

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO  
Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche  
Dott. Ing. PAOLO CUCINO  
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

## PROGETTO ESECUTIVO

**PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"**

RELAZIONE

21 - AMBIENTE

Caratterizzazione ambientale e indagini ambientali integrative

Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO 		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R H	T A 0 0 0 0	0 0 1	A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	L. Pessina	10/09/2021	M. Pietrantoni	13/09/2021	D. Buttafoco (Dolomiti)	14/09/2021	IL PROGETTISTA P. Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO  
Dott. Ing. PAOLO CUCINO  
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

File: IB0U1BEZZRHTA0000001A.docx

n. Elab.: X

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 1 di 10

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. INDAGINI AMBIENTALI ESEGUITE .....</b>	<b>3</b>
2.1 SITI DI PRODUZIONE.....	3
2.2 SITI DI DEPOSITO IN ATTESA DI UTILIZZO.....	5
2.3 SITI DI DEPOSITO DEFINITIVI .....	6
<b>3. PIANO DELLE INDAGINI AMBIENTALI.....</b>	<b>7</b>
3.1 INDAGINI DA ESEGUIRSI NEL CASO DI AMPLIAMENTO/RIPERIMETRAZIONE DEI SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO.....	7
3.2 INDAGINI DA ESEGUIRSI NEL CASO DI NUOVI SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO .....	7
<b>4. INDAGINI RELATIVE AL CONDIZIONAMENTO DELLA TBM IN MODALITÀ CHIUSA (EPB) .....</b>	<b>8</b>
<b>5. ALLEGATI.....</b>	<b>9</b>
5.1 STUDI DI CARATTERE GEOTECNICO E CHIMICO/TOSSICOLOGICO DEL CONDIZIONAMENTO PER LO SCAVO MECCANIZZATO DI GALLERIE CON TBM-EPB .....	9

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 2 di 10

## 1. PREMESSA

Il presente documento è stato predisposto allo scopo di presentare la proposta del Piano di Indagini ambientali integrative necessarie per la verifica della qualità dei suoli delle aree interessate dalle attività di realizzazione della "Lotto 1 Fortezza-Ponte Gardena" dell'opera "Asse ferroviario Monaco-Verona, Accesso Sud alla Galleria di Base del Brennero, Quadruplicamento della Linea Fortezza-Verona" e le motivazioni che ne hanno determinato le scelte tecniche.

La proposta del Piano di indagini ambientali integrative nasce dal recepimento delle prescrizioni di cui alla Deliberazione CIPE 8/2017 e alla CTVA n.3179 del 15 novembre 2019 di approvazione dell'aggiornamento del Piano di Utilizzo dei materiali di scavo redatto ai sensi dell'art. 8 del D.M. 161/2012 del Progetto Definitivo dell'intervento in oggetto.

Nei prossimi capitoli si terrà conto di ciascuna prescrizione e verranno forniti i piani e le strategie per la loro ottemperanza, in particolare verranno affrontate le seguenti tematiche relative a:

- indagini da eseguirsi nel caso di ampliamento/riperimetrazione dei siti di deposito intermedio
- indagini da eseguirsi nel caso di nuovi siti di deposito intermedio
- indagini relative al condizionamento della tbm in modalità chiusa (EPB), a recepimento della prescrizione n.18 della CTVA 3179/2019.

Relativamente alla prescrizione n.9 del CTVA 3179/2019 *"Dovranno essere caratterizzate a norma di legge tutte le aree di cantiere (incluse tra l'altro le piste e le aree di deposito) in modo che vengano soddisfatti, ai fini della determinazione della densità dei campionamenti, sia il criterio lineare che quello areale"* si precisa che:

- Per le indagini sui **siti di produzione** in sede di PD sono state svolte tutte le indagini possibili limitatamente alle aree più facilmente accessibili visto che *"il progetto in esame si sviluppa quasi interamente in galleria profonda con altre coperture in calotta, con conseguenti ed evidenti difficoltà operative nel procedere ad una caratterizzazione ambientale in fase di progettazione dei terreni che verranno scavati dalle opere in sotterraneo, per le quali si rimanda direttamente alla fase di corso d'opera dove si procederà ad eseguire le ulteriori analisi di caratterizzazione ambientale"*. Considerato che il PE non prevede modifiche di tracciati, si conferma quindi che in fase di PE non saranno eseguite ulteriori indagini ambientali sui siti di produzione.
- Per i **siti di deposito in attea di utilizzo**, nel PD si è provveduto ad eseguire le indagini ambientali di caratterizzazione per tutti i depositi previsti. Con riguardo alla prescrizione CIPE 8/2017 n. 1 relativa alla prescrizione MATTM 5a che richiede indagini integrative nei siti di deposito AS02E e AS02F, si specifica che già in sede di riemissione del PUT in sede di PD è stato chiarito che la prescrizione è da ritenersi superata a seguito dell'aggiornamento del sistema logistico della cantierizzazione connesso al recepimento delle osservazioni degli Enti locali e delle prescrizioni della Delibera CIPE. Qualora nella prosecuzione della progettazione emerga la necessità di una estensione dei depositi già individuati o della necessità di nuovi depositi intermedi si procederà all'esecuzione di nuove indagini ambientali. Nel caso di aree già previste in PD che potrebbero necessitare di ampliamenti/riperimetrazioni si dovranno intensificare le analisi mantenendo il set di analisi eseguito in PD, nelle modalità indicate nel presente

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 3 di 10

documento. Nel caso di aree aggiuntive occorrerà integrare il suddetto set di analiti, in linea con quanto previsto dall'Allegato 4 del D.M. 161/2012, nelle modalità indicate nel presente documento.

- Per quanto riguarda i **siti di deposito finale** (prescrizione n.5 della delibera CIPE 8/2017) ferma restando la competenza del Proponente per il Piano di Utilizzo, si precisa che le indagini ambientali sono di competenza del Proponente. L'Appaltatore fornirà tutti gli elementi utili affinché la Stazione Appaltante possa provvedere ai dovuti passaggi approvativi con il Ministero.
- Relativamente alle **altre aree di cantiere** (cantieri base, cantieri operativi, aree tecniche e area di cantiere armamento/attrezzaggio tecnologico) ed alle piste di cantiere si procederà alla caratterizzazione delle stesse ai sensi del D.M. 161/2012, conformemente a quanto adottato nel PD, a seguito della effettiva definizione della cantierizzazione definitiva. Le aree di cantiere definite saranno caratterizzate solo in caso in caso di effettiva previsione di utilizzo delle stesse.

In considerazione delle possibili interpretazioni della prescrizione 9 del CTVA 3179/2019, è da ritenersi necessaria una condivisione dell'approccio proposto da parte della Stazione Appaltante.

## 2. INDAGINI AMBIENTALI ESEGUITE

Nel corso delle attività di progettazione definitiva sono state eseguite delle analisi di caratterizzazione ambientale dei terreni atte a definire lo stato qualitativo dei materiali da scavo provenienti dalla realizzazione delle principali opere all'aperto nonché in corrispondenza delle opere d'imbocco delle gallerie e delle finestre costruttive; le profondità di indagine sono state definite in funzione delle quote di scavo previste nei diversi tratti del tracciato in progetto.

In aggiunta a quanto sopra, sono stati caratterizzati tutti i siti di deposito in attesa di utilizzo finale mediante il prelievo ed analisi di campioni di top soil. Sono inoltre stati eseguiti il prelievo ed analisi di campioni di top soil sull'area di deposito definitivo denominata Plattner, mentre non è stato possibile procedere alla caratterizzazione dei siti di Forch II e Hinterrigger. Nei paragrafi a seguire sono riassunte brevemente le indagini realizzate, con riferimento al PUT del Progetto Definitivo.

### 2.1 SITI DI PRODUZIONE

Nel mese di giugno 2011 è stata condotta una prima campagna di indagini di caratterizzazione ambientale nell'ambito della progettazione definitiva del Sub Lotto Funzionale "Fluidificazione del traffico ed interconnessioni con la rete esistente del Lotto 1 Fortezza-Ponte Gardena" che ha previsto la realizzazione di n. 2 sondaggi geognostici a Fortezza e n. 2 sondaggi geognostici a Ponte Gardena e il prelievo di n. 3 campioni ambientali da ciascun sondaggio.

Nel mese di luglio 2012 si è inoltre proceduto all'esecuzione di indagini geognostiche a supporto della progettazione definitiva del "Lotto 1 Fortezza-Ponte Gardena". Tra i sondaggi profondi eseguiti ai fini geotecnici si è ritenuto opportuno procedere, ove possibile, alla caratterizzazione dei terreni che verranno movimentati per la realizzazione delle opere in progetto, con particolare riferimento alle opere di imbocco della finestra di Aica, della finestra di Chiusa e dell'interconnessione di Fortezza, nonché alle opere all'aperto nei pressi del fiume Isarco.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 4 di 10

Sui campioni prelevati sono stati ricercati i parametri ritenuti più rappresentativi tra quelli previsti dalla Tabella 4.1 del D.M. 161/2012 e quelli previsti dalla Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

Nella seguente tabella è riportato il riepilogo dei campioni di terreni prelevati e dei parametri analizzati.

Campagna di indagine	Ubicazione sondaggio	Denominazione sondaggio	Profondità prelievo campione	Parametri analizzati
Giugno 2011	Interconnessioni Galleria Gardena PonteGardena	S1	0-1 m	Metalli (Cd, Cr, Cr VI, Cu, Ni, Hg, Pb, Zn) Alifatici clorurati cancerogeni Alifatici clorurati non cancerogeni Alifatici alogenati HC C<12 HC C>12 Oli minerali IPA Fitofarmaci
			4-5 m	
			8-9 m	
		S2	0-1 m	
			4-5 m	
			7-8 m	
	Interconnessioni Galleria Scaleres latoFortezza	H3	0-1 m	
			3-4 m	
		H4	5-6 m	
			0-1 m	
		1-2 m		
		3,5-4,5 m		
Luglio 2012	Opere di imbocco Galleria Scaleres latoSarco	C7	4-5 m	Metalli (As, Be, Cd, Co, Cr, Cr VI, Hg, Ni, Cu, Se, Zn) BTEX IPA PCB HC C>12
	Opere di imbocco Galleria Gardena latoSarco	C22	8-9 m	
	Opere di imbocco Galleria Scaleres latoFortezza	C1	2-3 m	
	Opere di imbocco Finestra di Chiusa	C11	4-5 m	
	Opere di imbocco Finestra di Aica	C15	38-39 m	
		C17	18-19 m	
		C20	3-4 m	

Tab. 1 - Campioni ambientali analizzati nel corso delle indagini di caratterizzazione pregresse

Le analisi chimiche sui campioni di suolo prelevati dalle due campagne di Giugno 2011 e Luglio 2012 sono state eseguite rispettivamente presso i laboratori accreditati pH S.r.l. e C.S.A. S.p.A.

I risultati analitici sono stati confrontati con le Concentrazioni Soglia di Contaminazione di cui alla Colonna A (Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale) e Colonna B (Siti a destinazione d'uso commerciale e industriale), Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. 152/06 ed hanno evidenziato il rispetto dei limiti di cui alla Colonna A.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 5 di 10

## 2.2 SITI DI DEPOSITO IN ATTESA DI UTILIZZO

Le attività di campo hanno visto anche il prelievo di campioni di top soil rappresentativi dei primi 20 cm di suolo in corrispondenza delle aree di cantiere che si prevede di adibire ad aree di deposito in attesa di utilizzo.

Nella tabella seguente si riporta il riepilogo di tutti i campioni di top soil prelevati presso i siti di deposito in attesa di utilizzo:

Codice	Caratterizzazioni Ambientali top soil [0-20 cm]	
	Numero punti	Denominazione punti
A.S.01	2	A.S.01.TS1 - A.S.01.TS2
A.S.02A	4	A.S.02A.TS1 - A.S.02A.TS2 - A.S.02A.TS3 - A.S.02A.TS4
A.S.02B	6	A.S.02B.TS1 - A.S.02B.TS2 - A.S.02B.TS3 - A.S.02B.TS4 - A.S.02B.TS5 - A.S.02B.TS6
A.S.02C	4	A.S.02C.TS1 - A.S.02C.TS2 - A.S.02C.TS3 - A.S.02C.TS4
A.S.02D	3	A.S.02D.TS1 - A.S.02D.TS2 - A.S.02D.TS3
A.S.02E	5	A.S.02E.TS1 - A.S.02E.TS2 - A.S.02E.TS3 - A.S.02E.TS4 -A.S.02E.TS5
A.S.02F	6	A.S.02F.TS1 - A.S.02F.TS2 - A.S.02F.TS3 - A.S.02F.TS4 - A.S.02F.TS5 - A.S.02F.TS6
A.S.03	3	A.S.03.TS1 - A.S.03.TS2 - A.S.03.TS3
A.S.04A	2	A.S.04.TS1 - A.S.04.TS2
A.S.04B	2	A.S.04.TS3 - A.S.04.TS4
A.S.05	2	A.S.05.TS1 - A.S.05.TS2
A.S.06A	3	A.S.06A.TS1 - A.S.06A.TS2 -A.S.06A.TS3
A.S.06B	2	A.S.06B.TS1 - A.S.06B.TS2
<b>Totale</b>	<b>44</b>	

Tab. 2 - Riepilogo punti di indagine top soil

In totale sono quindi stati prelevati n. 44 campioni di top soil su cui sono stati ricercati i seguenti parametri macroindicatori delle potenziali contaminazioni presenti nello strato superficiale di terreno a seguito di attività antropica:

- PCB;
- Amianto;
- Diossine e furani.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 6 di 10

I risultati analitici delle indagini eseguite sono risultati conformi con le Concentrazioni Soglia di Contaminazione di cui alla Colonna A (Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale), Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. 152/06).

### 2.3 SITI DI DEPOSITO DEFINITIVI

Al fine di valutare la compatibilità ambientale dei materiali scavati con i siti di deposito finale individuati, in fase di progettazione definitiva sono stati eseguiti il prelievo ed analisi di campioni di top soil sull'area denominata Plattner, mentre non è stato possibile procedere alla caratterizzazione dei siti di Forch II e Hinterrigger in quanto ad oggi risultano in parte non ancora scavati ed in parte parzialmente interessati da interventi di rimodellamento morfologico a cura di terzi.

In particolare, le analisi sono consistite nel prelievo di n. 15 campioni di terreno superficiali (0-1 m) dall'area di Plattner, sui quali sono stati ricercati i seguenti parametri:

- Metalli (As, Cd, Co, Cr Tot, Cr VI, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn);
- BTEXS;
- IPA;
- Idocarburi;
- Amianto.

In riferimento alle analisi eseguite tutti i campioni analizzati risultano conformi rispetto alle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, fatta eccezione per il campione C6 che presenta un superamento dei limiti di col.A per il parametro Arsenico.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 7 di 10

### 3. PIANO DELLE INDAGINI AMBIENTALI

Così come riportato in premessa, in assenza di variazioni rispetto a quanto previsto dal Progetto Definitivo non si ritiene necessario procedere con ulteriori indagini volte alla caratterizzazione ambientale dei terreni in corrispondenza dei siti di produzione e dei siti di deposito intermedio individuati dal PD.

Le modalità di caratterizzazione in seguito riportate sono da considerarsi nel caso di ampliamento/riperimetrazione dei siti di deposito intermedio ad oggi individuati o di individuazione di nuovi siti di deposito intermedio.

#### 3.1 INDAGINI DA ESEGUIRSI NEL CASO DI AMPLIAMENTO/RIPERIMETRAZIONE DEI SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO

Nel caso in cui si dovessero rendere necessari ampliamenti o modifiche del perimetro dei siti di deposito intermedio già caratterizzate in fase di progettazione definitiva, si procederà al prelievo di ulteriori campioni di top soil rappresentativi dei primi 20 cm di suolo nelle aree ad oggi non ancora indagate in numero conforme a quanto previsto dal D.M. 161/2012, per analogia con le indagini già realizzate. Conformemente a quanto già condotto (§2.2), sui campioni di top soil prelevati verranno ricercati i seguenti parametri:

- PCB;
- Amianto;
- Diossine e furani.

#### 3.2 INDAGINI DA ESEGUIRSI NEL CASO DI NUOVI SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO

Nel caso in cui dovessero essere individuati nuovi siti di deposito intermedio, si procederà ad effettuare nuovi campionamenti di top soil in numero conforme a quanto previsto dal D.M. 161/2012, per analogia con le indagini già realizzate. I campioni saranno sottoposti ad analisi per la determinazione dei parametri previsti dall'Allegato 4 del suddetto decreto:

- Arsenico;
- Cadmio;
- Cobalto;
- Nichel;
- Piombo;
- Rame;
- Zinco;
- Mercurio;
- Idrocarburi C>12;
- Cromo totale;
- Cromo VI;
- Amianto;
- BTEXS;
- IPA.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 8 di 10

#### 4. INDAGINI RELATIVE AL CONDIZIONAMENTO DELLA TBM IN MODALITÀ CHIUSA (EPB)

Come anticipato nella Relazione di Sistema, lo scavo della galleria Gardena e delle due interconnessioni è previsto con scavo meccanizzato con macchina "dual mode" con la possibilità di passare dall'avanzamento a scudo aperto a quello con fronte in pressione (EPB) durante l'avanzamento dello scavo e in funzione delle effettive necessità.

L'utilizzo della macchina dual-mode potrebbe quindi dare l'opportunità di limitare l'uso di schiumogeni solo a tratti di effettiva necessità. Complessivamente questi tratti, allo stato attuale delle conoscenze, potrebbero essere inferiori a quelli previsti nel PD, quindi con una riduzione delle criticità legate a questa pratica.

Per affrontare in maniera rigorosa questo tema, l'Appaltatore ha previsto di sviluppare una serie di studi e analisi di laboratorio sui materiali che saranno interessati dall'avanzamento con additivi per testarne le proprietà (prestazionali e ambientali) tramite il supporto di specialisti (GEEG Start up della Università La Sapienza di Roma).

Le tematiche di dettaglio su questa indagine vengono affrontate nello specifico documento allegato alla presente Relazione.

Allo stato attuale delle conoscenze l'avanzamento in modalità EPB potrebbe essere necessario in alcune tratte per motivi geotecnici (presenza di filladi carboniose) associati a forti coperture e/o presenza di porzioni di ammasso fortemente tettonizzate o per motivi legati alla presenza di strutture in superficie con coperture relativamente ridotte.

Il prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio specifico è stato previsto quindi in corrispondenza dei sondaggi pianificati per l'accertamento della faglia della Val di Funes e delle caratteristiche delle filladi carboniose (Galleria Gardena tra le pk 16+850 e 18+750). Inoltre si prevedono campioni anche dai sondaggi pianificati per lo studio delle condizioni geotecniche in corrispondenza dei due sottoattraversamenti del viadotto della A22 con le due canne delle interconnessioni B.P. e B.D.; alcuni prelievi potranno inoltre essere previsti nella zona di Ponte Gardena, dove le basse coperture associate alla presenza di terreni siti in vicinanza della linea ferroviaria in esercizio potrebbe far richiedere un avanzamento con fronte in pressione.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> <b>SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST          M Ingegneria</b>													
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>TA0000001</td> <td>A</td> <td>9 di 10</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	TA0000001	A	9 di 10
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	TA0000001	A	9 di 10								

## 5. ALLEGATI

### 5.1 STUDI DI CARATTERE GEOTECNICO E CHIMICO/TOSSICOLOGICO DEL CONDIZIONAMENTO PER LO SCAVO MECCANIZZATO DI GALLERIE CON TBM-EPB

Si veda a seguire l'allegato in oggetto.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0U</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>TA0000001</td> <td>A</td> <td>1 di 20</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	RH	TA0000001	A	1 di 20
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IB0U	1BEZZ	RH	TA0000001	A	1 di 20								

## ALLEGATO 1 – STUDI DI CARATTERE GEOTECNICO E CHIMICO/TOSSICOLOGICO DEL CONDIZIONAMENTO PER LO SCAVO MECCANIZZATO DI GALLERIE CON TBM-EPB

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INQUADRAMENTO DELL'OPERA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. CONFIGURAZIONE DELLE PRINCIPALI OPERE IN SOTTERRANEO .....</b>	<b>3</b>
<b>4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO .....</b>	<b>4</b>
<b>5. IL CONDIZIONAMENTO PER LO SCAVO MECCANIZZATO DI GALLERIE CON TBM-EPB.....</b>	<b>5</b>
5.1 GENERALITÀ.....	5
5.2 IL CONDIZIONAMENTO DEI TERRENI A GRANA FINE.....	9
5.3 IL CONDIZIONAMENTO DEI TERRENI A GRANA GROSSA.....	9
<b>6. ATTIVITÀ SPERIMENTALE .....</b>	<b>12</b>
6.1 GENERALITÀ.....	12
6.2 ATTIVITÀ SPERIMENTALI GEOTECNICHE .....	12
6.2.1 Prove di caratterizzazione dell'agente condizionante: .....	14
6.2.2 Prove di caratterizzazione della schiuma .....	15
6.2.3 Prove di caratterizzazione del terreno condizionato .....	16
6.3 ATTIVITÀ SPERIMENTALI DI CARATTERE CHIMICO ED ECO-TOSSICOLOGICO .....	17

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>TA0000001</td> <td>A</td> <td>1 di 20</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	TA0000001	A	1 di 20
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	TA0000001	A	1 di 20								

## 1. PREMESSA

Il presente documento, dopo una prima descrizione dell'opera in oggetto e un inquadramento dal punto di vista geologico/geotecnico delle formazioni interessate dallo scavo delle gallerie, contiene una serie di valutazioni di carattere generale in merito agli studi sul condizionamento in fase di scavo ed in merito alla successiva gestione delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto.

In questa fase il documento contiene una sintesi dei contenuti e della metodolgia adottata per gli studi sul condizionamento (di carattere geotecnico e chimico/ecotossicologico) che saranno parte della documentazione del Progetto Esecutivo.

Questo documento, coerentemente con lo sviluppo delle attività sperimentali, verrà integrato con i dettagli delle prove, dei risultati e delle considerazioni conclusive in merito alla gestione delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto.

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 2 di 20

## 2. INQUADRAMENTO DELL'OPERA

L'opera in esame consiste nell'insieme dei lavori di realizzazione dell'"Asse ferroviario Monaco – Verona, Accesso Sud alla Galleria di Base del Brennero, Quadruplicamento della Linea Fortezza – Verona, Lotto 1 Fortezza – Ponte Gardena", rappresentata in Fig. 1.

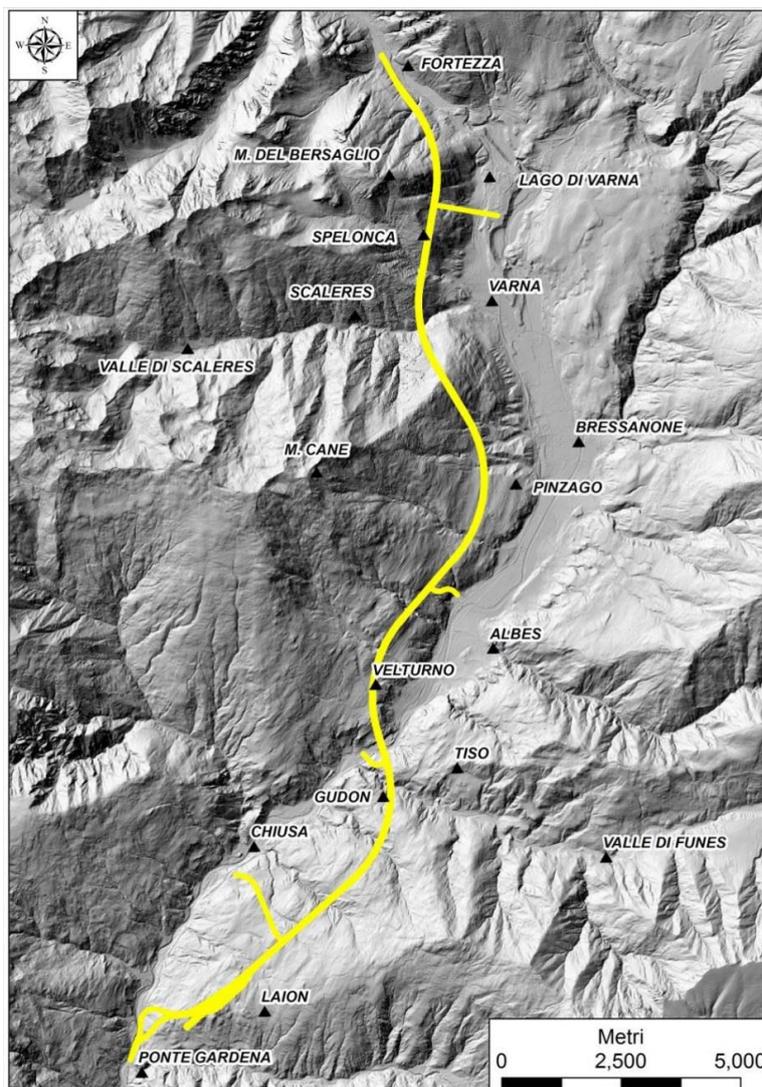


Fig. 1 – Inquadramento geografico dell'area di studio

L'area del Lotto 1 in studio (Fig. 2) è ubicata nel territorio della Provincia Autonoma di Bolzano e attraversa 8 comuni tra l'abitato di Fortezza (porzione settentrionale della tratta) e l'abitato di Ponte Gardena (porzione meridionale della tratta): Fortezza, Varna, Bressanone, Velturmo, Funes, Chiusa, Laion e Ponte Gardena.

La lunghezza totale del tracciato a doppio binario nel Lotto 1 è di circa 22.5 km e si sviluppa in massima parte in sotterraneo mediante due gallerie naturali denominate Scaleres (doppia canna, 15.4 km) in destra

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 3 di 20

idrografica Isarco e Gardena (doppia canna, 6.2 km) in sinistra idrografica, aventi lunghezza complessiva di circa 21.6 km. Le due gallerie sono collegate da un viadotto (circa 200 m) che attraversa la val d'Isarco in prossimità della confluenza con la val di Funes. Il progetto prevede inoltre le gallerie di interconnessione di Ponte Gardena (Binario Pari circa 2.3 km, Binario Dispari circa 3.1 km).

In particolare dalla Stazione di Fortezza, dove i nuovi binari affiancano la linea esistente, il tracciato procede verso Sud e dopo un breve tratto in trincea entra in galleria (Galleria Scaleres e prosegue in destra dell'Isarco fino al ponte sull'Isarco. Superato il Viadotto Isarco, il tracciato rientra nuovamente in sotterraneo (Galleria Gardena) in sinistra Isarco e prosegue sino alle radici delle Interconnessioni di Ponte Gardena. La galleria Gardena del Lotto 1 rappresenta una porzione di una galleria ben più lunga che si svilupperà in prosecuzione a Sud, uscendo presso l'abitato di Bronzolo, e che rientra nell'ambito dei futuri lotti di completamento dell'accesso Sud alla Galleria di Base del Brennero. Il collegamento della Galleria Gardena alla rete esistente è previsto tramite due rami di interconnessione in gran parte in sotterraneo, di lunghezza rispettivamente 2.3 km circa per il B.P. e 3 km circa per il B.D, che, partendo dalle radici delle interconnessioni, sboccheranno in corrispondenza della stazione di Ponte Gardena.

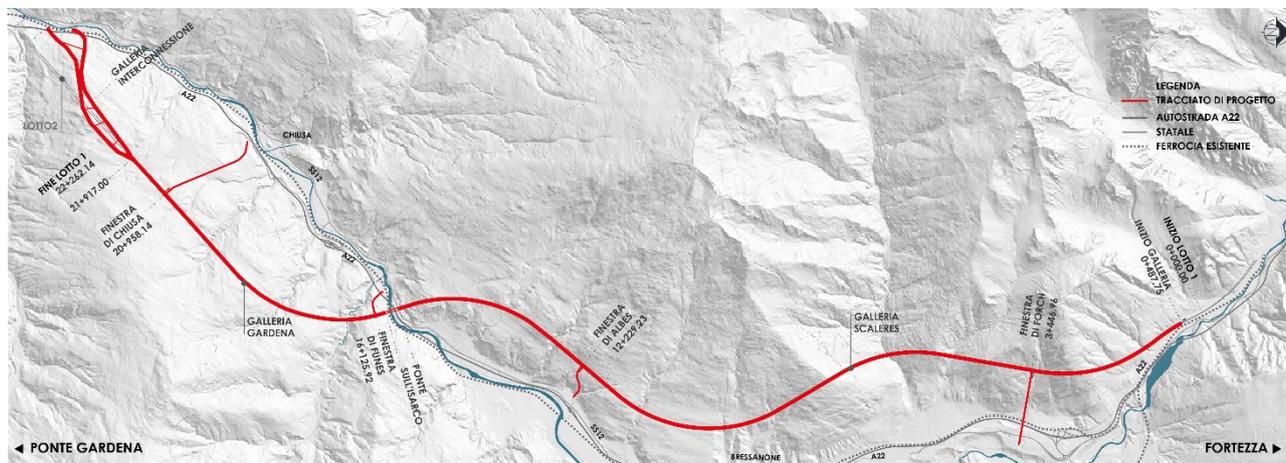


Fig. 2 – Inquadramento territoriale del Lotto 1

### 3. CONFIGURAZIONE DELLE PRINCIPALI OPERE IN SOTTERRANEO

Le principali opere in sotterraneo sono costituite dalla Galleria Scaleres, Galleria Gardena e le due Gallerie di Interconnessione di Ponte Gardena.

La galleria Scaleres si sviluppa con configurazione a doppia canna, singolo binario e interasse tra le canne pari a 40 m. Il tracciato è caratterizzato da una livelletta monopendente (pendenza massima del 12,50% circa) in discesa verso le progressive crescenti e presenta la copertura massima di 780 m circa. Per lo scavo di questa galleria è previsto l'impiego di una TBM-S da roccia.

La Galleria Gardena si sviluppa con configurazione a doppia canna, singolo binario, con interasse tra le canne pari a 40 m. Il tracciato procede in discesa verso le progressive crescenti e presenta la copertura massima di 600 m circa. Per la realizzazione della Galleria Gardena sono previsti sia il metodo di scavo tradizionale sia lo scavo meccanizzato con EPB (Earth Pressure Balance) dual-mode.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
21 - AMBIENTE Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 4 di 20

Le due gallerie di interconnessione Ponte Gardena a singolo binario si diramano in direzione Sud-Ovest dalla Galleria di linea Gardena ed escono in superficie in prossimità della Stazione di Ponte Gardena. La galleria di Interconnessione binario dispari ha copertura massima di circa 600 m, mentre il binario pari raggiunge la copertura massima di 580 m circa. Entrambe le gallerie saranno realizzate con EPB dual-mode.

#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

L'area di interesse si colloca in uno dei settori più complessi delle Alpi orientali, in prossimità della linea Insubrica, noto sistema di faglie che separa le unità Europa vergenti da quelle Africa vergenti. L'area rilevata si sviluppa a sud di tale lineamento, nel dominio Sudalpino o delle Alpi Meridionali, caratterizzato da un basamento ercinico e da successioni vulcaniche e sedimentarie di età permo-mesozoica.

Nel settore in studio è presente un basamento metamorfico composto da una potente sequenza di rocce filladiche e quarzo/filladiche che in determinate porzioni sono intervallate da lenti ricche in grafite e da metavulcaniti acide (porfiroidi Auct.); tale basamento costituisce la maggior parte del volume roccioso interessato dall'opera in progetto. Il substrato roccioso è spesso coperto da depositi Quaternari (Pleistocene Sup. – Olocene).

Le formazioni interessate, limitatamente alle gallerie di interconnessione e la galleria Gardena in cui si prevede l'utilizzo di EPB, sono di seguito elencate a partire dal basamento verso i termini più recenti:

- **Filladi ricche in quarzo (BSSa):** alternanza di filladi ricche in quarzo, quarziti filladiche e livelli più prettamente filladici. La roccia presenta un aspetto generalmente massivo grazie alle porzioni quarzitiche. Lungo le zone di taglio (Rio Gudon, Rio Secco) sono presenti corpi di filladi sericitizzate, di colore argenteo, untuose al tatto, affioranti soprattutto nella zona tra rio Funes e Gudon.
- **Porfiroidi (p):** all'interno delle filladi ricche in quarzo (BSSa) sono presenti lenti e corpi di porfiroidi costituiti da metavulcaniti e metavulcanoclastiti acide (protoliti probabilmente riolitici, riodacitici), che presentano una struttura massiccia o leggermente foliata (scistosità S1 con strike prevalenti NS). I porfiroidi hanno una composizione mineralogica comprendente microclini, sanidini, ortoclasti, plagioclasti, mica, clorite, epidoto e quarzo. Talvolta il loro aspetto è di tipo granitoide con colorazione variabile dal bianco lattiginoso al rossiccio. Nella dorsale di Tiso e Naves sono altresì presenti lenti di paragneiss, con fabric prealpino costituiti da plagioclasio, quarzo, biotite, ± muscovite (frequente), che formano corpi di discrete dimensioni.
- **Filladi carboniose (BSSc):** filladi quarzifere alternate a lenti più o meno potenti (anche decine di metri) contenenti grafite, quarzo, mica, ± titanite/ilmenite. Le filladi carboniose sono state cartografate nell'area in studio in sinistra idrografica Isarco e in Val di Funes.
- **Filladi (Fillade quarzifera di Bressanone Auct. – BSSb):** filladi caratterizzate da percentuali variabili di quarzo, passanti a facies a prevalenti fillosilicati con vene/letti di quarzo bianco trasposto all'interno della foliazione ed intercalate a livelli di micascisti. L'unità è stata cartografata unicamente in sinistra idrografica Isarco nei pressi dell'abitato di Albions.
- **Paragneiss di Laion (PRL):** intercalazioni di anfiboliti (anfibolitimetagabbri in Rofner et alii, 2010) ad anfibolo verde (actinolite), albite, clorite ed epidoto in individui da submillimetrici a centimetrici e metabasalti che hanno mantenuto la loro composizione originaria (basalti mafici di fondo marino

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
21 - AMBIENTE Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 5 di 20

secondo Visonà et al., in stampa). L'unità affiora unicamente nei pressi dell'abitato di Gudon, lungo il contatto tettonico alpino tra BSSa e BSSc.

- **Lave andesitiche (α)**
- **Depositi alluvionali attuali (aa) e recenti (ar):** sabbie medio-grossolane grigie e da ghiaie e conglomerati poligenici ad elementi di dimensioni variabili che raggiungono, in alcuni casi, dimensioni superiori al metro. Lo spessore di tali depositi è difficilmente valutabile in campagna. I depositi alluvionali attuali sono presenti lungo quasi tutto il tratto di fiume che rientra nell'area oggetto dell'indagine; le alluvioni sono costituite quasi esclusivamente da ciottoli poligenici di dimensioni variabili ma, nella maggior parte dei casi, superiori al decimetro sino ad arrivare a dimensioni superiori al metro.
- **Detriti di versante e depositi da debris flow (d):** depositi eterogenei ed eterometrici, a dimensioni variabili dai blocchi ai limi argillosi, derivanti da accumulo per trasporto in massa fluida lungo rii e canali adiacenti la valle Isarco o dalla degradazione e rimaneggiamento dei litotipi affioranti lungo i versanti. La natura litologica del deposito riflette il substrato su cui si impostano, che nella maggior parte del territorio è costituito da rocce metamorfiche filladiche; nel settore più settentrionale tali depositi sono costituiti da elementi di granito e di altre rocce magmatiche.
- **Depositi antropici (h):** depositi eterogenei ed eterometrici riconducibili ad attività antropiche

## 5. IL CONDIZIONAMENTO PER LO SCAVO MECCANIZZATO DI GALLERIE CON TBM-EPB

### 5.1 GENERALITÀ

La tecnologia di scavo EPB nasce originariamente in Giappone per affrontare lo scavo di terreni a grana fine nei quali la tecnologia di scavo Slurry Shield (SS) comportava performance di scavo molto limitate per via, tra le altre cose, della scarsa permeabilità del terreno alla bentonite e della scarsa capacità della bentonite di permeare e miscelarsi ai terreni con elevate percentuali di argilla.

Per superare tale difficoltà si è pensato all'utilizzo di agenti chimici in grado di permeare, miscelarsi e disgregare i legami tra le particelle di terreno a grana fine (limi e argille) in modo più efficace.

Nel tempo la tecnologia di scavo EPB ha soppiantato la tecnologia SS grazie ad una serie di vantaggi tecnici e operativi e attualmente è utilizzata in una varietà di contesti geologici, idraulici e geotecnici, come mostrato nella figura seguente.

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>TA0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>6 di 20</b>

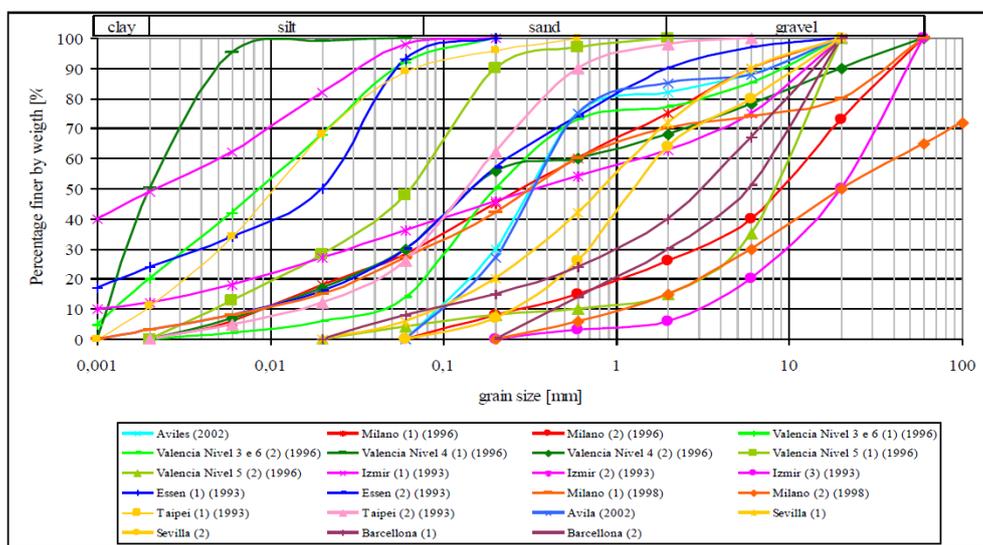


Fig. 3 – Esempi di granulometrie di terreni scavati con tecnologia EPB.

Per ottenere tali risultati, tuttavia, il condizionamento del terreno, inteso come l'insieme delle azioni di modifica delle caratteristiche del terreno scavato dalla TBM al fine di trasformarlo in un mezzo omogeneo in grado di trasmettere uniformemente una pressione al fronte, ha dovuto evolversi e includere una varietà di agenti condizionanti e una varietà di differenti tipologie di trattamenti del terreno con finalità anche sensibilmente differenti a seconda delle caratteristiche del terreno di partenza.

Il condizionamento del terreno serve principalmente a:

- modificare le proprietà del terreno scavato e mantenere una corretta distribuzione della pressione nella camera di scavo e, conseguentemente, applicata al fronte;
- modificare le proprietà del terreno di scavo per consentire un corretto deflusso del terreno stesso dal fronte della camera di scavo attraverso la coclea, verso il nastro trasportatore;
- ridurre, se necessario, l'abrasione delle superfici degli strumenti metallici di scavo e, in generale, gli attriti e le temperature all'interno della camera di scavo;
- ridurre, se necessario, la tendenza del terreno ad aderire alle superfici metalliche degli attrezzi di scavo, riducendo il momento torcente e diminuendo il rischio di blocco della testata di scavo (effetto clogging).

La pressione al fronte viene applicata mediante lo stesso terreno di scavo opportunamente trattato con prodotti chimici sotto forma di schiuma. Controllando la velocità di rotazione della testa di scavo, la forza di spinta e la velocità di rotazione della coclea è possibile bilanciare in ogni momento il volume di terreno in ingresso in camera di scavo e quello in uscita attraverso la coclea e, conseguentemente, regolare quasi istantaneamente la pressione del terreno nella camera di scavo (Anagnostou e Kovari, 1996).

Come detto, lo scavo meccanizzato di gallerie con tecnologia TBM-EPB, richiede, durante le fasi di scavo, l'iniezione continua di prodotti chimici per modificare le caratteristiche del terreno fornendo al terreno

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 7 di 20

scavato le caratteristiche fisico/meccaniche adeguate ad applicare una pressione al fronte e, nello stesso tempo, facilitando le operazioni di scavo e trasporto del terreno scavato all'esterno della galleria.

Queste operazioni sono possibili solo se il terreno possiede la giusta consistenza e le sue caratteristiche non variano troppo rapidamente nel tempo.

Gli agenti condizionanti vengono utilizzati per garantire tali condizioni e sono iniettati principalmente tramite ugelli posizionati sulla testa fresante contestualmente alla rotazione e, se necessario, all'interno della camera di scavo e all'interno della coclea durante l'estrazione dei detriti, come mostrato nella figura sottostante.

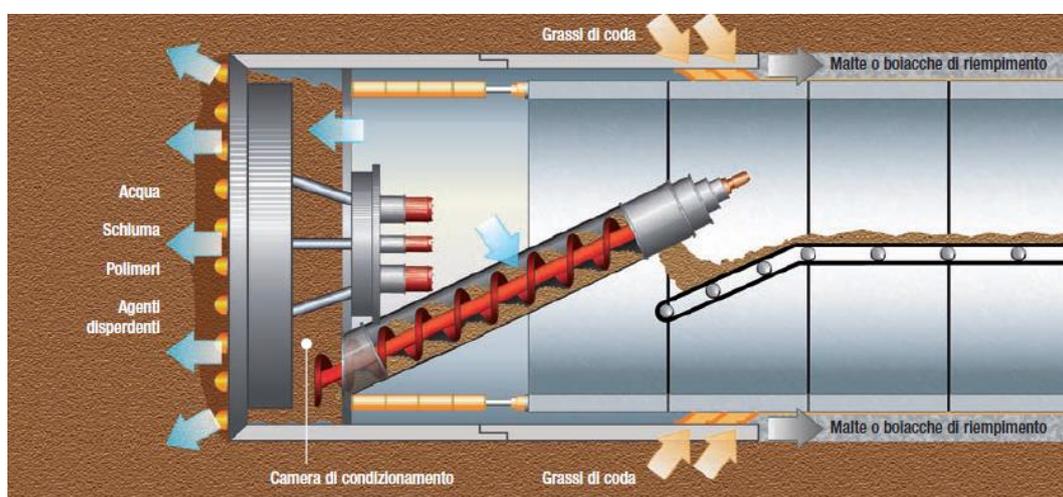


Fig. 4 – Punti di iniezione degli agenti condizionanti.

Le tipologie di prodotti chimici comunemente utilizzati nello scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB sono essenzialmente due: agenti schiumogeni iniettati sotto forma di schiume e polimeri che vengono diluiti in acqua e iniettati separatamente, insieme alla schiuma o direttamente premiscelati nell'agente schiumogeno a seconda della natura e dello scopo del loro uso.

I dosaggi, i parametri di condizionamento e le tipologie dei prodotti chimici sono regolati in funzione dei parametri geologici, geotecnici e idraulici del terreno da scavare, della geometria e delle caratteristiche della TBM, del contesto in cui viene eseguito lo scavo e infine anche in funzione del progetto per il riutilizzo del suolo dopo lo scavo.

La schiuma viene generata impostando alcuni parametri che ne identificano le caratteristiche chimico/fisiche; tali parametri sono gli stessi che vengono misurati in tempo reale durante le varie fasi di scavo e permettono un confronto tra quanto ricavato in laboratorio e quanto sperimentato in cantiere.

Sinteticamente di seguito sono definiti i principali parametri ai quali ci si riferirà nel documento.

#### Concentration Factor, Cf

Il Concentration Factor,  $C_f$ , è la concentrazione con la quale il tensioattivo viene miscelato all'acqua per formare la parte liquida della schiuma:

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
21 - AMBIENTE Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 8 di 20

$$Cf_{tens.} = 100 \cdot \frac{m_{ags}}{m_{ssc}}$$

dove  $m_{ags}$  è la massa dell'agente schiumogeno iniettato e  $m_{ssc}$  la massa della soluzione schiumogena formata dall'agente schiumogeno e dall'acqua. Il valore del parametro  $Cf$  è generalmente compreso tra 0.5% e 5% (mediamente 2.0% - 2.5%) e varia in base al singolo prodotto disponibile in commercio.

### Foam Expansion Ratio, FER

Il *FER* è un indice delle caratteristiche volumetriche della schiuma; è per definizione il rapporto tra il volume della schiuma (aria + acqua + agente schiumogeno) e il volume di soluzione schiumogena (acqua + agente schiumogeno):

$$FER = \frac{V_s}{V_{ssc}}$$

dove  $V_s$  è il volume complessivo della schiuma e  $V_{ssc}$  è il volume della soluzione schiumogena.

Il *FER* è generalmente compreso tra 6:1 e 20:1 (mediamente 10:1-12:1); al crescere del *FER* la schiuma risulta più asciutta, Il valore del *FER* da impiegare in cantiere è principalmente correlato alla granulometria del terreno da trattare e alla presenza della falda.

### Il Foam Injection Ratio, FIR

Il *FIR* è un indice che esprime la quantità di schiuma iniettata durante la fase di avanzamento della TBM per condizionare un determinato volume di terreno, essendo il rapporto tra il volume di schiuma immessa ed il volume nominale di terreno scavato.

$$FIR = 100 \cdot \frac{V_s}{V_t}$$

essendo  $V_s$  il volume della schiuma iniettata e  $V_t$  il volume di terreno scavato.

Il *FIR* rappresenta il consumo di schiuma per  $m^3$  di terreno scavato ed è in genere compreso tra il 10% e l'80% ma può raggiungere valori anche superiori al 100% (mediamente si impiegano valori compresi tra il 30% e il 60%).

Nei seguenti paragrafi si cercherà di approfondire il tema del condizionamento in funzione delle caratteristiche del terreno distinguendo tra terreni a grana grossa, intesi come terreni con percentuali rilevanti di ghiaia e sabbia grossa, e terreni a grana fine, intesi come terreni con rilevanti percentuali di argille e limi.

Il comportamento di terreni con una granulometria intermedia caratterizzati da percentuali di sabbia, limo e argilla confrontabili tra loro tendono ad essere più facilmente gestibili durante lo scavo in quanto risultano più facili da trasformare in un mezzo omogeneo e in quanto generalmente non presentano né fenomeni

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 9 di 20

particolarmente critici legati all'eccessiva usura né i fenomeni legati al clogging o al rischio di intasamento della camera di scavo e della coclea.

## 5.2 IL CONDIZIONAMENTO DEI TERRENI A GRANA FINE

Per i terreni a grana fine l'interazione tra particelle di argilla e le sostanze chimiche porta alla variazione delle caratteristiche del terreno e, in particolare, alla riduzione della naturale adesione tra terreno e superficie metallica della testa di scavo e degli altri elementi della carpenteria metallica della TBM. Questo fenomeno è particolarmente temuto durante lo scavo meccanizzato in quanto può causare ritardi nell'esecuzione dei lavori, consumi eccessivi e sollecitazioni sui motori della testa di scavo, fino al blocco della TBM con conseguente necessità di rischiose, lunghe e costose attività di manutenzione straordinaria.

Le caratteristiche ideali del terreno all'interno della camera di scavo per la corretta gestione dello scavo variano a seconda delle caratteristiche del terreno, ma le indicazioni fornite da Zumsteg et al. (2013) e da Thewes et al., (2012) suggeriscono, per i terreni a grana fine, un intervallo dell'indice di consistenza compreso tra 0.4 e 0.75. Al di sotto del valore di 0.3 – 0.4 il terreno presenta una consistenza liquida o semiliquida; ciò comporta da un lato vantaggi teorici nell'applicazione e controllo della pressione all'anteriore, ma dall'altro difficoltà nell'estrazione del materiale tramite coclea e nel trasporto mediante nastri verso l'esterno della galleria. Al di sopra del valore di 0.7, invece, il terreno presenta una consistenza troppo elevata per poter trasmettere correttamente una pressione al fronte senza provocare danni alla TBM.

Nel caso di terreni a grana fine, la modifica della consistenza nel terreno potrebbe, ragionando in linea di principio, essere ottenuto mediante iniezione di sola acqua al fronte di scavo della TBM. Il problema che richiede l'intervento di agenti condizionanti è legato al fatto che l'esperienza di una serie di scavi di gallerie con TBM-EPB pregressi e una serie di studi approfonditi in merito (Sebastiani et al. 2018, 2019, 2020), hanno mostrato in modo chiaro come in quello stesso range di consistenza il terreno mostri un'elevata tendenza ad aderire alle parti metalliche della TBM, causando il suddetto rischio clogging. Di conseguenza, oltre alla consistenza adeguata, è necessario ridurre tale rischio (Zumsteg et al., 2013) mediante il condizionamento.

Più in dettaglio l'azione del condizionamento si esplica a due livelli: da una parte l'iniezione di schiuma, composta in larga parte da aria, comporta una riduzione della saturazione del terreno ( $S_r$  anche  $< 0.8$ ) la quale ha un effetto rilevante in termini di riduzione della adesività del terreno; dall'altra l'azione degli agenti chimici contribuisce ad alterare la struttura del terreno a grana fine e dei legami tra le particelle.

Per quanto riguarda i parametri caratteristici del condizionamento, si può dire che, nel caso di terreni a grana fine, l'esigenza è quella di ottenere una modifica sostanziale della consistenza del terreno. Tale obiettivo viene solitamente raggiunto mediante l'iniezione di rilevanti volumi di acqua e di una schiuma con FER generalmente basso e compreso tra 6 e 10 (schiuma relativamente liquida ma comunque sufficientemente stabile) e FIR relativamente elevati (40%-80%). Il valore di  $C_f$  è generalmente contenuto, intorno a valori compresi tra l'1% e il 2%.

## 5.3 IL CONDIZIONAMENTO DEI TERRENI A GRANA GROSSA

lo scavo di gallerie in terreni a grana grossa con TBM-EPB presenta una serie di problematiche, considerando che, come spesso detto anche in questo documento, la tecnologia di scavo EPB si è sviluppata principalmente per lo scavo di gallerie in terreno a grana fine.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 10 di 20

In particolare, le problematiche possono essere riassunte in tre macro-categorie:

- difficoltà nell'omogeneizzare il terreno mediante iniezione di agenti condizionanti e, di conseguenza, nella capacità di esercitare una corretta pressione sul fronte di scavo e nell'estrazione del terreno tramite la coclea; il terreno a grana grossa, come è facilmente immaginabile, rispetto al terreno a grana fine, è più difficile da trasformare in una pasta omogenea capace di trasferire una pressione sul fronte di scavo;
- esposizione a fenomeni di usura della testa fresante e degli strumenti di scavo;
- frequenti fenomeni di brusca diminuzione delle pressioni in camera di scavo durante la fase di fermo successiva allo scavo.

In generale, quindi, l'obiettivo di un processo di progettazione del condizionamento è prevedere e quantificare questi rischi e prevedere i prodotti e i dosaggi più efficaci per mitigarli.

La capacità di prevedere e controllare il consumo degli utensili di scavo è uno degli aspetti decisivi per il successo di uno scavo meccanizzato. L'usura delle frese delle fresatrici dotate di tecnologia Earth Pressure Balanced (TBM-EPB) può essere critica in termini di durata e costi di costruzione. Per far fronte a questo problema vengono spesso impiegati additivi chimici con effetto lubrificante quando iniettati e miscelati nel terreno durante la fase di scavo.

Il consumo dell'utensile deve essere previsto e di conseguenza la sua sostituzione pensata per evitare il rischio di fermi imprevisti della TBM. Nel caso di una linea metropolitana, le attività di manutenzione della testata fresante sono più facili, sicure e veloci se eseguite all'interno di una stazione. Al contrario, la sostituzione delle frese senza l'assicurazione delle paratie di stazione richiederebbe iniezioni e altre forme di protezione per i lavoratori coinvolti in questa attività poco sicura, pericolosa per la stabilità del fronte e per i lavoratori coinvolti e costosa in termini di tempo ed economici.

L'usura registrata sugli strumenti di scavo e su tutte le diverse superfici destinate allo scavo è ampiamente definita come "primaria" (Nilsen et al. 2006). Tutti questi elementi, infatti, vengono comunemente sostituiti ad opportuni intervalli. Si definisce "secondaria" l'usura registrata su tutti gli elementi realizzati per supportare gli attrezzi di scavo e sugli elementi strutturali che compongono le macchine TBM. Di solito l'usura di questi elementi non è prevista dai progettisti e dai produttori e, se si verifica, può diventare un problema serio nel processo di scavo.

Il consumo primario dipende da diversi fattori: caratteristiche del terreno, dimensione e forma delle particelle, composizione mineralogica, nonché aspetti degli strumenti di scavo, come forma e materiale, numero e disposizione geometrica.

Per quanto riguarda i parametri caratteristici del condizionamento, si può dire che, nel caso di terreni a grana grossa (sabbia e ghiaia), l'esigenza è quella di trasformare le caratteristiche del terreno andando a riempire i vuoti tra i granuli con la schiuma, aumentando l'indice dei vuoti e conseguentemente riducendo numero ed entità dei contatti tra i granuli, attriti interni e resistenza al taglio. Tale obiettivo viene solitamente raggiunto mediante l'iniezione di limitati volumi di acqua e di schiuma (FIR generalmente bassi compresi tra il 20% e il 50%) con FER generalmente elevati e compresi tra 12 e 14 (schiuma più asciutta/secca generalmente molto stabile). Il Cf è generalmente tenuto intorno a valori compresi tra l'1.8 e il 2.5% necessari per generare una

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>TA0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>11 di 20</b>

schiuma stabile a FER relativamente elevati e fornire un contributo all'azione lubrificante della schiuma nella riduzione di usura, attriti e temperatura al fronte e in camera di scavo.

Infine, considerato anche il particolare contesto geologico nel quale le TBM si troveranno ad operare sembra utile dedicare uno specifico approfondimento allo scavo con TBM-EPB in formazioni prevalentemente o parzialmente litoidi.

Si tratta infatti di un caso limite di utilizzo della tecnologia di scavo TBM-EPB la quale da una parte dimostra ancora una volta l'estrema versatilità e capacità di adattarsi a contesti geologico/geotecnici variegati ma dall'altra presenta una serie di criticità che, con specifico riferimento al condizionamento, vanno previste e mitigate.

Lo scavo di formazioni prevalentemente litoidi, a prescindere dalla tipologia e natura della formazione, presenta il primo problema della modifica della configurazione della testa di scavo la quale deve includere, insieme o al posto degli utensili di scavo da terreni sciolti, utensili (dischi o disk cutters) specificatamente pensati per ridurre l'ammasso in porzioni centimetriche.

Tali porzioni quindi, se da una parte porteranno a poter assimilare il materiale in camera di scavo ad un materiale granulare simile ad una ghiaia, hanno tuttavia una serie di peculiarità quali:

- morfologia irregolare, la quale comporta tendenzialmente attriti più elevati e conseguentemente maggiore rischio di elevata usura e di incremento delle temperature;
- assenza di fini, la quale comporta l'estrema difficoltà di trasformare tale materiale in una pasta omogenea.

Questo in generale porta alla necessità di integrare il condizionamento considerando l'iniezione di fini (filler, bentoniti, materiali di origine naturale, ...) e/o di polimeri. Nella seguente figura viene mostrato come, in tale evenienza, il range di applicazione della tecnologia EPB si estenda ulteriormente.

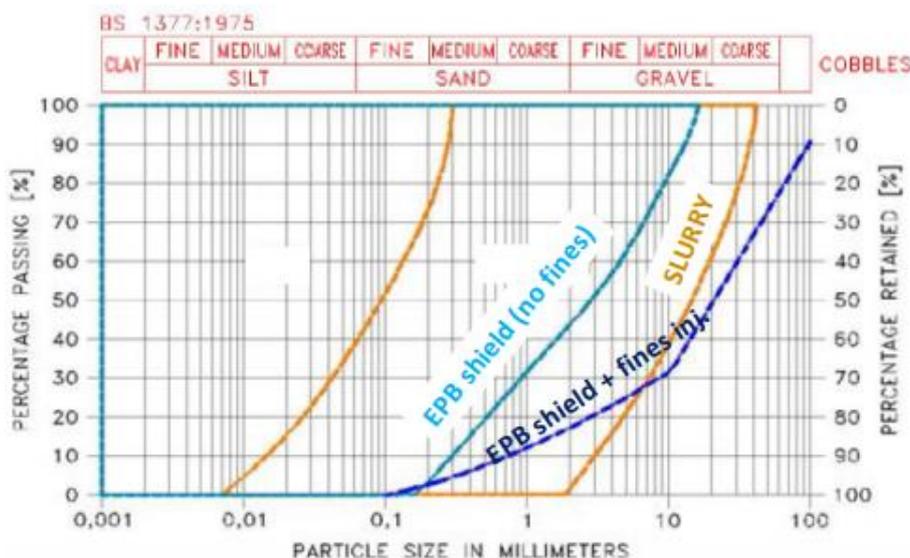


Fig. 5 – Range granulometrici di applicazione delle tecnologie di scavo EPB ampliati dall'utilizzo di materiale fine.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 12 di 20

## 6. ATTIVITÀ SPERIMENTALE

### 6.1 GENERALITÀ

Nell'ambito delle attività necessarie per la definizione del Progetto Esecutivo, è necessario condurre studi di carattere geotecnico ed ecotossicologico sulle formazioni interessate dallo scavo meccanizzato con agenti condizionanti.

Come già riportato, l'utilizzo di TBM-EPB dual mode è previsto per le gallerie dell'interconnessione di Ponte Gardena e per alcuni tratti della galleria Gardena tuttavia, sulla base della caratterizzazione geologica e geotecnica a disposizione, si ritiene che la maggior parte del tracciato potrà essere affrontata in modalità aperta (senza utilizzo di agenti condizionanti), con l'eccezione di alcune situazioni per le quali potrebbe essere necessario passare alla modalità di scavo con fronte in pressione (con agenti condizionanti). Nel dettaglio, tali situazioni potranno presentarsi:

- nei tratti di interferenza delle gallerie di interconnessione di Ponte Gardena B.D. e B.P. con il rilevato e con il viadotto Belprato dell'autostrada A22, che interessano i depositi alluvionali (ar) e il paragneiss di Laion (PRL);
- nell'attraversamento delle filladi carboniose (BSSc);
- in alcune zone di faglia, con distribuzione sia dispersa che concentrata in alcune tratte;

Il condizionamento di tali formazioni sarà studiato utilizzando solo alcuni o tutti i prodotti riportati in Tab. 1.

Tab. 1. Prodotti e fornitori considerati per gli studi.

<b>produttore</b>	<b>prodotto</b>
<b>(-)</b>	<b>(-)</b>
MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS
CONDAT	CLB F5 AC
BASF	MasterRoc SLF 32 + MasterRoc ACP 214
LAMBERTI	Foamex SNG-AC

Per ciascuno di questi prodotti si trasmette, in allegato a questo documento, la Scheda Tecnica e la Scheda di Sicurezza.

### 6.2 ATTIVITÀ SPERIMENTALI GEOTECNICHE

Le attività sperimentali geotecniche per l'analisi del condizionamento per ciascuna specifica formazione dipendono sostanzialmente dal litotipo considerato, in particolare, con riferimento a quanto esposto nei paragrafi precedenti, la scelta del range di dosaggi più adatto per ciascuna formazione persegue il raggiungimento di obiettivi differenti a seconda che i materiali da scavare siano a grana fine, a grana grossa o litoidi. Nel dettagliare le attività sperimentali da eseguirsi sulle formazioni selezionate risulta quindi utile

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
21 - AMBIENTE Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 13 di 20

operare a monte una distinzione, ascrivendo ciascuna formazione a un "comportamento tipo", che implica l'esecuzione di prove di laboratorio con modalità esecutive e finalità diverse.

La distinzione qui riportata deriva dalla caratterizzazione geotecnica illustrata nel Progetto Definitivo e potrà pertanto essere rivista a valle di un più dettagliato esame dei campioni ricevuti presso il laboratorio geotecnico dell'Università di Roma "La Sapienza".

### **Filladi carboniose (BSSc)**

Filladi quarzifere alternate a lenti più o meno potenti (anche decine di metri) contenenti grafite, quarzo, mica,  $\pm$  titanite/ilmenite. Le filladi carboniose sono state cartografate nell'area in studio in sinistra idrografica Isarco e in Val di Funes. Dai sondaggi effettuati è stato possibile attribuire a tale formazione valori di resistenza a compressione del materiale intatto  $\sigma_{ci}$  tra i 13 e gli 34 MPa e di  $GSI$  compresi tra 35 e 60. Sebbene si presenti come materiale litoide, il comportamento di questa formazione sotto l'azione congiunta degli utensili di scavo e dell'acqua si suppone essere assimilabile a quello di un terreno a grana fine, per il quale lo studio del condizionamento è volto a individuare i dosaggi di agenti condizionanti e additivi anticlogging/lubrificanti necessari per ottenere una consistenza adeguata ad agevolare le attività di scavo.

**Paragneiss di Laion (PRL):** intercalazioni di anfiboliti (anfibolitimetagabbri in Rofner et alii, 2010) ad anfibolo verde (actinolite), albite, clorite ed epidoto in individui da submillimetrici a centimetrici e metabasalti che hanno mantenuto la loro composizione originaria (basalti mafici di fondo marino secondo Visonà et al., in stampa). I valori di resistenza a compressione del materiale intatto  $\sigma_{ci}$  variano tra i 35 e gli 70 Mpa, con valori di  $GSI$  dell'ammasso compresi tra 30 e 40, con valori minimi di 10 in corrispondenza di zone di faglia o di danneggiamento. In questo caso, si ritiene che lo studio del condizionamento debba essere volto a individuare i dosaggi di prodotti in grado di conferire plasticità al materiale e ridurre l'abrasività, e potrà contemplare anche l'utilizzo di bentonite, qualora l'esame del materiale in laboratorio ne suggerisca la necessità.

**Depositi alluvionali attuali (aa) e recenti (ar):** sabbie medio-grossolane grigie e da ghiaie e conglomerati poligenici ad elementi di dimensioni variabili che raggiungono, in alcuni casi, dimensioni superiori al metro. Lo spessore di tali depositi è difficilmente valutabile in campagna. I depositi alluvionali attuali sono presenti lungo quasi tutto il tratto di fiume che rientra nell'area oggetto dell'indagine; le alluvioni sono costituite quasi esclusivamente da ciottoli poligenici di dimensioni variabili ma, nella maggior parte dei casi, superiori al decimetro sino ad arrivare a dimensioni superiori al metro. Anche in questo caso si ritiene che lo studio del condizionamento debba essere volto a individuare i dosaggi di prodotti in grado di conferire plasticità al materiale e ridurre l'abrasività e potrà contemplare anche l'utilizzo bentonite, qualora l'esame del materiale in laboratorio ne suggerisca la necessità.

Per quanto riguarda le zone di faglia, sulla base della caratterizzazione esistente si ritiene che lo studio del condizionamento debba riferirsi principalmente alla difficoltà di omogeneizzare la componente litoide ma maggiori dettagli potranno essere definiti sulla base delle successive indagini.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>TA0000001</td> <td>A</td> <td>14 di 20</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	TA0000001	A	14 di 20
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	TA0000001	A	14 di 20								

### 6.2.1 Prove di caratterizzazione dell'agente condizionante:

Prove di laboratorio, quali il peso di volume o la misura della viscosità, finalizzate a:

- caratterizzare il prodotto e acquisire gli elementi necessari a dosare il prodotto e generare la schiuma con una maggiore precisione;
- verificare che il prodotto sia idoneo all'utilizzo nella TBM e non crei problemi nell'impianto di iniezione durante lo scavo;
- avere elementi utili a verificare, in corso d'opera, che il prodotto fornito e utilizzato abbia effettivamente le caratteristiche corrette.

Di seguito, per ciascuno dei prodotti considerati nello studio, si riportano le caratteristiche chimico/fisiche desunte dalle schede di tecniche e di sicurezza.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 15 di 20

Tab. 2. Caratteristiche dei prodotti da utilizzare per la sperimentazione.

Nome produttore	BASF	BASF	CONDAT	LAMBERTI	MAPEI
Nome prodotto	MasterRoc SLF 32	MasterRoc ACP214	CLB F5/AC	FOAMEX SNG-AC	Polyfoamer ECO/100 PLUS
Aspetto	liquido	liquido	liquido	liquido	liquido
Colore	incolore - lievemente paglierino	bruno - scuro	incolore - giallo	giallognolo	paglierino
Densità (g/cm <sup>3</sup> )	1.008-1.028	1.113-1.119	1.04	1.02	1.01-1.07
pH (20 °C)	10.5	6 - 8	8 -10	6 - 9	8.5
Punto di ebollizione	>100 °C	>100 °C	100 °C	N.D.	100 °C
Sostanza chimica principale	Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts 10% - < 20% CAS: 68891-38-3	n.a.	Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts 5% - < 10% CAS: 68891-38-3	Sodium alkylether sulphate. 7% - < 10% CAS: 9004-82-4	Sodium laureth sulfate 5% - 10% CAS: 9004-82-4

### 6.2.2 Prove di caratterizzazione della schiuma

Prove di laboratorio, come la prova di semivita, sono utili a comprendere se la schiuma generata possiede adeguate caratteristiche in termini di stabilità e omogeneità delle bolle; una schiuma poco stabile difficilmente riuscirà a trasmettere al fronte la pressione in modo corretto e, viceversa, molto probabilmente non riuscirà a prevenire fenomeni quali l'abrasione (per lo scavo in terreni a grana grossa) o il clogging (nel caso di terreni a grana fine) e darà problemi nel mantenimento della corretta pressione durante le fasi di fermo macchina necessarie all'installazione dei conci di rivestimento.

#### La prova di semivita

La prova di semivita è un modo diretto ed efficace per valutare e confrontare i diversi prodotti in termini di:

- concentrazione del prodotto;
- qualità della schiuma prodotta a diversi valori di Cf e di FER.

Il test permette di valutare come e soprattutto di quanto variano le caratteristiche della schiuma al variare dei parametri (Cf e FER principalmente). Sempre tramite questo stesso test è possibile valutare l'efficacia di aggiunte di polimeri di varia natura miscelati all'acqua.

La figura seguente mostra il posizionamento delle schiume generate con i prodotti selezionati in una classifica di stabilità stilata sulla base di oltre 600 prove di semivita eseguite su schiume di 13 diversi produttori (Sebastiani 2019).

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>TA0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>16 di 20</b>

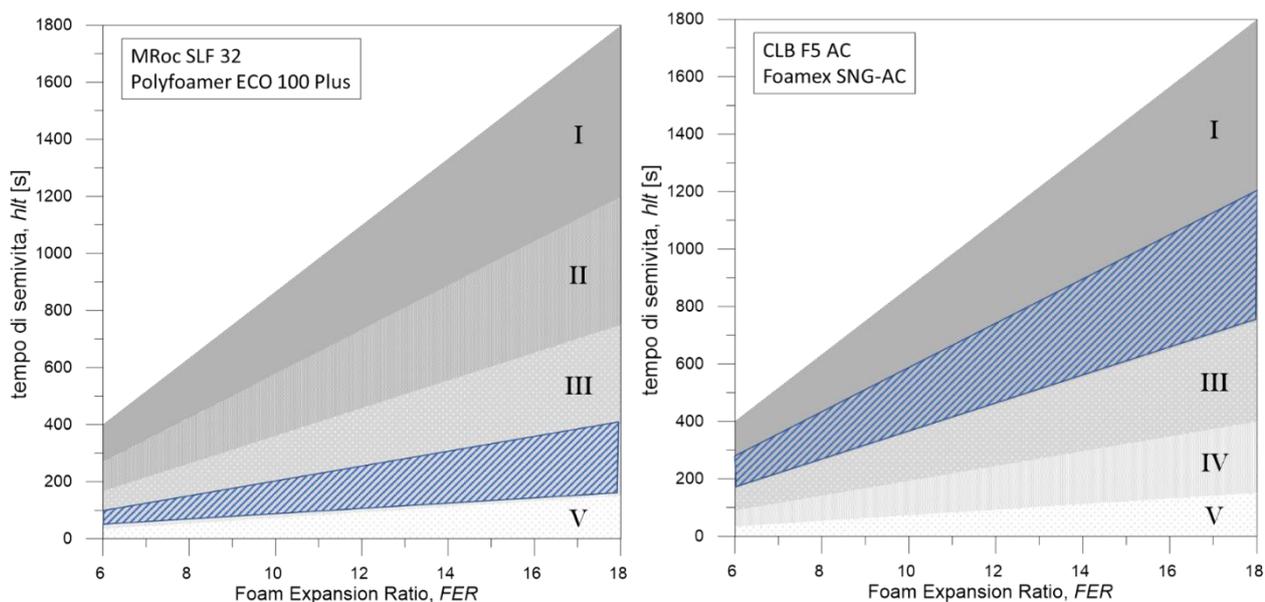


Fig. 6 – Posizionamento dei prodotti selezionati nelle classi di stabilità della schiuma.

### 6.2.3 Prove di caratterizzazione del terreno condizionato

Prove di laboratorio quali lo slump test, la tavola a scosse, mixing test o la prova di abrasione, sono finalizzate a verificare la giusta combinazione dei parametri caratteristici del condizionamento necessari a garantire innanzitutto nel terreno la corretta consistenza (per la trasmissione della pressione al fronte, l'agevole estrazione del terreno dalla camera di scavo mediante la coclea e l'agevole trasporto dello stesso tramite il nastro di trasporto) ma anche per evitare i citati fenomeni di usura o di clogging particolarmente rischiosi durante lo scavo.

Le prove, al fine di definire il range di dosaggi ottimale per ciascuna combinazione di agente condizionante e terreno, dovranno essere eseguite su differenti combinazioni dei principali parametri caratteristici del condizionamento:

- Concentration Factor (Cf);
- Foam Expansion Ratio (FER);
- Foam Injection Ratio (FIR).

La combinazione di tali parametri fornisce il valore del Treatment ratio (Tr), parametro che esprime in l/m<sup>3</sup> il quantitativo di agente condizionante che viene iniettato per un metro cubo di terreno condizionato.

Questo valore risulta essere di estrema importanza, oltre che, ovviamente, per le valutazioni relative ai consumi e ai costi, per i successivi studi di carattere chimico ed ecotossicologico in quanto tale valore costituisce la prima stima della concentrazione iniziale di agente condizionante nel terreno "al tempo zero", ovvero prima dell'inizio dei fenomeni di biodegradazione.

La tabella seguente riporta i range di valori dei parametri caratteristici del condizionamento e, conseguentemente, di treatment ratio comunemente impiegati per ciascun prodotto considerato. Tali valori saranno poi definiti con maggiore dettaglio alla luce delle prove di condizionamento eseguite su campioni delle differenti formazioni interessate dallo scavo.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 17 di 20

Tab. 3. Range tipici di treatment ratio degli agenti condizionanti (schiumogeni) considerati.

produttore	prodotto	Cf	FER	FIR	TR	W aggiunta
(-)	(-)	Min-Max (%)	Min-Max (1:xx)	Min-Max (%)	Min-Max (l/m <sup>3</sup> )	(l/m <sup>3</sup> )
MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	1.5 - 2.5	8 - 12	40 - 60	0.50 - 1.90	35.00
CONDAT	CLB F5 AC	1.5 - 2.5	8 - 15	30 - 40	0.30 - 1.25	35.00
BASF	SLF 32	1.5 - 2.5	8 - 12	40 - 50	0.50 - 1.56	35.00
LAMBERTI	Foamex SNG-AC	1.5 - 2.5	8 - 12	40 - 50	0.50 - 1.56	35.00

Per quanto riguarda il dosaggio del polimero MasterRoc ACP 214, in genere il suo utilizzo è limitato entro un range 1-2% e limitatamente alle sezioni di scavo particolarmente critiche. Le fasi di studio sperimentale successive serviranno anche a definirne in modo più preciso le modalità di utilizzo.

### 6.3 ATTIVITÀ SPERIMENTALI DI CARATTERE CHIMICO ED ECO-TOSSICOLOGICO

Le attività sperimentali di carattere chimico ed eco-tossicologico di supporto alla definizione del piano di utilizzo delle terre e rocce da scavo includono la definizione e sviluppo di uno specifico protocollo sperimentale necessario allo studio degli effetti degli agenti chimici iniettati nel terreno sull'ambiente, inclusivo di studi di biodegradazione, studi eco-tossicologici e realizzazione in scala di laboratorio di una serie di campioni rappresentativi del materiale di risulta sui quali eseguire tali attività sperimentali. Tali attività possono essere sinteticamente definite come di seguito.

#### Analisi e caratterizzazione degli agenti condizionanti

Questa attività include l'analisi della composizione chimica e di ciascun composto presente all'interno di ciascun prodotto, lo studio delle schede di sicurezza, del profilo eco-tossicologico di ciascun composto e il controllo presso una serie di database di eventuali rischi già noti. Tutti i prodotti condizionanti verranno caratterizzati in termini di curva di biodegradazione massima a 28 giorni e verifica al tempo t=0, t=7, t=14 e t=28. Nelle sottostanti tabelle sono riportate le classi di tossicità dedotte dalle schede di sicurezza di ciascun agente condizionante.

Tab. 4. Classi di tossicità ricavate dalle schede di sicurezza del prodotto MasterRoc SLF 32.

BASF MasterRoc SLF 32		
CAS	% nel prodotto	classe tossicità
68891-38-3	10 - 20	Skin Irr 2
		Eye Irrit. 2
		Acquatic Cron 3

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TA0000001	REV. A	FOGLIO. 18 di 20

Tab. 5. Classi di tossicità ricavate dalle schede di sicurezza del prodotto Foamex SNG-AC.

LAMBERTI Foamex SNG-AC		
CAS	% nel prodotto	classe tossicità
9004-82-4	>7 - <10	Skin Irrit. 2 Eye Dam 1

Tab. 6. Classi di tossicità ricavate dalle schede di sicurezza del prodotto Polyfoamer ECO 100/ PLUS.

MAPEI Polyfoamer ECO 100/ PLUS		
CAS	% nel prodotto	classe tossicità
9004-82-4	>=5	Eye Irrit. 2

Tab. 7. Classi di tossicità ricavate dalle schede di sicurezza del prodotto CLB F5/AC.

CONDAT CLB F5/AC		
CAS	% nel prodotto	classe tossicità
107-41-5	5 - 10	Skin Irr 2 Eye Irrit. 2
68891-38-3	5 - 10	Skin Irr 2 Eye Dam 1 Acquatic Cron 3
65585-47-7	5 - 10	Acute Tox. 4 Skin Irrit. 2 Eye Dam. 1 Acquatic Cron 3
68551-07-5	<1	Eye Irrit. 2 Acquatic Acute 1

#### Preparazione dei campioni di terreno condizionato

Per l'esecuzione degli studi chimici ed eco-tossicologici è necessaria l'esecuzione di prove di laboratorio su campioni che abbiano caratteristiche analoghe a quelle del materiale che, in fase di realizzazione della galleria, verrà trasportato all'esterno una volta estratto dalla camera di scavo. Per tale motivo è necessario eseguire il condizionamento del campione di terreno con i dosaggi precedentemente individuati dagli studi geotecnici. Questa attività include infine anche la preparazione di un campione di terreno non condizionato (bianco) che verrà utilizzato come controllo e riferimento per i risultati chimici ed ecotossicologici.

#### Preparazione dei campioni per le prove sperimentali

L'esecuzione delle prove di laboratorio chimiche ed ecotossicologiche richiede campioni con precise caratteristiche; pur essendo l'esecuzione di tali prove oggetto di standard comunemente accettati, le caratteristiche dei terreni estratti e degli agenti condizionanti sono tali da richiedere specifiche procedure di preparazione, diluizione, estrazione o filtrazione del campione differenti da terreno a terreno.

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>21 - AMBIENTE</b> Relazione sulla caratterizzazione ambientale e sulle indagini ambientali integrative - Allegato 1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>TA0000001</td> <td>A</td> <td>19 di 20</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	TA0000001	A	19 di 20
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	TA0000001	A	19 di 20								

### Esecuzione delle prove chimiche ed ecotossicologiche

Dovranno essere sviluppate prove di laboratorio necessarie a verificare che, pur modificando il dosaggio e la composizione chimica degli agenti condizionanti, sia comunque possibile riutilizzare ciascun litotipo condizionato dopo 0 giorni o, alternativamente, dopo 7 giorni anche nel caso di aggiunta di polimero. Questo richiede l'esecuzione di prelievi da ciascun campione di terreno precedentemente condizionato, la preparazione dei provini e l'esecuzione di una serie di prove chimiche ed ecotossicologiche (TOC, MBAS, pH, Vibrio Fischeri, Daphnia Magna).