

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

SWSTM

MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche
Dot. 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

08 - GALLERIE

A-ELABORATI GENERALI

-

Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB

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 G G N 0 0 0 0 0 0 2 A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	A. Di Giulio	29/04/2022	C.lasiello	02/05/2022	D.Buttafoco (Dolomiti)	30/05/2022	IL PROGETTISTA P.Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
31/05/2022
Dot. Paolo Cucino
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

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				
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 1 di 77	

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO DELL'OPERA	4
2.1 CONFIGURAZIONE DELLE PRINCIPALI OPERE IN SOTTERRANEO	5
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELLE ZONE DI INTERESSE.....	6
3. IL CONDIZIONAMENTO PER LO SCAVO MECCANIZZATO DI GALLERIE CON TBM-EPB	8
3.1 GENERALITÀ	8
3.2 IL CONDIZIONAMENTO DEI TERRENI A GRANA FINE	11
3.3 IL CONDIZIONAMENTO DEI TERRENI A GRANA GROSSA	12
4. ATTIVITÀ SPERIMENTALE PER IL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA – VERONA, LOTTO 1 FORTEZZA – PONTE GARDENA	15
5. ATTIVITÀ SPERIMENTALI GEOTECNICHE	17
5.1 PROVE DI LABORATORIO.....	17
5.1.1 Prova di semivita	17
5.1.2 Slump test e prova di spandimento alla tavola a scosse.....	18
5.1.3 Prova di abrasione.....	19
5.2 CARATTERIZZAZIONE DEGLI AGENTI CONDIZIONANTI E DEI POLIMERI.....	20
5.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SCHIUMA	21
5.4 CARATTERIZZAZIONE DELLE FORMAZIONI.....	23
5.5 RISULTATI DEL CONDIZIONAMENTO	27
5.5.1 Depositi di frana (fi).....	28
5.5.2 Detriti e depositi antropici (h-d).....	2
5.5.3 Filladi carboniose (BSSc).....	2
5.6 DOSAGGI SCELTI PER LE PROVE ECOTOSSICOLOGICHE	3
6. ATTIVITÀ SPERIMENTALI DI CARATTERE CHIMICO ED ECOTOSSICOLOGICO	3
6.1 ANALISI E CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DEGLI AGENTI CONDIZIONANTI.....	4
6.2 ALLESTIMENTO DEL SET SPERIMENTALE.....	5
6.3 VALUTAZIONI PRELIMINARI DI CARATTERE CHIMICO ED ECOTOSSICOLOGICO	7
6.4 METODI DI PROVA.....	10
6.4.1 Metodo di prova dell'MBAS	10

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 2 di 77

6.4.2	Metodo di prova del TOC	11
6.4.3	Metodo di prova del COD.....	11
6.4.4	Principio del metodo di tossicità acuta con Daphnia Magna.....	11
6.4.5	Principio del metodo per la determinazione dell'inibizione della germinazione e dell'allungamento radicale di Lepidium sativum e Sorghum saccharatum.....	12
6.5	RISULTATI PROVE CHIMICHE ED ECOTOSSICOLOGICHE SUL PRODOTTO PURO	14
6.6	RISULTATI PROVE CHIMICHE SUL TERRENO CONDIZIONATO	14
6.7	RISULTATI PROVE ECOTOSSICOLOGICHE SUL TERRENO CONDIZIONATO	17
6.7.1	Risultati del saggio con Daphnia magna.....	17
6.7.2	Risultati del saggio con le specie vegetali Lepidium sativum e Sorghum saccharatum.....	18
7.	CONCLUSIONI	24
8.	NOTE SULL'INTEGRAZIONE DEI PROTOCOLLI SPERIMENTALI E DEI CONTROLLI OPERATIVI IN CORSO D'OPERA SULLE TERRE E ROCCE DA SCAVO	26
8.1	GENERALITÀ	26
8.2	STUDI DI CARATTERE GEOTECNICO E CHIMICO/ECOTOSSICOLOGICO SUL CONDIZIONAMENTO PER LO SCAVO MECCANIZZATO DELLE GALLERIE	26
8.2.1	Studi sul condizionamento di carattere geotecnico.....	27
8.2.2	Studi sul condizionamento di carattere chimico ed ecotossicologico	29
8.3	CARATTERIZZAZIONI IN CORSO D'OPERA DEI MATERIALI DI SCAVO	31
8.3.1	Generalità.....	31
8.3.2	Modalità di caratterizzazione ambientale.....	31
9.	BIBLIOGRAFIA	35

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IBOU</td> <td style="text-align: center;">1BEZZ</td> <td style="text-align: center;">RG</td> <td style="text-align: center;">GN0000002</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">3 di 77</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	3 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	3 di 77													
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB																		

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 i dettagli delle prove, dei risultati e delle considerazioni conclusive in merito alla gestione del condizionamento del terreno durante lo scavo delle gallerie con Tunnel Boring Machines e tecnologia Earth Pressure Balance dal punto di vista geotecnico ed ecotossicologico.

Il documento infatti contiene una descrizione dei principi generali del condizionamento e dello scavo con TBM-EPB, una descrizione delle caratteristiche delle formazioni più rilevanti interessate dallo scavo, i nomi, le tipologie e le caratteristiche dei prodotti chimici (agenti condizionanti) che si prevede di utilizzare, le modalità di iniezione e i parametri caratteristici che ne definiscono il dosaggio per ciascuna combinazione di prodotti e formazioni, le analisi di carattere chimico ed ecotossicologico su campioni di terreno condizionati per la previsione dei tempi di stoccaggio di tali materiali in cantiere, prima che questi possano essere trasportati e gestiti come sottoprodotto secondo quanto contenuto nel Piano di Utilizzo delle Terre e Rocce da scavo.

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 4 di 77

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.

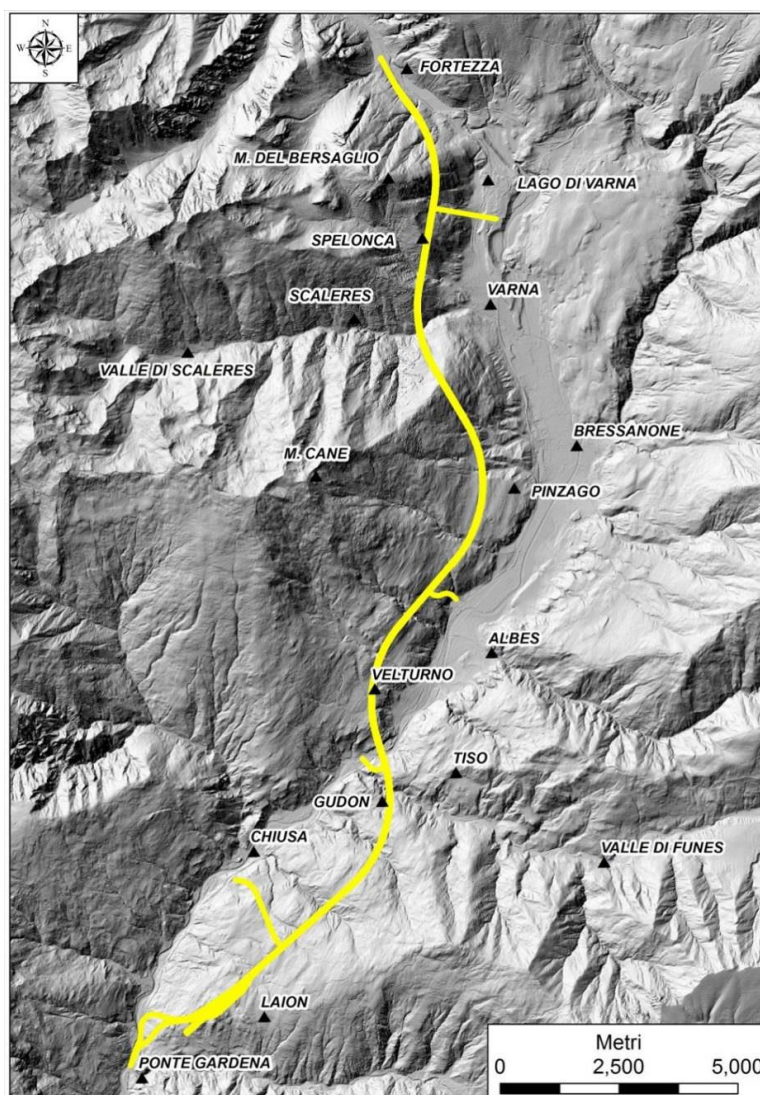


Fig. 1 – Inquadramento geografico dell'area di studio.

L'area del Lotto 1 in studio (Fig. 1) 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.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	5 di 77

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 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 relative alle finestre di Forch (circa 1.3 km), Albes (circa 0.7 km), Funes (circa 0.5 km) e Chiusa (circa 1.8 km) e le gallerie di interconnessione di Ponte Gardena (Binario Pari circa 2.3 km, Binario Dispari circa 3.1 km).

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 nella galleria Scaleres e prosegue in destra dell'Isarco, attraversandolo con il Viadotto Isarco. Dopo il ponte il tracciato rientra nuovamente in sotterraneo (Galleria Gardena) in sinistra idrografica 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.

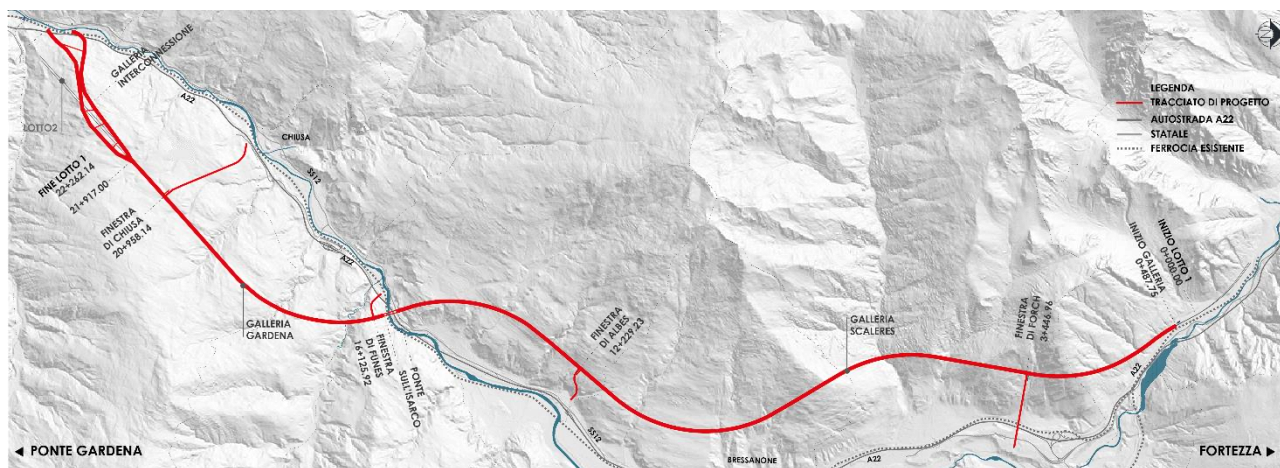


Fig. 2 – Inquadramento territoriale del Lotto 1.

2.1 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

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	6 di 77

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.

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.

Altre zone di applicazione della tecnologia EPB sono le gallerie costruttive di finestra Forch (L=1.4 km) che si innesta in corrispondenza della canna dispari della Galleria Scaleres al km 3+446.96, e di finestra Funes (L=0.4 km) che si innesta in corrispondenza della canna pari della Galleria Gardena al km 16+320. Entrambe le finestre hanno lo scopo di aprire più fronti di scavo contenendo i tempi di realizzazione delle gallerie; in esercizio verranno utilizzate come uscite di emergenza.

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELLE ZONE DI INTERESSE

Il progetto 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 che interessano le gallerie di interconnessione e la galleria Gardena 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 plagioclasto, 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.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IB0U	1BEZZ	RG	GN0000002	A	7 di 77

- **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 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.

Tra queste, le formazioni in cui si ipotizza la necessità di utilizzare agenti condizionanti e pertanto interessanti ai fini di questo studio, sono i depositi alluvionali e antropici e i detriti di versante che saranno attraversati dalle gallerie di interconnessione in prossimità degli imbocchi, e porzioni tettonizzate/localmente più scadenti all'interno delle filladi carboniose attraversate dalla galleria Gardena.

Altre formazioni in cui si prevede la necessità di condizionare il terreno si trovano in corrispondenza della finestra Forch e sono:

- **Depositi alluvionali antichi di primo ordine (at1)** che comprendono lembi di ghiaie medio-grossolane con intercalazioni sabbiose. Attraversati per circa 325m.
- **Depositi deltizi glaciolacustri (Dlt)** costituiti nella parte alta da una facies prevalentemente sabbiose, mentre verso il basso si incontrano limi sabbiosi laminati con ciottoletti.
- **Depositi di frana inattiva (fi).**

Si ritiene che queste formazioni siano sostanzialmente assimilabili dal punto di vista del condizionamento, essendo costituite in prevalenza da ghiaie e sabbie e trovanti lapidei.

I **Depositi di frana inattiva (fi)** interessano anche una parte del tracciato della finestra Funes.

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					
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 8 di 77

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

3.1 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.

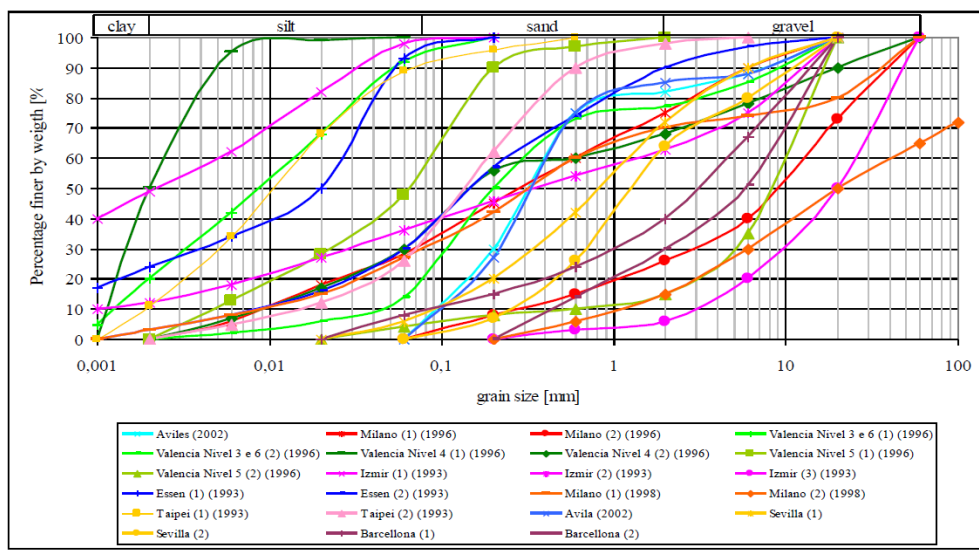


Fig. 3 – Esempi di granulometrie di terreni scavati con tecnologia EPB.

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;

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 9 di 77

- 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 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.

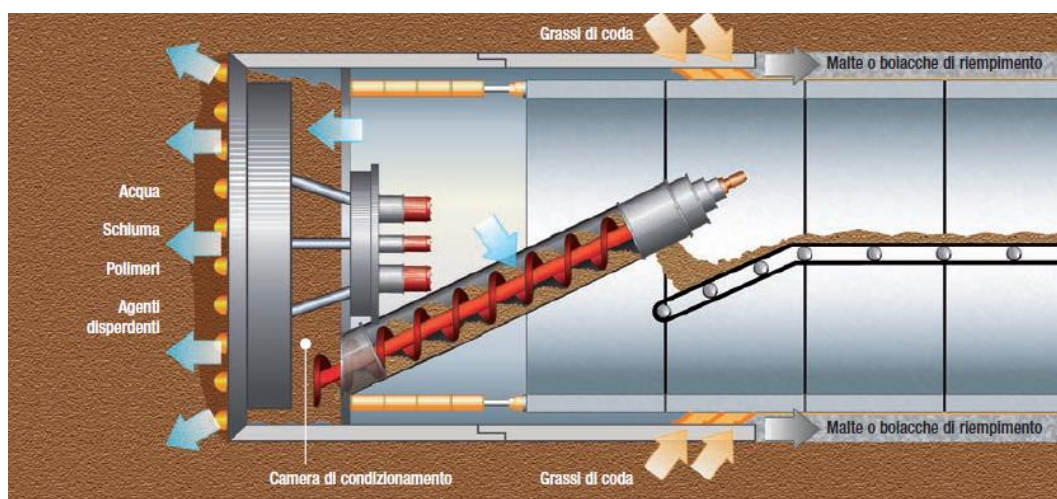


Fig. 4 – Punti di iniezione degli agenti condizionanti.

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.

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				
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 10 di 77	

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:

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

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 C_f 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.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	11 di 77

Il *FIR* rappresenta il consumo di schiuma per m³ 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%).

Treatment Ratio, TR

Il Treatment Ratio, *TR*, è un indice del quantitativo di agente schiumogeno necessario allo scavo di 1 m³ di terreno. Tale valore, espresso in L/m³, è direttamente legato alla combinazione dei parametri della schiuma esposti precedentemente: *FER*, *FIR* e *Cf*. Per definizione:

$$TR = \frac{FIR}{FER} \cdot \frac{Cf}{10}$$

Oltre che per le valutazioni relative ai consumi e ai costi, il Treatment Ratio risulta essere di estrema importanza per gli 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.

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

3.2 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.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	12 di 77

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%.

3.3 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.

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.

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					
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 13 di 77

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 *C_f* è generalmente tenuto intorno a valori compresi tra l'1.8 e il 2.5% necessari per generare una 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;

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	14 di 77
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB							

- 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.

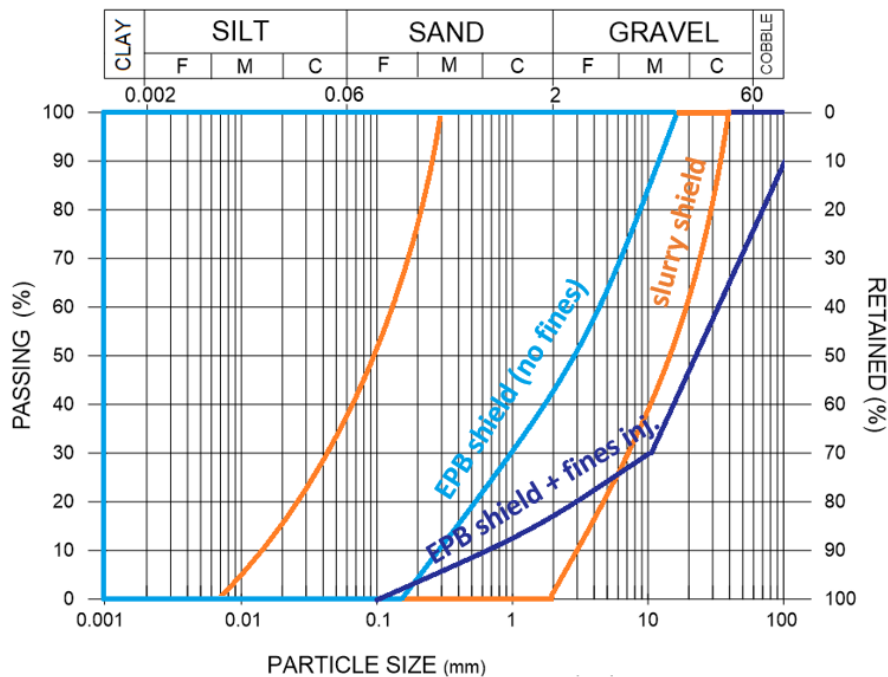


Fig. 5 – Range granulometrici di applicazione delle tecnologie di scavo EPB ampliati dall'utilizzo di materiale fine.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	15 di 77

4. ATTIVITÀ SPERIMENTALE PER IL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA – VERONA, LOTTO 1 FORTEZZA – PONTE GARDENA

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.

Sulla base della caratterizzazione geologica e geotecnica esistente, 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 antropici (h) e i detriti di versante (d);
- nell'attraversamento delle filladi carboniose (BSSc);
- nell'attraversamento dei depositi di frana inattiva (fi) della finestra Funes;
- nell'attraversamento dei depositi alluvionali (at1), deltizi (Dlt) e di frana inattiva (fi) della finestra Forch.

Sulla base della caratterizzazione geotecnica illustrata nel Progetto Definitivo e dell'esame dei campioni ricevuti presso il laboratorio geotecnico dell'Università di Roma "La Sapienza", si è ritenuto di poter considerare assimilabili tra loro i campioni dei depositi di frana *fi* provenienti dalla finestra Forch e dalla finestra Funes, che sono stati pertanto studiati come un'unica formazione. Analogamente, i campioni provenienti dalla zona di interferenza tra le gallerie di interconnessione e il viadotto sono stati studiati come un'unica formazione *h-d*, scelta supportata anche dal fatto che il contatto tra questi materiali si potrà presentare alla quota dello scavo e che per alcuni tratti essi potranno quindi costituire un fronte misto.

Come ampiamente discusso nel capitolo 3, la granulometria e l'indice di plasticità del terreno influenzano fortemente sia le finalità del condizionamento sia le modalità del suo studio in laboratorio, individuando due comportamenti tipo che è possibile schematizzare come "terreno a grana fine" e "terreno a grana grossa"; a valle di un esame in laboratorio tutte le formazioni considerate ricadono nel secondo tipo, per il quale lo studio del condizionamento è volto a individuare i dosaggi di agenti condizionanti necessari per ottenere una consistenza adeguata ad agevolare le attività di scavo, per conferire plasticità al materiale e per ridurre l'abrasività, eventualmente utilizzando anche polimeri viscosizzanti. Questi additivi risultano particolarmente utili in assenza di fini e/o per omogeneizzare la componente litoide eventualmente presente, come avviene in questo caso soprattutto nei detriti di frana delle finestre Forch e Funes, per i quali si è scelto di testare anche questi prodotti in aggiunta agli agenti schiumogeni.

La Tab. 1 riporta i prodotti che si intendono testare per ciascuna formazione. La selezione dei prodotti è stata effettuata sulla base di considerazioni tecniche e ambientali. Si specifica che, dopo l'inizio della sperimentazione, l'azienda produttrice di MasterRoc SLF32 e MasterRoc SWA 710 è cambiata da Basf a Master Builders Solutions (MBS).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	16 di 77
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB							

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

		sigla formazione	BASF MasterRoc SLF 32	BASF MasterRoc SLF 32 + MasterRoc SWA 710	LAMBERTI Foamex SNG	LAMBERTI Foamex SNG + Biogel 5000C	MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS	MAPEI Polyfoamer FP/L
Interferenza interconnessione con viadotto Belprato	Depositi e detriti	h-d	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
Finestra Funes Finestra Forch	Detriti di frana inattiva	fi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Galleria Gardena	Filladi carboniose	BSSc	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	

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

La prima parte della sperimentazione è consistita nell'identificazione e classificazione geotecnica delle formazioni consegnate presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica (DISG) dell'Università di Roma "Sapienza". Contestualmente gli agenti condizionanti selezionati per la sperimentazione sono stati caratterizzati in termini di densità, viscosità Marsh e semivita.

Successivamente, il terreno è stato preparato (asciugato, ridotto a una pezzatura idonea se necessario, quartato, portato al contenuto d'acqua definito) per ottenere più campioni omogenei tra loro da sottoporre alle prove. I campioni sono stati poi condizionati con i prodotti scelti variando i parametri operativi (*WIR*, *FER*, *FIR*) e su ciascuno sono state effettuate le prove più adatte a determinare la consistenza e la lavorabilità (slump, tavola a scosse) e l'abrasione (test di abrasione).

Questa parte dello studio, descritta nel capitolo 5, ha portato alla determinazione dei dosaggi ottimali per il condizionamento delle diverse formazioni che sono stati utilizzati per la preparazione dei campioni da sottoporre allo studio chimico ed ecotossicologico dettagliato nel capitolo 6, che riporta anche la caratterizzazione degli agenti condizionanti puri in termini di MBAS, TOC, COD e EC₅₀ rispetto a organismi selezionati.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB		IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	17 di 77

5. ATTIVITÀ SPERIMENTALI GEOTECNICHE

5.1 PROVE DI LABORATORIO

Lo studio è stato condotto da GEEG tramite una serie di prove di laboratorio eseguite presso il laboratorio geotecnico dell'Università di Roma "Sapienza", dotato di strumentazione e apparecchiature di prova specificatamente pensate e messe a punto per replicare alcuni dei processi chimico/fisico/meccanici che avvengono durante il processo di condizionamento del terreno per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB.

Nel seguito sono sinteticamente descritte le modalità di esecuzione delle prove meno comuni eseguite prima e dopo il condizionamento delle formazioni interessate da questo studio.

5.1.1 Prova di semivita

Le prove di laboratorio per la caratterizzazione della schiuma, 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 è un modo diretto ed efficace per valutare e confrontare i diversi prodotti schiumogeni; tale 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, in fase di generazione della schiuma, di polimeri di varia natura.

L'apparecchio per la prova, illustrato in Fig. 6, è composto da un cilindro in vetro e da un imbuto; tra i due elementi sono interposti un filtro non assorbente e due guarnizioni che assicurano la tenuta del collegamento. L'apparecchiatura è alloggiata su un apposito supporto.

Il procedimento della prova consiste nel prelevare la schiuma dal generatore e versarne 80 g nel cilindro di vetro, avviando contemporaneamente il cronometro. Viene quindi misurato il volume di liquido raccolto dal cilindro graduato nel tempo ad intervalli regolari fino al raggiungimento di 40 mL.

Il tempo necessario alla schiuma di drenare 40 mL di liquido è definito tempo di semivita o half-life time, hlt.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	18 di 77
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB							

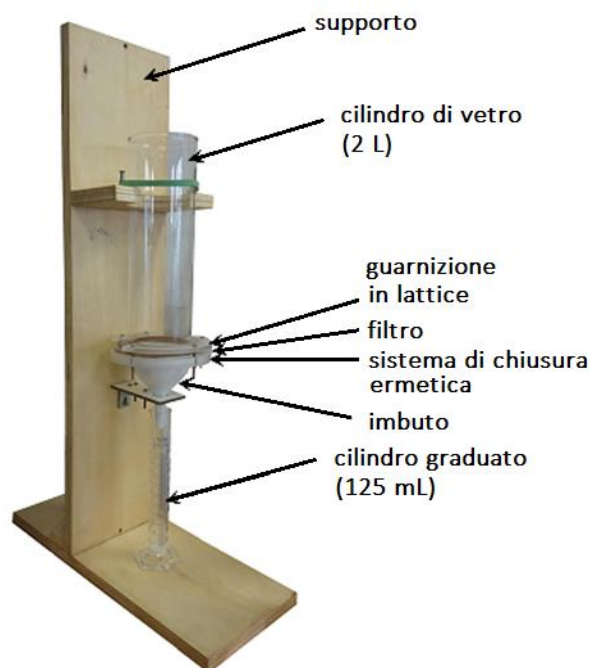


Fig. 6 – Attrezzatura da laboratorio per la misura della semivita.

5.1.2 Slump test e prova di spandimento alla tavola a scosse

Come anticipato, anche lo slump test e la prova di spandimento alla tavola a scosse sono prove usualmente utilizzate al fine di valutare l'effetto delle combinazioni di parametri legati al condizionamento (tipologia di schiuma, *C_f*, *FER*, *FIR*, acqua aggiunta, eventuali polimeri, etc...) sulla consistenza di un determinato tipo di terreno. Lo scopo delle prove è quello di individuare il campo delle coppie di valori dei volumi di acqua e di schiuma da aggiungere ad uno specifico terreno per conferirgli caratteristiche ottimali di consistenza.

Tali prove vengono solitamente eseguite utilizzando il cono di Abrams (slump test, Fig. 7a) il quale però richiede un quantitativo di terreno pari a circa 10 kg per ciascuna prova. Per tale motivo, e considerando inoltre la granulometria piuttosto fine di molti terreni, su campioni relativamente omogenei come quelli oggetto di questa attività sperimentale, le stesse valutazioni sulla consistenza del terreno condizionato possono essere ottenute tramite i risultati delle prove di laboratorio eseguite con la tavola a scosse (flow table test, Fig. 7b), la quale richiede un quantitativo di terreno sensibilmente inferiore.

In questo secondo caso, la procedura richiede l'utilizzo di uno stampo di forma analoga al cono di Abrams ma di dimensioni più contenute e prevede la trasmissione di una serie di impulsi meccanici (scosse) al provino, il quale si spanderà. Le scosse sono applicate al campione in 3 serie rispettivamente da 15, 10 e 15 colpi. Il risultato, definito flow o spandimento, corrisponde all'aumento del diametro del campione rispetto alla configurazione iniziale al termine dei colpi. I valori delle prove sono confrontati considerando il diametro del campione, espresso in cm, al termine dei primi 15 colpi.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 19 di 77

Tra queste due prove esiste una correlazione (Sebastiani e Di Giulio, 2021) a cui è possibile ricorrere per eseguire prove di spandimento in sostituzione allo slump test, utile soprattutto nei casi in cui la quantità di terreno a disposizione per eseguire le prove sia molto limitata.



Fig. 7 – Cono di Abrams (a) e tavola a scosse (b).

5.1.3 Prova di abrasione

Il test di abrasione viene condotto tramite l'utilizzo di un miscelatore su cui è montato un disco di plexiglass, il quale viene fatto ruotare per 10 minuti all'interno di un recipiente contenente un quantitativo sufficiente di terreno condizionato (circa 10 kg). La prova consiste nel misurare in termini di differenza di peso il consumo del disco di plexiglass. I risultati di questo test non forniscono una valutazione assoluta dell'abrasività del terreno, la quale dipende fortemente anche da parametri non considerabili nella prova qui descritta (densità del terreno in situ, contenuto d'acqua naturale, pressioni interstiziali, etc...), ma permettono di valutare l'effetto lubrificante della schiuma in esame confrontando vari prodotti schiumogeni.



Fig. 8 – Miscelatore utilizzato per la prova di abrasione (sinistra) disco in plexiglass (destra).

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB		IBOU	1BEZZ	RG	GN000002	A	20 di 77

5.2 CARATTERIZZAZIONE DEGLI AGENTI CONDIZIONANTI E DEI POLIMERI

Le prove di caratterizzazione degli agenti condizionati sono 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.

Tab. 2. Caratteristiche degli agenti schiumogeni da utilizzare per la sperimentazione.

Nome produttore	BASF	LAMBERTI	MAPEI	MAPEI
Nome prodotto	MasterRoc SLF 32	Foamex SNG	Polyfoamer ECO/100 PLUS	Polyfoamer FP/L
Aspetto	liquido	liquido	liquido	liquido
Colore	incolore - lievemente paglierino	paglierino	paglierino	incolore
Densità (g/cm ³)	1.008 - 1.028	1.01	1.01 - 1.07	n.d.
pH (20 °C)	10.5	6 - 9	8.5	8.5
Punto di ebollizione	>100 °C	N.D.	100 °C	n.d.
Sostanza chimica principale	Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	Sodium laureth sulfate	Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts
	10% - < 20%	>=10%	5% - 10%	10% - 20%
	CAS: 68891-38-3	CAS: 9004-82-4	CAS: 9004-82-4	CAS: 68891-38-3

Tab. 3. Caratteristiche dei polimeri da utilizzare per la sperimentazione.

Nome produttore	BASF	LAMBERTI
Nome prodotto	MasterRoc SWA 710	Biogel 5000C
Aspetto	liquido	liquido
Colore	bianco	n.d.
Densità (g/cm ³)	1.05	1.1 - 1.4
pH (20 °C)	7	5 - 7
Punto di ebollizione	n.d.	100 °C

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 21 di 77

Sostanza chimica principale	n.d.	2-[2-(2-butossietossi)etossi]etanolo CAS: 143-22-6
-----------------------------	------	---

Per ogni prodotto (agenti condizionanti e polimero) sono state eseguite le prove di viscosità con il cono di Marsh, nonché la misura della densità del prodotto. I risultati così ottenuti sono riportati nella seguente tabella:

Tab. 4. Risultati di viscosità e densità degli agenti condizionanti originariamente selezionati per la sperimentazione.

produttore	prodotto	viscosità Marsh (s)	densità (g/mL)
BASF	MasterRoc SLF 32	29	1.02
BASF	MasterRoc SWA 710	1167	1.09
LAMBERTI	Foamex SNG	43	1.02
LAMBERTI	Biogel 5000C	827.5	1.21
MAPEI	Polyfoamer ECO/100 Plus	51	1.02
MAPEI	Polyfoamer FP/L	33	1.01

5.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SCHIUMA

Le schiume utilizzate in questa sperimentazione sono state realizzate utilizzando un sistema di generazione di schiume da laboratorio, appositamente progettato e disponibile presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica di Sapienza, Università di Roma, che consente di controllare e regolare i parametri di condizionamento (C_f e FER).

Le prove di semivita sono state eseguite generando schiuma con fattore di concentrazione $C_f = 2.0\%$ e diversi valori di FER . Ogni misurazione è stata ripetuta tre volte con una buona riproducibilità come mostrato nelle seguenti figure, portando ai valori medi di tempo di semivita mostrati in Fig. 13 insieme alla classificazione delle schiume proposta da Sebastiani et al. (2019).

Le seguenti figure mostrano, per ciascun prodotto, il liquido drenato nel tempo durante le prove di semivita effettuate.

Per ciascun prodotto appare chiaro l'incremento di stabilità mostrato dai campioni di schiuma generata al crescere del FER impostato e la differenza, tra un prodotto e l'altro, dell'entità di tale incremento.

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 22 di 77

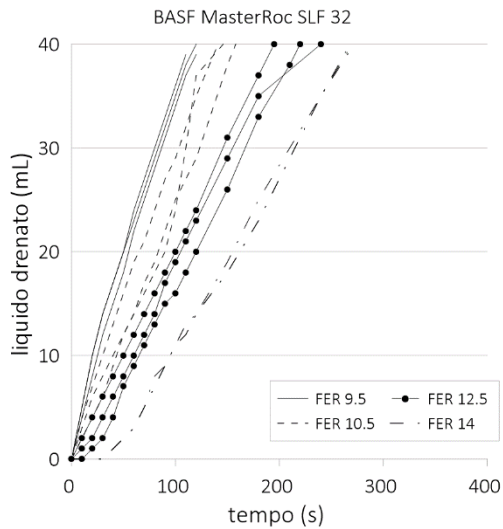


Fig. 9 – Risultati della prova di semivita eseguita sul prodotto MasterRoc SLF 32 di BASF.

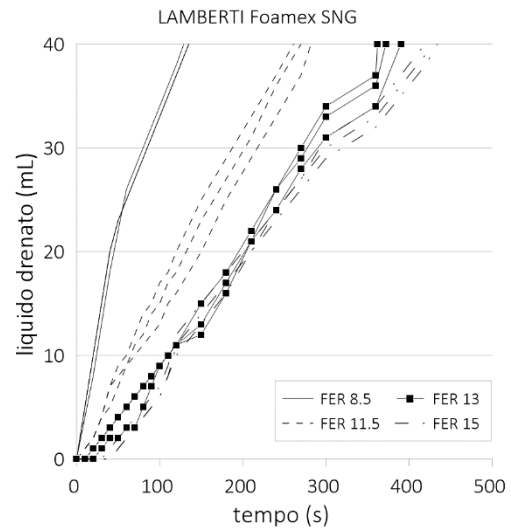


Fig. 10 – Risultati della prova di semivita eseguita sul prodotto Foamex SNG di LAMBERTI.

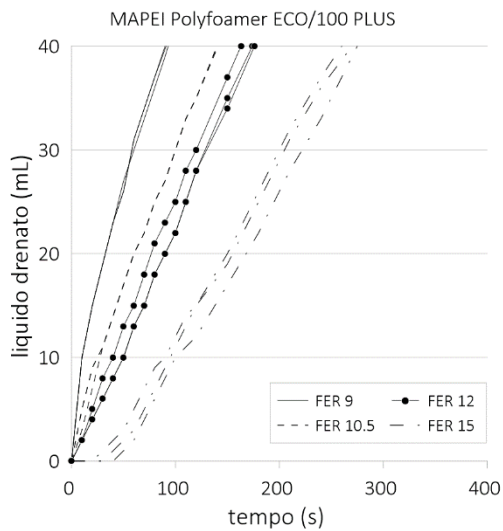


Fig. 11 – Risultati della prova di semivita eseguita sul prodotto Polyfoamer ECO/100 PLUS di MAPEI.

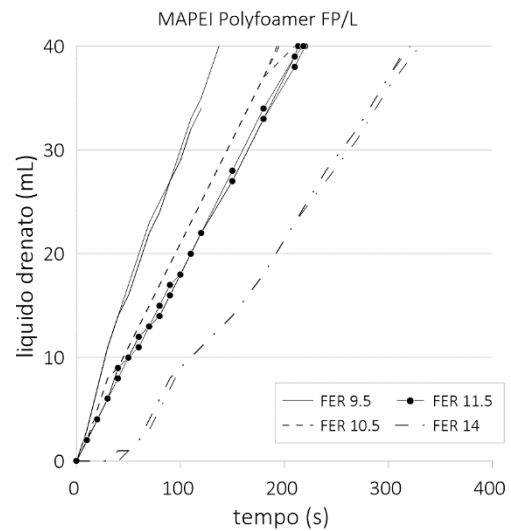


Fig. 12 - Risultati della prova di semivita eseguita sul prodotto Polyfoamer FP/L di MAPEI.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 23 di 77

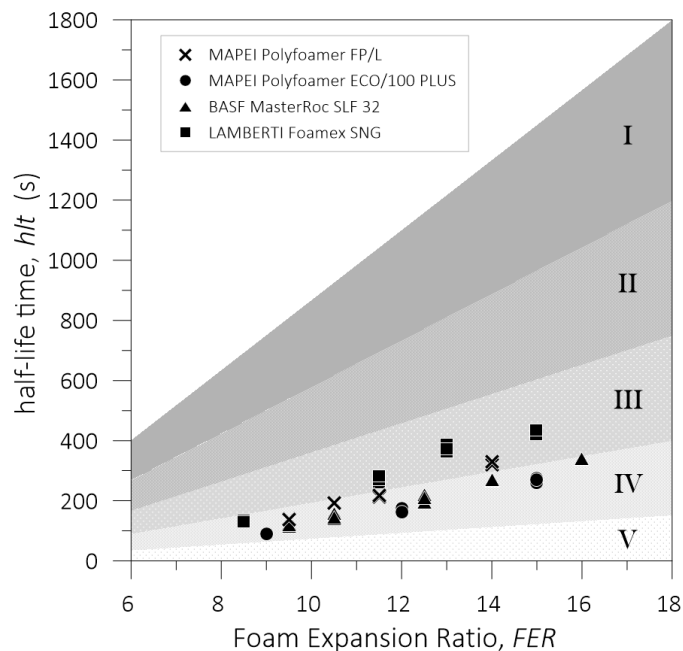


Fig. 13 – Tempi di semivita ottenuti a diversi FER per ciascun agente schiumogeno selezionato per la sperimentazione.

Come è possibile notare, la schiuma generata con il prodotto LAMBERTI Foamex SNG-AC in classe III (considerable stability) mentre le schiume generate con i prodotti BASF MasterRoc SLF 32, MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS e MAPEI Polyfoamer FP/L in classe IV (moderate stability). Tali risultati, a eccezione del prodotto Polyfoamer FP/L di Mapei testato per la prima volta dal laboratorio, sembrano essere del tutto in linea con i risultati ottenuti sugli stessi prodotti nell’ambito di sperimentazioni analoghe sviluppate negli stessi laboratori della Sapienza in supporto alla progettazione e realizzazione di gallerie in Italia e all’estero.

5.4 CARATTERIZZAZIONE DELLE FORMAZIONI

Come esposto nei precedenti paragrafi, le formazioni ritenute significative dal punto di vista del condizionamento sono i depositi di frana inattivi delle finestre di Forch e Funes (*fi*), i depositi antropici e i detriti di versante (*h-d*) del tratto di interferenza tra le gallerie di interconnessione con il viadotto Belprato e le filladi carboniose (*BSSc*).

I campioni di terreno rappresentanti le suddette formazioni sono stati consegnati presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica (DISG) dell’Università di Roma “Sapienza” in cassette catalogatrici (figure sottostanti).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 24 di 77



Fig. 14 – Esempio di cassetta catalogatrice contenente la formazione fi (Forch) dal sondaggio S21/4.



Fig. 15 – Esempio di cassetta catalogatrice contenente la formazione fi (Funes) dal sondaggio S21/2.



Fig. 16 – Esempio di cassetta catalogatrice contenente la formazione h-d dal sondaggio S21/11.

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 25 di 77



Fig. 17 – Esempio di cassetta catalogatrice contenente la formazione BSSc dal sondaggio S21/6b.

La classificazione di tali terreni è stata eseguita secondo gli standard AGI (Associazione Geotecnica Italiana, 1994) e ASTM D 4318. In Fig. 18 è riportato l'andamento delle distribuzioni granulometriche determinato per tutte le formazioni in esame. Si specifica che l'analisi granulometrica è stata condotta sulle porzioni non litoidi di materiale e, per le filladi, laddove è stato possibile prelevare un campione sufficientemente frantumato da poter essere vagliato ai setacci previsti dalla normativa.

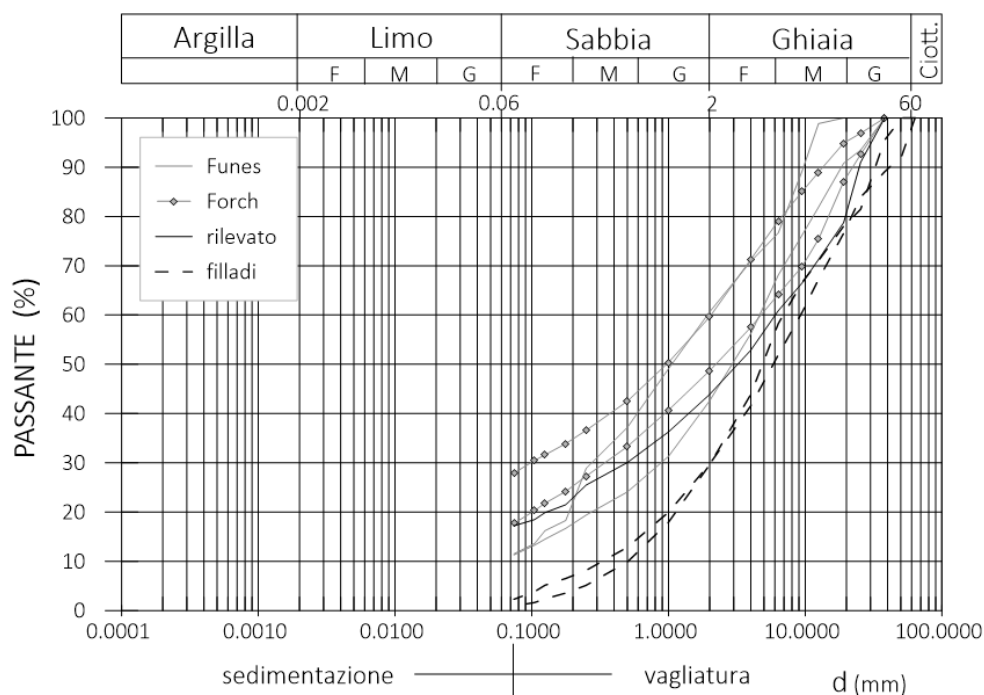


Fig. 18 – Curve granulometriche delle formazioni fi, h-d e BSSc.

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 26 di 77

Le formazioni *fi* e *h-d* sono costituite prevalentemente da ghiaia e sabbia, con un contenuto di fini variabile tra il 10% e il 30%, sul quale tuttavia non è stato possibile determinare i limiti di Atterberg, fatto che ne evidenzia la natura non plastica. Le curve granulometriche ottenute si collocano in un fuso congruente a quello che risulta dalla caratterizzazione geotecnica a disposizione.

Visto il grado di disturbo dei campioni, il contenuto d'acqua misurato all'arrivo in laboratorio non è stato considerato rappresentativo delle condizioni in sito; vista, inoltre, la natura prettamente grossolana e litoide dei materiali si è scelto di assumere pari a 0 il contenuto d'acqua di partenza per tutte le formazioni.

Per quanto riguarda il peso di volume dei terreni, necessario per il calcolo dei volumi di schiuma da aggiungere durante le prove di condizionamento, sulla base di diverse misure su campioni compattati in laboratorio e di valori riportati nella caratterizzazione geotecnica da Progetto Definitivo, sono stati assunti valori pari a circa 20 kN/m³ per *fi* e *h-d* e 27 kN/m³ per *BSSc*.

Al fine di ottenere campioni omogenei per l'esecuzione dei test geotecnici di condizionamento, tutti i terreni sono stati privati del trattenuto al setaccio da 25 mm (frantumando la parte litoide se necessario, come nelle filladi), essiccati in forno e quartati. La Fig. 19 riporta le granulometrie ottenute a seguito di queste operazioni. La scelta di tagliare le curve granulometriche a 25 mm deriva dalla pezzatura massima che può essere ammessa per l'esecuzione delle prove di laboratorio.

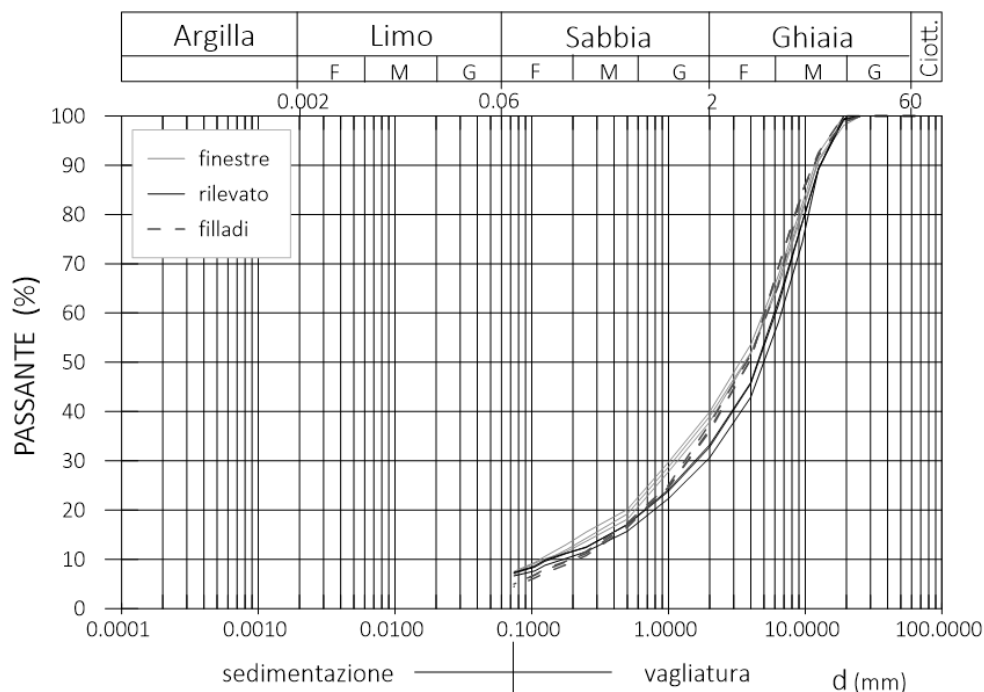


Fig. 19 – Curve granulometriche delle formazioni *fi*, *h-d* e *BSSc* dopo la tritatura.

Le 3 formazioni sono state caratterizzate anche dal punto di vista mineralogico tramite analisi diffrattometrica a raggi X secondo la UNI EN 13925/2006 (integrato metodo Rietveld). Nella seguente Tab. 5 sono esposti i risultati ottenuti e sono indicati i valori di durezza associati a ciascun minerale. Questa analisi

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB		IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	27 di 77

fornisce informazioni circa l'abrasività delle diverse formazioni, parametro fortemente influenzato dalla composizione mineralogica, e può essere utile nelle valutazioni circa l'usura degli utensili di scavo.

Dall'esame della tabella si può dire che la presenza di minerali più duri e abrasivi (quarzo, plagioclasti e K-feldspato) sia sostanzialmente equivalente nelle tre formazioni, con una durezza equivalente lievemente superiore nei detriti e depositi *h-d*.

Tab. 5 – Mineralogia di ciascuna formazione.

<i>minerali</i>	<i>formazioni</i>			<i>durezza</i>	
	BSSc (%)	h-d (%)	fi (%)	Mohs (-)	Vickers HV
<i>quarzo</i>	44	38	34	7	1100
<i>mica/illite</i>	26	24	26	1.5	25
<i>clorite</i>	16	10	11	2.5	70
<i>plagioclasti</i>	6	17	21	6.5	800
<i>K-feldspato</i>	-	4	-	6.5	800
<i>anidride</i>	2	1	2	2	30
<i>calcite</i>	1	1	1	3	100
<i>altre fasi minori e idrossidi</i>	≤ 5	≤ 5	≤ 5	-	-
<i>media durezza Vickers (HV)</i>	580	639	587	-	-

5.5 RISULTATI DEL CONDIZIONAMENTO

Prove di laboratorio quali lo slump test o la prova di abrasione, sono finalizzate a verificare la giusta combinazione dei parametri caratteristici del condizionamento necessari a garantire innanzitutto la corretta consistenza del terreno (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, vengono 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/m³ il quantitativo di agente condizionante che viene iniettato per un metro cubo di terreno condizionato.

Questo valore risulta essere di estrema importanza non solo, ovviamente, per le valutazioni relative ai consumi e ai costi, ma anche 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.

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>28 di 77</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	28 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	28 di 77									
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB														

Nel seguito, pertanto, verranno illustrati i risultati ottenuti dalle sopracitate prove geotecniche in relazione ai parametri di condizionamento prescelti e ai conseguenti *TR* ottenuti.

5.5.1 Depositi di frana (fi)

Per il condizionamento della formazione *fi* sono stati utilizzati i prodotti: Polyfoamer FP/L (M) di Mapei, MasterRoc SLF 32 (B) e MasterRoc SWA 710 (BP) di Basf, Foamex SNG (L) e Biogel 5000c (LP) di Lamberti.

Tutte le prove sono state eseguite a *C_f* pari a 2.0%, variando *WIR*, *FER* e *FIR*. I risultati ottenuti per ogni condizionamento effettuato sono riportati in Tab. 6. Ai risultati della prova di slump sono associati i seguenti colori: rosso, se l'esito è ritenuto non accettabile; giallo, se l'esito è ritenuto al limite dell'accettabilità; nero, se è ritenuto accettabile. In Fig. 20 e Fig. 21 sono inoltre riportati i risultati delle prove di abrasione e in Fig. 22 quelli relativi alla prova di slump. In quest'ultima rappresentazione sono stati esclusi i valori di slump ottenuti dai condizionamenti con agente condizionante schiumogeno e polimero, in quanto, come prevedibile vista la natura viscosizzante di questi ultimi, nessun valore è stato ritenuto accettabile a esclusione del campione LP-3.

Tab. 6 – Risultati ottenuti dai condizionamenti della formazione *fi*.

ID prova	w _n	C _f	C _p	WIR	FER	FIR	TR	w _{medio}	slump	abrasione	
(-)	(%)	(%)	(kg/m ³)	(%vol)	(xx:1)	(%)	(L/m ³)	(%)	(cm)	(g)	(%)
M-2	0.0	2.0	-	15.0	10	40	0.80	10.9	9.0	0.131	0.09
M-3	0.0	2.0	-	15.0	12	50	0.83	10.0	20.5	0.067	0.04
M-4	0.0	2.0	-	12.5	12	65	1.08	8.7	15.0	0.255	0.17
M-5	0.0	2.0	-	15.0	12	40	0.67	8.2	18.0	0.589	0.39
M-6	0.0	2.0	-	17.5	12	30	0.50	9.3	17.0	0.379	0.26
B-1	0.0	2.0	-	15.0	10	40	0.80	9.4	12.0	0.204	0.13
B-2	0.0	2.0	-	15.0	10	50	1.00	10.8	19.0	0.115	0.08
B-3	0.0	2.0	-	15.0	12	50	0.83	9.7	19.0	0.065	0.04
B-4	0.0	2.0	-	15.0	12	40	0.67	8.9	15.5	0.255	0.17
B-5	0.0	2.0	-	17.5	12	30	0.50	10.6	15.5	0.242	0.16
BP-1	0.0	2.0	0.5	15.0	10	40	0.80	9.2	14.0	0.227	0.15
BP-2	0.0	2.0	0.5	15.0	10	50	1.00	10.6	15.0	0.041	0.03
BP-3	0.0	2.0	0.5	15.0	12	50	0.83	9.8	15.0	0.175	0.12
BP-4	0.0	2.0	0.5	15.0	12	40	0.67	8.7	16.0	0.381	0.25
BP-5	0.0	2.0	0.5	17.5	12	30	0.50	9.6	16.0	0.592	0.39
L-1	0.0	2.0	-	15.0	10	40	0.80	8.8	12.5	0.262	0.18
L-2	0.0	2.0	-	15.0	10	50	1.00	9.8	18.0	0.164	0.11
L-3	0.0	2.0	-	15.0	12	50	0.83	8.8	19.0	0.059	0.04
L-4	0.0	2.0	-	17.5	12	40	0.67	10.5	15.0	0.187	0.13
L-5	0.0	2.0	-	17.5	10	40	0.80	9.7	19.0	0.043	0.03
LP-1	0.0	2.0	1.0	15.0	10	40	0.80	8.2	17.0	0.472	0.32
LP-2	0.0	2.0	2.0	15.0	10	50	1.00	9.8	15.5	0.702	0.47
LP-3	0.0	2.0	2.0	15.0	12	50	0.83	10.4	17.0	0.076	0.05

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 29 di 77

LP-5 0.0 2.0 2.0 17.5 10 40 0.80 10.5 6.5 0.206 0.14

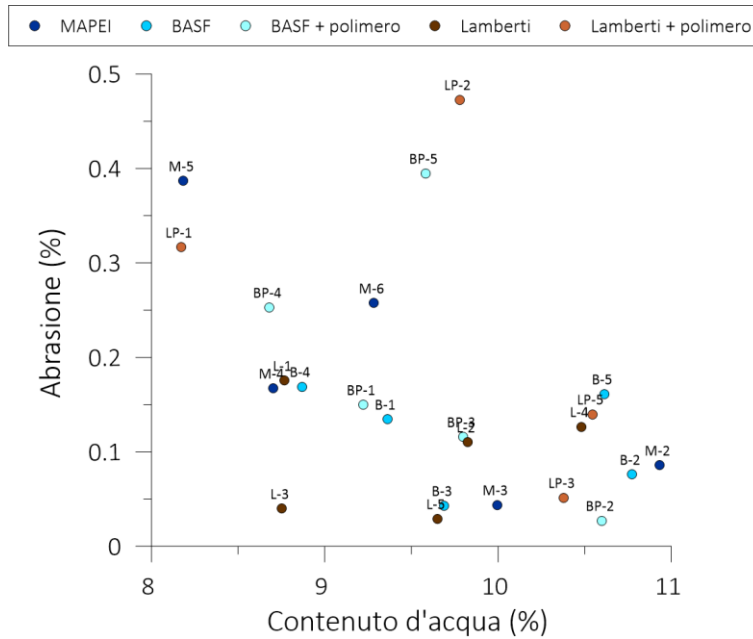


Fig. 20 – Risultati in termini di abrasione dei condizionamenti della formazione fi.

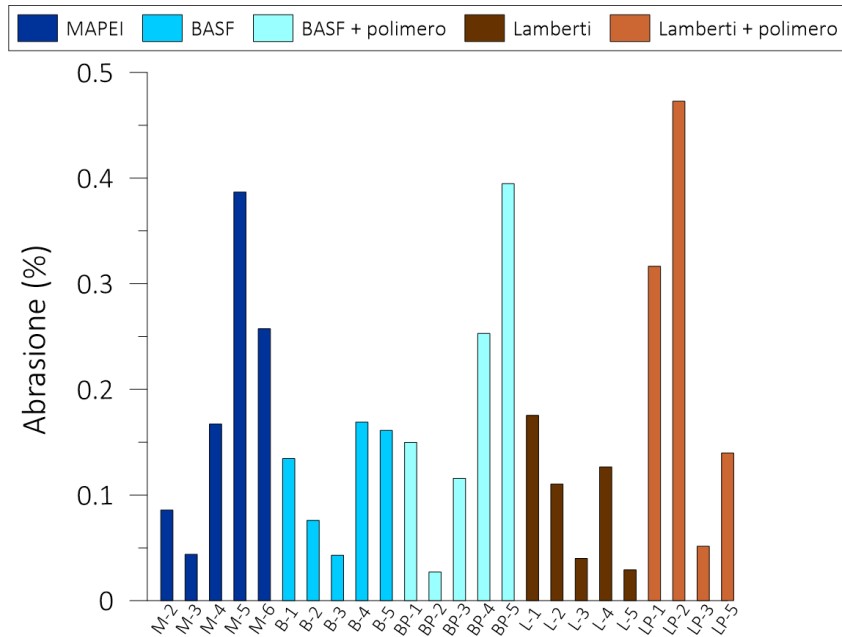


Fig. 21 – Risultati in termini di abrasione dei condizionamenti della formazione fi.

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 30 di 77

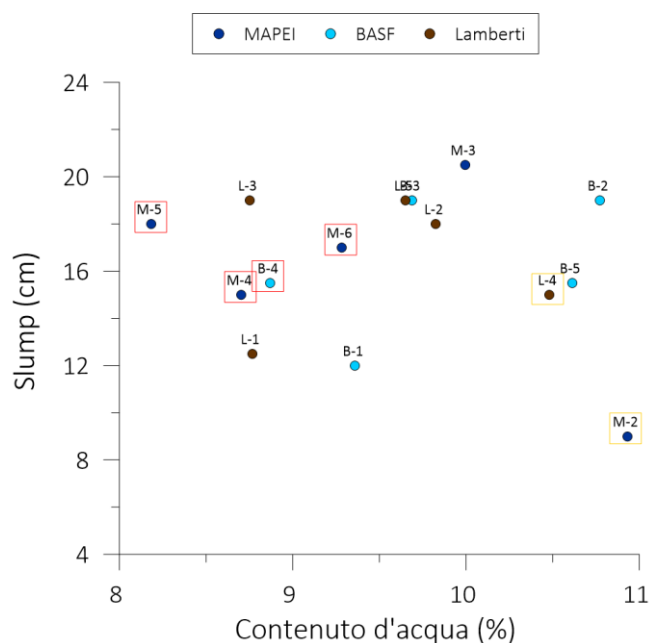


Fig. 22 – Risultati in termini di slump dei condizionamenti della formazione fi.

Da tali risultati, in primo luogo emerge una moderata efficacia dei tre differenti agenti schiumogeni nel raggiungimento di valori di slump, e quindi di consistenza, accettabili. Tali valori sono raggiunti per *TR* leggermente superiori utilizzando il prodotto Polyfoamer FP/L di Mapei.

Congruentemente con la caratterizzazione granulometrica, il parametro del *WIR* risulta essere determinante sulla riuscita del condizionamento e anche piccole variazioni percentuali producono effetti diversi. Per questo motivo i valori di *WIR* sono fortemente influenzati dal contenuto d'acqua iniziale dei campioni. Ciò significa che in presenza di contenuti d'acqua naturali diversi da zero, come assunto in questo studio, sarà necessario adattare di conseguenza i valori di *WIR*, in particolare riducendoli.

Dal punto di vista dell'abrasione, i prodotti MasterRoc SLF 32 di Basf e Foamex SNG di Lamberti con *TR* pari a 0.50 – 1.00 L/m³ e 0.67 – 1.00 L/m³ rispettivamente sembrano avere una maggior efficacia rispetto al prodotto Polyfoamer FP/L di Mapei (*TR* 0.67 – 1.20 L/m³).

Entrambi i polimeri sono risultati efficaci nell'assorbire l'acqua dal terreno condizionato, in particolare un effetto rilevante si è ottenuto per concentrazioni di polimero pari a 0.5 kg/m³ e 2.0 kg/m³ rispettivamente per MasterRoc SWA 710 di Basf e per Biogel 5000c di Lamberti.

Nelle figure da Fig. 23 a Fig. 27 sono riportate, a titolo di esempio, alcune fotografie rappresentative della prova di slump.

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 31 di 77

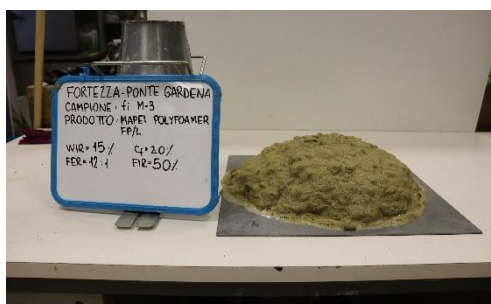


Fig. 23 – Esito della prova di slump del campione M-2 di fi.

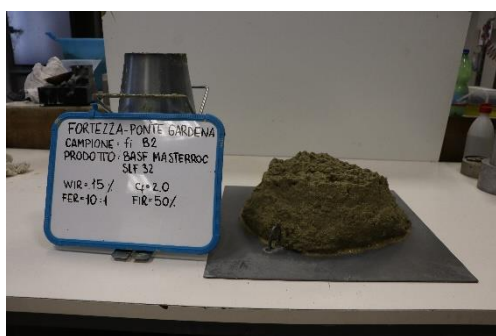


Fig. 24 - Esito della prova di slump del campione B-2 di fi.

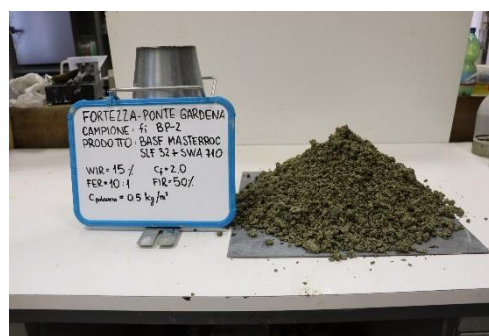


Fig. 25 - Esito della prova di slump del campione BP-2 di fi.

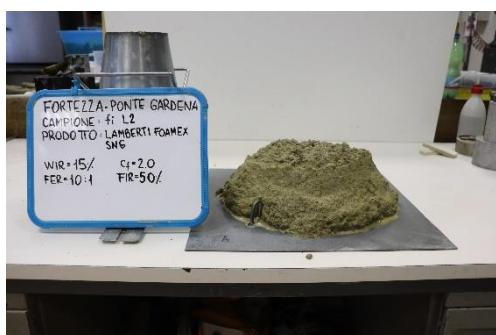


Fig. 26 - Esito della prova di slump del campione L-2 di fi.

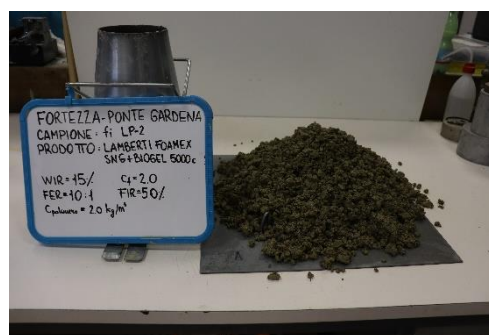


Fig. 27 - Esito della prova di slump del campione LP-2 di fi.

Nelle seguenti Fig. 28, Fig. 29 e Fig. 30 sono riportati i diagrammi triangolari rappresentanti le tre fasi solida liquida e aeriforme che compongono ciascun campione di terreno condizionato. È possibile notare come in questa formazione, come atteso per terreni a grana grossa, un buon condizionamento corrisponde a un apporto di acqua piuttosto contenuto (la fase liquida costituisce il 15% circa del campione) a fronte di un apporto di aria dovuto alla schiuma molto più importante, che va a costituire circa il 30% del volume di terreno condizionato. È utile sottolineare che la quantità di aria iniettata nel terreno è gestita regolando il FER della schiuma, che in questo tipo di terreni può assumere valori nel range 12-15.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	2 di 77

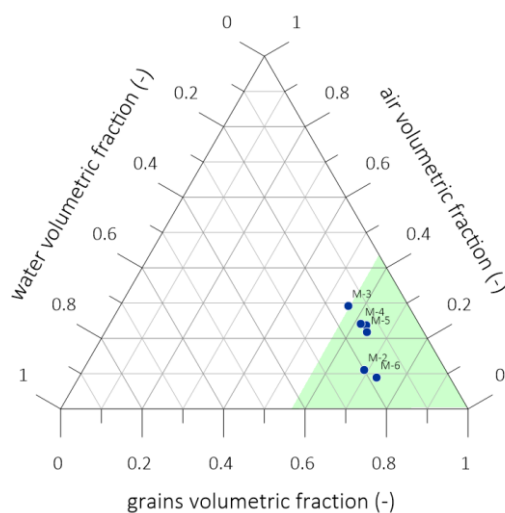


Fig. 28 – Diagramma triangolare dei campioni di fi condizionati con il prodotto Polyfoamer FP/L di Mapei.

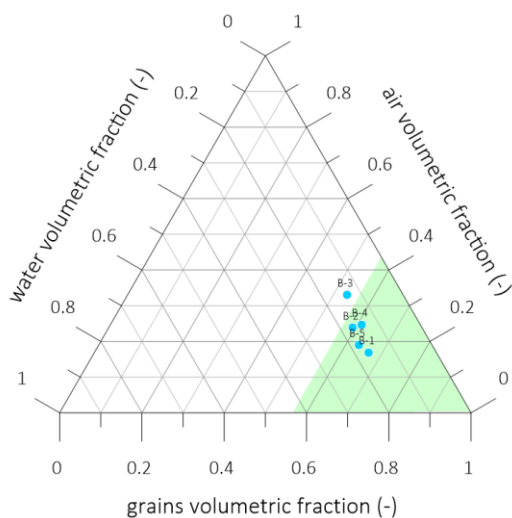


Fig. 29 – Diagramma triangolare dei campioni di fi condizionati con il prodotto MasterRoc SLF 32 di Basf.

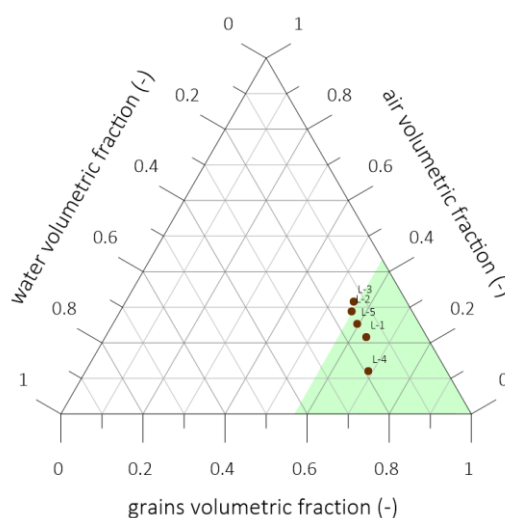


Fig. 30 – Diagramma triangolare dei campioni di fi condizionati con il prodotto Foamex SNG di Lamberti.

5.5.2 Detriti e depositi antropici (h-d)

Per il condizionamento della formazione *h-d* sono stati utilizzati i prodotti: Polyfoamer ECO/100 PLUS (M) di Mapei, MasterRoc SLF 32 (B) di Basf e Foamex SNG (L) di Lamberti.

Tutte le prove sono state eseguite a C_f pari a 2.0%, variando *WIR*, *FER* e *FIR*. I risultati ottenuti per ogni condizionamento effettuato sono riportati in Tab. 7. Ai risultati della prova di slump sono associati i seguenti colori: rosso, se l'esito è ritenuto non accettabile; giallo, se l'esito è ritenuto al limite dell'accettabilità; nero, se è ritenuto accettabile. In Fig. 31 e Fig. 32 sono inoltre riportati i risultati delle prove di abrasione e in Fig. 33 quelli relativi alla prova di slump.

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>2 di 77</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	2 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	2 di 77									
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB														

Tab. 7. – Risultati ottenuti dai condizionamenti della formazione h-d.

ID prova (-)	w _n (%)	C _f (%)	WIR (%vol)	FER (xx:1)	FIR (%)	TR (L/m3)	w _{medio} (%)	slump (cm)	abrasione (g) (%)	
M-1	0.0	2.0	22.5	12	50	0.83	13.0	4.5	0.118	0.08
M-2	0.0	2.0	22.5	10	40	0.80	12.7	16.0	0.088	0.06
M-3	0.0	2.0	20.0	10	60	1.20	12.9	11.5	0.085	0.06
B-1	0.0	2.0	17.5	12	70	1.17	11.3	17.0	0.096	0.07
B-2	0.0	2.0	22.5	10	40	0.80	13.7	19.0	0.039	0.03
B-3	0.0	2.0	20.0	10	50	1.00	12.2	17.0	0.075	0.05
L-1	0.0	2.0	22.5	10	40	0.80	13.2	10.0	0.081	0.06
L-2	0.0	2.0	22.5	10	50	1.00	15.7	18.0	0.042	0.03
L-3	0.0	2.0	25.0	12	60	1.00	14.8	18.5	0.062	0.04

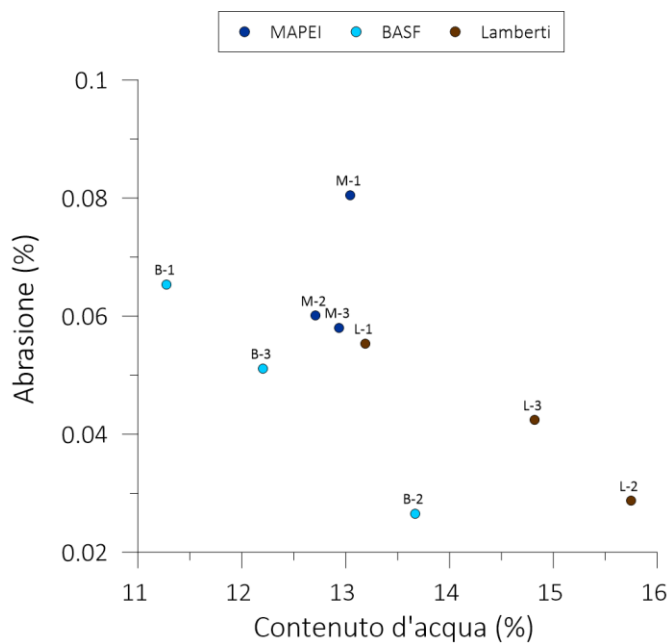


Fig. 31 – Risultati in termini di abrasione dei condizionamenti della formazione h-d.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE	Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	<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>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>3 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	3 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	3 di 77									

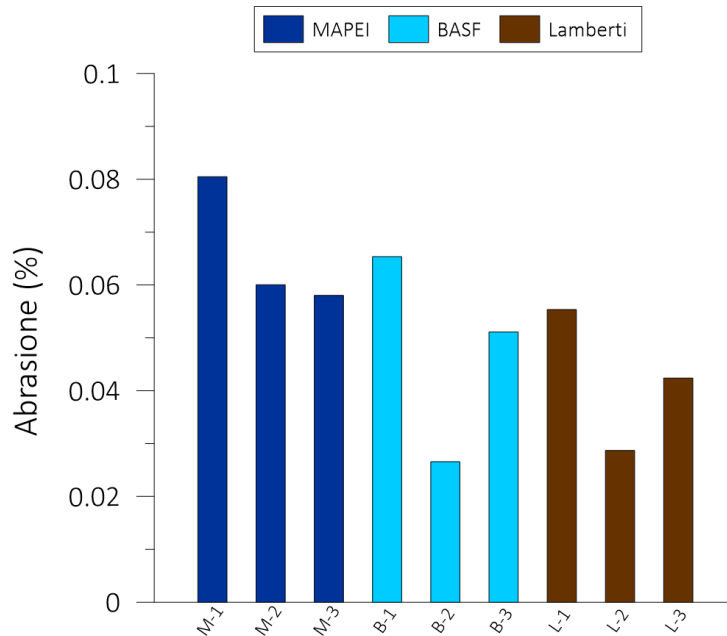


Fig. 32 – Risultati in termini di abrasione dei condizionamenti della formazione h-d.

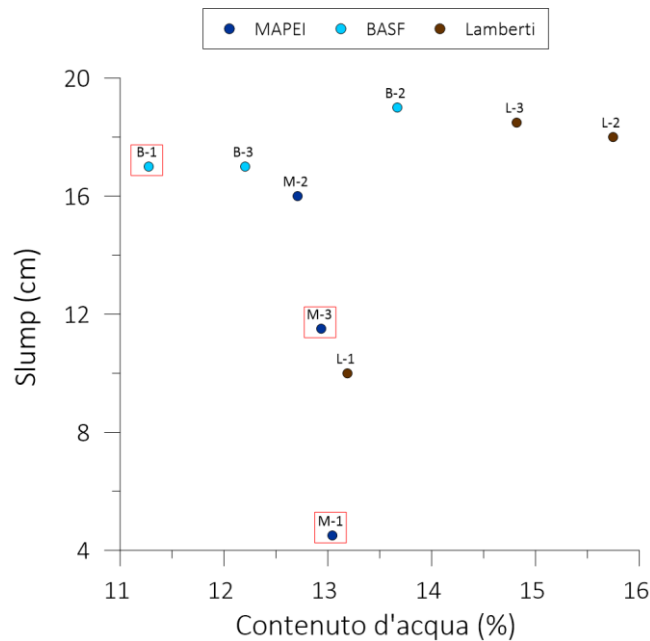


Fig. 33 – Risultati in termini di slump dei condizionamenti della formazione h-d.

Anche per questa formazione, da tali risultati in primo luogo emerge una moderata efficacia dei tre differenti agenti schiumogeni nel raggiungimento di valori di slump, e quindi di consistenza, accettabili. Tali valori sono raggiunti per TR leggermente superiori utilizzando il prodotto Polyfoamer ECO/100 PLUS di Mapei.

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<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>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>4 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	4 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	4 di 77									
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB														

Congruentemente con la caratterizzazione granulometrica, il parametro del *WIR* risulta essere determinante sulla riuscita del condizionamento e anche piccole variazioni percentuali producono effetti diversi. I valori di *WIR* che hanno fornito risultati migliori si attestano intorno al 22%, leggermente superiori rispetto a quelli necessari per il condizionamento dei detriti *fi* delle finestre, fatto che indica una maggiore quantità di fini che tuttavia non è risultata evidente dalle analisi granulometriche eseguite. Anche in questo caso, qualora il materiale in sito si trovi a contenuti d'acqua naturali diversi da zero sarà opportuno ridurre la quantità di acqua iniettata per il condizionamento.

Dal punto di vista dell'abrasione, i prodotti MasterRoc SLF 32 di Basf e Foamex SNG di Lamberti con *TR* pari a 0.50 – 1.00 L/m³ e 0.67 – 1.20 L/m³ rispettivamente sembrano avere una maggior efficacia rispetto al prodotto Polyfoamer ECO/100 PLUS di Mapei (*TR* 0.67 – 1.20 L/m³).

Nelle figure da Fig. 34 a Fig. 36 sono riportate, a titolo di esempio, alcune fotografie rappresentative della prova di slump.



Fig. 34 – Esito della prova di slump del campione M-2 di h-d.



Fig. 35 – Esito della prova di slump del campione B-2 di h-d.

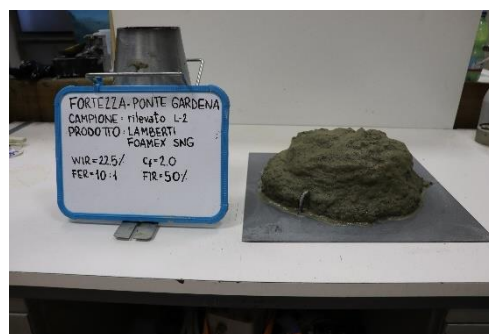


Fig. 36 – Esito della prova di slump del campione L-2 di h-d.

Nelle seguenti Fig. 37, Fig. 38 e Fig. 39 sono riportati i diagrammi triangolari rappresentanti le tre fasi solida liquida e aeriforme che compongono ciascun campione di terreno condizionato. I risultati ottenuti confermano una maggiore richiesta di liquido necessaria per ottenere un buon condizionamento e una inferiore richiesta di aria, che si traduce nella necessità di utilizzare valori di *FER* pari a 10 piuttosto che a 12.

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 2 di 77

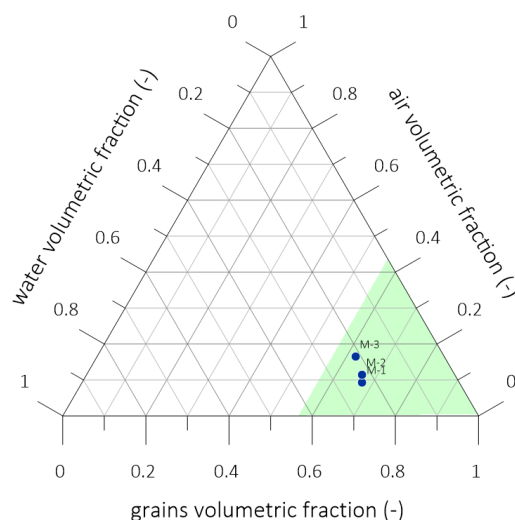


Fig. 37 – Diagramma triangolare dei campioni di h-d condizionati con il prodotto Polyfoamer ECO/100 PLUS di Mapei.

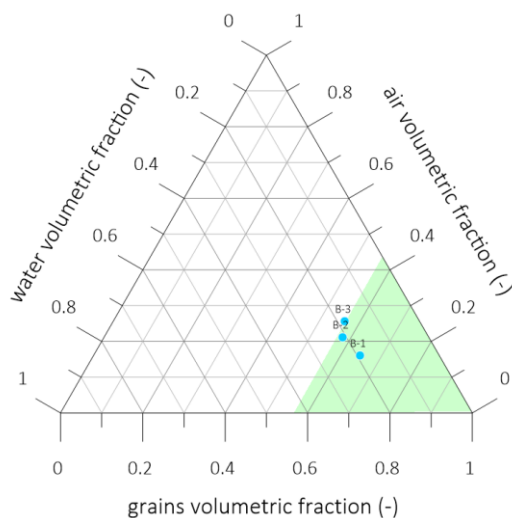


Fig. 38 – Diagramma triangolare dei campioni di h-d condizionati con il prodotto MasterRoc SLF 32 di Basf.

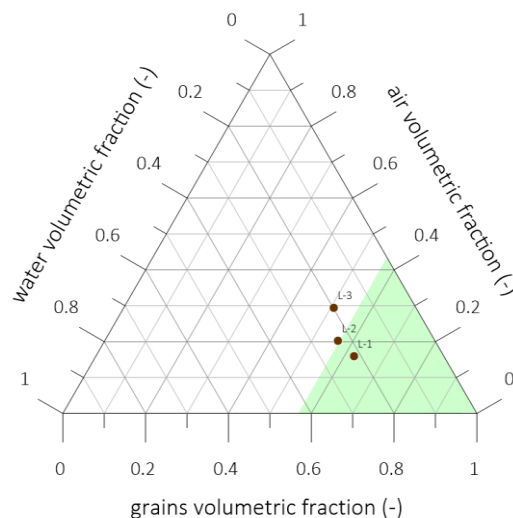


Fig. 39 – Diagramma triangolare dei campioni di h-d condizionati con il prodotto Foamex SNG di Lamberti.

5.5.3 Filladi carboniose (BSSc)

Per il condizionamento della formazione BSSc sono stati utilizzati i prodotti: Polyfoamer ECO/100 PLUS (M) di Mapei, MasterRoc SLF 32 (B) di Basf e Foamex SNG (L) di Lamberti

Tutte le prove sono state eseguite a C_f pari a 2.0%, variando WIR , FER e FIR . I risultati ottenuti per ogni condizionamento effettuato sono riportati in Tab. 8. Ai risultati della prova di slump sono associati i seguenti colori: rosso, se l'esito è ritenuto non accettabile; giallo, se l'esito è ritenuto al limite dell'accettabilità; nero, se è ritenuto accettabile. In Fig. 40 e Fig. 41 sono inoltre riportati i risultati delle prove di abrasione e in Fig. 42 quelli relativi alla prova di slump.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>2 di 77</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	2 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	2 di 77									
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB														

Tab. 8 – Risultati ottenuti dai condizionamenti della formazione BSSc.

ID prova	w _n	C _f	WIR	FER	FIR	TR	w _{medio}	slump	abrasione	
(-)	(%)	(%)	(%vol)	(xx:1)	(%)	(L/m3)	(%)	(cm)	(g)	(%)
M-1	0.0	2.0	25.0	10	50	1.00	11.0	12.0	0.300	0.21
M-2	0.0	2.0	27.5	10	40	0.80	11.7	17.5	0.197	0.14
M-3	0.0	2.0	25.0	10	60	1.20	11.6	19.0	0.276	0.19
M-4	0.0	2.0	27.5	12	50	0.83	12.6	15.0	0.344	0.24
B-1	0.0	2.0	25.0	10	50	1.00	10.5	19.0	0.390	0.27
B-2	0.0	2.0	25.0	10	40	0.80	11.2	19.0	0.047	0.03
B-3	0.0	2.0	22.5	10	50	1.00	11.2	17.5	0.044	0.03
B-3	0.0	2.0	25.0	12	40	0.67	11.0	19.0	0.047	0.03
L-1	0.0	2.0	25.0	10	50	1.00	11.1	18.5	0.052	0.04
L-2	0.0	2.0	22.5	10	40	0.80	10.3	13.0	0.218	0.15
L-3	0.0	2.0	22.5	10	50	1.00	9.8	18.0	0.044	0.03
L-4	0.0	2.0	22.5	12	50	0.83	9.6	17.0	0.214	0.15

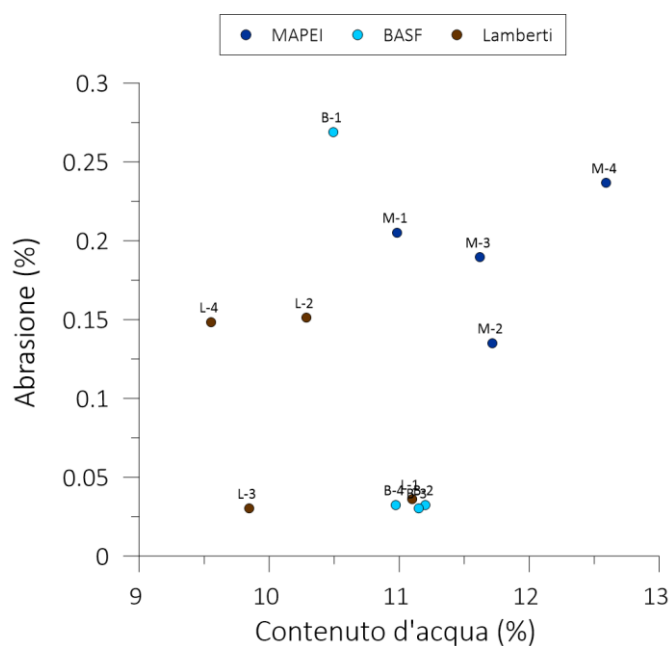


Fig. 40 – Risultati in termini di abrasione dei condizionamenti della formazione BSSc.

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 3 di 77

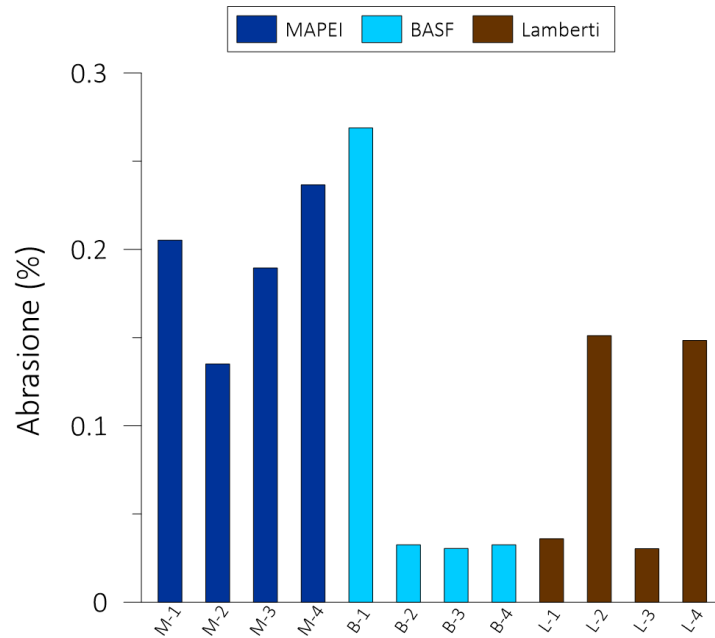


Fig. 41 – Risultati in termini di abrasione dei condizionamenti della formazione BSSc.

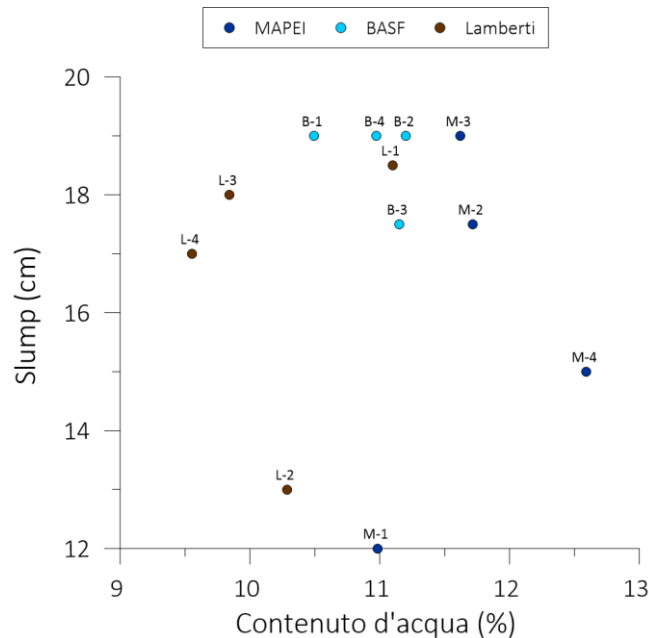


Fig. 42 – Risultati in termini di slump dei condizionamenti della formazione BSSc.

Analogamente a quanto detto per le precedenti formazioni, da tali risultati in primo luogo emerge una moderata efficacia dei tre differenti agenti schiumogeni nel raggiungimento di valori di slump, e quindi di consistenza, accettabili. Tali valori sono raggiunti per *TR* leggermente superiori utilizzando il prodotto Polyfoamer ECO/100 PLUS di Mapei.

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			
08 - GALLERIE	Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB					FOGLIO. 4 di 77
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	
	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	

La natura scistosa delle filladi fa sì che le operazioni di frantumazione e condizionamento le riducano in frammenti assimilabili a lamelle, con una superficie specifica tale da richiedere *WIR* intorno al 25%; minori in presenza di acqua in sito.

Anche in questo caso, dal punto di vista dell'abrasione, i prodotti MasterRoc SLF 32 di Basf e Foamex SNG di Lamberti con *TR* pari a 0.67 – 1.00 L/m³ e 0.67 – 1.00 L/m³ rispettivamente sembrano avere una maggior efficacia rispetto al prodotto Polyfoamer ECO/100 PLUS di Mapei (*TR* 0.67 – 1.20 L/m³).

Nelle figure da Fig. 43 a Fig. 45 sono riportate, a titolo di esempio, alcune fotografie rappresentative della prova di slump.



Fig. 43 – Esito della prova di slump del campione M-4 di BSSc



Fig. 44 – Esito della prova di slump del campione B-3 di BSSc.



Fig. 45 – Esito della prova di slump del campione L-2 di BSSc.

Nelle seguenti Fig. 46, Fig. 47 e Fig. 48 sono riportati i diagrammi triangolari rappresentanti le tre fasi solida liquida e aeriforme che compongono ciascun campione di terreno condizionato.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	2 di 77

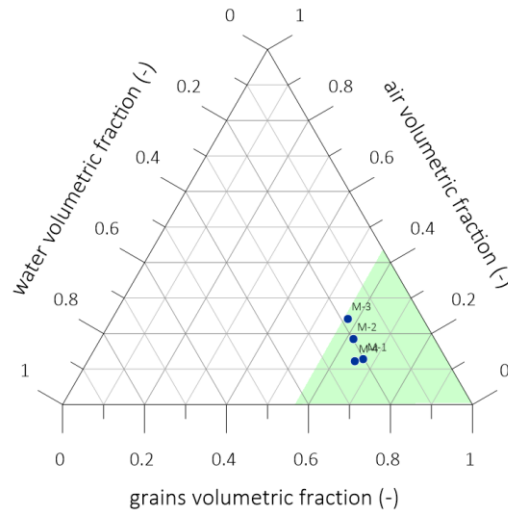


Fig. 46 – Diagramma triangolare dei campioni di BSSc condizionati con il prodotto Polyfoamer ECO/100 PLUS di Mapei.

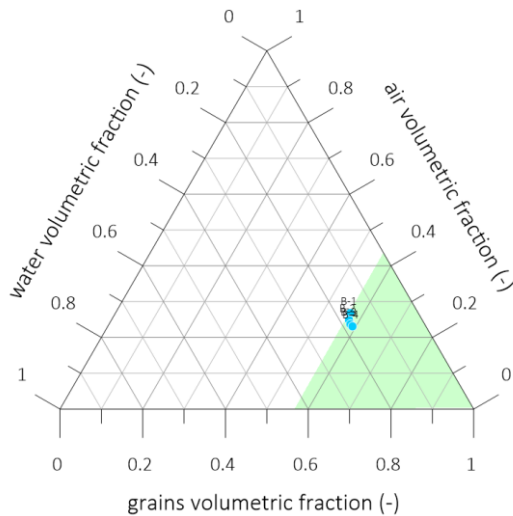


Fig. 47 – Diagramma triangolare dei campioni di BSSc condizionati con il prodotto MasterRoc SLF 32 di Basf.

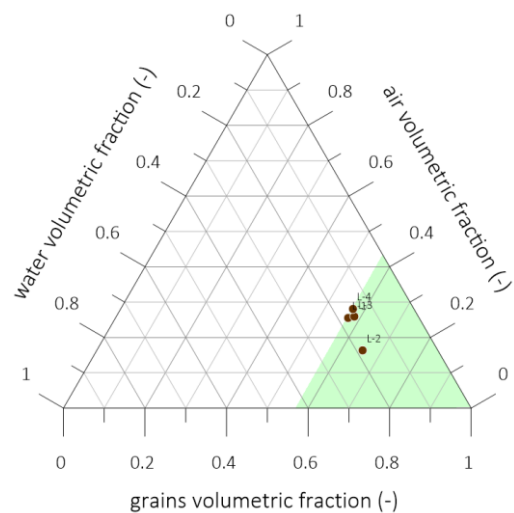


Fig. 48 – Diagramma triangolare dei campioni di BSSc condizionati con il prodotto Foamex SNG di Lamberti.

Nelle zone meno alterate e tettonizzate di questa formazione molto probabilmente non sarà necessario ricorrere al condizionamento per procedere con lo scavo, ma, qualora fosse necessario omogeneizzare la componente litoide per agevolarne l'estrazione dalla camera di scavo o in presenza di venute d'acqua, l'utilizzo del solo polimero viscosizzante potrebbe essere utile. Sono state pertanto eseguite alcune prove di slump su un campione di BSSc precedentemente sovrasaturato con un WIR pari al 45, ottenendo una forte riduzione dell'acqua in eccesso già con concentrazioni di Biogel 5000c pari a 0.5 kg/m³.

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<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>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>2 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	2 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	2 di 77									
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB														



Fig. 49 – Esito della prova di slump del campione di BSSc prima e dopo l'aggiunta del polimero.

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>3 di 77</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	3 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	3 di 77									
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB														

5.6 DOSAGGI SCELTI PER LE PROVE ECOTOSSICOLOGICHE

Le combinazioni di prodotti e dosaggi riportati nei precedenti paragrafi hanno permesso di definire i range all'interno dei quali i parametri di condizionamento possono variare mantenendo l'efficacia del condizionamento. Nell'individuazione dei dosaggi con cui condizionare i campioni da sottoporre alle prove ecotossicologiche si è scelto di operare, nell'ambito dei range determinati, individuando, a favore di sicurezza, delle combinazioni di parametri che potessero lasciare poi un margine utile durante lo scavo a superare eventuali situazioni di difficoltà o imprevisti rimanendo entro il valore di *TR* stimato.

Sulla base dei risultati dello studio geotecnico qui descritto e di valutazioni tecnico/economiche e ambientali derivanti anche da altre esperienze su recenti progetti, si è scelto di proseguire la sperimentazione sui prodotti MasterRoc SLF 32, Polyfoamer ECO/100 PLUS e Biogel 5000c, escludendo quindi i prodotti Foamex SNG, Polyfoamer FP/L e MasterRoc SWA 710.

Nella sottostante Tab. 9 sono riportati i parametri scelti per il condizionamento dei campioni di ciascun materiale da sottoporre alle prove ecotossicologiche.

Tab. 9 – Dosaggi utilizzati per i condizionamenti da sottoporre alle prove ecotossicologiche.

formazione (-)	produttore (-)	prodotto (-)	w _n (%)	C _f (%)	C _p (kg/m ³)	WIR (%vol)	FER (xx:1)	FIR (%)	TR (L/m ³)
<i>fi</i>	BASF	MasterRoc SLF 32	0	2.0	-	15.0	12	50	0.83
	BASF + LAMBERTI	MasterRoc SLF 32 + Biogel 5000c	0	2.0	2.0	15.0	12	50	0.83
	MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	0	2.0	-	15.0	10	45	0.90
	MAPEI + LAMBERTI	Polyfoamer ECO/100 PLUS + Biogel 5000c	0	2.0	2.0	15.0	10	45	0.90
<i>h-d</i>	BASF	MasterRoc SLF 32	0	2.0	-	22.5	10	40	0.8
	MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	0	2.0	-	22.5	10	50	1.0
<i>BSSc</i>	BASF	MasterRoc SLF 32	0	2.0	-	25.0	12	40	0.67
	MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	0	2.0	-	25.0	10	55	1.10

6. ATTIVITÀ SPERIMENTALI DI CARATTERE CHIMICO ED ECOTOSSICOLOGICO

Per i tratti scavati impiegando la tecnologia TBM-EPB è necessario tenere conto dell'interazione a lungo termine che può esservi fra i composti chimici presenti negli additivi di scavo e i microrganismi e organismi che possono entrare in contatto con gli stessi. Per una corretta valutazione dell'impatto ambientale del terreno condizionato con i prodotti chimici prescelti sono necessari studi approfonditi e sperimentazioni appositamente eseguite impiegando sia i prodotti chimici che si prevede di utilizzare in cantiere sia i campioni rappresentativi del terreno che verrà scavato. Lo studio sito-specifico, infatti, è necessario per valutare l'effettiva degradazione delle sostanze organiche contenute nei prodotti chimici impiegati, in quanto lo sviluppo dei processi di biodegradazione dipende dalla composizione chimica del terreno e dal complesso di tutti i microrganismi presenti nei campioni di terreno o nell'aria e nell'acqua con cui essi vengono a contatto dopo il prelievo.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	4 di 77

Il protocollo sperimentale seguito per tale studio prevede una prima caratterizzazione dei soli additivi schiumogeni e un successivo studio della loro biodegradazione nel terreno condizionato secondo i parametri ottimali di condizionamento, individuati in base ai risultati dei test geotecnici descritti nei precedenti paragrafi. Pertanto, solo a valle della definizione di tali parametri di condizionamento può essere allestito il set necessario a eseguire le prove di biodegradazione, che prevede un numero di campioni di terreno condizionato pari al numero di combinazioni terreno/additivo che si intendono studiare (al fine di riprodurre in scala di laboratorio una serie di campioni rappresentativi del materiale di risulta che si otterrà in cantiere). Parallelamente, vengono eseguiti anche test ecotossicologici su organismi bersaglio accuratamente selezionati. La scelta di tali organismi bersaglio è funzione di diverse considerazioni: matrice ambientale maggiormente interessata, sensibilità dell'organismo, rappresentatività dell'organismo nella matrice specifica, riproducibilità, affidabilità dei test e stato dell'arte.

Le attività sperimentali di carattere chimico ed ecotossicologico eseguite da GEEG prevedono:

- valutazioni preliminari del rischio sulla base di considerazioni dedotte dalle schede di sicurezza di ciascun prodotto;
- prove di carattere chimico (MBAS e COD) ed ecotossicologico (EC50 *Daphnia magna* e *Lepidium sativum*) sui prodotti tal quali;
- test chimici (MBAS) sull'eluato ottenuto a seguito di estrazione in acqua-metanolo sui terreni condizionati;
- test ecotossicologici (test di tossicità acuta con *Daphnia magna*) sull'eluato acquoso ottenuto dal test di cessione sui terreni condizionati;
- test ecotossicologici con due specie vegetali (*Lepidium sativum* e *Sorghum saccharatum*) sul terreno condizionato.

6.1 ANALISI E CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DEGLI AGENTI CONDIZIONANTI

Lo studio di impatto ambientale è basato sulla valutazione delle caratteristiche di biodegradazione e di ecotossicità degli agenti condizionanti.

La biodegradazione è un insieme di processi biochimici eseguiti da microrganismi presenti naturalmente nei comparti ambientali (terreno, acqua e aria) e pertanto presenti anche nel terreno condizionato. Tali microrganismi sono principalmente batteri aerobici, in grado cioè di utilizzare l'ossigeno per ossidare (biodegradare) i composti organici presenti nel terreno, sia quelli naturalmente presenti nel suolo sia quelli aggiunti dall'uomo, nel caso specifico i componenti degli agenti condizionanti. La biodegradazione viene determinata studiando l'andamento nel tempo della concentrazione residua di tensioattivi anionici presenti nel terreno, principalmente SLES, indicati con l'acronimo MBAS.

L'ecotossicologia, invece, studia gli effetti misurabili e quantificabili (morte, inibizione della crescita, della riproduzione, etc...) di organismi bersaglio appartenenti a diversi comparti ambientali, causati dalla presenza di determinate quantità di composti o miscele con cui gli organismi entrano in contatto (per contatto, attraverso l'ambiente circostante, etc...). Per lo studio delle caratteristiche di ecotossicità del terreno si eseguono prove di tossicità acuta che consistono nell'espore organismi bersaglio al terreno condizionato valutandone la risposta. L'eventuale diminuzione della tossicità nel tempo è indice di una biodegradazione

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 5 di 77

delle sostanze contenute negli schiumogeni, determinabile dalla variazione nel tempo di parametri quali l'MBAS.

Oltre alle prove di biodegradazione e di tossicità sul terreno condizionato, è opportuno determinare sui prodotti tal quali sia parametri chimici quali l'MBAS e il COD ma anche l'EC50. In ecotossicologia l'EC50 rappresenta la concentrazione in acqua di una sostanza o di un composto che causa un'incidenza pari al 50% dell'effetto scelto sugli organismi utilizzati per la prova. Alti valori di EC50 indicano che sono necessarie alte concentrazioni di prodotto in acqua prima che si verifichi un effetto tossico e, viceversa, bassi valori di EC50 indicano già a basse concentrazioni un elevato effetto tossico del prodotto nei confronti della specie testata.

Per l'esecuzione degli studi chimici ed ecotossicologici è necessaria l'esecuzione di prove di laboratorio su campioni con 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 le prove riportate nel seguente studio, sono state eseguite sul terreno condizionato con i parametri ottimali individuati dagli studi geotecnici. Questa attività ha previsto anche la preparazione di un campione di terreno non condizionato (bianco) utilizzato come controllo e riferimento per i risultati chimici ed ecotossicologici.

L'esecuzione delle prove di laboratorio chimiche ed ecotossicologiche ha quindi previsto la preparazione di 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 che si differenziano in base al terreno considerato.

6.2 ALLESTIMENTO DEL SET SPERIMENTALE

Ai fini progettuali risulta fondamentale conoscere le velocità di degradazione del tensioattivo impiegato e l'eventuale effetto ecotossico, in quanto da questi dipende il dimensionamento delle aree di stoccaggio da predisporre nei pressi delle aree di imbocco della galleria. A valle delle prove geotecniche e di una breve caratterizzazione dei prodotti puri (MBAS, TOC, COD e EC50) sono state sviluppate prove di laboratorio sui terreni condizionati necessarie a verificare la possibilità del riutilizzo di ciascun litotipo dopo 0 giorni o, alternativamente, dopo 7 giorni anche nel caso di aggiunta di polimero.

Le formazioni oggetto di approfondimenti sia di carattere geotecnico che chimico ed ecotossicologico sono, come già ampiamente discusso nei paragrafi precedenti, i depositi di frana inattiva delle finestre di Forch e Funes (*fi*), il tratto di interconnessione con il viadotto Belprato, caratterizzato da depositi antropici e i detriti di versante (*h-d*) e le filladi carboniose (*BSSc*). I prodotti utilizzati per le prove di carattere chimico ed ecotossicologico sono:

- BASF MasterRoc SLF 32;
- MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS;
- LAMBERTI Biogel 5000 C.

La Tab. 10 riporta le diverse combinazioni formazione/prodotto testate.

Tab. 10 - Combinazioni delle formazioni e dei prodotti testate.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 6 di 77

		BASF MasterRoc SLF 32	BASF MasterRoc SLF 32 + LAMBERTI Biogel 5000 C	MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS	MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS + LAMBERTI Biogel 5000 C
depositi di frana inattivi delle finestre di Forch e Funes	<i>fi</i>	x	x	x	x
depositi antropici e i detriti di versante	<i>h-d</i>	x		x	
filladi carboniose	<i>BSSc</i>	x		x	

Come specificato precedentemente, lo studio di impatto ambientale si basa sulla biodegradazione e sulle caratteristiche di ecotossicità dei prodotti utilizzati durante le fasi di scavo. È possibile valutare quanto velocemente un prodotto degrada misurando la concentrazione di tensioattivi anionici nel terreno condizionato a diversi tempi dal momento in cui avviene il condizionamento.

A questo scopo, sono state effettuate prove chimiche di laboratorio finalizzate a valutare la cinetica di biodegradazione dello SLES nelle formazioni interessate dallo studio, nonché a studiare le interazioni suolo-agente condizionante attraverso l'esecuzione di diverse prove, la cui tipologia viene stabilita secondo criteri di rappresentatività della situazione reale e sulla base delle esperienze pregresse: considerando l'elevata solubilità in fase acquosa delle classi di composti maggiormente presenti negli additivi per lo scavo (tensioattivi anionici) è stato scelto come organismo bersaglio il *Daphnia magna* per il comparto acquatico e, tenendo presente la matrice maggiormente interessata dallo scavo, ovvero il terreno, si è scelto di testare anche due specie vegetali ossia il *Lepidium sativum* e il *Sorghum saccharatum* come organismi rappresentativi del comparto terrestre.

Sperimentazioni di questo tipo richiedono la predisposizione di microcosmi di terreno condizionato e il prelievo, a regolari intervalli di tempo, di campioni sui quali eseguire le specifiche prove. I microcosmi rappresentano "ecosistemi modello" aventi cioè lo scopo di riprodurre in laboratorio, in condizioni controllate, l'ambiente naturale nel caso specifico del terreno interessato dallo scavo.

Nel rispetto del carattere sito-specifico della valutazione sperimentale, al fine di garantire una corretta valutazione delle interazioni terreno/agente condizionante, sono stati allestiti, presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica di "La Sapienza", Università di Roma, idonei microcosmi realizzati riproducendo le condizioni reali del sito (microrganismi, acqua, condizioni ambientali).

I microcosmi sono costituiti da contenitori di vetro del volume di 5 L contenenti aliquote pesate di terreno condizionato con i prodotti commerciali oggetto del presente studio. Tali contenitori devono essere mantenuti chiusi da un coperchio non sigillante per consentire scambi di ossigeno con l'esterno ma limitando, al tempo stesso, un'eccessiva evaporazione di acqua, e vanno posti alla luce naturale e a temperatura costante per 28 giorni. È importante sottolineare che, al fine di preservare le caratteristiche naturali del

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 7 di 77

terreno, il materiale utilizzato per l'allestimento dei microcosmi e quindi per l'esecuzione delle prove chimiche ed ecotossicologiche è stato tenuto all'aria e non asciugato in forno, contrariamente a quanto effettuato per l'esecuzione delle prove geotecniche. Le alte temperature del forno, infatti, causerebbero fenomeni di degradazione termica e quindi un'eventuale alterazione dei risultati dei test.

Per ogni combinazione terreno/prodotto testata, è stato allestito un microcosmo di terreno condizionato oltre a un bianco (campione di terreno non condizionato, noto anche come "controllo"). A tempi prestabiliti (t = 0, 3, 7, 14 e 28 giorni), sono state prelevate 2 aliquote di terreno (circa 100 g) da ciascun microcosmo al fine di produrre l'elutriato (rapporto S\L 1:10 in acqua bidistillata) in duplicato, necessario per l'esecuzione delle prove ecotossicologiche (*Daphnia magna*), 2 aliquote di terreno per poter condurre l'estrazione con acqua/metanolo attraverso la "Procedura di analisi e metodica per la determinazione dei tensioattivi totali su campioni di materiale da scavo" approvata dal Ministero dell'Ambiente con Parere 3075 del 05/07/2019, al fine di produrre il campione liquido sul quale effettuare il test chimico per la determinazione dei tensioattivi anionici (MBAS), nonché 2 aliquote di terreno per le prove ecotossicologiche con le due specie vegetali selezionate (*Lepidium sativum* e *Sorghum saccharatum*).

Per la preparazione dell'estratto acquoso, necessario per l'esecuzione delle prove ecotossicologiche, è stato seguito il protocollo previsto dalle norme UNI 10802. In particolare, a ogni sub-aliquota di terreno condizionato e del corrispondente controllo, dopo averne preliminarmente determinata l'umidità, è stata aggiunta acqua bidistillata al fine di ottenere un rapporto terreno/acqua pari a 1:10 (ivi compresa l'acqua inizialmente presente nel campione da estrarre). L'estrazione acquosa di tali sub-aliquote è stata poi eseguita mediante agitazione su un agitatore rotante per 24 ore al buio a 20°C. Il giorno seguente è stata separata la fase solida da quella liquida, la quale viene quindi sottoposta al test di tossicità acuta con *Daphnia magna*.

Per la preparazione del campione da sottoporre al test chimico di MBAS la metodica prevede che per ogni campione di terreno vengano pesate 2 aliquote da 5 g di cui una inserita in una provetta da 50 mL e l'altra impiegata per la determinazione dell'umidità. In provetta, si inseriscono 20 mL di una miscela di acqua e metanolo in rapporto 1:4 v/v (16 mL di metanolo e 4 mL di acqua). Il campione viene poi agitato meccanicamente per 2 minuti e sonicato 1 ora in bagno a ultrasuoni con frequenza pari a 35 kHz. Successivamente si centrifuga il campione per separare il terreno dal surnatante che viene poi analizzato.

I campioni preparati seguendo le metodologie appena descritte sono stati sottoposti a una caratterizzazione continua, secondo la seguente "time schedule": 0, 3, 7, 14 e 28 giorni.

6.3 VALUTAZIONI PRELIMINARI DI CARATTERE CHIMICO ED ECOTOSSICOLOGICO

A seguito dei risultati ottenuti delle prove geotecniche descritte nei capitoli precedenti, è stato possibile definire i dosaggi ottimali per ciascuna combinazione prodotto/formazione (Tab. 9). Dai valori di TR così ottenuti e noto il range del dosaggio di ciascuna sostanza componente il prodotto commerciale è stato possibile individuare i range di concentrazione di prodotto nel suolo attesi, riportati nella seguente Tab. 11.

Tab. 11 - Range di concentrazioni di prodotto attese nel suolo.

formazione	produttore	prodotto	TR	CAS n°	dosaggio	concentrazione attesa

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				
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 8 di 77	

	(-)	(-)	(-)	max (l/m ³)	(-)	min (%)	max (%)	da (mg/kg)	a (mg/kg)
<i>fi</i>	BASF	MasterRoc SLF 32	0.83	68891-38-3	10	20	40.69	81.37	
	MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	0.90	9004-82-4	5	10	22.06	44.14	
	BASF + LAMBERTI	MasterRoc SLF 32 + Biogel 5000 C	0.83	68891-38-3	10	20	40.69	81.37	
	MAPEI + LAMBERTI	Polyfoamer ECO/100 PLUS + Biogel 5000 C	0.90	9004-82-4	5	10	22.06	44.14	
<i>h-d</i>	BASF	MasterRoc SLF 32	0.80	68891-38-3	10	20	39.22	78.43	
	MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	1.00	9004-82-4	5	10	24.51	49.02	
<i>BSSc</i>	BASF	MasterRoc SLF 32	0.67	68891-38-3	10	20	24.81	49.63	
	MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	1.10	9004-82-4	5	10	20.37	40.74	

*per dosaggio si intende la concentrazione del singolo composto, identificato con il singolo CAS, presente all'interno di ciascun prodotto tal quale.

È opportuno sottolineare che nel caso dei terreni condizionati con il prodotto schiumogeno in combinazione con il polimero viscosizzante (MasterRoc SLF 32 + Biogel 5000 C e Polyfoamer ECO/100 PLUS + Biogel 5000 C), la concentrazione di tensioattivo attesa nel suolo è uguale a quella dei terreni condizionati soltanto con i prodotti schiumogeni dal momento che il Biogel 5000c non contiene tensioattivi, come emerso dai test di MBAS condotti.

Il rispetto dei requisiti di qualità ambientale di cui all'articolo 184-bis, comma 1, lettera d), del decreto legislativo del 3 aprile 2006, n. 152, per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti, è garantito quando il contenuto di sostanze inquinanti all'interno delle terre e rocce da scavo, comprendenti anche gli additivi utilizzati per lo scavo, sia inferiore alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC), di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo del 3 aprile 2006, n. 152, con riferimento alla specifica destinazione d'uso urbanistica, o ai valori di fondo naturali.

Qualora per consentire le operazioni di scavo sia previsto l'utilizzo di additivi che contengono sostanze inquinanti non comprese nella citata tabella, il soggetto proponente fornisce all'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e all'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) la documentazione tecnica necessaria a valutare il rispetto dei requisiti di qualità ambientale di cui all'articolo 4. Per verificare che siano garantiti i requisiti di protezione della salute dell'uomo e dell'ambiente, ISS e ISPRA prendono in considerazione il contenuto negli additivi delle sostanze classificate pericolose ai sensi del regolamento (CE) n. 1272/2008, relativo alla classificazione, etichettatura ed imballaggio delle sostanze e delle miscele (CLP), al fine di appurare che tale contenuto sia inferiore al "valore soglia" di cui all'articolo 11 del citato regolamento per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale e al "limite di concentrazione" di cui all'articolo 10 del medesimo regolamento per i siti ad uso commerciale e industriale. L'ISS si esprime entro 60 giorni dal ricevimento della documentazione, previo parere dell'ISPRA. Il parere dell'Istituto Superiore di Sanità è allegato al piano di utilizzo.

In funzione di tale regolamento e di detti articoli vengono definiti il valore soglia (VS) riportati nella Tab. 14, Tab. 15 e Tab. 16, la concentrazione limite specifica (LCS) e la concentrazione limite generica (LCG) per diverse classi di pericolosità (Tabella 1.1 allegato I parte 1 del CE 1272, riportata in Tab. 12), cioè per:

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					
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 9 di 77

- tossicità acuta, categorie 1-3 e 4;
- pericolosità per corrosione/pericolo da contatto;
- pericolosità da contatto con occhi;
- tossicità acquatica, acuta categoria 1 e cronica categoria 1 e categoria 2-4.

Tab. 12 - Tabella 1.1 allegato I parte 1 del CE 1272.

valori di soglia generici	
classe di pericolo	valori di soglia generici da prendere in considerazione
tossicità acuta:	
- categoria 1-3	0.1%
- categoria 4	1%
corrosione/irritazione della pelle	1% ⁽¹⁾
gravi danni oculari/irritazione oculare	1% ⁽²⁾
nocivo per l'ambiente acquatico	
- tossicità acuta 1, categoria 1	0.1% ⁽³⁾
- tossicità cronica, categoria 1	0.1% ⁽³⁾
- tossicità cronica, categorie 2-4	1%
⁽¹⁾ o < 1 % se pertinente, cfr. 3.2.3.3.1.	
⁽²⁾ o < 1 % se pertinente, cfr. 3.3.3.3.1.	
⁽³⁾ o < 0.1 % se pertinente, cfr. 4.1.3.1.	

nota: i valori soglia generici sono espressi in percentuale in peso, tranne che per le miscele gassose, per le quali sono espressi in percentuale in volume.

Secondo l'allegato I parte 1, punto 1.1.2.2 del CE 1272, il VS è uguale al valore più basso fra LCS e LCG. I valori di LCS per le diverse classi di pericolo per i composti considerati si può reperire nel database ECHA delle sostanze chimica. Qualora non fosse reperibile da nessuna di queste fonti è possibile assumere VS=LCG. Qualora la classe di pericolo della sostanza non fosse presente nelle voci della Tabella 1.1, è necessario riferirsi ad altri limiti di concentrazione generici, che possono reperirsi attraverso le metodiche riportate nell'allegato I parti da 3 a 5.

Nel caso di tossicità acuta o cronica acquatica di categoria 1, il valore di LCG deve tenere conto di un fattore M, che viene definito o nelle tabelle 3.1 e 3.2 allegato VI parte 3 o riportato nel database ECHA. Nel caso in cui non fosse definito nei suddetti, è necessario rifarsi alla tabella 4.1.3 allegato I parte 1 (Tab. 13):

Tab. 13 - Fattori moltiplicatori per i componenti altamente tossici delle miscele (tabella 4.1.3 allegato I parte 1 del CE 1272).

valore della C(E)L ₅₀	fattore moltiplicatore (M)
0.1 < C(E)L ₅₀ ≤ 1	1
0.01 < C(E)L ₅₀ ≤ 0.1	10
0.001 < C(E)L ₅₀ ≤ 0.01	100

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>10 di 77</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	10 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	10 di 77									
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB														

$$0.0001 < C(E)_{L50} \leq 0.001 \quad 1000$$

$$0.00001 < C(E)_{L50} \leq 0.0001 \quad 10000$$

(segue per intervalli corrispondenti a un fattore 10)

Si riportano quindi nella Tab. 14, Tab. 15 e Tab. 16 i valori attesi di concentrazione delle singole classi di composti per ogni prodotto e dei relativi VS (per il CAS n. 85711-71-3 non è stato possibile reperire le classi di tossicità dai database, per cui sono state riportate in via cautelativa tutte le classi di tossicità del CLP con i rispettivi VS).

Su ciascuno di questi agenti condizionanti è stato effettuato uno screening basato sulle schede di sicurezza e nelle sottostanti tabelle sono riportate le classi di tossicità dedotte dalle tali schede.

Tab. 14 - Classi di tossicità ricavate dalle schede di sicurezza del prodotto MasterRoc SLF 32.

BASF MasterRoc SLF 32			
CAS	% nel prodotto	classe tossicità	VS (% in massa)
68891-38-3	10 - 20	Skin Irr 2	Skin Irrit. 2: C > 1%
		Eye Irrit. 2	Eye Irrit. 2: C ≥ 5 %
		Aquatic Cron 3	Aquatic Chron 3: C > 1%

Tab. 15 - Classi di tossicità ricavate dalle schede di sicurezza del prodotto Polyfoamer ECO 100/ PLUS.

MAPEI Polyfoamer ECO 100/ PLUS			
CAS	% nel prodotto	classe tossicità	VS (% in massa)
9004-82-4	>=5	Eye Irrit. 2	Eye Irrit. 2: C ≥ 5 %

Tab. 16 - Classi di tossicità ricavate dalle schede di sicurezza del prodotto Biogel 5000C.

LAMBERTI Biogel 5000 C			
CAS	% nel prodotto	classe tossicità	VS (% in massa)
143-22-6	40-60	Eye Dam 1	Eye Dam. 1: C > 1%

6.4 METODI DI PROVA

Di seguito vengono illustrate in dettaglio le metodologie di prova di ciascun test che verrà eseguito sia sui prodotti schiumogeni puri, sia su tutte le combinazioni terreno condizionato/prodotto testate.

6.4.1 Metodo di prova dell'MBAS

L'MBAS (Methylene Blue Active Substance) è la metodologia standard riconosciuta a livello internazionale per la misura dei tensioattivi anionici, che formano con il Blu di Metilene un sale di colore blu, estratto in modo quantitativo con cloroformio. L'assorbanza della fase organica è proporzionale alla concentrazione del tensioattivo anionico e può essere misurata mediante spettrofotometro UV-Vis nella regione del visibile a una lunghezza d'onda pari a 650 nm. I test saranno eseguiti in base alla metodica ISO 7875-1:1996. Prima di procedere alle analisi si costruisce una retta di calibrazione prendendo come composto di riferimento il dodecilbenzensolfonato, tensioattivo anionico

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 11 di 77

6.4.2 Metodo di prova del TOC

Il TOC (Total Organic Carbon, espresso in mgC/L) è una misura quantitativa del carbonio organico presente in una soluzione in acquosa. La misura del TOC può essere indiretta, come differenza tra il carbonio totale (TC=TOC+IC) e quello inorganico (IC) misurati direttamente, oppure può essere diretta valutando il carbonio organico residuo dopo eliminazione del carbonio inorganico (NPOC, carbonio organico non purgabile). Per la misura del TOC si applica la tecnica NPOC, con riferimento al metodo UNI EN 1434:1999 ed utilizza l'analizzatore Shimadzu TOC-V csh (Fig. 50).



Fig. 50 - Apparecchiatura di misura per TOC.

6.4.3 Metodo di prova del COD

Il valore di Chemical Oxygen Demand (COD) rappresenta la quantità totale di ossigeno necessaria per ossidare i composti ossidabili (organici e inorganici) presenti nel campione. La determinazione del COD mediante test in cuvetta prevede, come riportato nel Manuale e Linea Guida APAT-IRSA n. 29/2003 "Metodi analitici per le acque", una fase di digestione, di norma per un tempo pari a 2 ore, alla temperatura di 148 °C ed una successiva determinazione spettrofotometrica.

6.4.4 Principio del metodo di tossicità acuta con *Daphnia Magna*

Il test OECD 202 (*Daphnia* sp. Acute Immobilisation Test, test acuto di immobilizzazione di *Daphnia* sp.) prevede l'utilizzo del crostaceo cladocero della specie *Daphnia magna* Straus (Fig. 51). Per lo svolgimento di tutti i test si utilizzano "efippi" della MicroBiotest che garantisce per la qualità degli organismi forniti, per le condizioni di allevamento e produzione degli efippi, poiché aderisce strettamente ai protocolli standardizzati prescritti dalla norma. Gli efippi sono forniti in un kit insieme alle soluzioni concentrate necessarie per il mezzo di crescita degli organismi e di un sistema multi-pozzetto comprendente quattro repliche, in accordo con le normative standard internazionali (OECD, ISO, USEPA, ASTM). Il saggio con *Daphnia* risulta essere molto sensibile soprattutto all'inquinamento da metalli pesanti (piombo, cadmio, zinco, rame ecc.). I neonati di meno di 24h vengono immessi nel campione da analizzare e dopo un periodo di tempo prestabilito (24h) si osserva la percentuale di individui sopravvissuti. I risultati possono essere espressi o come percentuale di individui morti/immobilizzati o come valore di EC50 cioè come concentrazione della sostanza tossica che determina la morte/immobilizzazione del 50% degli individui impiegati nel test.

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 12 di 77

Modalità di esecuzione del test con *Daphnia magna*

Prima dell'inizio del saggio è prevista l'incubazione degli efippi per circa 80 ore a $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ e con illuminazione di 6000 lux, al termine di tale periodo si ottengono organismi giovani detti "dafnidi" da utilizzare nell'allestimento delle prove di tossicità. In ogni pozzetto, contenente 10 ml di soluzione, vengono trasferiti mediante micropipetta Pasteur e l'utilizzo di un microscopio stereoscopico, cinque neonati di *Daphnia*. Il sistema multi-pozzetto è quindi posto in frigo termostato e incubato a $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ al buio. L'esecuzione del saggio prevede l'impiego di 20 dafnidi con età inferiore alle 24 ore, esposti in quattro repliche a ciascun campione di elutriato, per un periodo di 24 ore. I risultati (in termini di immobilità degli organismi) registrati a 24 ore vengono confrontati con il controllo negativo (mezzo di crescita per l'organismo) e con un controllo positivo, preparato con il tossico di riferimento (bicromato di potassio) a conferma dell'idoneità del mezzo di crescita e degli organismi utilizzati. Affinché il test sia considerato valido, devono essere rispettati i seguenti criteri di validità:

- nel controllo negativo, non più del 10% degli individui devono essere immobilizzati;
- la concentrazione di ossigeno disciolto alla fine del test dovrebbe essere $>3\text{ mg/L}$ nel controllo e nei pozzetti del test.

Poiché non esiste in letteratura una scala di tossicità riconosciuta e standardizzata per *Daphnia magna*, al fine di fornire un giudizio di tossicità per tale test, i risultati ottenuti vengono confrontati con le soglie proposte nella scala di tossicità per tale saggio dai Laboratori ARPAL, riportata nel Manuale e Linee Guida ISPRA 67/2011.



Fig. 51 – *Daphnia Magna*.

6.4.5 Principio del metodo per la determinazione dell'inibizione della germinazione e dell'allungamento radicale di *Lepidium sativum* e *Sorghum saccharatum*

Utilizzando come organismi bioindicatori le specie vegetali crescita (*Lepidium sativum*) e sorgo (*Sorghum saccharatum*) si eseguono test di germinazione, che valutano l'effetto di matrici acquose contenenti il campione in esame. Il saggio, della durata di 72 ore, consente di rilevare contemporaneamente l'effetto sulla germinazione e sull'allungamento radicale, combinandoli in Indice di germinazione (IG%).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 13 di 77	

Il metodo di prova, sviluppato per verificare la tossicità di campioni liquidi (campioni ambientali; soluzioni di prodotti puri, estratti) e solidi (sedimenti, suoli, fanghi), risulta di facile esecuzione dal momento che gli organismi del saggio sono facilmente disponibili e l'esecuzione della prova non richiede una strumentazione dedicata (APAT, 2004) e rispetto ad altri, è sensibile a una più vasta gamma di contaminanti organici e inorganici.

*Modalità di esecuzione del test con *Lepidium sativum* e *Sorghum saccharatum**

Il test di germinazione viene eseguito utilizzando come organismi bioindicatori il *Lepidium sativum* e il *Sorghum saccharatum* seguendo i metodi ufficiali ISO 11357:2010 allo scopo di valutare l'effetto del terreno additivato con il prodotto schiumogeno sulla germinazione dei semi e sull'allungamento della radice, dell'ipocotile e dell'epicotile. In Fig. 52 sono mostrati rispettivamente i semi di sorgo e cetriolo prima e dopo la germinazione.

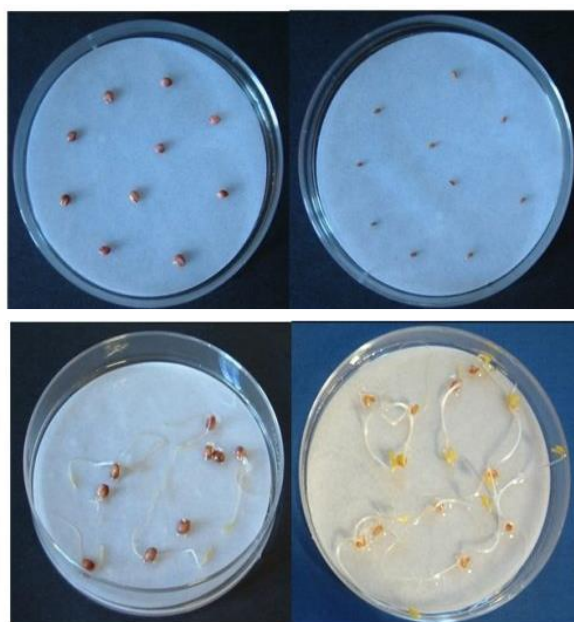


Fig. 52 – Semi di *Lepidium sativum* e *Sorghum saccharatum* prima e dopo la germinazione.

È importante per la riuscita del test che le specie vegetali testate non siano trattate con insetticidi e/o fungicidi e che vengano tenute al buio e in frigorifero per la vernalizzazione. Il test viene effettuato in capsule Petri contenenti un dischetto di carta bibula. Ad ogni capsula si aggiungono 5 mL di campione e 10 semi di ciascuna specie e si pone questa in incubatore a 25 ± 1 °C per 72 ore. Al termine della prova si contano i semi germinati e si misura l'allungamento radicale dei semi esposti al campione testato confrontandoli con i risultati del terreno di controllo, ossia si confrontano i risultati ottenuti dal campione testato con i risultati ottenuti eseguendo la prova utilizzando un terreno standard secondo l'OECD per i test di fitotossicità. Ciò permette di poter apprezzare l'effetto di eventuali composti presenti nel campione testato che possano esplicare un'azione fitotossica nei confronti delle specie vegetali.

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE														
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>14 di 77</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	14 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	14 di 77									

6.5 RISULTATI PROVE CHIMICHE ED ECOTOSSICOLOGICHE SUL PRODOTTO PURO

La Tab. 17 e la Tab. 18 riportano rispettivamente, i risultati delle prove chimiche ed ecotossicologiche condotte sui prodotti commerciali.

Tab. 17 - Risultati delle prove chimiche sui prodotti commerciali.

produttore	prodotto	TOC	COD	MBAS
(-)	(-)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
BASF	MasterRoc SLF 32	36300 ± 7300	266000 ± 67000	158000 ± 39000
MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	54500 ± 11000	201000 ± 50000	72000 ± 18000
LAMBERTI	Biogel 5000 C	633000 ± 127000	>650000	<6.6

Tab. 18 - Risultati delle prove ecotossicologiche sui prodotti commerciali.

produttore	prodotto	EC50 <i>Daphnia magna</i> 24h	intervallo di confidenza al 95%	EC50 <i>Lepidium sativum</i> 72h	intervallo di confidenza al 95%
(-)	(-)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
BASF	MasterRoc SLF 32	94	74 - 119	357	152 - 641
MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	2523	2084 – 3061	3690	1990 - 9203
LAMBERTI	Biogel 5000 C	250	220 – 270	3040	1990 - 5700

Il prodotto BASF risulta essere caratterizzato da una maggiore concentrazione di tensioattivi anionici espressa come MBAS, rispetto al prodotto MAPEI. I dati del COD confermano in generale questo trend mentre per quanto riguarda i dati di TOC è il prodotto MAPEI ad avere un valore maggiore. Questo è da attribuire a una maggiore presenza di composti carboniosi nel MAPEI rispetto al BASF. Per poter confermare tale ipotesi sarebbe però necessario conoscere il profilo chimico industriale del prodotto.

I dati di EC50 sia sul *Daphnia magna* che sul *Lepidium* indicano che il prodotto BASF esplica un effetto ecotossico sulle specie testate maggiore del prodotto MAPEI. Per quanto riguarda l'additivo di LAMBERTI invece, emerge un effetto ecotossico maggiore sulla specie acquatica rispetto alla specie vegetale. Ciò è dovuto alla natura stessa del polimero viscosizzante che lo porta ad avere un effetto misurabile di riduzione della mobilità degli organismi della specie acquatica esposti al prodotto. In generale, i dati relativi alla fitotossicità mostrano come tutti i prodotti selezionati non esplicano degli effetti quantificabili rilevanti.

In conclusione, è possibile riportare la seguente scala di ecotossicità sia per la specie del comparto acquatico sia per la specie vegetale: MasterRoc SLF 32 > Biogel 5000 C > Polyfoamer ECO/100 PLUS.

6.6 RISULTATI PROVE CHIMICHE SUL TERRENO CONDIZIONATO

Come ampiamente discusso in precedenza, sono state condotte prove volte alla determinazione della concentrazione dei tensioattivi anionici nel tempo al fine di valutare la degradazione del tensioattivo presente nel terreno condizionato. Le tabelle e le figure seguenti riportano i risultati ottenuti per ciascuna combinazione terreno/prodotto al tempo 0, 3, 7, 14 e 28 giorni.

Tab. 19 - Concentrazione tensioattivi anionici per la formazione fi.

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria				
08 - GALLERIE					
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	15 di 77

tempo (giorni)	<i>f_i</i> bianco (mg/kg)	MasterRoc SLF 32 (mg/kg)	MasterRoc SLF 32 + Biogel 5000 C (mg/kg)	Polyfoamer ECO 100/PLUS (mg/kg)	Polyfoamer ECO 100/PLUS + Biogel 5000 C (mg/kg)
0	3.70 ± 0.26	59.55 ± 6.43	51.10 ± 1.98	35.70 ± 1.27	28.50 ± 0.56
3	3.57 ± 0.32	43.70 ± 1.98	36.80 ± 0.42	27.55 ± 2.05	27.70 ± 0.42
7	3.65 ± 0.43	19.70 ± 0.56	24.05 ± 0.77	24.05 ± 1.62	23.25 ± 0.21
14	3.17 ± 0.19	5.74 ± 1.78	5.96 ± 2.29	10.03 ± 0.24	10.43 ± 1.51
28	2.99 ± 1.00	4.25 ± 0.13	4.04 ± 0.29	14.35 ± 0.78	16.75 ± 0.78

Tab. 20 - Concentrazione tensioattivi anionici per la formazione h-d.

tempo (giorni)	<i>h-d</i> bianco (mg/kg)	MasterRoc SLF 32 (mg/kg)	Polyfoamer ECO 100/PLUS (mg/kg)
0	4.11 ± 0.08	40.05 ± 1.20	31.15 ± 1.90
3	3.76 ± 0.14	31.75 ± 6.15	23.35 ± 1.49
7	3.49 ± 0.01	6.47 ± 0.21	17.9 ± 2.26
14	2.79 ± 0.05	3.91 ± 0.07	7.28 ± 0.68
28	3.34 ± 0.11	3.72 ± 0.25	6.51 ± 0.20

Tab. 21 - Concentrazione tensioattivi anionici per la formazione BSSc.

tempo (giorni)	BSSc bianco (mg/kg)	MasterRoc SLF 32 (mg/kg)	Polyfoamer ECO 100/PLUS (mg/kg)
0	2.10 ± 0.15	43.45 ± 0.21	28.70 ± 4.67
3	3.09 ± 0.37	31.1 ± 0.99	26.65 ± 0.07
7	3.49 ± 0.01	6.47 ± 0.21	17.9 ± 2.26
14	3.14 ± 0.31	19.4 ± 0.71	23.05 ± 0.21
28	3.49 ± 0.07	20.25 ± 1.20	21.2 ± 0.70

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<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>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>16 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	16 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	16 di 77									
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB														

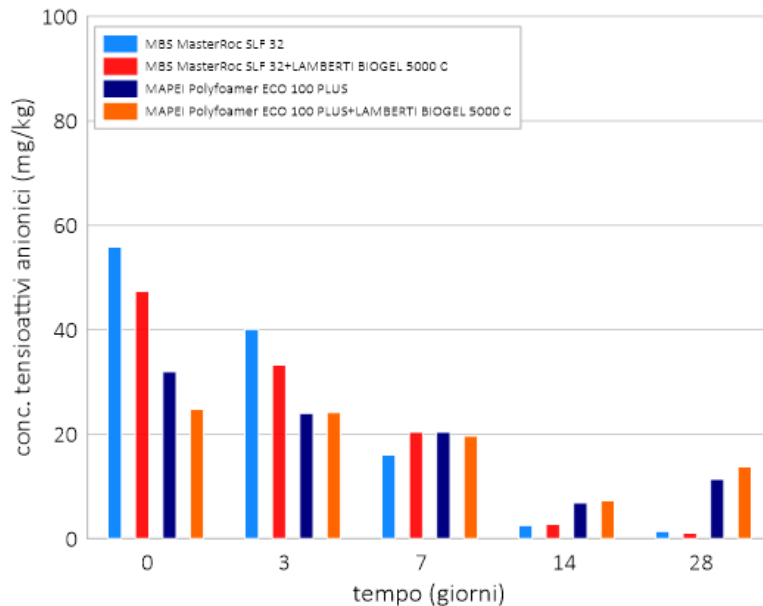


Fig. 53 - Andamento nel tempo della concentrazione dei tensioattivi anionici per la formazione fi a meno del bianco.

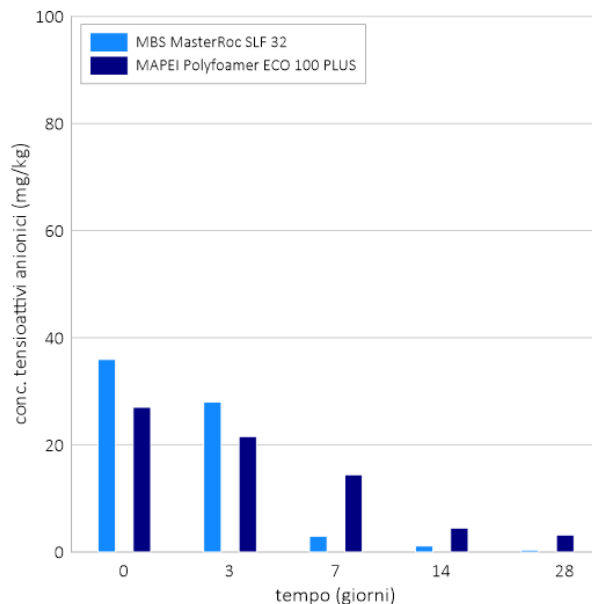


Fig. 54 - Andamento nel tempo della concentrazione dei tensioattivi anionici per la formazione h-d a meno del bianco.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 17 di 77

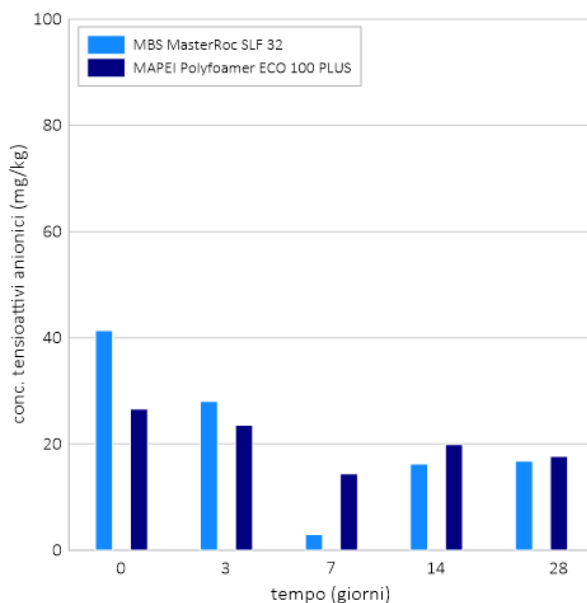


Fig. 55 - Andamento nel tempo della concentrazione dei tensioattivi anionici per la formazione h-d a meno del bianco.

Dai risultati riportati in Fig. 53, Fig. 54 e Fig. 55 si può osservare come l'andamento della concentrazione dei tensioattivi anionici, espressa come MBAS, sia tendenzialmente decrescente con il tempo di stoccaggio del materiale condizionato, confermando quindi la capacità di biodegradazione da parte delle comunità batteriche e di microrganismi presenti nel mezzo a ossidare i composti organici attivi alla metodica.

6.7 RISULTATI PROVE ECOTOSSICOLOGICHE SUL TERRENO CONDIZIONATO

6.7.1 Risultati del saggio con *Daphnia magna*

Dalle prove di tossicità condotte, ovvero per tempi pari a 0, 3, 7, 14 e 28 giorni per tutte le formazioni non sono stati rilevati effetti ecotossici nei confronti dell'organismo *Daphnia magna*. Infatti, ogni combinazione formazione/prodotto testata non ha avuto effetti ecotossici sull'organismo superiore al 20% come riportato nelle seguenti tabelle.

Tab. 22. Immobilizzazione *Daphnia magna* per la formazione fi.

tempo	fi bianco	MasterRoc SLF 32	MasterRoc SLF 32 + Biogel 5000 C	Polyfoamer ECO 100/PLUS	Polyfoamer ECO 100/PLUS + Biogel 5000 C
(giorni)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	5.0 ± 7.0	0.0
7	5.0 ± 7.0	0.0	0.0	2.5 ± 3.5	12.5 ± 3.5
14	5.0 ± 0.0	2.5 ± 3.5	0.0	0.0	15.0 ± 0.0
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tab. 23. Immobilizzazione *Daphnia magna* per la formazione h-d.

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:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria				
08 - GALLERIE					
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	18 di 77

tempo (giorni)	<i>h-d</i> bianco (%)	MasterRoc SLF 32 (%)	Polyfoamer ECO 100/PLUS (%)
0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	5.0 ± 0.0
28	0.0	0.0	0.0

Tab. 24. Immobilizzazione *Daphnia magna* per la formazione BSSc.

tempo (giorni)	BSSc bianco (%)	MasterRoc SLF 32 (%)	Polyfoamer ECO 100/PLUS (%)
0	2.5 ± 3.5	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0
7	0.0	2.5 ± 3.5	0.0
14	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	0.0

6.7.2 Risultati del saggio con le specie vegetali *Lepidium sativum* e *Sorghum saccharatum*

Per entrambe le specie vegetali *Lepidium sativum* e *Sorghum saccharatum* si è avuta, per le combinazioni testate, completa germinazione di tutti i semi. I risultati dei test con specie vegetali vengono espressi attraverso l'indice di germinazione percentuale (IG%), che tiene conto sia della germinazione che dell'allungamento radicale, ed è calcolato come:

$$IG\% = \frac{G \cdot L}{G_c \cdot L_c} \cdot 100$$

dove G e G_c sono rispettivamente il numero medio dei semi germinati nel campione sottoposto al test e nel campione di controllo e L e L_c è la lunghezza radicale media nel campione testato e nel campione di controllo misurata a fine prova, ovvero dopo 96 ore.

Per campione di controllo si intende nel caso specifico, il terreno non condizionato (bianco) esposto alle stesse specie del campione testato. Valori superiori al 100% indicano una biostimolazione e quindi, entro certi limiti e in funzione della correlazione con altre specie, un possibile "stress" per la specie bersaglio. L'effetto fitotossico degli agenti condizionanti viene valutato nel caso di $IG\% < 80\%$ rispetto al terreno bianco. In particolare, per valori di $IG\% < 50\%$ l'effetto fitotossico è da considerarsi severo.

I risultati riportati nelle tabelle e nelle figure seguenti sono stati ottenuti in termini di percentuale di inibizione della germinazione:

Tab. 25. Indice di germinazione percentuale per la formazione *fi*.

specie	tempo	controllo	BASF MasterRoc SLF 32	BASF MasterRoc SLF 32 + LAMBERTI Biogel 5000 C	MAPEI Polyfoamer ECO 100/PLUS	MAPEI Polyfoamer ECO 100/PLUS + LAMBERTI Biogel 5000 C

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				
08 - GALLERIE	Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB						
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	19 di 77	

	(giorni)	(IG%)	(IG%)	(IG%)	(IG%)	(IG%)
	0	100.0	96.5	100.0	99.5	107.0
<i>Lepidium sativum</i>	3	100.0	108.0	105.0	110.0	112.5
	7	100.0	101.5	103.0	107.5	113.5
	14	100.0	103.5	101.0	142.0	117.5
	28	100.0	92.5	113.0	113.0	123.0
	0	100.0	90.0	87.5	99.5	90.0
<i>Sorghum saccharatum</i>	3	100.0	84.5	82.0	82.5	103.5
	7	100.0	128.0	129.5	104.0	111.0
	14	100.0	91.5	98.0	99.0	69.5
	28	100.0	115.5	94.5	98.0	78.0

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:													
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>20 di 77</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	20 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	20 di 77									

Tab. 26. Indice di germinazione percentuale per la formazione h-d.

specie	tempo (giorni)	controllo (IG%)	BASF	MAPEI
			MasterRoc SLF 32 (IG%)	Polyfoamer ECO 100/PLUS (IG%)
<i>Lepidium sativum</i>	0	100.0	89.5	94.0
	3	100.0	86.5	100.0
	7	100.0	86.5	94.0
	14	100.0	92.5	114.0
	28	100.0	105.5	105.0
<i>Sorghum saccharatum</i>	0	100.0	89.5	75.5
	3	100.0	93.5	84.5
	7	100.0	130.5	128.5
	14	100.0	86.0	76.5
	28	100.0	127.5	109.0

Tab. 27. Indice di germinazione percentuale per la formazione BSSc.

specie	tempo (giorni)	controllo (IG%)	BASF	MAPEI
			MasterRoc SLF 32 (IG%)	Polyfoamer ECO 100/PLUS (IG%)
<i>Lepidium sativum</i>	0	100.0	97.0	97.0
	3	100.0	94.0	97.5
	7	100.0	75.0	88.0
	14	100.0	97.0	103.0
	28	100.0	92.0	95.0
<i>Sorghum saccharatum</i>	0	100.0	107.0	86.5
	3	100.0	122.5	125.5
	7	100.0	69.5	57.5
	14	100.0	106.5	131.5
	28	100.0	91.0	147.5

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<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>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>21 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	21 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	21 di 77									
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB														

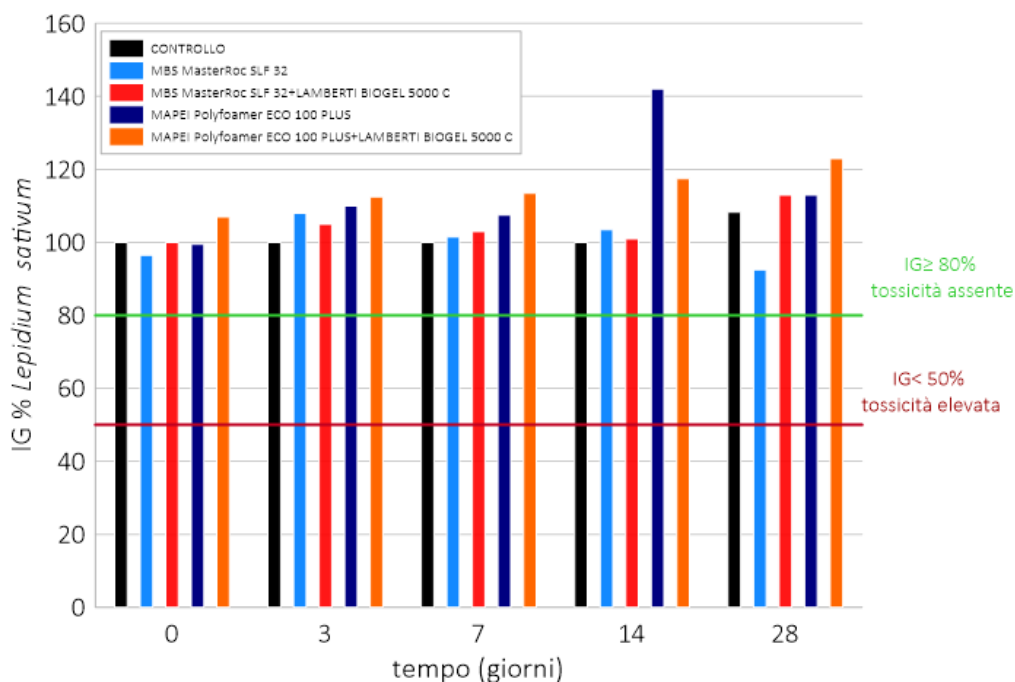


Fig. 56 - Indice di germinazione percentuale per la specie *Lepidium sativum* per la formazione fi.

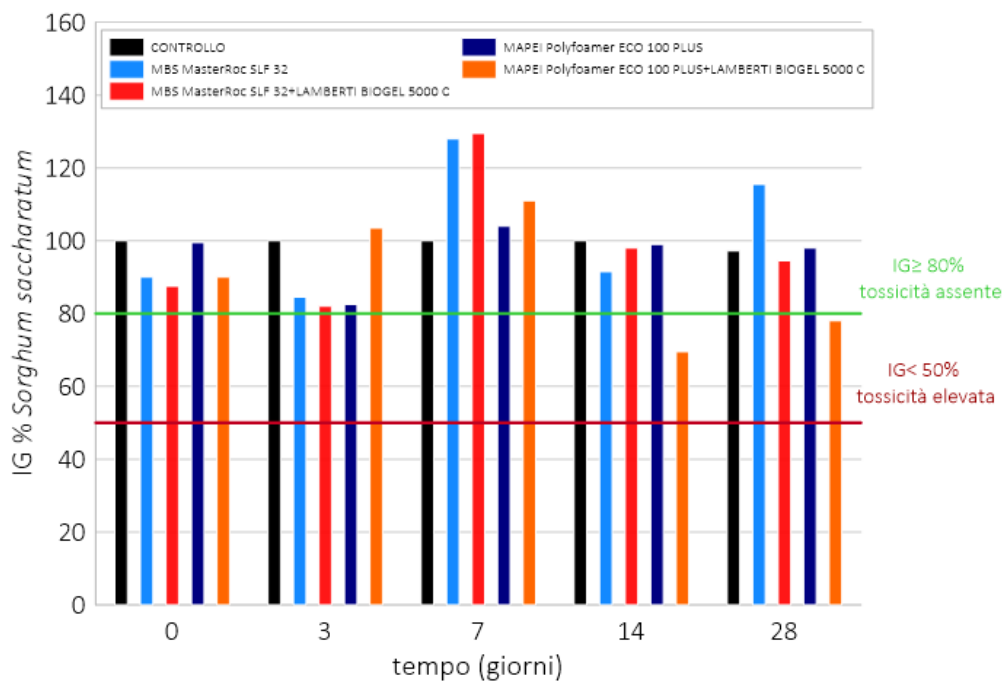


Fig. 57 - Indice di germinazione percentuale per la specie *Sorghum saccharatum* per la formazione fi.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<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>RG</td> <td>GN0000002</td> <td>A</td> <td>22 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	22 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	22 di 77									
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB														

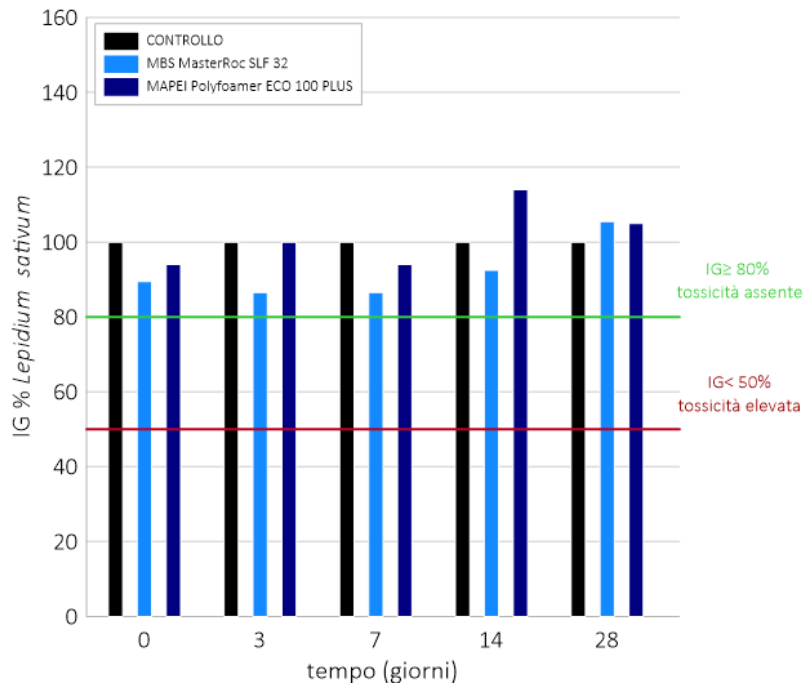


Fig. 58 - Indice di germinazione percentuale per la specie *Lepidium sativum* per la formazione h-d.

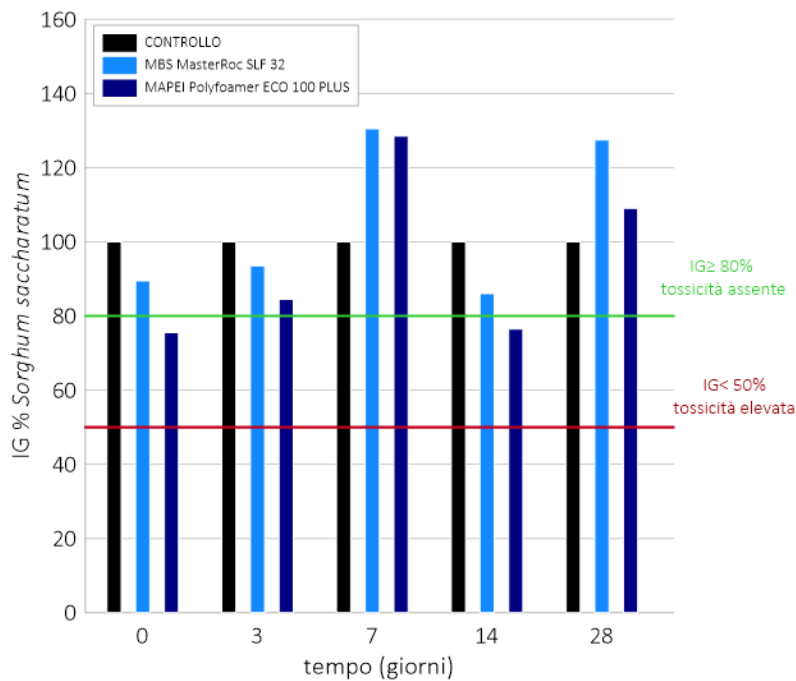


Fig. 59 - Indice di germinazione percentuale per la specie *Sorghum saccharatum* per la formazione h-d.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE	Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	<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>RG</td> <td>GN000002</td> <td>A</td> <td>23 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RG	GN000002	A	23 di 77
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RG	GN000002	A	23 di 77									

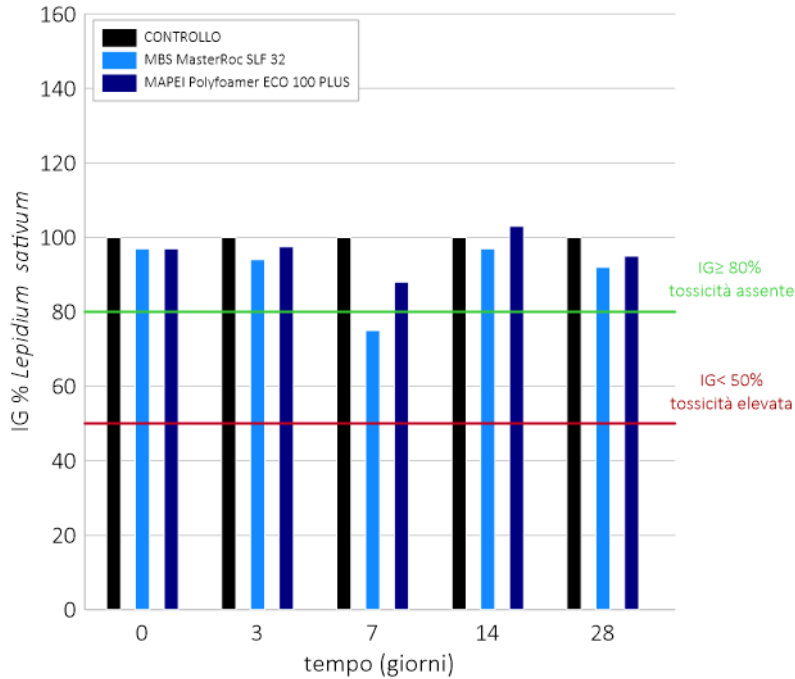


Fig. 60 -Indice di germinazione percentuale per la specie Lepidium sativum per la formazione BSSc.

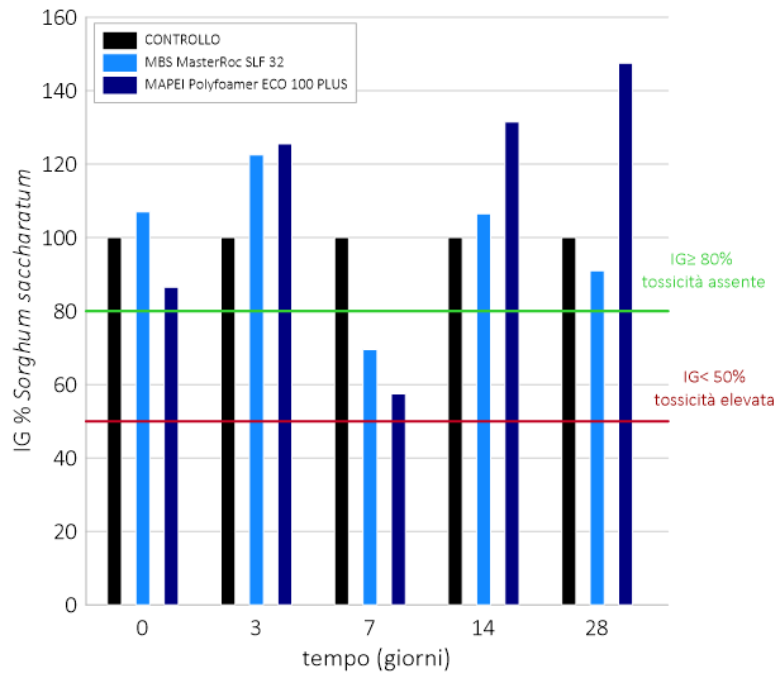


Fig. 61 - Indice di germinazione percentuale per la specie Sorghum saccharatum per la formazione BSSc.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	24 di 77

Per ciò che concerne la formazione *fi*, è possibile notare un valore di IG% leggermente inferiore alla soglia dell'80% al solo tempo 14 e per il solo condizionamento con il prodotto MAPEI in combinazione con il polimero LAMBERTI per la specie vegetale *Sorghum*, dovuto probabilmente, come detto prima, alla natura viscosizzante del polimero e legato in parte anche alla intrinseca eterogeneità del materiale condizionato. Tutti gli altri campioni mostrano invece dei valori di IG% sempre al di sopra della soglia limite dell'80%, per cui per i tempi testati non si nota alcun effetto fitotossico di rilievo. Per la specie *Lepidium* invece, non si nota un effetto fitotossico già dal tempo 0.

Per la formazione *h-d* è possibile notare un lieve effetto fitotossico nei confronti della specie vegetale *Sorghum* a 0 e 14 giorni per i campioni condizionati con il prodotto MAPEI. Per la specie *Lepidium* invece, non si nota effetto fitotossico per alcun campione per nessuna combinazione formazione/prodotto. Considerazioni simili possono essere fatte anche sulla formazione *BSSc*, infatti, in questo caso è possibile notare un lieve effetto tossico a 7 giorni nei confronti della specie *Lepidium* per il solo prodotto BASF e, sempre a 7 giorni, un effetto fitotossico nei confronti del *Sorghum* per entrambi i prodotti testati.

7. CONCLUSIONI

Nello studio di carattere geotecnico sul condizionamento qui presentato:

- sono state individuate le formazioni maggiormente rilevanti ai fini dello studio del condizionamento, nello specifico i depositi di frana inattiva delle finestre di Forch e Funes (*fi*), i depositi antropici e detriti di versante (*h-d*) che interessano la zona di interferenza tra le gallerie di interconnessione e l'autostrada A22, e le filladi carboniose (*BSSc*) della galleria Gardena. Tali formazioni sono state caratterizzate dal punto di vista geotecnico mediante analisi granulometriche e mineralogiche;
- gli agenti condizionanti, individuati dall'impresa sulla base di valutazioni tecnico-economiche, sono stati caratterizzati dal punto di vista fisico in termini di densità, viscosità e i prodotti schiumogeni anche in termini di tempo di semivita della schiuma generata. Tali prodotti sono: BASF MasterRoc SLF 32, BASF MasterRoc SWA 710, LAMBERTI Foamex SNG, LAMBERTI Biogel 5000C, MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS, MAPEI Polyfoamer FP/L;
- sono state eseguite prove geotecniche dedicate per individuare i dosaggi ottimali necessari per il raggiungimento di consistenze del terreno condizionato adatte all'applicazione della pressione al fronte e per la riduzione dell'usura durante lo scavo;
- sono stati definiti, in prossimità dell'estremo superiore dei range individuati dalle prove di carattere geotecnico, i parametri di condizionamento per la preparazione dei campioni da sottoporre alla sperimentazione chimico-ecotossicologica;

Sulla base dello studio geotecnico appena presentato è possibile sintetizzare alcune considerazioni conclusive:

- i valori di *WIR* influenzano fortemente i risultati delle prove di condizionamento in quanto si osserva che piccole variazioni producono effetti significativi in termini di slump osservati; tale fenomeno è piuttosto usuale in terreni a grana grossa. Le prove sono state eseguite partendo da terreni asciutti, pertanto, qualora i contenuti d'acqua naturali in sito siano diversi da zero, sarà necessario adattare di conseguenza i valori di *WIR*, in particolare riducendoli;

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 25 di 77

- i valori ottimali del *FER*, funzioni della granulometria delle formazioni come atteso e ben documentato in letteratura, variano tra 10 e 12 per tutte le formazioni. I *TR* ottimali hanno valori massimi nel range 1.00-1.20 L/m³ e minimi nel range 0.50 -0.67 L/m³ per tutte le formazioni. Tali valori sembrano essere in linea con i valori teorici previsti in letteratura e con i valori utilizzati in differenti progetti di scavo reali;
- da una valutazione di carattere generale comparativa dell'efficacia dei differenti agenti condizionanti testati si può notare come il prodotto BASF MasterRoc SLF 32 sia mediamente associato a un miglioramento della consistenza e una riduzione dell'abrasione superiori agli altri prodotti testati, che sono risultati comunque efficaci;
- entrambi i polimeri BASF MasterRoc SWA 710 e LAMBERTI Biogel 5000C si sono dimostrati efficaci nel portare la consistenza del terreno condizionato all'interno del range ottimale nel caso di eccesso di liquido e tale efficacia aumenta all'aumentare della concentrazione del prodotto; i dosaggi per cui si nota un effetto rilevante sono 0.5 kg/m³ per il primo prodotto citato e 2.0 kg/m³ per il secondo. Entrambi i prodotti sono stati aggiunti puri dopo la schiuma per necessità operative, ma si sottolinea che gli stessi produttori suggeriscono di iniettarli nella linea del WIR, poiché una pre-miscelazione con acqua ne migliora le performance; ciò significa che in sito gli stessi effetti migliorativi potranno essere osservati utilizzando concentrazioni di prodotto viscosizzante verosimilmente inferiori rispetto a quelle testate;
- valori di consistenza accettabili per ciascuna formazione sono stati ottenuti con dosaggi differenti dei prodotti secondo quanto riportato nella Tab. 9 precedentemente esposta.

Sulla base dello studio chimico ed ecotossicologico appena presentato è possibile sintetizzare alcune considerazioni conclusive:

- le concentrazioni massime attese delle singole classi di composti per tutti gli agenti condizionanti e per ogni formazione si trovano al di sotto dei rispettivi Valori Soglia, per cui in base al regolamento (CE) n. 1272/2008 sono rispettati i requisiti di qualità ambientale;
- tutti gli agenti condizionanti mostrano un andamento temporale della concentrazione nel terreno condizionato generalmente decrescente fino a 28 giorni, dimostrando quindi che i microrganismi presenti nel materiale sono in grado di biodegradare i composti organici (tensioattivi anionici) presenti nei diversi additivi di scavo, per tutte e tre le formazioni e per tutti i prodotti impiegati;
- i risultati delle prove di ecotossicità sull'organismo acquatico *Daphnia magna* hanno mostrato come non vi sia alcun effetto ecotossico su tale specie bersaglio già dal tempo 0, indipendentemente dalla tipologia di formazione e dal prodotto condizionante considerato;
- il trend osservato per la *Daphnia magna* è stato confermato dai risultati delle prove di fitotossicità, che mostrano, all'infuori di sporadici casi, l'assenza di un effetto fitotossico sulle due specie vegetali testate, indipendentemente dalla tipologia di formazione e dal prodotto condizionante considerato. Si sottolinea inoltre che, negli unici due casi in cui si è osservato un effetto fitotossico, questo fosse di lieve entità, in quanto i valori di IG% risultavano leggermente inferiori alla soglia di assenza di effetto fitotossico pari all'80;
- a valle dei risultati ottenuti è possibile affermare che, tra le due specie vegetali testate, il *Sorghum* è tendenzialmente più sensibile alla presenza dei prodotti schiumogeni seppur rimanendo sempre al

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	26 di 77

di sopra della soglia del 50% di indice di germinazione per ogni tempo e per ogni combinazione formazione/prodotto;

- in base ai risultati sperimentali ottenuti è possibile affermare, per le formazioni *fi* e *h-d* e indipendentemente dal prodotto condizionante impiegato, che già dal giorno 3 non si sono osservati effetti fitotossici. Per quanto riguarda la formazione *BSSc*, è possibile affermare che dal giorno 7 non si sono osservati effetti fitotossici. Di conseguenza, si ritiene una scelta conservativa quella di mantenere il materiale condizionato in piazzola per 3 giorni nel caso delle formazioni *fi* e *h-d*, considerando anche che già dopo 1 giorno dal condizionamento (giorno 0 sperimentale) non si hanno effetti ecotossici sull'organismo *Daphnia magna*, generalmente considerato un organismo particolarmente sensibile alla eventuale presenza di composti a potenziale effetto tossico. Per la formazione *BSSc* potrebbe essere opportuno attendere il giorno 7 prima di allontanare il materiale dalle piazzole. Tali considerazioni saranno integrate in un protocollo operativo di monitoraggio in corso d'opera redatto sulla base dei risultati emersi dal presente studio e dagli studi sviluppati nelle precedenti fasi progettuali.

8. NOTE SULL'INTEGRAZIONE DEI PROTOCOLLI SPERIMENTALI E DEI CONTROLLI OPERATIVI IN CORSO D'OPERA SULLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

8.1 GENERALITÀ

Il presente capitolo contiene una serie di indicazioni di carattere generale in merito all'integrazione dei protocolli sperimentali e dei controlli operativi in corso d'opera sulle terre e rocce da scavo per la corretta caratterizzazione delle terre e rocce da scavo.

Coerentemente con lo sviluppo della Progettazione, dell'iter autorizzativo del Progetto e delle interlocuzioni con gli enti nazionali e regionali preposti ai controlli in materia di salute e ambiente, le indicazioni presenti in questo capitolo verranno integrate con i dettagli in merito al campionamento, ai controlli operativi in sito e in laboratorio da eseguirsi in corso d'opera.

8.2 STUDI DI CARATTERE GEOTECNICO E CHIMICO/ECOTOSSICOLOGICO SUL CONDIZIONAMENTO PER LO SCAVO MECCANIZZATO DELLE GALLERIE

Per acquisire tutti gli elementi necessari alla redazione del Piano di Utilizzo delle terre e rocce da scavo sono stati eseguiti degli approfondimenti che hanno permesso di acquisire informazioni di dettaglio sulle modalità di conduzione dello scavo più efficaci, di ottimizzare la gestione del condizionamento in fase di scavo e della gestione delle terre e rocce da scavo in cantiere, prevedendo con maggiore precisione i dosaggi.

Il tutto allo scopo di:

- garantire la possibilità di massimizzare il riutilizzo delle terre e rocce da scavo, obiettivo primario legato alla circolarità dei processi di gestione di una risorsa naturale non rinnovabile;
- fornire, durante tutta la durata delle attività di realizzazione della galleria, ogni garanzia in merito al rispetto delle normative nazionali e regionali in materia di impatto ambientale con specifico riferimento alla gestione delle terre e rocce da scavo;

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	27 di 77

- ridurre le tempistiche legate allo stazionamento dei materiali di scavo in cantiere e, conseguentemente, ridurre il numero e l'ingombro delle aree di stoccaggio dedicate, l'impatto legato alla loro realizzazione e alle opere accessorie;
- garantire al contempo la piena operatività delle Tunnel Boring Machine (TBM), ottimizzando il condizionamento al fine di ridurre i rischi in fase di scavo per gli operatori e le maestranze, minimizzando i potenziali danni e conseguentemente i fermi macchina necessari alle attività di manutenzione e riparazione.

Nei paragrafi seguenti si riassumono brevemente le conclusioni degli studi di carattere geotecnico e chimico/ecotossicologico sviluppati in fase di progettazione esecutiva rimandando comunque, per ogni ulteriore approfondimento, alla lettura dei precedenti capitoli.

8.2.1 Studi sul condizionamento di carattere geotecnico

Gli studi e le attività sperimentali di carattere geotecnico sul condizionamento consistono generalmente in:

- individuazione e caratterizzazione dei litotipi rappresentativi, ovvero l'individuazione, sulla base del profilo geologico/geotecnico di scavo delle formazioni che per tratti più lunghi verranno interessate dallo scavo insieme alle formazioni che, in base alle conoscenze pregresse e alle informazioni di letteratura, risulteranno verosimilmente più critiche ai fini dello scavo;
- selezione degli agenti condizionanti da testare, generalmente un sottoinsieme dei prodotti più comunemente utilizzati definito sulla base di considerazioni tecnico/economiche anche in relazione alle specificità del progetto;
- caratterizzazione preliminare degli agenti chimici e della schiuma generata, ovvero l'esecuzione di prove di laboratorio relativamente semplici e speditive per acquisire informazioni di dettaglio sulle caratteristiche di ciascun prodotto e della schiuma da esso generata;
- esecuzione di prove di laboratorio specificatamente sviluppate per verificare l'efficacia di una specifica combinazione dei parametri caratteristici del condizionamento (*WIR*, *Cf*, *FER* e *FIR*) e identificazione dei range di dosaggi idonei allo scavo;
- scelta, all'interno del range di dosaggi ottimali dei parametri del condizionamento da utilizzare per la preparazione dei campioni di terreno da sottoporre a prove di carattere chimico ed ecotossicologico.

Per lo studio di carattere geotecnico sono state selezionate le formazioni così denominate:

- finestra Forch e finestra Funes (*fi*);
- rilevato (*h-d*);
- filladi carboniose (*BSSc*).

Nello studio sono stati testati i seguenti agenti condizionanti:

- BASF MasterRoc SLF 32 eventualmente con l'additivo MasterRoc SWA 710;
- LAMBERTI Foamex SNG eventualmente con l'additivo Biogel 5000C;
- MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS;
- MAPEI Polyfoamer FP/L.

Lo studio ha prodotto alcune considerazioni di carattere generale:

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	28 di 77

- I valori di *WIR* (ovvero di acqua da aggiungere a parte durante lo scavo) dipendono dalle caratteristiche geotecniche (granulometria, plasticità) dei campioni e dal loro contenuto d'acqua iniziale: per le formazioni di interesse tale contenuto d'acqua iniziale è stato assunto pari a 0 vista la natura prettamente grossolana e litoide dei materiali, ottenendo valori di *WIR* nel range 15-25%, inferiore per *fi* e più elevato per *BSSc*.

Questo significa che, durante lo scavo, il quantitativo di acqua aggiunta a parte potrà essere modificato sulla base delle condizioni con cui le varie formazioni si presenteranno.

- I valori di *FER* necessari ad eseguire il condizionamento in modo appropriato, come ben noto in letteratura, crescono con la dimensione media dei grani delle formazioni e influenzano la stabilità nel tempo della schiuma generata, contestualmente decrescono i valori di *TR* necessari ad un corretto condizionamento: nel presente studio le formazioni prese in esame rientrano nella classificazione dei terreni a grana grossa, pertanto i valori di *FER* utilizzati per il loro condizionamento appartengono al range 10:1-12:1, mentre i *TR* ottimali hanno valori massimi nel range 1.00-1.20 L/m³ e minimi nel range 0.50-0.67 L/m³ per tutte le formazioni.

Tali valori di TR sembrano essere in linea con i valori teorici previsti in letteratura e con i valori utilizzati in differenti progetti di scavo reali. Vista l'eterogeneità dei materiali presi in esame, è importante sottolineare che i valori di TR potranno essere modificati qualora le caratteristiche geotecniche dei terreni in sito differiscano significativamente rispetto a quelle dei materiali testati.

- Valori di consistenza accettabili associati a un'abrasione non elevata per ciascuna formazione sono stati ottenuti con dosaggi differenti dei prodotti testati secondo quanto riportato nella seguente Tab. 28.
- Da una valutazione di carattere generale comparativa dell'efficacia dei differenti agenti condizionanti testati sulle 3 differenti formazioni si può notare come il prodotto BASF MasterRoc SLF 32 sia mediamente associato a un miglioramento della consistenza e a valori di riduzione dell'abrasione superiore agli altri prodotti testati, che comunque manifestano un effetto benefico rispetto alle caratteristiche del terreno naturale.

Questo porta a concludere che tutti i prodotti testati per le 3 formazioni esaminate sono idonei all'utilizzo durante lo scavo con dosaggi in linea con quanto suggerito dalla letteratura e che, in generale, il prodotto BASF MasterRoc SLF 32 risulta essere più efficace rispetto agli altri prodotti, per i quali pertanto è verosimile attendersi dosaggi leggermente più elevati.

- Per la formazione *fi*, in cui si è scelto di testare l'utilizzo di un polimero viscosizzante, è stata osservata l'efficacia di quest'ultimo nel portare la consistenza del terreno condizionato all'interno del range

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				
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 29 di 77	

ottimale nel caso di eccesso di liquido o assenza di fini che permettano di omogeneizzare il terreno a grana grossa in camera di scavo.

In merito, le prove hanno quindi evidenziato il fatto che l'utilizzo di un polimero, per quanto non sia necessariamente parte del condizionamento eseguito durante lo scavo in condizioni ordinarie, può rappresentare un'opzione utile per la gestione di eventuali criticità. È bene dunque sottolineare che non si ritiene necessario un utilizzo costante e continuo su tutta la tratta di tali prodotti e che quindi la combinazione agente condizionante + additivo è stata analizzata nell'ottica di studiare il profilo chimico ed ecotossicologico del terreno condizionato nelle condizioni meno favorevoli.

Nella seguente Tab. 28 sono riportati i parametri scelti per il condizionamento dei campioni di ciascun materiale da sottoporre alle prove ecotossicologiche. A questo proposito è necessario ribadire quanto già esplicitato più volte all'interno di questo stesso documento in merito alla necessità di considerare tali parametri come cautelativi rispetto alle finalità del presente studio, ovvero rappresentativi non tanto delle condizioni "ordinarie" di scavo quanto più di condizioni "limite" nelle quali ci si potrebbe ritrovare in virtù di peculiari combinazioni di litologia e condizioni operative di avanzamento della TBM. È quindi lecito attendersi che durante lo scavo il terreno possa essere efficacemente condizionato con dosaggi di agenti condizionanti anche inferiori rispetto a quelli elencati nella seguente tabella.

Tab. 28 – Dosaggi utilizzati per i condizionamenti da sottoporre alle prove ecotossicologiche.

formazione	produttore	prodotto	w _n	C _f	C _p	WIR	FER	FIR	TR
(-)	(-)	(-)	(%)	(%)	(kg/m ³)	(%vol)	(xx:1)	(%)	(L/m ³)
fi	BASF	MasterRoc SLF 32	0	2.0	-	15.0	12	50	0.83
	BASF + LAMBERTI	MasterRoc SLF 32 + Biogel 5000c	0	2.0	2.0	15.0	12	50	0.83
	MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	0	2.0	-	15.0	10	45	0.90
	MAPEI + LAMBERTI	Polyfoamer ECO/100 PLUS + Biogel 5000c	0	2.0	2.0	15.0	10	45	0.90
h-d	BASF	MasterRoc SLF 32	0	2.0	-	22.5	10	40	0.8
	MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	0	2.0	-	22.5	10	50	1.0
BSSc	BASF	MasterRoc SLF 32	0	2.0	-	25.0	12	40	0.67
	MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	0	2.0	-	25.0	10	55	1.10

8.2.2 Studi sul condizionamento di carattere chimico ed ecotossicologico

Gli studi di carattere chimico ed ecotossicologico sono stati effettuati su campioni di terre e rocce condizionate come riportato in Tab. 28, al fine di eseguire le analisi su campioni rappresentativi del terreno così come verrà verosimilmente estratto dalla camera di scavo mediante coclea e trasportato all'esterno della galleria mediante nastro di trasporto della TBM.

Gli studi hanno incluso l'esecuzione di prove di carattere chimico, essenzialmente costituite dalla misura del quantitativo di tensioattivi anionici totali presenti nel campione, e di carattere ecotossicologico,

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB		IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	30 di 77

essenzialmente costituiti dai saggi di tossicità sull'organismo acquatico *Daphnia magna*, particolarmente sensibile e già spesso utilizzato in studi analoghi, e prove di fitotossicità attraverso la misura dell'indice di germinazione della specie *Lepidium sativum* (crescione) e *Sorghum saccharatum* (sorgo) misurati agli intervalli di tempo 0, 3, 7, 14 e 28 giorni.

Dai risultati degli studi è emerso che:

- per le formazioni *h-d* e *BSSc* e per entrambi i prodotti testati (BASF MasterRoc SLF 32 e MAPEI Polyfoamer ECO/100) si osserva un andamento decrescente della concentrazione di tensioattivi anionici nel tempo già dopo il tempo zero, all'infuori di un caso isolato per la formazione *BSSc* al tempo 7 e per il solo prodotto BASF. Per la formazione *fi*, tutti i prodotti testati (BASF MasterRoc SLF 32, BASF MasterRoc SLF 32 + LAMBERTI Biogel 5000 C, MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS e MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS + LAMBERTI Biogel 5000 C) fanno registrare un andamento decrescente della concentrazione di tensioattivi anionici nel tempo già dopo il tempo zero, all'infuori di un lieve aumento di questa a 28 giorni per il terreno condizionato con MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS e MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS + LAMBERTI Biogel 5000 C attribuibile alla eterogeneità del terreno condizionato.

Si può quindi affermare che, per tutte le formazioni testate, si ha un andamento generalmente decrescente con il tempo di stoccaggio della concentrazione dei tensioattivi anionici, espressa come MBAS, confermando quindi la capacità di biodegradazione da parte delle comunità batteriche e di microrganismi presenti nel mezzo a ossidare i composti organici misurabili attraverso la metodica dell'MBAS.

- Dai risultati dei saggi di tossicità acuta su *Daphnia magna* è emerso che la condizione di "non tossicità" viene raggiunta sin dal tempo 0 e per tutti i tempi per ciascuna formazione, come riportato nella seguente tabella:

Tab. 29 – Giorni di degradazione necessari a raggiungere la condizione di non tossicità attraverso il saggio di tossicità acuta su *Daphnia magna*.

produttore	prodotto	<i>fi</i> (giorni)	<i>h-d</i> (giorni)	<i>BSSc</i> (giorni)
BASF	MasterRoc SLF 32	0	0	0
BASF+LAMBERTI	MasterRoc SLF 32 + Biogel 5000C	0	-	-
MAPEI	Polyfoamer ECO/100 PLUS	0	0	0
MAPEI+LAMBERTI	Polyfoamer ECO/100 PLUS+ Biogel 5000C	0	-	-

*Questo permette di concludere che, in generale, il saggio di tossicità acuta con *Daphnia magna* per gli elutriati delle formazioni *fi*, *h-d* e *BSSc* in combinazione con i differenti agenti condizionanti e con gli additivi ha un effetto sempre inferiore al 20% già dopo zero giorni di maturazione della formazione condizionata.*

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	31 di 77

- I risultati dei test ecotossicologici sulle specie vegetali *Lepidium sativum* e *Sorghum saccharatum* hanno restituito valori dell'indice di germinazione generalmente superiore all'80%, nella maggioranza dei casi analizzati già dal giorno 3 o al più dal giorno 7. Alcuni casi isolati hanno mostrato valori dell'indice di germinazione nella fascia di debole tossicità (50-80%), ma l'andamento complessivo è risultato essere in linea con l'andamento della concentrazione di MBAS nel tempo e in accordo con gli effetti ecotossicologici, quasi totalmente assenti, nei confronti dell'organismo *Daphnia magna*.

Da questo risultato emerge la buona correlazione tra i risultati delle analisi eseguite su diversi organismi bersaglio.

In merito ai risultati delle attività sperimentali di carattere chimico ed ecotossicologico emerge la pronta e rapida biodegradazione degli agenti condizionanti e la sostanziale non tossicità del terreno condizionato già dai primi giorni dopo lo scavo.

8.3 CARATTERIZZAZIONI IN CORSO D'OPERA DEI MATERIALI DI SCAVO

8.3.1 Generalità

Coerentemente con i principi generali di economia circolare, le attività di Progettazione in corso sono finalizzate a massimizzare il volume di terre e rocce proveniente dallo scavo delle gallerie da riutilizzare nell'ambito della disciplina dei sottoprodotti. Questo, come descritto nei paragrafi precedenti, ha richiesto una serie di studi in ogni fase di progettazione e, coerentemente con i risultati emersi da tali studi, richiederà una attenta attività di caratterizzazione dei materiali in corso d'opera. Dagli studi è emersa la piena compatibilità delle terre e rocce da scavo di risulta dalle attività di scavo meccanizzato con tecnologia TBM-EPB nel caso in cui il materiale debba essere condizionato durante lo scavo. È pertanto necessario, oltre al completamento delle indagini ambientali, prevedere lo sviluppo di una serie di controlli e caratterizzazioni dei materiali di scavo in corso d'opera secondo quanto previsto nella Parte A dell'Allegato 8 al DM n. 161/2012 "Procedure di campionamento in fase esecutiva e per i controlli e le ispezioni".

Questo capitolo contiene elementi utili a integrare il piano di indagini per la caratterizzazione in corso d'opera dei materiali di scavo, con specifico riferimento ai materiali condizionati durante il processo di scavo delle gallerie con Tunnel Boring Machine (TBM) e tecnologia Earth Pressure Balance (EPB).

8.3.2 Modalità di caratterizzazione ambientale

Come previsto dalla stessa norma precedentemente citata, le attività di campionamento durante l'esecuzione dell'opera potranno essere condotte a cura dell'esecutore, in base alle specifiche esigenze operative e logistiche della cantierizzazione, secondo una delle seguenti modalità:

- mediante sondaggi o trincee nell'area ove sono previsti gli interventi di scavo;
- direttamente sul fronte di avanzamento degli scavi delle gallerie;
- sul fondo o sulle pareti di corpi idrici superficiali;
- su cumuli di materiali da scavo depositati in opportune aree di caratterizzazione.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	32 di 77

Per i materiali condizionanti, soggetti ad altre verifiche oltre alle determinazioni degli analiti secondo la Tabella 4.1 dell'Allegato 4 al DM n. 161/2012, la caratterizzazione viene eseguita necessariamente su campioni prelevati su cumuli nelle aree di stoccaggio. Nel seguente paragrafo vengono approfonditi gli aspetti di carattere metodologico relativi a questa attività.

8.3.2.1. Caratterizzazione su cumuli di materiale da scavo depositati in opportune aree di stoccaggio

L'attività di campionamento sarà condotta presso le "aree di stoccaggio" ubicate, per quanto possibile, in prossimità delle zone di scavo all'interno delle aree di cantiere. Tali aree saranno predisposte al fine di contenere il materiale di scavo e saranno dotate di un pacchetto di impermeabilizzazione e di un sistema di drenaggio al fine di evitare qualsiasi tipo di potenziale contaminazione del suolo da parte dei materiali non ancora caratterizzati. Inoltre, la gestione dei cumuli e delle modalità di riempimento e svuotamento saranno organizzate al fine di impedire la fuoriuscita o dispersione del materiale all'esterno o nell'aria (polveri) anche in riferimento alla salvaguardia dell'igiene, della salute umana e della sicurezza sui luoghi di lavoro ai sensi del D.Lgs. 81/2008. Le dimensioni di tali aree e i volumi massimi di materiale che verranno inseriti in ciascuna delle aree di stoccaggio verrà dettagliata coerentemente con lo sviluppo delle attività di Progettazione. Da ciascuna di queste aree verranno prelevati campioni da sottoporre ad analisi chimiche e/o ecotossicologiche secondo quanto previsto nell'Allegato 8 al DM n. 161/2012 "Procedure di campionamento in fase esecutiva e per i controlli e le ispezioni".

8.3.2.2. Modalità di realizzazione dei campioni per analisi chimiche e/o ecotossicologiche

La preparazione dei campioni sarà effettuata nel rigoroso rispetto di quanto riportato nell'Allegato 4 "Procedure di caratterizzazione chimico-fisiche e accertamento delle qualità ambientali" del DM n. 161/2012.

Le modalità di prelievo, le procedure per il confezionamento dei campioni in corso d'opera, le determinazioni analitiche e i valori di soglia per ciascuna di esse verranno dettagliate nel protocollo operativo di campionamento in corso d'opera. Le analisi chimico-ambientali sui campioni saranno eseguite da laboratori autorizzati e certificati UNI CEI EN 17025 "Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura", adottando metodologie e procedure ufficialmente riconosciute.

Di seguito gli step per le verifiche in corso d'opera:

- 1) il terreno di scavo sarà opportunamente stoccato nelle vasche/piazzole dell'area di caratterizzazione. Ciascuna area di stoccaggio sarà univocamente nominata e sarà chiaramente identificabile in ogni momento in relazione alle date di inizio e di fine deposito, in relazione al valore medio del dosaggio di agenti condizionanti utilizzato in fase di scavo definito attraverso il parametro Treatment Ratio (TR) e in relazione allo stato della caratterizzazione ambientale;
- 2) dovrà essere prelevato un campione composito, rappresentativo del cumulo di deposito nel suo complesso, secondo quanto riportato nell'Allegato 8 del DM n. 161/2012;
- 3) per ogni cumulo saranno prelevati un numero di incrementi rappresentativi del cumulo stesso. I vari incrementi saranno raccolti per formare un unico campione che, dopo opportuna omogeneizzazione, sarà oggetto di riduzione dimensionale mediante successive quartature, onde formare il campione di laboratorio composito. I sub-campioni di laboratorio, in caso di non immediata caratterizzazione,

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	33 di 77

dovranno essere opportunamente conservati, al fine di evitare ulteriore biodegradazione dei prodotti aggiunti o rilasciati in fase di scavo.

In merito ai giorni di stazionamento del materiale nelle aree di stoccaggio è utile sottolineare che:

- per la gran parte delle combinazioni di prodotti e formazioni studiate si è ottenuto un risultato non tossico già al primo giorno di maturazione con riduzione della concentrazione di tensioattivo (MBAS) tra il giorno 1 e il giorno 3; sembra quindi lecito attendersi che, nei primissimi giorni di permanenza del materiale nelle piazzole, la tossicità intrinseca dei prodotti e la rapida biodegradazione permettano di ottenere risultati positivi dai test di controllo e la conseguente possibilità di movimentare il materiale verso la destinazione finale così come previsto dal PUT; si ritiene una scelta conservativa quella di effettuare i prelievi del materiale condizionato dopo 3 giorni di stazionamento in piazzola nel caso delle formazioni fi e h-d e dopo 7 giorni nel caso della formazione BSSc, considerando anche che già dopo 1 giorno dal condizionamento (giorno 0 sperimentale) non si hanno effetti ecotossici sull'organismo *Daphnia magna* (organismo comunque sensibile alla eventuale presenza di composti a potenziale effetto ecotossico). Il tempo suggerito per la formazione BSSc, ritenuto particolarmente conservativo alla luce di un esame globale dei dosaggi considerati e dei risultati ottenuti, potrà essere rivalutato dopo i primi trial di monitoraggio in corso d'opera;
- questi risultati sono stati ottenuti su campioni di terreno condizionati con dosaggi leggermente cautelativi, sembra quindi lecito attendersi di riuscire a eseguire lo scavo in modo adeguato utilizzando combinazioni di parametri del condizionamento che diano luogo a dosaggi inferiori rispetto a quelli considerati e, di conseguenza, a effetti tossici in generale inferiori e a cinetiche di biodegradazioni più rapide di quelle mostrate negli studi di carattere chimico ed ecotossicologico;
- lo studio, per evidenti ragioni tecniche, non ha potuto tenere in considerazione una serie di fattori ambientali (quali ad esempio la temperatura, la ventilazione, ...) che in sito potrebbero favorire o sfavorire la biodegradazione degli agenti condizionanti; a questo proposito il protocollo operativo in corso d'opera prevederà una serie di analisi preliminari da eseguirsi nei primi giorni di scavo necessari a valutare accuratamente questi fattori;
- non è possibile escludere comunque la possibilità che, per alcune combinazioni di prodotti/formazioni affrontate durante lo scavo, i dosaggi e i tempi di biodegradazione eccedano i giorni stimati; in tal caso il materiale sarà comunque lasciato all'interno delle vasche fino al verificato raggiungimento dei valori di non tossicità;
- è bene comunque ricordare che una volta eseguito il campionamento dalle vasche, il materiale rimarrà comunque all'interno delle stesse per il tempo necessario ad eseguire le prove ed emettere i relativi certificati continuando comunque il processo di naturale biodegradazione.

Per quanto riguarda quindi le tempistiche, si provvederà a organizzare il protocollo di controlli con prelievi già dopo 3 giorni (o nel caso di risultati, condizioni ambientali, utilizzo di agenti condizionanti relativamente meno tossici e dosaggi inferiori a quelli stimati, anche prima) dallo sversamento del materiale *fi* e *h-d* condizionato in ciascuna area di stoccaggio e con prelievi fino a 7 giorni per il materiale *BSSc* condizionato.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 34 di 77

I campioni di materiale da scavo condizionato, in aggiunta a quanto già previsto dalla Tabella 4.1 dell'Allegato 4 al DM n. 161/2012 per confermare la qualifica di sottoprodotto, saranno quindi sottoposti alle seguenti verifiche di carattere chimico e/o ecotossicologico.

Analisi chimiche e/o ecotossicologiche

Questa verifica verrà eseguita solo per i materiali provenienti dallo scavo meccanizzato con tecnologia Earth Pressure Balance (EPB), ovvero per i materiali che saranno sottoposti al processo di condizionamento, per le note finalità operative.

In merito, come sarà meglio dettagliato nel protocollo di campionamento in corso d'opera, verranno eseguite prove chimiche ed ecotossicologiche per la caratterizzazione delle terre e rocce da scavo utilizzando gli stessi standard di prova menzionati nel presente studio. A questo proposito, sono in fase di studio correlazioni tra i risultati delle analisi chimiche (MBAS) e i risultati delle analisi di carattere ecotossicologico (*Daphnia magna* in particolar modo) che sembrano permettere di definire, con soddisfacente accuratezza, una serie di valori di soglia rispetto al quantitativo totale di tensioattivi presenti nel terreno ragionevolmente associabili a tossicità limitate. I valori di tali limiti saranno definiti tenendo eventualmente conto delle differenze esistenti tra gli agenti condizionanti, le formazioni e le differenti destinazioni d'uso del materiale.

Per i materiali di scavo i cui campioni dovessero evidenziare, dalle prove di caratterizzazione chimiche e/o ecotossicologiche, valori superiori ai limiti che verranno definiti dagli studi in corso precedentemente citati, verranno sottoposti nuovamente ad analoga caratterizzazione a distanza di alcuni giorni al fine di verificare l'avvenuta biodegradazione secondo quanto previsto.

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					
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 35 di 77

9. BIBLIOGRAFIA

Alberto-Hernandez, Y., Kang, C., Yi, Y., & Bayat, A. 2018. Clogging potential of tunnel boring machine (TBM): a review. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 12(3), 316-323.

Anagnostou, G., & Kovári, K. (1996). Face stability conditions with earth-pressure-balanced shields. *Tunnelling and underground space technology*, 11(2), 165-173.

APAT CNR IRSA 5170 Man 29 2003

Avunduk E, Tumac D, Tolouei S, Copur H, Balci C, Bilgin N. (2017). Effect of conditioning on soil workability determined by mini slump and flow table test. In: *Proceedings of world tunnel congress*, pp 1081–1090.

Bezuijen A. & Gerheim Souza Dias T. 2017. EPB, chamber pressure dissipation during standstill. In *Proceeding IV International Conference on Computational methods in tunneling and subsurface engineering* (Vol. 1, pp. 225-231).

Bezuijen A., Schaminee P.E.L., Kleinjan J.A., 1999. "Additive testing for EPB shields." *Proc. of 12th conference on Soil mechanics and Geotechnical Engineering*, Amsterdam, June, Vol. 3, pp. 1991-1996.

Bezuijen, A. (2012). Foam used during EPB tunnelling in saturated sand, parameters determining foam consumption. In *World Tunnel Congress 2012 (WTC-2012)* (pp. 267-269). Ghent University, Department of Civil engineering.

Chapman, D. N. 1992. *Ground movements associated with trenchless pipelaying operations* (Doctoral dissertation, © David Neil Chapman).

de Oliveira, D. G. G. (2018). *EPB excavation and conditioning of cohesive mixed soils: clogging and flow evaluation* (Doctoral dissertation, Queen's University (Canada)).

Di Giulio, A., Sebastiani, D. & Miliziano, S. (2018). Effect of Chemicals in Clogging Risk Reduction for TBM-EPB Application. *Proceedings of the World Tunnel Congress 2018 - The Role of Underground Space in Building Future Sustainable Cities*. Dubai, EAU.

Feinendegen, M., Ziegler, M., Spagnoli, G., Fernández-Steeger, T., & Stanjek, H. (2010). A new laboratory test to evaluate the problem of clogging in mechanical tunnel driving with EPB-shields. *Rock mechanics in civil and environmental engineering*, 429-432.

Galli, M. (2016). *Rheological characterisation of earth-pressure-balance (EPB) support medium composed of non-cohesive soils and foam*.

ISO 11357:2010.

ISO 15705:2002.

Maidl U., 1999. "Design features of the Botlek rail tunnel in the Betuweroute". *Tunnelling and Underground Space Technology*. Vol 14, No 2, April – June, pp. 135-140.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	IBOU	1BEZZ	RG	GN0000002	A	36 di 77

Maidl U., Herrenknecht M., Anheuser L., 1996. "Mechanised shield tunnelling". Ernst & Sohn, Berlin.

Merritt A. and Mair R.J., 2006, "Mechanics of tunnelling machine screw conveyor: model tests." Geotechnique, 56(9), pp. 605-615.

Milligan, G. 2000. Lubrication and soil conditioning in tunnelling, pipe jacking and microtunnelling: A state-of-the-art review. Geotechnical Consulting Group, London, UK.

Peña, M., 2003. Soil conditioning for sands. Tunnels and Tunnelling International (July), 40–42.

Pirone, M., Sebastiani, D., Carriero, F., Sorge, R., Miliziano, S., Foti, V., ... & D'Angelo, M. (2020). The management of the soil conditioning process for the excavation of the Rome Metro C line. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation Meet Archaeology, Architecture and Art: Volume 6: Innovation in Underground Engineering, Materials and Equipment-Part 2, 2870.

Pirone, M., Vilardi, G., Bavasso, I., Sebastiani, D., Di Giulio, A., Di Palma, L., Carriero, F., Sorge, R. & Miliziano, S. (2018). Studi sulla compatibilità ambientale degli agenti condizionanti per il riutilizzo del terreno prodotto dallo scavo meccanizzato di gallerie. Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, 127.

Quebaud S., 1996. "Contributions a l'étude du percement de galeries par boucliers a pression de terre: Amelioration du creusement par l'utilisation de produits moussants" PhD thesis, University of Sciences and Technologies of Lille, France.

Quebaud, S., Sibai, M. and Henry, J-P. 1998. "Use of chemical foam for improvements in drilling by earth pressure balanced shields in granular soils". Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.13, No.2, pp.173-180.

Rostami, J., Gharahbagh, E.A., Palomino, A.M., Mosleh, M., 2012a. Development of soil abrasivity testing for soft ground tunneling using shield machines. Tunnelling and Underground Space Technology 28, 245–256.

Sadjadi, F., & Khalkhali, A. B. (2018). Geotechnical Challenges of Tehran Metro Line 7 (South Northern Route). Civil Engineering Journal, 4(5), 1117-1126.

Sebastiani, D., Di Giulio, A. (2021). The Design of Conditioning Process for EPB-TBM Tunnelling. Gallerie e grandi opere sotterranee n.139.

Sebastiani, D., Guida, G., Casini, F. & Miliziano S. (2018). Studio dell'abrasione nello scavo meccanizzato di gallerie. Incontro annuale dei Ricercatori di Geotecnica.

Sebastiani, D., Miliziano, S., Bezuijen, A., (2021) Front-face pressure drop during the standstill phase for EPB mechanized tunnelling in coarse-grained soils. Proceedings of the 10th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground.

Sebastiani, D., Miliziano, S., Campa, E., and Umiliaco, C., 2015. Condizionamento di terreni a grana grossa nello scavo di gallerie con TBM-EPB: il caso della linea metropolitana M5 di Milano.

Sebastiani, D., Passeri, D., Belardi, G., & Miliziano, S. (2016). Experimental study of coarse soil properties influencing soil abrasivity. Procedia Engineering, 158, 9-14.

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			
08 - GALLERIE Studi di carattere geotecnico e chimico ed ecotossicologico del condizionamento per lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO GN0000002	REV. A	FOGLIO. 37 di 77

Sebastiani, D., Vilardi, G., Bavasso, I., Di Palma, L., & Miliziano, S. (2019). Classification of foam and foaming products for EPB mechanized tunnelling based on half-life time. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 92, 103044.

Spagnoli, G., Feinendegen, M., & Ziegler, M. (2019). Assessing the clogging potential of clay/additive mixtures by cone pull-out tests. *Geomechanics and Tunnelling*, 12(4), 362-371.

Spagnoli, G., Feinendegen, M., Stanjek, H., & Azzam, R. (2011). Soil conditioning for clays in EPBMs. *Tunnels & Tunnelling International*, 43(10), 56-58.

Thewes, M., Budach, C., & Bezuijen, A. (2012). Foam conditioning in EPB tunnelling. *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, 127.

UNI EN 1484:1999.

UNI EN ISO 6341:2013.

Wu, Y., Mooney, M. A., & Cha, M. (2018). An experimental examination of foam stability under pressure for EPB TBM tunneling. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 77, 80-93.

Yu, H., Mooney, M., & Bezuijen, A. (2020). A simplified excavation chamber pressure model for EPBM tunneling. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 103, 103457.

Zumsteg, R., Plötze, M., and Puzrin, A. (2013). Reduction of the clogging potential of clays: new chemical applications and novel quantification approaches. *Géotechnique* 6 (4), pp. 276–286, <http://dx.doi.org/10.1680/geot.SIP13.P.005>.