

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA

NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA

RADDOPPIO COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO

PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO AI SENSI DEL D.P.R. 120/2017

Addendum 1: annesso tecnico per la gestione dei materiali provenienti dallo scavo meccanizzato con additivi: indirizzi metodologici e valutazioni programmatiche sugli studi sperimentali e sul protocollo operativo di corso d'opera

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RC1C 03 R 69 RG TA0000 003 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva a seguito di richiesta integrazioni CSLPP	F. Amorizzi	Feb. 2022	D. Putzu	Feb. 2022	I. D'Amore	Feb. 2022	S. Padulosi Feb. 2022

File: RC1C03R69RGTA0000003A.doc

n. Elaborazione

ITALFERR S.p.A.
Ing. Padulosi Sara
Ordine degli Ingegneri di Roma
n. 25827 sez. A

**LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
RADDOPPIO COSENZA – PAOLA SAN LUCIDO**

**ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI
PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI:
INDIRIZZI METODOLOGICI E VALUTAZIONI PROGRAMMATICHE
SUGLI STUDI SPERIMENTALI E SUL PROTOCOLLO OPERATIVO
DI CORSO D'OPERA**

INDICE

1	<i>PREMESSA</i>	5
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI SULLA GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE PROVENIENTI DA SCAVO MECCANIZZATO	6
1.2	SCAVO MECCANIZZATO CON TBM CON TECNOLOGIA EPB.....	7
2	<i>DATI DI INPUT E MODELLO CONCETTUALE</i>	11
2.1	BIBLIOGRAFIA DEGLI STUDI SPERIMENTALI ESEGUITI SUI MATERIALI ADDITIVATI	13
2.1.1	BIBLIOGRAFIA NAZIONALE E/O INTERNAZIONALE	13
2.1.2	TRATTE FERROVIARIE OGGETTO DI PRECEDENTI STUDI	18
3	<i>APPROCCIO METODOLOGICO UTILIZZATO PER GLI STUDI</i>	19
3.1	STUDI DI CONDIZIONAMENTO	21
3.2	STUDI DI COMPATIBILITÀ AMBIENTALE SITO-SPECIFICA	26
3.3	PRODOTTI CONDIZIONANTI PER LO SCAVO CON TBM DI TIPO EPB	44
4	<i>CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GRANULOMETRICHE DEI TERRENI DA CONDIZIONARE PER LO SCAVO CON TBM DI TIPO EPB</i>	47
4.1	FORMAZIONI LITOLOGICHE ATTRAVERSATE	47
4.2	CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DEI TERRENI E DELLE ROCCE.....	47
4.3	FUSO GRANULOMETRICO COMPLESSIVO E CORRELAZIONE DEI TERRENI CONDIZIONATI CON I PRODOTTI TESTATI.....	51
5	<i>COMPATIBILITÀ AMBIENTALE SITO SPECIFICA DEI TERRENI SPERIMENTATI</i>	59
5.1	NATURA DEI PRODOTTI E CLASSIFICAZIONE AI SENSI DEL REGOLAMENTO CE N. 1272/2008	59
5.2	EFFETTI SUL COMPARTO TERRESTRE	60
5.3	EFFETTI SUL COMPARTO ACQUATICO	60
5.4	EFFETTI ECO-TOSSICOLOGICI E DI BIO-DEGRADABILITÀ DEI TERRENI CONDIZIONATI CON I PRODOTTI TESTATI	61
6	<i>CRITERI PER LA GESTIONE OPERATIVA DEI MATERIALI DA SCAVO</i>	63
6.1	INDIRIZZI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE/REALIZZAZIONE	63
6.2	INDIRIZZI SUL PROTOCOLLO OPERATIVO DA ATTUARE IN CORSO D'OPERA	64
6.2.1	CAMPIONAMENTO DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO.....	64
6.2.2	CAMPIONAMENTO DEI MATERIALI ADDITIVATI PROVENIENTI DALLO SCAVO IN MECCANIZZATO.....	66
6.2.3	MODALITÀ DI REALIZZAZIONE DEI CAMPIONI	67
6.2.4	ANALISI CHIMICO-FISICHE	68
6.2.5	VERIFICA ECO-TOSSICOLOGICA	68
6.3	LOGISTICA DI CANTIERE.....	70



LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI
MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO
MECCANIZZATO CON ADDITIVI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	4/72

6.3.1	STOCCAGGIO DEL MATERIALE SCAVATO CON METODI TRADIZIONALI	70
6.3.2	STOCCAGGIO DEL MATERIALE SCAVATO CON TBM	71

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>5/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	5/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	5/72								

1 PREMESSA

Il presente documento rappresenta una Linea guida operativa finalizzata alla descrizione del processo organizzativo, pianificatorio e programmatico correlato alla gestione delle terre e rocce prodotte dallo scavo meccanizzato con additivi delle opere in sotterraneo.

Più in dettaglio, l'architettura di tale linea guida è stata concepita nell'ottica di strutturare un documento da allegare ai Piani di Utilizzo Terre (PUT) redatti ai sensi del D.P.R. 120/2017, cogliendo l'opportunità rappresentata dalla **Legge 11 settembre 2020, n. 120** "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 16 luglio 2020, n. 76 recante «Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitali» (c.d. Decreto Semplificazioni)" di anticipare la procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) alla fase di Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (PFTE).

Nel contempo, considerando l'entrata in vigore della **Legge 29 luglio 2021, n. 108** "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77 recante «Governance del Piano nazionale di ripresa e resilienza e prime misure di rafforzamento delle strutture amministrative e di accelerazione e snellimento delle procedure»" si riporta di seguito uno schema esemplificativo dei principali step autorizzativi cui devono essere sottoposti i progetti inseriti nell'Allegato IV alla suddetta Legge n. 108/2021, sulla base di quanto riportato nell'art. 44 alla stessa (*Semplificazioni procedurali in materia di opere pubbliche di particolare complessità o di rilevante impatto*).

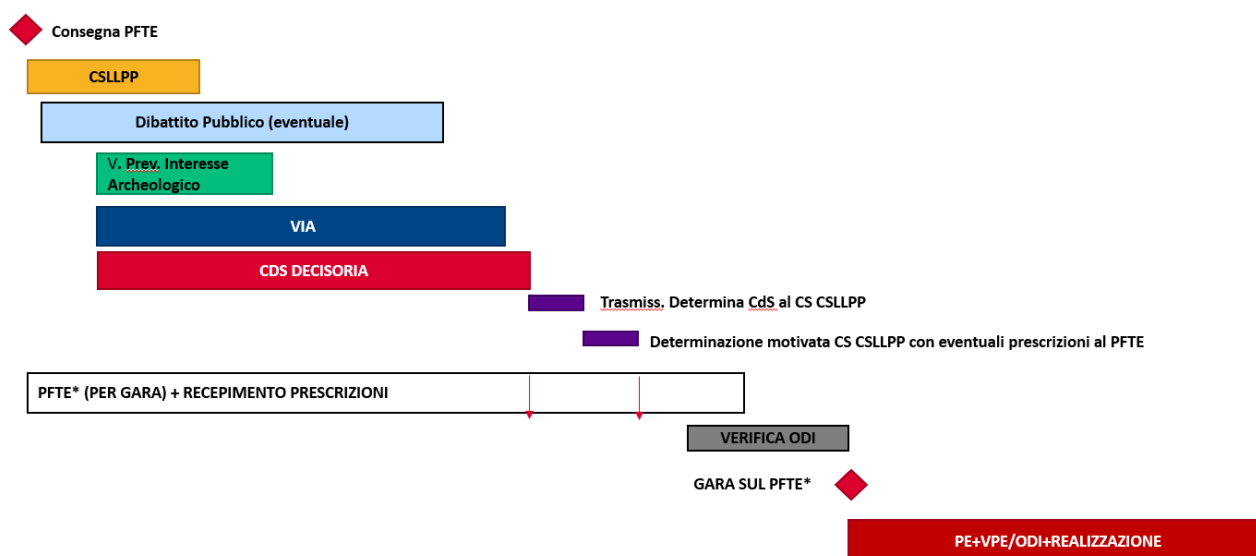


Figura 1 – Flusso di processo per i progetti inseriti in Allegato IV del PNRR

	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>6/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	6/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	6/72								

Posto quanto sopra riportato, fermi restando i necessari affinamenti da eseguirsi nelle successive fasi progettuali nonché l'autonomia gestionale dell'Appaltatore - in qualità di Produttore delle terre e rocce da scavo ed Esecutore del PUT - nella scelta dei prodotti condizionanti, in fase di PFTE il presente documento ha pertanto uno scopo pianificatorio e di indirizzo finalizzato alla descrizione del corretto approccio metodologico da adottare sulla base dell'esperienza acquisita attraverso i numerosi studi già effettuati in progetti analoghi sulla base dei quali può essere dimostrata la sussistenza dei requisiti per poter gestire i terreni condizionati come sottoprodotti e non come rifiuti in quanto il mercato di settore ad oggi testato offre molteplici soluzioni ambientalmente compatibili.

Nel presente documento verranno pertanto descritti:

- l'esperienza acquisita sugli studi sperimentali effettuati in progetti analoghi;
- l'approccio metodologico da adottare per la gestione in qualità di sottoprodotti dei terreni provenienti dallo scavo meccanizzato con additivi.

In tale ottica, infatti, partendo dal quadro normativo di riferimento relativo alla gestione delle terre e rocce da scavo in qualità di sottoprodotti e tenendo conto dell'unità di intenti tra i diversi soggetti coinvolti nel processo autorizzativo dei PUT, la consapevolezza acquisita sui fenomeni di interazione tra il terreno naturale e i prodotti chimici condizionanti è possibile considerare lo scavo meccanizzato delle gallerie con additivi un processo sostenibile sotto il profilo tecnico, ambientale ed economico.

1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI SULLA GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE PROVENIENTI DA SCAVO MECCANIZZATO

Il D.P.R. 120/2017, all'Allegato 4 "Procedure di caratterizzazione chimico-fisiche e accertamento delle qualità ambientali", dispone che "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,

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A	PAG. 7/72

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.»

Tale indirizzo presuppone pertanto che, nel caso in cui gli additivi utilizzati per lo scavo meccanizzato delle gallerie contengano elementi non compresi nella Tabella 1, Allegato 5, Parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., il controllo delle sostanze classificate come pericolose debba essere eseguito ai sensi del Regolamento CE n. 1278/2008. Lo stesso Allegato prevede altresì che il Proponente del PUT produca specifica documentazione tecnica necessaria a valutare il rispetto dei requisiti di qualità ambientale per considerare le terre e rocce da scavo sottoprodotti e non rifiuti da trasmettere all'ISS e all'ISPRA per l'espressione del parere di competenza.

Al fine di ottemperare a quanto richiesto dalla normativa vigente e produrre la documentazione tecnica necessaria a valutare il rispetto dei requisiti di qualità ambientale per considerare le terre e rocce da scavo sottoprodotti e non rifiuti, preme tuttavia evidenziare come, sulla base della prassi ormai adottata dal Proponente sugli studi sperimentali eseguiti e condivisa dagli Enti competenti in materia, la biodegradabilità del prodotto puro non sia l'unico elemento di valutazione per escludere effetti negativi sulla salute dell'uomo e sull'ambiente ma tutte le valutazioni andrebbero comunque condotte non solo sul prodotto ma sulla miscela "terre + additivo" attraverso studi sito specifici.

Con tali premesse, considerando il panorama progettuale e normativo di riferimento nel quale si inserisce la redazione del PUT nonché le stringenti tempistiche a disposizione per il reperimento delle autorizzazioni ambientali in sede di PFTE, il presente documento è stato ideato con l'esigenza di indirizzare il processo progettuale e di corso d'opera connesso alla gestione delle terre provenienti dallo scavo meccanizzato con additivi in qualità di sottoprodotti.

1.2 SCAVO MECCANIZZATO CON TBM CON TECNOLOGIA EPB

Il sistema di scavo di gallerie con scavo meccanizzato ha avuto negli ultimi 30 anni un forte impulso ed è tuttora la tecnologia più avanzata per la costruzione di gallerie in contesti ambientali complessi, come quelli superficiali e urbani, ma anche in contesti geotecnici complicati, come nel caso di gallerie profonde in zone tettonizzate di formazioni rocciose.

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A	PAG. 8/72

La corretta selezione della tipologia di macchina rappresenta un elemento essenziale per garantire l'appropriata esecuzione del Progetto. In termini di analisi del rischio, la verifica dell'idoneità della tecnologia di fresa è una delle principali misure di mitigazione per assicurare il completamento dei lavori ad opera d'arte e nei tempi previsti.

Le TBM possono essere, in generale, di varie tipologie.

La tecnologia di scavo con TBM di tipo EPB, in particolare, prevede l'applicazione di una pressione al fronte di scavo, vedi Figura 2, tale da consentire il superamento di condizioni complesse dal punto di vista geologico e geotecnico permettendo di:

- ✓ fronteggiare comportamenti allo scavo di tipo B (stabile a breve termine) e C (instabile) e quindi abbattere il rischio più temuto di instabilità del fronte e del cavo;
- ✓ assicurare il massimo controllo delle deformazioni del terreno e quindi limitare i cedimenti;
- ✓ limitare le variazioni di pressione interstiziali nei terreni e i conseguenti moti di filtrazione e di trascinamento.

Inoltre, rispetto allo scavo tradizionale, presenta notevoli vantaggi, quali:

- ✓ un minor disturbo del terreno circostante con una notevole limitazione di cedimenti in superficie e una conseguente minimizzazione del disturbo su edifici e manufatti;
- ✓ condizioni di lavoro ottimali per i lavoratori in termini di sicurezza e salubrità del luogo di lavoro;
- ✓ una riduzione dei tempi di costruzione grazie alle migliori prestazioni delle macchine di scavo rispetto allo scavo in tradizionale;
- ✓ la garanzia di una migliore qualità del prodotto finale grazie all'utilizzo di conci prefabbricati e di un processo industrializzato di costruzione.

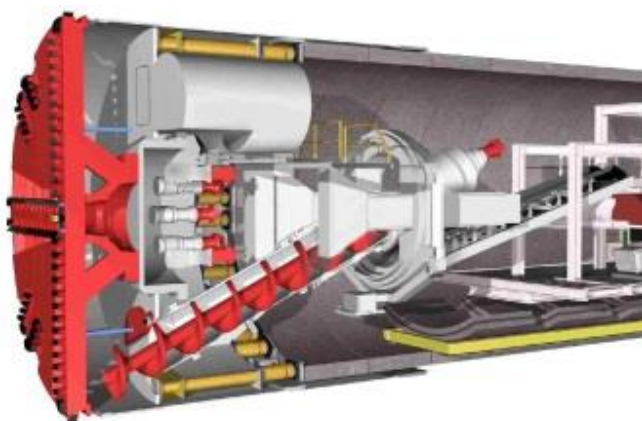


Figura 2 – Schema di una TBM di tipo EPB

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA				
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. PAG. A 9/72

La TBM di tipo EPB ha la possibilità di passare da modalità di scavo cosiddetta “chiusa” ad “aperta” (e viceversa) in maniera relativamente facile e tempestiva, soprattutto per affrontare lo scavo in contesti lapidei dove potrebbe risultare difficoltoso e controproducente se affrontato sempre e solo in modalità “chiusa”. Per modalità “aperta” si intende la possibilità di scavare senza applicazione di una pressione attiva al fronte, mentre in modalità “chiusa” lo scavo avviene applicando una pressione attiva al fronte.

Il funzionamento classico di una fresa di tipo EPB è in modalità “chiusa” e si basa sul controllo ed il mantenimento della pressione del terreno in camera di scavo a valori tali da controbilanciare la pressione esercitata dal fronte. Ciò si realizza regolando ed uguagliando la quantità di volume di terreno scavato (velocità di avanzamento) con la quantità di terreno estratto dalla coclea (portata della coclea), vedi Figura 3.

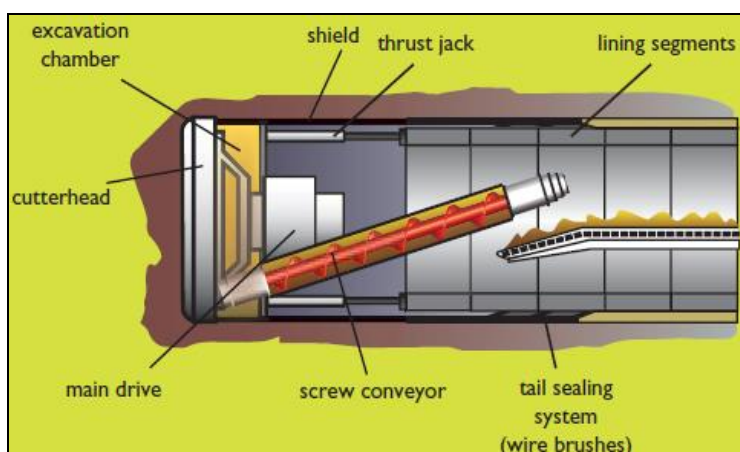


Figura 3 – Schema di funzionamento di una TBM di tipo EPB

In alcuni casi, laddove vi è elevata complessità del contesto geotecnico e formazioni con caratteristiche geotecniche molto diverse che si alternano lungo il tracciato, può essere necessario prevedere macchine caratterizzate da una ancora maggiore flessibilità: TBM equipaggiate di un sistema “dual-mode”, dette anche “TBM convertibili”. Tali macchine possono passare da una tecnologia di scavo meccanizzato ad un’altra. Da alcuni anni esistono, ad esempio, TBM per scavo in roccia convertibile in TBM di tipo EPB (Earth Pressure Balance) e viceversa, vedi Figura 4, TBM per scavo in roccia convertibile in TBM di tipo slurry (con fango bentonitico) e viceversa, TBM di tipo EPB convertibile in TBM di tipo slurry e viceversa.

Questa tipologia di macchine è tale da consentire di passare da una configurazione all'altra in tempi brevi, garantendo migliori performance in fase di scavo, riuscendo ad adattarsi a contesti geotecnici molto diversi.

Ad esempio, con una TBM Dual Mode Roccia/EPB è possibile passare dalla modalità di funzionamento EPB con coclea ad una in roccia con nastro, così da attraversare rocce compatte e terreni sciolti e viceversa.

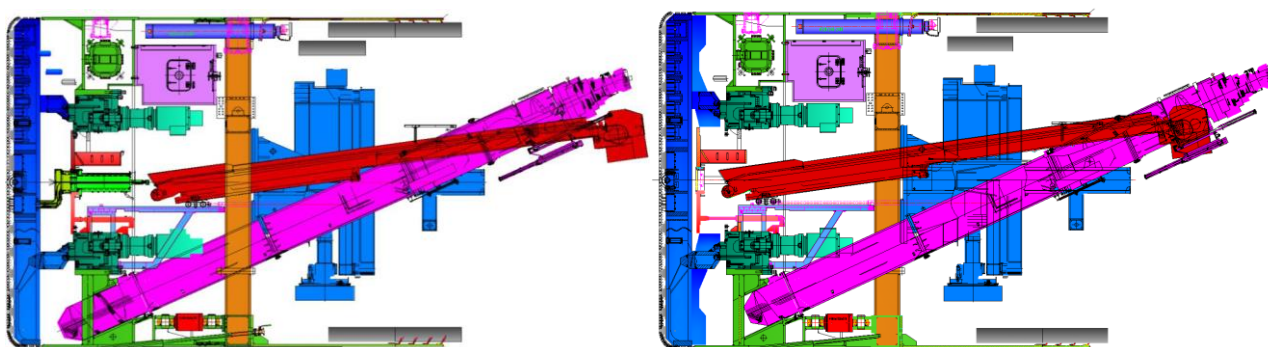


Figura 4 – Esempio TBM “convertibile” Roccia/EPB in configurazione di tipo EPB ed in configurazione di tipo da roccia

Il sistema di scavo EPB è comunque il medesimo: il fronte di scavo viene stabilizzato applicando un'opportuna pressione attiva al fronte così da operare in condizioni di massima sicurezza, minimizzando i principali rischi dovuti a bassa copertura, alla stabilità degli scavi, alla presenza di falda, e alla eterogeneità dei materiali lungo il tracciato (terreni e roccia, ad esempio).

Per l'impiego della tecnologia EPB esistono limitazioni riguardo alla distribuzione granulometrica e la permeabilità della litologia scavata, che deve essere tale da fungere come mezzo di supporto del fronte e tale da poter essere facilmente estratta dalla coclea.

Attualmente, il condizionamento con additivi ha ampiamente esteso l'intervallo di applicazione in cui lo scavo con EPB risulta idoneo, rendendola una delle più versatili tecnologie di scavo meccanizzato disponibili.

In genere, le TBM di tipo EPB sono adatte per realizzare gallerie in materiali di bassa permeabilità e con un contenuto di particelle fini (diametro < 0.075 mm) minimo pari al 15- 20%, che richiedono una pressione di equilibrio inferiore a 5-6 bar.

La macchina di tipo EPB è più adatta rispetto alla macchina a contropressione del fronte con fango bentonitico (di tipo slurry) nel caso in cui siano necessarie numerose ispezioni in camera di scavo (ad

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A	PAG. 11/72

esempio, per problemi di usura), in quanto lo svuotamento della camera di scavo attraverso la coclea avviene in tempi più rapidi.

Inoltre, la TBM di tipo EPB è più idonea rispetto ad una fresa di tipo slurry nel caso di scavo in terreni coesivi adesivi (sticky clay). Tali terreni possono causare problemi di adesività (clogging) nella testa fresante e nel sistema di trasporto del marino che possono essere risolti/minimizzati grazie all'utilizzo di appropriati agenti condizionanti. La fresa di tipo slurry presenta, invece, problematiche legate alla difficoltà di trattamento di terreni coesivi adesivi negli impianti di trattamento di cui dispone.

2 DATI DI INPUT E MODELLO CONCETTUALE

La scelta di eseguire lo scavo delle gallerie con una fresa TBM (Tunnel Boring Machine) di tipo EPB (Earth Pressure Balance) è essenzialmente connessa al contesto litologico e geotecnico in cui si inserisce l'opera in progetto; come noto, tale tecnica di scavo prevede l'utilizzo in fase di avanzamento di prodotti (c.d. "additivi"), finalizzati al condizionamento del terreno in modo efficace, modificandone il comportamento e creando una pasta viscosa ed impermeabile, al fine di consentirne più agevolmente lo scavo, l'estrazione ed il successivo trasporto sino al sito di deposito intermedio/destinazione.

Al fine di ottemperare a quanto richiesto dalla normativa di settore e sopra richiamato, risulta pertanto necessario valutare l'eco-tossicità complessiva, in funzione del tempo di maturazione, delle tipologie di terreno prelevate in zona di scavo e rappresentative delle condizioni litologiche "estreme" della tratta ferroviaria in progetto: i campioni di terreno prelevati verranno pertanto condizionati con agenti schiumogeni selezionati sulla base dei diversi prodotti disponibili sul mercato e in riferimento alla tipologia di terreno stesso, utilizzando parametri di condizionamento che simulino le condizioni reali di scavo in galleria (cfr. Figura 2).

Dall'esperienza maturata sui numerosi studi eseguiti, preme infatti evidenziare che la verifica - già in fase progettuale - dell'impatto eco-tossicologico degli additivi (e dei relativi dosaggi) sui terreni scavati risulta indispensabile anche per una progettazione corretta e sostenibile, in quanto consente di procedere alla caratterizzazione ambientale dei terreni condizionati, impostando in maniera corretta la gestione delle "terre e rocce da scavo" ed evitando - o quantomeno limitando drasticamente - dispendiose (sia in termini economici sia in termini temporali) varianti e contenziosi con l'Appaltatore e con gli Enti di controllo.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>12/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	12/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	12/72								

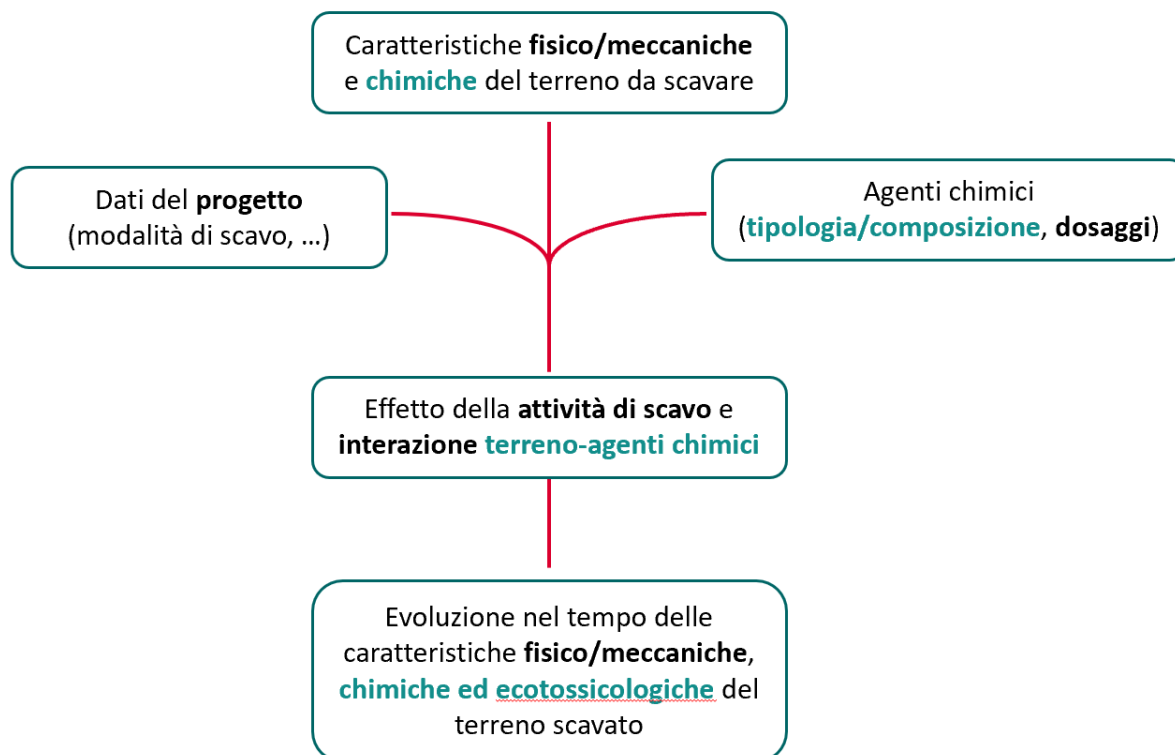


Figura 5 – Modello concettuale degli studi sperimentali

Tutto ciò premesso, i principali step per l'esecuzione degli studi sperimentali sito-specifici finalizzati a poter gestire i terreni provenienti dallo scavo meccanizzato con additivi come sottoprodotti e non rifiuti, sono essenzialmente riconducibili a:

1. Pianificazione di dettaglio delle attività (test e protocolli)
2. Individuazione delle litologie prevalenti attraversate dal tracciato che verranno scavate con TBM metodo EPB
3. Acquisizione campioni (litotipi)
4. Caratterizzazione dello stato di bianco delle rocce scavate (analisi chimiche e geotecniche)
5. Analisi di mercato per l'identificazione di prodotti condizionanti
6. Acquisizione campioni (agenti condizionanti)
7. Individuazione dei parametri di condizionamento
8. Sperimentazione (facoltativa) delle prove di condizionamento in laboratorio

	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>13/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	13/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	13/72								

9. Individuazione delle tipologie di utilizzo finale delle TRS
10. Esecuzione in laboratorio dei test chimici, di biodegradabilità e di eco-tossicità nel tempo
11. Elaborazione dei risultati e stesura dei report finali
12. Definizione del protocollo operativo da attuare in corso d'opera
13. Organizzazione della logistica di cantiere

2.1 BIBLIOGRAFIA DEGLI STUDI SPERIMENTALI ESEGUITI SUI MATERIALI ADDITIVATI

Nonostante la fondamentale importanza del tema, è possibile rinvenire in letteratura un ridottissimo numero di sperimentazioni a riguardo, così come un limitato numero di studi per la scelta dei prodotti condizionanti e dei relativi dosaggi che consentano di “additivare” in maniera efficace i terreni scavati.

2.1.1 BIBLIOGRAFIA NAZIONALE E/O INTERNAZIONALE

Si riportano di seguito alcuni articoli relativi agli aspetti geotecnici per il condizionamento di terreni

- ✓ Todaro C. 2016. Analisi sulla penetrazione delle schiume nello scavo con EPB. **Geingegneria Ambientale e Mineraria**. Anno LIII, 147 (1): 49-52.
- ✓ Oñate Salazar CG, Martinelli D., Todaro C, Luciani A, Boscaro A, Peila D. 2016. Preliminary study of wear induced by granular soil on metallic parts of EPB tunnelling machines. **Geingegneria Ambientale e Mineraria**. Anno LIII, 148 (2): 67-70.
- ✓ Oñate Salazar CG, Todaro C, Bosio F, Bassini E, Ugues D, Peila D. 2018. A new test device for the study of metal wear in conditioned granular soil used in EPB shield tunneling. **Tunnelling and Underground Space Technology**. 73: 212-221.
- ✓ Peila D, Martinelli D, Todaro C, Luciani A. 2018. Soil conditioning in EPB shield tunnelling – An overview of laboratory tests. **Geomechanik and Tunnelbau**. 12, (5): 491-498.
- ✓ Martinelli, D., Todaro, C., Luciani, A., Peila, D. 2019. Use of a large triaxial cell for testing conditioned soil for EPBS tunnelling. **Tunnelling and Underground Space Technology**. 94 Article number 103126.
- ✓ Carigi A, Luciani A, Todaro C, Martinelli D, Peila D. 2020. Influence of conditioning on the behaviour of alluvional soils with cobbles. **Tunnelling and Underground Space Technology**. 96 Article number 103225.

- ✓ Carigi A, Todaro C, Martinelli D, Amoroso C, Peila D. 2020. Evaluation of the Geo-Mechanical Properties Property Recovery in Time of Conditioned Soil for EPB-TBM Tunneling. **Geoscience**. 10 (11): 438.
- ✓ Firouzei Y, Grenni P, Barra Caracciolo A, Patrolecco L, Todaro C, Martinelli D, Carigi A, Hajipour G, Hassanpour J, Peila D. 2020. The most common laboratory procedures for the evaluation of EPB TBMs excavated material ecotoxicity in Italy: A review. **Geoingegneria Ambientale e Mineraria** 160: 44-56.
- ✓ Todaro C, Carigi A, Peila L, Martinelli D, Peila D. 2021. Soil conditioning tests of clay for EPB tunnelling. **Underground Space**. Under review.
- ✓ Bezuijen, A., 2012. Foam used during EPB tunnelling in saturated sand, parameters determining foam consumption. Proceedings WTC 2012, Bangkok, 267
- ✓ Borio, L., Oggieri, C., Peila, D., Pelizza, S., 2007. Determinazione del comportamento del terreno condizionato per EPBS mediante la prova di slump test. Gallerie e Grandi Opere Sotterranee n. 82, pp 38-44
- ✓ Borio, L., Peila, D., 2010. Study of the permeability of foam conditioned soils with laboratory test. American Journal of Environmental Sciences 6 (4), pp 365-370
- ✓ Cash, T. and Vine-Lott, K.M., 1996. Foam as a tunnelling aid: its production and use. Tunnels and Tunnelling, Vol. 28, No. 4, pp 22-23
- ✓ Davis, J., Russel, L., 2014. The Crossrail project, London. The transport and beneficial re-use of excavated material. Convegno SIG: Terre e Rocce da Scavo nelle Opere in Sotterraneo : Un problema o una Opportunità ?, Samoter 2014, pp 29-38
- ✓ EFNARC (ed.) 2005. Specification and guidelines for the use of specialist products for mechanised tunnelling (TBM) in soft ground and hard rock.
- ✓ Langmaack, L., Feng, Q. 2005. Soil conditioning for EPB machines: balance of functional and ecological properties. Proc.: World Tunnel Congress and 31st ITA Assembly, Istanbul, Turkey, 2005, pp729–735
- ✓ Martelli, F., Pigorini, A., Sciotti, A., Martino, A., Padulosi, S., 2017. Main issues related to EPB soil conditioning and excavated soil. Proc.: Congrès International de l'Aftes, Paris, C3-7, pp 1-9
- ✓ Meng, Q., Qu, F., Li, S., 2011. Experimental investigation on viscoplastic parameters of conditioned sand in earth pressure balance shield tunnelling. Journal of Mechanical Science and

Technology 25 (9) (2011), pp 2259-2266

- ✓ Merritt, A.S., 2004. Conditioning of clay soils for tunnelling machine screw conveyors. PhD. Thesis, University of Cambridge.
- ✓ Merritt, A., 2015. Soil conditioning for EPB tunnelling : some examples of laboratory testing and field monitoring. Convegno SIG: Terre e rocce da scavo nelle opere in sotterraneo : un problema o una opportunità?, Samoter 2014, pp 79-88
- ✓ Milligan, G., 2000. Lubrication and soil conditioning in tunneling, pipe jacking and microtunnelling, a state of the art review. Geotechnical Consulting Group.
- ✓ Padulosi, S., Martelli, F., Sciotti, Mininni, G., A., Putzu, D. F., Filippone M. Environmental risk assessment of conditioned soil: some Italian case studies. Proceedings WTC 2019: Tunnels and underground cities: engineering and innovation meet archaeology, architecture and art, pp 505-514
- ✓ Peila, D., Borio, L., Pelizza, S., 2011. Lab test for EPB ground conditioning. Tunnels & Tunnelling International, september 2011, pp 48-50
- ✓ Pigorini, A., Martino, A., Martelli, F., Padulosi, S., Putzu, D., 2014. Gestione terre e rocce da scavo : nuovi orizzonti o nuovi limiti ?. Convegno SIG: Terre e rocce da scavo nelle opere in sotterraneo : un problema o una opportunità?, Samoter 2014, pp 89-102
- ✓ Shinouda, M.M., Garahbagh, E.A., Shinouda M.M.R., 2013. Untangling the mystery of soil conditioning in EPB tunnelling. Proc. 2013: Rapid Excavation and Tunneling Conference, pp 1074-1085
- ✓ Thewes, M., 2007. TBM tunnelling challenges – redefining the state of art. ITA-AITES WTC 2007, Prague, pp13-21
- ✓ Thewes, M., 2010. Recommendations for Face Support Pressure Calculations for Shield Tunnelling in Soft Ground, Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB)
- ✓ Thewes, M., Budach, C., and Bezuijen, A., 2012. Foam conditioning in EPB tunneling, in Viggiani, ed., Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: London, Taylor & Francis, pp 127-135
- ✓ Merritt, A.S., 2004. Conditioning of clay soils for tunnelling machine screw conveyors. PhD. Thesis, University of Cambridge.

- ✓ Merritt, A., 2015. Soil conditioning for EPB tunnelling : some examples of laboratory testing and field monitoring. Convegno SIG: Terre e rocce da scavo nelle opere in sotterraneo : un problema o una opportunità?, Samoter 2014, pp 79-88
- ✓ Thewes, M., 2007. TBM tunnelling challenges – redefining the state of art. ITA-AITES WTC 2007, Prague, pp13-21
- ✓ Thewes, M., Budach, C., and Bezuijen, A., 2012. Foam conditioning in EPB tunneling, in Viggiani, ed., Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: London, Taylor & Francis, pp 127-135

Di seguito si riportano invece alcuni articoli scientifici riguardanti la valutazione di eco-compatibilità dei terreni additivati con agenti schiumogeni, relativi a numerosi studi nei quali il CNR ha utilizzato un approccio ecologico che si è avvalso di studi sito-specifici in microcosmi e mesocosmi.

- ✓ Barra Caracciolo A, Grenni P, Mariani L, Rauseo J, Di Lenola, Muzzini V, Donati E, Lacchetti I, Gucci PMB, Finizio A, Beccaloni E, Patrolecco L, 2021, Mesocosm Experiments at a Tunnelling Construction Site for Assessing Re-Use of Spoil Material as a By-Product, **Water**, 13 (2): 161
- ✓ Barra Caracciolo A, Ademollo N, Cardoni M, Grenni P, Pescatore T, Rauseo J, Patrolecco L 2019, Assessment of biodegradation of the anionic surfactant sodium lauryl ether sulphate used in two foaming agents for mechanized tunnelling excavation, **Journal of Hazardous Materials**, 365, 538-545
- ✓ Barra Caracciolo A, Cardoni M, Pescatore T, Patrolecco L, 2017, Characteristics and environmental fate of the anionic surfactant sodium lauryl ether sulphate (SLES) used as the main component in foaming agents for mechanized tunnelling, **Environmental Pollution** 226: 94-103
- ✓ Galli E, Muzzini VG, Finizio A, Fumagalli P, Grenni P, Barra Caracciolo A, Rauseo J, Patrolecco L, 2019, Ecotoxicity of foaming agent conditioned soils tested on two terrestrial organisms, **Environmental Engineering and Management Journal**, 18 (8):1703-1710,
- ✓ Rauseo J, Ademollo N, Pescatore T, Patrolecco L 2017. Determinazione di tensioattivi anionici in terreni provenienti dallo scavo in sotterraneo mediante Estrazione Liquida Pressurizzata (PLE) e metodo MBAS (Sostanze Attive al Blu di Metilene) modificato, **Notiziario dei metodi analitici & IRSA news**, Vol 1 Maggio 2017, ISSN 2465-017X.

- ✓ Grenni P, Barra Caracciolo A, Patrolecco L, Ademollo N, Rauseo J, Saccà ML, Mingazzini M, Palumbo MT, Galli E, Muzzini V, Polcaro CM, Donati E, Lacchetti I, Di Giulio A, Gucci P, Beccaloni E, Mininni G, 2018, A bioassay battery for the ecotoxicity assessment of soils conditioned with two different commercial foaming products, *Ecotoxicology & Environmental Safety* 148: 1067–1077.
- ✓ Barra Caracciolo, A., Ademollo, N., Cardoni, M., Di Giulio, A., Grenni, P., Pescatore, T., Rauseo, J., Patrolecco, L. 2018. Assessment of biodegradation of the anionic surfactant sodium lauryl ether sulphate used in two foaming agents for mechanized tunnelling excavation, *Journal of Hazardous Materials*, 365, 538-545.
- ✓ Galli E, Muzzini VG, Finizio A, Fumagalli P, Grenni P, Barra Caracciolo A, Rauseo J, Patrolecco L, 2019. Ecotoxicity of foaming agent conditioned soils on two terrestrial organisms, *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(8), 1703-1710.
- ✓ Grenni P, Barra Caracciolo, A, Patrolecco L, 2019. Site-specific protocols for evaluating environmental compatibility of spoil materials produced by EPB-TBMs. In *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation Meet Archaeology, Architecture and Art* (pp. 360-366). CRC Press.
- ✓ Finizio A, Patrolecco L, Grenni P, Galli E, Muzzini VG, Rauseo J, Rizzi C, Barra Caracciolo A, 2020, Environmental risk assessment of the anionic surfactant sodium lauryl ether sulphate in site-specific conditions arising from mechanized tunnelling, *Journal of Hazardous Materials* 383: 121116.
- ✓ Mariani L, Grenni P, Barra Caracciolo A, Donati E, Rauseo J, Rolando L, Patrolecco L, 2020, Toxic response of the bacterium *Vibrio fischeri* to sodium lauryl ether sulphate residues in excavated soils, *Ecotoxicology* 29:815–824.
- ✓ Firouzei Y, Grenni P, Barra Caracciolo A, Patrolecco L, Todaro C, Martinelli D, Carigi A, Hajipour G, Hassanpour J, Peila D, 2020. The Most Common Laboratory Procedures for the Evaluation of EPB TBMs Excavated Material Ecotoxicity in Italy: A Review. *GEAM-Geoingegneria Ambientale e Mineraria* 2:44-56. DOI: 10.19199/2020.2.1121-9041.044
- ✓ Patrolecco L, Pescatore T, Mariani L, Rolando L, Grenni P, Finizio A, Spataro F, Rauseo J, Ademollo N, Muzzini VG, Donati E, Lacchetti I, Padulosi S, Barra Caracciolo A, 2020, Environmental Fate and Effects of Foaming Agents Containing Sodium Lauryl Ether Sulphate in Soil Debris from Mechanized Tunneling *Water*, 12(8), 2074.

- ✓ Rolando L, Rauseo J, Pescatore T, Patrolecco L, Garbini GL, Visca A, Grenni P, Barra Caracciolo A, 2020, Isolation and characterization in a soil conditioned with foaming agents of a bacterial consortium able to degrade sodium lauryl ether sulfate, *Frontiers in Microbiology*, 11:1542.
- ✓ Rolando L, Barra Caracciolo A, Grenni P, Mariani L, Rauseo J, Spataro F, Garbini GL, Visca A, Patrolecco L, 2021, Bioaugmentation with a consortium of bacterial sodium lauryl ether sulphate-degraders for remediation of contaminated soils, *Frontiers in Microbiology*, 12:740118.

2.1.2 TRATTE FERROVIARIE OGGETTO DI PRECEDENTI STUDI

Si riportano di seguito i progetti delle tratte ferroviarie nazionali a supporto dei quali, nell'ambito dei Piani di Utilizzo, sono stati condotti studi di condizionamento ed eco-tossicologici sito specifici finalizzati alla gestione dei terreni provenienti dallo scavo meccanizzato con additivi in qualità di sottoprodotti:

- ✓ Itinerario Napoli-Bari: Raddoppio della tratta Apice-Orsara. I° Lotto Funzionale Apice-Hirpinia
- ✓ Itinerario Napoli-Bari: Raddoppio della tratta Apice-Hirpinia-Orsara-Bovino. Tratta Hirpinia-Orsara
- ✓ Itinerario Napoli-Bari: Raddoppio della tratta Apice-Hirpinia-Orsara-Bovino. Tratta Orsara-Bovino
- ✓ Raddoppio della Linea Ferroviaria Messina - Catania, tratta Giampileri –Fiumefreddo
- ✓ Direttrice Ferroviaria Palermo-Catania-Messina “Nuovo Collegamento Palermo-Catania – Tratta Fiumetorto – Lercara Diramazione (Lotto 1+2) ”
- ✓ Direttrice Ferroviaria Palermo–Catania–Messina, "Nuovo Collegamento Palermo–Catania, tratta Lercara-Dir. - Caltanissetta Xirbi”
- ✓ Direttrice Ferroviaria Palermo-Catania-Messina “Nuovo Collegamento Palermo-Catania – Tratta Nuova tratta Caltanissetta Xirbi – Enna e tratta Enna – Dittaino (Lotto 4A e 4B)”
- ✓ *Cintura di Torino e Connessioni alla Linea Torino - Lione ("Nuova linea Torino - Lione - Tratta Nazionale")*
- ✓ *Tratta A.V. /A.C. Terzo Valico Dei Giovi*
- ✓ *Linea Ferroviaria Milano-Napoli: Nodo di Firenze – Penetrazione urbana linea A.V. Passante AV Firenze*
- ✓ *Nodo Di Palermo: Raddoppio Palermo C.Le / Brancaccio – Carini Tratta B: Variante Palermo Notarbartolo – La Malfa*

3 APPROCCIO METODOLOGICO UTILIZZATO PER GLI STUDI

Al fine di valutare se il prodotto schiumogeno presente nel terreno, nelle condizioni adottate nelle prove di laboratorio, produca effetti eco-tossicologici significativi, è necessario allestire appositi microcosmi in scala di laboratorio o mesocosmi. L'allestimento della sperimentazione in microcosmi (o mesocosmi) ha lo scopo di simulare la maturazione dei terreni in cantiere (piazzola o vasca) e campionamenti a tempi prefissati (es. 0, 7, 14 giorni) di aliquote di terreno condizionato permettono la valutazione della loro compatibilità ambientale tramite l'applicazione di test ecotossicologici standardizzati. È importante sottolineare che sebbene le procedure di tali biotest siano riportate in linee guida o procedure ufficiali, la loro corretta applicazione in matrici ambientali reali, come il terreno di scavo condizionato, richiede personale altamente specializzato e con significative esperienze nel campo ed in analoghi *Studi Sperimentali*. Infatti, può accadere che la natura granulometrica e mineralogica (es. presenza di argille contenenti montmorillonite) possa influenzare sia le determinazioni chimiche del tensioattivo sia i risultati dei test ecotossicologici. La consolidata esperienza in tale campo permette di ovviare a tali problematiche ottenendo ad esempio (tramite opportune accortezze operative) dei controlli (terreni non trattati) liberi da "false tossicità intrinseche" dovute ad interferenze della matrice stessa.

Più in dettaglio, l'approccio prevede un allestimento di microcosmi o mesocosmi contenenti i terreni selezionati condizionati con gli agenti schiumogeni secondo i parametri definiti dalle prove geotecniche e di condizionamento. Parallelamente devono essere allestiti set sperimentali con il terreno non condizionato da considerare come controllo.

I microcosmi vengono allestiti utilizzando contenitori in vetro con capienza adeguata al contenimento di aliquote di circa 1-2 kg di terreno condizionato o non (controllo) con il prodotto schiumogeno. I microcosmi vengono protetti da un coperchio in vetro non sigillante per evitare da una parte contaminazioni esterne, ma allo stesso tempo tale da consentire l'aerazione e l'evaporazione della fase acquosa, simulando quanto può avvenire in cantiere nel corso della stesa al suolo secondo la normale pratica industriale. Trattandosi usualmente di contenitori senza fondo drenante, non vi è possibilità di perdite di prodotto con la fase acquosa. In tale modo, l'eventuale diminuzione dell'eco-tossicità nel corso della maturazione potrà pertanto essere imputabile esclusivamente a processi degradativi del prodotto additivato. Poiché la temperatura e il contenuto di umidità del terreno sono due parametri fisici fondamentali per i processi degradativi, essi devono essere monitorati per tutta la durata dell'esperimento. Una stessa molecola può, infatti, seguire velocità degradative differenti in funzione di temperatura e umidità.



LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI
MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO
MECCANIZZATO CON ADDITIVI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	20/72

Sub-aliquote di terreno sono prelevate da ciascun microcosmo a tempi di maturazione prestabiliti (es. 0, 7, 14 e 28 giorni) per le determinazioni analitiche del tensioattivo anionico **sodio lauril etere solfato (SLES)**, principale componente di tali formulati, e per l'applicazione di biotest specifici su tale matrice. Parallelamente, aliquote di terreno sono prelevate per la preparazione dell'elutriato (estrazione acquosa) sul quale eseguire analisi chimiche e ulteriori test ecotossicologici. L'estrazione acquosa dal terreno (additivato e non), si ottiene mediante agitazione con acqua deionizzata, secondo quanto previsto nella norma CEN 12457-2 (ai sensi del D.M. 05/02/1998 e s.m.i.). In particolare, si porrà a contatto il campione di terreno, di cui è stata preliminarmente determinata l'umidità, con acqua distillata (dieci parti in peso), ivi compresa l'acqua inizialmente presente nel campione da valutare. Il campione viene sottoposto ad agitazione rotante continua per 24 h alla temperatura di 20°C. Successivamente si lascia decantare la sospensione per 15 minuti e quindi si sottopone a centrifugazione per separare la fase liquida da quella solida. Il surnatante, che costituisce l'estratto acquoso, viene raccolto ed utilizzato per effettuare simultaneamente, ove necessario, i test eco-tossicologici su organismi rappresentativi del comparto acquatico e del comparto terrestre. Per quanto riguarda la determinazione analitica dello SLES, in assenza di metodi ufficiali per la sua determinazione nelle matrici solide, si utilizza il metodo per la misura della concentrazione di SLES nel terreno messo a punto e validato dal CNR. Tale metodo si basa sulla combinazione della tecnica di estrazione liquida pressurizzata (PLE) in condizioni di elevata temperatura e pressione e la successiva determinazione del tensioattivo nell'estratto con il metodo ufficiale MBAS (Sostanze attive al Blu di Metilene – APAT-IRSA 5170) parzialmente modificato, in quanto si utilizza come standard di calibrazione il tensioattivo anionico SLES in sostituzione del Sodio Docedil Solfato (SDS), previsto dal metodo stesso (Rauseo et al., 2017)¹.

In riferimento alle tipologie di utilizzo finale delle terre e rocce da scavo, i test eco-tossicologici sono preferibilmente riferiti sia al comparto terrestre che acquatico utilizzando appositi organismi, selezionati anche in funzione della tipologia di schiumogeno da adottare per il condizionamento nonché della destinazione d'uso finale dei terreni di scavo.

¹ Rauseo J., Ademollo N., Pescatore T., Patrolecco L. (2017). Determinazione di tensioattivi anionici in terreni provenienti dallo scavo sotterraneo mediante Estrazione Liquida Pressurizzata (PLE) e metodo MBAS (Sostanze Attive al Blu di Metilene) modificato. IRSA-CNR Notiziario dei metodi analitici, Vol. 1, 15-22.

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A	PAG. 21/72

L'obiettivo della sperimentazione è valutare se i terreni condizionati con i prodotti schiumogeni selezionati e rappresentativi dello scavo, possano produrre un effetto significativo, alle reali concentrazioni di utilizzo, sugli organismi test considerati rispetto agli stessi terreni di controllo non condizionati. Il test per ogni singolo organismo sarà ripetuto ai medesimi tempi di maturazione dei terreni, allo scopo di valutare la variazione degli eventuali effetti rilevati in relazione ai tempi di maturazione dello stesso.

Con tale approccio, pertanto, è possibile verificare il potenziale impatto eco-tossicologico riconducibile alla presenza dei prodotti schiumogeni nei terreni selezionati, e valutare parallelamente la variazione dello stesso in relazione ai tempi di maturazione dei terreni considerati.

3.1 STUDI DI CONDIZIONAMENTO

Preliminarmente agli studi di compatibilità ambientale (impatto eco-tossicologico) viene effettuato un approfondimento riguardo al condizionamento dei terreni e dei litotipi rappresentativi dello scavo delle gallerie in progetto.

Innanzitutto, lo sviluppo di considerazioni circa il condizionamento dei materiali da scavare prevede l'analisi del profilo geotecnico della galleria al fine di individuare il tratto, o i tratti, più rappresentativo ai fini del condizionamento, ad esempio: il tratto prevalente rispetto agli altri per litologia, per il valore di pressione da mantenere al fronte di scavo, caratterizzato da una certa litologia, ecc.

Una volta selezionato il tratto, o i tratti, più rappresentativo si procede:

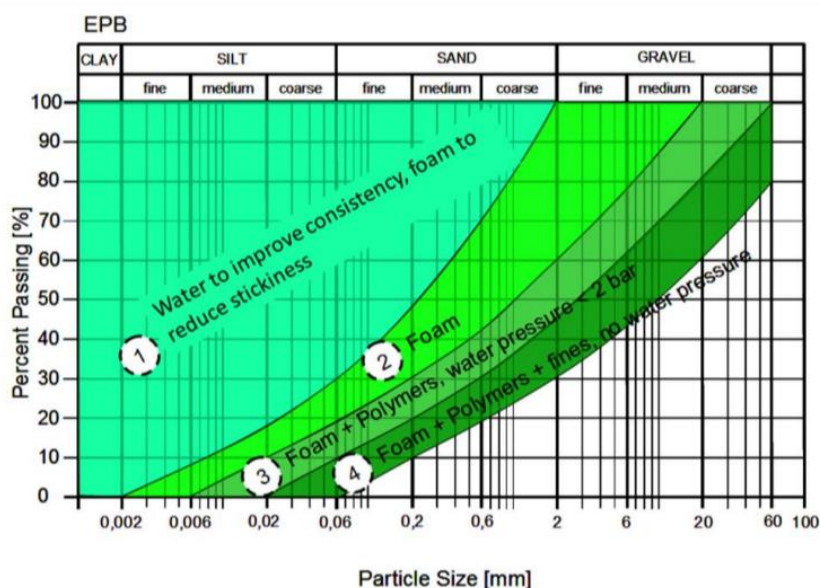
- ✓ nelle fasi di progettazione preliminari (progetto di fattibilità tecnico economica e progetto definitivo), con il confronto del caso analizzato con le indicazioni di letteratura sul tema, evidenziando eventualmente casi già studiati e sperimentati in precedenza, simili per litologia, caratteristiche geotecniche e tecnologia di scavo.
- ✓ in fase di progettazione esecutiva, effettuando uno studio di condizionamento mediante prove di laboratorio su campioni di terreno prelevati in situ. I campioni devono essere anch'essi rappresentativi del tratto rappresentativo. Dovranno essere previste prove di caratterizzazione dei terreni per definirne le caratteristiche granulometriche, il contenuto naturale di acqua, la massa volumica, i limiti di Atterberg, ecc. Dal confronto delle caratteristiche dei campioni prelevati con quelli del tratto in esame è possibile verificare la reale rappresentatività del terreno

campionato. La rappresentatività dei terreni valutati per lo studio di condizionamento merita un paragrafo dedicato, all'interno della relazione progettuale.

In letteratura esistono indicazioni generali circa la tipologia di condizionamento a seconda delle caratteristiche granulometriche del terreno da scavare. Si riporta in Figura 6 – **Campo di applicazione di una TBM di tipo EPB ed indicazioni generali circa il condizionamento (Thewes 2007)**

un esempio tratto dalle raccomandazioni dell'associazione tedesca delle gallerie "DAUB" (Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V.), German Tunnelling Committee, facente parte dell'International Tunnelling and Underground Space Association (ITA-AITES): "Recommendations for Face Support Pressure Calculations for Shield Tunnelling in Soft Ground" (2016).

Inoltre, sulla base di cases histories EFNARC, European federation dedicated to specialist construction chemicals and concrete systems, ha pubblicato delle linee guida (2005) nelle quali suggerisce dei possibili range di condizionamento per i parametri: FIR (Foam Injection Ratio), FER (Foam Expansion Ratio) e Cf (Concentration of surfactant agent in water). Per il parametro FIR (che individua la quantità di schiuma da utilizzare in percentuale rispetto al volume di terreno in banco) riporta alcuni valori di riferimento che variano a seconda del tipo di terreno (Tabella 1). Indica anche che il valore di FER dovrebbe essere compreso nell'intervallo 5-30. Sottolinea tuttavia che solo i test in condizioni operative di scavo possono confermare o meno la reale efficacia del prodotto e dei parametri di condizionamento scelti.



	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>PAG.</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>23/72</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	23/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	23/72								

Figura 6 – Campo di applicazione di una TBM di tipo EPB ed indicazioni generali circa il condizionamento (Thewes 2007)

Tabella 1 - FIR indicativi per i diversi tipi di terreno (EFNARC)

Soil	FIR [%]
Clay	30-80
Sandy clay-silt	40-60
Sand clayey silt	20-40
Sand	30-40
Clayey gravels	25-50
Sandy gravels	30-60

Riguardo alle prove di laboratorio su campioni di terreno, ne esistono alcune tipologie che forniscono indicazioni utili a definire il tipo di additivo da utilizzare e le quantità da utilizzare (range di parametri di condizionamento).

Le prove più comunemente in uso sono le seguenti (Merritt 2015, Peila 2011):

- ✓ prova di semivita della schiuma, per verificarne la stabilità nel tempo;
- ✓ slump test per misurare la plasticità e la lavorabilità del terreno condizionato;
- ✓ prove di stabilità nel tempo del terreno condizionato;
- ✓ prove di permeabilità del terreno condizionato;
- ✓ prove di usura con il terreno condizionato;
- ✓ prove di estrazione con la coclea per valutare l'estraibilità del materiale condizionato;
- ✓ prove di adesione del terreno condizionato per misurarne l'adesione rispetto a componenti metallici;
- ✓ prova di spandimento (mortar flow table test) per verificare la plasticità del terreno condizionato;
- ✓ vane test per la determinazione della resistenza al taglio non drenata del terreno condizionato.

In generale, prima dell'avvio dello scavo meccanizzato, le prime tre prove vengono eseguite, le altre vengono selezionate e condotte a seconda delle caratteristiche del terreno, delle condizioni idrogeologiche e di pressione durante lo scavo.

Per eseguire le prove di condizionamento sul terreno è necessario reperire una quantità di campione sufficiente e ciò presenta notevoli difficoltà operative. Per eseguire una semplice campagna di prove di



**LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

**ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI
MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO
MECCANIZZATO CON ADDITIVI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	24/72

slump su un litotipo con almeno due prodotti sono necessari ca. 150-200 kg già vagliato a ca. 2 cm e, tolti i prelievi per prove geotecniche e chimico-ambientali, ciò corrisponde a ca. 30-40 m di sondaggio. Per prove di estrazione con coclea la quantità necessaria a testare un singolo litotipo con due prodotti può arrivare a ca. 800 kg già vagliati a ca. 2 cm. Si tratta di prelevare un tratto “rappresentativo” per ciascun litotipo di ca. 160-180m con uno o più sondaggi.

È evidente che nelle prime fasi di progettazione lo studio di condizionamento mediante prove in laboratorio presenta criticità evidenti: prima dell’inizio dei lavori non sempre è possibile avere a disposizione sufficienti quantità di materiale per ciascun litotipo, non si hanno a disposizione le aree nelle quali effettuare i sondaggi e meno flessibilità di utilizzo dei mezzi operativi. Inoltre, la scelta progettuale della tecnologia di scavo viene effettuata nella fase finale del processo di progettazione della galleria, pertanto le nuove attività connesse allo studio di condizionamento si aggiungono in coda al processo allungando i tempi della progettazione.

La fase esecutiva è sicuramente quella più idonea nella quale effettuare le prove di condizionamento. poiché, in generale, è la fase ultima di definizione del modello geologico, idrogeologico e geotecnico del progetto; in questa fase si acquisiscono le aree sulle quali possono essere effettuati i sondaggi/campionamenti; si hanno a disposizione i mezzi operativi per realizzarli; viene configurata e progettata la macchina di scavo.

Inoltre, in generale, proprio in questa fase subentra l’impresa costruttrice che autonomamente e secondo le proprie competenze e responsabilità effettua lo studio di condizionamento scegliendo i prodotti e le relative quantità di utilizzo che ritiene più idonei allo scavo, tenendo conto anche della presenza sul mercato di prodotti innovativi e verificandone la compatibilità ambientale.

E’ opportuno sottolineare comunque che, in fase di scavo, il consumo effettivo di additivo dipende dalle caratteristiche e dalle reali performance della TBM-EPB, dalla capacità degli operatori di macchina e dalle condizioni del terreno realmente incontrate (Merritt 2015). Basti pensare che oggi esistono frese dotate di impianti di condizionamento in grado di iniettare attraverso ugelli diversi più additivi contemporaneamente (acqua libera, schiuma, soluzione con polimero, ecc.) al fronte, in camera di scavo o nella coclea, a seconda delle necessità. La corretta disposizione degli ugelli, la giusta correlazione tra capacità di penetrazione in fase di scavo e portata di additivi, la potenza dell’impianto di compressione dell’aria, ecc. sono strumenti molto efficaci che è opportuno predisporre al fine di ottimizzare il consumo di additivi.

	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>25/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	25/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	25/72								

L'iter di definizione della tipologia di prodotti condizionanti e delle relative quantità è, quindi, il seguente:

- ✓ in via preliminare, formulazioni di correlazioni a casi di letteratura e/o a studi di condizionamento già eseguiti;
- ✓ in fase esecutiva, esecuzione di uno studio di condizionamento con prove di laboratorio, su campioni prelevati in situ, per determinare la tipologia di additivi e le relative quantità, dove le prove sono eseguite con gli additivi scelti dal Proponente o dall'Appaltatore.

Lo schema procedurale dello studio di condizionamento è essenzialmente il seguente:

- ✓ individuazione del tratto (o dei tratti) più rappresentativo al fine dello studio di condizionamento
- ✓ analisi preliminare delle caratteristiche del litotipo, o dei litotipi, da studiare e preparazione dei campioni per l'esecuzione delle prove. In questa fase, per una o più litotipi rappresentativi, si esegue un'analisi granulometrica e si determina il contenuto d'acqua naturale ed i limiti di Atterberg dei campioni consegnati presso il laboratorio. Per questa fase è necessario disporre, oltre che dei campioni, anche della caratterizzazione geologica e geotecnica dell'ammasso roccioso di progetto;
- ✓ definizione della campagna di prove sulla base delle caratteristiche geotecniche del tratto da attraversare, prevedendo almeno 5 prove di slump per ogni agente condizionante e pari prove di stabilità nel tempo del terreno condizionato, nonché prove di semivita delle schiume. Questa campagna di prove dovrà definire le caratteristiche dei parametri di condizionamento: FIR e FER. Si ritiene - sulla base delle esperienze pregresse - che siano necessarie fino a 10 prove per ogni agente condizionante. La concentrazione dei prodotti condizionanti sarà definita sulle base delle indicazioni dei produttori;
- ✓ esecuzione del condizionamento, secondo i parametri definiti nel precedente punto, per ogni litotipo al termine della campagna di prove, comprendente 1 campione naturale, X campioni condizionati con X agenti condizionanti e successivo avvio di tali campioni condizionati e non condizionati (tal quali, ovvero vagliati a 2 mm) ai laboratori di eco-tossicologia per le prove di carattere ambientale.

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A	PAG. 26/72

3.2 STUDI DI COMPATIBILITÀ AMBIENTALE SITO-SPECIFICA

Il **CNR** ha condotto numerosi studi di compatibilità ambientale sito-specifica relativi a diverse tratte ferroviarie utilizzando un approccio ecologico che si è avvalso di studi in microcosmi e mesocosmi che simulano la maturazione del terreno additivato con i prodotti schiumogeni.

In questi studi è stata dimostrata la biodegradabilità delle sostanze principali contenute negli agenti condizionanti e la validità dell'applicazione di test ecotossicologici sulla matrice solida e sul suo estratto acquoso (elutriato) per valutare l'assenza di tossicità nelle terre condizionate. Inoltre, è stato anche dimostrato che alcuni prodotti a parità di "performance" geotecnica sono risultati meno compatibili con l'ambiente poiché hanno mostrato alcune criticità in termini di ecotossicità verso l'ambiente acquatico. Quest'ultimo è risultato il comparto più sensibile alla presenza di concentrazioni residuali di prodotti schiumogeni.

Il tensioattivo anionico **sodio lauril etere solfato**, comunemente denominato **SLES**, è il principale componente presente in tali formulati, in quantità comprese tra il 10 e il 30% del prodotto. Lo SLES è caratterizzato da un elevato peso molecolare e in base alla lunghezza della catena lineare idrocarburica (che varia da 10 a 16 atomi di carbonio) e del numero di gruppi etossilati (in genere 2 o 3) viene indicato con diversi numeri di CAS (Chemical Abstract Service number, è un codice numerico che individua in maniera univoca una sostanza chimica). Ulteriori additivi possono essere presenti in quantità minoritarie nei prodotti schiumogeni e possono includere polimeri sintetici o naturali, grassi, biocidi, anti-congelanti o pigmenti di varia natura e funzione.

Di seguito vengono riassunti i principali risultati ottenuti in diversi studi sperimentali che sono stati condotti al fine di valutare la compatibilità ambientale sito-specifica di terreni rappresentativi di uno scavo condizionati con prodotti schiumogeni. L'attività, iniziata nel 2014, ha avuto un forte impatto nel migliorare significativamente la scelta di prodotti commerciali meno ecotossici, stimolando le aziende produttrici a formulare nuovi prodotti sempre più eco-compatibili, eliminando dal mercato nazionale i prodotti commerciali di "vecchia generazione".

1) Caratterizzazione ambientale delle terre e rocce prodotte nella realizzazione del passante AV di Firenze

	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>27/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	27/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	27/72								

Nell'ambito di tale progetto sono stati considerati inizialmente 5 prodotti schiumogeni: POLYFOAMER ECO 100, MasterRoc SLF41, MasterRoc ACP143, Foamex ECN e il Foamex HSN.

Il prodotto commerciale MasterRoc ACP 143 è stato scartato per motivi geotecnici mentre per gli altri quattro prodotti è stata effettuata una valutazione preliminare del rischio ambientale che ha permesso di individuare i due prodotti più ecocompatibili da testare in una seconda fase in esperimenti di laboratorio.

Nello specifico è stata effettuata sia una valutazione preliminare del rischio ecotossicologico dei quattro prodotti commerciali (POLYFOAMER ECO 100, MasterRoc SLF41, Foamex ECN e Foamex HSN), basata sulle principali sostanze contenute nei prodotti stessi, sia una valutazione di ecotossicità intrinseca di tali prodotti determinando per ciascuno una concentrazione di effetto (EC) tossico. Quest'ultima determinazione è stata effettuata esponendo diversi organismi test quali: *Pseudokirchneriella subcapitata* (EC: inibizione della crescita algale, OECD, 2002), *Vibrio Fischeri* (EC: inibizione della bioluminescenza, ISO 11348-3:2007) e *Lepidium Sativum* (EC: germinazione e accrescimento, APAT- RTI CTN_TES 1/2004 e OECD 208) a diverse concentrazioni di prodotto commerciale per un determinato periodo di tempo. Per il prodotto Foamex ECN era stato consigliato dalla ditta produttrice (Lamberti) l'uso di BIOGEL 5000 C (polimero aggiuntivo) contenente solo polimeri naturali e pertanto tale polimero fu considerato solo nella valutazione dell'ecotossicità intrinseca dei prodotti e non nell'analisi di rischio.

La scelta degli schiumogeni POLYFOAMER ECO 100 e MasterRoc SLF41 sui quali proseguire gli approfondimenti è stata effettuata in base alla combinazione dell'idoneità dell'utilizzo di tali prodotti commerciali per i 2 litotipi rappresentativi del sito di scavo (precedentemente individuati dalle prove geotecniche) e della loro minore ecotossicità intrinseca.

Studi di biodegradazione in microcosmi

Sui 2 prodotti selezionati (POLYFOAMER ECO 100 e MasterRoc SLF41) sono stati effettuati studi in microcosmo utilizzando i 2 litotipi oggetto di studio (nominati terreno 1 e terreno 2) condizionati con i prodotti schiumogeni utilizzando un dosaggio ottimale (espresso come treatment ratio: TR) individuato da precedenti test geotecnici (vedi tabella di seguito).

Tabella 2 TR utilizzati nei microcosmi per gli studi di biodegradazione, corrispondenti concentrazioni di SLES nel terreno e percentuali di SLES nel prodotto schiumogeno indicati dalla casa madre.

Prodotto	Terreno 1: argille limose		Terreno 2: ghiaie in matrice limoso-sabbioso-argillosa		SLES prodotto (%)
	TR (L/m ³)	SLES (mg/kg)	TR (L/m ³)	SLES (mg/kg)	
MasterRoc SLF 41	0,48	98	0,40	83	20-30
POLYFOAMER ECO 100	1,0	85	0,60	83	10-20

Gli studi in microcosmo hanno dimostrato la biodegradabilità dello SLES con una cinetica di degradazione più veloce nel terreno 1 rispetto al terreno 2. Infatti, i tempi di dimezzamento (DT_{50}) sono risultati essere pari a 6 giorni nel terreno 1 per entrambi i prodotti utilizzati (concentrazione iniziale 85 e 98 mg/kg per POLYFOAMER ECO 100 e MasterRoc SLF41, rispettivamente) e 9 e 8 giorni nel terreno 2 per POLYFOAMER ECO 100 e MasterRoc SLF41, rispettivamente (concentrazione iniziale 83 mg/kg per entrambi i prodotti). A conferma della biodegradabilità dello SLES, dopo 28 giorni il tensioattivo anionico è stato rilevato con una concentrazione residuale (<1% rispetto alla concentrazione iniziale) in entrambe le tipologie di terreno trattate con i due diversi prodotti schiumogeni.

L'aver dimostrato la biodegradabilità del tensioattivo SLES nella matrice ambientale (terreno condizionato proveniente dal sito di scavo) è stato un risultato fondamentale per dimostrare che le terre scavate lasciate maturare nel sito di deposito possono subire una bioattenuazione naturale grazie all'opera di microorganismi ambientali che sono in grado di rimuoverlo.

Studi in microcosmi e valutazione dell'ecotossicità a diversi tempi dal condizionamento

Al fine di rispondere a possibili esigenze di cantiere qualora si incontrassero litotipi che richiedessero concentrazioni di schiumogeno maggiori di quelle inizialmente individuate nello studio precedente, sono state effettuate ulteriori prove con TR estremi (vedi tabella di seguito). Durante tale sperimentazione sono stati valutati gli effetti ecotossici complessivi degli agenti schiumogeni, polimeri e grassi di stillicidio potenzialmente presenti nel terreno di scavo durante la permanenza in cantiere. Pertanto, i 2 litotipi

oggetto di studio sono stati miscelati con i prodotti schiumogeni POLYFOAMER ECO 100 e MasterRoc SLF41 (con TR maggiorati come riportato in tabella di seguito) additivati con i rispettivi polimeri (indicati dalla casa madre) e grassi di stillicidio secondo i parametri di condizionamento (suggeriti dalle ditte produttrici e verificati in laboratorio con prove geotecniche).

Tabella 3 - TR dei prodotti commerciali+ eventuali polimeri e grassi utilizzati nei microcosmi e corrispondenti concentrazioni di SLES nel terreno

Prodotto	Terreno 1: argille limose		Terreno 2: ghiaie in matrice limoso-sabbioso-argillosa	
	TR (L/m ³)	SLES (mg/kg)	TR (L/m ³)	SLES (mg/kg)
MasterRoc SLF41 + Polimero MasterRoc SLP2	2,13 + 0,13	350,2	1,58 + 0,088	173,2
POLYFOAMER ECO 100 + Polimero MAPEDRILL XG01	2,25	191,3	1,75 + 1,17	97,6

Sebbene il condizionamento dei terreni riguardasse la matrice solida, al fine di simulare il “caso peggiore”, cioè che tutto il terreno condizionato potesse venire in contatto diretto con un corpo idrico, ne è stato misurato il contenuto di SLES e sono stati effettuati dei biotest a tempi prestabiliti utilizzando come organismi bersaglio quattro specie acquatiche ed una specie terrestre.

Nello specifico sono stati effettuati i seguenti test ecotossicologici a tempi prestabiliti sull'estratto acquoso del terreno (elutriato) ottenuto secondo quanto stabilito nel test di cessione CEN 12457-2:2004 (Characterisation of Waste - Leaching - Compliance Test for Leaching of Granular Waste Materials and Sludges. European Committee for Standardization, Brussels), ai sensi del D.M. 05/02/1998 e s.m.i. e prefiltrato con pompa da vuoto su filtri con porosità 0,45 µm per eliminare le particelle sospese seguendo quanto riportato nelle metodiche UNI EN 14735:2005 (Characterization of Waste—preparation of Waste Samples for Ecotoxicity Tests. European Committee for Standardization, Brussels).

Di seguito vengono riportati i test applicati e le relative metodiche standard:

- test di inibizione algale su *Pseudokirchneriella subcapitata* (OECD 201),
- test di ecotossicità acuta su *Vibrio fischeri* (ISO 11348-3:2007),
- test di germinazione con *Lepidium sativum* (APAT- RTI CTN_TES 1/2004),
- test di immobilizzazione con *Daphnia magna* (OECD 202; UNI EN ISO 6341:2012)
- test di tossicità su embrioni di pesce (FET) *Danio rerio* (OECD 236; ISO 15088:2007).

I risultati dei cinque test ecotossicologici sono stati poi integrati in un indice di batteria mediante un software ufficiale (riportato nel Manuale Ispra 88/2013 “*Batterie di saggi ecotossicologici per sedimenti e acque interne*”) che consente di valutare complessivamente i risultati dei vari test in base alla loro robustezza fornendo valori di rischio e di tossicità ambientale.

Dai test è emerso che il terreno 1 trattato con POLYFOAMER ECO 100 alle concentrazioni iniziali di SLES di 191,3 mg/kg solo dopo 28 giorni di maturazione risultava essere privo di tossicità ambientale; il terreno 2 trattato con lo stesso schiumogeno (SLES:97,6 mg/kg) risultava essere ecocompatibile già dopo 14 giorni. I due terreni trattati con MasterRoc SLF41 erano sempre non conformi (concentrazione iniziale di SLES 350,2 mg/kg nel terreno 1 e 173,2 mg/kg nel terreno 2).

In linea con i risultati dei test ecotossicologici, lo SLES ha mostrato una maggiore persistenza (DT_{50} terreno= 45,8 giorni; DT_{50} elutriato 49 giorni) nel terreno 1 condizionato con MasterRoc SLF41+polimero MasterRoc SLP2 + grassi di lubrificazione rispetto allo stesso terreno condizionato con lo schiumogeno POLYFOAMER ECO 100+grassi, (DT_{50} terreno= 28,6 giorni; DT_{50} elutriato= 23,7 giorni).

Studi in mesocosmi (fusti) per prove geotecniche e di lisciviazione del tensioattivo

Al fine di simulare il processo di stoccaggio dei terreni, prima della loro utilizzazione come sottoprodotti, sono stati allestiti dei mesocosmi (costituiti da fusti di maturazione) contenenti le due tipologie di terreno condizionate con gli agenti schiumogeni POLYFOAMER ECO 100 e MasterRoc SLF41 con aggiunta dei rispettivi polimeri rafforzanti le schiume, come riportato in tabella 2 (microcosmi). A tempi prefissati sono state prelevate dai fusti sub-aliquote di terreno e l'acqua di drenaggio quando presente per effettuare prove geotecniche e determinazioni chimiche (contenuto di SLES).

I risultati ottenuti hanno mostrato che il tensioattivo SLES presente nell'agente schiumogeno POLYFOAMER ECO 100, eventualmente additivato con il polimero rinforzante Mapedrill XG01 (solo terreno 2), diminuiva sensibilmente durante la maturazione di entrambi i terreni e nelle corrispondenti acque di drenaggio. In accordo con quanto emerso dalla sperimentazione in microcosmo, la presenza del polimero nel terreno 2 non ha inibito la degradazione dello SLES che ha mostrato tempi di dimezzamento simili nei due terreni trattati (DT_{50} 12,1 giorni per il terreno 1 e 11,3 giorni per il terreno 2). Una maggiore persistenza dello SLES nei terreni trattati con MasterRoc SLF41 additivato del polimero rinforzante della schiuma MasterRoc SLP2 (DT_{50} 21,4 giorni per il terreno 1 e 19,7 giorni per il terreno 2) è stata confermata anche durante tale sperimentazione.

I risultati di questo studio sono alla base del successivo *Protocollo di caratterizzazione ambientale delle terre e rocce prodotte nella realizzazione del passante AV di Firenze* (Tavolo tecnico ISPRA-CNR-ISS-

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A

ARPAT per protocollo finalizzato all'aggiornamento del piano utilizzo terre riferito alla realizzazione del "Passante AV Nodo ferroviario di Firenze" nota MATTM Prot. DVA-2015-0027549 del 03/11/2015).

2) Studio sperimentale per la verifica dell'impatto ecotossicologico di un terreno trattato con prodotti condizionanti, come risultante da scavo meccanizzato con fresa TBM (Tunnel Boring Machine) di tipo EPB (Earth Pressure Balance), nell'ambito della realizzazione della Galleria Rivalta – Avigliana della nuova linea ferroviaria Torino – Lione (2017-18)

Nell'ambito di tale studio sono stati considerati inizialmente cinque prodotti schiumogeni: Actisoyl 20W; CLBF5 TM; Foamex SNG; MasterRoc SLF30; POLYFOAMER ECO 100; e 1 polimero: LAMGUM 200. Anche in questo caso lo SLES era il principale componente presente in tutti i formulati in quantità comprese tra il 5 e il 30% del prodotto (tabella di seguito).

Tabella 4 - Principali sostanze contenute nei prodotti commerciali, numero di CAS e percentuale di abbondanza di ogni sostanza nel formulato

Prodotto	Sostanza	CAS	Concentrazione (%)
Actisoyl 20W	Miscela di alcool (C12-14), etossilato, solfato, sale sodico (AES)	68891-38-3	<10
CLBF5 TM	Miscela di alcool (C12-14), etossilato, solfato, sale sodico (AES)	68891-38-3	5-10
	2-metil-2,4-pentadiolo	107-41-5	5-10
	Mono C10-16 alkyl, solfato sodio	68585-47-7	5-10
	Alcoli, C10-18	85711-71-3	<1
Foamex SNG	Alchil etere solfato di sodio	9004-82-4	10-30
MasterRoc SLF30	Sodium lauryl ether sulfate	68585-34-2	<30 %
POLYFOAMER ECO 100	Miscela di alcool (C12-14), etossilato, solfato, sale sodico (AES)	68891-38-3	10-20
	Dietilenglicol(mono)butilene	112-34-5	0,25-0,49
Lamgum 200	Polisaccaride naturale	-	-

Sui suddetti prodotti è stata effettuata una valutazione preliminare del rischio ecotossicologico basata sulle principali sostanze contenute nei prodotti stessi e tenendo conto delle relative percentuali di abbondanza. In base a tale valutazione sono stati selezionati i due prodotti schiumogeni risultati potenzialmente meno impattanti per l'ambiente: POLYFOAMER ECO 100 e Actisoyl 20W. Su questi ultimi stati effettuati i test geotecnici per stabilire i dosaggi ottimali (TR, L/m³) per ogni schiumogeno per condizionare il litotipo rappresentativo della tratta di scavo. Gli esiti di tali indagini hanno permesso di

	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>PAG.</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>32/72</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	32/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	32/72								

selezionare 2 valori di TR (minimi e massimi, vedi Tabella 4) rappresentativi delle condizioni estreme che possono verificarsi in fase di scavo.

Tabella 5 - TR (min e max) utilizzati nei microcosmi, corrispondenti concentrazioni di SLES nel terreno e percentuali di SLES nel prodotto schiumogeno indicati dalla casa madre

Prodotto	TR (L/m ³)	SLES (mg/kg)	SLES prodotto (%)
POLYFOAMER ECO 100	min 0,6	26,7	10-20
	max 1,2	79	
Actysoil 20W	min 0,6	55,7	<10
	max 1,2	62,4	

Studi di ecotossicità in microcosmo

Al fine di valutare l'ecotossicità in fase di scavo dei prodotti schiumogeni POLYFOAMER ECO 100 e Actisoyl 20W, sono stati allestiti dei microcosmi utilizzando il litotipo proveniente direttamente dal sito di scavo condizionato con i prodotti schiumogeni utilizzando i TR riportati in tabella 3.

A tempi prestabiliti sono state prelevate sub-aliquote di terreno da ciascun microcosmo utilizzate per produrre l'elutriato necessario per l'esecuzione delle prove ecotossicologiche e per la quantificazione dello SLES sia nel terreno che nell'estratto acquoso.

Nello specifico sono stati effettuati i seguenti test ecotossicologici sull'estratto acquoso del terreno (elutriato):

- test di inibizione algale su *Pseudokirchneriella subcapitata* (OECD 201),
- test di ecotossicità acuta su *Vibrio fischeri* (ISO 11348-3:2007),
- test di germinazione con *Lepidium sativum* (APAT- RTI CTN_TES 1/2004),
- test di immobilizzazione con *Daphnia magna* (OECD 202),
- test di tossicità su embrioni di pesce (FET) *Danio rerio* (OECD 236; ISO 15088:2007).

I risultati dei cinque test ecotossicologici sono stati poi integrati in un indice di batteria che ha consentito di valutare complessivamente i risultati dei vari test in base alla loro robustezza fornendo valori di rischio e di tossicità ambientale. Da tale valutazione è emerso che il terreno condizionato con POLYFOAMER ECO 100 ad entrambi i dosaggi non mostrava tossicità significativa già a partire dal 7° giorno dal condizionamento. Per quanto riguarda il prodotto Actisoyl 20W, al dosaggio più basso il terreno non esplicava alcun effetto tossico già al tempo zero mentre al dosaggio più alto (TR=1,2 L/m³) ciò si verificava solamente a partire dal 14° giorno.

In linea con l'esito della valutazione ecotossicologica, i risultati ottenuti dalla determinazione analitica dello SLES presente nei campioni di terreno e di elutriato hanno evidenziato una persistenza piuttosto bassa, ma variabile per i due schiumogeni analizzati.

Nello specifico la degradazione dello SLES nel terreno condizionato con POLYFOAMER ECO 100 non è risultata essere significativamente influenzata dal TR utilizzato. Infatti, i tempi di dimezzamento (DT_{50}) sono risultati essere di circa 9 (TR 0,6 L/m³, concentrazione iniziale 26,7 mg/kg) e 11 (TR=1,2 L/m³, concentrazione iniziale 79,0 mg/kg) giorni nel terreno e di 3 e 4 giorni negli elutriati.

Per quanto riguarda i terreni condizionati con lo schiumogeno Actisoil 20W, i tempi di dimezzamento dello SLES sono risultati dipendere dal TR di utilizzo. Infatti, i DT_{50} sono risultati essere nel terreno l'uno il doppio dell'altro, ossia 4,9 (TR 0,6 L/m³, concentrazione iniziale 55,7 mg/kg) e 8,2 (TR=1,2 L/m³, concentrazione iniziale 62,4 mg/kg) giorni e di 1 e 3,5 giorni nell'elutriato.

I risultati evidenziano che in taluni casi non è solo la concentrazione del tensioattivo SLES, ma che ci possono essere altri prodotti minoritari presenti nel prodotto commerciale che ne possono influenzare la tossicità.

3) Studio sperimentale per la verifica dell'impatto ecotossicologico di un terreno trattato con prodotti condizionanti, come risultante da scavo meccanizzato con fresa TBM (Tunnel Boring Machine) di tipo EPB (Earth Pressure Balance), nell'ambito della realizzazione delle gallerie della tratta Apice – Orsara del Lotto 1 Apice – Irpinia, rientrante nell'intervento di potenziamento della linea ferroviaria Napoli – Bari

Nell'ambito di tale progetto sono stati considerati inizialmente quattro prodotti schiumogeni: Foamex XSC, Foamex AGE, POLYFOAMER ECO 100 Plus, Actisoil 100. Anche in questo caso lo SLES è risultato essere il principale componente presente in tali formulati in quantità comprese tra il 5 e il 35% del prodotto (Tabella 5).

Tabella 6 - Principali sostanze contenute nei prodotti commerciali, numero di CAS e percentuale di abbondanza di ogni sostanza nel formulato

Prodotto	Sostanza	CAS	Concentrazione (%)
FOAMEX AGE	Derivato di alchilpoliglucoside	-	25-35%
FOAMEX SXC	Sodium laureth sulfate (SLES)	9004-82-4	10-15
POLYFOAMER ECO/100 PLUS	Sodium laureth sulfate (SLES)	9004-82-4	5-10
ACTISOYL 100	Sodium decyl sulphate	142-87-0	3-25%
	Alcohols, C12-14 (even numbered),	68891-38-3	1-10%

	ethoxylated < 2.5 EO, sulfates, sodium salts (SLES)		
	2-methylpentane-2,4-diol	107-41-5	1-10%
	Alcohols, C12-14	80206-82-2	0,1-10

È stata effettuata una valutazione preliminare del rischio ecotossicologico dei prodotti stessi, basata sulle principali sostanze in essi contenute e tenendo conto delle relative percentuali di abbondanza. Poiché, Actisoil 100, oltre allo SLES, presenta altri componenti per i quali l'analisi preliminare di rischio ha evidenziato delle potenziali criticità è stato escluso. Sugli altri schiumogeni (POLYFOAMER ECO 100 Plus, Foamex SXC e Foamex AGE) è stato eseguito un test ecotossicologico preliminare attraverso il saggio di tossicità acuta con *Vibrio fischeri* (ISO 11348-3:2007). I risultati di tale test hanno permesso di selezionare i due prodotti meno impattanti per l'ambiente: Foamex AGE e POLYFOAMER ECO 100 PLUS sui quali sono stati effettuati test geotecnici per stabilire i dosaggi ottimali (TR, L/m³) da utilizzare per condizionare il litotipo rappresentativo della tratta di scavo (terreno limoso-argilloso costituito da argille siltose-marnose e silt sabbioso). Gli esiti di tali indagini hanno permesso di selezionare 2 valori di TR (minimi e massimi, vedi tabella 6) rappresentativi delle condizioni estreme che possono verificarsi in fase di scavo.

Tabella 7 - TR utilizzati nei microcosmi, corrispondenti concentrazioni di SLES nel terreno e percentuali di SLES nel prodotto schiumogeno indicati dalla casa madre

Prodotto	TR (L/m ³)	SLES (mg/kg)	SLES prodotto (%)
Foamex AGE	1,04	-	0
POLYFOAMER ECO 100 PLUS	1,89	88,2	5-10

Studi di ecotossicità in microcosmo

Sono stati effettuati studi di ecotossicità in microcosmo sui prodotti Foamex AGE e POLYFOAMER ECO 100 PLUS utilizzando il litotipo proveniente dal sito di scavo condizionato con i prodotti schiumogeni utilizzando i TR individuati (tabella 6).

A tempi prestabiliti sono state prelevate sub-aliquote di terreno da ciascun microcosmo per produrre l'elutriato necessario per l'esecuzione delle prove ecotossicologiche e per la quantificazione dello SLES sia nel terreno che nell'estratto acquoso.

Nello specifico sono stati effettuati quattro test ecotossicologici sull'estratto acquoso del terreno (elutriato):

- test di ecotossicità acuta su *Vibrio fischeri* (ISO 11348-3:2007),

- b) test di germinazione con *Lepidium sativum* (APAT - RTI CTN_TES 1/2004),
- c) test di tossicità su embrioni di pesce (FET) *Danio rerio* (OECD 236; ISO 15088:2007).
- d) test di inibizione della riproduzione del lombrico, *Eisenia foetida* (APAT - RTI CTN_SSC 2/2002)

I risultati dei quattro test ecotossicologici sono stati poi integrati in un indice di batteria che consente di valutare complessivamente i risultati dei vari test in base alla loro robustezza fornendo valori di rischio e di tossicità ambientale.

Da tale valutazione è emerso che sia il terreno (*E. foetida*) che gli elutriati (*V. fischeri*, *L. sativum*, *D. rerio*, *E. foetida*) non sono risultati tossici per gli organismi testati già a partire dal tempo di inizio sperimentazione (t=0 giorni) e per tutta la durata della stessa (t=28 giorni).

4) Studio Sperimentale per la verifica dell'impatto ecotossicologico di un terreno trattato con prodotti condizionanti, come risultante da scavo meccanizzato con fresa TBM, nell'ambito della realizzazione della Galleria del Raddoppio Apice – Hirpinia – Orsara - Bovino, Tratta Hirpinia – Orsara.

Nell'ambito di tale progetto sono stati valutati i possibili effetti ecotossicologici riconducibili alla presenza del prodotto schiumogeno POLYFOAMER ECO 100 PLUS e dell'eventuale additivo anti-clogging Stabilfoam 300 (tabella 7) in due litologie di terreno rappresentative della tratta di scavo (terreno 1: argilloso - Campione AVR e terreno 2 argilloso-sabbioso - Campione TFR).

Tabella 8 - Principali sostanze contenute nei prodotti commerciali, numero di CAS e percentuale di abbondanza di ogni sostanza nel formulato

Prodotto	Sostanza	CAS	Concentrazione (%)
POLYFOAMER ECO/100 PLUS	sodium laureth sulfate (SLES)	9004-82-4	5-10
Stabilfoam 300	miscela di alcool C12-14, etossilati, solfato, sale sodico	68891-38-3	25-50

Anche in questo caso lo SLES è risultato essere il principale componente presente in tali formulati in quantità comprese tra il 5 e il 10% del prodotto. Inoltre, lo SLES è risultato essere il principale componente del polimero Stabilfoam 300 con una percentuale compresa tra il 25 e il 50%.

I test geotecnici effettuati sui prodotti hanno permesso di stabilire i dosaggi ottimali (TR, L/m³, tabella 8) da utilizzare per condizionare i due litotipi rappresentativi della tratta di scavo (terreno 1 e terreno 2).

Tabella 9 - TR utilizzati nei microcosmi, corrispondenti concentrazioni di SLES nel terreno e percentuali di SLES nel prodotto schiumogeno indicati dalla casa madre

Prodotto	Terreno 1 argilloso (AVR) TR (L/m ³)	Terreno 2 argilloso-sabbioso (TFR) TR (L/m ³)	SLES (mg/kg)	SLES prodotto (%)
POLYFOAMER ECO 100 PLUS + Stabilfoam 300	0.94 + 0.2		105.8	5-10+25-50
POLYFOAMER ECO 100 PLUS		1.26	76.1	5-10

Studi di ecotossicità in microcosmo

I terreni miscelati con lo schiumogeno POLYFOAMER ECO 100 PLUS con (terreno 1) o senza (terreno 2) l'additivo Stabilfoam 300 sono stati utilizzati per eseguire gli esperimenti in scala di laboratorio. A tempi prestabiliti sono state prelevate sub-aliquote di terreno da ciascun microcosmo utilizzate per la produzione dell'elutriato e per la quantificazione dello SLES sia nel terreno che nell'estratto acquoso.

Su entrambe le matrici sono stati eseguiti i seguenti test ecotossicologici:

- test di ecotossicità acuta su *Vibrio fischeri* (ISO 11348-3:2007),
- test di germinazione con *Lepidium sativum* (APAT - RTI CTN_TES 1/2004),
- test di inibizione della riproduzione del lombrico, *Eisenia foetida* (APAT - RTI CTN_SSC 2/2002)
- test di mortalità e inibizione crescita del crostaceo *Heterocypris incongruens* (APAT - RTI CTN_TES 1/2004)

I risultati di tali test (il primo e il secondo eseguiti utilizzando l'estratto acquoso mentre gli altri eseguiti direttamente sul terreno) hanno evidenziato che il terreno 1 (argilloso, campione AVR) condizionato con POLYFOAMER ECO 100 PLUS+Stabilfoam 300 non produceva effetti ecotossicologici evidenti e significativi su tutti gli organismi testati a partire dal 7° giorno di maturazione del terreno. Per quanto riguarda il terreno 2 (argilloso-sabbioso, Campione TFR), condizionato con POLYFOAMER ECO 100 PLUS, non sono stati evidenziati effetti ecotossicologici significativi sugli organismi testati già a partire dal tempo iniziale di condizionamento (t=0 giorni) e per tutta la durata della sperimentazione (28 giorni). Questi risultati sono in linea con la concentrazione iniziale di SLES maggiore nel terreno 1 rispetto al terreno 2.

- 5) Studio sperimentale per la verifica dell'impatto ecotossicologico di un terreno trattato con prodotti condizionati, come risultante da scavo meccanizzato con fresa TBM (Tunnel Boring Machine) di tipo EPB (Earth Pressure Balance), nell'ambito della realizzazione della galleria della tratta Orsara – Bovino, rientrante nell'intervento di potenziamento della linea ferroviaria Napoli – Bari**

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>PAG.</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>37/72</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	37/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	37/72								

Nell'ambito di tale progetto sono stati valutati i possibili effetti ecotossicologici riconducibili alla presenza del prodotto schiumogeno POLYFOAMER ECO 100 PLUS e dell'eventuale additivo anti-clogging Stabilfoam 300 (tabella 9) in una litologia di terreno (argille subappennine – Campione ASP) rappresentativa della tratta di scavo.

Tabella 10 - Principali sostanze contenute nei prodotti commerciali, numero di CAS e percentuale di abbondanza di ogni sostanza nel formulato

Prodotto	Sostanza	CAS	Concentrazione (%)
POLYFOAMER ECO/100 PLUS	sodium laureth sulfate (SLES)	9004-82-4	5-10
Stabilfoam 300	miscela di alcool C12-14, etoss., solfatato, sale sodico	68891-38-3	25-50

Come riportato per lo studio precedente, lo SLES era il principale componente presente in tali formulati in quantità comprese tra il 5 e il 10% del prodotto. Inoltre, lo SLES era presente nel polimero Stabilfoam 300 con una percentuale compresa tra il 25 e il 50%.

I test geotecnici effettuati sui prodotti hanno permesso di stabilire i dosaggi ottimali (TR, L/m³, tabella 10) da utilizzare per condizionare il litotipo rappresentativo della tratta di scavo.

Tabella 11 - TR utilizzati nei microcosmi, corrispondenti concentrazioni di SLES nel terreno e percentuali di SLES nel prodotto schiumogeno indicati dalla casa madre

Prodotto	TR (L/m ³)	SLES (mg/kg)	SLES prodotto (%)
POLYFOAMER ECO 100 PLUS + Stabilfoam 300	0.56 + 0.2	69.4	5-10+25-50
POLYFOAMER ECO 100 PLUS	0.56	52.2	5-10

Studi di ecotossicità in microcosmo

I terreni miscelati con lo schiumogeno POLYFOAMER ECO 100 PLUS con o senza l'additivo Stabilfoam 300 sono stati utilizzati per eseguire gli esperimenti in scala di laboratorio. A tempi prestabiliti sono state prelevate sub-aliquote di terreno da ciascun microcosmo utilizzate per la produzione dell'elutriato e per la quantificazione dello SLES sia nel terreno che nell'estratto acquoso.

Su entrambe le matrici sono stati eseguiti i seguenti test ecotossicologici:

- test di ecotossicità acuta su *Vibrio fischeri* (ISO 11348-3:2007),
- test di germinazione con *Lepidium sativum* (APAT - RTI CTN_TES 1/2004),
- test di inibizione della riproduzione del lombrico, *Eisenia foetida* (APAT - RTI CTN_SSC 2/2002)

	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>PAG.</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>38/72</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	38/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	38/72								

d) test di mortalità e inibizione crescita del crostaceo *Heterocypris incongruens* (APAT - RTI CTN_TES 1/2004)

I primi due test ecotossicologici sono stati eseguiti sull'estratto acquoso (elutriato) e gli altri sul terreno: I risultati hanno evidenziato che il terreno (ASP) e l'elutriato prodotto da esso non producevano effetti ecotossicologici significativi già a partire dall' inizio della sperimentazione (t=0 giorni) e per tutta la durata della stessa (28 giorni) sia nel caso del terreno condizionato con POLYFOAMER ECO 100 PLUS che con POLYFOAMER ECO 100 PLUS + Stabilfoam 300.

6) Studio sperimentale per la verifica dell'impatto ecotossicologico di un terreno trattato con prodotti condizionanti, come risultante da scavo meccanizzato con fresa TBM (Tunnel Boring Machine) di tipo EPB (Earth Pressure Balance), nell'ambito della realizzazione della galleria della Direttrice Ferroviaria Palermo-Catania-Messina, nuovo collegamento Palermo-Catania, tratta Caltanissetta Xirbi – Enna e tratta Enna – Dittaino (2019-2020)

Nell'ambito di tale progetto sono stati considerati inizialmente cinque prodotti schiumogeni: MasterRoc SLF 32, CLB F5/AC, Foamex SNG-AC, POLYFOAMER ECO 100 PLUS da utilizzare con il polimero (additivo anticlogging) Stabilfoam 300 e Actisoil 100 con aggiunta di polimero ACTI+ CC.

Lo SLES era il principale componente presente negli schiumogeni in quantità comprese tra il 3 e il 25 % del prodotto. Inoltre, lo SLES è risultato essere il principale componente del polimero Stabilfoam 300 con una percentuale compresa tra il 25 e il 50%. Su tali prodotti sono state effettuate delle prove geotecniche che hanno permesso la scelta dei parametri di condizionamento ottimali per il terreno oggetto di studio con le diverse tipologie di schiumogeno (incluso il TR, L/m³), sulla base della mineralogia del campione e della omogeneità dello stesso. A valle dei risultati di tali prove si è deciso di escludere il prodotto Actisoil 100 dalla successiva sperimentazione in base sia all'elevato valore di TR ottimale che a considerazioni prettamente ambientali dettate dalla presenza di componenti minoritari potenzialmente dannosi presenti nel corrispondente polimero (ACTI+CC), tabella 11.

Tabella 12 - Principali sostanze contenute nei prodotti commerciali, numero di CAS e percentuale di abbondanza di ogni sostanza nel formulato

Prodotto	Sostanza	CAS	Concentrazione (%)
MasterRoc SLF 32	Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts (> 1 < 2.5 mol EO)	68891-38-3	10 - 20
CLB F5/AC	2-metil-2, 4-pentandiolo,	107-41-5	5-10
	Alcool C12-C14 éthoxylés sulfatés,	68891-38-3	5-10

	sel de sodium, Mono-C10-1 6-alkyl, Solfato di sodio	68585-47-7	5-10
	Alcoli, C10-18	85711-71-3	< 1
Foamex SNG-AC	Sodio alchilettere solfato	9004-82-4	7-10
POLYFOAMER ECO/100 PLUS	sodium laureth sulfate (SLES)	9004-82-4	5-10
Stabilfoam 300	miscela di alcool C12-14, etoss., solfato, sale sodico	68891-38-3	25-50

È stato inoltre deciso di utilizzare per la successiva sperimentazione di compatibilità ambientale, gli altri 4 schiumogeni con il più elevato dosaggio (TR, L/m³) possibile tra quelli ottimali in via precauzionale per la protezione ambientale.

Studi in microcosmo per gli studi di ecotossicità

Al fine di valutare l'ecotossicità in fase di scavo dei prodotti schiumogeni MasterRoc SLF 32, CLB F5/AC, Foamex SNG-AC, POLYFOAMER ECO 100 PLUS+Stabilfoam 300, sono stati allestiti dei microcosmi utilizzando il litotipo proveniente direttamente dal sito di scavo (TVR) condizionato con i prodotti schiumogeni utilizzando i TR riportati nella seguente tabella.

Tabella 13 - TR utilizzati nei microcosmi, corrispondenti concentrazioni di SLES nel terreno e percentuali di SLES nel prodotto schiumogeno indicati dalla casa madre

Prodotto	TR (L/m ³)	SLES (mg/kg)	SLES prodotto+ polimero (%)
MasterRoc SLF 32	1,48	122,5	10-20
CLB F5/AC	1,82	92,9	5-10
Foamex SNG-AC	2,08	64,1	7-10
POLYFOAMER ECO 100 PLUS+Stabilfoam 300	1,60+0,38	153,3	5-10+25-50

A tempi prestabiliti sono state prelevate sub-aliquote di terreno da ciascun microcosmo utilizzate per la produzione dell'elutriato e per la quantificazione dello SLES sia nel terreno che nell'estratto acquoso.

Su entrambe le matrici sono stati eseguiti i seguenti test ecotossicologici:

- saggio acuto e subcronico su *Heterocypris incongruens* (ISO 14371:2012),
- test di screening e di ecotossicità acuta su *Vibrio fischeri* (UNI EN ISO 11348-3:2019),
- test di germinazione con *Lepidium sativum* (APAT- RTI CTN_TES 1/2004),

I risultati dei tre test ecotossicologici effettuati (il primo utilizzando il terreno e gli altri utilizzando l'estratto acquoso) hanno evidenziato che il terreno condizionato con i 4 prodotti schiumogeni oggetto di studio (POLYFOAMER ECO 100 PLUS+ Stabilfoam 300, CLB F5/AC, Foamex SNG-AC, MasterRoc SLF 32)

non produceva effetti ecotossicologici acuti evidenti e significativi sugli organismi testati già a partire dal tempo iniziale di condizionamento (t=0 giorni).

I risultati ottenuti dalla determinazione analitica dello SLES presente nei campioni di terreno e di elutriato hanno evidenziato una persistenza piuttosto bassa del tensioattivo. Sebbene nel terreno condizionato con POLYFOAMER ECO 100 PLUS + Stabilfoam 300 e nel corrispondente elutriato sia stata rilevata una concentrazione maggiore di SLES all'inizio dell'esperimento (153,3 mg/kg e 2,0 mg/L, rispettivamente) questa è risultata essere di non effetto sugli organismi test. Nello specifico lo SLES rilevato negli elutriati derivanti dai terreni condizionati con gli altri schiumogeni risultava essere sempre minore di 1 mg/L.

7) Studio sperimentale per la verifica dell'impatto ecotossicologico di un terreno trattato con prodotti condizionati, come risultante da scavo meccanizzato con fresa TBM (Tunnel Boring Machine) di tipo EPB (Earth Pressure Balance), nell'ambito della realizzazione della galleria della Direttrice Ferroviaria Palermo–Catania–Messina, nuovo Collegamento Palermo–Catania, tratta Fiumetorto-Lercara Dir. (2019)

Nell'ambito di tale progetto sono stati considerati inizialmente cinque prodotti schiumogeni: Actisoil 20W, Foamex SNG-AC, MasterRoc SLF 32, CLB F5/L, POLYFOAMER ECO 100 PLUS. Lo SLES era il principale componente presente negli schiumogeni in quantità comprese tra il 3 e il 25 % del prodotto. Inoltre, lo SLES è risultato essere il principale componente del polimero Stabilfoam 300 con una percentuale compresa tra il 25 e il 50%.

Su tali prodotti sono state effettuate delle prove geotecniche per la verifica dei quantitativi (incluso il TR, L/m³) di ciascuno dei cinque agenti schiumogeni necessari per l'ottenimento dei parametri di condizionamento ottimale sulla base della mineralogia del litotipo proveniente dallo scavo (FYN5) e della sua omogeneità.

A valle dei risultati di tali prove si è deciso di escludere il prodotto Actisoil 20W dalla successiva sperimentazione in base sia all'elevato valore di TR ottimale che a considerazioni prettamente ambientali dettate dalla presenza di componenti minoritari potenzialmente dannosi per l'ambiente presenti in tale formulato.

È stato inoltre deciso di utilizzare per la successiva sperimentazione di compatibilità ambientale, gli altri 4 schiumogeni (Foamex SNG-AC, MasterRoc SLF 32, CLB F5/L, POLYFOAMER ECO 100 PLUS) con il

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A

più elevato dosaggio (TR, L/m³) possibile tra quelli ottimali in via precauzionale per la protezione ambientale.

Nella tabella seguente le sostanze contenute nei diversi prodotti.

Tabella 14 - Principali sostanze contenute nei prodotti commerciali, numero di CAS e percentuale di abbondanza di ogni sostanza nel formulato

Prodotto	Sostanza	CAS	Concentrazione (%)
MasterRoc SLF 32	Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts (> 1 < 2.5 mol EO)	68891-38-3	10 - 20
CLB F5/L	2-metil-2, 4-pentandiolo	107-41-5	3-5
	Alcool C12-C14 éthoxylés sulfatés, sel de sodium	68891-38-3	3-5
	Mono-C10-1 6-alkyl, Solfato di sodio	68585-47-7	3-5
	Alcoli, C10-18	85711-71-3	< 1
Foamex SNG-AC	Sodio alchilettere solfato	9004-82-4	7-10
POLYFOAMER ECO/100 PLUS	sodium laureth sulfate (SLES)	9004-82-4	5-10

Studi in microcosmo per gli studi di ecotossicità

Al fine di valutare l'ecotossicità in fase di scavo dei prodotti schiumogeni MasterRoc SLF 32, CLB F5/L, Foamex SNG-AC, POLYFOAMER ECO 100 PLUS, sono stati allestiti dei microcosmi utilizzando il litotipo proveniente direttamente dal sito di scavo (FYN5) condizionato con i prodotti schiumogeni utilizzando i TR riportati nella seguente tabella.

Tabella 15 - TR utilizzati nei microcosmi, corrispondenti concentrazioni di SLES nel terreno e percentuali di SLES nel prodotto schiumogeno indicati dalla casa madre

Prodotto	TR (L/m ³)	SLES (mg/kg)	SLES prodotto+ polimero (%)
MasterRoc SLF 32	0,36	45,9	10-20
CLB F5/L	0,87	35,8	3-5
Foamex SNG-AC	0,55	28,7	7-10
POLYFOAMER ECO 100 PLUS	0,62	40,1	5-10

A tempi prestabiliti sono state prelevate sub-aliquote di terreno da ciascun microcosmo utilizzate per la produzione dell'elutriato e per la quantificazione dello SLES sia nel terreno che nell'estratto acquoso.

Su entrambe le matrici sono stati eseguiti i seguenti test ecotossicologici:

- saggio acuto e subcronico su *Heterocypris incongruens* (ISO 14371:2012),
- test di screening e di ecotossicità acuta su *Vibrio fischeri* (ISO 11348-3:2019),

 <p>ITOLFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>42/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	42/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	42/72								

c) test di germinazione con *Lepidium sativum* (APAT- RTI CTN_TES 1/2004),

I risultati dei tre test ecotossicologici effettuati (il primo utilizzando il terreno e gli altri utilizzando l'estratto acquoso) hanno evidenziato che il terreno condizionato con i 4 prodotti schiumogeni oggetto di studio (MasterRoc SLF 32, CLB F5/L, Foamex SNG-AC, POLYFOAMER ECO 100 PLUS) non produceva effetti ecotossicologici acuti evidenti e significativi sugli organismi testati già a partire dal tempo iniziale di condizionamento (t=0 giorni).

I risultati ottenuti dalla determinazione analitica dello SLES presente nei campioni di terreno e di elutriato hanno evidenziato una persistenza piuttosto bassa del tensioattivo sia nei campioni di terreno che di elutriato. In quest'ultimo la concentrazione di SLES è risultata essere sempre inferiore ad 1 mg/L.

8) Studio sperimentale per la verifica dell'impatto ecotossicologico di un terreno trattato con prodotti condizionati, come risultante da scavo meccanizzato con fresa TBM (Tunnel Boring Machine) di tipo EPB (Earth Pressure Balance), nell'ambito della realizzazione della galleria della Direttrice Ferroviaria Palermo–Catania–Messina, nuovo Collegamento Palermo–Catania, tratta Lercara-Dir. - Caltanissetta Xirbi Tratta Lercara-Dir. - Caltanissetta Xirbi (2019-2020)

Nell'ambito di tale progetto sono stati considerati i prodotti schiumogeni: MasterRoc SLF 32 con o senza polimero MasterRoc ACP 214, POLYFOAMER ECO 100 PLUS con o senza polimero Stabilfoam 300, Foamex SNG-AC con o senza polimero Lamsperse L/72, CLB F5/AC, Actisoil 200.

Lo SLES era il principale componente presente negli schiumogeni in quantità comprese tra il 3 e il 25 % del prodotto. Su tali prodotti sono state effettuate delle prove geotecniche per la verifica dei quantitativi (incluso il TR, L/m³) di ciascuno dei cinque agenti schiumogeni necessari per l'ottenimento dei parametri di condizionamento ottimale sulla base della mineralogia del litotipo proveniente dallo scavo e della sua omogeneità. A valle dei risultati di tali prove si è deciso di escludere il prodotto Actisoil 200 dalla successiva sperimentazione in base sia all'elevato valore di TR ottimale che a considerazioni prettamente ambientali dettate dalla presenza di componenti minoritari potenzialmente dannosi per l'ambiente presenti in tale formulato. I quattro prodotti da testare negli studi di ecotossicità in microcosmo erano: MasterRoc SLF 32; POLYFOAMER ECO 100 PLUS insieme al polimero Stabilfoam 300; Foamex SNG-AC insieme al polimero Lamsperse L/72; CLB F5/AC (tabella 15).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A

Tabella 16 - Principali sostanze contenute nei prodotti commerciali, numero di CAS e percentuale di abbondanza di ogni sostanza nel formulato

Prodotto	Sostanza	CAS	Concentrazione (%)
MasterRoc SLF 32	Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts (> 1 < 2.5 mol EO)	68891-38-3	10 - 20
Foamex SNG-AC	Sodio alchilettere solfato	9004-82-4	7-10
Lamperse L/72 (polimero da utilizzare con Foamex SNG-AC)	Policarbossilato di sodio in soluzione acquosa	-	-
POLYFOAMER ECO/100 PLUS	sodium laureth sulfate (SLES)	9004-82-4	5-10
Stabilfoam 300 (polimero da utilizzare insieme a POLYFOAMER ECO 100)	miscela di alcool C12-14, etoss., solfato, sale sodico	68891-38-3	25-50

È stato inoltre deciso di utilizzare tali schiumogeni per la successiva sperimentazione di compatibilità ambientale utilizzando il più elevato dosaggio (TR, L/m³) possibile tra quelli ottimali in via precauzionale per la protezione ambientale.

Studi in microcosmo per gli studi di ecotossicità

Al fine di valutare l'ecotossicità in fase di scavo dei prodotti MasterRoc SLF 32; POLYFOAMER ECO 100 PLUS insieme al polimero Stabilfoam 300; Foamex SNG-AC insieme al polimero Lamperse L/72; CLB F5/AC, sono stati allestiti dei microcosmi utilizzando il litotipo proveniente direttamente dal sito di scavo condizionato con i prodotti schiumogeni utilizzando i TR riportati nella seguente tabella.

Tabella 17 - TR utilizzati nei microcosmi, corrispondenti concentrazioni di SLES nel terreno e percentuali di SLES nel prodotto schiumogeno indicati dalla casa madre

Prodotto	TR (L/m ³)	SLES (mg/kg)	SLES prodotto+ polimero (%)
MasterRoc SLF 32	0,95	87,3	10-20
CLB F5/AC	1,3	128,9	5-10
Foamex SNG-AC+Lamperse L/72	1,94+0,45	68,6	7-10
POLYFOAMER ECO 100 PLUS+ STABILFOAM 300	0,98+0,27	72,4	5-10+25-50

A tempi prestabiliti sono state prelevate sub-aliquote di terreno da ciascun microcosmo utilizzate per la produzione dell'elutriato e per la quantificazione dello SLES sia nel terreno che nell'estratto acquoso.

Su entrambe le matrici sono stati eseguiti i seguenti test ecotossicologici:

- saggio acuto e subcronico su *Heterocypris incongruens* (ISO 14371:2012),
- test di screening e di ecotossicità acuta su *Vibrio fischeri* (ISO 11348-3:2019),

	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>44/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	44/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	44/72								

c) test di germinazione con *Lepidium sativum* (APAT- RTI CTN_TES 1/2004),

I risultati dei tre test ecotossicologici effettuati (il primo utilizzando il terreno e gli altri utilizzando l'estratto acquoso) hanno evidenziato che il terreno condizionato con i 4 prodotti schiumogeni e polimeri oggetto di studio non produceva effetti ecotossicologici acuti evidenti e significativi sugli organismi testati già a partire dal tempo iniziale di condizionamento (t=0 giorni).

I risultati ottenuti dalla determinazione analitica dello SLES presente nei campioni di terreno e di elutriato hanno evidenziato una persistenza piuttosto bassa del tensioattivo sia nei campioni di terreno che di elutriato.

3.3 PRODOTTI CONDIZIONANTI PER LO SCAVO CON TBM DI TIPO EPB

L'avanzamento con TBM di tipo EPB avviene con la camera di scavo costantemente e completamente piena del materiale estratto ed il "condizionamento" dei terreni in camera di scavo riveste un ruolo di primaria importanza.

L'utilizzo di additivi è uno dei fattori fondamentali che consente il buon funzionamento della macchina TBM-EPB, per contro il loro impiego deve essere valutato attentamente in termini ambientali affinché il riutilizzo successivo delle terre scavate condizionate sia possibile senza creare impatti negativi sull'ambiente e sulla salute dell'uomo.

Il condizionamento deve quindi soddisfare entrambi i requisiti: deve essere ampiamente sufficiente a consentire il processo di scavo ma non tale da creare difficoltà nel riutilizzo delle terre nel rispetto dell'ambiente e dell'uomo

È bene sottolineare a questo proposito che negli ultimi sette anni in Italia sono stati condotti numerosi studi di condizionamento su decine di litotipi interessati dallo scavo meccanizzato con TBM di tipo EPB e per tutti sono stati individuati tipologie di prodotti e quantitativi di utilizzo tali da consentire lo scavo con tale tecnologia e tali da generare terreni condizionati compatibili dal punto di vista ambientale. Gli studi eco-tossicologici eseguiti, infatti, hanno ampiamente dimostrato la compatibilità degli additivi testati e miscelati con i materiali di scavo in questione con gli ambienti naturali e vitali interferiti.

In generale, il condizionamento dei terreni avviene con l'aggiunta di additivi al fronte, vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, in camera di lavoro e nella coclea.



Figura 7 – TBM – EPB, ugelli al fronte per il condizionamento

Numerosi sono i vantaggi associati all'utilizzo di additivi, tutti di pari importanza, quali:

- ✓ migliorare la stabilità del fronte di scavo, conferendo plasticità ed uniformità al terreno scavato;
- ✓ ridurre l'angolo d'attrito interno e, quindi, la coppia necessaria alla testa fresante in fase di avanzamento;
- ✓ migliorare la fluidità del terreno e la relativa estrazione attraverso la coclea;
- ✓ ridurre l'abrasività del terreno e minimizzare l'usura dei taglienti e della testa;
- ✓ ridurre la permeabilità del materiale scavato e, quindi, l'eventuale ingresso incontrollato d'acqua in galleria;
- ✓ evitare possibili effetti di bloccaggio della testa a causa di materiale plastico;
- ✓ facilitare il trasporto all'esterno delle terre scavate.

Gli additivi più comuni utilizzati per il condizionamento sono: acqua libera, schiume composte da aria e da una soluzione in acqua di agente schiumogeno, a cui può essere aggiunto o meno un polimero, soluzioni di acqua e polimero.

L'impiego di slurry bentoniche può essere efficace nel caso di terreno grossolano con scarsa presenza di materiale fine. Ma è possibile ottenere risultati analoghi con polimeri che hanno la caratteristica di interagire con l'acqua formando lunghe catene di molecole, creando così una miscela in grado di compensare la scarsa presenza di fine e di aiutare il mantenimento in sospensione dei grani di terreno più grandi (Shinouda et al. 2013).

La schiuma impiegata è formata da bolle di aria disperse in una fase liquida (soluzione schiumogena) costituita da una soluzione di acqua e di prodotto schiumogeno. I prodotti schiumogeni sono forniti dalle case produttrici e vengono normalmente utilizzati ad una concentrazione in soluzione (Cf) pari a ca. il

	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>46/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	46/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	46/72								

2%, variabile comunque all'interno del range consigliato per ciascun prodotto dal rispettivo produttore, da un minimo pari allo 0.5% ad un massimo pari al 6%.

I prodotti schiumogeni sono dei preparati (composti chimici) costituiti a loro volta da una soluzione a base di acqua, da tensioattivi e da altre sostanze chimiche. Per motivi industriali la formula chimica dei prodotti non è nota, ma ne determina le caratteristiche di interazione con l'acqua ed il suolo, conferendo alla schiuma proprietà specifiche.

Così come indicato nelle schede di sicurezza, la maggior parte dei prodotti utilizzati contengono tensioattivi di tipo anionico con percentuali variabili, comprese in genere tra il 5% ed il 20%. I tensioattivi contenuti in questi prodotti sono sostanze dotate di proprietà schiumogene che vengono usate in diverse applicazioni industriali: non solo per il condizionamento dei terreni ma anche come detersivi nelle attività domestiche (detersivi, shampo, bagnoschiuma, ecc.) (Langmaack and Feng 2015).

I prodotti schiumogeni in commercio sono numerosi ed, oltre alla differenza di concentrazione e tipologia di tensioattivi, si differenziano tra loro per le altre sostanze chimiche presenti che variano a seconda del tipo di terreno da condizionare. Alcuni prodotti schiumogeni contengono infatti anche polimeri anticlogging o adsorbenti o di altra tipologia, a seconda dei casi.

Posto tutto quanto riportato sopra, si fa infine presente che nel caso di scavo in meccanizzato la pasta di tenuta e il lubrificante non si ritiene debbano essere ricondotti a prodotti condizionanti da sottoporre a valutazioni di compatibilità ambientale ed eco-tossicologica. La pasta di tenuta, infatti, è un grasso che serve a lubrificare le spazzole ed isolare idraulicamente il gap anulare all'interno della macchina di scavo; tale sostanza può essere rilasciata sull'estradosso del concio in fase di avanzamento della fresa e rimanendo comunque compreso tra la malta iniettata per intasare l'intercapedine lasciata libera dal passaggio dello scudo, e l'estradosso del concio stesso, all'interno della macchina di scavo, senza pertanto entrare a contatto con i terreni scavati. Relativamente al lubrificante, invece, il cui utilizzo è connesso all'oliatura degli ingranaggi della testa fresante, è stato effettuato uno specifico studio sul Passante di Firenze i cui esiti hanno dimostrato che tale sostanza non produce effetti tossicologici.

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A	PAG. 47/72

4 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GRANULOMETRICHE DEI TERRENI DA CONDIZIONARE PER LO SCAVO CON TBM DI TIPO EPB

4.1 FORMAZIONI LITOLOGICHE ATTRAVERSATE

Per le formazioni geologiche interessate dagli scavi con TBM di tipo EPB si rimanda ai contenuti della “Relazione tecnica delle opere in sottterraneo”, rif. RC1C03R07RGGN0000001A.

4.2 CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DEI TERRENI E DELLE ROCCE

Per le caratteristiche granulometriche e le proprietà indice dei litotipi attraversati si rimanda ai contenuti della “Relazione tecnica delle opere in sottterraneo”, rif. RC1C03R07RGGN0000001A.

Si riporta, comunque, a seguire la tabella riassuntiva delle unità geologiche interessate dallo scavo e delle informazioni disponibili riguardo alla composizione granulometrica media ed all'incidenza di ciascuna formazione sulla lunghezza complessiva delle gallerie.

E' stata effettuata un'analisi circa la compatibilità di questi terreni riguardo ad uno scavo con TBM di tipo EPB per verificare le modalità di condizionamento così come suggerite dalla letteratura scientifica sul tema (Thewes 2007).

I grafici riportati a seguire, Figura 8, mostrano come questi terreni ricadano nel campo di applicabilità di una TBM di tipo EPB con condizionamento ipotizzabile con sola schiuma (caso 1) o con l'impiego di schiume anticlogging e l'aggiunta di acqua libera per ridurre la consistenza (caso 2).

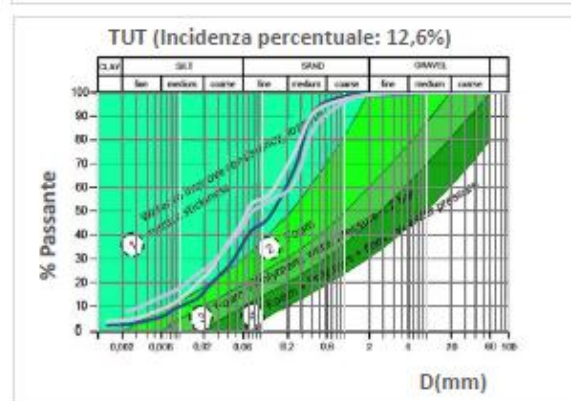
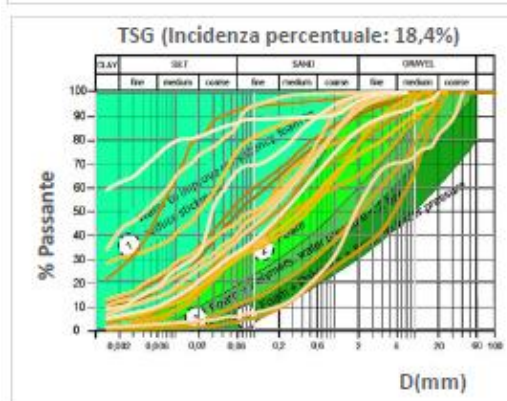
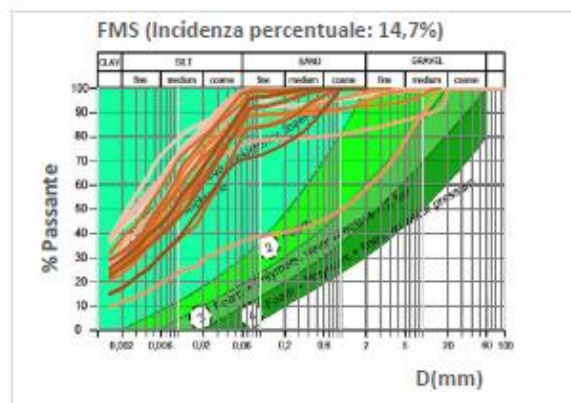
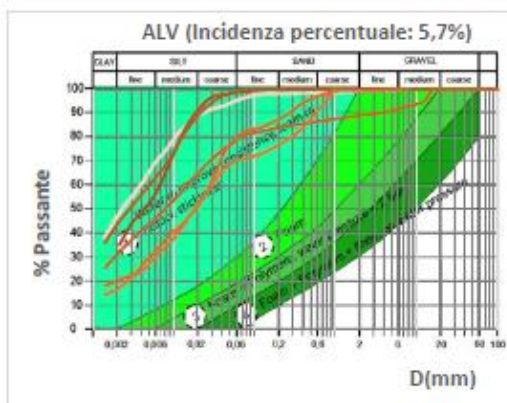
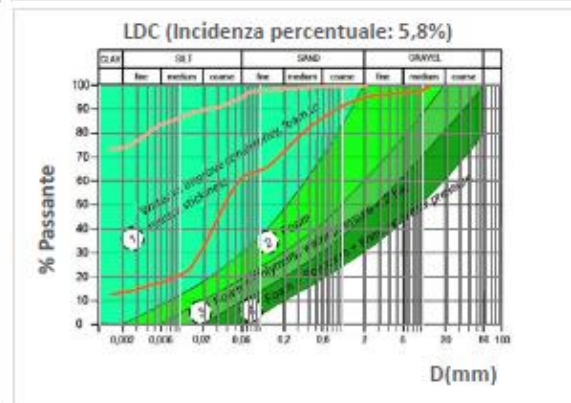
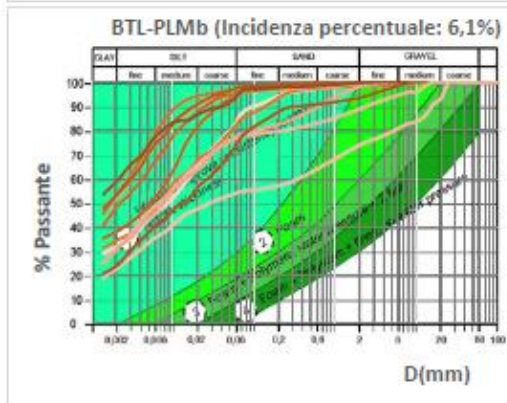
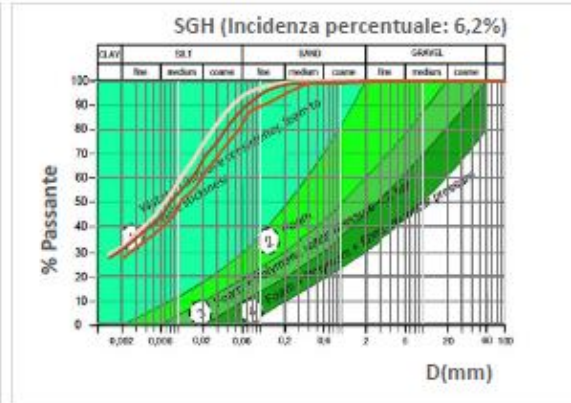
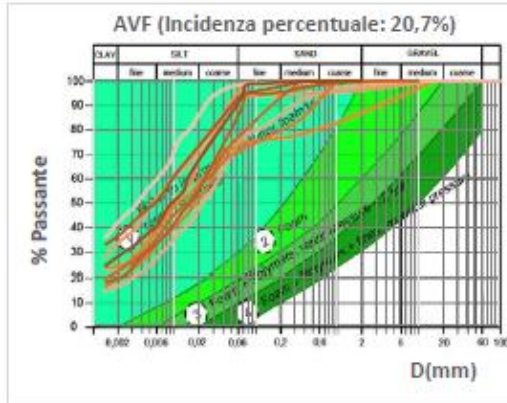
Al caso 2 sono riconducibili le formazioni AVF, SGH, BTL-PLMb, LDC, ALV, FMS, TSG e per esse è stato approfondito il potenziale rischio clogging. Dall'esame di Figura 9 risulta, infatti, che tali formazioni presentano un potenziale rischio clogging.

Le formazioni TSG, BTL-PLMa e BPa ricadono, invece, nel caso 1; infatti, i valori relativi in Figura 9 ricadono al di fuori dell'area del grafico e non risultano visibili. Pur non avendo a disposizione informazioni circa le proprietà indice, della formazione TUT, visto il fuso granulometrico caratteristico, si ritiene plausibile che anche questa ricada nel caso 1 sopra descritto.

**ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI
MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO
MECCANIZZATO CON ADDITIVI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	48/72

UG	Descrizione	Composizione media dei campioni prelevati				Incidenza sul totale delle gallerie
		G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	% su Ltotale
AVF	Argille soagliese con intercalazioni sabbiose e calcareo marnose	2	13	59	26	20,7%
SGH	Argille limose e limi argillosi consistenti con livelli sabbiosi	0	10	60	30	6,2%
BTL-PLMb	Limi sabbiosi e argillosi	6	11	45	40	6,1%
LDC	Limi argillosi alternati a livelli di sabbie ghiaiose	2,5	19,5	34	44	5,8%
ALV	Argille soagliese con calcari	3	7	53	37	5,7%
FMS	Marne argillose e argille marnose con calcari marnosi	3	9	58	30	14,7%
TSG	Sabbie travertinose	18	37	32	15	18,4%
TUT	Marne argillose e calcari marnosi, arenarie	1	55	40	5	12,8%
BTL-PLMa	Ghiaie e sabbie limose	43	24	21	12	0,2%
BPa	Sabbie e ghiaie sabbiose con intercalazioni limose	45	26	25	4	4,5%
RGC	Ghiaie e sabbie limose	Non disponibili				2,0%
CRQ	Calcari	Roccia				3,1%



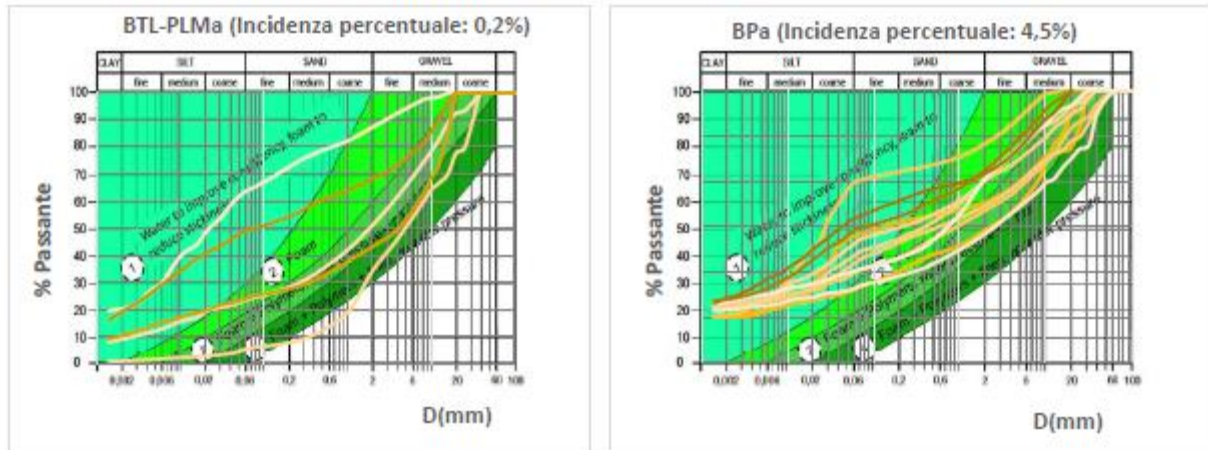


Figura 8 – Compatibilità dei terreni attraversati con TBM – EPB ed indicazioni circa il condizionamento, (Thewes, 2007)

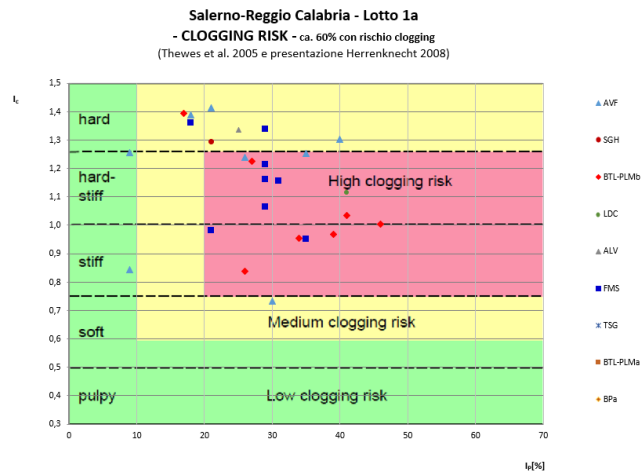


Figura 9 – Potenziale rischio clogging

	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>51/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	51/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	51/72								

4.3 FUSO GRANULOMETRICO COMPLESSIVO E CORRELAZIONE DEI TERRENI CONDIZIONATI CON I PRODOTTI TESTATI

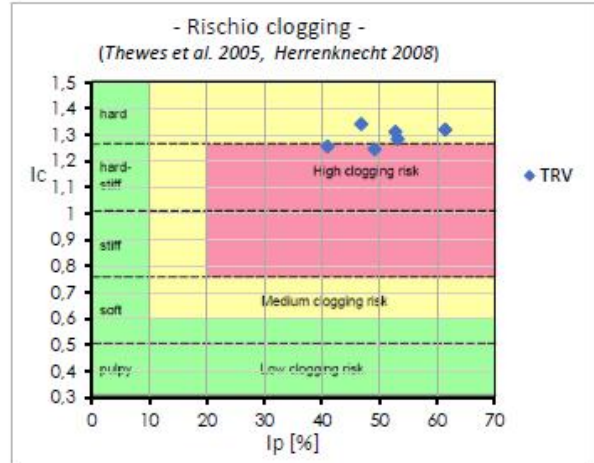
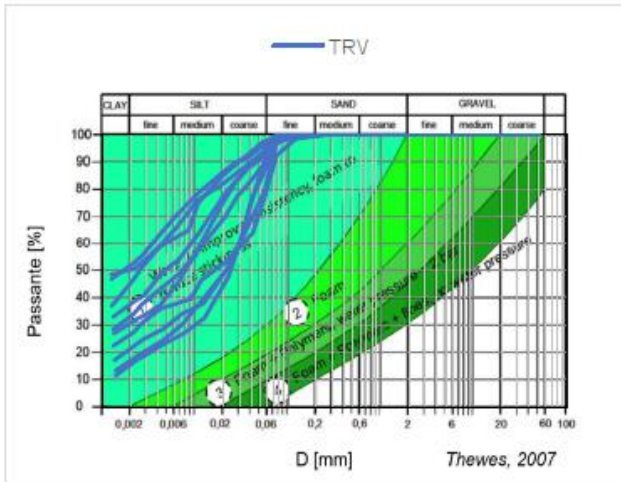
Con le informazioni ad oggi a disposizione si possono ipotizzare delle analogie a casi già studiati sulla base delle granulometrie e delle proprietà indice dei terreni, quando a disposizione, tuttavia, si evidenzia che solo in fase di progettazione esecutiva si potrà procedere ad uno studio di condizionamento con prove in laboratorio dedicate, utilizzando i litotipi che verranno realmente scavati. Tale studio potrà apportare confermare/integrare/modificare le presenti valutazioni, come avviene per tutti gli aspetti del progetto passando da una fase preliminare di progettazione ad una fase successiva.

Si riportano a seguire numerosi esempi di studi di condizionamento condotti dal Politecnico di Torino (DIATI) volti a determinare la tipologia/le tipologie di additivo e le quantità ottimali di condizionamento. A valle di ciascun studio sono stati costituiti campioni di terreno condizionato che sono stati sottoposti a successive prove eco-tossicologiche. Gli esiti di queste ultime prove hanno ampiamente dimostrato la compatibilità degli additivi testati e miscelati con i materiali di scavo in questione con gli ambienti naturali e vitali interferiti.

Si riportano a seguire i fusi granulometrici dei terreni testati in tali studi di condizionamento in cui ricadono i litotipi interessati dalla tratta in esame ed a cui si può fare riferimento per considerazioni di tipo ambientale.

Progetto: PA-CA_Lotto 4a

Formazione: TRV Formazione di Terravecchia membro pelitico argilloso

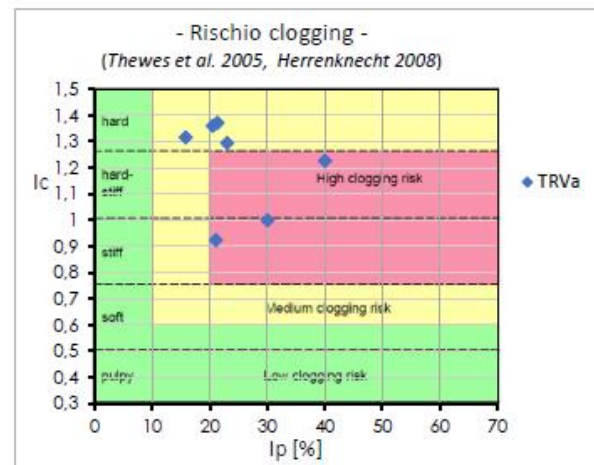
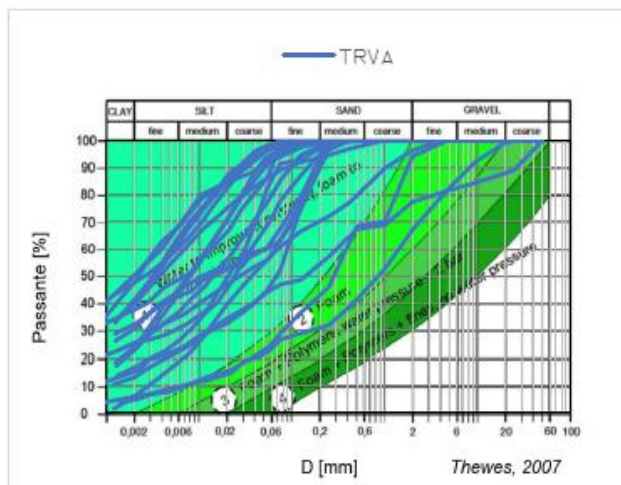


Prodotti testati di n. case produttrici: 4

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
0	9	58	33	

Progetto: PA-CA_Lotto 3

Formazione: TRVa Formazione di Terravecchia



Prodotti testati di n. case produttrici: 4

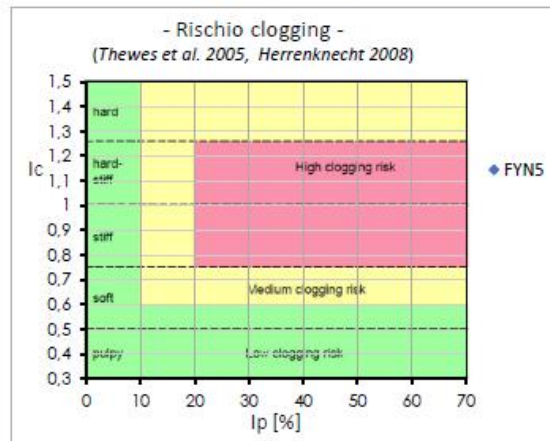
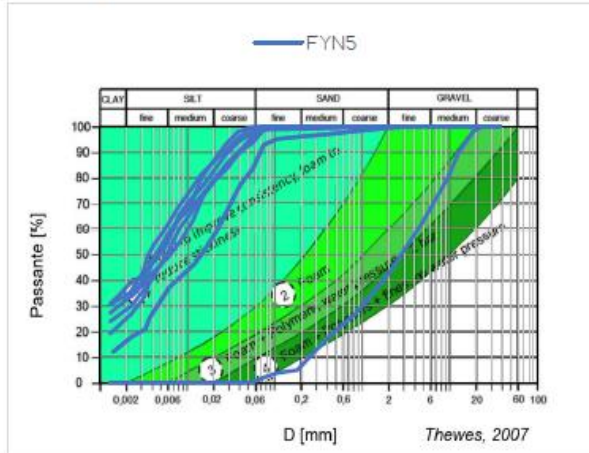
G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
0	26	45	24	

ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	53/72

Progetto: PA-CA_Lotto 1 e 2

Formazione: FLYSCH Nun Membro di Gerasi Siculo. Argilliti e argilliti siltitiche di colore grigio e grigio chiaro, a luoghi con bande grigio scuro, bruno



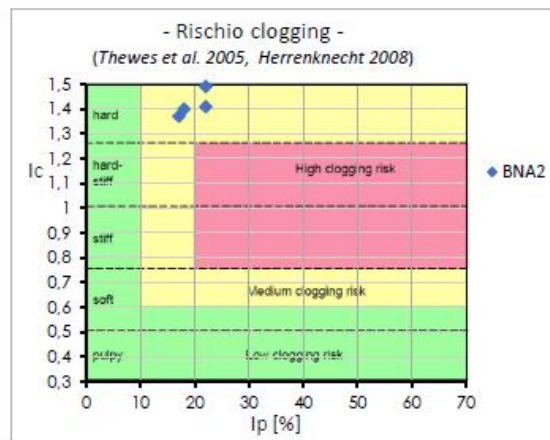
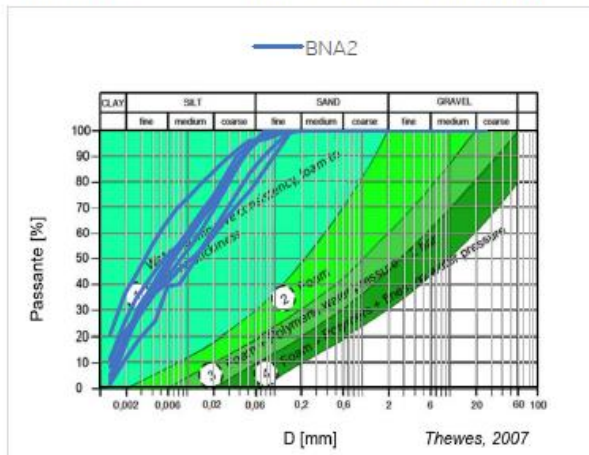
I valori ricadono al di fuori dell'area del grafico e non risultano visualizzati

Prodotti testati di n. case produttrici: 4

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
7	6	61	25	

Progetto: Hirpinia - Orsara

Formazione: BNA2 Formazione della Baronia - membro pelitico-arenaceo del F. Miscano



Prodotti testati di n. case produttrici: 1

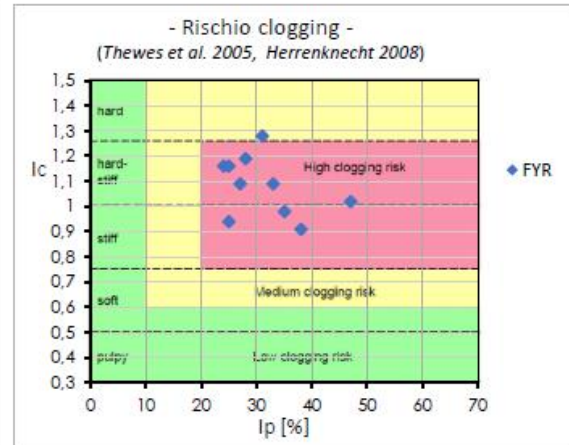
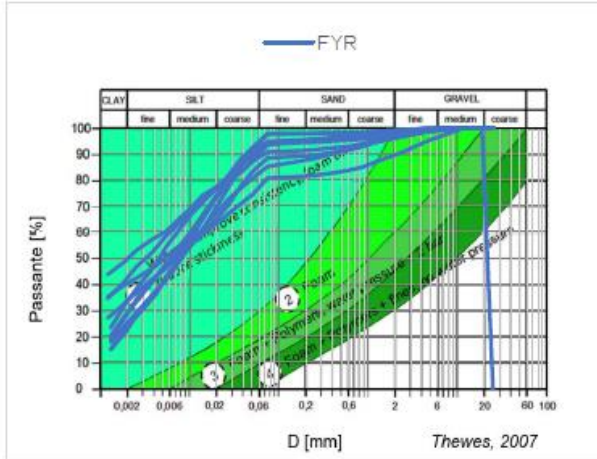
G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
0	26	45	24	

**ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI
MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO
MECCANIZZATO CON ADDITIVI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	54/72

Progetto: Hirpinia - Orsara

Formazione: FYR Flysh Rosso del Frigento - Argille scagliose



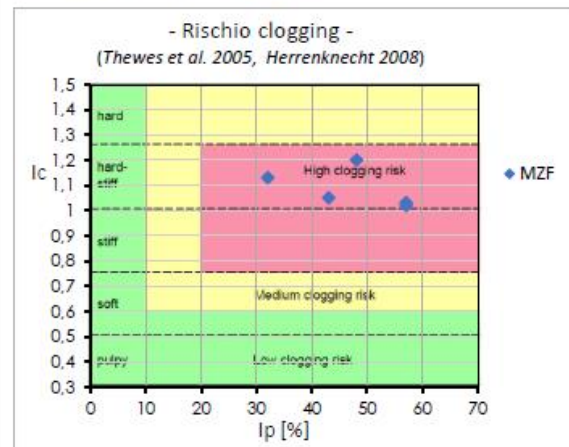
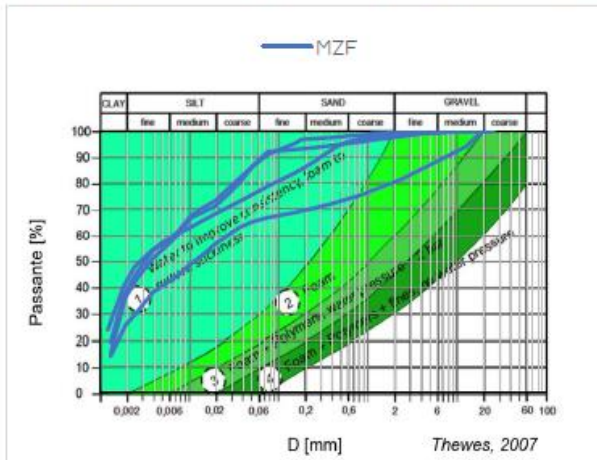
Prodotti testati di n. case produttrici: 1

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)
3	8	56	33

Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali

Progetto: Hirpinia - Orsara

Formazione: MZF Argilliti con gessi di Mezzana di Forte ed Argilliti policrome del Calaggio



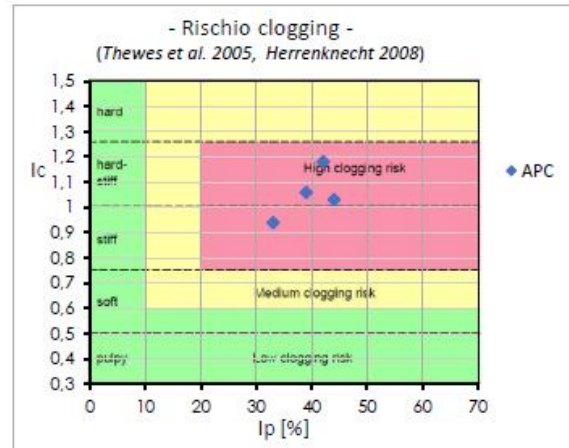
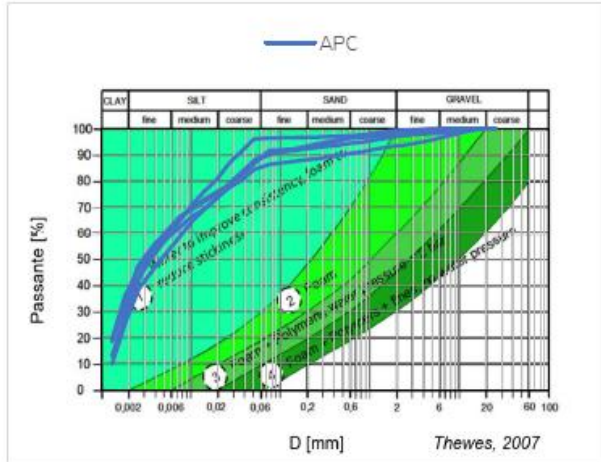
Prodotti testati di n. case produttrici: 1

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)
6	14	46	34

Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali

Progetto: Hirpinia - Orsara

Formazione: APC Argille a luoghi varicolori

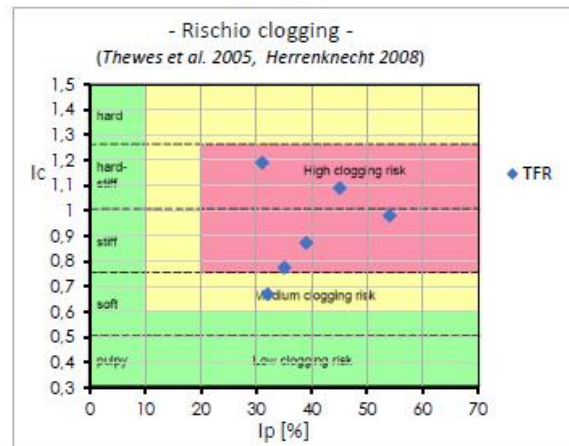
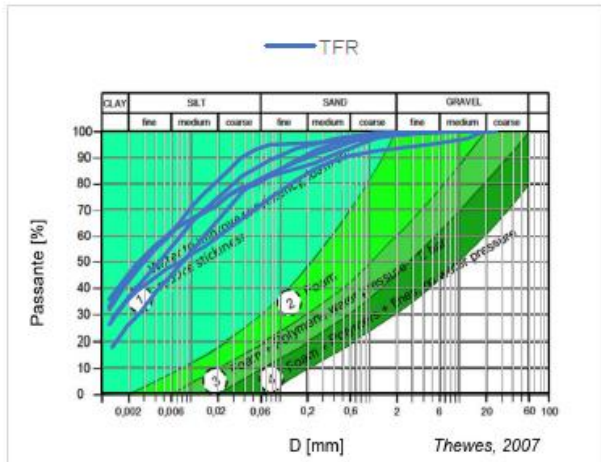


Prodotti testati di n. case produttrici: 1

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
3	8	55	34	

Progetto: Hirpinia - Orsara

Formazione: TFR Formazione del torrente Fiumarella - Conglomerati

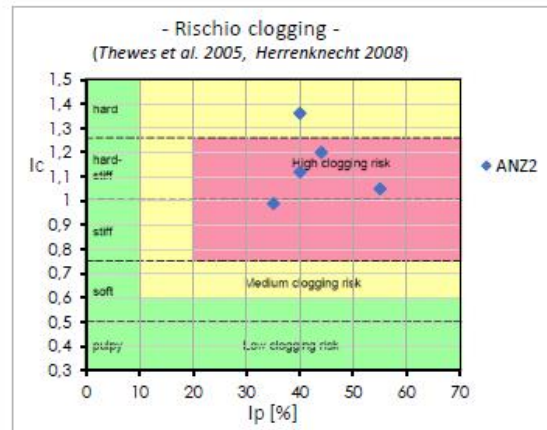
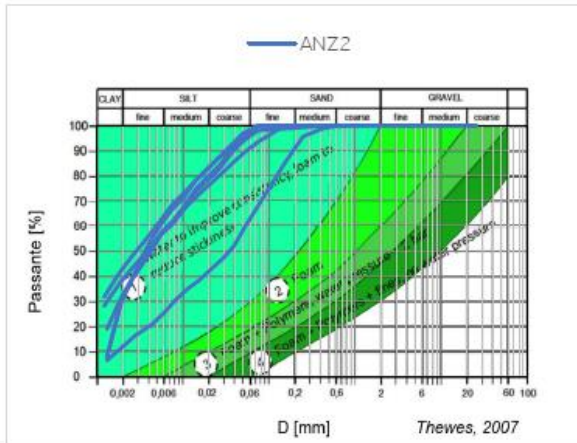


Prodotti testati di n. case produttrici: 1

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
2	15	44	38	

Progetto: Hirpinia - Orsara

Formazione: ANZ2 Molasse di Anzano - Argille e sabbiose limose

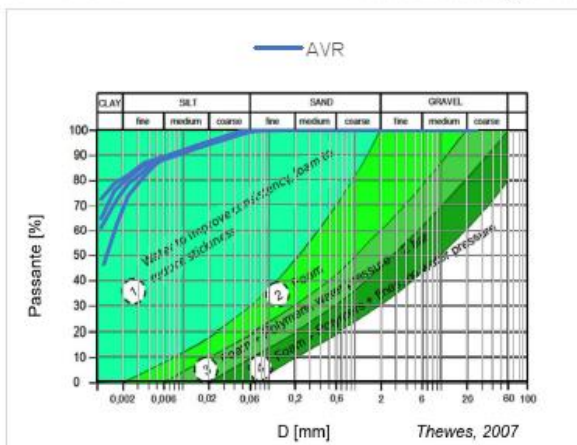


Prodotti testati di n. case produttrici: 1

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
0	10	59	31	

Progetto: Hirpinia - Orsara

Formazione: AVR Formazione delle argille varicolori - Argille varicolori



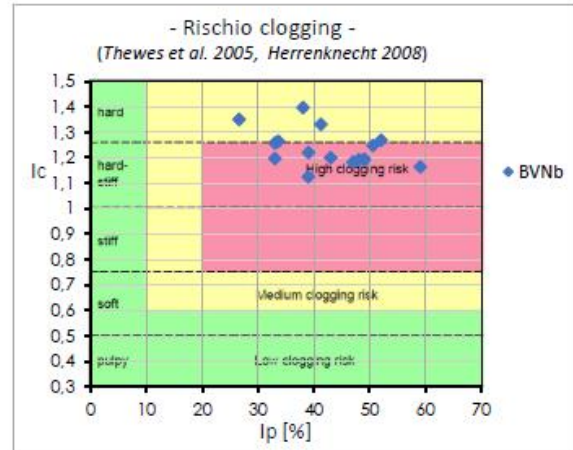
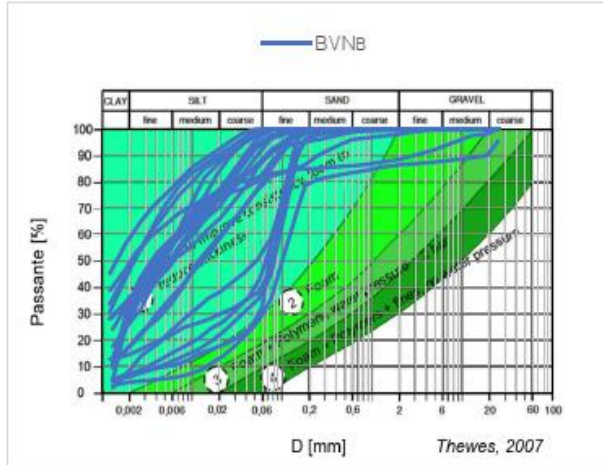
Argille molto plastiche e collose

Prodotti testati di n. case produttrici: 1

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
0	1	24	76	

Progetto: Orsara- Bovino

Formazione: **BVNb** Argille e sabbie del Vallone Mendiano - Argille, argille marnose con intercalazioni di sabbie

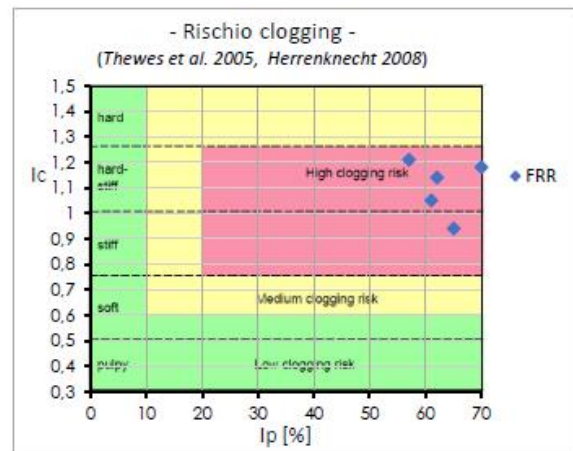
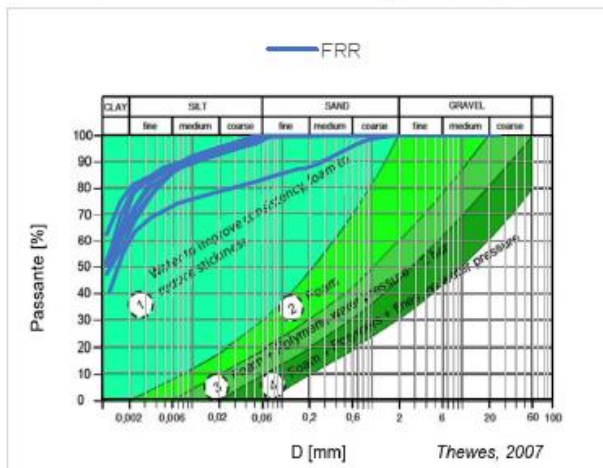


Prodotti testati di n. case produttrici: 1

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
2	22	50	27	

Progetto: Orsara- Bovino

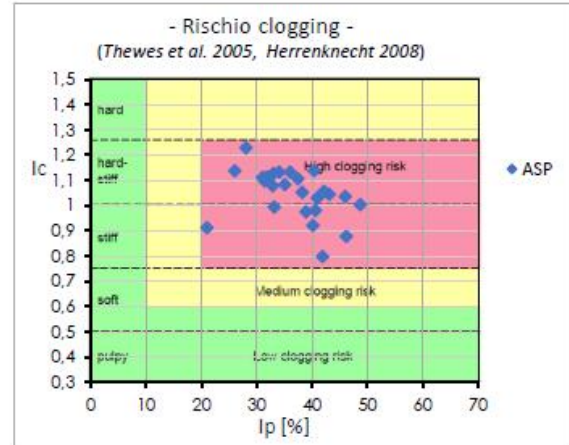
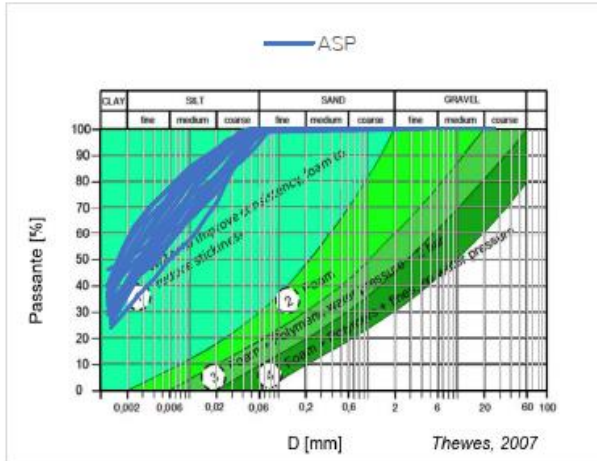
Formazione: **FRR** Flysch Rosso della Daunia - Argille, argille marnose, scagliose, con intercalazioni di calcari



Prodotti testati di n. case produttrici: 1

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
0	3	28	69	

Progetto: Orsara- Bovino
Formazione: ASP Argille subappennine

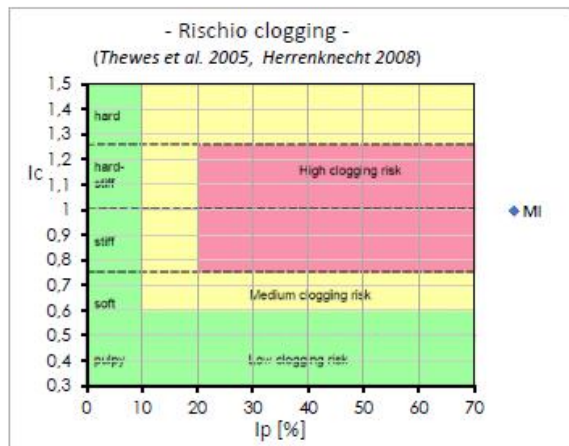
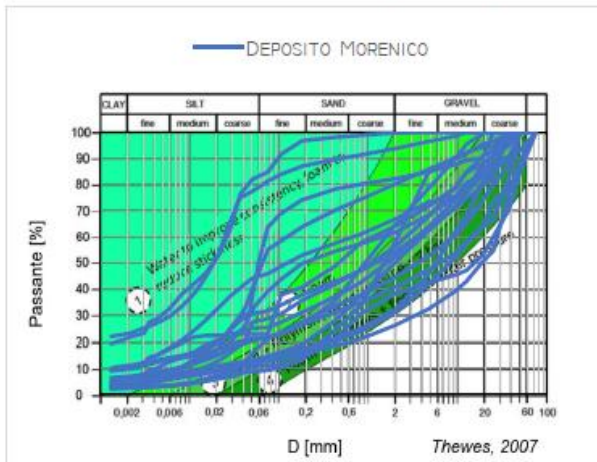


Prodotti testati di n. case produttrici: 1

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
0	2	54	44	

Progetto: Linea Torino - Lione, tratta Avigliana Orbassano

Formazione: MI Deposito Morenico



I valori ricadono al di fuori dell'area del grafico e non risultano visualizzati

Prodotti testati di n. case produttrici: 2

G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Esito condizionamento POLITO: per ogni ditta, individuati prodotti e dosaggi ottimali
45	25	23	7	

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A	PAG. 59/72

5 COMPATIBILITÀ AMBIENTALE SITO SPECIFICA DEI TERRENI SPERIMENTATI

Gli studi condotti dal CNR relativi alla valutazione di eco-compatibilità dei terreni additivati con agenti schiumogeni si sono basati su un approccio ecologico sito-specifico. Infatti, gli studi sono stati sempre condotti utilizzando il terreno prelevato direttamente dal sito di scavo complessivo, quindi, della sua comunità microbica autoctona. Tale approccio ha permesso, a valle di test geotecnici preliminari, di stabilire se i dosaggi ottimali e/o estremi (TR-treatment ratio, L/m³ terreno) di ogni singolo agente schiumogeno da utilizzare in fase di scavo potessero causare degli effetti ecotossici sugli organismi terrestri o acquatici testati. I dosaggi utilizzati nello scavo (TR, L/m³) erano infatti sito-specifici per ogni litologia. Inoltre, la presenza della comunità microbica autoctona ha permesso di valutare negli studi di compatibilità ambientale anche la biodegradabilità degli agenti schiumogeni. Infatti, è noto che i tempi di persistenza di una sostanza possono influenzare gli effetti ecotossici sugli organismi target.

L'utilizzo del litotipo rappresentativo del sito di scavo ha permesso anche di valutare il quantitativo di prodotto condizionante che ha le potenzialità di passare nella fase acquosa del terreno e incidere quindi, sulla sua ecotossicità complessiva. Il passaggio dello schiumogeno nell'estratto acquoso non è costante e dipende infatti, dalla litologia del terreno.

Infine, la conoscenza del sito di destinazione del materiale e dei possibili scenari di esposizione ambientale (es. possibili contatti con corpi idrici) risulta importante per stabilire la scelta dei test ecotossicologici da applicare in eventuali studi preliminari.

5.1 NATURA DEI PRODOTTI E CLASSIFICAZIONE AI SENSI DEL REGOLAMENTO CE N. 1272/2008

L'Allegato 4 del D.P.R. 120/2017 prevede le Procedure di caratterizzazione chimico-fisiche e l'accertamento delle qualità ambientali relative alla Gestione delle Terre e Rocce da scavo – è necessario pertanto verificare che nell'utilizzo di eventuali additivi siano garantiti i requisiti di protezione della salute dell'uomo e dell'ambiente.

A tal fine è necessario appurare se negli additivi vi siano delle sostanze classificate pericolose ai sensi del regolamento (CE) n. 1272/2008, relativo alla classificazione, etichettatura ed imballaggio delle sostanze e delle miscele (CLP). Nel caso fossero presenti sostanze pericolose (cioè elencate nell'Allegato VI del CLP), bisogna 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

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A	PAG. 60/72

concentrazione» di cui all'articolo 10 del medesimo regolamento per i siti ad uso commerciale e industriale.

La classificazione CLP sebbene evidenzi l'importanza dell'assenza di sostanze «pericolose» negli additivi, non tiene conto delle quantità utilizzate, (in questo caso le quantità utilizzabili del prodotto durante uno scavo) che non provochino un pericolo per l'ambiente, ma solo indicazioni sui rischi e pericoli (attraverso dei pittogrammi) per la salute umana e dell'ambiente (relativamente alla percentuale dei componenti nel prodotto). Inoltre, è esente da considerazioni sul sito di destinazione delle terre e rocce da scavo e su eventuale presenza di corpi idrici.

5.2 EFFETTI SUL COMPARTO TERRESTRE

I risultati dei molteplici test ecotossicologici effettuati su diversi organismi terrestri (es. *Lepidium sativum*, *Eisenia fetida*, *Heterocypris incongruens*) hanno messo in luce che le terre e rocce additivate con i vari dosaggi (TR) sperimentati e con i diversi gli schiumogeni applicati non generavano effetti ecotossici significativi per gli organismi terrestri testati.

5.3 EFFETTI SUL COMPARTO ACQUATICO

La presenza del tensioattivo nell'estratto acquoso del terreno (elutriato) che simula una lisciviazione dello SLES contenuto nel terreno alle acque, ha in alcuni casi generato delle criticità iniziali verso gli organismi acquatici. Tra gli organismi testati con l'elutriato, il batterio *Vibrio fischeri* è risultato molto sensibile a basse concentrazioni di tensioattivo e una correlazione significativa è stata riscontrata tra le concentrazioni di SLES nell'elutriato e l'effetto ecotossicologico (percentuale inibizione della bioluminescenza del batterio).

Sulla base dei risultati ottenuti nei vari studi, è stato possibile definire che per valutare la compatibilità ambientale delle terre e rocce da scavo in corso d'opera è utile e cautelativo effettuare il test ecotossicologico con il batterio *V. fischeri* che è sensibile a concentrazioni di SLES superiori a 2 mg/L, alle quali corrispondono valori di tossicità superiori al 20% (Barra Caracciolo et al., 2021).

Tale approccio applicato nel *Protocollo per la valutazione della compatibilità ambientale delle terre e rocce da scavo da adottare in corso d'opera* (Nota ISPRA Prot. 069662, 01/12/2016) nei monitoraggi settimanali di oltre due anni di lavori per la realizzazione della Galleria Santa Lucia (Firenze) si è dimostrato un valido, riproducibile ed affidabile strumento per la gestione delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto «sicuro» (Mariani et al., 2020).

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A	PAG. 61/72

5.4 EFFETTI ECO-TOSSICOLOGICI E DI BIO-DEGRADABILITÀ DEI TERRENI CONDIZIONATI CON I PRODOTTI TESTATI

Gli studi condotti dal CNR hanno permesso di valutare la tossicità intrinseca di diversi prodotti commerciali sia attraverso l'analisi del rischio ambientale basata su dati di tossicità di letteratura (da database ufficiali), che attraverso l'utilizzo di test ecotossicologici che hanno permesso di ottenere indicazioni a priori sulla compatibilità ambientale dei prodotti. L'analisi di rischio ambientale intrinseca dei prodotti condizionanti è stata effettuata preliminarmente sulla base delle sostanze principali e delle loro quantità (%) presenti in ogni prodotto commerciale:

Ogni sostanza ha infatti un suo codice identificativo (CAS) e le sue caratteristiche sono generalmente riportate nel database dell'Agenzia Europea delle sostanze chimiche (ECHA) che ne riporta anche la classificazione CLP. Tuttavia, sebbene molte sostanze non sono intrinsecamente "pericolose" possono risultare potenzialmente tossiche se presenti in una data dose. E' infatti la dose che ne determina la tossicità, secondo il ben noto principio di Paracelso (1493-1541).

Nello specifico, essendo lo SLES il componente principale degli agenti schiumogeni utilizzati in fase di scavo, il calcolo della sua concentrazione attesa nel terreno (PEC), ottenuta sulla base della sua abbondanza (%) nel singolo prodotto commerciale e ai dosaggi (TR) di utilizzo, ha permesso di effettuare un'analisi di rischio più rappresentativa della situazione reale. Infatti, la quantità di prodotto utilizzato e che si ritroverà in un terreno non è deducibile dai soli TR perché la percentuale di tensioattivo è variabile da prodotto a prodotto.

Il test di inibizione della bioluminescenza con il batterio *V. fischeri* utilizzato negli studi di compatibilità ambientale dei prodotti commerciali condizionanti si è mostrato molto adatto e sensibile anche a basse concentrazioni di SLES e di eventuali componenti minoritari presenti nel formulato. A titolo esemplificativo si riporta di seguito una tabella con i valori di effetto (%) di vari prodotti commerciali espressi come concentrazione che inibisce il 50% degli individui testati (EC₅₀).

PRODOTTI COMMERCIALI	EC₅₀ ± Dev.st (mg/L)
Polyfoamer ECO/100 PLUS (5-10% SLES)	82,20±4,69
Polyfoamer ECO/100 (10-20 % SLES)	19,39±3,14
MasterRoc SLF 32 (10-20 % SLES)	10,34±1,2
MasterRoc SLF 30 (10-50 % SLES)	6,96±0,9
Foamex SNG (10-30 % SLES)	6,89±0,9
Foamex SXC (SLES 10-15%)	10,29±1,65
Foamex AGE (0 % SLES Alchilpoliglucoside)	12,3±1,95

I prodotti commerciali non sono risultati tutti «uguali», ma alcuni hanno mostrato una tossicità intrinseca nettamente inferiore con valori di EC₅₀ più elevati. Tali risultati possono essere spiegati sia dal loro contenuto di diverse % di SLES, che dall'eventuale presenza di componenti minoritari che ne fanno variare la tossicità complessiva. Un'altra componente che può influenzare la tossicità del formulato è l'origine del tensioattivo anionico nel processo di sintesi (se è ottenuto da idrocarburi o da estratti vegetali).

I successivi studi sito specifici effettuati sui prodotti selezionati, sulla base degli esiti dell'analisi di rischio e dei test ecotossicologici preliminari, hanno permesso di valutare la compatibilità ambientale delle terre e rocce da scavo attraverso un'analisi integrata di dati sulla persistenza e ripartizione dello SLES tra fase acquosa e solida (terreno) e i risultati derivanti dall'utilizzo di batterie di test ecotossicologici.

Da tali studi è emersa la diversa capacità di adsorbimento e di degradazione del tensioattivo nei terreni, con conseguenze sulla sua persistenza e sui risultati dei test ecotossicologici effettuati.

I diversi esperimenti in microcosmo o mesocosmo relativi ai diversi studi effettuati hanno evidenziato tempi di dimezzamento (DT₅₀) dello SLES variabili. Tali differenze sono risultate dipendere in parte dalle concentrazioni di tensioattivo iniziali (comprese tra 27 e 350 mg/kg), ma soprattutto dalle caratteristiche sito-specifiche, come la litologia dei terreni (tessitura, mineralogia), abbondanza microbica, temperatura, etc., (Barra Caracciolo et al, 2019a, 2021, Finizio et al, 2020).

I risultati dei molteplici test ecotossicologici effettuati hanno messo in luce che le terre e rocce additivate in vari dosaggi con gli schiumogeni applicati nei vari studi non generavano effetti ecotossici per gli organismi terrestri testati. Diversamente la presenza del tensioattivo nell'elutriato (UNI EN 12457-

	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>63/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	63/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	63/72								

2:2004), che simula una lisciviazione del tensioattivo dal suolo alle acque, ha in alcuni casi generato delle criticità iniziali verso gli organismi acquatici. Tali effetti sono stati osservati soprattutto quando sono stati testati prodotti condizionanti di “vecchia generazione” e nel caso di terreni più grossolani. Tuttavia tali effetti tossici non sono stati più osservati dopo alcuni giorni di maturazione del terreno condizionato.

6 CRITERI PER LA GESTIONE OPERATIVA DEI MATERIALI DA SCAVO

In relazione a quanto specificato in premessa, di seguito si riporta una prima ipotesi di Protocollo operativo di caratterizzazione ambientale, campionamento e gestione delle terre e rocce da scavo per cui è previsto l'utilizzo del sistema meccanizzato della fresa (TBM), che costituisce parte integrante del Piano di Utilizzo delle Terre e il cui affinamento sarà eseguito nella successiva fase di Progetto Esecutivo, secondo il diagramma di flusso sotto riportato.

Nel presente capitolo, infatti, tarato sull'attuale livello di progettazione, sono forniti gli elementi conoscitivi da considerare anche al fine dell'espressione del parere di compatibilità ambientale dell'opera (procedura VIA), con particolare riferimento alle procedure ed azioni che, per la loro natura di indagine, si prevede di applicare nelle successive fasi di progettazione esecutiva e di realizzazione dell'opera. A tal fine preme evidenziare che i contenuti della presente ipotesi di protocollo sono stati condivisi anche nell'ambito di appositi Tavoli Specifici condotti con gli Enti competenti (ISS, ISPRA, ARPA, CNR) in linea alle prescrizioni precedentemente formulate dal MiTE sui Piani di Utilizzo Terre di progetti analoghi.

6.1 INDIRIZZI PER LE SUCCESSIVE FASI DI PROGETTAZIONE/REALIZZAZIONE

In riferimento alle finalità specifiche del presente documento redatto in fase di Progetto di Fattibilità Tecnico Economica e alle argomentazioni precedentemente delineate in Premessa, si riportano di seguito – a titolo esemplificativo ma non esaustivo - gli indirizzi da adottare per la gestione dei terreni provenienti da scavo meccanizzato con additivi in qualità di sottoprodotti nelle successive fasi progettuali e realizzativa.

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>PAG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>64/72</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	64/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	64/72								

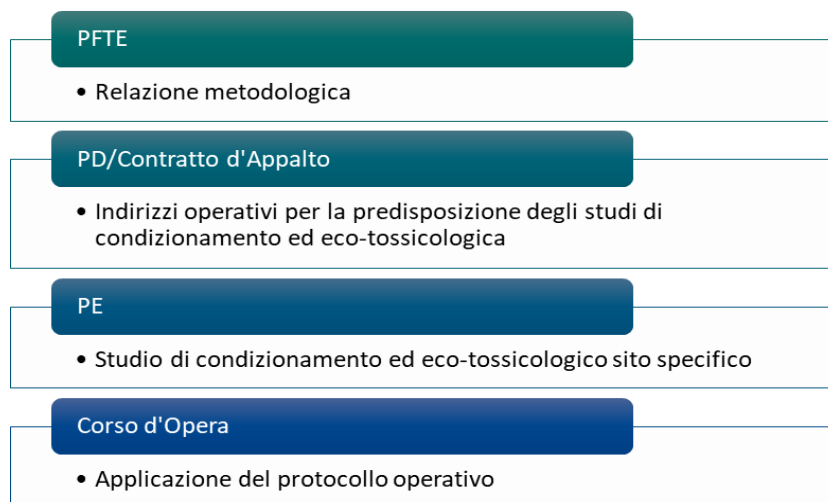


Figura 10 – Indirizzi per le successive fasi progettuale e realizzativa

6.2 INDIRIZZI SUL PROTOCOLLO OPERATIVO DA ATTUARE IN CORSO D'OPERA

Le indagini in corso d'opera saranno eseguite secondo quanto previsto nella Parte A dell'Allegato 9 al D.P.R. n. 120/2017 "Procedure di campionamento in fase esecutiva e per i controlli e le ispezioni".

In ogni caso, per i materiali da scavo le cui concentrazioni di elementi e composti analizzati superino i limiti normativi della Tabella 1 dell'allegato 5 alla parte quarta del D.Lgs. n. 152/06 e s.m.i., in corso d'opera saranno eseguite le necessarie indagini finalizzate ad individuare con maggior dettaglio i volumi di terre compatibili con il sito di destino previsto. Per le aliquote di materiale che non soddisferanno le condizioni dettate dalla normativa di cui sopra, si provvederà a gestire i materiali da scavo al di fuori del Piano di Utilizzo, ai sensi della Parte IV del D.Lgs. n. 152/2006 e s.m.i.

Per completezza di seguito si riportano tutte le modalità di campionamento e caratterizzazione delle terre e rocce da scavo che si prevede di gestire in qualità di sottoprodotto conformemente al Piano di Utilizzo approvato dettagliando le procedure da attuare per i materiali additivati provenienti dallo scavo in meccanizzato delle gallerie.

6.2.1 CAMPIONAMENTO DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

Come previsto dal D.P.R. 120/2017, in base alle specifiche esigenze operative e logistiche della cantierizzazione, le caratterizzazioni avverranno alternativamente 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;

- su cumuli di materiali da scavo depositati in opportune aree di caratterizzazione.

L'attività di campionamento sarà principalmente condotta su *cumuli stoccati in opportune aree e/o vasche di caratterizzazione* in prossimità del fronte di scavo ovvero presso le **"aree di stoccaggio"** ubicate, per quanto possibile, in prossimità delle zone di scavo e all'interno delle aree di cantiere.

Queste aree sono dotate di opportuno pacchetto di impermeabilizzazione descritto di seguito, al fine di evitare potenziali contaminazioni del suolo da parte dei materiali non ancora caratterizzati.

Le terre di scavo di galleria e i materiali degli scavi all'aperto saranno disposti in cumuli/vasche di dimensione massima pari a circa 5.000 m³.

Ogni singolo cumulo sarà caratterizzato prelevando cautelativamente almeno 20 campioni elementari, di cui 10 in profondità e 10 in superficie (compatibilmente con le caratteristiche e con la disposizione del terreno all'interno delle aree di stoccaggio e con le modalità di riempimento delle stesse), al fine di ottenere un campione composito che per successive quartature darà il campione finale da sottoporre ad analisi chimica.

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa dei campioni che si prevede di prelevare per la successiva caratterizzazione analitica ai sensi del D.P.R. 120/2017. Per gli analiti da ricercare si rimanda alle analisi chimico fisiche riportate sotto.

Tabella 18 - Tabella riepilogativa dei campioni di terre e rocce da scavo

TEMATICA	TOTALE SOTTOPRODOTTI [mc]	NUMERO ANALISI PUT
		[1 ogni 5.000 mc]
RILEVATI	26.197	5
TRINCEE	57.411	11
GALLERIE ARTIFICIALI E MANUFATTI SCATOLARI	211.474	42
VIADOTTI	28.225	6
PIAZZALI DI STAZIONE DI EMERGENZA E TECNOLOGICI	21.244	4
NUOVA VIABILITA'	22.856	5
GALLERIE NATURALI (scavo meccanizzato)	2.373.873	475
GALLERIE NATURALI (uscite d'emergenza)	26.800	5
OPERE IDRAULICHE	11.700	2
BY PASS	36.041	7
TOTALE	2.815.821	562

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</p>												
<p>ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>PAG.</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R69RG</td> <td>TA0000003</td> <td>A</td> <td>66/72</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.	RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	66/72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.								
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	66/72								

Come previsto dall'Allegato 9 del D.P.R. 120/2017, rispetto ai n. 948 cumuli complessivamente realizzabili, il numero dei cumuli da campionare, da selezionare in modo casuale, sarà determinato mediante la formula $m = k * n^{1/3}$, dove:

m = numero totale dei cumuli da campionare;

n = numero totale dei cumuli realizzabili dall'intera massa;

k = costante, pari a 5.

Applicando la suddetta formula, dei **n = 562** cumuli realizzabili dall'intera massa di terre e rocce da scavo che verranno prodotte dalle diverse tipologie di opere si prevede di sottoporre ad analisi chimico fisiche **m ~ 41** campioni, sui quali verranno ricercati i parametri previsti dalla Tabella 4.1 del D.P.R. 120/2017.

6.2.2 CAMPIONAMENTO DEI MATERIALI ADDITIVATI PROVENIENTI DALLO SCAVO IN MECCANIZZATO

I materiali provenienti dallo scavo meccanizzato con l'ausilio di additivi saranno invece disposti in vasche di dimensione massima pari a circa 5.000 m³ all'interno delle quali avverrà il processo di asciugatura.

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa dei campioni di materiali additivati che si prevede di prelevare per la successiva caratterizzazione ferme restando eventuali modifiche/integrazioni che potranno emergere dagli studi eco tossicologici che saranno eseguiti in fase di progettazione esecutiva.

Tabella 19 - Tabella riepilogativa dei cumuli di materiali dal solo scavo meccanizzato - 1 ogni 5.000 mc – (parziale rispetto alla tabella 18)

GALLERIA	PRODUZIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO		CAMPIONAMENTI	
	TIPOLOGIA DI SCAVO	MC/BANCO	VOLUME MAX CUMULO	CAMPIONAMENTI N.
GN01A - GN01B- GN01C - GN01D - GN01E - GN01F GN02 - GN03	Scavo meccanizzato	2.373.873	5,000	475
TOTALE		2.373.873		475

Applicando la formula descritta sopra, dei **n = 475** cumuli realizzabili dai materiali additivati provenienti dallo scavo meccanizzato delle gallerie si prevede di sottoporre ad **analisi chimico fisiche m ~ 39**

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO CON ADDITIVI	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R69RG	DOCUMENTO TA0000003	REV. A	PAG. 67/72

campioni, sui quali verranno ricercati i parametri previsti dalla Tabella 4.1 del D.P.R. 120/2017 mentre **le verifiche eco-tossicologiche verranno cautelativamente eseguite su tutti i 41 campioni realizzabili.**

6.2.3 MODALITÀ DI REALIZZAZIONE DEI CAMPIONI

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 D.P.R. n. 120/2017. 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.

Sulla base dell'attuale livello di progettazione, di seguito si riportano i principali step di preparazione del campione per le verifiche analitiche da eseguire in corso d'opera sui materiali provenienti dallo scavo in meccanizzato:

- 1) Il terreno di scavo sarà opportunamente stoccato nelle vasche/piazzole dell'area di caratterizzazione. Ogni vasca/piazzola nell'area di caratterizzazione sarà chiaramente identificabile in relazione alle date di inizio, di fine deposito, TR (Treatment Ratio medio) adottato e fase relativa allo stato della caratterizzazione ambientale;
- 2) Nel momento del deposito del terreno in vasca (tempo di maturazione = 0 giorni) sarà prelevato un campione composito, rappresentativo del cumulo di deposito nel suo complesso, secondo quanto riportato nell'Allegato 4 del DPR 120/2017;
- 3) Per ogni cumulo saranno prelevati un numero di incrementi rappresentativi del cumulo stesso, indicativamente pari a 20 per 5.000 m³ di materiale presente in piazzola. 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 per la verifica eco-tossicologica, dovranno essere conservati congelati ($\leq -20^{\circ}\text{C}$), onde evitare ulteriore biodegradazione dei prodotti aggiunti o rilasciati in fase di scavo.

I campioni di materiale, per confermare la qualifica di sottoprodotto, saranno quindi sottoposti alle seguenti verifiche riportate di seguito.

6.2.4 ANALISI CHIMICO-FISICHE

Sui materiali di scavo provenienti da qualsiasi tipologia di opera che si prevede di gestire in qualità di sottoprodotti, conformemente alla Tabella 4.1 dell'Allegato 4 al D.P.R. n. 120/2017 e al PUT approvato, le analisi chimiche saranno volte alla ricerca dei seguenti analiti:

Metalli	
Arsenico (As)	Piombo (Pb)
Cadmio (Cd)	Rame (Cu)
Cobalto (Co)	Zinco (Zn)
Cromo totale (Cr)	Mercurio (Hg)
Cromo esavalente (Cr VI)	Nichel (Ni)
Altri parametri	
Amianto	IPA*
Idrocarburi pesanti C>12	BTEX*
* Da eseguire nel caso in cui l'area da scavo si collochi a 20 m di distanza da infrastrutture viarie di grande comunicazione, e ad insediamenti che possono aver influenzato le caratteristiche del sito mediante ricaduta delle emissioni in atmosfera.	

6.2.5 VERIFICA ECO-TOSSICOLOGICA

Unicamente sui materiali provenienti dallo scavo meccanizzato delle gallerie, in aggiunta alle analisi di caratterizzazione chimico fisiche riportate sopra si procederà con le seguenti verifiche finalizzate ad accertare la sussistenza dei requisiti di sottoprodotto:

- Dal campione di terreno composito, tale da assicurare una quantità sufficiente di frazione inferiore ai 4mm, salvo situazioni particolari da valutare caso per caso con l'autorità di controllo, si produrranno aliquote di elutriato (rapporto ponderale acqua/terreno 10/1, compresa l'acqua inizialmente presente nel campione, secondo la norma UNI10802). L'elutriato prodotto viene ottenuto separando la fase liquida da quella solida attraverso una prima fase di sedimentazione, una successiva centrifugazione a 12000 rpm per 15 min. Successivamente, per ogni campione, si preleva un'aliquota per la misura di MBAS (per l'individuazione di una eventuale correlazione analitica con la risposta eco-tossicologica) e la restante parte viene sottoposta a processo di filtrazione con filtro Whatman (450 nm), eventualmente con pompa da vuoto, per l'esecuzione del test eco-tossicologico. Nel caso in cui l'aliquota di elutriato utilizzata per l'analisi eco-tossicologica non fosse ancora limpida, è necessario eseguire step successivi di centrifugazione a 12000 rpm

per 15 min e di filtrazione con filtro Whatman anche di porosimetria inferiore (220 nm) fino all'ottenimento di una fase liquida limpida. Una porzione dell'elutriato prodotto potrà essere conservata congelata ($\leq -20^{\circ}\text{C}$), per eventuali ulteriori analisi. Per ogni campione si dovrà misurare anche l'umidità residua. Le misure dell'MBAS saranno eseguite analogamente alle altre al fine di confrontare i valori ottenuti dai test eco-tossicologici e le misure di MBAS ottenute. Tale confronto deve essere visto come ulteriore strumento di valutazione e interpretazione delle misure eco-tossicologiche eseguite e di accrescimento del database di informazioni di letteratura sul profilo ambientale del terreno condizionato. La misura dell'MBAS sarà presa unicamente come riferimento indicativo e quindi non vincolante ai fini della gestione delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto;

- Sullo stesso elutriato prodotto secondo il precedente punto, si eseguirà il test di eco-tossicità acuta sull'organismo che, dagli studi eseguiti sulle successive fasi progettuali, sarà ritenuto maggiormente sensibile (cfr. Vibrio Fischeri, Daphnia magna, ecc.);
- Il saggio acuto di immobilizzazione dell'organismo sarà condotto almeno in quattro repliche determinando il valore medio (m) e la deviazione standard (σ). Il risultato del saggio di tossicità è espresso come media dei valori percentuali di immobilizzazione/mortalità delle repliche del saggio (m) ed è conforme se tale valore medio percentuale, sottratta la deviazione standard e in riferimento al valore del test eseguito sul bianco (elutriato prodotto dallo stesso terreno non additivato con gli agenti condizionanti), è $\leq 20\%$;
- Nel caso in cui non fosse riscontrato un effetto tossico significativo (valore di effetto $\leq 20\%$ rispetto al valore del bianco), il terreno condizionato proveniente dal sito di deposito potrà essere qualificato come sottoprodotto, fermo restando il rispetto dei limiti degli altri parametri che devono essere controllati in riferimento alla destinazione d'uso del sito di utilizzo, secondo quanto previsto nel PUT;
- Nel caso in cui fosse riscontrato un effetto tossico significativo (valore di effetto $> 20\%$ rispetto al valore del bianco), la maturazione del terreno dovrà continuare per un tempo superiore (indicativamente 7 giorni) utile a raggiungere le condizioni di conformità, e pertanto il test con l'organismo testato dovrà essere ripetuto a tempi maggiori di maturazione del terreno stoccato nell'area di deposito;

- La metodica di esecuzione del test con l'organismo testato, nonché la metodica di produzione dell'elutriato dovranno fare riferimento agli standard riconosciuti a livello nazionale ed internazionale e saranno esplicitate nella successiva fase di Progetto Esecutivo.

6.3 LOGISTICA DI CANTIERE

Si riportano di seguito le modalità di stoccaggio dei materiali da scavo che si prevede di gestire in qualità di sottoprodotti, in attesa di essere caratterizzati secondo quanto riportato sopra.

6.3.1 STOCCAGGIO DEL MATERIALE SCAVATO CON METODI TRADIZIONALI

Le aree di deposito esterne o interne al cantiere e le zone di movimentazione (carico/scarico) saranno allestite presso le aree di deposito intermedio indicate nel PUT. La movimentazione dei materiali avverrà avvalendosi delle seguenti dotazioni: pale gommate, autocarri e pale meccaniche, pompe idrauliche per la captazione delle acque di ruscellamento, gruppi elettrogeni e impianto di illuminazione.

Da un punto di vista costruttivo si procederà come segue:

- modellamento della superficie su cui sorgerà il modulo di deposito temporaneo tramite limitate movimentazioni di materiale, allo scopo di regolarizzare la superficie e creare una pendenza omogenea dell'ordine dell'1% in direzione del lato privo di arginatura;
- predisposizione di una canaletta di sezione trapezoidale posta ai piedi della pendenza;
- impermeabilizzazione della canaletta con geotessile tessuto in polietilene ad alta densità (HDPE), rivestito con uno strato di polietilene a bassa densità (LDPE);
- realizzazione di un pozzetto di sicurezza posto lateralmente all'area di stoccaggio nel quale verranno convogliate le acque raccolte dalla canaletta di cui al punto precedente.

Qualora, durante la fase di deposito, il livello dell'acqua nel pozzetto raggiuga il franco di sicurezza, si procederà allo svuotamento tramite autobotte gestendo l'acqua nell'ambito della normativa sui rifiuti ovvero classificazione e smaltimento presso impianto autorizzato.

Seguirà poi l'impermeabilizzazione della superficie e degli argini in terra con telo di materiale polimerico (HDPE) previa stesura di tessuto non tessuto a protezione del telo stesso. Al di sopra della geomembrana impermeabilizzante sarà, quindi, posato uno strato di terreno compattato dello spessore di 10 – 15 cm per evitare danneggiamenti della struttura impermeabile realizzata dovuti al transito dei mezzi d'opera.



LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

**ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI
MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO
MECCANIZZATO CON ADDITIVI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	71/72

Al termine di ogni giornata di lavoro si provvederà a stendere sopra ciascun cumulo un telo impermeabile in PE, opportunamente ancorato, in modo da evitare fenomeni di dilavamento dei materiali ivi depositati da parte delle acque meteoriche.

Nel caso di aree di stoccaggio adibite al deposito sia dei sottoprodotti che di altri materiali, gli stessi saranno ben distinti, separati ed opportunamente identificati: i materiali depositati saranno suddivisi in cumuli e la tracciabilità dei materiali sarà assicurata avendo cura di utilizzare sistemi identificativi di ogni cumulo (cartellonistica), al fine di poterne rintracciare la tipologia, il sito di produzione e la lavorazione (WBS) di provenienza.

6.3.2 STOCCAGGIO DEL MATERIALE SCAVATO CON TBM

Tutto il materiale scavato mediante TBM sarà invece raccolto in apposite vasche con una superficie di circa 5.000 m².

L'altezza massima del materiale - in attesa di caratterizzazione - depositato all'interno delle vasche è di circa 60/100 cm, pertanto ogni vasca consente di stoccare circa 3.000/5.000 m³, quantitativo potenzialmente superiore alla produzione giornaliera attesa per ogni singola macchina di scavo (stimabile in circa 2.500 m³).

Le vasche destinate al deposito del materiale di scavo condizionato sono completamente impermeabilizzate alla base con teli in PVC e protezione di calcestruzzo. In tal modo è possibile escludere percolazioni di additivi condizionanti nel terreno e nelle falde, ancorché in misura ridotta. Ogni vasca è separata tramite muretti in calcestruzzo di altezza non inferiore ad 1 m per evitare qualsiasi fuoriuscita del materiale durante le fasi di movimentazione dello stesso.

Le vasche di raccolta del materiale condizionato sono progettate in modo da avere una pendenza verso un canale ribassato interno alle vasche di stoccaggio, dotato di uno scarico a "sfiore" e appositamente riempito con materiale arido: il sistema studiato ha lo scopo di favorire una preventiva decantazione del materiale più fine siltoso/limoso all'interno del canale.

La movimentazione dei materiali avverrà avvalendosi delle seguenti dotazioni: pale gommate, autocarri e pale meccaniche.

Il materiale permarrà nella vasca per il tempo necessario alla biodegradazione (stimabile in circa 7 giorni - tale lasso di tempo potrà protrarsi in presenza di condizioni climatiche avverse) e caratterizzazione (chimica ed eco-tossicologica). Ad ogni modo la vasca sarà svuotata all'esito positivo delle caratterizzazioni sopra descritte.



**LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
RADDOPPIO CONSENZA – PAOLA S. LUCIDO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

**ANNESSO TECNICO PER LA GESTIONE DEI
MATERIALI PROVENIENTI DALLO SCAVO
MECCANIZZATO CON ADDITIVI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RC1C	03	R69RG	TA0000003	A	72/72

È evidente che le considerazioni riportate nel presente paragrafo inerenti alla logistica di cantiere potranno essere modificate/integrate sulla base degli studi di approfondimento che verranno eseguiti nelle successive fasi progettuali.