

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI - BARI
RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA
I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA
 PROGETTO AMBIENTALE DELLA CANTIERIZZAZIONE
 ANALISI AMBIENTALI DEI MATERIALI

Studio Ecotossicologico per le Gallerie Naturali

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA AV Il Direttore Tecnico Ing. Vincenzo Moriello 21/02/2020	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	Ing. Vincenzo Moriello

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

IF28	01	E	ZZ	SD	TA000X	001	C	-
------	----	---	----	----	--------	-----	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per consegna	GEEG	19/11/2019	C. Rollo	19/11/2019	F. Carriero	19/11/2019	G. Cassani
B	Emissione per integrazione dati	GEEG	22/01/2020	C. Rollo	22/01/2020	F. Carriero	22/01/2020	
C	Emissione per consegna	GEEG	21/02/2020		21/02/2020		21/02/2020	
								21/02/2020

File: IF2801EZZSDTA000X001C.docx

n. Elab.: -



GEEG

GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL
ENGINEERING GROUP

Startup di



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

“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”.”

Febbraio 2020

Indice

Premessa	3
Introduzione.....	5
Campionamento.....	6
1 Studi preliminari sugli additivi e sul terreno.....	9
1.1 Valutazione dei rischi ambientali.....	9
1.2 Metodi analitici	12
1.2.1 Principio del metodo di tossicità acuta con Vibrio fischeri	12
1.2.2 Modalità di esecuzione	12
1.2.3 Principio del metodo di tossicità acuta con Daphnia Magna	13
1.2.4 Esecuzione del test di tossicità acuta con Daphnia Magna	13
1.2.5 Metodo dell'MBAS	14
1.2.6 Misura del TOC	14
2 Stima dei dosaggi e valutazione del potenziale rischio sulla salute umana e sull'ambiente secondo il regolamento (CE) n. 1272/2008.....	15
2.1 I parametri caratteristici della schiuma	15
3 Allestimento set sperimentale per lo studio di laboratorio.....	25
4 Risultati test chimici.....	27
4.1 Risultati dei test chimici (Flysch).....	27
4.2 Risultati dei test chimici (Marna).....	30
5 Risultati dei test eco-tossicologici (Flysch)	34
5.1 Risultati dei test con il batterio V. Fischeri.....	34
5.2 Risultati dei test con il Daphnia Magna.....	36
6 Risultati dei test eco-tossicologici (Marna)	37
6.1 Risultati dei test con il batterio V. fischeri.....	37
6.2 Risultati dei test con il Daphnia Magna.....	38
7 Conclusioni generali dello studio sperimentale ecotossicologico.....	40
7.1 Conclusioni sullo studio condotto sul Flysch	40
7.2 Conclusioni dello studio condotto sulla Marna	41
Bibliografia.....	43

Premessa

Nella presente Relazione Finale vengono riportati i risultati conclusivi delle attività di ricerca svolte da GEEG, Geotechnical and Environmental Engineering Group, startup innovativa dell'Università di Roma "Sapienza" riguardanti lo "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 delle gallerie della tratta Apice – Orsara del Lotto 1 Apice – Irpinia, rientrante nell'intervento di potenziamento della linea ferroviaria Napoli - Bari".

In particolare è stata eseguita una sperimentazione volta alla determinazione di un eventuale impatto ambientale degli additivi schiumogeni realmente impiegati nel tratto di scavo interessato (scavato quindi con EPB), utilizzando come terreno da condizionare quello realmente scavato in sito.

Lo studio di tali agenti condizionanti non può prescindere dall'accoppiamento di uno studio relativo alla biodegradazione e uno eco-tossicologico. Il protocollo sperimentale che verrà seguito per tale studio prevede, una volta allestito il set di campioni, campionamenti di terreno condizionato per la determinazione dei seguenti parametri: umidità, MBAS, TOC e risultati dei test eco-tossicologici su estratto acquoso, ottenuto secondo la UNI 10802:2004 + UNI EN 12457:2004 utilizzando come organismi bersaglio il Daphnia Magna e il Vibrio Fischeri. La scelta degli organismi bersaglio è funzione di diverse considerazioni: matrice ambientale maggiormente interessata, sensibilità dell'organismo, rappresentatività dell'organismo nella matrice specifica, riproducibilità, affidabilità dei test e stato dell'arte.

Considerando l'elevata solubilità in fase acquosa delle classi di composti maggiormente presenti negli additivi di scavo (tensioattivi anionici) e considerando i risultati di diversi studi presenti in letteratura in cui si riporta una notevole differenza di sensibilità fra organismi terrestri e acquatici alla presenza degli additivi di scavo [4–6] si è preferito selezionare solo organismi bersaglio del comparto acquatico. In particolare, come riportato in letteratura in numerosi articoli di settore, gli organismi Vibrio Fischeri e Daphnia Magna sono quelli più comunemente utilizzati, molto sensibili alla presenza delle classi di composti tipicamente presenti negli additivi di scavo [4–7].

Per una corretta valutazione del terreno condizionato con i prodotti chimici utilizzati sono necessari studi approfonditi e sperimentazioni appositamente eseguite impiegando i prodotti chimici che si prevede di utilizzare in cantiere, ma anche i campioni rappresentativi del terreno che

verrà scavato. La sperimentazione sito-specifico, infatti, è necessaria per valutare l'effettiva degradazione delle sostanze organiche contenute nei prodotti chimici impiegati, dal momento che lo sviluppo dei processi di biodegradazione dipende dalla composizione chimica del terreno e dal complesso di tutti i microrganismi presenti nei campioni di terreno o nell'aria e nell'acqua con cui essi vengono a contatto dopo il prelievo.

GEEG (Geotechnical and Environmental Engineering Group) Startup innovativa dell'Università di Roma "La Sapienza" ha da tempo messo a punto, all'interno dei laboratori del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica e del Dipartimento di Chimica Materiali Ambiente, una serie di apparecchiature e strumentazioni finalizzate alla corretta esecuzione di tali studi ed ha messo a punto una serie di protocolli sperimentali e standard utili a riprodurre in modo controllato la generazione della schiuma, l'iniezione della stessa e la miscelazione al terreno in modo da replicare, negli aspetti fondamentali, il processo di condizionamento del terreno che avviene al fronte di scavo e nella camera di scavo della TBM.

In questo documento sono sinteticamente riassunti i risultati delle attività sperimentali sviluppate su richiesta del Consorzio HIRPINIA AV.

Nel seguito si riportano:

- a- le **valutazioni preliminari** su 6 **miscele condizionanti** sulla base di considerazioni dedotte dalle SDS (principali sostanze contenute e percentuale nel prodotto stesso) fornite dalle ditte produttrici (MAPEI, LAMBERTI, BASF e CONDAT);
- b- le **modalità di condizionamento** del terreno proveniente dal sito di scavo con gli agenti schiumogeni e le valutazioni di impatto ambientale in accordo con il regolamento (CE) n. 1272/2008;
- c- i risultati dei **test chimici ed eco-tossicologici** condotti **sui terreni condizionati** con gli agenti schiumogeni e sul terreno non condizionato;
- d- **conclusioni generali** dello studio di eco-tossicità del terreno con i diversi agenti condizionanti.

Introduzione

Lo scavo meccanizzato di gallerie realizzato con TBM e tecnologia EPB (Earth Pressure Balance) prevede che in fase di scavo il terreno rimosso dal fronte venga additivato con prodotti chimici allo scopo di ottenere un mezzo idoneo ad agevolare le operazioni di scavo, di sostegno del fronte e di trasporto del terreno scavato (smarino) all'esterno della galleria. L'iniezione e la miscelazione con il terreno di sostanze chimiche sotto forma di schiume avvengono durante le fasi di scavo della galleria ed è comunemente definito condizionamento. Un buon condizionamento del terreno di scavo dunque ha principalmente i seguenti scopi:

- conferire al terreno una consistenza atta a permettere un corretto deflusso dello stesso dal fronte alla camera di scavo e successivamente, attraverso la coclea, al nastro di smarino;
- omogeneizzare il materiale di scavo trasformandolo in un mezzo multifase in grado di trasmettere una pressione al fronte di scavo necessaria al suo sostegno;
- lubrificare il terreno riducendone l'azione abrasiva nei confronti degli utensili di scavo posti sulla testa della TBM;
- ridurre la naturale tendenza del terreno a grana fine ad aderire alle parti meccaniche della TBM, prevenendo il rischio dell'effetto "clogging";
- diminuzione delle temperature, del torque e conseguentemente dei consumi.

Sulla TBM è installato un impianto di iniezione delle schiume dotato di generatori e linee che possono, in modo indipendente, raggiungere tutte le posizioni della testa fresante e della camera di scavo. Le schiume vengono immesse, mediante ugelli posizionati sulla testa di scavo, direttamente sul fronte di scavo e se necessario all'interno della camera di scavo e/o all'interno della coclea in fase di estrazione dello smarino.

Gli agenti condizionanti sono delle miscele acquose costituite da uno o più composti principali, i tensioattivi anionici, in particolare il Sodium lauryl ether sulfate (SLES) e da uno o più composti minoritari, gli additivi. I primi sono i composti schiumogeni mentre i secondi possono avere diverse funzionalità, dall'incremento della semivita e della stabilità della schiuma generata alla conservazione delle caratteristiche chimico-fisiche del prodotto tal quale quando si trova nelle zone di stoccaggio.

I tensioattivi sono composti organici che in concentrazioni rilevanti possono essere nocivi per l'ambiente. Per la gestione e il riutilizzo del materiale di smarrino trattato con le schiume, pertanto, è necessario eseguire degli specifici studi che consentano di valutare la pericolosità del terreno miscelato a tali prodotti e l'evoluzione dei naturali processi di biodegradazione. Il

condizionamento del terreno può essere eseguito mediante l'iniezione di differenti prodotti chimici e non; la scelta di questi prodotti dipende principalmente dal tipo di terreno da condizionare ma anche da altri fattori quali le caratteristiche della TBM, le condizioni idrauliche al contorno, le caratteristiche del tracciato e le interferenze con manufatti preesistenti o dalla destinazione prevista per il terreno scavato (smarino).

In particolare, gli agenti condizionanti più comunemente utilizzati sono comunemente definiti agenti schiumogeni, impiegati per:

- la creazione di mezzo omogeneo in grado di trasferire correttamente la pressione al fronte di scavo;
- la riduzione della permeabilità del terreno e conseguente prevenzione di venute d'acqua all'interno della TBM;
- la lubrificazione del terreno con conseguente riduzione dell'usura degli utensili di scavo e delle parti metalliche della testa di scavo e riduzione del momento torcente, degli sforzi e del consumo legato alla rotazione della testa;
- la dispersione delle parti argillose e riduzione dell'effetto clogging causato dall'adesione di porzioni di terreno alla carpenteria metallica, con conseguente aumento di momento torcente, temperatura e sforzo nella testa di scavo.

Gli agenti schiumogeni sempre più spesso vengono additivati con polimeri, in fase di produzione o in fase di utilizzo, allo scopo di potenziarne alcune caratteristiche specifiche, in particolare esistono additivi/polimeri:

- lubrificanti;
- disperdenti o disgreganti;
- addensanti;
- ritenitori d'acqua;
- stabilizzanti.

Ai terreni che hanno scarsa presenza di materiale fino possono essere aggiunti anche bentonite o materiale fino di altra natura. Altri additivi sono usati anche per evitare segregazione e per ridurre la permeabilità del terreno.

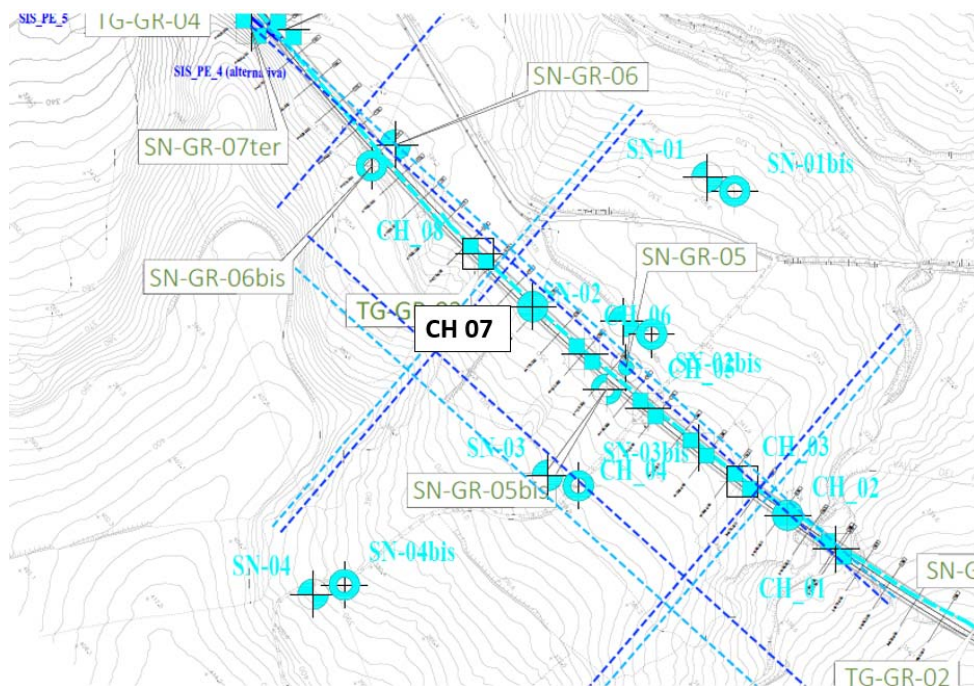
Campionamento

L'esecuzione dello studio ha richiesto l'utilizzo di campioni di terreno da additivare con gli agenti chimici come verrà descritto nel seguito di questo stesso documento e sui quali sono state eseguite prove chimiche ed eco-tossicologiche ad intervalli di tempo regolari.

Il prelievo dei campioni è avvenuto direttamente in sito, in collaborazione con il Consorzio HIRPINIA AV, mediante foro di sondaggio realizzato fino ad interessare la quota di scavo della galleria.

Questo ha permesso innanzitutto il prelievo di campioni a tutti gli effetti rappresentativi dei litotipi interessati dalle future attività di scavo e, inoltre, ha permesso di selezionare con adeguata attenzione i campioni che sono stati poi utilizzati per le attività sperimentali di carattere chimico ed eco-tossicologico i quali sono stati immediatamente ripuliti da eventuali residui del fango di perforazione e sigillati in appositi contenitori.

Essendo estremamente importante che i campioni di terreno utilizzati potessero essere considerati rappresentativi del terreno effettivamente scavato dalla TBM, sono stati eseguiti sondaggi appositi denominati CH 07 per il litotipo definito Flysch e SROC1 per il litotipo denominato Marna, come riportato nelle immagini seguenti (Figura 1).



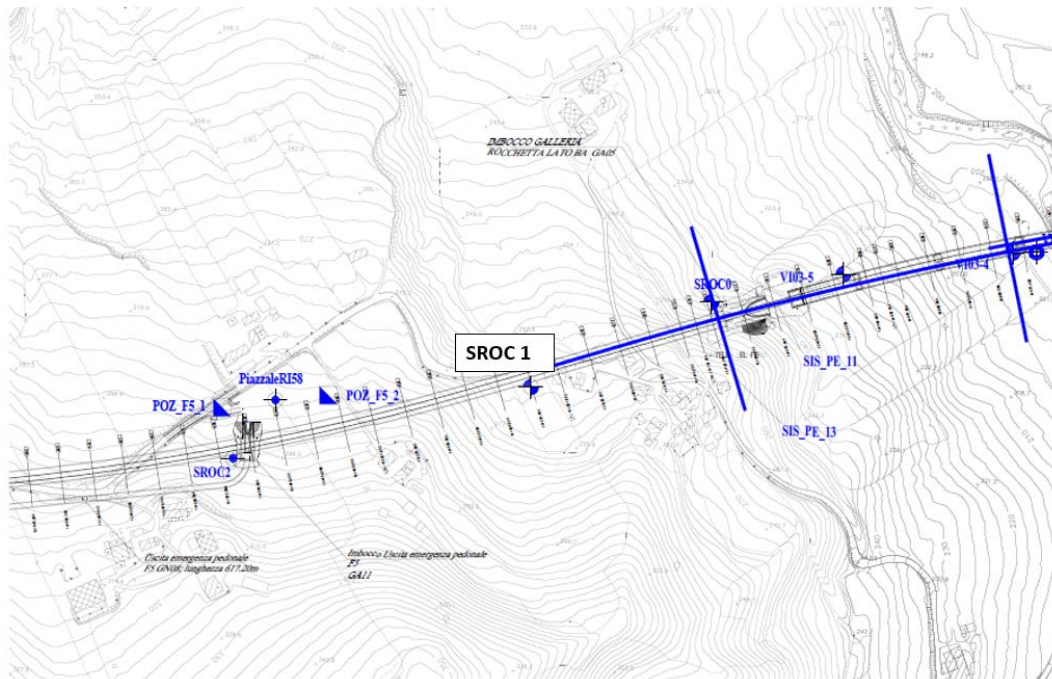


Figura 1: ubicazione dei sondaggi effettuati.

I restanti campioni sono stati pesati, numerati e chiusi in sacchetti al solo scopo di ridurre quanto più possibile la variazione del contenuto d'acqua nel tempo strettamente necessario al trasporto presso i laboratori della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma "La Sapienza". Tutti i campioni sono stati trasportati in laboratorio al massimo 24 ore dopo il loro prelievo.

1 Studi preliminari sugli additivi e sul terreno

1.1 Valutazione dei rischi ambientali

Lo studio è basato su una valutazione delle caratteristiche di biodegradazione e di eco-tossicità degli agenti condizionanti. L'eco-tossicologia studia gli effetti misurabili e quantificabili (morte, inibizione della riproduzione ecc.) su organismi bersaglio, appartenenti a diversi comparti ambientali, causati dalla presenza di determinate quantità di composti o miscele con cui gli organismi sono messi a contatto (per via orale, per contatto, attraverso l'ambiente circostante, per via endovenosa ecc.).

La biodegradazione è un insieme di processi biochimici eseguiti da microrganismi presenti naturalmente nei comparti ambientali (terreno, acqua e aria) e che si trovano nel terreno condizionato. Tali microrganismi sono principalmente batteri aerobici, cioè in grado di utilizzare l'ossigeno per ossidare (biodegradare) i composti organici presenti nel terreno (sia quelli naturalmente presenti nel suolo sia quelli aggiunti dall'uomo, nel caso specifico i componenti degli agenti condizionanti). La caratterizzazione iniziale di ciascun prodotto condizionante è stata svolta insieme a un primo screening dei prodotti proposti dalle aziende basato sulle schede di sicurezza.

Tale valutazione preliminare, in base al DPR 120/17, permette di verificare che siano garantiti i requisiti di protezione della salute dell'uomo e dell'ambiente rispetto alla classificazione sostanze pericolose, ai sensi del regolamento (CE) n. 1272/2008 relativo alla classificazione, etichettatura e imballaggio delle sostanze e delle miscele (CLP).

I 4 prodotti schiumogeni valutati per gli studi di caratterizzazione chimica e di eco-tossicità ambientale per il **terreno Flysch** sono:

- Polyfoamer ECO/100 PLUS (MAPEI);
- FOAMEX SNG-AC (LAMBERTI);
- MasterRoc SLF 32 (BASF);
- CLB F5/AC (CONDAT);

Due dei 4 prodotti sono stati testati anche aggiungendo l'1% dell'additivo polimerico. Le combinazioni studiate sono:

- Polyfoamer ECO/100 PLUS (MAPEI) con Stabilfoam 300 (MAPEI);
- MasterRoc SLF 32 (BASF) con MasterRoc ACP 214 (BASF).

I 2 prodotti schiumogeni valutati per gli studi di caratterizzazione chimica e di eco-tossicità ambientale per il **terreno Marna** (Rocchetta) sono:

- MasterRoc SLF 32 (BASF);

- CLB F5/AC (CONDAT);

uno dei due prodotti è stato testato aggiungendo l'1% dell'additivo polimerico. La combinazione è la seguente:

- MasterRoc SLF 32 (BASF) con MasterRoc ACP 214 (BASF).

L'analisi di rischio, volta quindi a valutare in via quantitativa i rischi per la salute umana connessi alla presenza di inquinanti nelle diverse matrici ambientali, tiene conto di ciascuna sostanza presente nei prodotti commerciali e la relativa percentuale in essi contenuta. Le informazioni relative ai prodotti testati in questo documento sono riportati nella tabella seguente (% in massa nel prodotto, Tab.1):

Tab.1: informazioni reperibili dalle schede di sicurezza dei prodotti.

LAMBERTI FOAMEX SNG-AC		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
Sodium alkylether sulphate.	9004-82-4	7-10
MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
sodium laureth sulfate	9004-82-4	5-10
BASF MasterRoc SLF 32		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	68891-38-3	10-20
MAPEI STABILFOAM 300		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	68891-38-3	25-50
BASF MasterRoc ACP 214		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
n.a.*	n.a.*	n.a.*
CONDAT CLB F5/AC		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	68891-38-3	5-10
2-metil-2,4-pentandiolo	107-41-5	5-10
Mono-C10-16-alkyl, Solfato di sodio	68585-47-7	5-10
Alcoli, C10-18	85711-71-3	<1

* Per il prodotto **BASF MasterRoc ACP 214**, a causa della mancanza di documentazione, non è stato possibile riportare alcuna informazione.

Si riportano inoltre le caratteristiche chimico-fisiche dei prodotti tratte dalle schede tecniche di sicurezza fornite dalle diverse ditte produttrici (Tab.2).

Tab.2: caratteristiche fisiche reperibili dalle schede di sicurezza dei prodotti.

	Polyfoamer ECO/100 PLUS	STABILFO AM 300	FOAMEX SNG-AC	MasterRoc SLF 32	CONDAT CLB F5/AC	MasterRoc ACP 214
Aspetto	Liquido	Liquido	Liquido	Liquido	Liquido	Liquido
Colore	Paglierino	Trasparente	Giallognolo	Incolore - Lievemente paglierino	Incolore - Giallo	Bruno scuro
Densità (g/cm³)	1.01-1.07	N.D.	1.02	1.008-1.028	1.04	1.113-1.119
pH a 20 °C	8.5	7	6 - 9	10.5	8-9	6-8
Punto di ebollizione	100 °C	N.D.	N.D.	>100 °C	100 °C	>100 °C
Sostanza chimica principale	Sodium laureth sulfate; 5-10% CAS 9004-82-4	Alcoli, C12- 14, etossilati, solfati, sali di sodio 25% - < 50% CAS 68891-38-3	Sodium alkylether sulphate. 7% - < 10% CAS 9004-82-4	Alcohols, C12- 14, ethoxylated, sulfates, sodium salts 10% - < 20% CAS 68891-38-3	Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts 5% - < 10% CAS 68891-38-3	n.a.*

* Per il prodotto **BASF MasterRoc ACP 214**, a causa della mancanza di documentazione, non è stato possibile riportare alcuna informazione.

Coerentemente con gli standard interni di GEEG, messi a punto al fine di garantire la totale indipendenza delle valutazioni fornite, l'attività deve essere considerata a tutti gli effetti un "blinded-experiment" in quanto i campioni di prodotti da testare sono stati travasati prima dell'inizio dell'attività sperimentale in taniche contrassegnate da HIRPINIA con un codice ed una lettera progressiva, il che ha portato all'esecuzione di tutte le attività di laboratorio descritte in questo documento senza che nessuno del personale coinvolto nelle attività sperimentali potesse ricollegare in alcun modo il singolo prodotto al fornitore.

Prima di condurre i test, gli agenti schiumogeni sono stati trasferiti all'interno di recipienti poi nominati con le lettere dell'alfabeto (A, B, C, D, AP e BP).

Si riportano comunque i riferimenti di seguito (Tab.3):

Tab.3: riferimento dei prodotti.

ID	PRODOTTO
A	= Polyfoamer ECO/100 Plus (MAPEI)
B	= MasterRoc SLF 32 (BASF)
C	= FOAMEX SNG-AC (LAMBERTI)
D	= CLB F5/AC (CONDAT)

ID	PRODOTTO
AP	= Polyfoamer ECO/100 Plus con l'aggiunta di StabilFoam +300 (MAPEI)
BP	= MasterRoc SLF 32 con l'aggiunta di MasterRoc ACP 214 (BASF)

1.2 Metodi analitici

1.2.1 Principio del metodo di tossicità acuta con *Vibrio fischeri*

Il saggio di tossicità acuta con *Vibrio fischeri*, un batterio gram negativo marino bioluminescente, permette di valutare la tossicità acuta di campioni utilizzando come risposta l'inibizione della sua bioluminescenza naturalmente emessa secondo il metodo ISO 11348-3:2007 (Water quality – Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (luminescent bacteria test) – Part 3: Method using freeze-dried bacteria). La cinetica del metabolismo energetico è direttamente correlata all'intensità dell'emissione luminosa, per cui la variazione dell'intensità luminosa (bioluminescenza) è connessa alla funzionalità dell'intero apparato metabolico dei batteri e può essere considerata un indice del loro stato di salute.

La luminescenza di *V. fischeri* varia di intensità proporzionalmente alla tossicità del campione. Come strumento per la valutazione dell'intensità della bioluminescenza si è utilizzato un luminometro, mediante una prova discontinua a vari tempi di esposizione. La sospensione dei batteri viene mantenuta a 5°C nel liquido ricostituente mentre i pozzetti in cui si inseriscono i contenitori con le soluzioni di misura sono mantenuti a 15°C.

1.2.2 Modalità di esecuzione

La prima fase prevede la lettura di una soluzione di cloruro di sodio di concentrazione pari a 2 g/l (il BIANCO) dopo aver aggiunto 100 µL di sospensione batterica, rilevando l'emissione luminosa a 490 nm. Il valore viene confrontato con quello della soluzione da testare a cui, dopo il controllo della conducibilità, viene aggiunto, oltre alla sospensione batterica, un correttore osmotico, per ripristinare le condizioni naturali di vita del *V. fischeri*.

I diversi campioni, come previsto da protocollo precedentemente riportato, sono stati diluiti all'81,9 % rispetto alla soluzione da analizzare, in quanto si è aggiunta la soluzione di cloruro di sodio 20 g/l (il correttore osmotico) e la sospensione batterica. La lettura della luminescenza è stata effettuata a 5, 15 e 30 minuti dalla miscelazione dei batteri con il campione. Prima dei test, come previsto da protocollo, si misura il valore di pH e di conducibilità dei campioni da analizzare, per controllare che il pH ricada nell'intervallo 6-9 previsto dal metodo ISO 11348-3:2007, modificandolo attraverso l'impiego di HCl 0.1 mol/l nel caso in cui si trovi al di fuori di tale intervallo e che la conducibilità non aumenti troppo per l'aggiunta del correttore osmotico.

Nel caso di soluzioni molto torbide (presenza di particolato solido per esempio) è strettamente necessario separare la parte solida da quella liquida prima di effettuare qualsiasi misura. Nel caso specifico di misure svolte su elutriati acquosi da terreni con grana molto fine, è consigliabile eseguire delle centrifugazioni a 12000 rpm per 15 min, separando il surnatante di volta in volta fino a ottenere una soluzione limpida.

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

Il crostaceo cladocero della specie *Daphnia Magna* Straus è l'organismo bersaglio utilizzato nel test OECD 202 (*Daphnia* sp. Acute Immobilisation Test, test acuto di immobilizzazione di *Daphnia* sp.), usualmente proveniente da uova durature "efippi" prodotte dalla MicroBiotest. In base alle normative standardizzate si utilizzano dei kit con efippi e soluzioni per il set up sperimentale (per il mezzo di crescita dei crostacei con un sistema multi-pozzetto per l'esecuzione delle misure in quadruplicato, in base agli standard di riferimento multi-pozzetto comprendente 4 repliche, in accordo con le normative standard internazionali (OECD, ISO, USEPA, ASTM). I neonati di meno di 24h vengono immessi nel campione da analizzare e dopo un periodo di tempo prestabilito (24h) si osserva la percentuale di individui sopravvissuti.

1.2.4 Esecuzione del test di tossicità acuta con *Daphnia Magna*

Gli efippi vengono inizialmente incubati per circa 80 ore a $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ e con illuminazione di 6000lux, a valle dell'incubazione si utilizzano gli individui maturati (detti ora dafnidi) per l'esecuzione dei test. Il sistema multi-pozzetto con 4 repliche contenenti 10 ml di soluzione da testare e 5 neonati di *Daphnia* trasferiti con micropipetta e utilizzato un microscopio stereoscopico viene posizionato in un frigo termostato e incubato a $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ al buio. Si utilizzano quindi 20 dafnidi per ogni saggio di tossicità acuta, con età inferiore alle 24 h. I risultati del test (immobilizzazione dei dafnidi) a 24 o 48 h a seconda del test, si confrontano con un controllo (il mezzo di crescita degli organismi, detto controllo negativo) e con una soluzione di $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (controllo positivo) per confermare l'idoneità del mezzo di crescita e degli organismi utilizzati. Il saggio risulta valido nel momento in cui nel controllo negativo si ha un massimo di effetto tossico pari al 10% di individui immobilizzati e nel momento in cui nel controllo e nei pozzetti si misura una concentrazione di ossigeno disciolto superiore a 3 mg/l.

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

valori <20% di immobilizzazione rispetto al BIANCO del mezzo in cui si trovano le sostanze in studio.

Nel caso di soluzioni molto torbide (presenza di particolato solido per esempio) è strettamente necessario separare la parte solida da quella liquida prima di effettuare qualsiasi misura. Nel caso specifico di misure svolte su elutriati acquosi da terreni, si eseguono almeno 4 centrifugazioni a 12000 rpm per 10 min, separando il surnatante di volta in volta fino a ottenere una soluzione limpida.

1.2.5 Metodo dell'MBAS

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

1.2.6 Misura del TOC

Il TOC (Total Organic Carbon, mg o g di C/L di soluzione) è una misura quantitativa del carbonio organico presente nella soluzione acquosa del prodotto schiumogeno. La misura del TOC è indiretta, in quanto ciò che viene misurato direttamente è il carbonio totale (TC, che misura la somma fra carbonio organico e inorganico) e quello inorganico (IC) e il TOC è dato dalla differenza fra TC e IC. La misura del TOC indica la quantità di composti organici presenti nel prodotto schiumogeno; in generale, maggiore è il TOC di un prodotto, maggiore è la quantità di substrato per i microrganismi che dovranno occuparsi della biodegradazione della schiuma che verrà prodotta. Un maggiore TOC non indica necessariamente un prodotto caratterizzato da una cinetica di biodegradazione meno celere, rispetto a un secondo prodotto con un minore TOC. Per la misura del TOC si è utilizzato un analizzatore Shimadzu 5000.

2 Stima dei dosaggi e valutazione del potenziale rischio sulla salute umana e sull'ambiente secondo il regolamento (CE) n. 1272/2008

2.1 I parametri caratteristici della schiuma

La schiuma è stata prodotta mediante l'utilizzo del generatore di schiuma rappresentato in figura 1; tale generatore è stato messo a punto in modo da replicare in tutti gli aspetti principali il sistema di generazione utilizzato sulle TBM; i parametri caratteristici della schiuma sono gli stessi che vengono misurati in tempo reale durante le varie fasi di scavo e permettono un confronto tra quanto ricavato in laboratorio e quanto sperimentato in cantiere, una volta tenuto in debito conto le inevitabili differenze tra quanto avviene in cantiere e lo scavo mediante TBM (effetto scala). Tutte le operazioni sono gestite attraverso l'interfaccia, mostrata sempre in figura 2, la quale misura (ed eventualmente registra) in ogni momento i flussi e le pressioni di aria ed acqua.

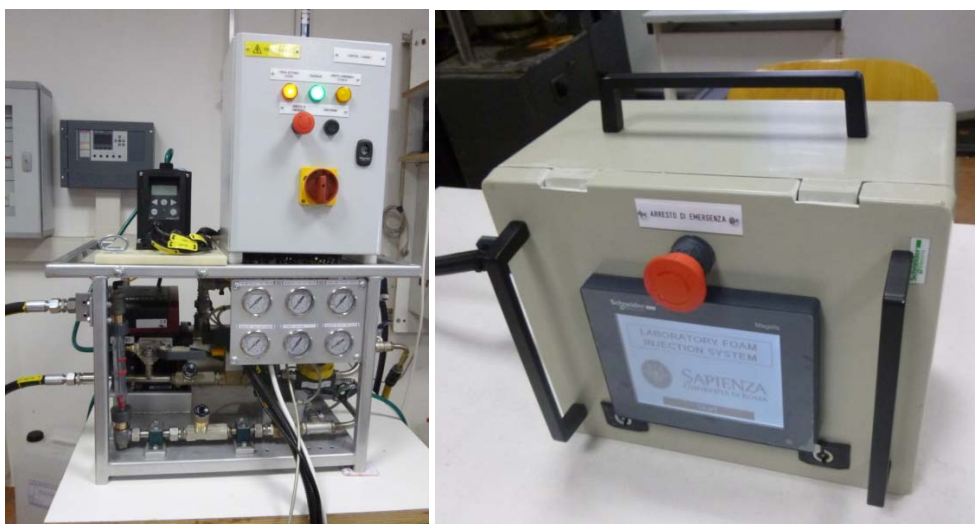


Figura 2: generatore di schiuma e PLC per il controllo dei parametri di condizionamento.

Per ridurre ulteriormente le differenze tra le condizioni riprodotte in laboratorio e le condizioni di cantiere, tra i diversi tipi a disposizione, è stata montata nell'impianto di generazione una lancia (o cannone) per la generazione della schiuma del tutto identica a quella montata sulla TBM.

La possibilità di riprodurre la generazione della schiuma con gli stessi parametri e con elementi dell'impianto identici a quelli dell'impianto della TBM aumenta la precisione delle prove e, come ampiamente dimostrato, aumenta la qualità/stabilità della schiuma generata la quale, se generata con strumentazioni in scala ridotta "da laboratorio" risulta essere meno stabile nel tempo (Figura 3).



Figura 3: lancia montata sull'apparecchiatura in laboratorio.

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

Concentration Factor Cf (*concentrazione dell'agente schiumogeno in acqua*)

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

$$C_f = 100 \cdot \frac{m_{ags}}{m_{ssc}}$$

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

Foam Expansion Ratio FER (*rapporto di espansione della schiuma*)

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

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

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

Il FER è generalmente compreso tra 5 e 20 (mediamente 8-15); al crescere del FER la schiuma risulta più asciutta. Il valore del FER da impiegare in cantiere è principalmente correlato alla granulometria del terreno da trattare e alla presenza della falda.

Foam Injection Ratio FIR (*rapporto di iniezione della schiuma*)

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

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

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

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

T_R (*Treatment ratio – rapporto di iniezione dell'agente condizionante*)

Il T_R è un parametro che definisce il quantitativo di prodotto chimico impiegato per il condizionamento di $1 m^3$ di terreno; tale parametro è comunemente impiegato per valutare i costi del condizionamento ed è inoltre di largo utilizzo per l'interpretazione delle prove di compatibilità ambientale in quanto definisce il quantitativo di prodotto chimico effettivamente presente nel terreno al momento del condizionamento.

Il T_R è definito in relazione ai parametri precedentemente descritti secondo la:

$$T_r = 1000 \cdot \frac{C_F \cdot FIR}{FER} \left[\frac{l}{m^3} \right]$$

I valori di T_R generalmente sono compresi tra $0.5 l/m^3$ e $2 l/m^3$ (generalmente circa $1 l/m^3$).

Nelle tabelle che segue (Tab.4 e 5) sono riportati i parametri di condizionamento e le concentrazioni nel suolo dei prodotti testati.

Tab.4: parametri di condizionamento e rispettivi T_r ottenuti dai test preliminari geotecnici (Flysch).

Flysch	w* (%)	FER (-)	FIR (%)	Cf (%)	Q _{prod} (kg/l)	Tr (l/m ³)
A	60	10	75	2	1.030	1.5
B	60	10	55	2	1.018	1.1
C	60	10	60	2	1.020	1.2
D	60	10	50	2	1.040	1.0
AP	60	10	75	2	1.030	1.5
BP	60	10	55	2	1.116	1.1

*Aggiunta + naturale.

Tab.5: parametri di condizionamento e rispettivi T_r ottenuti dai test preliminari geotecnici (Marna).

Marna	w* (%)	FER (-)	FIR (%)	Cf (%)	Q _{prod} (kg/l)	Tr (l/m ³)
B	50	10	60	2	1.030	1.2
D	50	10	60	2	1.018	1.2
BP	50	10	60	2	1.018	1.2

* Aggiunta + naturale.

Una volta ottenuti i valori di Tr è stato possibile calcolare le concentrazioni attese (massime) di ogni singola classe di composti presente nei 6 prodotti, come riportato nella seguente tabella (Tab.6):

$$C_{\text{singolo comp}} = \frac{\% \text{ max nel prodotto} * Tr * \rho_{\text{prod}}}{\rho_{\text{matrice solida}}}$$

Dove la $\rho_{\text{matrice solida}}$ è stata presa pari alla densità del suolo.

Tab.6: Flysch: concentrazioni massime dei singoli composti chimici presenti nelle miscele schiumogene.

(A) MSDS POLYFOAMER ECO 100 PLUS (Flysch)			
	Concentrazione max nel suolo del prodotto commerciale (mg\kg suolo)	max prodotto %	Concentrazione max componente (mg\kg suolo)
Sodium laureth sulfate	787.19	10	78.72
(B) MASTERROC SLF 32 (Flysch)			
	Concentrazione max nel suolo del prodotto commerciale (mg\kg suolo)	max prodotto %	Concentrazione max componente (mg\kg suolo)
Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	584.08	20	116.82
(C) FOAMEX SNG-AC (Flysch)			
	Concentrazione max nel suolo del prodotto commerciale (mg\kg suolo)	max prodotto %	Concentrazione max componente (mg\kg suolo)
Sodium alkylether sulphate.	635.93	10	63.59
(P MAPEI) STABILFOAM 300 (Flysch)			
	Concentrazione max nel suolo del prodotto commerciale (mg\kg suolo)	max prodotto %	Concentrazione max componente (mg\kg suolo)
Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	787.19	50	393.59
(D) CONDAT CLB F5/AC (Flysch)			
	Concentrazione max nel suolo del prodotto commerciale (mg\kg suolo)	max prodotto %	Concentrazione max componente (mg\kg suolo)
Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	519.75	10	51.97
2-metil-2,4-pentandiolo	519.75	10	51.97
Mono-C10-16-alkyl, Solfato di sodio	519.75	10	51.97
Alcoli, C10-18	519.75	1	5.197
(P BASF) MasterRoc ACP 214 (Flysch)			
	Concentrazione max nel suolo del prodotto commerciale (mg\kg suolo)	max prodotto %	Concentrazione max componente (mg\kg suolo)
n.a.*	n.a.*	n.a.*	n.a.*

* Per il prodotto **BASF MasterRoc ACP 214**, a causa della mancanza di documentazione, non è stato possibile fare alcuna valutazione.

Analoghe considerazioni sono state fatte sui prodotti utilizzati per il condizionamento del litotipo Marna (Tab.7).

Tab.7: Marna: concentrazioni massime dei singoli composti chimici presenti nelle miscele schiumogene.

(B) MASTERROC SLF 32 (Marna)			
	Concentrazione max nel suolo del prodotto commerciale (mg\kg suolo)	max prodotto %	Concentrazione max componente (mg\kg suolo)
Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	629.75	20	125.95
(D) CONDAT CLB F5/AC (Marna)			
	Concentrazione max nel suolo del prodotto commerciale (mg\kg suolo)	max prodotto %	Concentrazione max componente (mg\kg suolo)
Alcohols,C12-14, ethoxylated,sulfates, sodium salts	637.17	10	63.72
2-metil-2,4-pentandiolo	637.17	10	63.72
Mono-C10-16-alkyl, Solfato di sodio	637.17	10	63.72
Alcoli, C10-18	637.17	1	6.372
(P BASF) MasterRoc ACP 214 (Marna)			
	Concentrazione max nel suolo del prodotto commerciale (mg\kg suolo)	max prodotto %	Concentrazione max componente (mg\kg suolo)
n.a.*	n.a.*	n.a.*	n.a.*

* Per il prodotto **BASF MasterRoc ACP 214**, a causa della mancanza di documentazione, non è stato possibile fare alcuna valutazione.

Come previsto nella norma di riferimento, qualora per le operazioni di scavo sia previsto l'utilizzo di additivi che contengono sostanze non comprese nella citata tabella, è richiesto di fornire 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. Per verificare che siano garantiti i requisiti di protezione della salute dell'uomo e dell'ambiente, si 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 regolamento per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale e al «limite di concentrazione» di cui all'articolo 10 del regolamento per i siti ad uso commerciale e industriale..

In funzione di tale regolamento e di detti articoli sono definiti il valore soglia (VS), la concentrazione limite specifica (LCS) e la concentrazione limite generica (LCG) per diverse classi di pericolosità (Tabella 1.1 allegato I parte 1 del CE 1272, riportata in Figura 4), ovvero per:

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

Tabella 1.1

Valori soglia generici

Classe di pericolo	Valori soglia generici da prendere in considerazione
Tossicità acuta:	
— Categoria 1-3	0,1 %
— Categoria 4	1 %
Corrosione/irritazione della pelle	1 % ⁽¹⁾
Gravi danni oculari/irritazione oculare	1 % ⁽²⁾
Nocivo per l'ambiente acquatico	
— tossicità acuta 1, categoria 1	0,1 % ⁽³⁾
— tossicità cronica, categoria 1	0,1 % ⁽³⁾
— tossicità cronica, categorie 2-4	1 %

⁽¹⁾ O < 1 % se pertinente, cfr. 3.2.3.3.1.
⁽²⁾ O < 1 % se pertinente, cfr. 3.3.3.3.1.
⁽³⁾ O < 0,1 % se pertinente cfr. 4.1.3.1.

Nota:

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

Figura 4: Tabella 1.1 allegato I parte 1 del CE 1272.

Secondo l'allegato I parte 1, punto 1.1.2.2 del CE 1272, il VS è uguale al valore più basso fra LCS e LCG. I valori di LCS per le diverse classi di pericolo si può reperire per i composti considerati, nelle tabelle 3.1 e 3.2 dell'allegato VI parte 3 del CE 1272, o nel database ECHA delle sostanze chimica. Qualora non fosse reperibile da nessuna di queste fonti è possibile assumere VS=LCG.

Qualora la classe di pericolo della sostanza non fosse presente nelle voci della Tabella 1.1, è necessario riferirsi ad altri limiti di concentrazione generici, che possono reperirsi attraverso le metodiche riportate nell'allegato I parti da 3 a 5.

Nel caso di tossicità acuta o cronica acquatica di categoria 1, il valore di LCG deve tenere conto di un fattore M, che viene definito o nelle tabelle 3.1 e 3.2 allegato VI parte 3 o riportato nel database ECHA. Nel caso in cui non fosse definito nei suddetti, è necessario rifarsi alla tabella 4.1.3 allegato I parte 1 (Figura 5):

Tabella 4.1.3

Fattori moltiplicatori per i componenti altamente tossici delle miscele

Valore della C(E)L ₅₀	Fattore moltiplicatore (M)
0,1 < L(E)C ₅₀ ≤ 1	1
0,01 < L(E)C ₅₀ ≤ 0,1	10
0,001 < L(E)C ₅₀ ≤ 0,01	100
0,0001 < L(E)C ₅₀ ≤ 0,001	1 000
0,0001 < L(E)C ₅₀ ≤ 0,0001	10 000
(segue per intervalli corrispondenti a un fattore 10)	

Figura 5: Tabella 4.1.3 allegato I parte 1 del CE 1272.

Si riporta quindi una tabella riassuntiva e comparativa (Tab.8) dei valori attesi di concentrazione delle singole classi di composti, per ogni prodotto, e dei relativi VS (ndr. per il CAS n. 85711-71-3 non è stato possibile reperire le classi di tossicità dai database, per cui sono state riportate in via cautelativa tutte le classi di tossicità del CLP con i rispettivi VS).

Tab.8: risultati dei calcoli in accordo con il CLP e confronti con i VS.

MAPEI Polyfoamer ECO/100 PLUS (Flysch)

CAS	% nel prodotto	Tr (l/m ³)	Quantità singola sostanza (mg/kg)		Classe di tossicità	VS (% in massa)
			Min	Max		
9004-82-4	5-10	1.5	39.36	78.72	Acute Tox. 3	Acute Tox. 3: C > 1%
			0.00394%	0.00787%	Acute Tox. 4	Acute Tox. 4: C > 1%
					Eye Irrit. 2	Eye Irrit. 2: C < 30 %
					Skin Irrit. 2	Skin Irrit. 2: C > 1%
					Eye Dam. 1	Eye Dam. 1: C > 1%
					Aquatic Chronic 2	Aquatic Chronic 2: C > 1%
					Aquatic Chronic 3	Aquatic Chronic 3: C > 1%

BASF MasterRoc SLF 32 (Flysch)

CAS	% nel prodotto	Tr (l/m ³)	Quantità singola sostanza (mg/kg)		Classe di tossicità	VS (% in massa)
			Min	Max		
68891-38-3	10-20	1.1	58.41 0.00584%	116.82 0.0117%	Skin Irr 2 Eye Dam 1 Eye Irrit. 2 Acquatic Cron 3 Acquatic Cron 2	Skin Irrit. 2: 10% < C < 30% Eye Dam. 1: C ≥ 10% Eye Irrit. 2: C ≥ 5 % Acquatic Cron 3: C>1% Acquatic Cron 2: C>1%

LAMBERTI Foamex SNG-AC (Flysch)

CAS	% nel prodotto	Tr (l/m ³)	Quantità singola sostanza (mg/kg)		Classe tossicità	VS (% in massa)
			Min	Max		
9004-82-4	7-10	1.2	44.51 0.00445%	63.59 0.00636%	Acute Tox. 3 Acute Tox. 4 Eye Irrit. 2 Skin Irrit. 2 Eye Dam. 1 Aquatic Chronic 2 Aquatic Chronic 3	Acute Tox. 3; : C> 1% Acute Tox. 4; : C>1% Eye Irrit. 2; : C < 30 % Skin Irrit. 2; : C > 1% Eye Dam. 1; : C> 1% Aquatic Chronic 2; : C>1% Aquatic Chronic 3; : C>1%

MAPEI Stabilfoam 300 (Flysch)

CAS	% nel prodotto	Tr (l/m ³)	Quantità singola sostanza (mg/kg)		Classe tossicità	VS (% in massa)
			Min	Max		
68891-38-3	25-50	1.5	196.80 0.0197%	393.59 0.0393%	Skin Irr 2 Eye Dam 1 Eye Irrit. 2 Acquatic Cron 3 Acquatic Cron 2	Skin Irrit. 2; : 10 % < C < 30 % Eye Dam. 1; : C ≥ 10 % Eye Irrit. 2; : C ≥ 5 % Acquatic Cron 3; : C>1% Acquatic Cron 2; : C>1%

CONDAT CLB F5\AC (Flysch)

CAS	% nel prodotto	Tr (l/m ³)	Quantità singola sostanza (mg/kg)		Classe tossicità	VS (% in massa)
			Min	Max		
68891-38-3	5-10	1	25.98 0.00259%	51.97 0.00519%	Skin Irr 2 Eye Dam 1 Eye Irrit. 2 Acquatic Cron 3 Acquatic Cron 2	Skin Irrit. 2; : 10 % < C < 30 % Eye Dam. 1; : C ≥ 10 % Eye Irrit. 2; : C ≥ 5 % Acquatic Cron 3; : C>1% Acquatic Cron 2; : C>1%
107-41-5	5-10	1	25.98 0.00259%	51.97 0.00519%	Eye Irrit. 2 Skin Irrit. 2	
68585-47-7	5-10	1	25.98 0.00259%	51.97 0.00519%	Acute Tox. 4 Skin Irrit. 2 Eye Dam. 1 Eye Irrit. 2 Skin Corr. 1A Aquatic Chronic 3	Acute Tox. 4; : C>1% Skin Irrit. 2; : C>1% Eye Dam. 1; : C > 20 % Eye Irrit. 2; : 10 % < C < 20 % Skin Corr. 1A; : C> 0.1% Aquatic Chronic 3; : C> 1%
85711-71-3	0-1	1	0	5.197 0.00052%	Acute Tox. 3 Acute Tox. 4 Eye Irrit. 2 Skin Irrit. 2 Eye Dam. 1 Aquatic Chronic 2 Aquatic Chronic 3	Acute Tox. 3: C> 1% Acute Tox. 4: C >1% Eye Irrit. 2: C < 30 % Skin Irrit. 2: C > 1% Eye Dam. 1: C> 1% Aquatic Chronic 2: C>1% Aquatic Chronic 3: C>1%

BASF MasterRoc ACP 214 (Flysch)

CAS	% nel prodotto	Tr (l/m ³)	Quantità singola sostanza (mg\kg)		Classe tossicità	VS (% in massa)
n.a.**	n.a.**	n.a.**	Min n.a.**	Max n.a.**	n.a.**	n.a.**

BASF MasterRoc SLF 32 (Marna)

CAS	% nel prodotto	Tr (l/m ³)	Quantità singola sostanza (mg\kg)		Classe di tossicità	VS (% in massa)
			Min	Max		
68891-38-3	10-20	1.2	62.97 0.0063%	125.95 0.0126%	Skin Irr 2 Eye Dam 1 Eye Irrit. 2 Acquatic Cron 3 Acquatic Cron 2	Skin Irrit. 2: 10% < C < 30% Eye Dam. 1: C ≥ 10% Eye Irrit. 2: C ≥ 5 % Acquatic Cron 3: C>1% Acquatic Cron 2: C>1%

CONDAT CLB F5\AC (Marna)

CAS	% nel prodotto	Tr (l/m ³)	Quantità singola sostanza (mg\kg)		Classe tossicità	VS (% in massa)
			Min	Max		
68891-38-3	5-10	1.2	31.86 0.00318%	63.72 0.00637%	Skin Irr 2 Eye Dam 1 Eye Irrit. 2 Acquatic Cron 3 Acquatic Cron 2	Skin Irrit. 2; : 10 % < C < 30 % Eye Dam. 1; : C ≥ 10 % Eye Irrit. 2; : C ≥ 5 % Acquatic Cron 3; : C>1% Acquatic Cron 2; : C>1%
107-41-5	5-10	1.2	31.86 0.00318%	63.72 0.00637%	Eye Irrit. 2 Skin Irrit. 2	
68585-47-7	5-10	1.2	31.86 0.00318%	63.72 0.00637%	Acute Tox. 4 Skin Irrit. 2 Eye Dam. 1 Eye Irrit. 2 Skin Corr. 1A Aquatic Chronic 3	Acute Tox. 4; : C>1% Skin Irrit. 2; : C>1% Eye Dam. 1; : C > 20 % Eye Irrit. 2; : 10 % < C < 20 % Skin Corr. 1A; : C> 0.1% Aquatic Chronic 3; : C> 1%
85711-71-3	0-1	1.2	0	6.371 0.00064%	Acute Tox. 3 Acute Tox. 4 Eye Irrit. 2 Skin Irrit. 2 Eye Dam. 1 Aquatic Chronic 2 Aquatic Chronic 3	Acute Tox. 3: C> 1% Acute Tox. 4: C>1% Eye Irrit. 2: C < 30 % Skin Irrit. 2: C > 1% Eye Dam. 1: C> 1% Aquatic Chronic 2: C>1% Aquatic Chronic 3: C>1%

BASF MasterRoc ACP 214 (Marna)

CAS	% nel prodotto	Tr (l/m ³)	Quantità singola sostanza (mg\kg)		Classe tossicità	VS (% in massa)
n.a.**	n.a.**	n.a.**	Min n.a.**	Max n.a.**	n.a.**	n.a.**

*per le sostanze per le quali non sono stati trovati i VS nelle tabelle 3.1 e 3.2 dell'allegato VI del CE 1272 o nel database ECHA si è fatto riferimento alla tabella 1.1 sui valori soglia generici.

** Per il prodotto **BASF MasterRoc ACP 214**, a causa della mancanza di documentazione, non è stato possibile fare alcuna valutazione.

In base ai dati riportati in tabella è possibile affermare che per tutti i prodotti testati, all'infuori del prodotto **BASF MasterRoc ACP 214** per cui a causa della mancanza di documentazione non è stato possibile fare alcuna valutazione, le concentrazioni massime attese delle singole classi di composti si trovano al di sotto dei rispettivi VS.

3 Allestimento set sperimentale per lo studio di laboratorio

Sperimentazioni di questo tipo richiedono la predisposizione di microcosmi di terreno condizionato e il prelievo a regolari intervalli di tempo di campioni sui quali vengono eseguite le prove specifiche. I microcosmi sono “ecosistemi modello” aventi lo scopo di riprodurre in laboratorio in condizioni controllate l’ambiente naturale nel caso specifico del terreno interessato dallo scavo. La curva di biodegradazione viene determinata studiando l’andamento nel tempo della concentrazione residua di tensioattivi anionici espressi come MBAS (principalmente SLES); per valutare l’impatto ambientale vengono studiati gli effetti su popolazioni di microrganismi bersaglio con test eco-tossicologici di tossicità acuta (principalmente *Vibrio fischeri* e *Daphnia Magna*). La preparazione dei campioni di terreno rappresentativi del sito di scavo e il loro condizionamento con i prodotti schiumogeni selezionati precedentemente sono stati realizzati al fine di condurre gli esperimenti di eco-tossicità, previa verifica dei quantitativi di agente schiumogeno e additivo necessari per il condizionamento ottimale dei diversi campioni. L’eventuale diminuzione della tossicità nel tempo è indice di una biodegradazione delle sostanze contenute negli schiumogeni, determinabile dalla variazione nel tempo di altri parametri quali MBAS e TOC.

I campioni sono stati condizionati con una soluzione delle stesse caratteristiche di quella reperibili in sito e che verrà impiegata per la produzione della schiuma durante l’esecuzione dei lavori. I campioni condizionati sono stati sottoposti a prove chimiche di laboratorio finalizzate a valutare la cinetica di biodegradazione dello SLES nel terreno, nonché a studiare le interazioni suolo-agente condizionante attraverso l’esecuzione di specifiche prove, la cui tipologia è stata stabilita da GEEG secondo criteri di rappresentatività della situazione reale e sulla base delle esperienze pregresse. In tale fase, nel rispetto del carattere sito specifico della valutazione sperimentale, al fine di garantire una corretta valutazione delle interazioni terreno-agente condizionante, è stato necessario l’allestimento di idonei microcosmi realizzati riproducendo le condizioni reali del sito (microrganismi, acqua, condizioni ambientali). I microcosmi sono costituiti da contenitori di vetro del volume di 5 l contenenti aliquote pesate di terreno condizionato con i prodotti commerciali oggetto di studio. I microcosmi sono stati chiusi con un coperchio non sigillante, per consentire gli scambi di ossigeno con l’esterno limitando, al tempo stesso, un’eccessiva evaporazione di acqua, il tutto posto alla luce naturale e alla temperatura di 20 °C per 28 giorni.

In totale sono stati allestiti 7 microcosmi di circa 3 kg di terreno condizionato ciascuno: un bianco (terreno non condizionato) e 6 terreni condizionati con gli additivi selezionati. A tempi prestabiliti ($t= 0, 7, 14, 21$ e 28 giorni), sono state prelevate 2 aliquote di terreno (circa 250 g) da ciascun microcosmo per poter produrre l'elutriato (rapporto S\L 1:10 in acqua bidistillata), in duplicato, necessario per l'esecuzione delle prove chimiche ed eco-tossicologiche descritte precedentemente.

Per la preparazione dell'estratto acquoso è stato seguito il protocollo previsto dalla UNI 10802. In particolare, a ogni sub aliquota di terreno condizionato con gli schiumogeni e del corrispondente controllo, dopo averne preliminarmente determinato l'umidità, è stata aggiunta acqua bidistillata al fine di ottenere un rapporto 1:10 terreno/acqua (ivi compresa l'acqua inizialmente presente nel campione da estrarre). L'estrazione acquosa dei terreni è stata effettuata mediante agitazione su agitatore rotante (a circa 130 rpm) per 24h al buio a 20°C (Figura 6). Il giorno seguente è stata separata 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 e la restante parte viene filtrata con filtro Whatman (450 nm) con pompa da vuoto per l'esecuzione dei restanti test. Ogni test è stato eseguito in quadruplicato.



Figura 6: piastra orbitale per la fase dei test di cessione.

4 Risultati test chimici

4.1 Risultati dei test chimici (Flysch)

Gli elutriati preparati sono stati sottoposti a una caratterizzazione continua, secondo la seguente "time schedule": 0, 7, 14, 21 e 28 giorni (in Figura 7 alcuni campioni). Per ogni tempo sono stati eseguiti i seguenti test sulle due aliquote di eluato. Le prove condotte sono state:

1. **umidità** sul terreno;
2. **TOC** sull'elutriato acquoso (incertezza pari a ± 1 mg/l);
3. **MBAS** su estratto acquoso preparato secondo UNI 10802:2004 (incertezza pari a circa ± 0.05 mg/l), tale misurazione è stata eseguita per avere un riferimento sulle acque reflue che saranno convogliate ad impianto di depurazione.



Figura 7: campioni del giorno 7.

Dalle prove effettuate sui campioni condizionati con i 6 prodotti selezionati e sul bianco (terreno non condizionato) si sono ottenuti i seguenti risultati (Tab.9 e 10, Figure 8, 9 e 10):

Tab. 9: risultati delle misure di umidità.

(giorni)	UMIDITÀ %						
	A	B	C	D	AP	BP	BIANCO
t=0	45.3	43.0	41.2	43.7	38.9	39.0	37.5
t=7	41.0	42.2	42.1	41.4	42.9	38.6	38.5
t=14	41.2	41.3	41.0	41.6	41.9	46	38.5
t=21	42.1	41.6	42.0	41.5	42.7	39	38.9
t=28	43.7	41.3	40.7	41.5	41.0	38.2	37.4

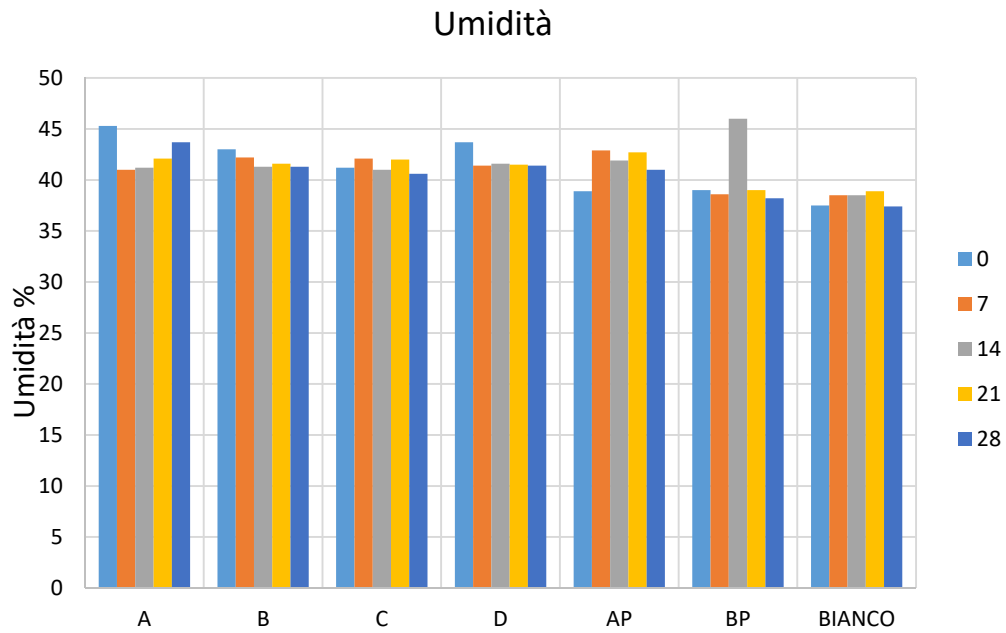


Figura 8: risultati del test di umidità.

Tab. 10: risultati delle misure di TOC.

(giorni)	TOC (mg C/l)						
	A	B	C	D	AP	BP	BIANCO
t=0	12.27	16.41	19.06	15.41	19.87	10.06	18.39
t=7	61.96	64.72	65.50	68.81	65.32	62.14	18.39
t=14	63.66	68.10	63.02	71.35	62.43	50.65	60.24
t=21	56.90	61.18	60.31	65.01	61.38	59.72	56.92
t=28	51.48	55.02	59.24	61.14	60.70	53.20	52.36

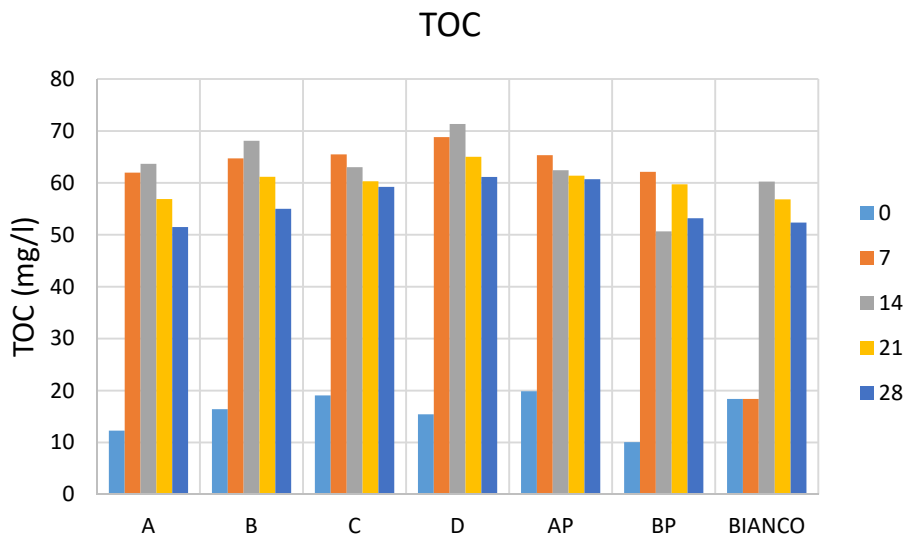


Figura 9: risultati del test di TOC.

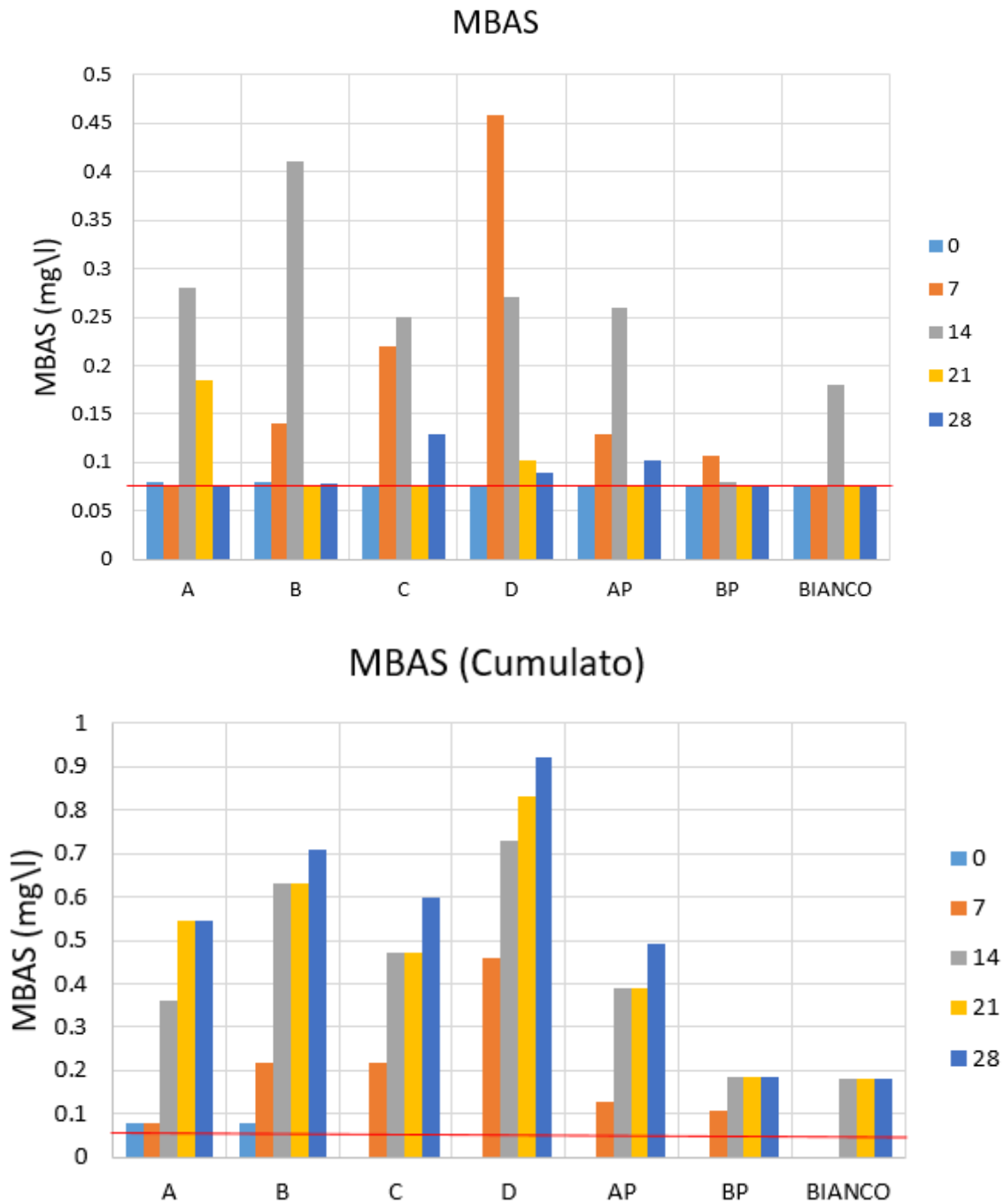


Figura 10: risultati puntuali e cumulati del test MBAS.

La linea rossa indica il limite di rilevabilità strumentale di 0.075 mg/l, i valori pari a questo valore sono da intendersi come <0.075 mg/l.

In sintesi:

- i dati relativi al TOC mostrano come il valore iniziale nell'intervallo 10-20 mg/l per i diversi campioni sia aumentato dal giorno 7 nell'intervallo 61-69 mg/l per i 6 campioni relativi ai terreni

condizionati e dal giorno 14 nello stesso intervallo di valori per il campione di elutriato BIANCO, per poi attestarsi in un intervallo di valori pari a 52-70 mg/l fino a 28 giorni. Questo mostra chiaramente che non è possibile discernere il contributo dei singoli prodotti condizionanti sul carico organico totale del terreno, in quanto lo stesso terreno vergine rilascia nel tempo un quantitativo di sostanza organica solubile pari a quella rilasciata dai campioni condizionati con i prodotti condizionanti. La sola differenza che si può evincere è che i campioni di terreno condizionati iniziano il rilascio dopo 7 giorni, a differenza del terreno vergine. Questo può essere spiegato considerando che i prodotti condizionanti sono delle miscele di tensioattivi anionici, che risultano essere dei solventi estraenti in grado di portare in fase acquosa, comunque dopo un certo intervallo di tempo per lo sviluppo dell'equilibrio, sostanze organiche più velocemente e con maggiore efficacia rispetto alla sola acqua bidistillata [8–11];

- I dati relativi all'MBAS risultano essere i risultati meno affetti dalle caratteristiche intrinseche del terreno vergine. Si può infatti osservare come nel campione BIANCO il valore di MBAS sia sempre inferiore al limite di rilevabilità strumentale indicando chiaramente che i composti organici rilasciati dal terreno vergine non fanno parte della classe dei tensioattivi anionici. In base ai risultati ottenuti dai test sperimentali è possibile affermare che il raggiungimento del valore massimo di rilascio in fase acquosa dei composti surfattanti si ha al tempo 7 per i campioni D, AP e BP, mentre si ha al tempo 14 per i campioni A, B e C. Questi valori si riducono poi fino al di sotto del valore del limite di rilevabilità strumentale di 0.075 mg/l dopo tali intervalli di tempo, mostrando comunque una cinetica di biodegradazione celere con la scomparsa di qualsiasi residuo nel terreno posto a dimora. Questo andamento inizialmente crescente, così come già visto per il caso del TOC, è spiegabile considerando che i fenomeni di trasporto delle specie organiche dal terreno condizionato alla fase liquida richiede un certo intervallo di tempo per il raggiungimento dell'equilibrio [12–14]. Il valore massimo cumulato misurato è stato pari a 0.905 mg/l nel campione D dopo 28 giorni.

4.2 Risultati dei test chimici (Marna)

Gli elutriati preparati sono stati sottoposti a una caratterizzazione continua, secondo la seguente "time schedule": 0 e 7 giorni. Per ogni tempo sono stati eseguiti i seguenti test sulle due aliquote di eluato. Le prove condotte sono state:

1. **umidità** sul terreno;

2. **TOC** sull'elutriato acquoso (incertezza pari a ± 1 mg/l);
3. **MBAS** su estratto acquoso preparato secondo UNI 10802:2004 (incertezza pari a circa ± 0.05 mg/l) tale misurazione è stata eseguita per avere un riferimento sulle acque reflue che saranno convogliate ad impianto di depurazione.

La scelta di limitare la durata temporale dei prelievi dei campioni e l'esecuzione delle relative prove a 7 giorni si è basata sulle risultanze di sperimentazioni precedentemente sviluppate sullo stesso litotipo con altri prodotti condizionanti da cui è risultata la possibilità di riutilizzare il terreno condizionato già al tempo 0 (t=0). Scopo delle analisi, pertanto, è stato verificare l'esistenza di ulteriori prodotti che soddisfacessero i medesimi requisiti.

Dalle prove effettuate sui campioni condizionati con i 3 prodotti selezionati e sul bianco (terreno non condizionato) si sono ottenuti i seguenti risultati (Tabelle 11, e 12, Figure 11, 12 e 13):

Tab. 12: risultati delle misure di umidità.

(giorni)	Umidità %			
	B	D	BP	BIANCO
t=0	32.5	31.9	31.7	31.9
t=7	33.8	33.0	32.3	30.9

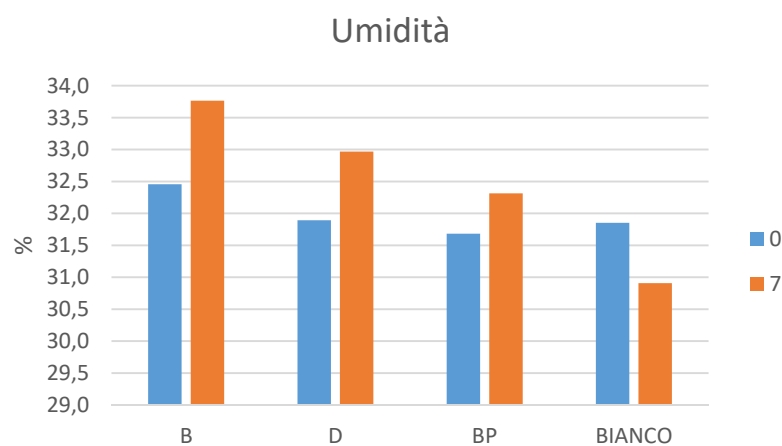


Figura 11: risultati del test di umidità.

Tab. 13: risultati delle misure di TOC.

(giorni)	TOC (mg\l)			
	B	D	BP	BIANCO
t=0	51.06	59.88	57.60	27.70
t=7	52.24	51.66	50.78	53.40

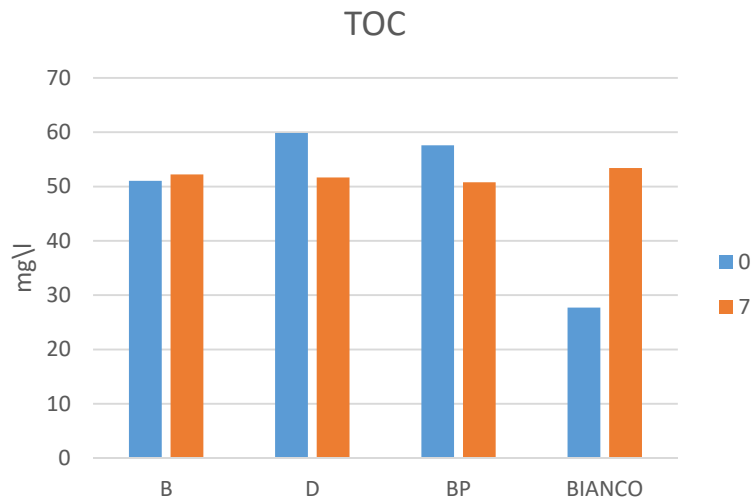


Figura 12: risultati del test di TOC.

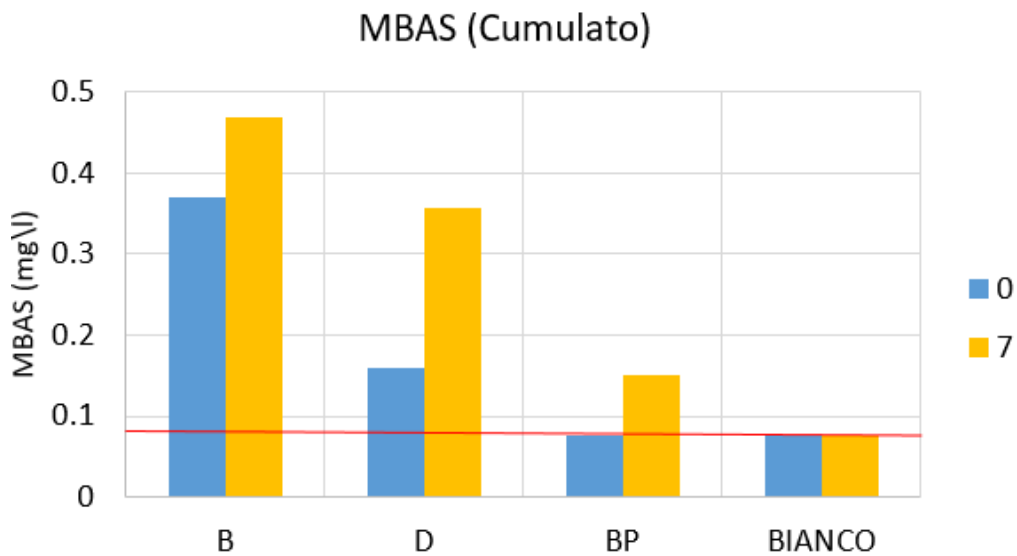
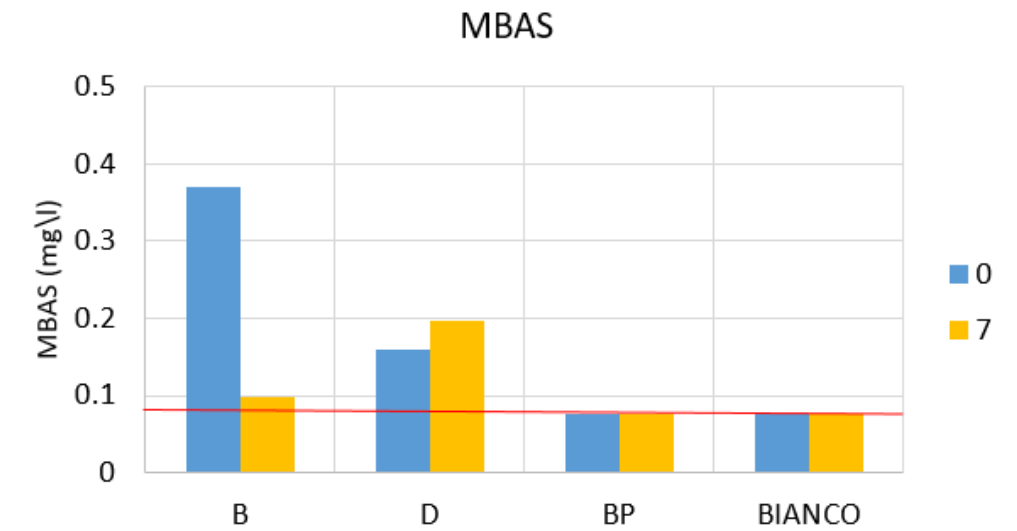


Figura 14: risultati puntuali e cumulati del test MBAS.

In sintesi:

- i dati relativi al TOC mostrano come il valore iniziale del campione BIANCO da 27.7 mg/l aumenti fino a circa 53 mg/l al tempo 7, valore comparabile e superiore a quello misurato per i campioni di terreno condizionato allo stesso tempo. Questo mostra chiaramente che non è possibile discernere il contributo dei singoli prodotti condizionanti sul carico organico totale del terreno, in quanto lo stesso terreno vergine rilascia nel tempo un quantitativo di sostanza organica solubile pari/superiore a quella rilasciata dai campioni condizionati con i prodotti condizionanti;
- I dati relativi all'MBAS risultano essere i risultati meno affetti dalle caratteristiche intrinseche del terreno vergine. Si può infatti osservare come nel campione BIANCO il valore di MBAS sia sempre inferiore al limite di rilevabilità strumentale indicando chiaramente che i composti organici rilasciati dal terreno vergine non fanno parte della classe dei tensioattivi anionici. Per quanto riguarda il campione BP il valore dell'MBAS si è mantenuto costante e al di sotto del limite di rilevabilità strumentale di 0.075 mg/l, mentre per il campione D il valore iniziale al tempo 0 tende ad aumentare al tempo 7, rimanendo al di sotto di 0.2 mg/l, mentre per il campione B si osserva una riduzione del valore iniziale pari a 0.37 mg/l fino ad arrivare a un valore di 0.098 mg/l al giorno 7. Il valore massimo cumulato misurato è stato pari a circa 0.466 mg/l nel campione B dopo 7 giorni;

5 Risultati dei test eco-tossicologici (Flysch)

Dal momento che i composti degli agenti condizionanti risultano particolarmente idrosolubili gli organismi più interessati dalla loro presenza sono quelli acquatici. Gli organismi del comparto acquatico risultano essere gli organismi più delicati e sensibili alla presenza di qualsiasi composto organico potenzialmente tossico.

Sui terreni condizionati e posti a dimora per 28 giorni sono stati condotti i seguenti test di ecotossicità acuta:

- tossicità acuta con il batterio *Vibrio Fischeri*;
- test di immobilizzazione con *Daphnia Magna* (i dati sono stati riportati in riferimento ai valori ottenuti per il BIANCO, come riportato nel Manuale e Linee Guida ISPRA 67/2011).

Gli effetti sugli organismi testati sono stati valutati dopo 0, 7, 14, 21 e 28 giorni dal condizionamento.

5.1 Risultati dei test con il batterio *V. Fischeri*

Lo scopo dei test condotti è stato quello di valutare in che modi i diversi additivi studiati abbiano effetto sull'emissione della luminescenza del batterio rispetto al terreno non trattato (bianco). I terreni sono stati campionati a diversi tempi di maturazione (0, 7, 14, 21 e 28 giorni). Nella figura seguente (Figura 15) sono riportati i risultati dei test condotti per ciascun tempo di maturazione e per ogni additivo selezionato secondo la APAT CNR IRSA 8030 Man 29 2003.

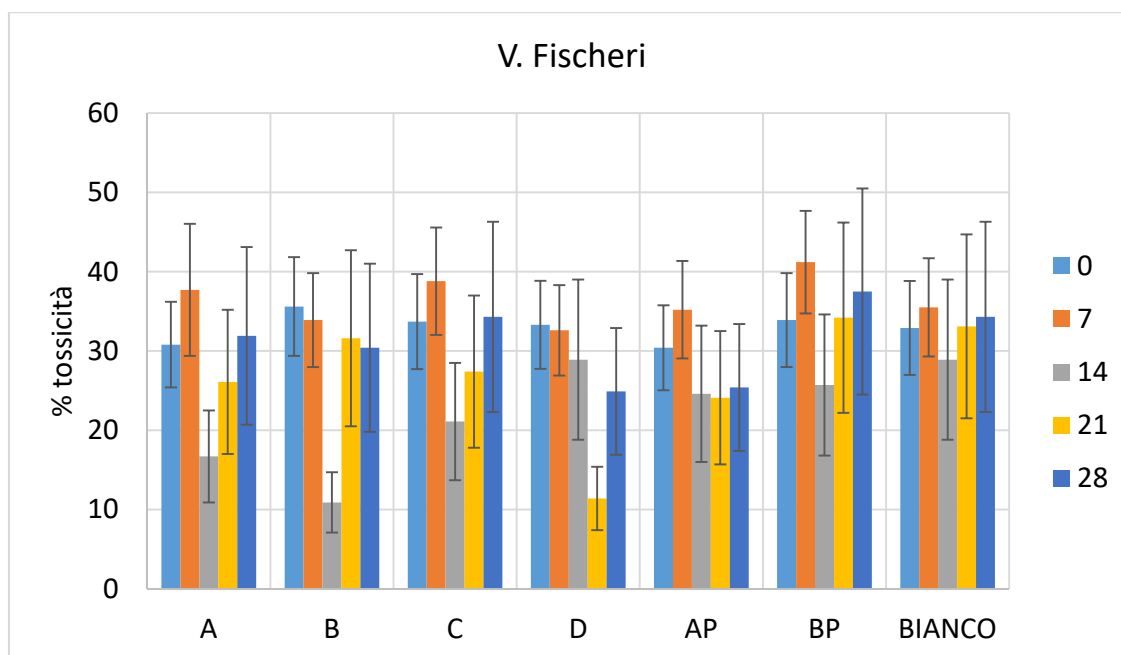


Figura 15: risultati del test di tossicità acuta *V. Fischeri*.

I risultati non mostrano significative differenze tra il campione di terreno “bianco” e i campioni dello stesso terreno condizionato con i differenti prodotti, in quanto la risposta del bianco è risultata essere sempre comparabile o superiore, in termini di % di inibizione della bioluminescenza, a quella dei campioni di terreno condizionato. Per questo motivo si è deciso di eseguire una caratterizzazione base del terreno vergine, in accordo con i parametri analitici minimi dati dal DPR 120/17, come riportato nella Tabella 14.

Parametro	Metodo di prova	Campioni Flysch (Grottaminarda)	Valore (mg/kg)	CSC Siti ad uso Verde pubblico e privato e residenziale (mg/kg)
Arsenico (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	<0.75	20
Cadmio (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	<0.15	2
Cobalto (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	9.84 ± 1.52	20
Cromo (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	111 ± 9	150
Cromo(VI) (mg/kg)	CNR IRSA 16 Q64 Vol. 3 1986 - UV-VIS	3	<0.39	2
Mercurio (mg/kg)	EPA 7473 2007 - DMA80	3	0.03 ± 0.01	1
Nichel (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	18.2 ± 2.3	120
Piombo (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	86.4 ± 6.9	100
Rame (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	26.3 ± 2.7	120
Zinco (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	72.9 ± 5.2	150
Amianto	DM 06/09/1994 SO GU N°288 10/12/1994 Allegato 1B - SEM	3	<78	1000
C>12 (mg/kg)	UNI EN ISO 16703:2011 - GC- FID	3	20.5	50

Tab.14: analiti secondo la tabella 4.1 del DPR 120/17 per i campioni di Flysch.

Il prelievo dei campioni è avvenuto direttamente in sito, in collaborazione con il Consorzio HIRPINIA AV, mediante foro di sondaggio realizzato fino ad interessare la quota di scavo della galleria.

Questo ha permesso innanzitutto il prelievo di campioni a tutti gli effetti rappresentativi dei litotipi interessati dalle future attività di scavo e, inoltre, ha permesso di selezionare con adeguata attenzione i campioni che sono stati poi utilizzati per le attività sperimentali di carattere chimico

ed eco-tossicologico i quali sono stati immediatamente ripuliti da eventuali residui del fango di perforazione e sigillati in appositi contenitori.

I restanti campioni sono stati pesati, numerati e chiusi in sacchetti al solo scopo di ridurre quanto più possibile la variazione del contenuto d'acqua nel tempo strettamente necessario al trasporto presso i laboratori della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma "La Sapienza". Tutti i campioni sono stati trasportati in laboratorio al massimo 24 ore dopo il loro prelievo.

Quel che è possibile notare è la presenza di metalli quali Cromo, Piombo e Zinco, oltre che quella di idrocarburi $C>12$, sempre al di sotto delle CSC per Siti ad uso Verde Pubblico e privato e residenziale, che potrebbero aver influenzato la risposta del V.Fischeri per quanto riguarda l'elutriato del campione BIANCO, e di conseguenza quella dei diversi campioni di terreno condizionato.

5.2 Risultati dei test con il Daphnia Magna

Si è valutata l'immobilizzazione con Daphnia Magna sui campioni di terreno condizionati con i 6 additivi posti a dimora per 28 giorni e già dal giorno $t=0$ non si è riscontrata alcuna tossicità.

Vengono di seguito riportati i risultati dei test (Figura 16) per cui si è valutata l'immobilizzazione del D.Magna a diversi tempi quali 0, 7, 14, 21 e 28 giorni.

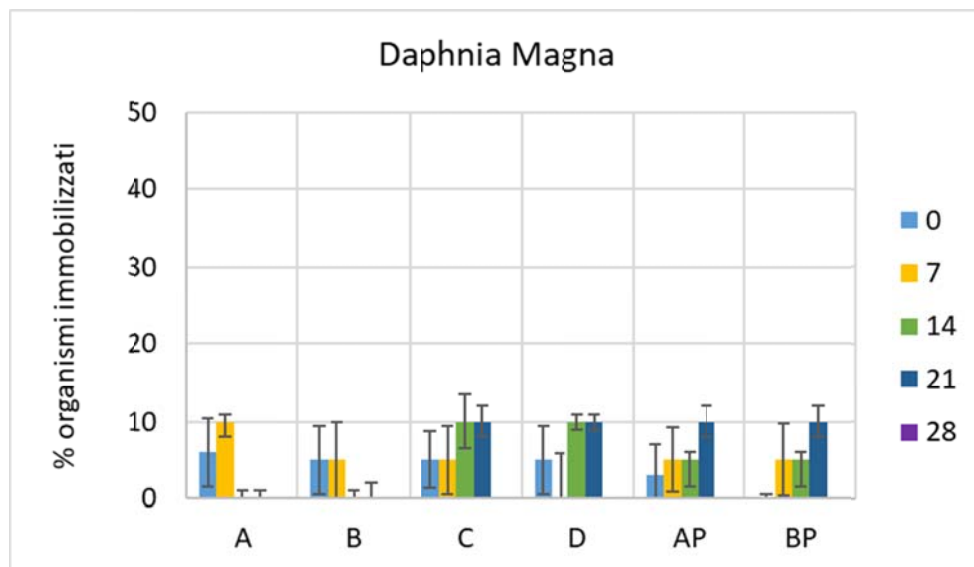


Figura 16: risultati del test di tossicità acuta Daphnia Magna.

6 Risultati dei test eco-tossicologici (Marna)

Sui terreni condizionati e posti a dimora per 7 giorni sono stati condotti i seguenti test di ecotossicità acuta:

- tossicità acuta con il batterio *Vibrio Fischeri*;
- test di immobilizzazione con *Daphnia Magna*.

Gli effetti sugli organismi testati sono stati valutati dopo 0 e 7 giorni dal condizionamento.

6.1 Risultati dei test con il batterio *V. fischeri*

Lo scopo dei test condotti è stato quello di valutare in che modi i diversi additivi studiati abbiano effetto sull'emissione della luminescenza del batterio rispetto al terreno non trattato (bianco). I terreni sono stati campionati a diversi tempi di maturazione (0 e 7 giorni).

Nella figura seguente (Figura 17) sono riportati i risultati dei test condotti per ciascun tempo di maturazione e per ogni additivo selezionato secondo la APAT CNR IRSA 8030 Man 29 2003.

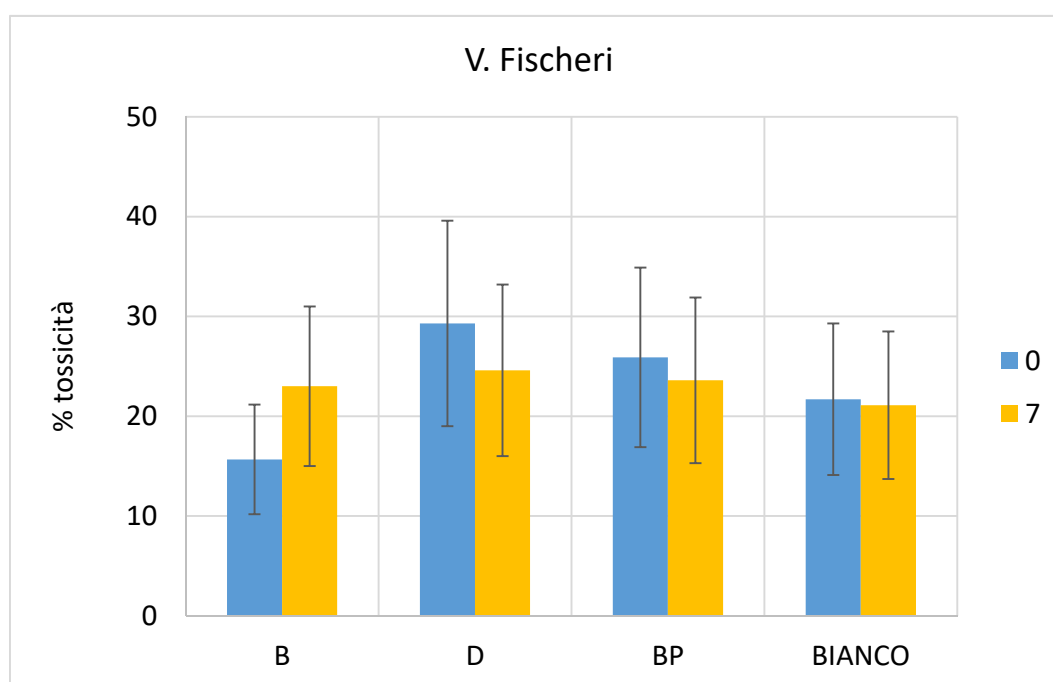


Figura 17: risultati del test di tossicità acuta *V. Fischeri*.

I risultati non mostrano significative differenze tra il campione di terreno "bianco" e i campioni dello stesso terreno condizionato con i differenti prodotti, in quanto la risposta del bianco è risultata essere sempre comparabile o superiore, in termini di % di inibizione della bioluminescenza, a quella dei campioni di terreno condizionato. Per questo motivo, anche in questo caso, si è deciso di eseguire una caratterizzazione base del terreno vergine, in accordo con i parametri analitici minimi dati dal DPR 120/17, come riportato nella Tabella 15.

Tab.15: analisi secondo la tabella 4.1 del DPR 120/17 per i campioni di Marna.

Parametro	Metodo di prova	Campioni Marna (Rocchetta)	Valore (mg/kg)	CSC Siti ad uso Verde pubblico e privato e residenziale (mg/kg)
Arsenico (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	<0.66	20
Cadmio (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	<0.13	2
Cobalto (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	6.24 ± 0.97	20
Cromo (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	42.2 ± 4.8	150
Cromo(VI) (mg/kg)	CNR IRSA 16 Q64 Vol. 3 1986 - UV-VIS	3	<0.38	2
Mercurio (mg/kg)	EPA 7473 2007 - DMA80	3	0.02 ± 0.01	1
Nichel (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	18.8 ± 2.3	120
Piombo (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	40.0 ± 4.1	100
Rame (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	32.0 ± 3.1	120
Zinco (mg/kg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 - ICP- OES	3	75.3 ± 5.2	150
Amianto	DM 06/09/1994 SO GU N°288 10/12/1994 Allegato 1B - SEM	3	<76	1000
C>12 (mg/kg)	UNI EN ISO 16703:2011 - GC-FID	3	22.4	50

Quel che è possibile notare è la presenza di metalli quali Cromo, Piombo e Zinco, oltre che quella di idrocarburi C>12, sempre al di sotto delle CSC per Siti ad uso Verde Pubblico e privato e residenziale, che potrebbero aver influenzato la risposta del V.Fischeri per quanto riguarda l'elutriato del campione BIANCO, e di conseguenza quella dei diversi campioni di terreno condizionato.

6.2 Risultati dei test con il Daphnia Magna

Si è valutata l'immobilizzazione con Daphnia Magna sui campioni di terreno condizionati con gli additivi selezionati posti a dimora per 7 giorni e già dal giorno t=0 non si è riscontrata alcuna tossicità per i campioni BP e D e si è in attesa di ricevere i risultati al tempo t=0 per il campione B.

Vengono di seguito riportati i risultati dei test (Figura 18) per cui si è valutata l'immobilizzazione del D.Magna a diversi tempi quali 0 e 7 giorni.

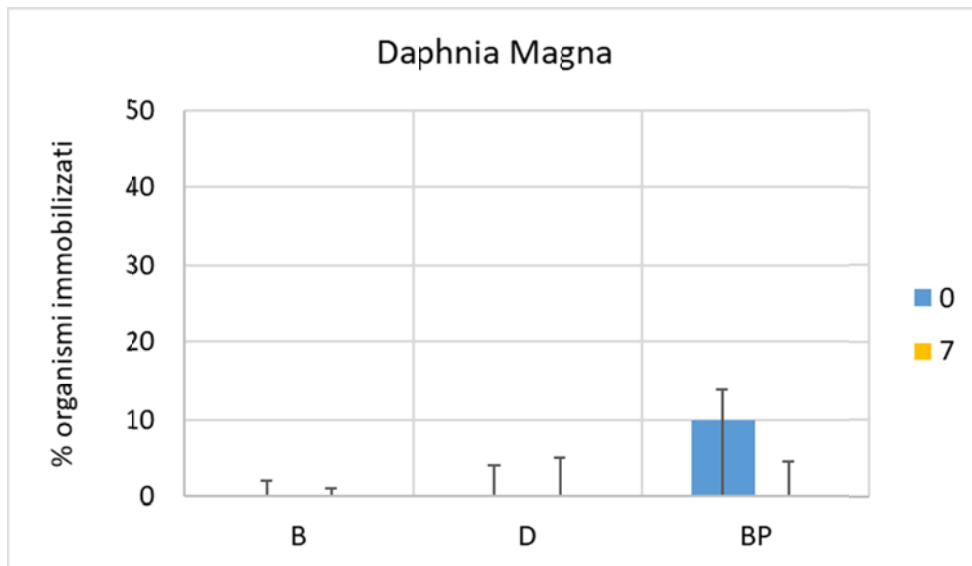


Figura 18: risultati del test di tossicità acuta Daphnia Magna.

7 Conclusioni generali dello studio sperimentale ecotossicologico

7.1 Conclusioni sullo studio condotto sul Flysch

Le evidenze sperimentali ottenute dai test condotte sui terreni condizionati con le sei combinazioni di prodotti consentono di formulare le seguenti **considerazioni finali per la sperimentazione condotta sul Flysch**:

- si può notare come nel caso del Daphnia Magna la percentuale di organismi immobili negli elutriati dei diversi campioni risulta sempre inferiore o al più pari a un valore di 10% di immobilizzazione, andando da 0 a 28 giorni. Per questo motivo è possibile affermare che già dal giorno 0 non si evince alcun effetto di tossicità indipendentemente dal prodotto utilizzato in fase di condizionamento, in quanto i valori di risposta sono tutti inferiori al 20%;
- la risposta eco-tossicologica del V. Fischeri mostra chiaramente che l'apporto degli agenti condizionanti non influenza la risposta naturale del terreno vergine. Si nota come la % di inibizione della bioluminescenza nell'elutriato del campione BIANCO è nell'intervallo 29-36% con valore medio pari a 33% andando da 0 a 28 giorni. Ciò dimostra come la risposta del terreno condizionato è comparabile o addirittura inferiore al terreno vergine (BIANCO) per le caratteristiche naturali del terreno, di conseguenza la valutazione su tale organismo non sembra essere utile in fase operativa;
- in base ai dati riportati nel paragrafo 2 è possibile affermare che per tutti i prodotti testati, all'infuori del prodotto **BASF MasterRoc ACP 214** per cui a causa della mancanza di documentazione non è stato possibile fare alcuna valutazione, le concentrazioni massime attese delle singole classi di composti si trovano al di sotto dei rispettivi Valori Soglia, per cui in base al DPR 120/2017 e al CLP sono rispettati i requisiti di qualità ambientale.

É possibile affermare che dai dati di eco-tossicità del D.Magna non si evincono possibili effetti di tossicità dei prodotti utilizzati nello studio già dal giorno 0.

Come controllo in sito è quindi consigliabile eseguire il test eco-tossicologico con il D.Magna prendendo come valore di riferimento un valore massimo pari a <20%, poiché rispetto al V.Fischeri sembra fornire risultati meno affetti dalle caratteristiche intrinseche del campione di terreno.

In conclusione, alla luce dei risultati sperimentali, è possibile affermare che nessun prodotto o loro combinazione, testata ai Tr riportati, mostra un effetto tossico nei confronti degli organismi bersaglio considerati, per cui il terreno condizionato può essere riutilizzato già a partire dal giorno 0.

7.2 Conclusioni dello studio condotto sulla Marna

Le evidenze sperimentali ottenute dai test condotte sui terreni condizionati con le tre combinazioni di prodotti consentono di formulare le seguenti **considerazioni finali per la sperimentazione condotta sulla Marna**:

- si può notare come nel caso del Daphnia Magna la percentuale di organismi immobili negli elutriati dei diversi campioni risulti sempre inferiore o al più pari a un valore di 10% di immobilizzazione, andando da 0 a 7 giorni. Per cui è possibile affermare che già dal giorno 0 (t=0) non si evince alcun effetto di tossicità per i campioni B, D e BP, in quanto i valori di risposta sono inferiori al 20% e tendono a rimanere tali anche al giorno 7;
- la risposta eco-tossicologica del V. Fischeri mostra chiaramente che l'apporto degli agenti condizionanti non influenza la risposta naturale del terreno vergine. Si nota come la % di inibizione della bioluminescenza nell'elutriato del campione BIANCO sia già superiore al 20% al tempo 0 (21.7% valore medio). Non è quindi consigliabile utilizzare questo organismo in fase di controllo durante lo scavo in quanto la stessa risposta del terreno vergine, per le caratteristiche naturali del terreno, è comparabile o superiore (nel caso del campione B), a quello dei campioni di terreno condizionati;
- in base ai dati riportati nel paragrafo 2 è possibile affermare che per tutti i prodotti testati, all'infuori del prodotto **BASF MasterRoc ACP 214** per cui a causa della mancanza di documentazione non è stato possibile fare alcuna valutazione, le concentrazioni massime attese delle singole classi di composti si trovano al di sotto dei rispettivi Valori Soglia, per cui in base al DPR 120/2017 e al CLP sono rispettati i requisiti di qualità ambientale.

É possibile affermare che dai dati di eco-tossicità del D. Magna non si evincono possibili effetti di tossicità dei prodotti B, D e BP utilizzati nello studio già dal giorno 0.

Come controllo in sito è quindi consigliabile eseguire il test eco-tossicologico con il D.Magna prendendo come valore di riferimento un valore massimo pari a <20%, poiché rispetto al V.Fischeri sembra fornire risultati meno affetti dalle caratteristiche intrinseche del campione di terreno.

In conclusione, alla luce dei risultati sperimentali, è possibile affermare che nessun prodotto o loro combinazione, testata ai Tr riportati, mostra un effetto tossico nei confronti degli organismi bersaglio considerati, per cui il terreno condizionato può essere riutilizzato già a partire dal giorno 0.

Per quanto riguarda il controllo in corso d'opera, sempre al fine di favorire una più organica gestione delle fasi di cantiere e ferma restando la possibilità di applicare le metodiche di

campionamento sia del presente studio che di quello già eseguito sulla galleria Rocchetta per i prodotti Mapei e Lamberti, si suggerisce di valutare la possibilità di uniformare i protocolli di campionamento in corso d'opera per pervenire a un unico documento da impiegare per le 3 gallerie.

Bibliografia

- [1] DPR 13 giugno 2017, n. 120, (n.d.).
- [2] D. Lgs. 152/2006, (n.d.).
- [3] Regolamento CE n. 1272/2008, (n.d.).
- [4] D. Baderna, E. Lomazzi, A. Passoni, A. Pogliaghi, M.I. Petoumenou, R. Bagnati, M. Lodi, A. Viarengo, S. Sforzini, E. Benfenati, R. Fanelli, Chemical characterization and ecotoxicity of three soil foaming agents used in mechanized tunneling, *J. Hazard. Mater.* 296 (2015) 210–220. doi:10.1016/j.jhazmat.2015.04.040.
- [5] E. Galli, V. Muzzini, A. Finizio, P. Fumagalli, P. Grenni, A. Barra Caracciolo, J. Rauseo, L. Patrolecco, Ecotoxicity of foaming agent conditioned soils tested on two terrestrial organisms, *Environ. Eng. Manag. Journ.* 18 (2018) 1703–1710.
- [6] P. Grenni, A. Barra Caracciolo, L. Patrolecco, N. Ademollo, J. Rauseo, M.L. Saccà, M. Mingazzini, M.T. Palumbo, E. Galli, V.G. Muzzini, C.M. Polcaro, E. Donati, I. Lacchetti, A. Di Giulio, P.M.B. Gucci, E. Beccaloni, G. Mininni, A bioassay battery for the ecotoxicity assessment of soils conditioned with two different commercial foaming products, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 148 (2018) 1067–1077. doi:10.1016/j.ecoenv.2017.11.071.
- [7] A. Finizio, L. Patrolecco, P. Grenni, E. Galli, V.G. Muzzini, J. Rauseo, C. Rizzi, A. Barra Caracciolo, Environmental risk assessment of the anionic surfactant sodium lauryl ether sulphate in site-specific conditions arising from mechanized tunnelling, *J. Hazard. Mater.* 383 (2020) 121116. doi:10.1016/j.jhazmat.2019.121116.
- [8] Y. Li, X. Liao, S.G. Huling, T. Xue, Q. Liu, H. Cao, Q. Lin, The combined effects of surfactant solubilization and chemical oxidation on the removal of polycyclic aromatic hydrocarbon from soil, *Sci. Total Environ.* 647 (2019) 1106–1112. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.420.
- [9] A.A. BEFKADU, Q. CHEN, Surfactant-Enhanced Soil Washing for Removal of Petroleum Hydrocarbons from Contaminated Soils: A Review, *Pedosphere.* 28 (2018) 383–410. doi:10.1016/S1002-0160(18)60027-X.
- [10] M. Wang, B. Zhang, G. Li, T. Wu, D. Sun, Efficient remediation of crude oil-contaminated soil using a solvent/surfactant system, *RSC Adv.* 9 (2019) 2402–2411. doi:10.1039/C8RA09964B.
- [11] R.B. da Rocha Junior, H.M. Meira, D.G. Almeida, R.D. Rufino, J.M. Luna, V.A. Santos, L.A. Sarubbo, Application of a low-cost biosurfactant in heavy metal remediation processes, *Biodegradation.* 30 (2019) 215–233. doi:10.1007/s10532-018-9833-1.
- [12] P. Sequi, *Chimica del Suolo*, 1989.
- [13] K. Kumada, *Chemistry of soil organic matter*, Japan Scientific Societies Press, 1987.
- [14] W.M. Post, A.W. King, S.D. Wullschleger, *Soil Organic Matter Models and Global Estimates of Soil Organic Carbon*, in: *Eval. Soil Org. Matter Model.*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1996: pp. 201–222.