

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 ESECUTIVO

**GALLERIA NATURALE SERRAVALLE
SCAVO IN MECCANIZZATO - BINARIO PARI E DISPARI
Relazione Tecnica Scavo in meccanizzato**

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

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 0	E	C V	R O	G N 0 0 0 0	0 1 6	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	Rocksoil 	30/09/2015	Rocksoil 	02/10/2015	A. Mancarella 	06/10/2015	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R

n. Elab.:

File: IG5100ECVROGN0000016A00

CUP: F81H92000000008

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5100ECVROGN0000016A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 84</p>

INDICE

INDICE.....	3
1. PREMESSA.....	5
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....	6
3. MATERIALI IMPIEGATI.....	9
4. INQUADRAMENTO GENERALE.....	11
4.1. Caratteristiche generali dell'opera.....	11
4.1.1. Sviluppo della Galleria Serravalle.....	11
4.1.2. Anello di rivestimento.....	15
4.1.3. Sistema di connessione sui giunti circolari.....	16
4.1.4. Guarnizioni di tenuta idraulica.....	16
4.2. Inquadramento geologico-geomorfologico-idrogeologico.....	19
4.3. Inquadramento Geotecnico.....	23
4.3.1. Formazione di Serravalle (aS).....	23
4.3.2. Marne di Sant'Agata.....	23
4.3.3. Membro di Riomaggiore (gS).....	24
4.3.4. Formazione di Cassano Spinola (cC).....	25
4.3.5. Argille di Lugagnano (aL).....	25
4.3.6. Depositi fluviali medi (fl2).....	26
5. CRITICITA' GEOLOGICHE E DESCRIZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI PREVISTE.....	27
5.1. Settore collinare.....	27
5.1.1. Sintesi del contesto geo-meccanico.....	27
5.1.2. Modalità di avanzamento e soluzioni tecniche di presidio.....	28
5.1.3. Condizioni di esercizio.....	29
5.2. Settore di pianura.....	31
5.2.1. Sintesi del contesto geo-meccanico.....	31
5.2.2. Modalità di avanzamento e soluzioni tecniche di presidio.....	32
5.2.3. Condizioni di esercizio.....	37
5.3. Fronte di scavo misto.....	37
5.4. Fresabilità.....	38
5.5. Aggressività dei terreni nei confronti delle strutture in esercizio.....	38
6. SCELTA DELLE CARATTERISTICHE MACCHINA EPB.....	40
6.1. Modalità operativa e specifiche tecniche generali.....	42
6.2. Fresabilità dei materiali e testa di scavo.....	45
6.3. Spinta e coppia Macchina.....	46
6.4. Condizionamento.....	49
6.4.1. Le schiume.....	52
6.4.2. Polimeri.....	53
6.5. Intasamento a tergo del rivestimento.....	54
6.6. Scudo.....	55
6.7. Erettore.....	56
6.8. Smarino.....	56
6.8.1. Estrazione con coclea.....	57
6.8.2. Nastro trasportatore.....	58
6.9. Back - up.....	58
7. LINEE GUIDA PROCEDURE OPERATIVE E DI CONTROLLO, AZIONI CORRETTIVE E INTEGRATIVE.....	59
7.1. Criteri Progettuali.....	60

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">IG5100ECVROGN0000016A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 4 di 84</p>

7.1.1.	Prescrizioni operative di avanzamento	60
7.1.2.	Definizione delle condizioni normali ed anomale.....	61
7.1.3.	Parametri di controllo dello scavo.....	61
7.1.4.	Avanzamento in condizione normali	62
7.1.5.	Fermi Macchina	64
7.1.6.	Avanzamento in condizioni anomale	67
7.2.	Processo di controllo.....	72
7.3.	Parametri Operativi e di controllo macchina	74
7.3.1.	Pressione di supporto del fronte di scavo.....	75
7.3.2.	Controllo della densità del materiale nella camera di scavo.....	76
7.3.3.	Pressione e volume di iniezione	77
7.3.4.	Controllo del peso e del volume del terreno scavato.....	78
7.4.	Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso	78
7.4.1.	Acquisizione dati sistematici	79
7.4.2.	Indagini integrative.....	80
7.5.	Interventi progettuali	81
7.6.	Il contenimento del volume perso	82
7.7.	Armatura con fibre in acciaio strutturali	84

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 5 di 84

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica è parte integrante del progetto esecutivo per la realizzazione dello scavo mediante sistema meccanizzato della Galleria Serravalle; tale galleria fa parte del tracciato della linea ferroviaria del “Terzo Valico dei Giovi”, che si estende da Genova a Tortona.

Il progetto, nel suo complesso, prevede la realizzazione di una galleria di 7 km, dei quali 6.3 km presentano sezione a canne separate, scavate con sistema meccanizzato. Il presente documento, introdotto nella WBS GN00, è relativo all’intero sviluppo dei binari dispari e pari del tratto di galleria realizzato mediante scavo in meccanizzato (WBS: GN1BA, GN1CA, GN1BC).

Da un punto di vista geologico, la Galleria di Serravalle ricade all’interno delle successioni sedimentarie terrigene riferibili al settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese (BTP) che a nord, verso la pianura alessandrina, sono sormontate dai depositi post-messiniani (Argille di Lugagnano/Argille Azzurre, Sabbie di Asti I.s. e “Villafranchiano” Auct.) e dai depositi alluvionali pleistocenico-olocenici del bacino di Alessandria, rappresentati in questo settore dai depositi del T. Scrivia.

Le successioni sedimentarie attraversate sono nello specifico riferibili alle seguenti unità:

- Arenarie di Serravalle (aS),
- Marne di Sant’Agata Fossili (mA1 – mA2),
- Membro di Riomaggiore del Gruppo della Gessoso Solfifera (gS)
- Conglomerati di Cassano Spinola del Gruppo della Gessoso Solfifera (cC)
- Depositi post-messiniani: Argille di Lugagnano (Argille Azzurre, aL)

In particolare il documento riporterà una descrizione delle principali criticità geologiche, idrogeologiche e geotecniche della tratta, in conformità con quanto riportato in relazione geotecnica (§4e §5); in base a dette criticità e ai risultati delle analisi riportate in Relazione di calcolo, verranno descritte le caratteristiche necessarie previste della macchina di scavo (§6) e definite le principali linee guida (§7) riferite a:

- Procedure operative
- Procedure di controllo
- Azioni correttive
- Azioni integrative

Lo scavo della galleria in esame è per largo tratto eseguito in zona pianeggiante a basse coperture, con problematiche di subsidenza e interferenza con strutture a piano campagna. Si rimanda per approfondimenti sull’argomento alla specifica relazione (IG51-03-E-CV-CL-GN1B-C0-001).

Si rimanda inoltre per ulteriori approfondimenti alle specifiche relazioni geotecniche (IG51-00-E-CV-RB-GN00-00-002) e di calcolo (IG51-00-E-CV-CL-GN00-00-002).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5100ECVROGN0000016A00</p>	<p>Foglio 6 di 84</p>

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 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 7 di 84

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  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 8 di 84

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	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 9 di 84

3. MATERIALI IMPIEGATI

Calcestruzzo per conci prefabbricati

- classe di resistenza Rck ≥ 45 N/mm²
- classe di esposizione XC2, XA2

Nota: si identifica una classe di esposizione XA2 nell'ambito delle tratta da scavarsi entro il Membro di Riomaggiore (gS). Tale formazione comprende potenzialmente al suo interno dei livelli gessosi soggetti a fenomeni di dissoluzione specie se in presenza di strutture tettoniche, con rischio di formazione di sacche di acque aggressive nei confronti dei calcestruzzi. Si rimanda al profilo geomeccanico per l'individuazione di tali tratte.

- -classe di consistenza S4
- resistenza a compressione caratteristica cilindrica $f_{ck} = 37.35 \text{ N/mm}^2$
- resistenza caratteristica a trazione semplice: $f_{ctk;0.05} = 2.38 \text{ N/mm}^2$
- modulo elastico: $E_c = 38235 \text{ N/mm}^2$
- coefficiente di Poisson: $\nu = 0.2$

E' previsto l'impiego eventuale di fibre in acciaio nel confezionamento dei calcestruzzi impiegati per il getto dei conci prefabbricati. Le fibre potranno integrare o parzialmente sostituire la tradizionale armatura lenta in barre di acciaio nervato.

Le fibre dovranno avere le seguenti caratteristiche di base:

Acciaio a basso contenuto di carbonio

- Rm (Tensione di rottura per trazione del filo): > 1100 MPa
- DI (Allungamento a rottura) < 4%
- Modulo Elastico 210 GPa

I conci dovranno prevedere fibre in polipropilene al fine di garantire la resistenza allo spalling (dosaggio medio 2 kg/m³).

Acciaio in barre ad aderenza migliorata

- tipo B450 C
- tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$
- modulo elastico: $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 10 di 84

Connettori

- tipo FAMA Smartblock 90-160/300-60 (o equivalenti)
- Resistenza a taglio $\geq 60\text{kN}$
- Forza di estrazione (pull out) $\geq 90\text{kN}$

Guarnizione:

- tipo ancorata, in EPDM con predisposizione cordolino idrofilico tipo FAMA Gasket UG037A (o equivalente)
- tenuta idraulica ≥ 20 bar (requisiti minimi di installazione: offset $\leq 10\text{mm}$ e joint gap =4mm)
- tenuta idraulica in esercizio minima durante la vita utile dell'opera ≥ 5 bar (offset $\geq 15\text{mm}$ e joint gap $\geq 6\text{mm}$)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 11 di 84

4. INQUADRAMENTO GENERALE

4.1. Caratteristiche generali dell'opera

4.1.1. Sviluppo della Galleria Serravalle

Il progetto generale della galleria di Serravalle prevede la realizzazione di una galleria di 7 km, dei quali 6.3 km presentano sezione a canne separate, scavate con sistema meccanizzato.

A partire dall'imbocco sud, la galleria si sviluppa in contesto di transizione tra rilievo e pianura (sino indicativamente alla pk 32+300). Le coperture in tale tratto variano da un minimo di 27 m in corrispondenza della valle sotto-attraversata alla pk 30+500, sino ad un massimo di 130 m (pk 30+200 ca).

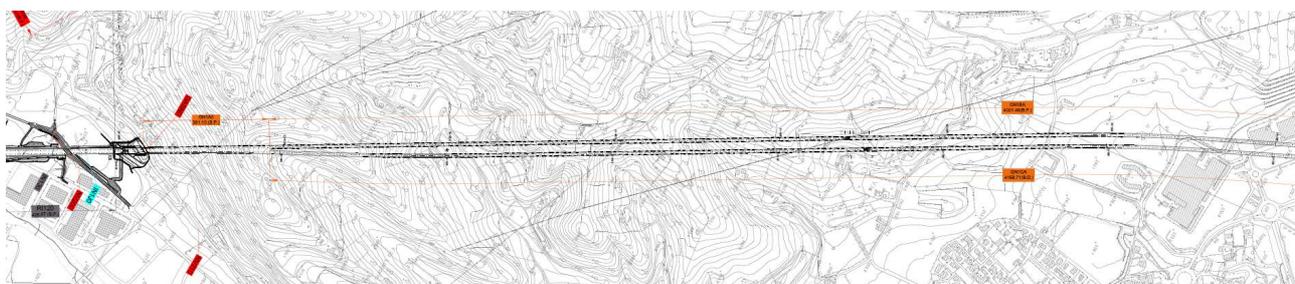


Figura 4-1. Planimetria generale della Galleria Serravalle – tratta imbocco sud – settore collinare (pk 29+968.70 - 32+300)

In particolare, dalla pk 29+587.50 alla pk 29+968.70 (riferite al binario dispari) è previsto lo scavo di un camerone (WBS: GN1A0) lungo il cui sviluppo si realizza il progressivo distanziamento degli assi dei due binari, così da approntare la sezione a doppio fornice, da scavarsi con sistema meccanizzato, con distanza netta fra le due canne, pari a circa 6 m. La galleria proseguirà dunque in configurazione a canne separate, con interasse standard pari a 35 m (raggiunto alla progressiva 30+600 ca, a oltre 600 m dalla sezione di attacco delle canne stesse, posta al termine del camerone di imbocco sud).

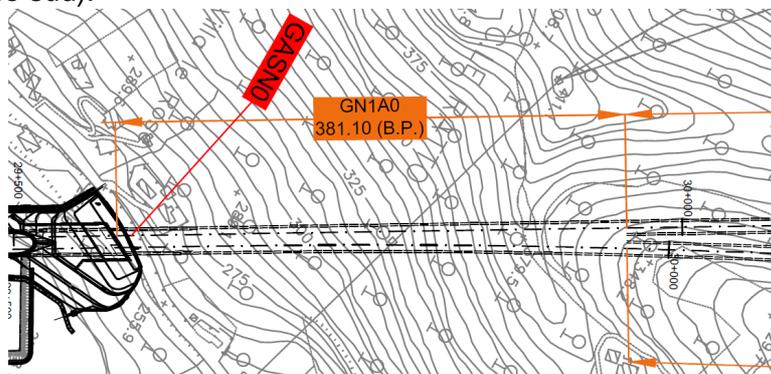


Figura 4-2. Camerone di imbocco sud con inizio settore di galleria a canne separate, scavate in meccanizzato

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 12 di 84

Oltre la pk 32+850, la galleria si sviluppa in un contesto di pianura, nell'ambito del quale le coperture decrescono progressivamente sino a raggiungere ricoprimenti minimi in calotta di 5-6 m, in prossimità dell'imbocco nord.

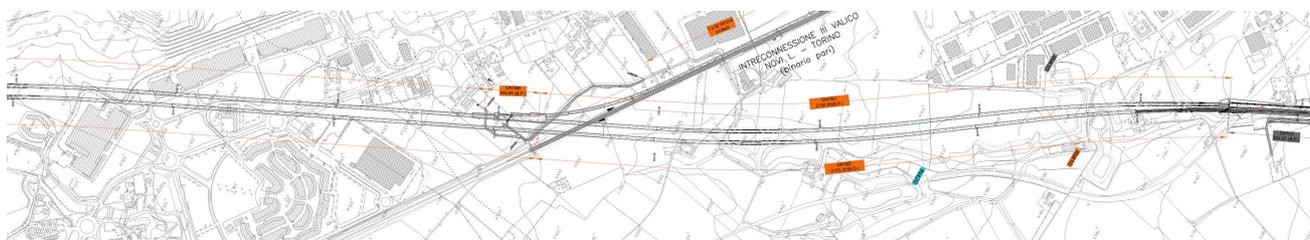


Figura 4-3. Planimetria generale della Galleria Serravalle –settore di pianura – imbocco nord (pk 32+850 – 36+350.88)

Nella tratta compresa fra le pk 32+850 e 33+500 il tracciato si inserisce in un ambito urbanizzato, comprendente in particolare l'area commerciale del comune di Serravalle; sempre nel medesimo settore le gallerie attraversano inoltre un contesto geologico caratterizzato dalla presenza di un paleo-alveo e di una fascia tettonizzata, che unitamente all'entità delle coperture in calotta comprese fra 17 e 19 m (rispetto a p.c.), individua in tale passaggio delle condizioni particolarmente delicate per la progettazione dell'opera e di eventuali interventi a presidio delle pre-esistenze in superficie (edifici commerciali, sottopassi, viabilità).

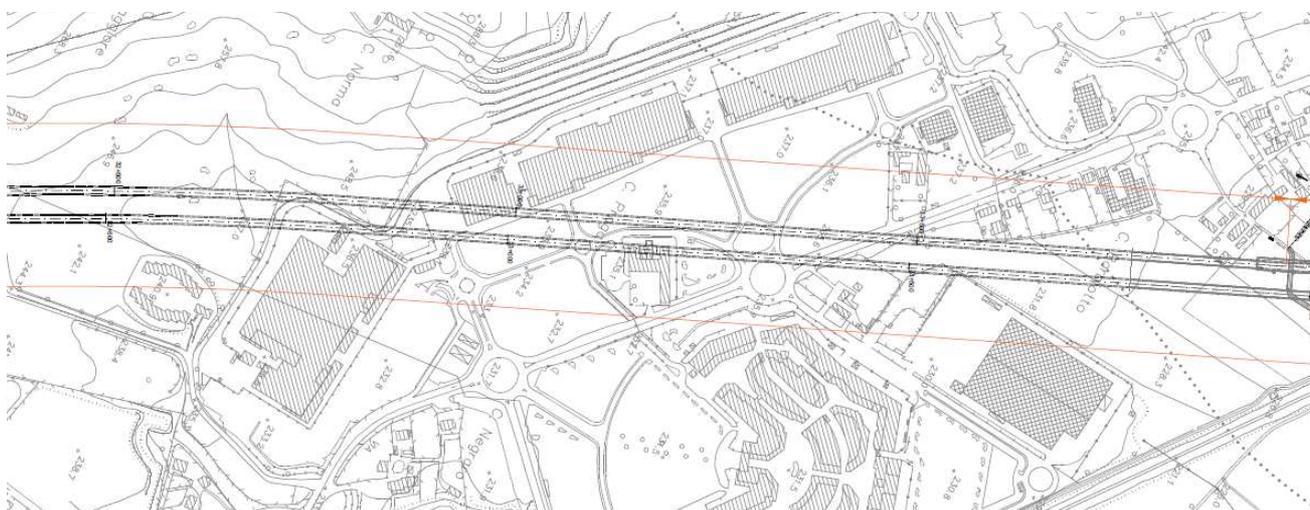


Figura 4-4. Sotto-attraaversamento dell'area commerciale

Alla pk 33+959, la canna ospitante il binario pari (Genova-Milano) si innesta nel camerone (WBS: GN1BB), dal quale si stacca il ramo di interconnessione con la linea storica Genova-Torino (galleria naturale GN41).

Dalla pk 34+110 ca, il binario pari si colloca nuovamente entro una galleria a singolo binario scavata in meccanizzato, che va ad affiancare, la galleria di binario dispari (Milano-Genova), secondo la precedente configurazione con distanza d'interasse binari pari a 35 m.

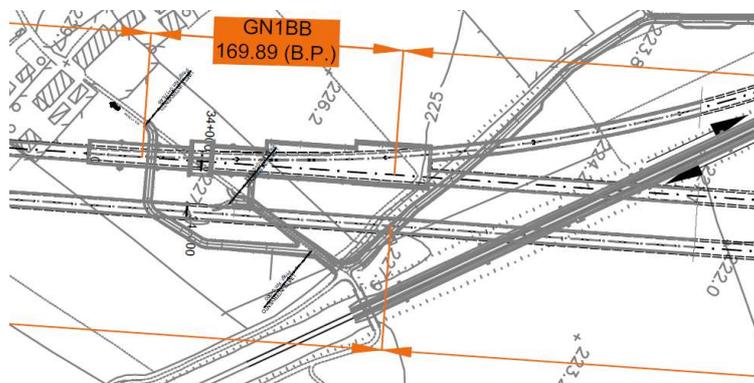


Figura 4-5. Camerone per innesto sul binario pari del ramo di interconnessione con la linea storica Genova-Torino

Le gallerie, immediatamente oltre il camerone di sfioro del ramo di interconnessione per Novi Ligure (WBS GN41), passano sotto la linea ferroviaria storica Genova-Torino, in presenza di coperture di 20 m, per poi collocarsi, oltre la pk 34+600, sul margine del terrazzo fluviale del Torrente Scrivia, assumendo dunque conformazione parietale. Quest'ultimo tratto, caratterizzato da coperture progressivamente decrescenti (16÷6m), presenta alcune emergenze morfologiche interferite dal tracciato nel settore vallivo, ovvero il sotto attraversamento e/o l'intercettazione da parte delle canne di alcuni specchi d'acqua ed impluvi (di origine sia artificiale che naturale), che costituiscono appunto delle articolazioni secondarie della scarpa del terrazzo fluviale stesso.

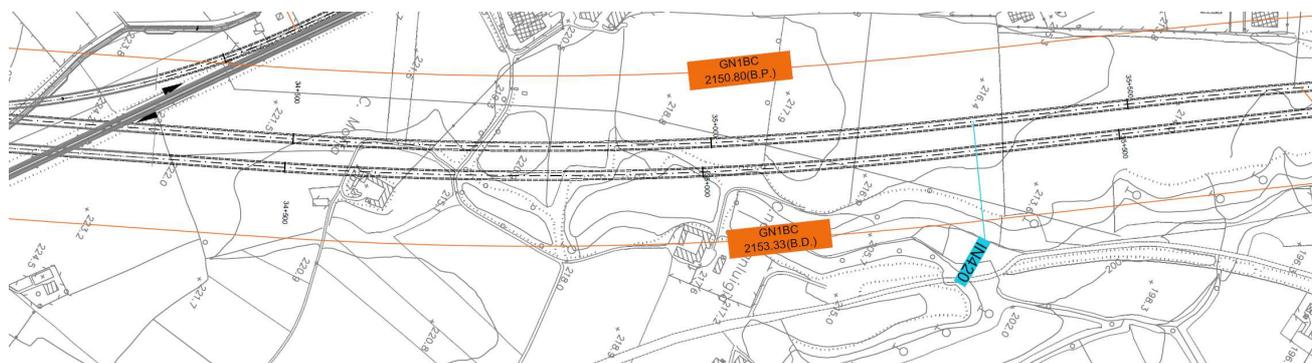


Figura 4-6. Settore di pianura della Galleria – Serravalle, tratta con caratteristiche di parietalità e presenza di interferenze con le articolazioni secondarie della scarpa del terrazzo fluviale del Torrente Scrivia.

La trattazione specifica della risoluzione delle citate interferenze (edifici in zona commerciale Serravalle ed emergenze morfologiche lungo il margine del terrazzo fluviale) è contenuta nella *Relazione di Analisi delle Interferenze*, alla quale si rimanda.

A partire dalla pk 35+600, si verifica il progressivo riavvicinamento dei binari fino ad una distanza netta minima fra le canne pari a circa 6 m in corrispondenza dell'imbocco Nord della galleria naturale (pk 36+350.88).

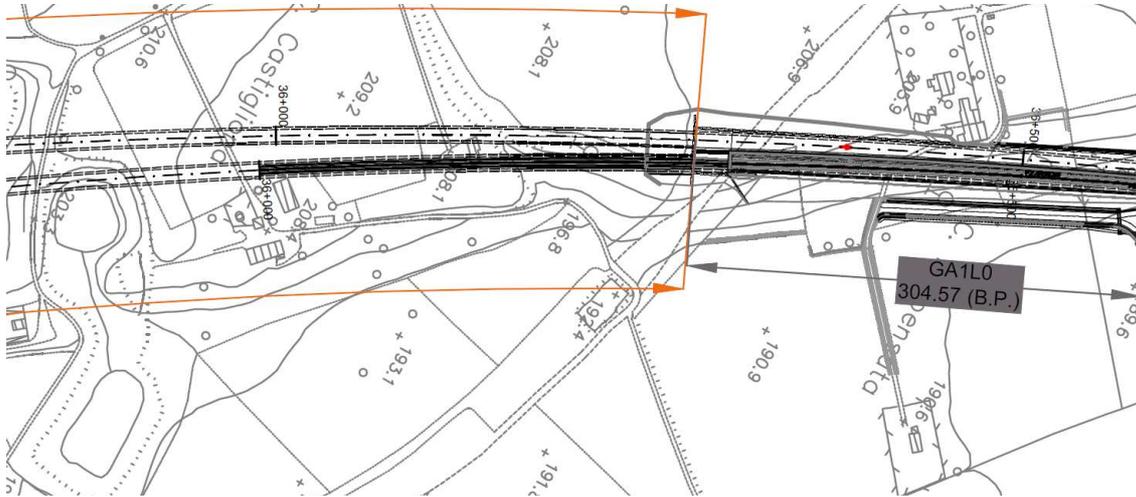


Figura 4-7. Imbocco Nord Galleria Serravalle: avvicinamento progressivo delle canne scavate con sistema meccanizzato e galleria artificiale di imbocco

4.1.2. Anello di rivestimento

Le gallerie hanno raggio interno pari a 4.30 m e spessore del rivestimento di 40 cm.

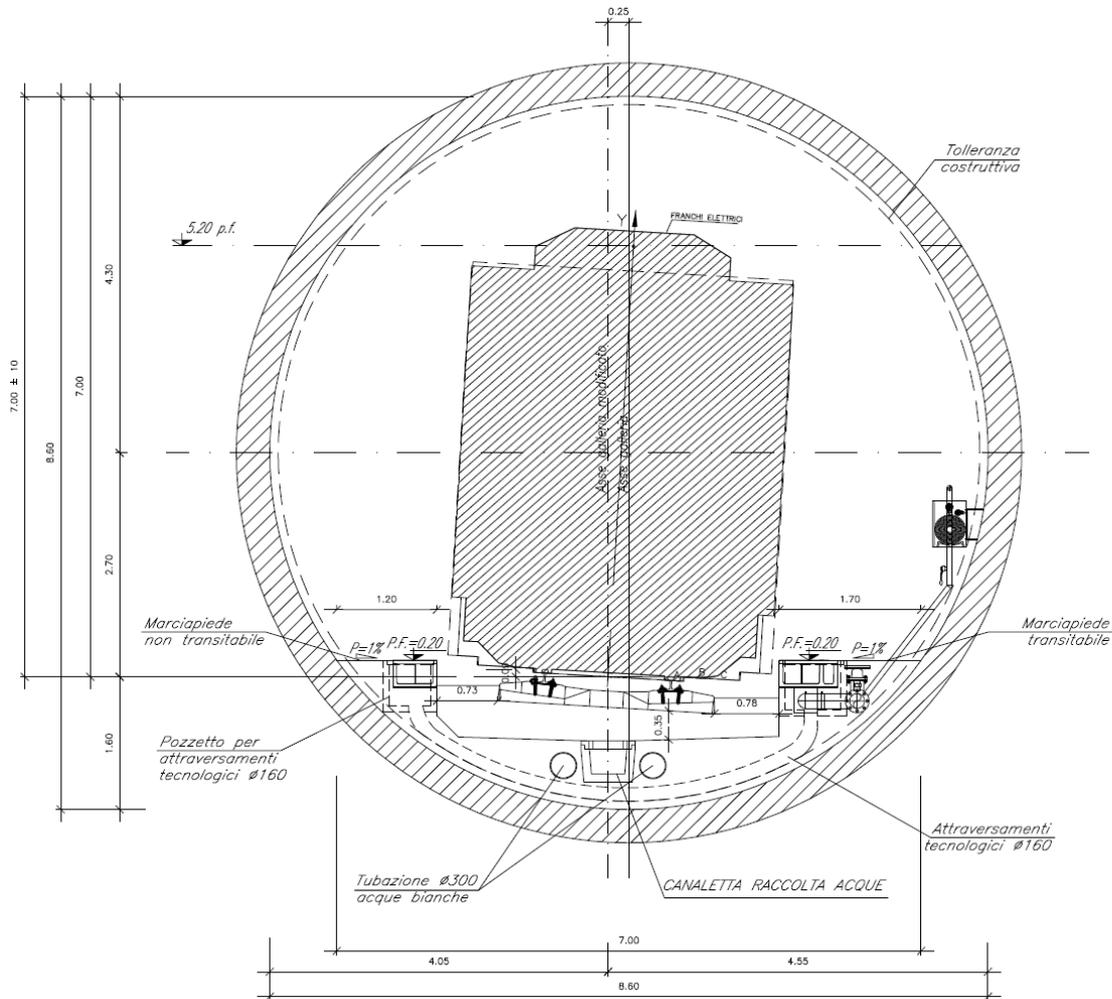


Figura 4-8. Schema generale della sezione tipo di galleria

L'anello di tipo universale è costituito da 6 conci più il concio di chiave. La gabbia di armatura dei conci costituenti l'anello è prevista uniforme su tutta la tratta.

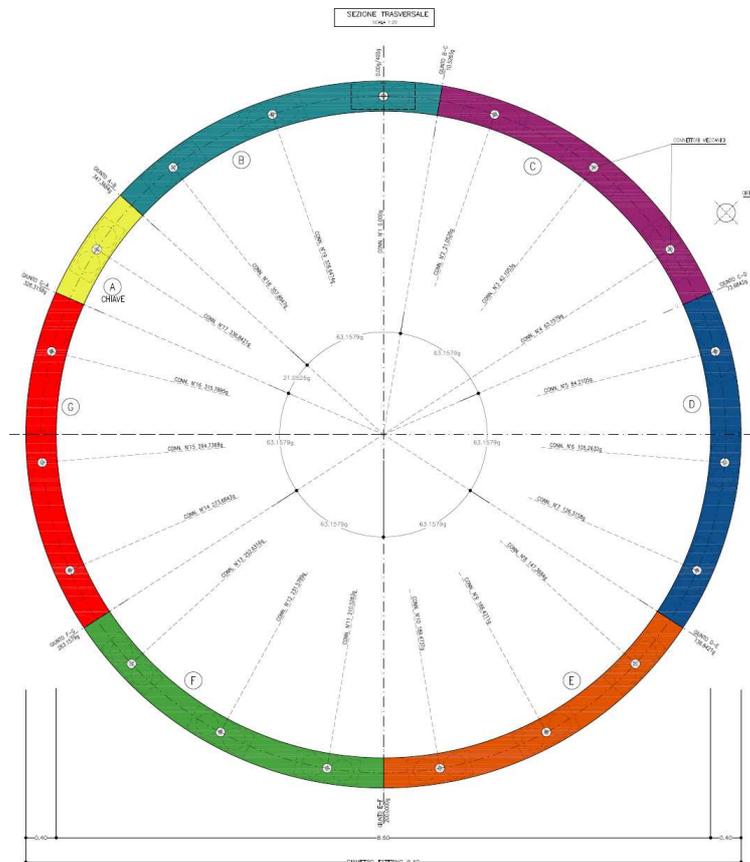


Figura 4-9. Schema anello universale

4.1.3. Sistema di connessione sui giunti circonferenziali

A seguito dei dimensionamenti condotti in relazione di calcolo, sono state individuate le seguenti caratteristiche prestazionali minime per la resistenza al taglio e al pull-out dei connettori, riportati in Tabella 4-1.

4.1.4. Guarnizioni di tenuta idraulica

Al fine di garantire l'impermeabilizzazione delle gallerie, sarà predisposta lungo l'intero perimetro dei singoli conci costituenti l'anello una guarnizione a nastro ad espansione meccanica in etilene-diene (EPDM).

In relazione alla ricostruzione del quadro idrogeologico e agli interventi locali di drenaggio eventuali da predisporre nella fase di esercizio dell'opera (cfr. §0 e §5), è stato individuato nell'ambito del presente studio il livello prestazionale richiesto al sistema di guarnizione.

Nello specifico, i dispositivi saranno di tipo ancorato, per ottimizzare il fissaggio della guarnizione nella cava, e dovranno garantire una tenuta idraulica ≥ 20 bar con i seguenti requisiti minimi di installazione:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5100ECVROGN0000016A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 286"> <tr> <td>Foglio 17 di 84</td> </tr> </table>	Foglio 17 di 84
Foglio 17 di 84		

- disallineamento fra le due guarnizioni - offset $\leq 10\text{mm}$
- joint gap = 4mm

Tenendo in conto i rilassamenti del materiale costituente la guarnizione attesi nel corso della vita nominale dell'opera (≥ 100 anni), tale dispositivo dovrà garantire una tenuta idraulica minima di almeno 5 bar, anche in presenza di offset pari a 15 mm e un joint gap $\geq 6\text{mm}$.

Si prescrive inoltre che tale guarnizione abbia la predisposizione per alloggiamento del cordolino idrofilico: questo mezzo, da montarsi a piè d'opera onde evitarne la prematura attivazione, è da utilizzarsi nelle zone in cui è previsto il rischio di abbondante acqua in fase di avanzamento, in particolare nei tratti di faglia o fronte misto, e laddove lo scavo o comunque la zona di plasticizzazione dell'intorno del cavo raggiunga i depositi alluvionali in copertura. Si rimanda per le tratti in cui è prevista tale problematica ai profili geomeccanici.

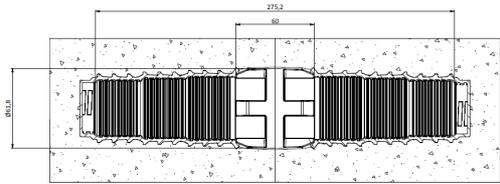
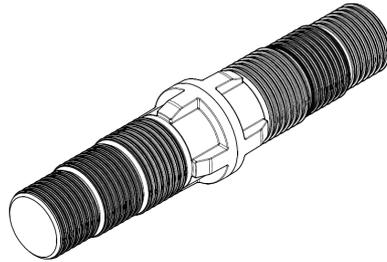
Le principali caratteristiche dei diversi accessori di connessione e tenuta idraulica dei conci sono sintetizzate nella seguente tabella.

**SISTEMA DI
CONNESSIONE CON
ELEMENTI AD ATTRITO**

Resistenza sistema di connessione:

- allo sfilamento (pull-out) ≥ 90 KN
- taglio ≥ 60 kN

Esempio tipologico (tipo Fama Smart block 90-160 300-60)



BARRA GUIDA

In polietilene
diametro $\varnothing \geq 50$ mm L=1000mm



GUARNIZIONE

Tipo ancorata, in elastomero EPDM

Tenuta idraulica ≥ 20 bar in presenza di:

- offset ≥ 10 mm (*requisito minimo di installazione*)
- joint gap = 4 mm (*requisito minimo di installazione*)

Tenuta idraulica ≥ 5 bar in esercizio in presenza di

- offset ≥ 15 mm.
- joint gap: ≥ 6 mm

(*Valori minimi durante la vita nominale dell'opera (≥ 100 anni), considerando gli effetti indotti dal rilassamento del materiale.*)

Esempio tipologico (guarnizione ancorata tipo Fama UG037A)

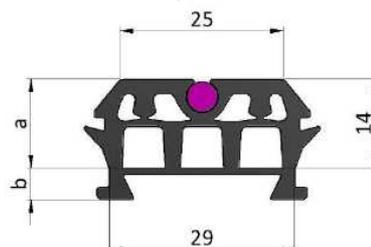
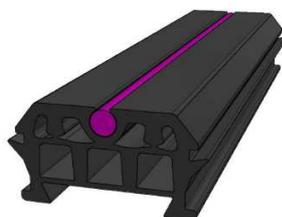


Tabella 4-1. Dettagli costruttivi richiesti da progetto

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 19 di 84

4.2. Inquadramento geologico-geomorfologico-idrogeologico

La Galleria di Serravalle, dall'imbocco sud e sino all'intersezione con il Raccordo Tecnico III Valico – Novi Ligure ricade all'interno delle successioni sedimentarie terrigene riferibili al settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese (BTP). Nel tratto posto a nord dell'intersezione l'opera attraversa i depositi post-messiniani (Argille di Lugagnano/Argille Azzurre), soprastanti le successioni sedimentarie terrigene riferibili al settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese (BTP) e sormontati dai depositi alluvionali pleistocenico-olocenici del bacino di Alessandria, rappresentati in questo settore dai depositi del T. Scrivia.

Il tratto di linea oggetto del presente rapporto attraversa dunque le successioni sedimentarie riferibili alle seguenti unità:

- formazione di Serravalle (aS),
- Marne di Sant'Agata Fossili (mA2-mA1),
- Membro di Riomaggiore del Gruppo della Gessoso Solfifera (gS)
- Conglomerati di Cassano Spinola del Gruppo della Gessoso Solfifera (cC)
- Depositi post-messiniani: Argille di Lugagnano (aL)

Per una descrizione approfondita delle formazioni incontrate si rimanda alla relativa relazione.

Il modello geologico di riferimento generale prevede che la galleria attraversi le formazioni delle arenarie di Serravalle (aS), delle marne di S. Agata Fossili (mA2), del gruppo della Gessoso-Solfifera (gS, cC e delle Argille Azzurre (aL); l'interfaccia tra il substrato prequaternario e i sedimenti alluvionali riferibili al Fluviale Medio del bacino del T. Scrivia (fI2) non dovrebbe essere intercettata, anche se non è possibile escludere a priori la presenza di irregolarità morfologiche della superficie di appoggio dei depositi quaternari, dovute ad es. a paleoalvei sepolti, che potrebbero determinare localmente la comparsa in calotta di depositi fluviali.

La tratta compresa nella WBS di interesse si sviluppa in due contesti geologici e geomorfologici distinti, il primo tratto (circa fino alla pk 32+875) è inserito in un contesto collinare in cui il substrato è perlopiù affiorante con locali zone di copertura detritico-colluviale potenti pochi metri, il secondo tratto si sviluppa in un contesto di pianura, in corrispondenza di un terrazzo di origine alluvionale, in cui i depositi alluvionali poggiano sul substrato con una buona continuità laterale.

All'interno del contesto collinare sono stati ipotizzati dei sistemi di flusso superficiali che si sviluppano all'interfaccia tra copertura quaternaria e substrato. La copertura quaternaria in questa zona ha una potenza compresa tra 1 e 3 m, derivante dall'alterazione delle Arenarie di Serravalle e dalle Marne di Sant'Agata Fossili e origina quindi degli acquiferi poco capacitivi e locali. Lungo la stessa tratta sono presenti due zone di faglia principali, dirette circa NE-SW e N-S, lungo cui è possibile che si sviluppino dei sistemi di flusso, presumibilmente misti o profondi. La presenza di tali sistemi di flusso è incerta, tuttavia, qualora presenti, le circolazioni avverrebbero direzione da SW verso NE (e da NE verso SW) e da S verso N.

Il contesto geologico e idrogeologico della tratta di pianura è schematizzato nella figura seguente, dove è stata riportata una sezione schematica circa perpendicolare al tracciato che mette in

evidenza l'andamento dei depositi alluvionali (f12), rappresentanti l'acquifero superficiale, con spessori crescenti da est verso ovest. Sono state ipotizzate direzioni di flusso con direzione da SE a NW, derivanti dalla somma di due componenti principali; una diretta dal bordo del terrazzo verso ovest, condizionata dal cambiamento di spessore dell'acquifero e dalla giacitura della superficie di contatto con il substrato, ed una diretta N-S legata al normale deflusso dipendente dalla topografia generale della Valle Scrivia, le cui quote tendono a diminuire verso nord. I piezometri presenti nell'area sono di numero troppo esiguo per definire in modo omogeneo l'andamento della falda superficiale, comunque i dati presi in considerazione sembrano confermare l'ipotesi di un deflusso in questa direzione.

La falda presenta probabilmente una geometria tabulare, con livelli piezometrici che denotano una soggiacenza ridotta (raramente superiore ai 10 metri), subparallela alla superficie topografica.

Al bordo del terrazzo alluvionale è presente una faglia con direzione circa N-S lungo cui si potrebbe sviluppare un sistema di flusso, presumibilmente profondo, con direzione di circolazione da S a N.

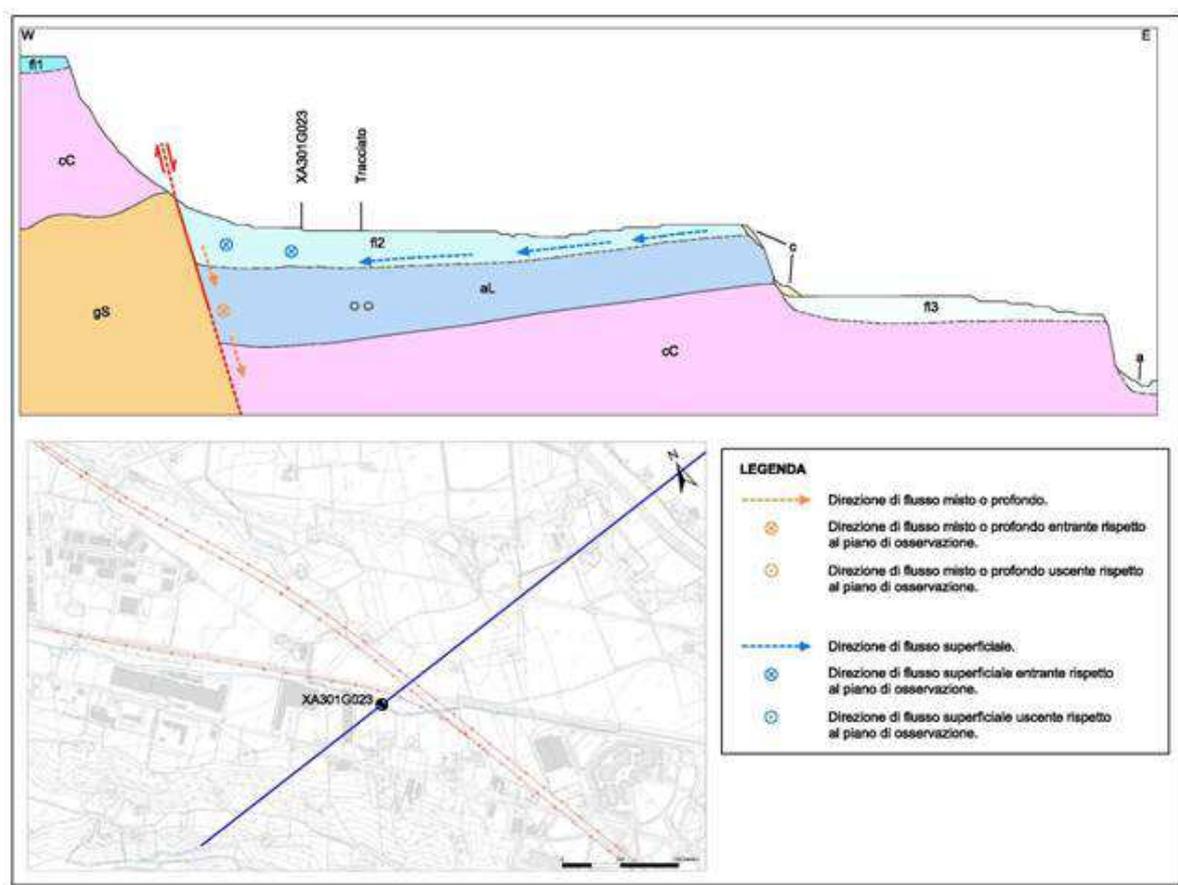


Figura 4-10. Sezione schematica perpendicolare al tracciato di linea in cui sono è possibile notare lo spessore dei depositi alluvionali medi (f12) e le linee di flusso principali, in arancione i sistemi di flusso misti o profondi e in azzurro i sistemi di flusso superficiali.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00
	Foglio 21 di 84

Per quanto riguarda le interferenze con le risorse idriche in superficie, nella tratta di galleria in esame sono presenti unicamente dei pozzi.

Nella prima parte della tratta la galleria si sviluppa in un contesto morfologico collinare o di transizione tra rilievo e pianura, in cui sono presenti degli acquiferi ospitati nella coltre quaternaria, sottili e di scarsa estensione laterale. Le analisi danno una pericolosità elevata per alcuni pozzi la cui localizzazione all'interno dei depositi quaternari al di sopra di una faglia diretta mentre sono ritenuti a pericolosità nulla i pozzi riconducibili a circolazione nella coltre quaternaria e senza nessuna evidente connessione con il substrato.

La seconda parte della tratta si sviluppa in un contesto di pianura in cui la falda è ospitata in un acquifero più potente, poggiate al di sopra del substrato, rappresentato da un mezzo poroso quale i depositi fluviali medi (fl2). In questo caso la problematica dell'interferenza tra le risorse idriche di superficie e lo scavo è strettamente legata alla metodologia di scavo utilizzata.

Lo scavo, secondo progetto, verrà realizzato con una TBM EPB che prevede due modalità di utilizzo: *open mode*, in cui si opera in condizioni drenate, e *closed mode* in cui lo scavo è sigillato e quindi non drenato. In condizioni di scavo non drenato non si prevedono problemi di interferenza con le risorse idriche di superficie per la mancanza di drenaggio da parte della galleria. A fini conservativi si è comunque ritenuto opportuno fornire una valutazione dell'impatto in condizione di scavo drenata, ovverosia ipotizzando uno scavo con EPB in modalità *open mode*.

D'altro canto anche uno scavo in condizioni *closed mode* in un settore di basse coperture, come quello in oggetto, potrebbe non scongiurare l'eventualità che si formino zone plastiche all'intorno della galleria con elevato grado di perturbazione del contesto geologico originario; in tal caso esisterebbe la possibilità che compaiano a tetto dello scavo zone con elevata permeabilità anche all'interno di formazioni per loro natura poco permeabili.

I tratti compresi tra le pk 32+875 - 33+000, tra le pk 33+850 - 33+959.95 e nell'intera tratta della WBS GN1BC ricadono nella casistica in cui lo spessore della copertura è minore di 10 m e la probabilità di connessione idraulica con la falda acquifera è più elevata, con possibilità di drenaggio da parte della galleria. Si è perciò ipotizzata, con ragionevole approssimazione, una pericolosità alta dei pozzi che ricadono sopra al tracciato, una pericolosità media per i pozzi che ricadono in una fascia di 50 m nell'intorno del tracciato, una pericolosità bassa in una fascia di 150 m e una pericolosità non rilevante oltre i 150 m.

Il tratto compreso tra la pk 33+000 e 33+850 ricade nella casistica in cui lo spessore della copertura è compreso tra 10 e 20 m, quindi con una probabile minore connessione idraulica con la falda acquifera e con la possibilità di drenare portate molto basse; si è perciò ipotizzata, una pericolosità media solo per i pozzi che ricadono sopra il tracciato, una pericolosità bassa per i pozzi che ricadono in una fascia di 50 m nell'intorno del tracciato e una pericolosità non rilevante oltre i 50 m.

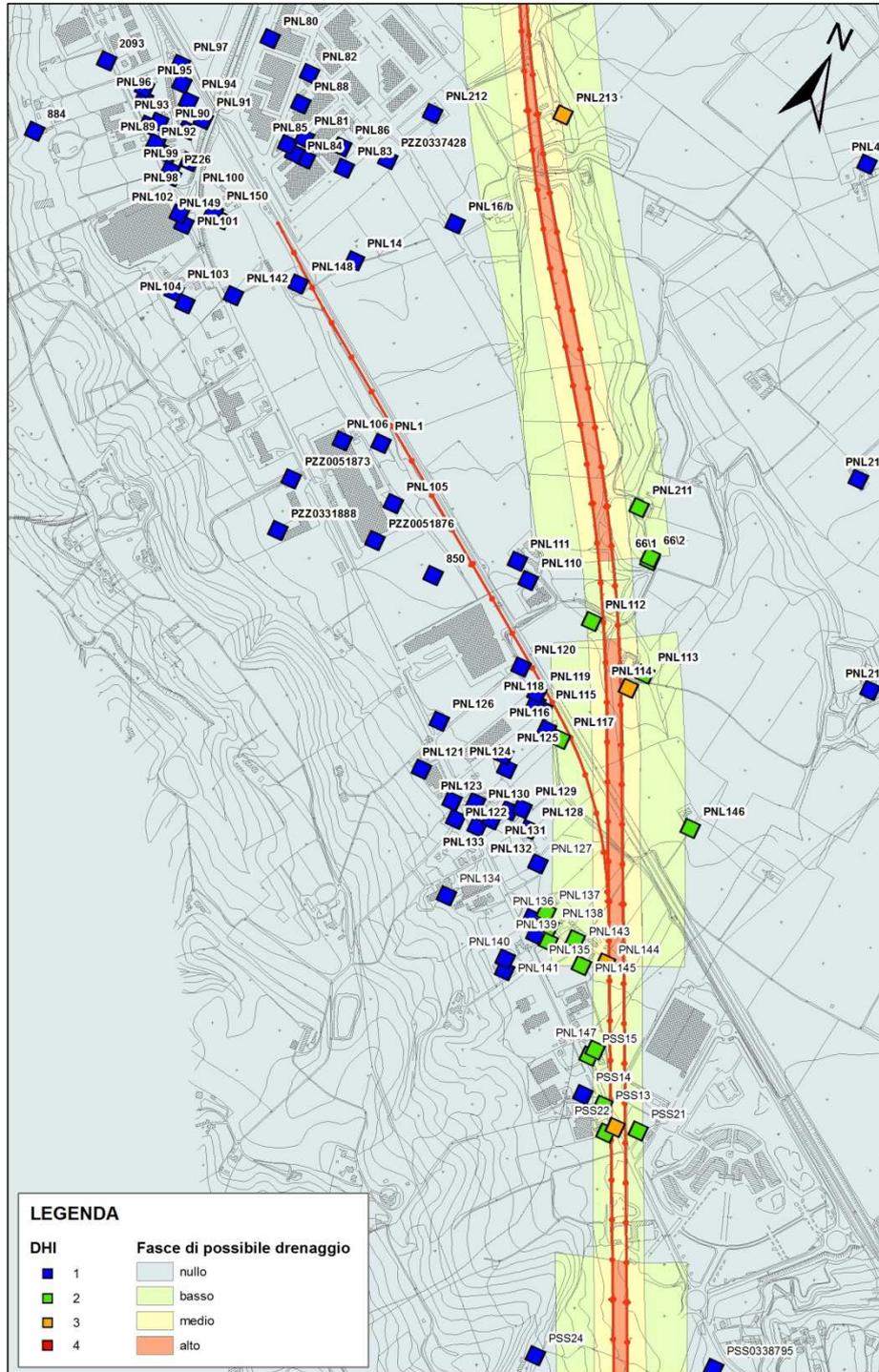


Figura 4-11. Schema delle fasce di probabilità di drenaggio da parte della galleria

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 23 di 84

4.3. Inquadramento Geotecnico

4.3.1. Formazione di Serravalle (aS)

La formazione in oggetto è costituita da alternanze irregolari di siltiti e arenarie ricche di bioclasti, in gruppi di strati di potenza plurimetrica, organizzati internamente in strati di spessore compreso tra 10 e 20 cm. I corpi arenacei mostrano geometria debolmente lenticolare a scala pluridecаметrica. Localmente sono presenti strati e gruppi di strati costituiti da quarzareniti passanti ad areniti ibride grossolane o microconglomeratiche a struttura caotica, con base e tetto netti, potenti mediamente 1 m e con continuità laterale chilometrica.

La formazione, attraversata nelle tratta compresa fra le pk 29+958 e 31+210, non presenta in linea generale intersezioni con discontinuità importanti. L'ammasso si presenta pertanto non fratturato, ad eccezione delle zone di attraversamento delle fasce tettonizzate (faglie) potenzialmente collocate alle pk 30+505/30+550 e 30+975/31+020, in corrispondenza delle quali è prevedibile un locale aumento dello stato di fratturazione dell'ammasso.

La caratterizzazione riportata nella specifica relazione riporta i parametri geomeccanici oltre che dell'ammasso medio scarsamente fratturato anche delle zone tettonizzate e delle zone in cui vi è transizione tra le Arenarie e le marne.

Formazione	γ	k	ν	UCS	σ_t	m_i	GSI	E_{RM}
	[kN/m ³]	[m/s]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[MPa]
<u>aS</u>	21/22	$10^{-7} / 10^{-9}$ (10^{-8})	0.30	5÷10 (7.50)	0.50 1.00	10÷13 (11)	40÷60 (50)	1200÷2800
<u>aS transizione/ contatto mA2</u>	20/21	$10^{-5} / 10^{-6}$ (ammasso detensionato superficiale)	0.30	2÷5 (3)			40÷60 (50)	500÷1500
<u>aS faglia</u>	21	$10^{-6} / 10^{-7}$	0.30	5÷10 (7.50)			30÷40 (35)	600÷1000

Tabella 4-2. Parametrizzazione geomeccanica per la formazione delle Arenarie di Serravalle (aS)

4.3.2. Marne di Sant'Agata

La formazione è costituita da sedimenti marnosi; in particolare, fino alla pk 32+545 ca. sarà interessata dallo scavo la porzione inferiore dell'unità (mA2), costituita da marne argillose passanti a marne calcaree omogenee di colore grigio a stratificazione mal distinta.

Oltre la pk 32+545, in linea approssimata, la galleria intercetterà, dapprima in calotta e progressivamente a tutta sezione (limitatamente al binario pari), la parte superiore della formazione (mA1), litologicamente distinta da quella inferiore (mA2), in quanto caratterizzata da un significativo aumento di intercalazioni pelitiche laminate di colore scuro, ricche in sostanza organica, sempre più frequenti verso l'alto.

La caratterizzazione riportata nella specifica relazione è incentrata in particolare sulle marne calcaree meno argillose (mA2) di cui si riportano in tabella le principali caratteristiche. Per quanto riguarda la parte più alterata della formazione (mA1), si assumono caratteristiche di resistenza pari ai valori inferiori dei range sopra individuati e un modulo elastico nell'intervallo

$$E_m = 100-200 \text{ MPa.}$$

Con riferimento all'ammasso entro la fascia tettonizzata, al contatto con il Membro di Riomaggiore, si assume ragionevolmente un range per l'indice GSI pari a 30-40 (valor medio indicativo pari a 35).

Formazione	γ	k	ν	UCS	σ_t	m_i	GSI	E_{RM}
	[kN/m ³]	[m/s]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[MPa]
<i>mA2</i>	19/20	$10^{-7} / 10^{-9}$	0.30	2÷5 (3)	0.50 1.00	5÷9 (7)	40÷45 (43)	500÷1200

Tabella 4-3. Parametrizzazione geo-meccanica per la formazione delle Marne di Sant'Agata (mA2)

4.3.3. Membro di Riomaggiore (gS)

Dal punto di vista litologico, il membro di Riomaggiore della Formazione Gessoso-Solfifera è costituito da argille, silti e subordinate arenarie con stratificazione centimetrica molto ben sviluppata e laminazione millimetrica, a cui si intercalano, in misura subordinata, depositi evaporitici rappresentati da livelli millimetrici di gesso cristallino e solo localmente da banchi pluridecimetrici di gesso laminato microcristallino e da gessoclastiti.

Si evidenzia la possibile presenza di livelli gessosi di potenza compresa tra 1-2 m e 8-10 m, concordanti con la stratificazione, a tessitura sia microcristallina, sia brecciata (gessoclastiti e gessoruditi a matrice siltoso-argillosa).

Si riporta nella seguente tabella il riepilogo dei parametri fisici e meccanici derivati dalla caratterizzazione geotecnica.

Formazione	γ	k	ν	ϕ	c'	E
	[kN/m ³]	[m/s]	[-]	°	[kPa]	[MPa]
<i>gS</i>	19/20	$(10^{-7})10^{-8} / 10^{-10}$ Faglia: $10^{-7} / 10^{-9}$	0.30	25-35 (30)	40-50 (45)	200-500

Tabella 4-4 – Parametrizzazione geotecnica per la formazione del Membro di Rigoroso (gS)

4.3.4. Formazione di Cassano Spinola (cC)

I Conglomerati di Cassano Spinola (cC), del Gruppo della gessoso-Solfifera, sono costituiti per la maggior parte da alternanze arenaceo-pelitiche e subordinatamente da corpi lenticolari di conglomerati.

Come evidenziato dall'analisi visiva e tattile delle carote disposte nelle cassette catalogatrici, la componente pelitica della formazione in esame è peraltro litologicamente assimilabile ai terreni che caratterizzano la formazione delle Argille di Lugagnano(aL); ciò che differenzia principalmente i due materiali è il livello di cementazione, mediamente più elevato nella componente pelitica della formazione cC - tanto da poter essere classificata come *marna argillosa*, rispetto alle *argille marnose* che caratterizzano la formazione aL.

I risultati della campagna indagini difatti mostrano come tale formazione geotecnicamente risulti assimilabile alla vicina formazione delle Argille di Lugagnano, di cui si possiedono più dati disponendo così di una caratterizzazione più completa. In particolare i risultati delle prove mostrano caratteristiche meccaniche per la formazione cC afferenti al range medio-basso della parametrizzazione delle Argille di Lugagnano e pertanto cautelativamente vengono caratterizzati con i parametri riportati in tabella.

FORMAZIONE	γ	k	v	ϕ	c'	E
	[kN/m ³]	[m/s]	[-]	°	[kPa]	[MPa]
<u>cC</u>	20÷21	10 ⁻⁶ ÷ 10 ⁻¹⁰	0.30	25÷30	10÷30	100÷200

Tabella 4-5 - Parametrizzazione geotecnica per la formazione dei Conglomerati di Cassano Spinola (cC)

4.3.5. Argille di Lugagnano (aL)

Le Argille di Lugagnano sono costituite da argille e argille siltose, localmente sabbiose-fini, di colore beige (zona di alterazione superficiale) o grigio-azzurro, a stratificazione mal distinta, localmente sottolineata da livelli con maggior contenuto in sostanza organica. Localmente si rinvencono livelli di arenarie e microconglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro.

L'analisi granulometrica per vagliatura restituisce il quadro di un terreno composto in prevalenza dalle componenti limose ed argillose: la determinazione dei limiti di consistenza qualifica l'unità del Lugagnano a cavallo tra le argille inorganiche di media/alta plasticità e i limi inorganici di media/ alta compressibilità e limi organici

Dall'elaborazione delle prove edometriche disponibili si individua un grado di sovraconsolidazione decrescente con la profondità. In particolare gli strati superficiali, fino a profondità di circa 15-20m risultano caratterizzati da un forte grado di sovraconsolidazione (OCR 3-4), mentre gli strati più profondi presentano valori di OCR tipici di argille debolmente sovraconsolidate, al limite tendente ad uno.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG5100ECVROGN0000016A00		Foglio 26 di 84

I parametri di resistenza forniti dalle prove non danno un reale aumento delle caratteristiche con la profondità, così come i parametri di deformabilità da prove dilatometriche. D'altro canto i risultati delle prove sismiche mostrano incrementi di velocità con l'aumentare della consistenza delle marne e conseguentemente anche aumenti di modulo elastico operativo, così come con la profondità aumentano i valori di coesione non drenata risultanti dalle prove.

Si riportano di seguito gli intervalli dei parametri della formazione delle Argille di Lugagnano.

Formazione	γ	k	ν	ϕ	c'	C_u	E	OCR
	[kN/m ³]	[m/s]	[-]	°	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[-]
<u>aL</u>	19.50-20.50	$10^{-8} / 10^{-10}$	0.30	21÷30	20÷100	400-600	80÷250	3-4 fino a 15/20m 1-3 oltre 20m

Tabella 4-6 - Parametrizzazione geotecnica per la formazione delle Argille di Lugagnano (aL)

In via cautelativa ai fini progettuali, il range che caratterizza la formazione nei calcoli è suddiviso in due gruppi, andando ad attribuire valori minimi e medi allo strato più superficiale (dai 7-10 fino ai 15-20m) e i valori medi massimi allo strato più profondo, in accordo anche con le prove geofisiche e le stratigrafie di sondaggio che mostrano un passaggio da argille e argille marnose consistenti ad argille molto consistenti e a marne argillose.

4.3.6. Depositi fluviali medi (f12)

I depositi fluviali riferiti a questa unità sono ubicati in corrispondenza dell'ampio terrazzo di Novi Ligure, sospeso di 25-45 metri rispetto all'alveo del T. Scrivia e che si estende da Serravalle Scrivia a Pozzolo Formigaro in sinistra idrografica del T. Scrivia.

Le indagini condotte per la formazione in esame hanno mostrato che i depositi alluvionali si presentano secondo due differenti composizioni granulometriche: una con prevalente carattere grossolano, classificabile come ghiaia sabbiosa e ghiaia sabbiosa-limosa, e una con granulometria più fine, identificabile come limo sabbioso-argilloso. Non c'è una chiara evidenza geotecnica nella tratta in esame che possa far propendere per una unità specificatamente grossolana o fine: nella gran parte della tratta si nota una alternanza tra strati di limo sabbioso, a componente maggiormente fine, e spessori anche metrici di ghiaia grossolana in matrice limoso-sabbiosa.

Si riporta nella seguente tabella il riepilogo dei parametri fisici e meccanici derivati dalla caratterizzazione geotecnica.

FORMAZIONE	γ	k	ν	ϕ	c'	E
	[kN/m ³]	[m/s]	[-]	°	[kPa]	[MPa]
<u>f12</u>	18÷19	$10^{-5} \div 10^{-7}$	0.30	29÷35	5÷15	20÷50

Tabella 4-7 - Parametrizzazione geotecnica per la formazione dei Depositi Fluviali Medi (f12)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 27 di 84

5. CRITICITA' GEOLOGICHE E DESCRIZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI PREVISTE

Il presente capitolo costituisce una sintesi delle problematiche geologiche e idrogeologiche riportate nella specifica Relazione e dei risultati emersi dalle analisi svolte e riportate in Relazione di Calcolo. Per ogni contesto geomeccanico tipico, identificato con le differenti formazioni comprese lungo la tratta, vengono delineate le modalità operative per l'esecuzione dello scavo meccanizzato.

Si riporta infine una tabella riepilogativa di tutta la tratta di galleria scavata in fresa.

5.1. Settore collinare

5.1.1. Sintesi del contesto geo-meccanico

Il settore di galleria compreso fra l'imbocco sud e la progressiva 32+200 (binario dispari) si colloca in un contesto morfologico collinare, con coperture comprese fra i 30 e 130 m. Nella tratta compresa fra le pk 29+958 e 31+210 l'opera attraversa la formazione delle Arenarie di Serravalle, la quale non presenta in linea generale intersezioni con discontinuità importanti. L'ammasso si presenta pertanto non fratturato, ad eccezione delle zone di attraversamento delle fasce tettonizzate (faglie) potenzialmente collocate alle pk 30+505/30+550 e 30+975/31+020, in corrispondenza delle quali è prevedibile un locale aumento dello stato di fratturazione dell'ammasso. Alla pk 31+210 interviene il contatto con le Marne di Sant'Agata Fossili, costituite in prevalenza da sedimenti marnosi; in particolare, nel settore in esame, sarà interessata dallo scavo la porzione inferiore dell'unità (mA2), costituita da marne argillose passanti a marne calcaree omogenee di colore grigio a stratificazione mal distinta.

In tale settore il grado di permeabilità atteso per l'ammasso al di fuori delle fasce tettonizzate, ovvero per la gran parte della tratta, è da molto basso a basso con corrispondente connettività ridotta. I carichi idraulici stimati prevedono una notevole variabilità, in relazione alla topografia del versante; in corrispondenza delle massime coperture si attendono battenti massimi nell'ordine dei 100 m. Il modesto grado di permeabilità determina tuttavia, pur in presenza di notevoli carichi idraulici, delle portate massime transitorie stimate in 0.16-0.4 l/s/10m. Condizioni analoghe sono attese nel tratto da scavarsi entro le Marne di Sant'Agata Fossili: i carichi idraulici in questo settore sono stimati variabili da 0 a 80m, tuttavia i litotipi marnosi mA1/mA2 non sembrano in grado di ospitare una falda significativa, per cui il carico idraulico potenzialmente agente a livello galleria può subire riduzioni rispetto alla piezometrica teorica, da cui l'entità limitata portate massime transitorie (inferiori a 0.16 l/s/10 m).

Nelle Arenarie di Serravalle è previsto il possibile attraversamento di due fasce tettonizzate poste alle pk 30+550/30+595 e pk 30+995/31+040. In tali passaggi si attende una maggiore permeabilità dell'ammasso, proporzionale alla maggiore densità di fratture entro le damage-zones delle faglie, cui si associa la presenza di venute d'acqua con portate massime transitorie sino a 0.4 - 2 l/s/10 m per la faglia posta alla pk 30+550, anche in relazione all'orografia in superficie propria della zona di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 28 di 84

recapito di due versanti. I carichi idraulici connessi alle suddette fasce tettonizzate (pk 30+550/30+595 e pk 30+995/31+040) sono stimabili rispettivamente nei range 20/40 m e 50/80 m.

Nel settore collinare in esame, gli acquiferi sono ospitati nella coltre quaternaria, di scarsa estensione laterale e senza interconnessione con il substrato interessato dallo scavo a notevoli profondità. I pozzi che captano entro tale acquifero non presentano rischio isterilimento mentre un livello di pericolosità più significativo (da medio ad elevato) è associato ai pozzi localizzati entro i suddetti depositi quaternari ma in corrispondenza delle zone di recapito delle fasce tettonizzate precedentemente citate. Si è infatti ipotizzato che la falda superficiale sia in equilibrio con quella profonda, potenzialmente interferita dalla galleria.

Alla luce delle permeabilità attese per l'ammasso e dalle analisi effettuate si rileva pertanto che:

- lo scavo con fresa al di fuori delle fasce tettonizzate, ovvero per la maggior parte del settore collinare, avviene, anche per velocità di avanzamento limitate, in condizioni non drenate dell'ammasso; il battente idrico, potenzialmente significativo, non induce quindi particolare problematiche, generando manifestazioni idriche che, per il grado di chiusura dell'ammasso, non arrecano particolari problematiche per la conduzione dell'avanzamento in modalità aperta;
- lo scavo con fresa nelle due zone tettonizzate potenzialmente presenti entro la formazione delle Arenarie di Serravalle, si sviluppa in condizioni non drenate limitatamente alla condizione di mantenimento di elevate produzioni e quindi velocità di avanzamento importanti. Il range di permeabilità in faglia si colloca infatti nella zona limite per il passaggio da comportamento durante lo scavo da condizioni non drenate a drenate, in relazione alla velocità di avanzamento della fresa.

5.1.2. Modalità di avanzamento e soluzioni tecniche di presidio

Con riferimento a contesti geomeccanici di ammasso al di fuori delle fasce tettonizzate, sia per le Arenarie di Serravalle che per le Marne di Sant'Agata, le analisi condotte tramite curve caratteristiche e simulazioni numeriche con software alle differenze finite, hanno evidenziato condizioni del fronte da stabile a stabile a breve termine.

Nelle suddette condizioni si prevede pertanto la possibilità di avanzare con fresa in modalità aperta; il comportamento tenso-deformativo dell'ammasso ed i limitati livelli di pressioni di contatto sullo scudo, escludono in questa fase la necessità di approntare extra-scavi permanenti sul diametro nominale della testa fresante.

Le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso compreso nelle zone tettonizzate, in particolare entro le fasce di danneggiamento, non compromettono in maniera significativa le condizioni di stabilità del fronte di scavo, anche per effetto delle coperture coinvolte. Il fronte di scavo, con copertura di 90 m, esibisce infatti un comportamento che rientra al più nella categoria B. Si evidenzia a questo proposito che la risposta dell'ammasso è stata valutata considerando sia i parametri geomeccanici minimi nel range determinato in sede di caratterizzazione geotecnica.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 29 di 84

L'avanzamento sotto tali condizioni potrà quindi essere effettuato in modalità aperta: come presidio ulteriore a garanzia della stabilità del fronte e della limitazione di eventuali effetti deformativi a piano campagna, specie nel sotto-attraversamento del fondo valle alla pk 30+565, si potrà attuare la modalità di avanzamento in semi-aperto (livello dello smarino in camera di scavo corrispondente al piano dei centri). Tale opzione consentirà inoltre di gestire più efficacemente l'eventuale ingressione di acqua in camera di scavo, qualora si manifestino afflussi idrici più consistenti (si attendono afflussi massimi nel range 0.4 - 2 l/s/10 m, limitatamente alla fascia tettonizzata in corrispondenza del fondo valle posto alla pk 30+565). Qualora si evidenzino, nel corso del monitoraggio preventivo e in corso d'opera, elementi di criticità relativi al rischio isterilimento dei pozzi posti in tale contesto, anche in relazione alle produzioni attese nella tratta specifica, sarà valutata l'opportunità di avanzare in modalità chiusa.

In caso di fermo macchina nell'ambito delle suddette fasce tettonizzate e in corrispondenza delle massime coperture entro la formazione delle Marne di Sant'Agata, supposte di qualità geomeccanica scadente (parametri meccanici minimi nel range ipotizzato in sede di caratterizzazione), potranno prevedersi interventi e/o provvedimenti finalizzati a garantire la stabilità del fronte di scavo, in condizione di lungo termine (comportamento drenato dell'ammasso). Essi potranno consistere nell'imposizione di una determinata contropressione di terra in camera di scavo (sino a 2.0-2.5 bar per la faglia attesa alle massime coperture entro le Arenarie di Serravalle) o nell'approntamento di interventi di consolidamento, realizzati in avanzamento dalla fresa stessa (soluzione da considerarsi limite per la tipologia di intervento). Scopo della predisposizione di tali interventi è appunto la limitazione del detensionamento dell'ammasso e la formazione di fasce plastiche eccessivamente estese, cui si lega peraltro la necessità di conservare una struttura quanto più chiusa per la roccia al contorno che limiti i fenomeni di filtrazione a medio-lungo termine. La verifica sul valore di pressione in camera di scavo è stata appunto condotta, nell'ipotesi più gravosa di fermo macchina in contesto tettonizzato, secondo il criterio di stabilità del fronte di Anagnostou-Kovari (cfr par.11.4).

In relazione all'affidabilità della ricostruzione geologica/geotecnica alle profondità interessate nel settore in disamina, si suggerisce di allestire la macchina con i seguenti dispositivi e sistemi:

- Strumentazione finalizzata all'esecuzione di indagini di tipo geofisico in avanzamento (georadar);
- Dispositivi per la realizzazione di perforazioni in avanzamento sia al fronte che al contorno di scavo, allo scopo di conseguire con metodo diretto il dato geo-meccanico sulle formazioni da attraversare;

La possibilità di realizzare le perforazioni al contorno del cavo consentirà inoltre di predisporre, qualora necessario, la coronella di consolidamento in calotta.

5.1.3. Condizioni di esercizio

Le verifiche statiche condotte sull'anello confermano che la capacità strutturale dei conci in cemento armato consente di sostenere il battente idrostatico massimo previsto lungo la tratta, coerentemente

con la ricostruzione dell'assetto idrogeologico. È comunque prevista l'opportunità di utilizzare localmente sezioni drenanti (vedi schema in Figura 5-1), al fine di mitigare la pressione idraulica al contorno qualora dovesse raggiungere nei punti più critici, per effetto di elevate zone plasticizzate nell'intorno del cavo unitamente a zone caratterizzate da elevata fratturazione, le condizioni limite progettuali previste dalle guarnizioni adottate.

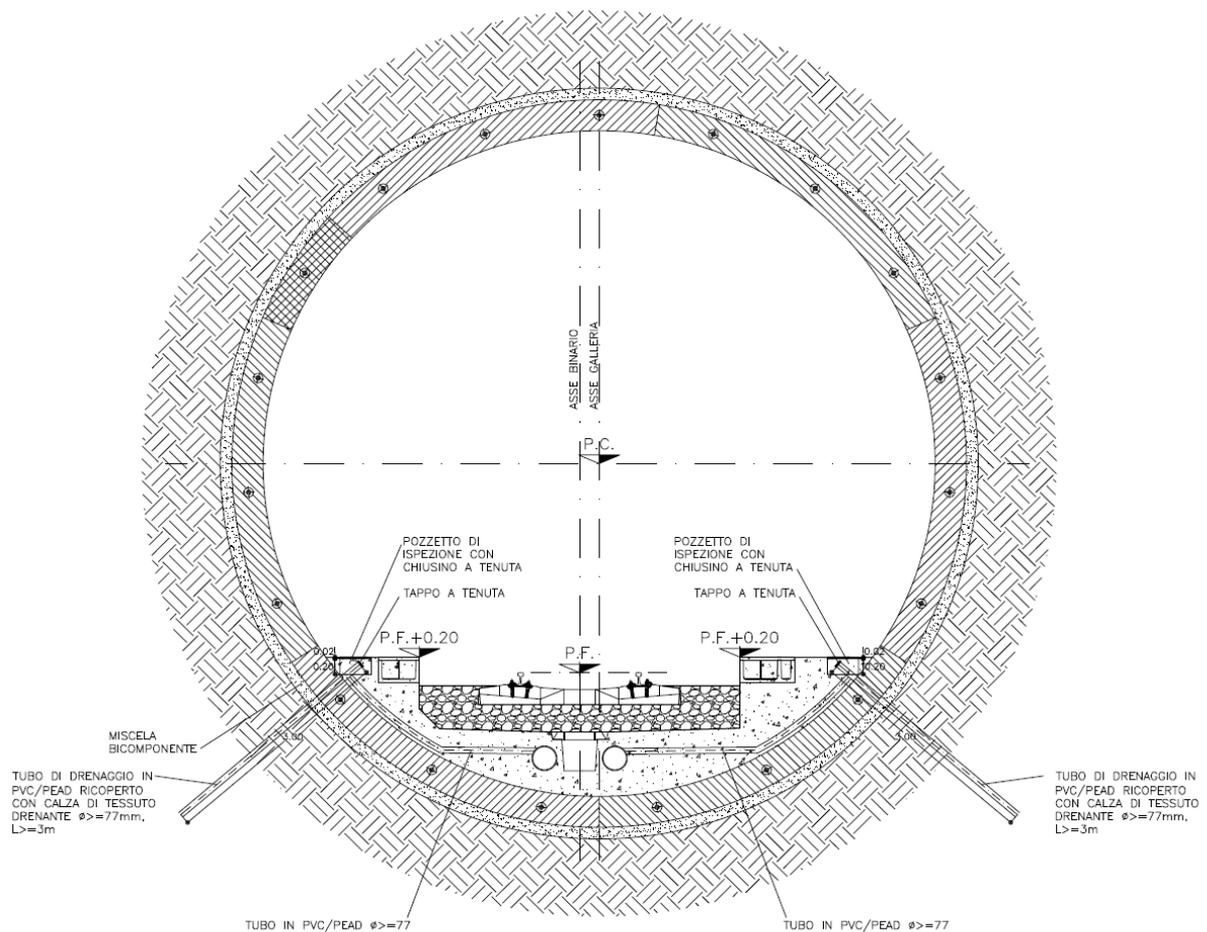


Figura 5-1. Schema sezione drenante

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 31 di 84

5.2. Settore di pianura

5.2.1. Sintesi del contesto geo-meccanico

Oltre la pk 32+200/32+300 l'opera interessa il settore di pianura costituito dall'ampio terrazzo di Novi Ligure, sospeso di 25-45 metri rispetto all'alveo del T. Scrivia ed esteso da Serravalle Scrivia a Pozzolo Formigaro in sinistra idrografica del T. Scrivia. Lo scavo incontra in successione le seguenti formazioni: Marne di Sant'Agata, in particolare la parte finale delle marne consistenti che passano poi progressivamente agli strati meno competenti delle mA1, Membro di Riomaggiore, Conglomerati di Cassano Spinola e Argille di Lugagnano.

Le Marne di Sant'Agata, già descritte nel settore collinare, hanno uno strato superficiale (mA1) di argille marnose caratterizzato da un significativo aumento di intercalazioni pelitiche laminate di colore scuro, ricche in sostanza organica.

Dal punto di vista litologico, il Membro di Riomaggiore della Formazione Gessoso-Solfifera è costituito da argille, siltiti e subordinate arenarie con stratificazione centimetrica molto ben sviluppata e laminazione millimetrica, a cui si intercalano, in misura subordinata, depositi evaporitici rappresentati da livelli millimetrici di gesso cristallino e solo localmente da banchi pluridecimetrici di gesso laminato microcristallino e da gessoclastiti.

I Conglomerati di Cassano Spinola, del Gruppo della gessoso-Solfifera, sono costituiti per la maggior parte da alternanze arenaceo-pelitiche e subordinatamente da corpi lenticolari di conglomerati. I livelli arenacei sono potenti da qualche decimetro a 2-3 m, risultano omogenei o gradati e sono caratterizzati da laminazioni piano-parallele, oblique, ondulate e/o convolute. Le intercalazioni pelitiche sono in genere potenti da pochi centimetri a 1 m circa e corrispondono a intervalli compositi, costituiti da alternanze ritmiche di strati centimetrico-decimetrici di argille omogenee, strati centimetrici di siltiti e/o strati millimetrico-centimetrici di areniti fini. I corpi conglomeratici, nel settore interessato dall'opera possono raggiungere i 2-3 m di spessore e mostrano un'estensione laterale variabile intorno alla decina di metri. Si tratta di conglomerati clast-supported, con matrice sabbiosa, a ciottoli centimetrico-decimetrici, passanti lateralmente ad areniti medie e grossolane con stratificazione mal definita.

Le Argille di Lugagnano sono costituite da argille e argille siltose, localmente sabbiose-fini, di colore beige (zona di alterazione superficiale) o grigio-azzurro, a stratificazione mal distinta, localmente sottolineata da livelli con maggior contenuto in sostanza organica. Localmente si rinvencono livelli di arenarie e micro-conglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro.

Al di sopra del substrato costituito dalle suddette formazioni si estendono i depositi quaternari fluviali medi (f12), costituiti da ghiaie sabbioso-limose debolmente argillose.

La tratta è sostanzialmente omogenea dal punto di vista idrogeologico, fatta eccezione per le seguenti singolarità geologiche/geomorfologiche comprese entro la fascia posta fra le pk 32+900/32+975:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 32 di 84

- possibile paleoalveo sepolto, che porta le alluvioni sature del Fluviale Medio a comparire in calotta, con conseguenti problemi legati sia alla presenza di acqua, sia alla presenza di depositi quaternari sciolti.
- zona di faglia con associata damage zone e con possibili litotipi scadenti e zone di dissoluzione: in particolare le lenti di gesso incluse nella formazione in disamina (banchi pluridecimetrici di gesso laminato microcristallino e gessoclastiti) potrebbero essere affette da dissoluzione carsica con sviluppo di cavità e/o causare la formazione di zone geotecnicamente scadenti e sacche d'acqua chimicamente aggressiva intrappolate.

L'unico acquifero omogeneo e potenzialmente significativo è rappresentato in questa tratta dai depositi alluvionali del Fluviale Medio (fl2), mentre i litotipi costituenti il substrato non sembrano rappresentare un acquifero degno di nota. In tale contesto, la problematica dell'interferenza tra le risorse idriche di superficie e lo scavo è strettamente legata alla metodologia di scavo utilizzata. Stanti le caratteristiche di permeabilità delle unità attraversate, costituenti nella maggior parte delle situazioni degli orizzonti idraulicamente isolati rispetto all'acquifero ospitato nei depositi alluvionali quaternari, si riconduce il rischio isterilimento dei pozzi alla presenza di possibili fasce di drenaggio attorno al cavo, associate all'eventualità che si sviluppino zone plastiche significative al contorno della galleria, pur essendo realizzato lo scavo con tecnologia TBM-EPB in closed mode (contropressioni di terra applicate al fronte). Si delinea pertanto un rischio elevato esclusivamente per i pozzi che ricadono sopra il tracciato e che sono compresi nelle tratte con coperture inferiori ai 10 m (da cui la probabilità più elevata della connessione idraulica fra substrato e i depositi quaternari).

5.2.2. Modalità di avanzamento e soluzioni tecniche di presidio

L'esito delle analisi di stabilità del fronte di scavo condotte in corrispondenza di tutte le sezioni rappresentative per la tratta in esame, unitamente alla criticità delle condizioni al contorno, sia per quanto concerne le preesistenze in superficie (aree urbanizzate, fabbricati, viabilità, linea ferroviaria) sia per l'inevitabile interferenza con l'equilibrio idrogeologico del contesto attraversato (perturbazione dell'acquifero rappresentato dai depositi alluvionali, specie alle minori coperture ed in corrispondenza di paleoalvei sepolti, interferenza con gli specchi d'acque situati lungo il margine del terrazzo fluviale dello Scrivia), impongono, per tutta la tratta, il ricorso a modalità di avanzamento al chiuso per la fresa TBM-EPB.

Sono state condotte specifiche analisi volte alla definizione dei valori massimali per le contropressioni di terra entro la camera di scavo, nell'ambito del settore di galleria posto oltre la pk 32+300. Tale range di pressioni è stato calcolato assumendo, quale condizione operativa limite, il completo bilanciamento delle pressioni litostatiche orizzontali in situ, alla profondità del fronte di scavo. Tale stato tensionale è ottenuto sommando il contributo delle pressioni efficaci orizzontali e delle pressioni interstiziali associate alla falda freatica ospitata nella coltre alluvionale, nell'ipotesi più gravosa secondo la quale si instaura una connessione idraulica fra substrato e alluvioni per effetto della propagazione della plasticizzazione dal contorno del cavo sino al contatto con i depositi quaternari (detensionamento dell'ammasso).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 33 di 84

L'andamento delle contropressioni di terra in camera di scavo (alle quote della testa e della base) è definito e riportato in Relazione di Calcolo. Le pressioni massime previste in testa alla camera di scavo si mantengono tendenzialmente al di sotto dei 3.5 bar, con locali aumenti limitati a 3.7 bar nel settore compreso fra le pk 33+800-34+000.

Si rimanda quindi alla specifica relazione per i calcoli con cui sono stati definiti i range massimi di pressione attesi e al profilo geomeccanico per gli intervalli di progetto.

In relazione di calcolo sono riportati inoltre gli andamenti delle pressioni massime attese in camera di scavo (valor medio equilibrante lo stato tensionale in quiete oltre il fronte di scavo), delle pressioni massime di contatto attese sullo scudo della fresa.

Al scopo di fornire una valutazione circa la compatibilità della tecnologia TBM-EPB con le caratteristiche fisiche delle formazioni costituenti il substrato, si è attuata l'analisi delle curve granulometriche rappresentative dei terreni attraversati in relazione ai campi di applicazione delle tecniche di condizionamento dei terreni al fronte ed all'interno della camera di scavo. Si propongono a seguire, nell'ordine:

- Curve granulometriche disponibili per le formazioni delle Marne di Sant'Agata Fossili (mA2/mA1), Conglomerati di Cassano Spinola, Argille di Lugagnano;
- Curve granulometriche riferite alle sole formazioni delle Marne di Sant'Agata Fossili (mA2/mA1), Conglomerati di Cassano Spinola (per chiarezza espositiva, non sono rappresentate le curve riferite alle Argille di Lugagnano).
- Curve granulometriche disponibili per tutte le formazioni attraversate nel tratto di pianura della Galleria Serravalle, con indicazione, nella medesima carta, dei fusi tipici di applicazione delle differenti tecniche di condizionamento del materiale in camera di scavo.

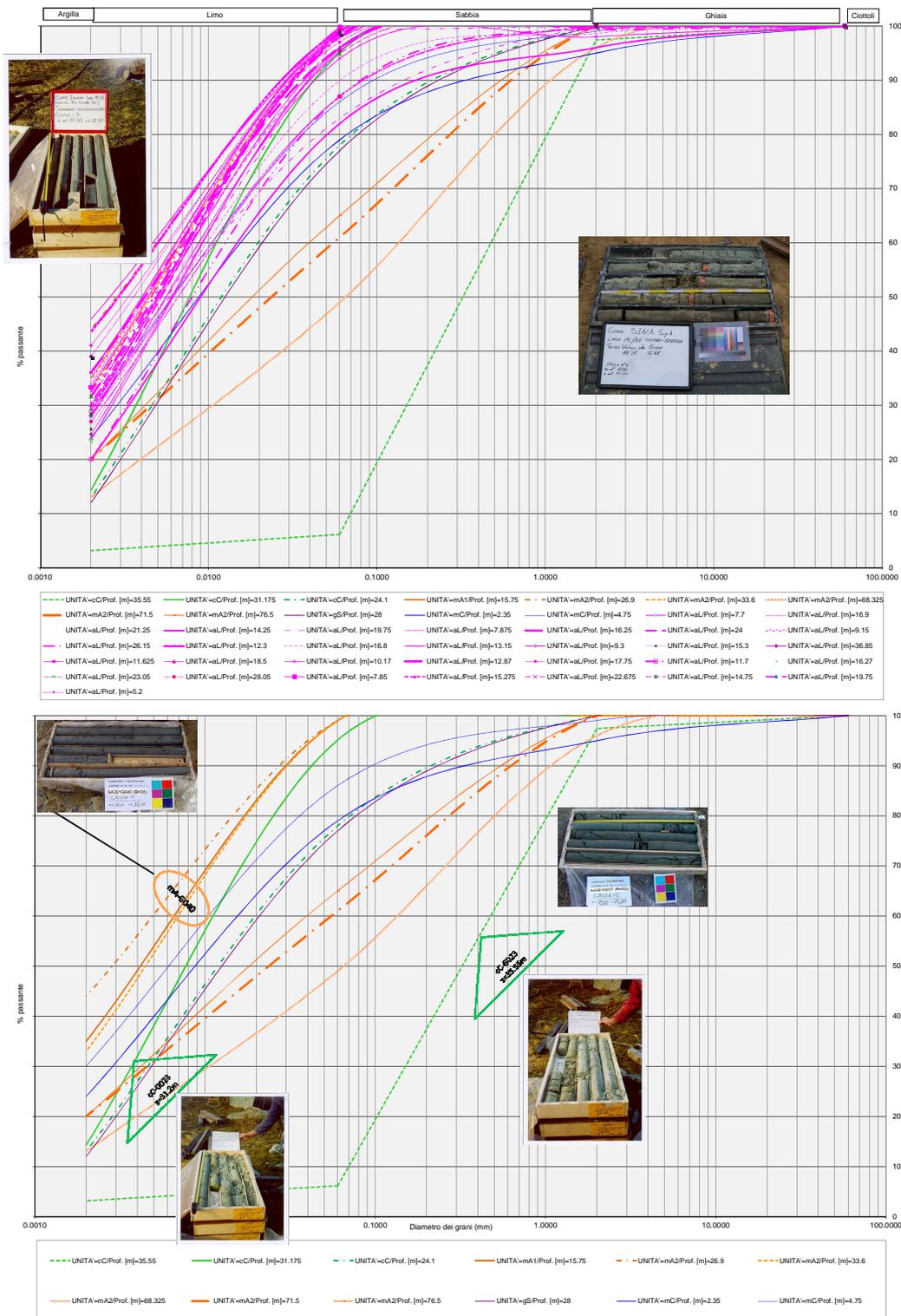


Figura 5-2. Curve granulometriche relative alle formazioni attraversate nel tratto di pianura della galleria Serravalle (con indicazione dei sondaggi geognostici di pertinenza)

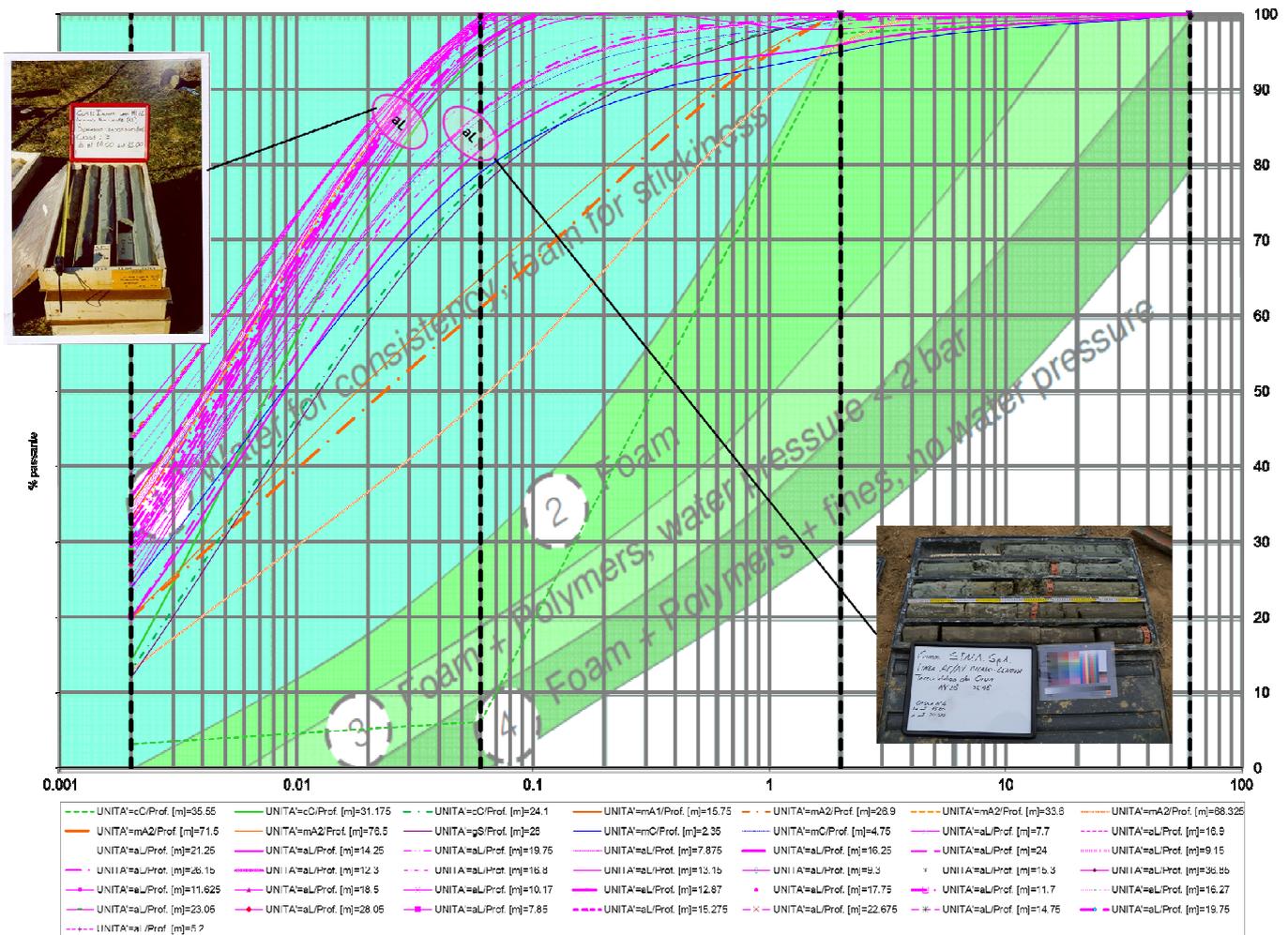


Figura 5-3. Curve granulometriche relative alle formazioni attraversate nel tratto di pianura della galleria Serravalle, con indicazione, nella medesima carta, dei fusi tipici di applicazione delle differenti tecniche di condizionamento del materiale in camera di scavo.

In merito alle modalità di condizionamento dei terreni da scavarsi nel tratto di pianura, è possibile delineare un primo quadro generale:

- Argille di Lugagnano, Marne di Sant'Agata Fossili: i terreni saranno condizionati con iniezione di acqua in camera di scavo, al fine di ottenere livelli di consistenza del muck compatibili con l'ideale gestione dello stesso (estrazione dalla camera), e l'impiego di schiume per limitare l'adesione dei materiali argillosi su superfici ed utensili di scavo. (stickiness)

Per tali formazioni è stato infatti determinato, tramite le usuali correlazioni con le caratteristiche di plasticità (I_c e I_p) un potenziale di *clogging medio-alto*. Il cosiddetto effetto clogging costituisce il blocco della testa di scavo / coclea di estrazione, a seguito del

fenomeno di adesione del muck (a componente prevalentemente argillosa) sugli elementi delle testa della fresa e alle varie parti metalliche della macchina (coclea).

In particolare un rischio clogging elevato è associato al settore di attraversamento dell'unità superiore delle Marne di Sant'Agata Fossili, mentre nell'unità basale mA2 e nelle Argille di Lugagnano si evidenzia un potenziale di livello medio.

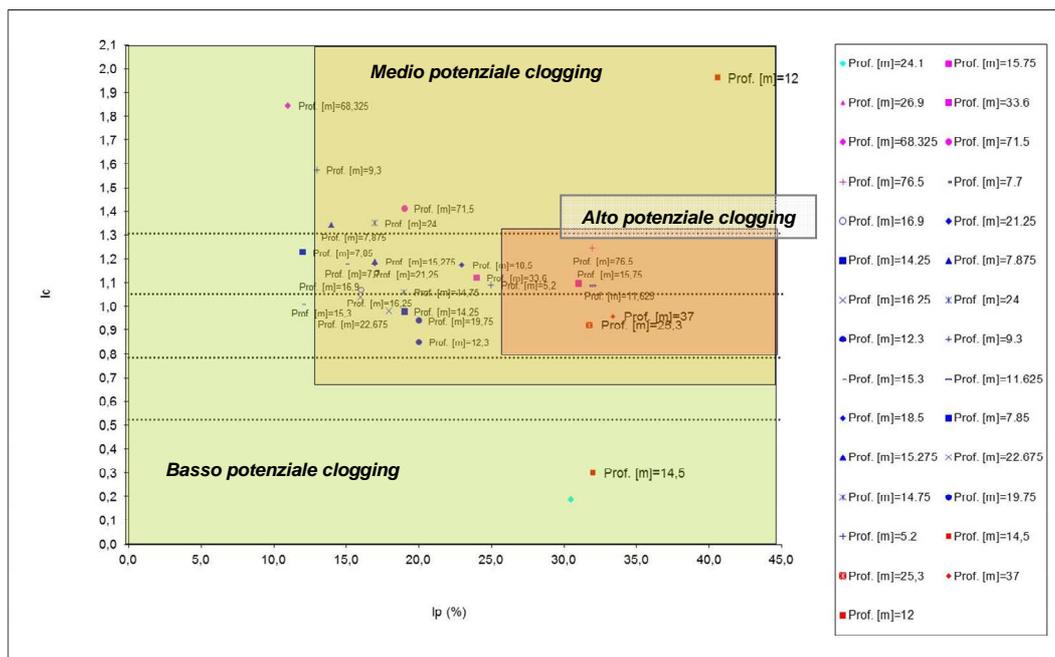


Figura 5-4. Carta del Potenziale Clogging – formazioni comprese nel settore di pianura della Galleria Serravalle

- **Conglomerati di Cassano Spinola:** laddove predomina la componente sabbiosa caratterizzante tale unità richiede oltre al comune impiego di schiume, il ricorso a polimeri per tarare la consistenza del materiale e compensare il deficit in termini di comportamento coesivo del terreno naturale. Particolare attenzione dovrà essere posta sulla resa del condizionamento qualora si debbano affrontare tratte interessate da acque di falda con pressioni interstiziali superiori a 2 bar. Non sussistono nelle zone a prevalenza facies arenaceale condizioni perché vi sia un rischio clogging (potenziale basso), diversamente dalle zone in cui la facies pelitica si rende difficilmente distinguibile dalla attigua formazione delle Argille di Lugagnano.
- **Membro di Riomaggiore:** si prevede una gestione del materiale in camera di scavo in linea con quanto espresso relativamente alla sottostante formazione delle Marne di Sant'Agata fossili. Anche per questa formazione si rileva un rischio clogging medio.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 286"> <tr> <td>Foglio 37 di 84</td> </tr> </table>	Foglio 37 di 84
Foglio 37 di 84		

Si suggerisce, anche per tale tratta, di allestire la macchina con i seguenti dispositivi e sistemi:

- Strumentazione finalizzata all'esecuzione di indagini di tipo geofisico in avanzamento (georadar);
- Dispositivi per la realizzazione di perforazioni in avanzamento sia al fronte che al contorno di scavo, allo scopo di conseguire con metodo diretto il dato geo-meccanico sulle formazioni da attraversare;

La possibilità di realizzare le perforazioni al contorno del cavo consentirà inoltre di predisporre, qualora necessario, una coronella di consolidamento in calotta.

5.2.3. Condizioni di esercizio

Le verifiche statiche condotte sull'anello di conci prefabbricati confermano che la capacità strutturale dei conci in cemento armato consente di sostenere il battente idrostatico massimo previsto allo stato attuale della ricostruzione dell'assetto idrogeologico.

Si evidenzia, quale elemento di criticità per la durabilità dei rivestimenti definitivi, la possibile presenza all'interno del Membro di Riomaggiore di livelli gessosi soggetti a fenomeni di dissoluzione specie se in presenza di strutture tettoniche, con rischio di formazione di sacche di acque aggressive nei confronti dei calcestruzzi, da cui la definizione di una classe di esposizione XS2 nell'ambito delle tratta da scavarsi entro tale formazione.

5.3. Fronte di scavo misto

Come descritto in precedenza, lungo il tracciato si incontreranno fronti di scavo misti, caratterizzati da un possibile contrasto di permeabilità e/o di comportamento geotecnico.

Le zone di contatto tra le diverse formazioni sono localizzate tra le pk:

- 31+200 – 31+265: contatto aS (siltiti e arenarie) / mA2 (marne);
- 32+690 – 32+710: contatto per faglia mA2 (marne) / gS (argille + siltiti + arenarie ± gessi), con materiale di faglia e materiale residuale da dissoluzione, cavità carsiche;
- 33+230 – 33+500: contatto gS (argille + siltiti + arenarie ± gessi) cC (arenarie + peliti ± conglomerati);
- 33+730 – 34+360: contatto cC (arenarie + peliti ± conglomerati) / aL (argille marnose).

In particolare i contatti gS/cC e cC/aL interessano una tratta in condizioni di fronte misto di notevole lunghezza, data la debole inclinazione della stratificazione e dei contatti stessi.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5100ECVROGN0000016A00</p> <p>Foglio 38 di 84</p>

5.4. Fresabilità

L'usura utensili è attesa nello scavo della galleria Serravalle in particolar modo nel settore collinare nelle formazioni delle Arenarie e nelle Marne di Sant'Agata, mentre di tale problematica è prevista in misura minore nel tratto di pianura. Si rimanda alla relazione geotecnica per una completa disamina della problematica.

5.5. Aggressività dei terreni nei confronti delle strutture in esercizio

La presenza di lenti di gessi all'interno del membro di Riomaggiore della Gessoso-Solfifera, potrebbe determinare, in corrispondenza delle zone di faglia, la comparsa di cavità da dissoluzione carsica e fenomeni di circolazione di acque chimicamente aggressive nei confronti del calcestruzzo. Laddove tale problematica è evidenziata si prevede l'utilizzo di calcestruzzo con classe di esposizione XA2.

FRESA GALLERIA DI SERRAVALLE									
WBS	P. K. (circa)	FORMAZIONE GEOLOGICA	COPERTURA	CARICO IDRAULICO	PERMEABILITA' (prevalente)	FRONTE APERTO/CHIUSO	EXTRASCAVO	NOTE	
GN1CA	da 30+000 a 30+550	Formazione di Serravalle (aS)	da 30m (circa) fino a 115m (circa)	da 0m (circa) a 100m (circa)	< 10 ⁻⁸ m/s	Fronte aperto	Extrascavo nominale sufficiente	Potranno essere eseguiti interventi di consolidamento al fine di migliorare la stabilità del fronte ed è possibile si scavi in modalità chiusa (contropress. pari a 2.2-2.5 bar) per la faglia presente alle massime coperture.	
	da 30+550 a 30+595		25m (circa)	20m (circa) - 40m (circa)	10 ⁻⁶ m/s - 10 ⁻⁷ m/s	Fronte semiaperto (livello dello smarino in camera di scavo corrispondente al piano dei centri)	Extrascavo nominale sufficiente		
GN1CA	da 30+995 a 31+040	Formazione di Serravalle (aS) faglia	90m (circa)	80m (circa)				Possibili interventi di consolidamento al fronte in corrispondenza delle massime coperture. Si impiegano schiume per prevenire possibili fenomeni di clogging.	
	da 31+250 a 32+200		de 30m (circa) a 80m (circa)	de 60m (circa) a 40m (circa)	< 10 ⁻⁸ m/s	Fronte aperto	Extrascavo nominale sufficiente		
GN1CA	da 32+200 a 32+700	Marne di Sant'Agata (mA2)	20 m (circa)	da 0m a 10m (circa)	< 10 ⁻⁸ m/s	Fronte chiuso	Extrascavo nominale sufficiente	La pressione massima in fase di scavo è compresa nell'intervallo tra 2.4 bar e 3.8 bar. Si impiegano schiume per prevenire possibili fenomeni di clogging.	
GN1CA	da 32+700 a 33+400	Membro di Riomaggiore (gS)	30m (circa)	da 0 m a 30 m (circa)	< 10 ⁻⁸ m/s 10 ⁻⁴ m/s - 10 ⁻⁵ m/s nella zona del paleovalveo	Fronte chiuso	Extrascavo nominale sufficiente	La pressione massima in fase di scavo è compresa nell'intervallo tra 2.4 bar e 3.8 bar. Tra le pk 32+900 e 32+975 si verifica la possibile presenza di un paleovalveo sepolto (depositi alluvionali in calotta, presenza di acqua). Zona di faglia (litotipi scadenti, lenti di gesso), rischio elevato di insterimento di pozzi (tratte a coperture minori di 10m). Si impiegano schiume per prevenire possibili fenomeni di clogging.	
GN1CA GN1CB	da 33+400 a 34+250	Formazione di Cassano Spinola (cC)	20m (circa)	da 0 m a 30 m (circa)	< 10 ⁻⁸ m/s	Fronte chiuso	Extrascavo nominale sufficiente	La pressione massima in fase di scavo è compresa in un intervallo tra 3.1 bar e 3.7 bar. Si impiegano schiume e polimeri per il condizionamento del terreno (predominante componente sabbiosa).	
GN1CB	da 34+250 a 36+280	Argille di Lugagnano (aL)	da 10m (circa) fino a 20m (circa)	da 0 m a 30 m (circa)	< 10 ⁻⁸ m/s	Fronte chiuso	Extrascavo nominale sufficiente	La pressione massima in fase di scavo è compresa in un intervallo tra 0.5 bar e 3.2 bar. Si impiegano schiume per prevenire possibili fenomeni di clogging.	

6. SCELTA DELLE CARATTERISTICHE MACCHINA EPB

Qualsiasi attività di scavo di gallerie comprende tre operazioni: scavo della canna della galleria attraverso il terreno, con il minimo disturbo del terreno al fronte ed attorno alla galleria stessa; rimozione del materiale di scavo dalla galleria e suo successivo smaltimento; messa in opera di un rivestimento della galleria stessa.

In caso di terreno molto compatto, o meglio in roccia, è possibile l'uso di una fresa di tipo aperto con testa rotante.

In caso di terreno meno stabile, come argille tenere, terreni incoerenti o rocce altamente fratturate (specialmente al di sotto della falda idrica), il fronte deve essere sostenuto durante le operazioni di scavo.

Tale sostenimento può essere eseguito in uno dei tre modi seguenti: attraverso un sostegno di tipo meccanico fornito dalla testa della macchina di tipo "chiuso"; attraverso la pressione di un fluido, solitamente fango bentonitico; oppure attraverso la pressione del materiale di scavo all'interno della camera di lavoro dello scudo. L'efficacia dell'aria compressa in roccia fratturata o granulometrie grossolane è altamente discutibile e deve essere perciò usata cautela. Gli ultimi due tipi sono solitamente indicati rispettivamente come 'slurry machine' (scudo a contropressione di fango) e scudi a contropressione di terra (EPBM).

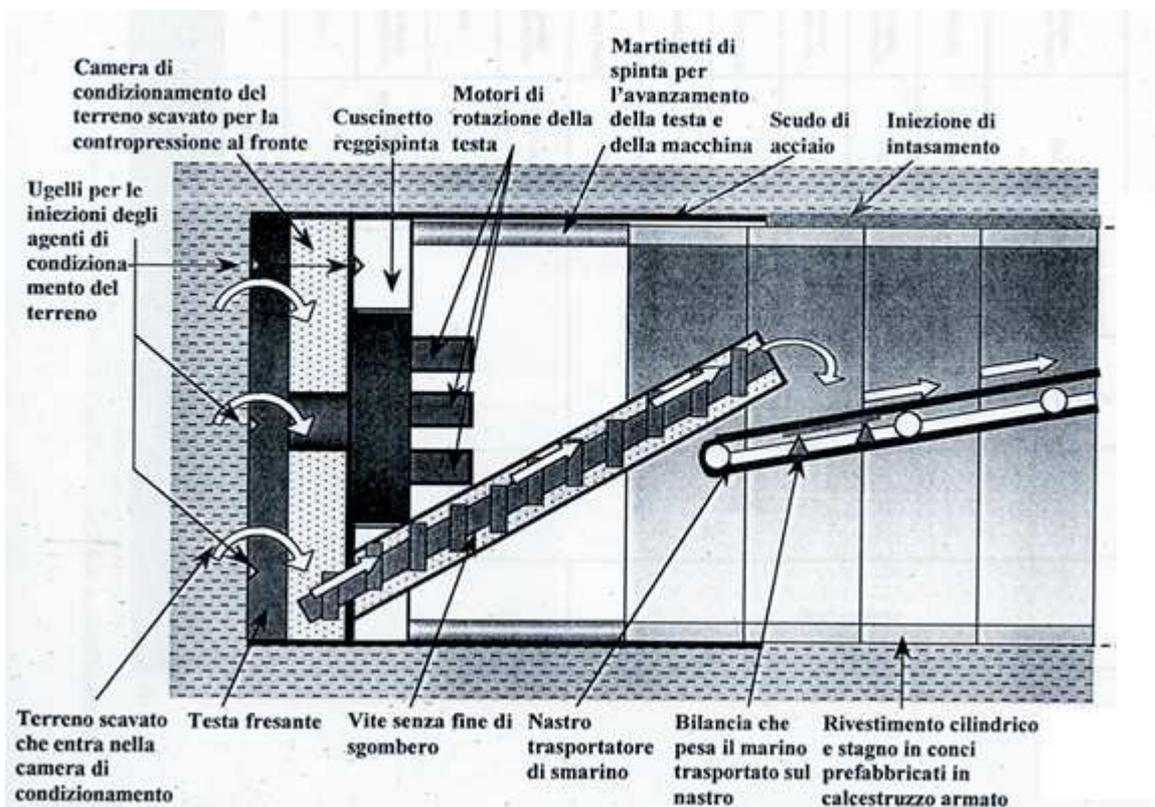


Figura 6-1. Schema funzionale di una TBM a contropressione al fronte generata mediante il terreno scavato e condizionato

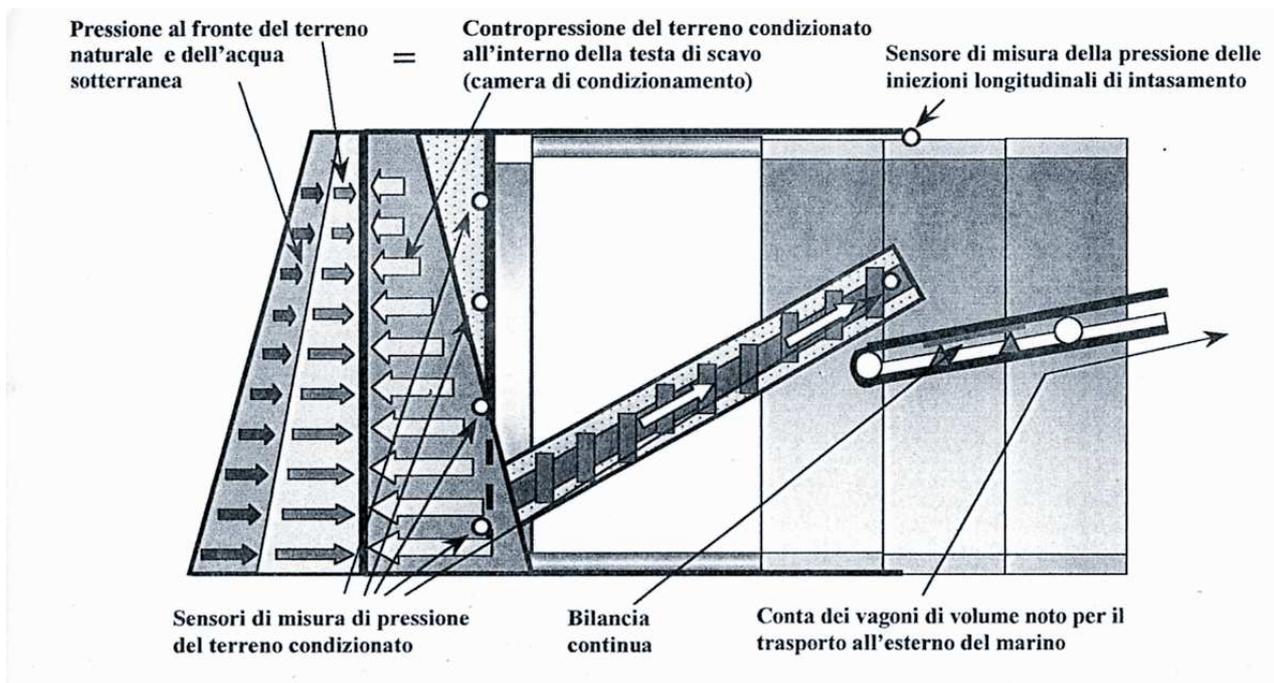


Figura 6-2. Principio di funzionamento della contropressione al fronte

Da quanto esposto in precedenza, lo scavo della Galleria Serravalle si svilupperà in formazioni sedimentarie terrigene, in particolare successioni di arenarie, marne siltose, formazioni argillitiche. Nelle Arenarie di Serravalle sono presenti possibili locali aumenti di fratturazione del substrato, con conseguente aumento delle permeabilità. Nella tratta tra le pk 32600 e 33200 (zona di sovrapposizione del Membro di Riomaggiore con le Marne di S. Agata Fossili) sono previste zone tettonizzate, fronti misti e paleoalvei sepolti, con conseguenti rischi di scavo in falda, presenza di materiali sciolti e lenti di gesso tali da creare, in seguito a dissoluzione carsica, cavità, zone geotecnicamente scadenti e sacche d'acqua chimicamente aggressiva. Infine nella parte nord pianeggiante della tratta saranno presenti fronti misti, con il passaggio dai conglomerati e strati arenacei ad argille e marne argillose, quest'ultime con caratteristiche geomeccaniche anche scadenti e coperture inferiori ai 20m.

Per superare in sicurezza questi tratti potenzialmente pericolosi, è stato ritenuto opportuno utilizzare una TBM di tipo EPB che possa sostenere il fronte con la pressione del terreno scavato.

In sintesi, le condizioni geologiche richiedono l'applicazione di una macchina di scavo di tipo scudato con le seguenti caratteristiche:

- Possibilità di lavorare efficacemente sia in modalità aperta che chiusa (eventuale fronte in pressione);
- Possibilità di effettuare sondaggi geognostici in avanzamento ed eventualmente trattamenti di stabilizzazione;
- Capacità di gestire e contrastare i fenomeni di convergenza;

- Capacità di scavo in formazioni geologiche molto diverse tra loro anche dal punto di vista geomeccanico;
- Organizzazione del Back-Up per gestire la complessa logistica di una TBM che affronta scavi di grande lunghezza.

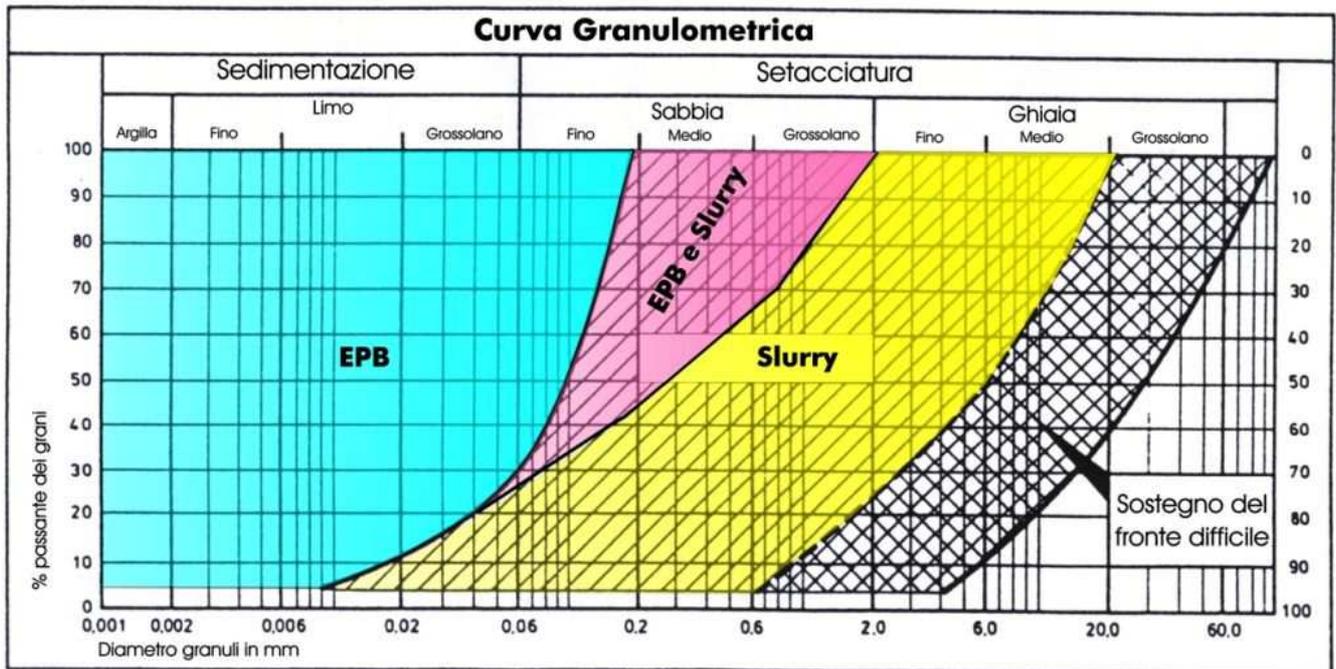
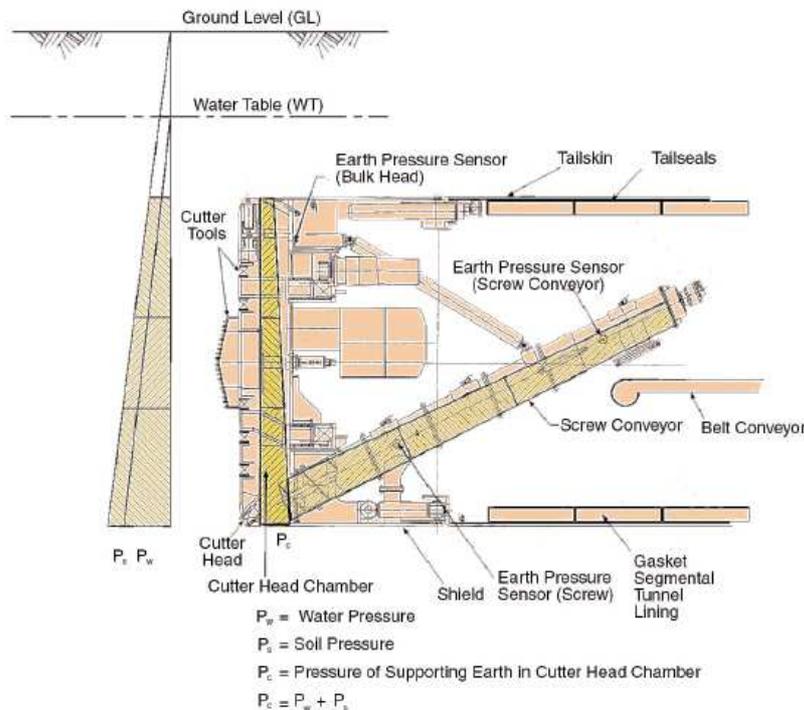


Figura 6-3. Scelta della macchina in funzione della granulometria

6.1. Modalità operativa e specifiche tecniche generali

Il principio operativo degli scudi a “pressione di terra bilanciata” (EPBS) si basa sull’utilizzo dello stesso terreno scavato quale mezzo per il sostegno del fronte, mentre la testa rotante porta utensili svolge unicamente una funzione di mezzo per lo scavo. Il terreno disgregato dalla testa fresante rifluisce all’interno di una camera (camera di scavo) posta dietro la testa. All’interno di tale camera esso viene mantenuto in pressione, attraverso un diaframma posteriore, dai martinetti di spinta dello scudo che trasferiscono quindi le pressioni di spinta, mediante il terreno nella camera di scavo, al fronte di scavo.



I detriti di scavo vengono rimossi dalla camera di scavo attraverso una coclea per poi essere trasportati in una vasca di smarino. La coclea è regolata in modo che la quantità di materiale estratto dalla camera sia equivalente a quella che vi entra attraverso la testa così da mantenere costante la pressione nella camera di scavo.

Al fine di fluidificare il terreno, gli scudi EPB iniettano un agente fluidificante tramite ugelli che si trovano sulla testa, all'interno della camera di scavo e all'interno della coclea.

La testa girando rimescola il fluido con il terreno formando uno strato di terreno fluidificato detto "cake". Il "cake", attraverso aperture poste sulla testa, passa in un vano chiuso da un diaframma posteriore, la camera di scavo, nella cui parte inferiore si inserisce la bocca della coclea.

Sul materiale fluido all'interno della camera di scavo si scaricano, attraverso il diaframma posteriore, le spinte dei martinetti principali. Tale materiale, reagendo in modo idrostatico, trasferisce la pressione sul fronte di scavo. Un set di pressostati verifica che la pressione della camera rimanga entro limiti predeterminati e calcolati sulla base del carico del terreno al fronte che è quindi sempre sostenuto da una pressione tale da assicurarne la stabilità. Per quanto detto la macchina deve essere condotta in modo tale che, operando sui pistoni idraulici dello scudo e sulla velocità di scarico della coclea, la pressione esercitata riesca a controbilanciare, istante per istante, quella presente al fronte. Condizione fondamentale, affinché questa operazione avvenga in maniera regolare, è che il terreno asportato al fronte si muova uniformemente dalla camera di pressione al punto di scarico della coclea.

Da quanto sopra indicato si possono desumere i principi fondamentali del sistema di scarico a pressione bilanciata. Secondo questo metodo il terreno scavato deve essere spostato e scaricato continuamente attraverso la coclea, mantenendo in contemporanea una pressione sufficiente sul

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00
	Foglio 44 di 84

terreno al fronte di scavo. Operativamente quando la macchina avanza, deve mantenere completamente piena la camera in pressione, supportare il fronte e, nel contempo, smarinare.

Il metodo migliore per eseguire questa operazione è quello di controllare il volume del materiale teoricamente scavato e di quello realmente smarinato in modo che rimangano sempre uguali.

Lo scopo del metodo di scavo a pressione bilanciata è quello di stabilizzare il fronte di scavo con il terreno scavato, fornendo a quest'ultimo pressione sufficiente per controbilanciare la pressione in termini totali.

La macchina è inoltre caratterizzata da una "unità di backup" dove trovano sede tutti gli impianti ed i motori della camera unitamente alle attrezzature per la posa dei conci di rivestimento. I conci prefabbricati vengono infatti posti in opera da un erettore in modo che la macchina, mentre avanza, lascia dietro se la galleria già rivestita. Nello scavo meccanizzato di gallerie ove il rivestimento viene realizzato con conci prefabbricati, esiste il problema legato allo spazio, di alcuni centimetri, che si viene a creare tra il profilo di scavo e l'estradosso del rivestimento, a causa dello spessore dello scudo e delle tolleranze di montaggio del rivestimento (gap anulare).

Quando lo scavo avviene in roccia o comunque in terreni coesivi con un tempo di autosostentamento dello scavo di almeno alcune ore, questo spazio anulare viene riempito con malte di iniezione o materiali adeguati (nel caso di gallerie drenanti), pompate attraverso appositi fori lasciati nei conci. Tale modalità non è invece possibile in terreni sciolti: in tal caso un qualunque extrascavo si tradurrebbe immediatamente in un assestamento del terreno con elevata perdita di volume e conseguenti cedimenti. Per questa ragione lo scudo dovrà avere un'attrezzatura (ugelli posti lungo la circonferenza della coda dello scudo) in grado di colmare lo spazio anulare tra scavo e rivestimento nel momento stesso in cui la macchina avanza lasciando lo spazio tra estradosso concio e scavo.

La macchina dovrà avere inoltre dispositivi necessari per permettere l'arretramento della testa dal fronte sia per la manutenzione degli utensili di taglio sia per sbloccare la testa dopo un blocco dello scavo.

In riferimento alle caratteristiche tipologiche della galleria di linea e ai risultati delle analisi di diagnosi e terapia riportate in Relazione di Calcolo, la TBM utilizzata avrà le seguenti caratteristiche minime:

- Tipo di fresa: EPB con iniezione di schiuma e intasamento con malta bicomponente a tergo dei conci
- Diametro nominale testa di scavo: 9700 mm (ipotesi di calcolo)
- Lunghezza TBM: 11 m circa
- Lunghezza totale con back-up: 110 ÷ 130 m
- Peso totale (TBM + Back-up): 1200 ÷ 1400 t
- Potenza installata totale: 4000 kW circa

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 45 di 84

- Pressione max di esercizio: 5 bar
- Spinta totale esercizio: 80000 – 110000 kN circa
- Extra-scavo permanente max 50 mm (raggio) tramite gauge cutters
- Extra-scavo eccezionale max 50 mm (raggio) tramite dispositivo copy-cutter
- Diametro eccezionale massimo di scavo: 9950 mm
- Diametro esterno rivestimento: 9400 mm
- Diametro interno rivestimento: 8600 mm

6.2. Fresabilità dei materiali e testa di scavo

La relazione Geotecnica riporta per ogni formazione una stima dei parametri connessi alla fresabilità degli ammassi (DRI) ed al consumo degli utensili di scavo (CLI), basata su correlazioni di natura empirica disponibili in letteratura (Johannessen, 1986) e sulle prove disponibili. Ciò consentirà di quantificare le caratteristiche d'ammasso in termini di abrasività, ovvero la particolare attitudine del materiale al consumo degli utensili di scavo installati sulla testa fresante, dipendente dalla durezza della roccia, dalla composizione mineralogica e dall'orientamento della foliazione eventualmente caratterizzante la matrice rocciosa stessa.

Sulla scorta dei dati ottenuti, saranno quindi implementati i consolidati metodi previsionali semi-analitici (CSM) o empirici (NTNU), attraverso i quali derivare una stima per i seguenti parametri tecnologici:

- Velocità di penetrazione della testa di scavo (net penetration rate)
- Consumo dei cutters e frequenza di sostituzione
- Velocità di avanzamento dello scavo (gross performance)

Come riportato al §5.2.3, è previsto un potenziale di rischio da medio ad elevato riguardo il fenomeno di clogging associato principalmente allo scavo del settore della galleria Serravalle compreso nelle unità argillitiche del tratto di pianura e nelle Marne di Sant'Agata. Nell'allestimento della testa di scavo si dovrà tenere in conto di dovuti accorgimenti per ridurre il fenomeno (ottimizzazione del rapporto di apertura della testa), in particolare nel settore centrale in cui si manifesta in modo più marcato in ragione della minore velocità circonferenziale.

La macchina dovrà avere una testa munita di utensili idonei allo scavo nei tipi di terreni attesi e la possibilità di eseguire un sovrascavo variabile. Il cambio degli utensili dovrà essere eseguito dall'interno della camera di lavoro.

In particolare, si prevede la necessità di adottare un numero di cutters (N_c) pari circa a 50 tracce, al netto dei gauge cutters, in funzione del diametro di testa secondo la seguente formula (Bilgin et al., 2008):

$$N_C = D_{TBM} / 2S + N_{GAUGE}$$

In cui S è il passo dei cutter, valutato pari a 10 cm. In funzione dei range di valori di resistenza a compressione d'ammasso delle formazioni presenti, potranno essere adottati disc cutters secondo quanto riportato in Figura 6-4.

DISC CUTTERS		
17" 1-ring disc cutter	17" 2-ring disc cutter	19" 1-ring disc cutter
		
Max. UCS [MPa] (for max. penetration)		
90-110 MPa	40-60 MPa	120-140 MPa
Max. Penetration [mm/rev] (depending on the UCS above)		
10-15 mm/rev	10-15 mm/rev	12-18 mm/rev

Figura 6-4. Tipologia di disc cutters

Come detto al §6.1, è stato adottato nei calcoli un diametro nominale della testa di scavo pari a 9700mm. Per tutto lo sviluppo dello scavo non è prevista la necessità di sovra-scavi, ma si prevede comunque che la macchina abbia la possibilità, mediante dispositivi come gauge cutters e copy-cutters, di avere diametri di scavo in esercizio e eccezionali maggiori.

6.3. Spinta e coppia Macchina

La potenza disponibile nella testa fresante deve essere sufficiente a garantire l'avanzamento nei diversi terreni interessati.

Il sistema di rotazione sarà in grado di trasmettere alla testa fresante la coppia motrice sufficiente a permettere entrambe le direzioni di rotazione, la variazione continua della velocità di rotazione.

In particolare la coppia della testa necessaria può essere in prima analisi valutata:

- EPB mode: il valore nominale della coppia dipende dal diametro di scavo, dalla velocità di rotazione della testa, dalla pressione applicata e dalla percentuale di aperture sulla testa fresante. Nel grafico di seguito si riporta l'andamento ottenuto da dati sperimentali e formulazioni empiriche di letteratura tra la coppia necessaria e il diametro di scavo.

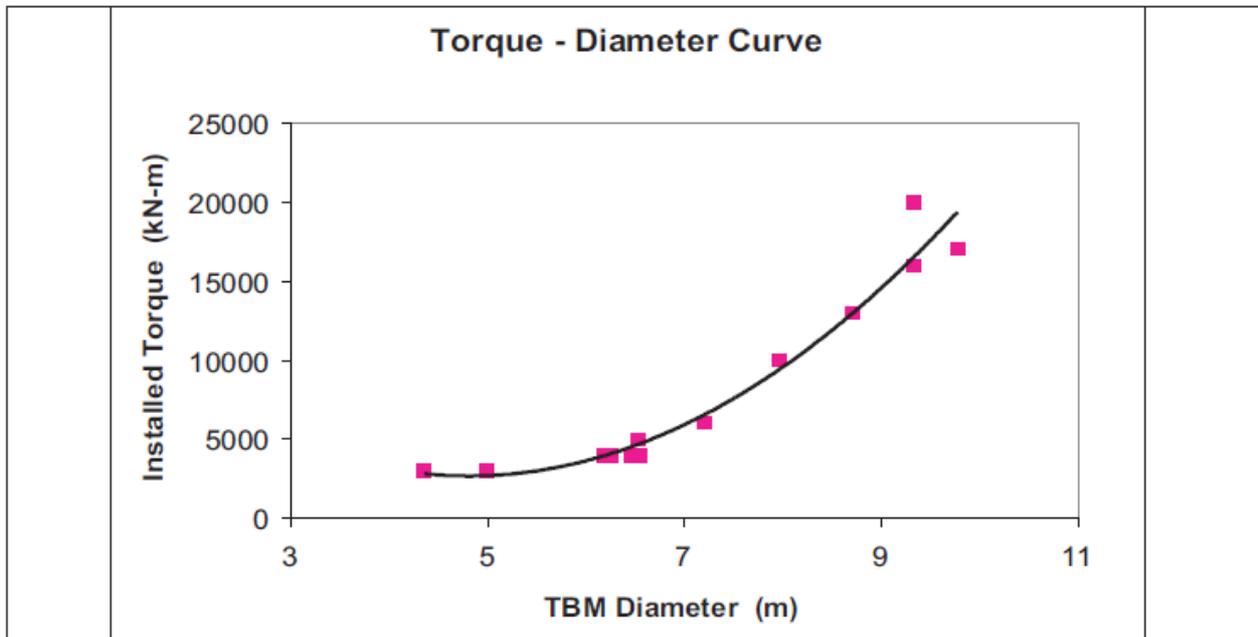


Figura 6-5. Rapporto tra il diametro di scavo e il momento torcente di progetto

La nota relazione empirica che lega diametro della fresa (scudo) e massimo torcente di progetto ($Torque = 24 D^3$, Grandori) suggerisce per quest'ultimo un valore prossimo a 22000 kNm.

Ulteriore stima del valore del momento torcente nominale può essere fatta in base all'esperienza specifica riferita alle frese EPB di maggior diametro, dalla quale (Grandori, Barioffi, Bori – 2013) si rileva la riduzione del Torque- Factor al crescere del diametro (laddove si definisce Torque Factor il coefficiente empirico che lega la potenza installata in termini di torcente al diametro al cubo della testa fresante). Dai dati storici riportati nel seguente diagramma si oscilla tra valori di torque-factor pari a 15-20, con conseguenti valori di torcente pari a 14000-19000 kN.

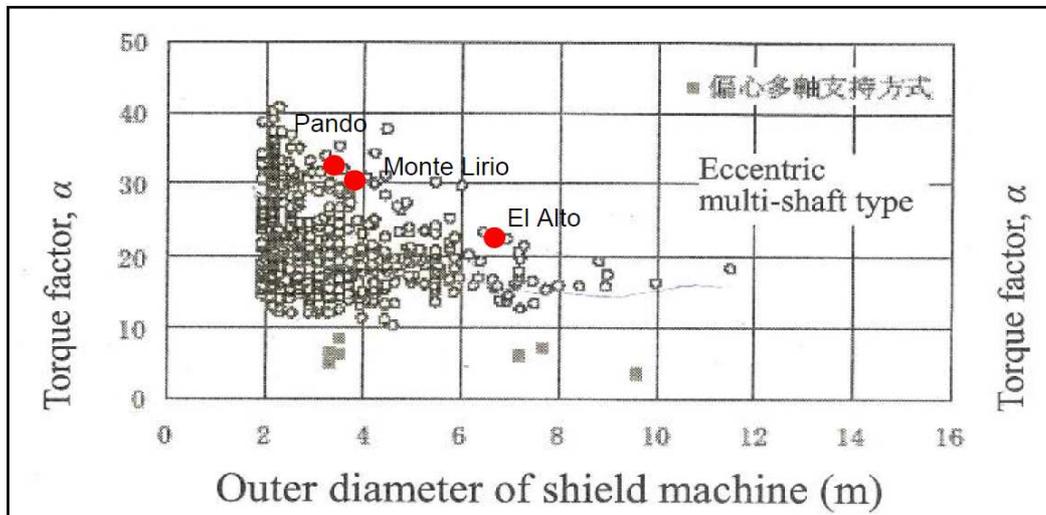


Figura 6-6. Valutazione del Torque factor (Grandori, Barioffi, Bori – 2013)

Si cita come ulteriore riferimento la casistica per frese tipo EPB presentata da Burger, EPB TBM Technology, North American Tunneling 2008 Proceedings. La prevista prestazione della macchina oggetto di analisi, sempre con riferimento al momento torcente impartito al main-drive, si colloca entro i limiti di variabilità costruiti su base empirica (si veda diagramma seguente).

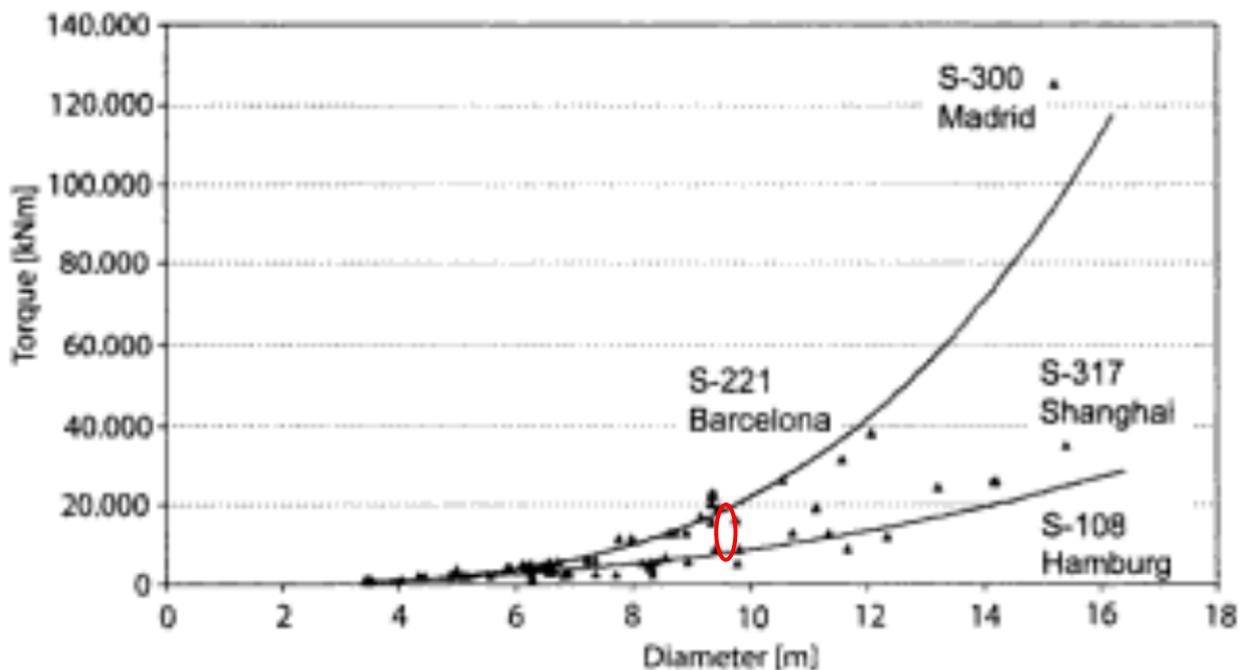


Figura 6-7. Casistica EPB del momento torcente in riferimento al diametro

- OPEN mode: può essere direttamente legata al numero di cutter, al diametro e alla forza agente su ogni utensile e alla velocità di rotazione della testa. Mediamente in tali contesti al

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 49 di 84

velocità dovrebbe essere compresa tra i 3 e i 5 rpm e la coppia richiesta si attesta intorno ai 8000-10000 kN*m.

La spinta è fornita da martinetti che agiscono sull'ultimo anello di conci posto in opera; tale anello sarà integralmente contenuto all'interno dello scudo.

Le caratteristiche necessarie al corretto avanzamento della macchina all'interno della galleria sono determinate mediante lo studio dei fenomeni tenso-deformativi nell'ammasso al contorno del cavo e delle pressioni da esercitare al fronte.

Nel dettaglio la spinta complessiva deve tenere conto di quattro singoli termini:

$$\Sigma W = W_{sh} + W_{sk} + W_{exc} + W_{sup}$$

W_{sh} : Forza dovuta alla presenza delle spazzole e del cutting edge

W_{sk} : Forza dovuta all'attrito macchina-terreno

W_{sup} : Forza di pressione da applicare al fronte

W_{exc} : Forza necessaria allo scavo

Le analisi svolte hanno condotto ai seguenti valori di progetto:

- Spinta di progetto (avanzamento in condizioni ordinarie, in relazione al contesto geomeccanico e morfologico): 50000 (aperto) – 105000 (con contropressione) kN
- Extra - Spinta di progetto (ripartenza fresa in condizioni eccezionali): 126000 kN

Ulteriori indicazioni sono opportunamente riportate nell'elaborato denominato "Relazione di Calcolo".

6.4. Condizionamento

Maidl et al. (1998) hanno riassunto i requisiti per il condizionamento del terreno in relazione alle stesse tre curve di distribuzione granulometrica delle particelle componenti come:

- Terreni a grano fine con indice di liquidità nell'intervallo da 0,4 a 0,75 – aggiungere acqua e argilla più polimero o schiuma tensoattiva;
- Permeabilità inferiore a 10⁻⁵ m/s, pressione idrostatica inferiore a 2 bar (200 kPa) – aggiungere argilla e polimero o schiume polimeriche;
- Per terreni più permeabili e/o battenti d'acqua oltre i 2 bar – usare slurry ad alta densità, sospensioni polimeriche ad elevato peso molecolare, schiume polimeriche.

In funzione del fuso granulometrico (cfr. immagine sottostante) è possibile definire la necessità e la tipologia di condizionamento:

1. Zona con possibile utilizzo di scudi aperti

2. Condizionamento principalmente dovuto all'adesività del terreno
3. Basso grado di condizionamento
4. Condizionamento dovuto all'abrasività del terreno
5. Zona non appropriata per l'utilizzo della tecnologia EPB

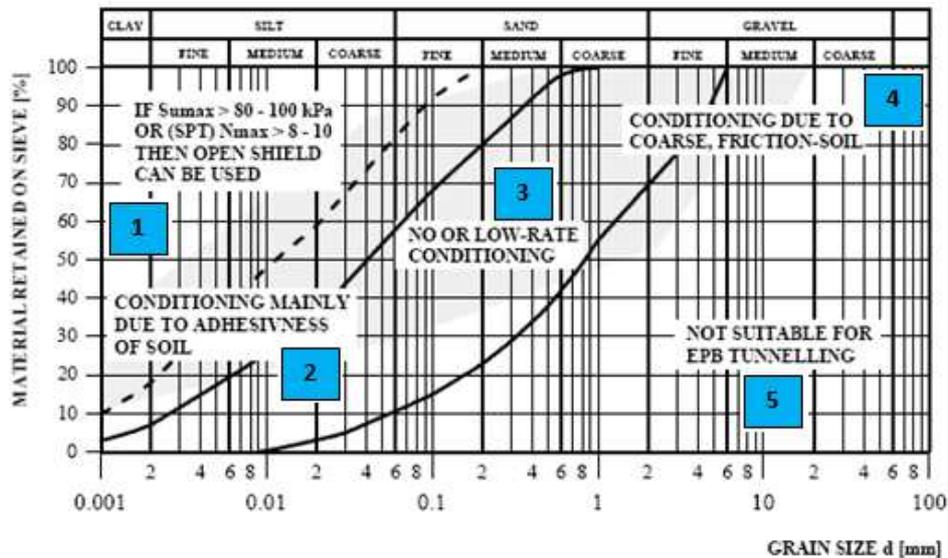


Figura 6-8. Tipologia di condizionamento in funzione della granulometria

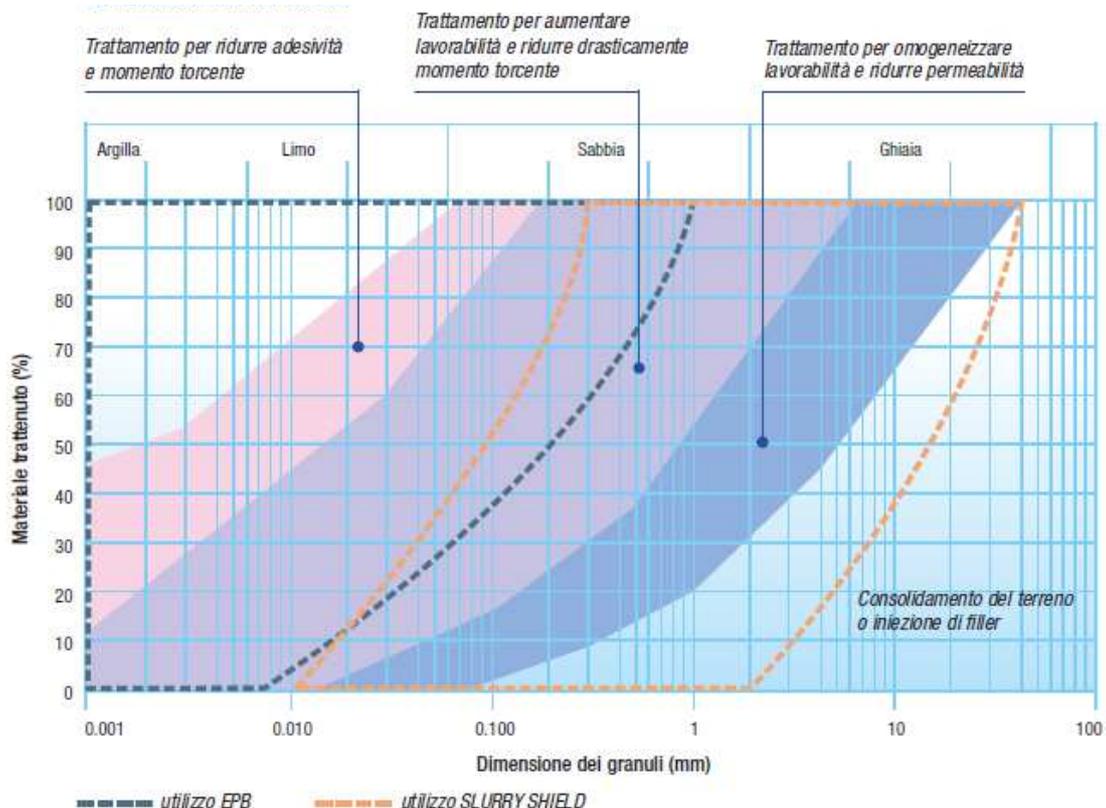


Figura 6-9. Utilizzo delle macchine e finalità del condizionamento

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 51 di 84

L'additivazione permette il conseguimento di importanti vantaggi, riassunti di seguito (Milligan, 2000):

- riduzione dell'usura di tutte le parti meccaniche dello scudo a contatto con il materiale scavato (testa di scavo, utensili, sistema di smarino);
- miglioramento della stabilità del fronte, con conseguente beneficio del controllo delle subsidenze;
- miglior flusso di materiale scavato attraverso la testa di scavo;
- riduzione della potenza richiesta dalla testa di scavo;
- riduzione degli attriti e conseguente riduzione della temperatura all'interno della camera di scavo;
- trasformazione del materiale scavato in una massa plastica;
- miglioramento delle proprietà del terreno nella camera di scavo, con molteplici conseguenze:
 - maggior uniformità di pressione nella camera di scavo;
 - miglior controllo delle venute di acqua attraverso la riduzione della permeabilità;
 - minor rischio di formazione di grumi di terreno nella camera di scavo;
 - miglioramento del controllo del materiale scavato nella coclea;
 - semplicità nel maneggiamento del marino.

Per conseguire tutti i risultati positivi riportati precedentemente durante lo scavo di gallerie con EPB occorre una valutazione attenta sia della qualità degli additivi utilizzati, delle tipologie di condizionamento intese come proporzioni tra i diversi additivi e tra miscela finale e terreno, sia infine del comportamento del terreno additivato, in termini di impermeabilità, resistenza a taglio, consistenza, maneggiabilità, omogeneità.

Il dosaggio degli additivi dipende dal tipo dei terreni attraversati e può presentare problemi nel caso di brusche variazioni della granulometria e delle condizioni idrauliche, situazioni queste tipiche dei terreni che dovranno essere attraversati.

La testa di scavo deve poter effettuare l'iniezione di sostanze plastificanti come schiuma e polimeri mediante punti di iniezione indipendenti alimentati da linee di schiuma attraverso il giunto rotante al centro della testa di scavo.

Sulla parte posteriore della testa di scavo e sulla paratia di pressione vi saranno bracci di miscelazione per aumentare la consistenza del materiale di scavo. L'iniezione può anche avvenire nella camera di scavo, attraverso i bracci miscelatori stazionari montati davanti alla paratia di pressione. Potranno essere previste linee aggiuntive per l'iniezione di acqua ad alta pressione per il condizionamento del terreno.

Al § 5.2.2 e 5.2.3 sono riportate le curve granulometriche disponibili per tutte le formazioni attraversate nel tratto di pianura della Galleria Serravalle, con indicazione, nella medesima carta,

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 52 di 84

dei fusi tipici di applicazione delle differenti tecniche di condizionamento del materiale in camera di scavo. Sono definiti anche in generale i termini del condizionamento nelle formazioni di pianura, in particolare:

- nelle Argille di Lugagnano e Marne di Sant'Agata Fossili l'impiego di schiume per limitare l'adesione dei materiali argillosi su superfici ed utensili di scavo (potenziale di clogging medio-alto);
- nei Conglomerati di Cassano Spinola la predominante componente sabbiosa caratterizzante tale unità richiede oltre al comune impiego di schiume, il ricorso a polimeri per tarare la consistenza del materiale e compensare il deficit in termini di comportamento coesivo del terreno naturale; potenziale clogging debole
- nel Membro di Riomaggiore si prevede tuttavia una gestione del materiale in camera di scavo in linea con quanto espresso relativamente alla sottostante formazione delle Marne di Sant'Agata fossili.

6.4.1. Le schiume

Il termine "schiuma" implica una miscela di materiale tensioattivo, a sua volta eventualmente additivato con polimeri, con acqua e aria. Le quantità dei diversi fluidi sono ovviamente variabili in funzione delle caratteristiche finali da ottenere e del geomateriale con cui devono interagire, tuttavia a grandi linee si può definire una composizione media con acqua 9%, agente schiumogeno 1%, aria 90%, eventuale polimero < 1%. La presenza del polimero serve in questo caso ad aumentare la resistenza delle bolle di aria nella schiuma, e tale aliquota non va confusa con l'utilizzo del polimero per il condizionamento di materiali ghiaiosi, per i quali le percentuali di utilizzo sono diverse.

Le sostanze schiumogene possono essere di diversa natura e caratteristiche chimico-fisiche (sostanze anioniche, cationiche o anfoteriche). Attualmente le sostanze sintetiche sono maggiormente diffuse, poiché le schiume a base proteica sono più difficili da modificare con l'aggiunta di polimeri ed inoltre presentano proprietà elettrostatiche non ben conosciute.

La caratteristica più importante richiesta alla schiuma per il suo utilizzo durante lo scavo è la stabilità nel tempo. Tale stabilità è influenzata dalle dimensioni delle bolle di aria e dall'aggiunta di polimeri. La dimensione delle bolle in realtà non è direttamente responsabile della stabilità della schiuma (nonostante come linea di principio le schiume formate da bolle più piccole siano più stabili e anche più viscosi), ma è cruciale l'uniformità delle bolle stesse, in quanto bolle più grosse possono inglobare bolle più piccole nelle vicinanze, in tal modo crescendo ancora e inglobandone altre a catena, fino a collassare. La dimensione delle bolle dipende dal tasso di diluizione della miscela, dalla densità della schiuma, dal generatore di schiuma e dall'apparato di iniezione. I parametri principali che descrivono una schiuma sono (Quebaud *et al.*, 1998):

- **Capacità dello schiumogeno**, ossia la produzione di schiuma con una certa quantità di liquido in condizioni note
- **Persistenza**, che è la capacità di mantenere un volume costante e prevenire il deflusso di liquido dalla matrice della schiuma

- **Grado di dispersione della schiuma**, caratterizzata principalmente dalla dimensione media delle bolle d'aria.

Le schiume possono essere suddivise in tre categorie (EFNARC):

- Schiuma tipo A: elevata capacità disperdente (rottura dei legami dell'argilla) e buona capacità di ricoprimento (stabilità delle bolle)
- Schiuma tipo B: impiego generale, con media stabilità
- Schiuma tipo C: elevata stabilità e proprietà di antisegregazione atte a sviluppare e mantenere coesione e impermeabilità del terreno.

La scelta del tipo di schiuma dipende dalle proprietà del materiale da scavare. I parametri di condizionamento principali sono essenzialmente il tasso di espansione della schiuma (FER: Foam Expansion Ratio), ossia il rapporto tra volume di schiuma e volume di sostanza schiumogena, e il tasso di iniezione (FIR: Foam Injection Ratio), cioè il rapporto tra il volume di schiuma iniettato e volume di terreno scavato.

Nella tabella sottostante si riportano i valori di riferimento e i prodotti da adottare in funzione delle tipologie di terreno.

Tipo di terreno	Tipo di schiuma				Additivi polimerici
	A	B	C	FIR (%)	
Argilla				30-80	Polimeri anti-intasamento
Limo-argilla sabbioso				40-60	Polimeri anti-intasamento
Sabbia-limo argilloso				20-40	Polimeri per il controllo della consistenza
Sabbia				30-40	Polimeri per il controllo della coesività e della consistenza
Ghiaia argillosa				25-50	Polimeri per il controllo della coesività e della consistenza
Ghiaia sabbiosa				30-60	Polimeri per il controllo della coesività e della consistenza

Tabella 6-1. Prodotti per EPBM per differenti terreni

Si noti che sono valori molto indicativi, in quanto variano in funzione delle condizioni di scavo e delle caratteristiche geotecniche del mezzo da scavare.

6.4.2. Polimeri

I polimeri sono essenzialmente molecole a catena lunga formate da monomeri o da molecole più piccole. La famiglia di polimeri maggiormente utilizzati ai fini del condizionamento del terreno sono le poliacrilammidi e i loro derivati, già utilizzati nell'industria come agenti flocculanti. Il loro utilizzo è legato alle loro caratteristiche sia come agenti di anti-aggregazione (specialmente nell'utilizzo di fanghi bentonitici) sia per la loro capacità di assorbire acqua, sia infine per migliorare la stabilità delle schiume rinforzando gli strati tra bolla e bolla. In argille molto consolidate possono rendere la consistenza dell'impasto più plastica, ma l'utilizzo principale avviene, attraverso la miscelazione con schiuma, su materiali a grana grossa con elevato contenuto d'acqua. Tale trattamento può trasformare il terreno sabbioso-ghiaioso in una pasta viscosa, permettendo il trasferimento della pressione sul fronte. Inoltre la capacità di assorbire l'acqua porta ad una sorta di sigillatura del

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 54 di 84

materiale, riducendo in questo modo la permeabilità del terreno condizionato. Infine la viscosità del materiale permette ai singoli blocchi, sia per materiali a grana grossa, sia per blocchi di argilla compatta, di scivolare l'uno sull'altro, con considerevole riduzione degli attriti e conseguente risparmio di potenza.

I polimeri sono confezionati in vari modi, essenzialmente come solido granulare, ma in tal caso occorre porre attenzione alla miscelazione con le sostanze schiumogene, in quanto si possono creare dei grumi di materiale (*cf. Obladen et al., 2003*) che, oltre a non amalgamarsi bene, possono inoltre peggiorare le prestazioni del fluido siccome la sostanza interna al grumo è impossibilitata ad assorbire acqua. Occorre in questo caso utilizzare dei miscelatori particolari al fine di evitare che un'eccessiva forza degli agitatori possa rompere le catene polimeriche. Tali problemi non si presentano qualora il polimero sia utilizzato sotto forma di liquido, disperso in acqua o in olio.

6.5. Intasamento a tergo del rivestimento

In ogni scavo di galleria con scudi meccanizzati e rivestimento con conci prefabbricati, rimane uno spazio tra la superficie interna dello scavo e l'estradosso del rivestimento prefabbricato. Questo spazio, dell'ordine di 10-15cm di spessore, è dovuto sia allo spessore del manto dello scudo, sia alle tolleranze di montaggio del rivestimento.

Lo spazio anulare tra scavo e rivestimento, al fine di limitare assestamenti del terreno e relativa perdita di volume, viene intasato mediante pompaggio di miscele attraverso ugelli posti lungo la circonferenza della coda dello scudo, in contemporanea con l'avanzamento della macchina. La miscela in pressione contrasta così la tendenza del terreno ad assestarsi attorno al rivestimento prefabbricato.

Tale miscela è di tipo bicomponente, un sistema costituito da una boiaccia di acqua, cemento e bentonite (quest'ultima fondamentale per garantire l'omogeneità della miscela e per aumentarne l'impermeabilità), di consistenza super-fluida, stabilizzata per garantirne la lavorabilità per lungo tempo, alla quale viene aggiunto un additivo accelerante attivatore della presa direttamente durante l'iniezione dalla coda dello scudo TBM.

La miscela, dopo pochi secondi dall'aggiunta dell'accelerante (10-12sec) assume la struttura di un gel a consistenza tissotropica e comincia a sviluppare resistenze meccaniche adeguate allo scopo.

Nel caso di impiego di miscele bicomponente superfluida, vengono privilegiate le resistenze a breve termine (tempo di installazione di qualche anello), mentre risultano poco significative le resistenze a lungo termine non apportando queste ultime alcun effetto sensibile sull'efficienza dell'intasamento.

La resistenza a 24 h e tempi successivi ha l'utilità solo di garantire la stabilità della miscela nel tempo.

Di seguito si riportano le caratteristiche minime richieste per la miscela di iniezione bicomponente prevista.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5100ECVROGN0000016A00</p> <p>Foglio 55 di 84</p>

STATO FRESCO:

- Fluidità cono Marsh (ugello diametro 4.7mm) entro 30min all'idratazione del cemento 30-45";
- Fluidità cono Marsh (ugello diametro 4.7mm) dopo 72h dall'idratazione del cemento <55";
- Bleeding: <3% dopo 3 ore.

STATO INDURITO (dopo l'aggiunta dell'attivatore di presa):

- Tempo di gelificazione <12sec;
- Resistenza a compressione monoassiale:
 - 1h (stimata con prova con penetrometro tascabile) >0.05 MPa
 - 8h (prova compressione semplice) >0.10 MPa
 - 24h (prova compressione semplice) >0.50 MPa
- Permeabilità: < 1.0E-08 m/s.

6.6. Scudo

La struttura metallica dello scudo verrà dimensionata per far fronte alle sollecitazioni derivanti dai carichi attesi nelle specifiche condizioni di progetto (carichi del terreno, sovraccarichi esterni, pressione d'acqua, carichi di esercizio della macchina).

Lo scudo dovrà poi garantire le seguenti prescrizioni:

- La lunghezza dello scudo non deve essere superiore al diametro della testa al fine di ridurre l'attrito con il terreno e di permettere un intasamento a tergo dei conci quanto più possibile ravvicinato al fronte.
- Carichi ovalizzanti e possibili fenomeni di instabilità dovranno essere considerati dal fornitore dello scudo secondo consuetudine e in funzione delle possibili situazioni di utilizzo della TBM (blocco, curva, etc.);
- Lo scudo deve essere dotato di fori per iniettare liquidi lubrificanti al fine di diminuire l'attrito tra mantello e terreno in situazioni critiche (per es. materiale rigonfiante)
- Lo scudo deve permettere l'iniezione in pressione di bentonite o malta inerte attraverso un numero adeguato di punti di iniezione distribuiti uniformemente su tutta la sua superficie esterna, per controllare e contrastare il collasso del terreno nell'intercapedine che si viene a creare tra lo scudo stesso e il profilo di scavo;
- Devono essere previste feritoie con tubi guida per il passaggio delle aste di perforazione, per effettuare sondaggi in avanzamento e trattamenti di consolidamento al contorno del fronte di scavo, disposte su tutta la circonferenza del mantello. In caso di perforazioni che ricadano nell'impronta della fresa bisogna assicurarsi che tutti i materiali di lavorazione utilizzati siano fresabili, ad esempio si utilizzeranno aste in alluminio anziché in acciaio;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5100ECVROGN0000016A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 56 di 84</p>

- La coda dello scudo deve includere le guarnizioni a spazzola disposte su più file, le linee di iniezioni per l'intasamento a tergo e le linee di ingrassaggio. Le guarnizioni della coda dovranno essere sostituibili se danneggiate. Dovranno essere previste finestre per facilitare l'operazione di pulizia delle tubazioni di iniezione in caso di otturazione delle medesime, fornite di portelli chiusi ma facilmente apribili. Deve essere dotata di guarnizioni antiriflusso alloggiato sul bordo esterno nella sezioni terminale per evitare il passaggio della miscela d'iniezione attorno allo scudo e quindi nella camera di scavo.

6.7. Erettore

La meccanica di movimento dell'ereuttore deve disporre dei gradi di libertà necessari al corretto montaggio dell'anello.

L'ereuttore sarà in grado di manovrare i conci della forma e del peso previsti in progetto. Il controllo dell'ereuttore deve essere consentito tramite una stazione radio comandata ed una stazione fissa con controllo a distanza.

6.8. Smarino

Il materiale scavato dalle TBM verrà trasportato fino alla parte posteriore del back-up dal sistema di evacuazione delle macchine stesse (coclee). Qui verrà scaricato su un nastro continuo fissato lungo un paramento della galleria.

A seconda delle condizioni geologiche esistenti, del livello dell'acqua e della pressione, la macchina può essere azionata in modalità aperta o chiusa e il materiale di scavo può essere trasportato con una coclea di smarino sul nastro.

Modalità aperta

In presenza di condizioni del terreno stabili, con bassa pressione dell'acqua e limitato afflusso d'acqua, lo scudo EPB può essere azionato in modalità aperta.

La testa di scavo equipaggiata con cutter e dischi scava il materiale sull'intera area del fronte. Attraverso le aperture nella testa di scavo, il materiale ricade nella camera dello scavo. Qui, il materiale viene scaricato sul nastro attraverso la coclea di smarino.

Modalità chiusa

Se è necessario un supporto attivo del fronte, è possibile cambiare la modalità dello scudo da aperta a chiusa, ad esempio in caso di terreno non stabile, elevata pressione dell'acqua e afflusso d'acqua. A tal fine è sufficiente impostare il sistema di condizionamento per consentire l'avanzamento in modalità chiusa in base alla pressione di supporto richiesta.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 57 di 84

Per il trasporto del materiale verrà sempre utilizzata la coclea di smarino. E' previsto un impianto schiuma per il condizionamento del terreno in modalità in avanzamento mediante supporto del fronte con utilizzo di contro pressione di terra.

6.8.1. Estrazione con coclea

Tale sistema sarà costituito da una coclea che dal fondo della camera di scavo in pressione, per mezzo delle eliche, obbliga il materiale a passare lungo tutta la struttura sino a raggiungere il punto di scarico a pressione ambiente.

La coclea deve poter essere ritirata idraulicamente per effettuare le operazioni di controllo e manutenzioni sulla medesima. Sul diaframma in pressione, in corrispondenza dell'apertura per il passaggio della coclea, devono essere predisposte due porte stagne azionate idraulicamente per chiudere tale apertura ed evitare perdite di pressione nella camera di scavo. Lo stesso sistema può essere utilizzato in caso di soste prolungate per evitare fughe di pressione.

La coclea deve possedere un dispositivo per invertire il senso di rotazione in caso di bloccaggio per evitare danni sulla struttura della stessa. La velocità di rotazione deve essere regolabile, in modalità sia manuale che automatica, in funzione della velocità d'avanzamento dello scudo, delle pressioni nella camera di scavo e della coppia della testa fresante. L'uscita del materiale dalla coclea sarà consentita da una porta a ghigliottina con apertura regolabile.

Lungo la coclea devono essere installati ugelli (almeno 3 unità) per permettere l'iniezione di prodotti specifici per il trattamento del materiale (schiume, fanghi bentonitici, etc.) e almeno 3 sensori per il controllo della pressione. L'elica e l'interno della camicia devono essere rivestite con materiale antiusura. Sia l'elica che la coclea, in caso di grave danneggiamento, devono poter essere sostituite dall'interno della galleria.

La coclea deve essere dimensionata (portata oraria) per garantire le prestazioni di avanzamento della TBM previste in progetto. Deve consentire il passaggio di ciottoli (blocchi) di grosso diametro (fino 300mm).

Nel caso siano presenti blocchi di dimensioni maggiori possono verificarsi differenti situazioni:

- Il masso è bloccato della matrice del materiale in sito; esso può essere frantumato dalla testa e ridotto a dimensioni compatibili con quelle della coclea.
- Il masso è libero di muoversi nella matrice del materiale in sito; esso può essere spinto esternamente durante la rotazione della testa e inglobato nel materiale in sito esternamente al Il masso rimane sul fronte di scavo e non viene frantumato dalla testa; Un primo tentativo è di bloccare il masso nel materiale circostante trattato in modo da creare una matrice più rigida che non consenta il movimento del blocco. Se questo tentativo non fornisce i risultati sperati, l'alternativa è quella di demolire "fisicamente" il masso accedendo al fronte di scavo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 58 di 84

6.8.2. Nastro trasportatore

Il materiale estratto dalla coclea deve essere scaricato su un nastro trasportatore primario inclinato e uno secondario sub-orizzontale, che deve assicurare il trasferimento su un altro nastro trasportatore installato su un paramento lungo tutta la galleria.

La struttura del nastro deve essere progettata per affrontare le curve e le pendenze di progetto e dimensionata per garantire le rese produttive richieste in progetto. Deve essere dotato di tutti i sistemi di pulizia necessari in relazione ai terreni che si incontreranno nello scavo. Il nastro deve essere fornito di due bilance per la pesatura del materiale di scavo per il controllo del peso estratto, installate quanto più vicino possibile al fronte e in modo che risentano il meno possibile di effetti dinamici. La misura deve essere costantemente relazionata all'avanzamento della fresa per il controllo immediato di eventuali flussi di terreno in camera, ed evitare così l'innescò di pericolosi fornelli o la formazione di cavità. Le bilance dovranno essere sottoposte a taratura periodicamente, secondo una chiara procedura illustrata e condivisa dalla DL.

Il nastro trasportatore deve essere fornito di uno scanner volumetrico per rilevare in continuo il volume del materiale estratto, installato quanto più possibile vicino al fronte. La misura deve essere costantemente relazionata all'avanzamento della fresa per il controllo immediato di eventuali flussi di terreno in camera non provenienti dal fronte, ed evitare così l'innescò di pericolosi fornelli o la formazione di cavità. Lo scanner dovrà essere sottoposto a taratura periodicamente, secondo una chiara procedura illustrata e condivisa dalla DL.

6.9. Back - up

I carri che compongono il back-up devono essere strutture metalliche con robustezza e rigidità adeguata alle sollecitazioni trasmesse dai diversi componenti presenti sullo stesso.

La struttura deve essere progettata per essere smontabile e trasportabile. La geometria dei carri deve essere idonea per affrontare le curve plano-altimetriche di progetto. Il back-up dovrà essere attrezzato con tutti i dispositivi adeguati per la movimentazione, trasporto e stoccaggio dei materiali e macchinari necessari per la costruzione della galleria. Deve essere provvisto di passaggi pedonali, guardavia e scale che assicurino un movimento sicuro e facile del personale.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 59 di 84

7. LINEE GUIDA PROCEDURE OPERATIVE E DI CONTROLLO, AZIONI CORRETTIVE E INTEGRATIVE

Con le presenti “linee guida” si intende creare uno strumento che definisce in sede di progetto, quali saranno i criteri che l’operatore e/o il progettista adotteranno in corso d’opera per:

- confermare le caratteristiche dimensionali e di resistenza previste per il rivestimento costituito da conci prefabbricati e le modalità operative standard di avanzamento;
- variare tali modalità operative nell’ambito delle possibilità della macchina, adeguandole alle necessità riscontrate;
- eseguire delle indagini integrative miranti ad accertare in modo puntuale e significativo l’effettiva natura dell’ammasso in termini geologici, geomeccanici ed idrogeologici;
- adottare opportuni interventi progettuali che, senza modificare strutturalmente le caratteristiche finali dell’opera, consentono di adeguarsi alle reali condizioni geomeccaniche e deformative riscontrate.

Le presenti linee guida descrivono e quantificano inoltre gli elementi principali che saranno registrati in corso d’opera.

- raccolta dei dati relativi ai parametri di avanzamento della fresa, che consentono un controllo continuo e sistematico di alcune caratteristiche dell’ammasso e del suo comportamento allo scavo (§7.3);
- raccolta dei dati ottenuti da indagini geofisiche o carotaggi (a distruzione o continui) realizzati ove si riscontrassero segnali di peggioramento delle condizioni geomeccaniche-geostrutturali d’ammasso o in vicinanza di disturbi tettonici, che unitamente ai dati della fresa completano un quadro qualitativo (in parte quantitativo) delle caratteristiche geomeccaniche, geostrutturali ed idrogeologiche dell’ammasso (§7.4).

Se verranno osservati valori registrati sensibilmente differenti da quelli ipotizzati e riferibili a condizioni geomeccaniche locali particolari, comunque previste in progetto (zone di faglia e/o tettonizzate, fronte caratterizzato da una notevole eterogeneità litostratigrafica e/o strutturale,), l’operatore e/o il progettista dovranno adottare le idonee azioni correttive e/o integrative tra quelle previste nella tratta in esame.

Come in seguito descritto più approfonditamente, tale azioni potranno consistere in adeguamenti operativi delle modalità di avanzamento della macchina, in indagini integrative in avanzamento, in eventuali interventi progettuali.

Qualora il contesto riscontrato non corrisponda a nessuno di quelli ipotizzati nella tratta in esame e di conseguenza nessuna delle suddette azioni possa essere applicata, il progettista individuerà attraverso gli adeguati strumenti una diversa soluzione che esula dalle presenti linee guida.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5100ECVROGN0000016A00 <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 286"> <tr> <td>Foglio 60 di 84</td> </tr> </table>	Foglio 60 di 84
Foglio 60 di 84		

7.1. Criteri Progettuali

7.1.1. Prescrizioni operative di avanzamento

L'avanzamento dovrà avvenire con la camera di scavo costantemente e completamente piena del materiale estratto, opportunamente condizionato, in modo da garantire una distribuzione omogenea ed uniforme di pressione di terra al fronte e senza cali di pressione tra una spinta e quella successiva. Il condizionamento dei terreni nella camera di scavo dovrà avvenire, in funzione delle caratteristiche granulometriche dei terreni da scavare, con l'aggiunta in camera di lavoro, oltre che di schiume anche, se necessario, di polimeri e di materiale fino (filler). Non sono ammessi avanzamenti a camera vuota o con camera non completamente piena.

L'avanzamento dovrà avvenire con una corretta applicazione della pressione al fronte in modo da garantire costantemente la necessaria stabilità del fronte di scavo ma anche il controllo delle deformazioni e quindi il contenimento dei cedimenti in superficie. Verrà inoltre definita una procedura operativa, che individua delle soglie di attenzione e di allarme e le azioni da adottare nel caso di superamento di queste soglie. In relazione ai risultati del monitoraggio effettuato sul piano campagna e sugli edifici presenti, in fase di scavo potranno essere modificati i valori limiti e le relative soglie.

L'avanzamento dovrà avvenire con una corretta esecuzione delle iniezioni a tergo, eseguite in linea di principio da tutte le linee distribuite sulla circonferenza dello scudo e con i valori di pressione di iniezione che dovranno essere valutati per le varie tratte geotecnicamente omogenee. I valori di pressione di iniezione a tergo dovranno essere calcolati e differenziati per i vari punti di iniezione in funzione della posizione degli stessi sullo scudo e quindi in funzione del carico litostatico ed idraulico presente e con riguardo anche alle pressioni massime ammissibili sull'estradosso dei conci. L'intasamento a tergo dovrà avvenire contemporaneamente all'avanzamento iniettando, alla pressione stabilita, il volume di malta necessario a garantire la completa ed omogenea saturazione dell'intercapedine a tergo dei conci e fino alle pressioni di rifiuto stabilite.

Per l'intasamento dell'intercapedine a tergo dei conci dovrà essere utilizzata una miscela idonea e caratterizzata da una viscosità tale da non disperdersi nel terreno e nel contempo tale da impedire l'otturazione delle tubazioni e comunque miscele che non siano caratterizzate da elevati valori di bleeding o da elevati valori di ritiro.

Le operazioni di fermo scavo e di ripresa delle operazioni di avanzamento dovranno avvenire mettendo rigorosamente in atto le modalità di corretta esecuzione; in particolare la ripresa dell'avanzamento dovrà necessariamente avvenire riempiendo preventivamente la camera di scavo attraverso la paratia stagna con materiale proveniente dall'esterno se la stessa, per operazioni di manutenzione, dovesse risultare parzialmente svuotata.

Una volta definiti in sede di progetto i contesti geomeccanici prevedibili nella tratta in esame ed i relativi eventuali interventi progettuali, assume una rilevante importanza l'individuazione in tempo reale della effettiva situazione riscontrata.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 61 di 84

7.1.2. Definizione delle condizioni normali ed anomale

Le configurazioni/condizioni considerate per l'avanzamento dello scavo sono di seguito elencate:

- Condizioni normali;
- Fermi macchina e ripresa avanzamenti dopo manutenzione;
- Condizioni anomale.

Si considerano condizioni normali di scavo tutte le condizioni che presentano i parametri caratteristici dello scavo con TBM entro i limiti di attenzione.

Tra le condizioni di scavo normali sono comprese anche quelle conseguenti alla ripresa degli avanzamenti dopo interventi di manutenzione in camera di scavo.

Si considerano condizioni anomale:

- venute d'acqua in pressione attraverso la coclea di estrazione;
- oscillazioni improvvise del valore della coppia sulla testa di scavo;
- blocco della testa di scavo;
- anomali valori delle pressioni in camera di scavo;
- improvvise e significative variazioni della densità del materiale presente nella camera di scavo;
- peso del materiale estratto dalla coclea oltre i limiti di attenzione;
- mancato raggiungimento della pressione di iniezione e/o del volume di malta iniettata a tergo del rivestimento.

7.1.3. Parametri di controllo dello scavo

Attraverso l'esame dei parametri di controllo dello scavo e dei relativi limiti di soglia e di allarme, viene verificato se si sta procedendo in una condizione normale o anomala.

I parametri, da verificare attraverso sensori ed attrezzature di rilevamento, sono i seguenti:

- pressione di supporto del fronte (valore della pressione del materiale presente nella camera di scavo fornito dai sensori di terra);
- pressione e volume della malta di intasamento del vuoto anulare compreso tra l'estradosso del rivestimento in conci prefabbricati ed il profilo di scavo;
- peso del materiale estratto con i relativi valori di attenzione e allarme;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 62 di 84

L'inizio delle operazioni di scavo è subordinato alla verifica di eventuali anomalie meccaniche od elettriche e dei dati sopra menzionati.

Per ulteriori specifiche si rimanda al §7.3.

7.1.4. Avanzamento in condizione normali

Le tre principali operazioni che compongono il ciclo produttivo sono:

- Scavo di avanzamento
- Intasamento con malta cementizia a tergo del rivestimento (avviene contemporaneamente allo scavo);
- Montaggio dell'anello di rivestimento in conci prefabbricati.

Scavo di avanzamento

La sequenza delle operazioni preliminari è la seguente:

- avviamento dei motori elettrici e delle centraline idrauliche necessarie alle operazioni di scavo;
- avviamento dell'impianto per l'iniezione di schiume e/o polimero e/o bentonite direttamente sul fronte di scavo e/o nella camera di scavo e/o nella coclea di estrazione;
- avviamento della rotazione testa di scavo fino al raggiungimento della velocità di rotazione prevista;
- messa in pressione dei cilindri di spinta.

Con l'avviamento della coclea di estrazione inizia l'evacuazione controllata del materiale dalla camera di scavo. Il controllo della portata, che avviene tramite regolazione della velocità di rotazione è finalizzato al mantenimento in camera di scavo della pressione prevista in progetto per il supporto del fronte di scavo.

Dovrà essere regolata la velocità di rotazione della coclea in funzione della velocità di penetrazione della TBM, per mantenere la pressione di progetto, il flusso di materiale che fuoriesce dalla coclea dovrà essere pari al flusso di materiale che entra nella camera di scavo (terreno naturale + additivi).

Si impone alla TBM direzione e posizione regolando la pressione sui cilindri di spinta. Il sistema di guida della TBM visualizza, graficamente e numericamente ed in continuo, la posizione della TBM (del suo asse geometrico) in relazione all'asse del tracciato del tunnel per avere un riferimento costante.

Il sistema di guida fornisce inoltre la posizione assoluta nelle tre coordinate spaziali di un punto in asse sulla coda dello scudo e di un punto in asse in prossimità della testa di scavo, l'inclinazione verticale ed orizzontale dell'asse della TBM relativamente alla posizione teorica dell'asse e la

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00
	Foglio 63 di 84

rotazione dello scudo intorno al proprio asse. In particolare può essere visualizzato, istante per istante, lo scostamento (verticale ed orizzontale) del centro della testa di scavo dal punto dell'asse teorico della galleria su un piano perpendicolare allo stesso. Visualizzato è anche lo scostamento del centro della sezione terminale dello scudo dal centro teorico del tunnel in detta sezione. Il sistema di guida visualizza graficamente e numericamente la "tendenza" verticale ed orizzontale della TBM in relazione all'asse teorico e calcola eventuali curve di correzione visualizzando la posizione della TBM relativamente a detta curva di correzione.

Il controllo dell'asse reale della galleria sarà effettuato mediante periodici rilievi topografici, atti a verificare che questo rientri all'interno delle tolleranze stabilite.

Giunti alla massima estensione dei cilindri di spinta, verrà:

- arrestato l'afflusso dei materiali di condizionamento del terreno (eccetto in caso in cui è necessario iniettare bentonite per garantire il mantenimento della pressione di progetto)
- ridotta la velocità di rotazione della testa fino ad arrestarla
- ridotta la pressione di spinta sui martinetti e la velocità di rotazione della coclea di estrazione fino ad arrestarla
- chiusa la porta posteriore a tenuta della coclea

La fase di scavo è così terminata.

Intasamento con miscela bicomponente a tergo del rivestimento.

Durante l'intera fase di scavo e continuativamente con l'avanzare della TBM, viene iniettata la miscela bicomponente a tergo del rivestimento. Tramite le pompe di iniezione si inietta la miscela attraverso le linee costituite da tubazioni terminanti oltre le serie di spazzole metalliche montate sulla circonferenza dello scudo e tra le quali è iniettato con continuità grasso. L'iniezione avviene in corrispondenza dell'estremità dello scudo, direttamente sulla superficie esterna del rivestimento galleria in conci prefabbricati. Le linee di iniezione installate sullo scudo sono dotate di una seconda tubazione (di riserva) sulla quale deviare il flusso della malta in caso di blocco della tubazione in uso.

Il controllo dei volumi di malta iniettata a tergo dei conci è fondamentale per il controllo degli assestamenti del terreno in superficie. Il volume teorico massimo da iniettare, nelle condizioni ideali con i denti di scavo all'100% di utilizzo, è pari a circa 9 mc per anello. Il volume teorico minimo è invece pari a 7 mc per anello.

In funzione della lunghezza realmente scavata, se il tracciato è dritto o in curva, del comportamento del materiale scavato, del consumo dei denti perimetrali, la quantità reale potrà variare. La variabile più importante può essere il consumo dei denti, sapendo che un consumo dei denti perimetrali di tre centimetri fa diventare il consumo teorico di 7.8 mc per anello.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5100ECVROGN0000016A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 64 di 84</p>

Prima d'iniziare lo scavo si dovrà cominciare il pompaggio della malta in modo di non avere vuoti dietro lo scudo.

Una volta finito lo scavo, si dovrà continuare il pompaggio fin che si raggiunge la pressione di riferimento minima per ogni singola posizione. Il sistema di pompaggio è dotato di una valvola di massima pressione che interrompe il funzionamento della pompa al raggiungimento del valore massimo di sicurezza, mentre non c'è ripresa automatica del pompaggio al calare della pressione.

I valori di pressione minimi e massimi validi per ciascuna tratta omogenea saranno forniti insieme ai valori di pressione di sostegno al fronte in apposito documento progettuale. Per l'iniezione della malta di intasamento saranno forniti valori di pressione differenziati in funzione della posizione dei punti di iniezione e quindi in funzione del carico litostatico ed idraulico qualora presente.

Montaggio dell'anello di rivestimento in conci prefabbricati

Il sistema di guida della TBM è dotato di software che consente di calcolare la posizione ottimale dell'anello da montare in modo da garantire la corrispondenza dell'asse della galleria all'asse teorico entro le tolleranze di progetto secondo la logica dell'anello "universale":

- il computer della macchina fornisce la posizione del concio di chiave cui corrisponde una data sequenza di montaggio dell'anello;
- i conci di rivestimento sono posizionati, alla fine dello scavo, secondo la corretta sequenza di montaggio, nella zona di alimentazione e pronti per essere agganciati dall'erettore con il quale si procederà al montaggio dell'anello;
- mediante l'erettore viene agganciato il concio e contemporaneamente vengono retratti i cilindri di spinta in corrispondenza della posizione in cui andrà montato detto concio;
- il concio è accostato all'anello precedentemente montato nella posizione in cui dovrà essere fissato opportunamente;
- i cilindri, precedentemente retratti vengono riaccostati sul nuovo concio montato;
- analogamente si esegue il montaggio degli altri conci fissandoli all'anello precedente e tra di loro;
- alla fine si monta la chiave fissandola all'anello precedentemente montato; (tot. 6 + 1 conci di rivestimento);
- viene in ultimo collocato un ulteriore pezzo prefabbricato sul concio di base che funge da supporto per i binari di linea (opzionale in funzione delle esigenze del cantiere).

7.1.5. *Fermi Macchina*

Le frese EPB si possono fermare principalmente nelle seguenti situazioni:

1. Fermo che non prevede lo svuotamento della camera di scavo;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 65 di 84

2. Fermo di qualsiasi natura che include lo svuotamento parziale o totale della camera di scavo.

In funzione della presenza o meno di falda idrica si adottano per ogni tipo di fermo le procedure riportate di seguito.

Fermo senza svuotamento della camera di scavo:

a In presenza di falda

Completato il turno di lavoro con la realizzazione dell'ultima spinta nelle condizioni di pressioni di scavo previste, l'operatore dovrà verificare che la pressione al fronte rimanga all'interno del range prefissato; se necessario, quando la pressione dovesse scendere per effetto del normale "rilassamento" al di sotto del valore di attenzione, si provvederà a pompare bentonite fino a riportare il valore a quello di riferimento. Questa operazione verrà ripetuta tutte le volte che sarà necessario, curando che la pressione non scenda mai sotto P_{att} .

Non si chiuderanno le porte di brandeggio meccanico.

La ripartenza inizierà girando la testa ed eventualmente spingendo sul fronte prima d'attivare la coclea, per aumentare la pressione sui sensori fino a quando si raggiunge la situazione prevista per lo scavo, solo in quel momento si inizierà lo smarino.

b In assenza di falda

Tutto si svolgerà come già indicato, salvo il fatto che durante gli ultimi giri si dovrà usare eventualmente bentonite o aumentare la quantità di schiuma additivata con polimeri per aiutare a mantenere le pressioni durante il fermo.

Analogamente l'operatore procederà alla iniezione di bentonite nella camera per compensare il rilassamento delle pressioni del materiale all'interno della camera di scavo e continuerà a farlo tutte le volte che verrà raggiunto il valore di attenzione inferiore.

Non si chiuderanno le porte di brandeggio meccanico.

La ripartenza inizierà girando la testa ed eventualmente contemporaneamente spingendo sul fronte senza attivare la coclea per aumentare la pressione sui sensori fino al valore previsto per lo scavo da effettuare.

Fermo con svuotamento della camera di scavo:

a In presenza di falda

Nel caso in cui non si possa evitare d'intervenire nella testa, l'operatore della fresa inizia a mescolare bentonite al terreno in modo da ottenere una pasta il più possibile omogenea ed impermeabile. Nel momento in cui dalla coclea si evidenziano le prime tracce di bentonite si chiudono le porte del brandeggio meccanico e si inizia a svuotare la testa fino al livello necessario per l'attività da eseguire. Contemporaneamente allo svuotamento si riempie il vuoto che si crea con

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 66 di 84

aria in pressione a valori indicati dal progetto di dettaglio, in modo da garantire la stabilità del fronte. In questo caso, per effettuare l'intervento nella testa, si dovrà fare uso della camera iperbarica.

Le porte di brandeggio meccanico sono state chiuse.

La ripartenza avviene effettuando il riempimento della camera di scavo, prima dell'apertura delle porte, con una sospensione di bentonite e/o con una miscela di sabbia, acqua e bentonite; successivamente si aprono le porte e si inizia a scavare.

In alternativa si apriranno direttamente le porte iniziando a scavare senza asportare terreno, in modo che, aprendo le valvole per la fuoriuscita dell'aria all'interno della fresa, il vuoto venga progressivamente riempito dal terreno.

La scelta tra i due metodi avverrà previo accordo con la Direzione dei Lavori.

La coclea verrà aperta e quindi si inizierà lo smarino nel momento in cui la pressione dei sensori superiori risulti di poco superiore a quella di riferimento.

***b* In assenza di falda**

L'operatore della fresa completa il turno di lavoro con la realizzazione dell'ultima spinta nelle condizioni di pressioni di scavo previste, dopo di che si chiuderanno le porte di brandeggio meccanico e si farà funzionare la coclea svuotando dalla testa la quantità di marino necessaria per raggiungere il livello ottimale che permetta di eseguire l'intervento nella testa.

La ripartenza avverrà con il riempimento completo del vuoto nella camera di scavo con inerti (sabbie) fino al livello della porta di ingresso della camera iperbarica. Si inietta poi bentonite fino al raggiungimento della pressione minima di allarme non superando questo valore per non ostacolare l'apertura delle porte del brandeggio.

Non appena raggiunta la pressione minima, si apriranno le porte e inizierà lo scavo facendo mescolare il materiale in ingresso con la sabbia e bentonite, con coclea chiusa in modo da mantenere le pressioni. Durante la prosecuzione dello scavo, nel momento in cui le pressioni raggiungono i valori medi di riferimento, si apre la coclea e si inizia a smarinare il terreno misto che mano a mano lascerà lo spazio al terreno naturale.

Fermi lunghi

Se il fermo dovesse prolungarsi oltre qualche giorno, l'operatore della fresa miscelerà bentonite al terreno presente nella testa in modo da ottenere una pasta ricca di bentonite al fine di evitare il blocco per cementazione delle porte di chiusura della testa. Tale operazione sarà eseguita nell'ultima fase di scavo (se programmato) o eseguendo uno scavo apposito.

Nel momento in cui si vedono uscire dalla coclea le prime tracce di bentonite miscelate al terreno si chiude la ghigliottina della coclea e si prosegue lo scavo fino a terminare la spinta.

Al termine dell'ultima spinta, dopo aver atteso qualche ora, funzione del tempo di presa della malta, si procederà ad avanzare la macchina di qualche centimetro (p. es. 5cm) e si inietterà bentonite

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5100ECVROGN0000016A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 67 di 84</p>

(invece che malta) nei tubi di riempimento a tergo del rivestimento, fino a riempire il vuoto creato con l'avanzamento: ciò per evitare che la malta faccia presa nelle spazzole, rischiandone il danneggiamento.

A questo momento si chiudono le porte di brandeggio meccanico della testa. Le porte di brandeggio meccanico devono rimanere chiuse durante tutto il periodo di fermo. La ripartenza avviene come già indicato nei casi precedenti.

7.1.6. Avanzamento in condizioni anomale

Come per l'avanzamento in condizioni normali, il ciclo produttivo si compone di due fasi successive:

- scavo di avanzamento (durante il quale avviene l'intasamento con malta cementizia a tergo del rivestimento);
- montaggio dell'anello di rivestimento in conci prefabbricati.

Le operazioni che verranno eseguite variano in funzione dell'anomalia manifestatasi. Per quanto riguarda il montaggio dell'anello di rivestimento valgono le stesse modalità operative descritte per il caso di avanzamento in condizioni normali.

Si considerano condizioni anomale:

- venute d'acqua in pressione attraverso la coclea di estrazione;
- oscillazioni improvvise del valore della coppia sulla testa di scavo;
- blocco della testa di scavo;
- anomali valori delle pressioni in camera di scavo;
- improvvise e significative variazioni della densità del materiale presente nella camera di scavo;
- peso del materiale estratto dalla coclea oltre i limiti di attenzione;
- mancato raggiungimento della pressione di iniezione e/o del volume di malta iniettata a tergo del rivestimento

Il controllo dello scavo in una di queste condizioni avverrà seguendo la metodologia operativa descritta nei capitoli seguenti e comunque condivisa con il Progettista che ha la responsabilità del controllo nell'avanzamento.

Venute di acqua attraverso la coclea

Come indicato nei documenti contrattuali, possono incontrarsi durante lo scavo lenti di materiali sabbiosi sciolti che se confinati da livelli di materiale a bassa permeabilità possono essere sede di "falda sospesa".

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 68 di 84

Di fronte a tale circostanza il carico idraulico nella camera di scavo può diventare bruscamente elevato con un sensibile gradiente idraulico che produce filtrazione idraulica nella testa di scavo mettendo in pressione la coclea di estrazione. L'effetto è la fuoriuscita d'acqua in pressione dalla porta posteriore della coclea. Il processo risulta pericoloso se si verifica trascinarsi di frazioni fini verso la testa di scavo.

La telecamera posta sul primo nastro di smarino in corrispondenza della porta posteriore della coclea consente di rilevare immediatamente tale fenomeno. La sequenza delle operazioni da eseguire è:

- se è in corso iniezione di acqua sul fronte, arrestarla immediatamente;
- chiudere la porta posteriore a tenuta stagna della coclea;
- aumentare il grado di trattamento del terreno (incrementare la percentuale di schiuma nel terreno, abbassare l'espansione della schiuma, aumentare il dosaggio del tensioattivo con l'aggiunta di polimero);
- continuare con lo scavo provando così ad incrementare la densità in camera di scavo;
- provare ad azionare nuovamente la coclea aprendo la porta posteriore;
- se il flusso d'acqua persiste iniettare alla base della coclea polimero o bentonite direttamente fino ad ottenere una consistenza plastica del terreno;

Tutte le operazioni vengono registrate nel rapportino di scavo.

Oscillazione del valore della coppia sulla testa di scavo

I parametri di scavo hanno valori che in condizioni normali si mantengono costanti o comunque variano non repentinamente. Una variazione improvvisa o una oscillazione apparentemente immotivata di detti parametri può quindi costituire il sintomo di una situazione di instabilità del fronte di scavo oppure di una repentina variazione delle caratteristiche geologiche e meccaniche del terreno scavato. La coppia applicata per la rotazione della testa di scavo (torque) è il principale parametro che evidenzia fenomeni di questo tipo. Di fronte ad una tale evenienza si opera come di seguito descritto:

- viene mantenuta costante la pressione al fronte;
- viene diminuita la velocità di rotazione della testa (< 1 r.p.m.);
- viene ridotta la penetrazione della TBM (< 20 mm/min);
- viene ridotta la velocità di rotazione della coclea in funzione della ridotta penetrazione della TBM e per garantire il mantenimento di una pressione costante sul fronte;
- se il problema persiste viene interrotto lo scavo.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5100ECVROGN0000016A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 69 di 84</p>

Blocco della testa di scavo

Il blocco della testa di scavo può essere dovuto a diverse cause:

- Instabilità del fronte con franamenti;
- Attrezzo di scavo o altro che blocca la testa;
- Materiale sul fronte ed in camera mal condizionato.

E' un fenomeno pericoloso per cui occorre immediatamente informare il Responsabile della Produzione e la persona di massimo grado gerarchico presente nel cantiere. Se il bloccaggio non è completo ed è possibile la rotazione per alcuni gradi in un senso o nell'altro, è possibile che un grosso blocco o una parte metallica rotta nella struttura di raccolta del materiale sulla testa abbia prodotto il bloccaggio. In tal caso potrebbe essere possibile ravvisare il suono del medesimo che urta con parti metalliche attraverso la parete stagna posteriore. Se questo avviene si potranno arrestare le operazioni ed organizzare l'intervento nella camera di scavo. Nel caso la testa sia completamente bloccata e nulla induca a ritenere che il bloccaggio sia dovuto ad un blocco o ad altro corpo estraneo, si procede come segue:

- Arrestare la coclea e chiudere la porta posteriore, non scaricare assolutamente la camera di scavo e se necessario, in quanto si manifesta una riduzione delle pressioni nella camera di scavo, iniettare sul fronte bentonite;
- Predisporre la comunicazione con una persona che stazionerà in prossimità del bulk-head a farà attenzione ad eventuali rumori provenienti dalla camera di scavo in quanto il bloccaggio potrebbe essere dovuto alla presenza di blocchi non caricati dalle pale di carico o elementi metallici della carpenteria della testa (scrapers o altre parti metalliche rotte);
- Se non è possibile sbloccare la testa, la si tira indietro di 10 15 mm provando a ruotarla alternativamente in senso orario o antiorario;
- Se non si consegue lo sblocco, si procede alla iniezione di bentonite direttamente sul fronte tramite gli spruzzatori della schiuma;
- Si ritrae la testa per ulteriori 10 15 mm e si prova nuovamente la rotazione;
- Se ancora non si riesce a sbloccare la testa si procede impiegando la "coppia massima di sbloccaggio (Overtorque)";
- Se anche con l'overtorque non si consegue lo sbloccaggio occorrerà arrestare tutte le operazioni ed attivare un "coordinamento tecnico" cui parteciperanno oltre ai tecnici dell'Appaltatore anche un rappresentante della Direzione Lavori.

Anomalie nella lettura delle pressioni al fronte

Variazioni repentine della pressione di supporto del fronte possono anticipare o accompagnare incrementi della coppia sulla testa o bloccaggi della stessa. Si opererà come di seguito:

- La pressione aumenta:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 70 di 84

- Si diminuisce la velocità di rotazione della testa (<1 r.p.m.);
 - Si riduce la spinta fino a scendere sotto una velocità di penetrazione $V_p = 10\text{mm/min}$;
 - Si aumenta il flusso di schiuma del 20 % senza incrementare la quantità di materiale scaricato con la coclea.
- La pressione diminuisce:
 - Si inietta bentonite per ripristinare immediatamente la pressione di supporto di progetto;
 - Se non si riesce a far salire la pressione, si arresta lo scavo e si chiude la porta della coclea;
 - Si continua a iniettare bentonite e polimero fino al raggiungimento della pressione di progetto.

Variazione della densità del materiale nella camera di scavo

La densità del materiale nella camera di scavo (densità apparente) deve mantenersi vicino al valore previsto da progetto (valutato con apposite prove durante il campo prova macchina). Così come illustrato nel §7.3.2, la densità apparente può essere calcolata mediante la misura delle differenze di pressioni tra i sensori posizionati a quote diverse. Qualora si riscontrassero differenze di pressione tra le coppie di sensori verrà iniettata bentonite nella camera di scavo.

Sovrascavo e sottoscavo

Nel caso in cui sia in corso un sovrascavo, superata la soglia di attenzione occorrerà operare come segue:

- Si riduce la velocità di rotazione della coclea;
- Si riduce la velocità di rotazione della testa (< 1 r.p.m.);
- Si riduce la spinta e quindi la velocità di penetrazione.

Se lo scavo finisce senza problemi si riporta quanto successo nel rapporto di scavo. Se si raggiunge il valore di allarme si deve arrestare immediatamente lo scavo.

Verrà attivato un "coordinamento tecnico" per definire il tipo di intervento da applicare:

- Quando la coda della fresa si troverà a passare sotto la progressiva corrispondente a quella del possibile sovrascavo, si disporrà che l'iniezione di malta a tergo dei conci sia spinta al massimo possibile, curando in dettaglio pressioni e volumi di iniezione;
- Si effettueranno carotaggi/perforazioni di controllo, per la verifica del corretto intasamento ed eventualmente si deciderà di eseguire delle iniezioni di riempimento e ricomprensione.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5100ECVROGN0000016A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 71 di 84</p>

Se si produce sottoscavo, raggiunta la soglia di allarme occorrerà:

- Arrestare lo scavo.

Si evidenzia che tra le potenziali ragioni che giustificano la presenza di un sottoscavo ci sono:

- la presenza di una cavità stabile nel sottosuolo;
- un errore nella stima della densità in banco. Questo caso risulta pericoloso in quanto può significare un peggioramento delle caratteristiche del materiale in banco.

Pressione e volume della malta iniettata a tergo del rivestimento insufficienti

La procedura di iniezione risulta corretta se la pressione di iniezione, per ciascun ciclo di pompaggio, raggiunge il massimo previsto e ridiscende a valori minimi in maniera regolare.

Il sistema di pompaggio consente di regolare il numero di cicli di pompaggio per minuto così da seguire la velocità di penetrazione. Se quest'ultima è molto elevata si prosegue con l'iniezione anche dopo lo scavo fino a raggiungere la pressione di progetto.

Se la pressione di iniezione e la quantità di malta sono sotto i valori normali:

- Si aumenta il numero di cicli di pompaggio per minuto fino a raggiungere i valori desiderati;

Se la pressione di iniezione è bassa ma i volumi iniettati sono corretti:

- Si aumenta il numero di cicli di pompaggio per minuto fino a raggiungere i valori desiderati;
- Se la pressione non sale si diminuisce la spinta e quindi la velocità di penetrazione;
- Se ancora non sale: fermare lo scavo e continuare ad iniettare fino al raggiungimento della pressione voluta.

Se la pressione di iniezione è raggiunta ma con quantità di malta sotto i valori normali:

- Controllare le linee di iniezione per un probabile intasamento. In caso di intasamento di una sola linea, nella parte bullonata allo scudo, si devia il flusso della malta sulla linea di riserva di cui è dotata ciascuna delle sei linee. Contemporaneamente si procede alla pulizia del tratto di tubazione bloccato. Queste operazioni avvengono senza arrestare lo scavo e continuando la registrazione dei dati riguardanti volumi di malta iniettati e pressioni di iniezione.

La pressione di iniezione della malta è misurata mediante appositi sensori di pressione montati sulle linee di iniezione vicino all'innesto nello scudo. La pressione di iniezione ed i volumi iniettati sono indicati sul pannello di controllo in modo da poter controllare in continuo i due parametri. È quindi possibile regolare il numero di cicli di pompaggio per minuto, mentre i valori minimi e massimi della pressione di iniezione sono definiti come "parametri di scavo".

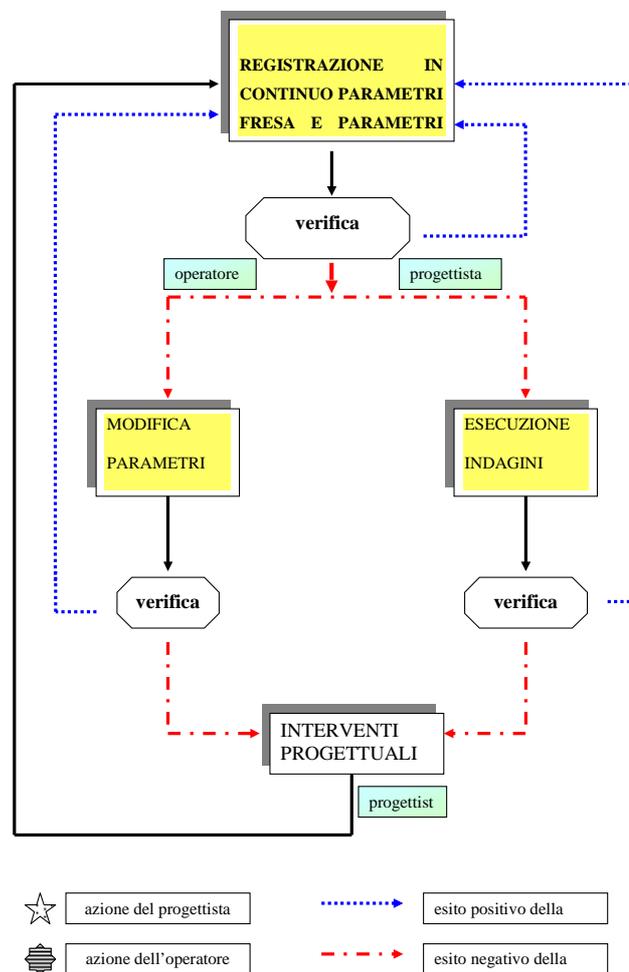
Un volume di malta decisamente superiore al volume teorico di riempimento del gap tra rivestimento e profilo di scavo può indicare un sovrascavo o una dispersione di malta verso cavità naturali.

Si rimanda al §7.3.3 per ulteriori specifiche sul controllo di pressione e volume della malta iniettata.

Nei paragrafi seguenti vengono illustrati i principali criteri che l'operatore e/o il progettista potranno adottare in corso d'opera per il controllo in fase di avanzamento e la gestione delle modifiche (operative e/o progettuali), nell'ambito delle previsioni del progetto costruttivo.

7.2. Processo di controllo

Il processo di controllo previsto si articola con il flusso logico temporale riportato di seguito.



Punto di partenza ed elemento fondamentale è l'acquisizione in tempo reale ed in modo continuo di alcuni parametri di funzionamento della fresa ritenuti significativi al fine di una prima verifica di massima della situazione dell'ammasso interessato dallo scavo. Eventuali discostamenti dai valori

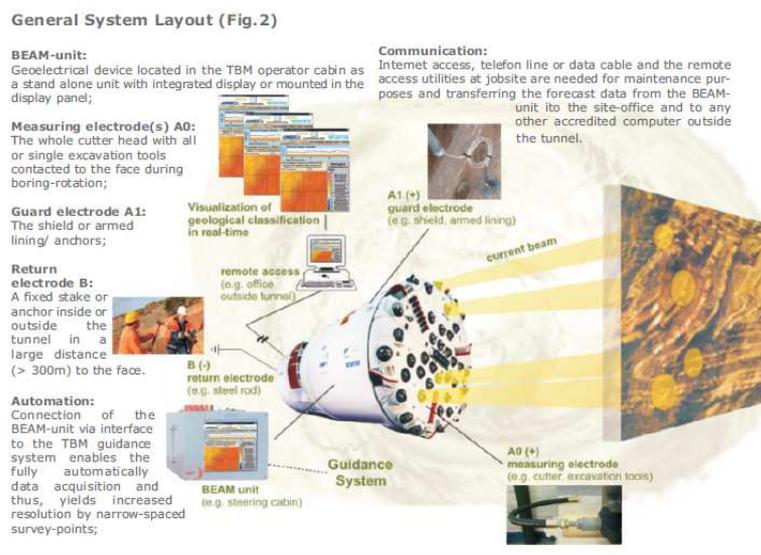
<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG5100ECVROGN0000016A00</p>	<p>Foglio 73 di 84</p>

medi indicati possono essere rappresentativi di variazioni nelle caratteristiche locali e/o d'insieme dell'ammasso.

Unitamente a tali registrazioni, sempre nell'ambito delle misure sistematiche, si prevede l'esecuzione di indagini di tipo sismico che consentono di avere informazioni su una zona più estesa rispetto al profilo di scavo del cunicolo.

Inoltre si rende necessaria l'acquisizione in continuo di parametri geoelettrici al fine di poter prevedere la presenza di zone tettonizzate e di faglia particolarmente delicate per la tipologia di scavo.

Il sistema diagnostico proposto è noto come "BEAM System", che consente la rilevazione indiretta delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali mediante investigazioni di tipo geoelettrico impiegando elettrodi collocati in corrispondenza della testa fresante. Il "Beam system" tramite emissioni di impulsi elettrici fornisce dati relativamente a due parametri: il valore di resistività dei terreni e il valore di porosità efficace, espressa in percentuale di vuoti rispetto al volume di terreno analizzato.



Sulla base dell'analisi dei dati raccolti nella precedente fase di acquisizione sistematica, qualora si riscontrassero elementi indicativi di variazioni nell'ammasso interessato dallo scavo, si potranno percorrere due strade, anche in parallelo:

- Si potrà ricorrere immediatamente ad interventi di tipo operativo, agendo sulla regolazione di alcune caratteristiche della fresa stessa in funzione di un loro adeguamento alle effettive condizioni locali riscontrate;
- Potrà ritenersi necessario realizzare preventivamente delle indagini integrative sulle caratteristiche dell'ammasso roccioso, mediante opportune indagini geofisiche indirette (sismica, geo-radar) e carotaggi diretti.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 74 di 84

I risultati di tali indagini potranno confermare la necessità di adeguamenti operativi delle modalità di avanzamento della fresa stessa, la cui efficacia sarà poi successivamente confermata dal monitoraggio sistematico.

Potrebbe invece accadere che le evidenze delle indagini e/o le misure sistematiche indichino la necessità di ricorrere ad interventi di tipo progettuale, avendo riscontrato una delle situazioni geomeccaniche e geostrutturali con problematiche particolari, previste in sede di progetto.

Per quanto riguarda il controllo a medio (rivestimento in conci completato) ed a lungo termine si rimanda a quanto previsto nel sistema di monitoraggio, riportato nei relativi elaborati di progetto.

7.3. Parametri Operativi e di controllo macchina

Durante la fase di avanzamento della macchina si registrano alcuni dei parametri operativi di funzionamento della fresa. Tale rilevamento avverrà in maniera sistematica e continua e si otterranno indicazioni sulla resistenza offerta dall'ammasso, sui litotipi presenti, sulle condizioni geostrutturali (zone allentate, zone fratturate, zone di faglia o di disturbo tettonico) e sul comportamento deformativo.

In particolare sono di interesse i seguenti parametri:

Registrazioni sistematiche

- Spinta sulla testa fresante;
- Coppia applicata alla testa fresante;
- Velocità di avanzamento della testa fresante;
- Velocità di rotazione della testa fresante;
- Potenza elettrica assorbita dalla macchina per la rotazione della testa fresante.

Registrazioni occasionali

- Monitoraggio della pressione dei gripper

Parametri indice deducibili indirettamente dalle registrazioni

- Avanzamento per giro;
- Energia specifica di scavo per la rotazione;
- Energia specifica di scavo per l'avanzamento;
- Energia specifica di scavo totale.

Controlli in corso d'opera

- controllo continuo delle pressioni in camera di scavo attraverso la lettura dei valori dei sensori di pressione che dovranno rispettare i valori di riferimento individuati. Il controllo deve essere eseguito mediante una procedura operativa che individua le azioni da adottare in caso di superamento delle soglie di attenzione ed allarme prefissate;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 75 di 84

- controllo continuo del materiale spillato dalla camera di scavo mediante pesatura con l'utilizzo di due bilance. Il controllo deve seguire una procedura operativa in cui sono fissate le soglie di attenzione e di allarme sul peso dei materiali estratti. Tali soglie sono fissate sia alla fine di ogni spinta che durante la spinta. Si determina la procedura da attuare al superamento di tali soglie;
- controllo della taratura delle bilance con personale dedicato e responsabile allo svolgimento di questa attività da eseguirsi almeno una volta ad ogni inizio turno;
- eventuale controllo del volume dello smarino mediante elaborazione delle letture dello scanner installato sul nastro trasportatore da effettuarsi sia a fine spinta che durante la stessa spinta di avanzamento (almeno tre volte nel corso della stessa). Si prevede una procedura che individua soglie ed azioni da attuare al superamento delle stesse;
- controllo continuo dei volumi e delle pressioni delle malte di intasamento iniettate a tergo dei rivestimenti definitivi.

Si riportano nei paragrafi successivi disposizioni più specifiche riguardo i controlli in corso d'opera.

7.3.1. Pressione di supporto del fronte di scavo

Il valore della contropressione da applicare in camera di scavo a supporto del fronte (P_{fronte}) è calcolato sulla base di:

- dati di PED e prescrizioni contrattuali;
- unità geotecniche e relative caratteristiche previste lungo il tracciato (con particolare riferimento ai terreni che interesseranno la sezione di scavo e la fascia al di sopra della calotta galleria);
- condizioni particolari e potenziali interferenze presenti lungo il tracciato;
- esperienza di avanzamento con TBM – EPB maturata (condizioni operative, parametri TBM, risposta deformativa degli ammassi: volumi persi e subsidenze, ecc.).

Questo valore è fornito anticipatamente e per tratti di tunnel congiuntamente a due valori uno di attenzione ed uno di allarme. I menzionati valori delle contropressioni verranno dedotti dalla relazione di calcolo per le diverse sezioni del profilo. I valori di soglia (attenzione ed allarme) sono valutati in modo che le contropressioni corrispondenti garantiscano comunque un adeguato coefficiente di sicurezza.

I due valori limite sono valutati come in tabella sottostante.

Attenzione	$> 1.2 P_D$	$< 0.9 P_D$
Allarme	$> 1.3 P_D$	$< 0.8 P_D$

Essendo PD la pressione di supporto di progetto. La pressione da considerare è quella relativa ai sensori di terra posti nella posizione più alta, alla quota più vicina alla calotta della galleria (sensori n°1 e 2 in Figura 7-1).

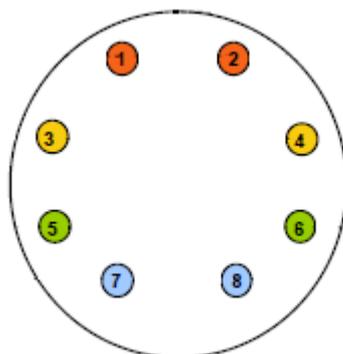


Figura 7-1. Posizione dei sensori di controllo della pressione

Il controllo di tale parametro avviene in continuo durante lo scavo.

7.3.2. Controllo della densità del materiale nella camera di scavo

La garanzia che venga esercitata una P_{fronte} omogeneamente distribuita è data dalla presenza in camera di scavo di un materiale adeguatamente denso ed omogeneo sufficientemente addensato.

La presenza in camera di scavo di un "miscuglio terra schiuma aria", ossia materiale avente densità variabile, comporta una P_{fronte} che pur potendo essere pari a quella di progetto non garantisce il sostegno del fronte. In particolare si possono manifestare vuoti nella parte superiore della camera di scavo in seguito a fermi prolungati per assestamento del materiale per effetto del suo peso.

La garanzia che venga esercitata una P_{fronte} omogeneamente distribuita è data dalla presenza in camera di scavo di un materiale adeguatamente denso ed omogeneo sufficientemente addensato.

Si esegue il controllo del grado di riempimento nella camera di scavo mediante il parametro "densità apparente" (γ). La determinazione di tale parametro avviene come rapporto tra la differenza di pressione misurata tra due coppie di sensori e la loro distanza verticale.

$$\gamma = (P_{sens.sup} - P_{sens.inf}) / \Delta h_{sup.-inf.} \quad [kN/m^3]$$

Operativamente si mediano le pressioni delle coppie di sensori posti nella zona superiore della camera di scavo, una coppia in calotta ed una coppia in corrispondenza della camera iperbarica. La differenza tra i due valori medi divisa per la distanza in verticale tra le due coppie rappresenta un valore γ_{app} da confrontare con valori di soglia minimi di allarme e di attenzione.

Attenzione	$<0.9 \gamma_{app}$
Allarme	$<0.8 \gamma_{app}$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 77 di 84

I suddetti valori di soglia sono al momento da considerarsi provvisori e solo uno studio approfondito del fenomeno nei primi metri di scavo potrà consentire di definire i valori che assicurano un adeguato margine di sicurezza (reale “buon” riempimento della camera di scavo).

La grandezza così definita non ha esattamente il significato fisico di una densità in quanto il tipo di misura eseguito avrebbe senso solo in condizioni statiche. Essa tuttavia può aiutare ad accertare che il materiale presente nella camera di scavo sia realmente consistente e sia quindi in grado di supportare il fronte di scavo specialmente quando si arrestano le operazioni di scavo. Il controllo avverrà in maniera continuata durante lo scavo con la continua visualizzazione a schermo del parametro stesso.

7.3.3. Pressione e volume di iniezione

L’iniezione di “Back filling” dovrà essere controllata e monitorata sia in termini di pressioni di iniezione che di volume registrandone in continuo i parametri.

La pressione di iniezione della malta è misurata mediante appositi sensori di pressione montati sulle linee di iniezione vicino all’innesto nello scudo. Valori usuali di pressione di progetto sono circa pari a $p_{malta}=p_{fronte} +0.5bar$ nel caso di scavo in close mode. Nei tratti di scavo open mode la pressione non ha carattere progettuale ma dovrà essere tale da garantire il corretto intasamento degli anelli e i limiti del volume di iniezione definiti.

La procedura di iniezione risulta corretta se la pressione di iniezione, per ciascun ciclo di pompaggio, raggiunge il massimo previsto e ridiscende a valori minimi.

Il sistema di pompaggio consente di regolare il numero di cicli di pompaggio per minuto così da seguire la velocità di penetrazione.

Se alla fine dello scavo non si sono raggiunti i valori prefissati in termini di quantità e/o pressione di iniezione della malta di riempimento a tergo del rivestimento si continuerà a pompare anche durante il montaggio dell’anello, fino al raggiungimento della pressione minima.

In conformità con quanto dichiarato in Relazione di calcolo e in funzione delle geometrie ipotizzate, i volumi teorici di malta saranno pari a 7.3 mc ad anello nel caso in cui si ha la deformazione massima del cavo e circa 9 mc ad anello considerando la minima convergenza del cavo.

Un volume di malta decisamente superiore al volume teorico di riempimento del gap tra rivestimento e profilo di scavo può indicare un sovrascavo o una dispersione di malta verso cavità naturali.

Al superamento di uno dei 2 limiti, superiore o inferiore, saranno effettuati uno o più carotaggi/perforazioni per la verifica del corretto intasamento a tergo del rivestimento. Se necessario verranno effettuate iniezioni secondarie dalla galleria attraverso i fori presenti nei conci di rivestimento.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 78 di 84

7.3.4. Controllo del peso e del volume del terreno scavato

Il controllo della quantità di materiale estratto mediante la coclea è aspetto dello scavo di fondamentale importanza potendo tramite esso controllare la possibilità che si producano sovrascavi o sottoscavi.

Due bilance saranno collocate sul nastro in corrispondenza dell'uscita della coclea con il compito di misurare la portata di materiale estratto dalla coclea (tonnellate). Tramite PLC viene calcolato il peso cumulato per ciascun avanzamento e quindi il peso cumulato totale, il peso cumulato va confrontato con il valore teorico derivante dal prodotto dei metri avanzati e della densità prevista in sito. Il software installato sul computer della macchina restituirà in tempo reale il continuo valore del peso teorico e del peso reale del materiale estratto.

Detto V il peso cumulato scavato ad un certo avanzamento si considerano quali valori di attenzione e di allarme rispetto ad esso, quelli derivanti dalla seguente tabella:

Attenzione	$V > 1.1 V_T$	$V < 0.9 V_T$
Allarme	$V > 1.2 V_T$	$V < 0.8 V_T$

Si indica con V_T il peso teorico da essere scavato.

Sarà redatta una tabella con i pesi teorici previsti ogni 10 cm di scavo in avanzamento.

7.4. Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso

Gli ammassi rocciosi incontrati lungo il tracciato sono descritti sulla base delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche individuate in progetto. Per comodità di rappresentazione gli ammassi rocciosi incontrati lungo il tracciato sono stati raggruppati in "gruppi geomeccanici". A ciascuna formazione sono stati attribuiti in sede di progetto campi di variazione dei principali parametri geomeccanici corrispondenti alle diverse configurazioni che una formazione può presentare nell'ambito dello stesso gruppo.

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 vengono descritti sulla base delle caratteristiche litologiche, geostrutturali, geomeccaniche e idrogeologiche che si evidenziano nel corso dell'avanzamento attraverso il sistema di controllo previsto. In particolare, per la parametrizzazione dell'ammasso, non si farà ricorso a nessun tipo di classificazione ma a valutazioni dirette attraverso determinazioni sperimentali (prove in situ e/o laboratorio) su campioni opportunamente prelevati.

I controlli che vengono 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 in seguito descritto:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 79 di 84

- un ammasso che si presenta allentato, con giunti aperti e riempiti e/o fratturato, evidenzierà valori dei parametri geomeccanici del relativo gruppo prossimi alla curva intrinseca inferiore;
- un ammasso che al contrario si presenta serrato, poco fratturato e con giunti privi di riempimento, evidenzierà valori dei parametri geomeccanici prossimi alla curva intrinseca superiore;
- la presenza di acqua, anche sotto forma di stillicidi, soprattutto in presenza di litologie ricche di minerali argillosi, comportano valori dei parametri geomeccanici più prossimi alla curva intrinseca inferiore;
- in un ammasso roccioso 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 roccioso 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.

7.4.1. *Acquisizione dati sistematici*

Il controllo continuo sistematico in corso d'opera, unitamente ad eventuali rilievi di tipo sismico o carotaggio, ha lo scopo di mettere a punto le modalità di avanzamento in funzione delle condizioni d'ammasso effettivamente riscontrate.

Esso dipende dalle caratteristiche geomeccaniche e geostrutturali dell'ammasso in rapporto agli stati tensionali indotti all'atto dello scavo.

Le risultanze di questi rilievi consentiranno di analizzare la reale risposta dell'ammasso allo scavo ai fini della conferma della stabilità a lungo termine dell'opera finita e di individuare zone "complesse" all'interno delle quali è necessario ricorrere ad azioni correttive e/o interventi integrativi.

Tale analisi consentirà di valutare anche quei fattori difficilmente schematizzabili e non prevedibili a priori, sempre presenti in natura, che agiscono sul comportamento dell'ammasso (e quindi del cavo) previsto teoricamente nel progetto esecutivo.

Tali rilievi consentiranno di verificare qualitativamente le condizioni geomeccaniche-geostrutturali dell'ammasso mediante analisi dei valori registrati e del loro andamento:

- valori più o meno costanti con variazioni tendenti ad una rapida stabilizzazione e/o comunque all'interno dei range previsti evidenziano una situazione di massima omogenea;
- valori al di fuori dei range previsti, con scostamenti rapidamente crescenti o decrescenti e non tendenti ad una stabilizzazione, sono da considerarsi indicativi di situazioni "complesse" in corrispondenza di:
 - zone in cui l'ammasso, sollecitato in campo elastico, si presenta lapideo ma fratturato con stratificazione e sistemi di discontinuità ad orientazione sfavorevole con conseguenti problemi di sovrascavo;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 80 di 84

- zone in cui l'ammasso si presenta con scadenti caratteristiche geomeccaniche e sollecitato in campo elasto-plastico con conseguenti problemi di avanzamento della fresa, al limite anche oltre le situazioni estreme di blocco previste per la fresa;
 - zone in cui l'ammasso, con caratteristiche geomeccaniche particolarmente scadenti, si presenta intensamente fratturato al limite sciolto e crea problemi di guidabilità della fresa. Si presenta il rischio di "richiami" non controllabili di materiale dal contorno della sezione con creazione di estese zone decomprese e con le conseguenti problematiche legate nel breve termine a difficoltà di avanzamento della fresa e nel lungo termine ai carichi indotti sul rivestimento definitivo del cunicolo.
- Se le condizioni geologiche e geomeccaniche ipotizzabili sulla base dei dati raccolti si mantengono nell'ambito di quanto previsto, si prosegue con le modalità in corso di applicazione.
 - Se la analisi dei dati dovessero indicare una variazione delle condizioni geologiche e geomeccaniche verso i contesti peggiori previsti, si dovranno apportare alle modalità di avanzamento applicate le opportune azioni correttive e/o integrative nell'ambito di quanto indicato nei successivi paragrafi.
 - Qualora la situazione riscontrata non corrisponda a nessuna di quelle ipotizzate nella tratta in esame, e di conseguenza nessuna delle soluzioni previste possa essere adottata, si dovrà procedere alla definizione degli adeguati interventi in funzione degli effettivi riscontri in corso d'opera.

7.4.2. Indagini integrative

Qualora l'analisi delle misure sistematiche ne evidenziasse la necessità, si potranno realizzare opportune indagini in avanzamento al fine di ottenere informazioni dirette sulle caratteristiche geomeccaniche, geostrutturali ed idrogeologiche d'ammasso.

Si potranno eseguire:

- indagini geofisiche di tipo sismico in foro o dalla galleria di prospezione già realizzata;
- indagini geofisiche con geo-radar in foro;
- carotaggi con prelievo di campioni.

la cui disposizione, estensione e sequenza temporale potrà essere definita solo in corso d'opera, alla luce degli ipotizzati scenari da indagare.

In parallelo agli adeguamenti operativi, o in alternativa, sulla base della analisi dei dati sistematici, potranno essere realizzate delle indagini integrative in avanzamento, che in funzione dei contesti geomeccanici – geostrutturali ipotizzati dovranno fornire le informazioni per completare il quadro generale, in particolare:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5100ECVROGN0000016A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 81 di 84</p>

- Saranno realizzate indagini geofisiche in foro, con geo-radar per valutare il grado di fratturazione dell'ammasso, l'estensione della zona allentata all'intorno dello scavo, nonché le caratteristiche litostratigrafiche in zone di rischio manifesto o potenziale;
- Se ritenuto necessario, al fine di consentire la parametrizzazione geomeccanica diretta dell'ammasso, si realizzeranno inoltre carotaggi in avanzamento con prelievo di campioni che consentiranno l'osservazione delle caratteristiche litologiche e geo-strutturali, e la determinazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche a livello di litotipo rappresentativo.

La disposizione ed estensione di tali indagini integrative potranno essere valutate solo in corso d'opera, alla luce della situazione effettivamente riscontrata o ipotizzata in base ai dati rilevati.

7.5. Interventi progettuali

Alla luce di effettive necessità emerse dall'analisi delle misure di controllo sistematiche e/o di manifesta inefficacia degli eventuali interventi di tipo operativo a fronte della situazione ricostruita mediante indagini dirette sulle caratteristiche dell'ammasso, sarà necessario ricorrere alle soluzioni progettuali già previste per particolari contesti critici come ad esempio:

- interventi di consolidamento al fronte, in avanzamento;
- interventi di consolidamento al contorno del cavo, in avanzamento;
- previsione conci metallici per garantire la sovraspinta di ripartenza.

Si tratta di interventi di tipo provvisoriale che hanno la funzione di consentire l'avanzamento della fresa ed il completamento del rivestimento del cavo in particolari condizioni quali l'attraversamento di zone disturbate tettonicamente.

La geometria, l'intensità, l'estensione e la tipologia degli interventi in esame potrà essere compiutamente definita solo in corso d'opera alla luce della situazione effettivamente riscontrata o di quella ipotizzata in base agli elementi raccolti dal sistema di controllo. Nel seguito si riporta una descrizione di massima delle caratteristiche di tali interventi.

Per gli interventi di stabilizzazione in corrispondenza di zone intensamente fratturate, caratterizzate da fenomeni di instabilità del fronte e del cavo, si è prevista la possibilità di realizzazione di pre-consolidamenti in avanzamento mediante elementi strutturali in VTR o tubi in acciaio, valvolati, utilizzati per l'esecuzione di iniezioni selettive a pressione. La fresa verrà prevista con la predisposizione all'installazione di una macchina perforatrice idraulica dotata di sistema "PREVENTER".

In funzione di quanto riscontrato o ipotizzato, si potrà consolidare solo il nucleo di avanzamento ritenendo tale intervento sufficiente a garantire la stabilità del fronte e del cavo in funzione delle caratteristiche della fresa. In alternativa si può prevedere di realizzare una fascia consolidata anche al contorno del cavo qualora le condizioni geostutturali dell'ammasso lo richiedessero.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5100ECVROGN0000016A00	Foglio 82 di 84

7.6. Il contenimento del volume perso

Il contenimento del Volume perso imposto da progetto si ottiene intervenendo sulle tre componenti che determinano il volume perso complessivo:

- **Il volume perso al fronte** che deriva dai valori di pre-convergenza ed estrusione al fronte (interessanti il nucleo a monte del fronte di scavo della galleria); esso viene contenuto mantenendo un adeguato valore di pressione di confinamento tale da bilanciare le pressioni agenti del terreno e dell'acqua;
- **Il volume perso al contorno dello scudo** nel tratto di galleria dove è presente la macchina EPB-S; esso deriva dalla possibile chiusura del profilo di scavo (convergenza) verso l'estradosso dello scudo metallico. Esso viene contenuto dalla schiuma che rifluisce a tergo del fronte e potrebbe essere contrastato da eventuali iniezioni a pressione controllata a tergo dello scudo;
- **Il volume perso a tergo dell'anello di rivestimento** nel tratto di galleria dove si procede alla messa in opera dei conci prefabbricati che deriva dalla convergenza del cavo. Viene contrastato mediante iniezioni con malta cementizia a tergo dell'anello, in coda alla macchina e immediatamente a seguito della posa dei conci, che garantisca un perfetto intasamento e il confinamento della convergenza del cavo.

Il principio a base degli EPB implica che il materiale scavato dalla fresa venga mischiato ed accumulato in pressione nella camera di smarino ed estratto in maniera controllata attraverso portelli a pressione o da un trasportatore a coclea.

Gli scudi EPB iniettano al fronte un agente fluidificante che consente di liquefare il terreno da scavare. Questi fluidificanti vengono iniettati tramite ugelli che si trovano sulla testa della macchina all'interno della camera di scavo e all'interno della coclea di smarino.

La prima iniezione viene eseguita dagli ugelli posti sulla testa di scavo direttamente verso il materiale prospiciente il fronte. La rotazione della testa provoca il mescolamento del fluido all'interno del terreno consentendo il formarsi, dinnanzi alla testa, di uno strato di terreno parzialmente fluidificato (il cosiddetto "cake") che avrà consistenza di un calcestruzzo fresco.

Il "cake" passerà attraverso le aperture della testa ed entrerà in un vano chiuso posteriormente da un diaframma metallico nella cui parte inferiore si inserisce la bocca della coclea. Questo vano è denominato *camera di scavo* ed è particolarmente importante nello sviluppo del sistema di scavo.

La spinta dei martinetti principali di avanzamento si scarica attraverso il diaframma posteriore della camera sul materiale fluidificato all'interno di questa. Il materiale reagirà in modo idrostatico, trasferendo la pressione al fronte.

Questa pressione di contenimento sarà sempre maggiore della spinta che il fronte esercita sullo scudo (terreno+acqua); il fronte sarà sempre sostenuto dalla pressione della camera di scavo evitando fenomeni di instabilità del fronte e contenendo il volume perso e conseguentemente i cedimenti della superficie. Il valore della pressione da mantenere al fronte, in camera di scavo, è

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5100ECVROGN0000016A00</p> <p>Foglio 83 di 84</p>

valutata in dettaglio in funzione delle coperture presenti, del livello di falda e delle caratteristiche dei terreni attraversati.

In questo tipo di scudo la testa fresante non ha funzioni di sostegno del fronte dato che questo è sottoposto alla pressione del materiale all'interno della camera di scavo. La testa quindi ha solo funzioni di scavo e di rimescolamento sia del "cake" all'esterno sia del terreno completamente fluidificato all'interno della camera.

Le aperture della testa sono dimensionate in modo da impedire l'ingresso di ciotoli potenzialmente nocivi per il funzionamento della coclea. Questi ciotoli verranno frantumati all'esterno della testa per mezzo di taglienti a dischi appositamente posizionati sulla testa stessa.

Il terreno fluidificato (cake) entrerà nella camera di scavo attraverso le aperture della testa. Qui verrà mantenuto in pressione dalla spinta dei martinetti principali che agiscono sul rivestimento prefabbricato.

Un set di pressostati controllerà che la pressione della camera rimanga entro i limiti predefiniti e calcolati sulla base del carico del terreno.

La coclea di smarino è regolabile in modo che il materiale estratto dalla camera sia equivalente a quello che entra attraverso la testa, mantenendo costante la pressione nella camera di scavo.

Per sostenere il fronte è necessario garantire, in camera di scavo, una pressione costante, con valori predeterminati. Per ottenere questo risultato occorre che tutte le variabili in gioco siano intercorrelate e controllate dall'operatore.

Queste variabili sono principalmente le seguenti:

- velocità di rotazione della testa che determina (insieme alla spinta dei martinetti) la quantità di terreno in entrata nella camera di scavo;
- velocità di rotazione della coclea che determina la quantità di terreno in uscita dalla camera di scavo;
- portata e caratteristiche fisiche dell'agente fluidificante che determinano il comportamento idrostatico del cake e ne garantiscono l'adeguata plasticità, fluidità e permeabilità; la fluidità del materiale influisce, inoltre, sia sul momento torcente della testa sia sulle quantità di terreno in entrata e in uscita;
- momento torcente applicato all'albero della testa fresante. Da questo dato si può capire la fluidità del cake all'intorno della camera;
- spinta dei martinetti principali che contribuisce a determinare sia la pressione di terreno in entrata nella camera di scavo sia la quantità di terreno in entrata nella camera stessa.

Variando questi dati l'operatore dovrà mantenere la pressione della camera all'interno dei limiti prefissati.

Se la pressione dovesse calare si può aumentare la spinta dei martinetti o la velocità della testa per aumentare la quantità di terreno in entrata, oppure ridurre la portata della coclea, mentre se la

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100ECVROGN0000016A00 Foglio 84 di 84

pressione dovesse superare il limite prefissato si possono compiere le operazioni opposte a quelle riportate appena sopra.

7.7. Armatura con fibre in acciaio strutturali

I conci strutturali sono previsti armati con sistema “tradizionale” di barre in acciaio ad aderenza migliorata tipo B450C. In sede di prefabbricazione potrà essere previsto l'utilizzo di fibre in acciaio in aggiunta alla armatura tradizionale, diminuendo l'incidenza di quest'ultima, previa verifica del rispetto dei requisiti statici.

L'armatura con le fibre, prodotte con filo di acciaio a basso tenore di carbonio ed ad elevata resistenza a trazione, permette di ottenere un incremento di tutti i parametri meccanici di resistenza del calcestruzzo ed in particolare:

- Prevenzione della fessurazione da ritiro plastico;
- Aumento della capacità di assorbire variazioni termiche;
- Capacità di assorbire energia in fase post-fessurazione;
- Aumento della resistenza a trazione per flessione;
- Aumento della resistenza agli urti;
- Aumento della resistenza ad azioni cicliche (fatica).

In particolare nel caso di conci strutturali prefabbricati si possono annoverare i seguenti ulteriori principali vantaggi:

- Migliore qualità estetica;
- Maggiore resistenza meccanica del materiale dovuta al processo produttivo industrializzato;
- Maggiore produttività nella prefabbricazione grazie alla parziale o totale eliminazione della gabbia di armatura;
- Maggiore resistenza agli urti in fase di trasporto e di messa in opera;
- Maggiore durabilità in ambiente aggressivo.

Le fibre dovranno avere le seguenti caratteristiche di base:

Acciaio a basso contenuto di carbonio

- Rm (Tensione di rottura per trazione del filo): > 1100 MPa;
- DI (Allungamento a rottura) < 4%;
- Modulo Elastico 210 GPa.