'acqua dovranno essere eseguiti drenaggi in avanzamento. Si prevede la realizzazione di n° 2+2 drenaggi costituiti da tubi in PVC $L = 30$ m, microfessurati per 20 m a partire da fondo foro e "ciechi" per 10 m verso bocca foro, del diametro $\phi \approx 60$ mm spessore 5mm e protezione in TNT.

Dopo la posa in opera del tubo in PVC, si dovranno adottare opportuni accorgimenti per isolare il tratto microfessurato da quello cieco (sacco otturatore, cementazione), ad evitare dannose percolazioni dell'acqua raccolta in avanzamento all'interno del nucleo consolidato.

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 Foglio 24 di 35 |

FASE 2: esecuzione del preconsolidamento del fronte.

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava con freccia di circa 1.5 m, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa di n° 40 tubi in VTR cementati, aventi lunghezza minima di 15.00 m e sovrapposizione ≥ 6 m. Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldada, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco $\varnothing \geq 100$ mm;
- posa dell'elemento strutturale in VTR, munito dell'opportuna attrezzatura per la cementazione ed esecuzione di cianfrinatura a boccaforo;
- esecuzione della cementazione mediante malte a ritiro controllato ogni 4÷5 fori.

Le sequenze operative andranno adattate alle caratteristiche dell'ammasso ma dovranno comunque essere tali da garantire l'inghisaggio dell'elemento strutturale al terreno mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro.

La fase di cementazione potrà avvenire di massima ogni 4-5 elementi già posati e comunque il prima possibile per evitare possibili franamenti del foro con conseguente perdita di efficacia dell'intervento. Il riempimento del foro avverrà dal fondo verso il paramento del fronte.

FASE 3: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per campi pari a 9 m (preconsolidamento del nucleo $L \geq 15$ m sovrapposizione $s \geq 6$ m), per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.20m, sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo parziale ed eseguendo uno strato di spritz-beton armato di 5cm su ognuno di tali fronti.

FASE 4: posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche di tipo 2IPN160 passo 1.20m e da uno strato di spritz-beton di spessore 25 cm, armato con rete elettrosaldada o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. L'eventuale puntone dovrà essere messo in opera entro $0.5 \varnothing$ dal fronte.

FASE 5: getto arco rovescio e murette

I getti dell'arco rovescio e delle murette dovranno avvenire rispettivamente entro $5\varnothing$ dal fronte nel caso di un loro getto contemporaneo, o rispettivamente entro $5\varnothing$ e $3\varnothing$ nel caso di getto differito. Le misure di estrusione del fronte e di convergenza del cavo potranno indicare:

| | | |
|--|--|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 | Foglio 25 di 35 |

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più restrittive (al limite realizzando il campo di avanzamento in due fasi distinte, alternandole al getto dell'arco rovescio);
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da realizzare;
- la necessità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento prima del getto di arco rovescio e murette.

FASE 6: impermeabilizzazione

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo di calotta.

FASE 7: getto rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo di calotta seguirà il fronte ad una distanza non superiore a $9 \varnothing$. Anche in questo caso in funzione dell'andamento delle misure di convergenza si potranno eventualmente stabilire distanze ancora più restrittive (cioè inferiori) entro cui eseguire il getto del rivestimento definitivo.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un periodo prossimo alle 24 ore, è necessario porre in opera al fronte, sagomato a forma concava, uno strato di spritz-beton di spessore pari a 10 cm: Se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o fermi di qualsiasi natura) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con il consolidamento (incrementato) del fronte appena eseguito, previa sagomatura a forma concava ed esecuzione dello strato di spritz-beton armato, $sp=10$ cm, e con il rivestimento di prima fase a ridosso del fronte stesso. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo, arco rovescio e murette dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

La sequenza operativa di perforazione, inserimento del tubo o dell'elemento strutturale in VTR e cementazione indicata precedentemente, andrà adattata alle caratteristiche dell'ammasso, prevedendo comunque l'inserimento del tubo o dell'elemento strutturale in VTR e la successiva cementazione massimo ogni 5 perforazioni realizzate, garantendo comunque il completo riempimento del foro e l'inghisaggio del tubo o dell'elemento strutturale. In corso d'opera si potrà comunque valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione indicata (a ecco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscele cementizie, acqua additivata con agenti schiumogeni, etc) in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

- caratteristiche di resistenza e funzionali ai fini del consolidamento del terreno non inferiori a quanto fornito seguendo le attuali prescrizioni;
- l'assenza di problemi connessi alla "sensibilità" dei terreni interessati dalle perforazioni (minerali rigonfianti, frazioni argillose attive, etc)
- condizioni di inghisaggio analoghe a quelle ottenute con la perforazione a secco.

| | | |
|--|--|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 | Foglio 26 di 35 |

6.2 Sezione tipo C2i / C2i con puntone

Interventi previsti

La sezione tipo C2i, eventualmente dotata di puntone è costituita da:

- 2+2 drenaggi in avanzamento lunghezza 30 m sovrapp. 10 m microfessurati per 20 m da fondo foro e ciechi per 10 m verso boccaforo \varnothing 60 mm e sp. 5 mm (eventuali);
- prerivestimento composto da uno strato di 25 cm di spritz-beton, fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, e centine metalliche tipo 2IPN180, a passo 1 m;
- preconsolidamento al contorno realizzato mediante 53 tubi in VTR valvolati, $L \geq 15$ m, sovrapp. ≥ 6.0 m;
- preconsolidamento al piede centina realizzato con 5 + 5 tubi in VTR valvolati $L \geq 15$ m, sovrapp. ≥ 6.0 m ; in presenza di puntone non si eseguirà tale intervento;
- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 40 tubi in VTR cementati in foro con miscele cementizie , $L \geq 15$ m, sovrapp. ≥ 6 m;
- impermeabilizzazione tipo "2";
- rivestimento definitivo in cls semplice avente spessore minimo di 80 cm in arco rovescio e 70 cm in calotta.

Campo di applicazione

La sezione tipo C2i è da applicare nel caso in cui lo scavo avvenga nella parte più alterata e scarsamente cementata della formazione delle Argille di Lugagnano, a carattere prevalentemente terrigeno, e nel caso in cui lo scavo intercetti nella porzione superiore del fronte i depositi alluvionali. In queste condizioni al fine di contenere le deformazioni del fronte risulta necessario eseguire sistematici interventi di consolidamento in avanzamento. Risulta necessario inoltre provvedere ad un opportuno consolidamento al contorno del cavo mediante interventi di consolidamento che potranno essere iniettati o semplicemente cementati a bassa pressione in funzione delle caratteristiche dell'ammasso. Lo scavo avviene con mezzi meccanici procedendo a piena sezione.

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento

In caso di presenza d'acqua dovranno essere eseguiti drenaggi in avanzamento. Si prevede la realizzazione di n° 2+2 drenaggi costituiti da tubi in PVC $L = 30$ m, microfessurati per 20 m a partire da fondo foro e "ciechi" per 10 m verso bocca foro, del diametro $\phi \approx 60$ mm spessore 5mm e protezione in TNT.

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 Foglio 27 di 35 |

Dopo la posa in opera del tubo in PVC, si dovranno adottare opportuni accorgimenti per isolare il tratto microfessurato da quello cieco (sacco otturatore, cementazione), ad evitare dannose percolazioni dell'acqua raccolta in avanzamento all'interno del nucleo consolidato.

FASE 2: esecuzione del preconsolidamento al fronte

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava con freccia di circa 1.5 m, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa in opera di 40 tubi in VTR, aventi lunghezza minima di 15.00 m e sovrapposizione ≥ 6.00 m.

Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco $\varnothing \geq 100$ mm;
- inserimento del tubo in VTR;
- esecuzione della cementazione mediante miscele cementizie a ritiro controllato ogni 4-5 fori;

Le sequenze operative andranno adattate alle caratteristiche dell'ammasso ma dovranno comunque essere tali da garantire l'inghisaggio dell'elemento strutturale al terreno mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro.

La fase di cementazione potrà avvenire di massima ogni 4-5 elementi già posati e comunque il prima possibile per evitare possibili franamenti del foro con conseguente perdita di efficacia dell'intervento. Il riempimento del foro avverrà dal fondo verso il paramento del fronte.

Le caratteristiche della miscela da impiegare sono riportate nella tabella materiali del relativo elaborato grafico.

FASE 3: preconsolidamento al contorno del cavo (eventualmente interventi iniettati)

Dal fronte di scavo, si realizza un arco di terreno consolidato mediante la posa in opera di n° 53 tubi in VTR valvolati, aventi lunghezza minima di 15.00 m e sovrapposizione ≥ 6 m al contorno della futura sezione di scavo ed eventualmente si realizzano gli interventi previsti in prossimità del piede della centina (il consolidamento al piede non verrà eseguito in presenza di sezione con puntone), attraverso perforazioni inclinate rispetto all'orizzontale secondo quanto indicato negli elaborati di progetto.

Esecuzione del preconsolidamento al contorno con le seguenti modalità:

- perforazione eseguita a secco $\varnothing \geq 100$ mm;
- inserimento del tubo valvolato;
- formazione della "guaina" al contorno dell'elemento valvolato, ogni 4-5 fori.

| | | |
|--|--|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 | Foglio 28 di 35 |

- Iniezioni in pressione, valvola per valvola

FASE 4: esecuzione scavo

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima di 9.00 m (consolidamenti L=15.00 m, sovr. = 6.00 m), per singoli sfondi max. di 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale ed eseguendo lo spritz-beton fibrorinforzato, sp.5 cm, anche su ognuno di tali fronti.

FASE 5: posa in opera del rivestimento di prima fase

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1^a fase costituito da centine metalliche 2IPN180 passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 25 cm fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. L'eventuale puntone dovrà essere messo in opera entro 0.5 Ø dal fronte.

FASE 6: getto di murette e arco rovescio

Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro 3Ø dal fronte di scavo. Tale operazione dovrà essere eseguita in seguito al preconsolidamento al contorno e al fronte del successivo campo di avanzamento. In funzione della risposta deformativa del cavo si potrà valutare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più o meno restrittive (al limite realizzando il campo di avanzamento in due fasi distinte, alternandole al getto dell'arco rovescio);
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da eseguire;
- la necessità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento dopo del getto dell'arco rovescio e delle murette.

FASE 7: impermeabilizzazione

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo, secondo le caratteristiche della sezione di impermeabilizzazione.

FASE 8: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo di calotta dovrà avvenire entro 9Ø dal fronte di scavo.

La distanza di getto dovrà essere regolata in funzione della risposta deformativa del cavo e sarà comunque inferiore a 9Ø dal fronte.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un periodo prossimo alle 24 ore, è necessario porre in opera al fronte, sagomato a forma concava, uno strato di spritz-beton armato di spessore pari a 10 cm, con lo scopo di evitare che il materiale al contatto con l'atmosfera subisca

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 <div style="float: right;">Foglio 29 di 35</div> |

deterioramenti. Se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o fermi di qualsiasi natura) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con il consolidamento del fronte appena eseguito (eventualmente incrementato), previa sagomatura a forma concava ed esecuzione dello strato di spritz-beton armato, $sp=10$ cm, e con il rivestimento di prima fase, l'arco rovescio e le murette portati a ridosso del fronte stesso. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo, l'arco rovescio e le murette dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

La sequenza operativa di perforazione, inserimento del tubo o dell'elemento strutturale in VTR e cementazione indicata precedentemente, andrà adattata alle caratteristiche dell'ammasso, prevedendo comunque l'inserimento del tubo o dell'elemento strutturale in VTR e la successiva cementazione massimo ogni 5 perforazioni realizzate, garantendo comunque il completo riempimento del foro e l'inghisaggio del tubo o dell'elemento strutturale. In corso d'opera si potrà comunque valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione indicata (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscele cementizie, acqua additivata con agenti schiumogeni, etc) in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

- caratteristiche di resistenza e funzionali ai fini del consolidamento del terreno non inferiori a quanto fornito seguendo le attuali prescrizioni;
- l'assenza di problemi connessi alla "sensibilità" dei terreni interessati dalle perforazioni (minerali rigonfianti, frazioni argillose attive, etc)
- condizioni di inghisaggio analoghe a quelle ottenute con la perforazione a secco.

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 |
| | Foglio 30 di 35 |

7. ANALISI DEL RISCHIO

I profili geologico – geomeccanici longitudinali di previsione individuano una serie di rischi intraformazionali dell’ammasso per lo scavo delle gallerie, con conseguenze sulla scelta, dapprima della metodologia di scavo, quindi sulla tipologia degli interventi e dei sostegni da porre in opera in fase di scavo ed in definitiva sul dimensionamento del rivestimento definitivo.

Considerando le litologie presenti, le condizioni geostrutturali, le condizioni idrauliche, il possibile comportamento dell’ammasso allo scavo e le condizioni al contorno, sono state prese in esame le seguenti tipologie di problematiche, così come sono indicate nell’analisi del rischio riportata nei profili geologico – geomeccanici di previsione:

rischi collegati alle caratteristiche dell’ammasso

1. instabilità del fronte e/o del cavo per la presenza di zone tettonizzate
2. instabilità del fronte e/o del cavo in presenza di basse coperture
3. Presenza di trovanti
4. Fenomeni di “swelling”/”squeezing”
5. Anisotropia dell’ammasso e stress tettonici
6. Deformazioni d’ammasso
7. Fenomeni di subsidenza e interferenza con altre strutture

rischi collegati alla presenza d’acqua

1. Carico Idraulico
2. Venute d’acqua concentrate
3. Fenomeni carsici
4. Presenza di acque aggressive
5. Fenomeni di dissoluzione

Nel seguito saranno presentati i principali tipi di rischi valutati per l’opera in esame.

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 Foglio 31 di 35 |

7.1 Analisi dei rischi lungo il tracciato della Galleria

La galleria naturale in oggetto si sviluppa essenzialmente nelle formazioni di Cassano Spinola e nelle formazioni delle Argille di Lugagnano.

Le scarse caratteristiche meccaniche degli ammassi incontrati sono sicuramente il primo elemento di rischio da evidenziare.

In particolare:

Instabilità del fronte e/o del cavo: fenomeni di instabilità del fronte e/o del cavo della galleria dipendono sostanzialmente dalla presenza di tratte del tracciato caratterizzate da parametri geomeccanici scadenti. In tali contesti le analisi compiute hanno evidenziato anche un comportamento di tipo "C", ovvero instabile, e sono quindi stati previsti specifici interventi di consolidamento.

Fronte misto: le informazioni geologiche/geomorfologiche mostrano un rischio elevato di intercettazione di fronti misti. Tali condizioni si verificano in corrispondenza del passaggio formazionale tra la formazione di Cassano Spinola e la formazione delle Argille di Lugagnano oltre che in corrispondenza della sacca di ghiaie grossolane identificate nel profilo geomeccanico nella formazione delle Argille di Lugagnano.

Anisotropia dell'ammasso: Per le tratte in cui è stata prevista la possibilità di fronte misto si presuppone anche la presenza di anisotropia d'ammasso.

Interferenze con opere di superficie: L'intera tratta risulta caratterizzata da basse coperture e da interferenze con opere di superficie. Particolarmente significativa risulta l'interferenza con la ferrovia linea storica la quale viene sottopassata. Per limitare gli effetti deformativi indotti sui binari esistenti dallo scavo della galleria in oggetto e garantire la sicurezza del traffico ferroviario sono stati predisposti opportuni interventi di consolidamento.

7.2 Soglie di attenzione e allarme

| GALLERIA RACCORDO TECNCO NOVI LIGURE - SOGLIE DI ATTENZIONE E ALLARME | | | | | |
|---|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|
| CARATT. GALLERIA | | SOGLIA ATTENZIONE | SOGLIA ALLARME | SOGLIA ATTENZIONE | SOGLIA ALLARME |
| FORMAZIONE | SEZ.TIPO | CONV. DIAMETRALE (cm) | CONV. DIAMETRALE (cm) | ESTRUSIONE (cm) | ESTRUSIONE (cm) |
| aL | B2i | 4-6 | 6-8 | 3 | 6 |
| aL-fl2 | C2i(*) | 4-6 | 6-8 | 3 | 6 |

(*) Nel caso di sottoattraversamento di strutture sensibili, dove il controllo deformativo risulta indispensabile al fine del controllo del Volume perso di scavo, le soglie di attenzione e di allarme previste si considerano ridotte al 50% dei valori indicati

Come indicato nel profilo geomeccanico, è necessario prevedere extra-scavi durante l'avanzamento al fine di ridurre eventuali sottospessori dovuti alle convergenze attese.

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 Foglio 32 di 35 |

7.2.1 Sezione tipo B2i

Campo di applicazione

La sezione di tipo B2i si applica nella formazione delle argille di Lugagnano indipendentemente dalle coperture qualora l'ammasso risulti caratterizzato da valori di resistenza e deformabilità attribuibili alla fascia alta della formazione. Nel dettaglio tale sezione può considerarsi applicabile nel gruppo aL1, qualora il fronte e il contorno del cavo non evidenzino la presenza dei depositi alluvionali.

L'ammasso mostra proprietà geomeccaniche comunque medio-basse. Le argille di Lugagnano, a profondità maggiori di 10÷15m da p.c. iniziano a presentare una maggiore cementazione e consistenza rispetto ai primi metri, con valori di modulo elastico e coesione efficace che migliorano sensibilmente con la profondità.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile a breve termine. L'avanzamento avviene regolarmente con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori medi registrati (4-5 cm).

Variabilità

La variabilità della sezione è descritta in tabella.

| FORMAZIONE | | ARGILLE DI LUGAGNANO | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------|---------|---------|-------------|------|------|--------|------|------|
| SEZIONE TIPO | | B2i | | | | | | | | |
| | | AL GRUPPO 1 | | | AL GRUPPO 2 | | | AL/FL2 | | |
| COPERTURA | H < 30 M | \ | | | NP | | | NP | | |
| | - | - | | | - | | | - | | |
| | - | - | | | - | | | - | | |
| PARAMETRI CARATTERISTICI | c' (KPA) | 60-100 | | | 20-60 | | | 5-15 | | |
| | φ (°) | 26-30 | | | 21-26 | | | 29-35 | | |
| | E' (MPa) | 150-250 | | | 80-150 | | | 20-50 | | |
| | v (-) | 0.3 | | | 0.3 | | | 0.3 | | |
| | | MIN. | MEDI | MAX. | MIN. | MEDI | MAX. | MIN. | MEDI | MAX. |
| B2i | CENTINE (IPN) | 2 x 160 | 2 x 160 | 2 x 160 | | | | | | |
| | PASSO CENTINE (M) | 1.5 | 1.2 | 1 | | | | | | |
| | PUNTONE | EVENTUALE | | | | | | | | |
| | SPESORE SB (CM) | 20 | 25 | 30 | | | | | | |
| | CONSOLIDAMENTO FRONTE (N°) | 30 | 40 | 60 | | | | | | |
| | CONSOLIDAMENTO FRONTE L (M) | 15 | 15 | 15 | | | | | | |
| | CONSOLIDAMENTO FRONTE SOVR. (M) | 3 | 6 | 9 | | | | | | |
| | DISTANZA MAX GETTO MURETTE | 4Ø | 3Ø | 2Ø | | | | | | |
| | DISTANZA MAX GETTO A.R. | 6Ø | 5Ø | 3Ø | | | | | | |
| DISTANZA MAX GETTO CALOTTA | 11Ø | 9Ø | 7Ø | | | | | | | |

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | A3010XDCVCLGNVB0X001C00 Foglio 33 di 35 |

L'intensità del consolidamento al fronte è direttamente collegabile al grado di cementazione del terreno di scavo, che migliorando rende possibile variare l'intensità degli interventi posizionandosi nella zona inferiore del range di variabilità previsto. Qualora si verificasse il caso opposto al precedente ci si posizionerà nella zona superiore del range di variabilità previsto.

Inoltre, per la sezione tipo in esame, la variabilità degli interventi di consolidamento può essere funzione anche delle coperture presenti, a meno di zone localizzate. In particolare la lunghezza minima di sovrapposizione, quindi la lunghezza del campo di avanzamento, è legata ai fenomeni estrusivi che risultano influenzati direttamente dallo stato tensionale presente.

7.2.2 Sezione tipo C2i

Campo di applicazione

La sezione di tipo C2i si applica:

- nella formazione delle Argille di Lugagnano, in particolare nello strato più superficiale dove presentano caratteristiche meccaniche scadenti, cementazione e valori di resistenza e deformabilità molto bassi;
- nelle zone di fronte misto, dove sono presenti sul tetto delle argille i depositi alluvionali;
- laddove nello spessore di copertura in calotta sia predominante lo strato di depositi che, per proprie caratteristiche meccaniche, non è in grado di assicurare la formazione dell'effetto arco.

In queste condizioni il fronte di scavo si presenta stabile a breve termine. L'avanzamento avviene regolarmente con mezzi meccanici. La risposta deformativa del cavo evolve verso convergenze che si attestano sui valori medi registrati (4-5 cm).

Variabilità

La variabilità della sezione è descritta in tabella.

| | | |
|--|--|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | |
| A3010XDCVCLGNVB0X001C00 | | Foglio 34 di 35 |

| FORMAZIONE | | ARGILLE DI LUGAGNANO | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|------|------|-------------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| SEZIONE TIPO | | C2I | | | | | | | | |
| | | AL GRUPPO 1 | | | AL GRUPPO 2 | | | AL/FL2 | | |
| COPERTURA | H < 30 M | NP | | | 100% | | | 100% | | |
| | - | - | | | - | | | - | | |
| | - | - | | | - | | | - | | |
| PARAMETRI CARATTERISTICI | c' (KPA) | 60-100 | | | 20-60 | | | 5-15 | | |
| | φ (°) | 26-30 | | | 21-26 | | | 29-35 | | |
| | E' (MPA) | 150-250 | | | 80-150 | | | 20-50 | | |
| | v (-) | 0.3 | | | 0.3 | | | 0.3 | | |
| | | MIN. | MEDI | MAX. | MIN. | MEDI | MAX. | MIN. | MEDI | MAX. |
| C2I | CENTINE (IPN) | | | | 2 x 180 | 2 x 180 | 2 x 180 | 2 x 180 | 2 x 180 | 2 x 180 |
| | PASSO CENTINE (M) | | | | 1.2 | 1 | 1 | 1.2 | 1 | 1 |
| | PUNTONE | | | | EVENTUALE | | | EVENTUALE | | |
| | SPESSORE SB (CM) | | | | 20 | 25 | 30 | 20 | 25 | 30 |
| | CONSOLIDAMENTO FRONTE (N°) | | | | 30 | 40 | 60 | 30 | 40 | 60 |
| | CONSOLIDAMENTO FRONTE L (M) | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| | CONSOLIDAMENTO FRONTE SOVR. (M) | | | | 3 | 6 | 9 | 3 | 6 | 9 |
| | CONSOLIDAMENTO CONTORNO (N°) | | | | 40 | 53 | 80 | 40 | 53 | 80 |
| | CONSOLIDAMENTO CONTORNO L (M) | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| | CONSOLIDAMENTO CONTORNO SOVR. (M) | | | | 3 | 6 | 9 | 3 | 6 | 9 |
| | DISTANZA MAX GETTO MURETTE | | | | 3Ø | 3Ø | 1.5Ø | 3Ø | 3Ø | 1.5Ø |
| | DISTANZA MAX GETTO A.R. | | | | 3Ø | 3Ø | 1.5Ø | 3Ø | 3Ø | 1.5Ø |
| | DISTANZA MAX GETTO CALOTTA | | | | 9Ø | 9Ø | 5Ø | 9Ø | 9Ø | 5Ø |

All'aumentare delle coperture, qualora si riscontrasse una maggiore cementazione del terreno dai rilievi geostrutturali del fronte di scavo, è possibile variare l'intensità degli interventi posizionandosi nella zona inferiore della fascia di variabilità prevista (vedi Tabella), prevedendo l'aumento del passo centine e la riduzione dei consolidamenti al fronte e al contorno. Rimane in ogni caso necessaria un'azione di precontenimento delle deformazioni date le caratteristiche terrigene e le basse coperture alle quali si sta operando..

Nel caso opposto, in situazioni che tendono ad abbassare i valori dei parametri geomeccanici verso la parte inferiore della fascia intrinseca specie se tale situazione è abbinata ad opere superficiali, ci si posizionerà nella zona superiore della fascia di variabilità prevista. In tali contesti dovranno essere previsti interventi di supporto di prima fase di maggiore rigidità (aumento delle centine e del rivestimento in spritz beton) e l'esecuzione di importanti interventi avanti il fronte al fine di limitare i fenomeni deformativi e l'estensione della fascia plastica.

7.2.3 Messa in opera del puntone in arco rovescio

Entrambe le sezioni prevedono la possibilità di utilizzare il puntone in arco rovescio. Nel contesto di applicazione della sezione l'instabilità complessiva del fronte di scavo è attribuibile ad un accentuarsi dei fenomeni deformativi in campo plastico che possono manifestarsi ancora prima che avvenga lo scavo oltre il fronte stesso.

| | |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |
| | <p>A3010XDCVCLGNVB0X001C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 35 di 35</p> |

Le deformazioni portano ad un progressivo decadimento delle caratteristiche geomeccaniche del materiale. Le deformazioni devono essere contenute prima dell'arrivo del fronte di scavo mediante interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento, che consentano di creare artificialmente l'effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile.

L'importanza dei fenomeni deformativi associati allo scavo della sezione comporta, al fine del controllo deformativo, la necessità di prevedere un'immediata chiusura del cavo mediante rivestimenti di prima fase installati immediatamente a ridosso del fronte stesso e dotati di sufficiente rigidità.

In tali contesti geomeccanici, l'utilizzo del puntone in arco rovescio assume validità differenti in relazione principalmente alle coperture presenti. Nel caso in esame, con basse coperture, l'immediata installazione (circa 2-3 centine dal fronte di scavo) del puntone in arco rovescio permette la chiusura immediata dell'arco, contrastando in modo efficace i cedimenti verticali del piede della centina e diminuendo la superficie di estrusione. L'intervento deve essere applicato in caso di:

- Sotto passo di preesistenze, edifici in superficie o condizioni puntuali: il collegamento della centina di prima fase al puntone metallico fornisce garanzie maggiori sul controllo delle deformazioni del cavo, realizzando di fatto una struttura chiusa ad elevata rigidità e con maggiore stabilità del fronte di scavo.
- L'intervento fornisce un contrasto ad eventuali carichi laterali dovuti a spinte dissimetriche (parietalità delle sezioni) o a deviazioni dello stato tensionale per stress tettonici.