



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
 MESSA IN SICUREZZA DEL SISTEMA ACQUEDOTTISTICO
 DEL PESCHIERA PER L'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO
 DI ROMA CAPITALE E DELL'AREA METROPOLITANA

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO ING. PhD MASSIMO SESSA

SUB COMMISSARIO ING. MASSIMO PATERNOSTRO



ACEA ATO 2 SPA





IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. PhD Alessia Delle Site

SUPPORTO AL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Avv. Vittorio Gennari

Sig.ra Claudia Iacobelli

Ing. Barnaba Paglia

CONSULENTE

Ing. Biagio Eramo

ELABORATO
A194PD S8 R002 4

COD. ATO2 APE10116

DATA **DICEMBRE 2019** SCALA

Progetto di sicurezza e ammodernamento
 dell'approvvigionamento della città
 metropolitana di Roma
 "Messa in sicurezza e ammodernamento del sistema
 idrico del Peschiera",
 L.n.108/2021, ex DL n.77/2021 art. 44 Allegato IV

AGG. N.	DATA	NOTE	FIRMA
1	MAR-20	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
2	GEN-21	AGGIORNAMENTO CARTIGLIO	
3	SETT-21	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
4	OTT-22	AGGIORNAMENTO UVP	
5			
6			
7			

**NUOVO TRONCO SUPERIORE ACQUEDOTTO
 DEL PESCHIERA
 dalle Sorgenti alla Centrale di Salisano**

CUP G33E17000400006

PROGETTO DEFINITIVO

TEAM DI PROGETTAZIONE

CAPO PROGETTO
 Ing. Angelo Marchetti

ASPETTI AMBIENTALI E COORDINAMENTO SIA
 Ing. Nicoletta Stracqualursi

Hanno collaborato:
 Ing. Geol. Eliseo Paolini
 Ing. Viviana Angeloro
 Paes. Fabiola Gennaro



CONSULENTI: GEEG – Geotechnical & Environmental Engineering Group

PARTE 8

**STUDIO SPERIMENTALE PER LA VERIFICA
 DELL'IMPATTO ECO-TOSSICOLOGICO DEL
 CONDIZIONAMENTO CON TBM EPB**



GEEG

GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL
ENGINEERING GROUP

Startup di



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

“Studio sperimentale per la verifica dell’impatto eco-tossicologico del condizionamento da eseguirsi durante lo scavo meccanizzato con fresa TBM (Tunnel Boring Machine) di tipo EPB (Earth Pressure Balance), nell’ambito della realizzazione del Nuovo Tronco Superiore dell’acquedotto Peschiera”

Gennaio 2020

Indice

1	Introduzione.....	5
2	Studi preliminari sugli additivi e sul terreno.....	7
2.1	Valutazione dei rischi ambientali.....	7
3	Metodiche sperimentali.....	10
3.1	Principio del metodo di tossicità acuta con <i>Vibrio fischeri</i>	10
3.1.1	Modalità di esecuzione.....	10
3.1.2	Principio del metodo di tossicità acuta con <i>Daphnia Magna</i>	11
3.1.3	Modalità di esecuzione.....	11
3.1.4	Metodo dell'MBAS.....	12
3.1.5	Misura del TOC.....	12
3.1.6	Test del BOD.....	12
3.2	Risultati delle prove chimiche sui prodotti commerciali.....	13
3.3	Risultati delle prove eco-tossicologiche sui prodotti commerciali.....	14
3.3.1	Risultati test.....	14
3.3.2	Risultati dei test eseguiti con <i>Daphnia Magna</i>	15
3.4	Caratterizzazione del terreno.....	16
3.5	Conclusioni sui risultati sperimentali preliminari e scelta dei 4 prodotti condizionanti.....	17
4	Valutazione del potenziale rischio sulla salute umana e sull'ambiente secondo il regolamento (CE) n. 1272/2008.....	19
5	Allestimento set sperimentale per lo studio sperimentale.....	25
5.1	Risultati dei test chimici.....	27
5.1.1	Test a 28 giorni adottando un $Tr=Tr1$	27
5.1.2	Risultati dei test eco-tossicologici.....	32
5.1.3	Risultati dei test con il batterio <i>V. fischeri</i>	32
5.1.4	Risultati dei test con il <i>Daphnia Magna</i>	34
5.2	Test a 7 giorni con $Tr=Tr1.5$	34
5.2.1	Risultati dei test eco-tossicologici.....	36
5.2.2	Risultati dei test con il batterio <i>V. fischeri</i>	37
5.2.3	Risultati dei test con il <i>Daphnia Magna</i>	38
5.3	Test a 7 giorni con $Tr=Tr2$	38
5.3.1	Risultati dei test eco-tossicologici.....	40
5.3.2	Risultati dei test con il batterio <i>V. fischeri</i>	41
5.3.3	Risultati dei test con il <i>Daphnia Magna</i>	42
6	Conclusioni generali dello studio sperimentale.....	42
7	Bibliografia.....	44

Premessa

Lo scavo meccanizzato di gallerie prevede la rimozione di un volume di terreno proporzionale alla dimensione e lunghezza della stessa galleria e, per i tratti scavati impiegando la tecnologia EPB, è necessario tenere conto dell'interazione a lungo termine che può esservi fra i composti chimici presenti negli additivi di scavo e i microrganismi e organismi che possono entrare in contatto con gli stessi. In base al DPR 120/17 è possibile definire il terreno scavato come sottoprodotto o rifiuto in funzione di determinate caratteristiche chimico-fisiche [1]. Il rispetto dei requisiti di qualità ambientale di cui all'articolo 184-bis, comma 1, lettera d), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti, è garantito quando il contenuto di sostanze inquinanti all'interno delle terre e rocce da scavo, comprendenti anche gli additivi utilizzati per lo scavo, sia inferiore alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC), di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, con riferimento alla specifica destinazione d'uso urbanistica, o ai valori di fondo naturali [2, 3]. 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.

È dunque opportuno, contemporaneamente alla valutazione del rispetto dei requisiti di protezione della salute dell'uomo e dell'ambiente, eseguire 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 litotipo da condizionare quello realmente prelevato in sito.

Lo studio dell'impatto ambientale 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 prima caratterizzazione dei soli additivi schiumogeni diluiti in soluzione acquosa e un successivo studio della loro biodegradazione nel terreno condizionato secondo i parametri ottimali di condizionamento, individuati in base a test geotecnici. Più in dettaglio, verranno selezionati un numero congruo di additivi schiumogeni in funzione di una caratterizzazione iniziale. Parallelamente alla caratterizzazione degli additivi schiumogeni sarà necessario caratterizzare il terreno vergine. A valle della scelta e caratterizzazione iniziale degli additivi e della caratterizzazione del terreno vergine, verrà allestito un numero di campioni di terreno condizionato pari al numero di additivi selezionati e un bianco (terreno vergine miscelato con la sola acqua aggiunta usualmente durante il processo di condizionamento con additivo schiumogeno) per eseguire le prove di biodegradazione. Una volta allestito il set di campioni, in duplicato, in funzione della particolare "time schedule" (usualmente 0, 7, 14, 21, 28 giorni) si procede ai campionamenti di terreno condizionato per la determinazione dei seguenti parametri: umidità, pH, 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].

Parallelamente allo studio sul terreno condizionato, verranno raccolti i liquidi di percolazione per la determinazione degli stessi parametri monitorati per gli elutriati. Per una corretta valutazione dell'impatto ambientale 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 riassuntivo dei risultati delle attività sperimentali sviluppate su richiesta di ACEA Elabori si riportano:

a- le **valutazioni preliminari** del rischio al fine di selezionare i 4 **additivi schiumogeni** sulla base di considerazioni dedotte dalle SDS (principali sostanze contenute e percentuale nel prodotto stesso) fornite dalle ditte produttrici (Mapei, Lamberti, BASF e SIKA) e da prove di carattere chimico ed eco-tossicologiche;

b- le **valutazioni preliminari** sul **terreno vergine** di carattere chimico;

c- le **modalità di condizionamento** del terreno proveniente dal sito di scavo con gli agenti schiumogeni precedentemente selezionati e le valutazioni in accordo con il regolamento (CE) n. 1272/2008;

d- i risultati dei **test chimici ed eco-tossicologici** condotti **sui terreni condizionati** con gli agenti schiumogeni (test di eco-tossicità acuta su *Vibrio Fischeri* e test di immobilizzazione con *Daphnia magna* – OECD 202);

e- **conclusioni generali** dello studio di eco-tossicità del terreno con i diversi agenti condizionanti.

1 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 smarino 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.

2 Studi preliminari sugli additivi e sul terreno

2.1 Valutazione dei rischi ambientali

Lo studio di impatto ambientale 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 contatto, attraverso l'ambiente circostante, 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 6 prodotti schiumogeni valutati per gli studi di caratterizzazione chimica e di eco-tossicità ambientale con l'obiettivo di individuarne 4 da sottoporre ad ulteriori prove sono:

- Polyfoamer ECO/100 PLUS (Mapei);
- FOAMEX SNG-IT (Lamberti);
- FOAMEX SNG-MD (Lamberti);
- MasterRoc SLF 32 (BASF);
- Sika Foam TBM 110 FB (SIKA);
- Sika Foam TBM 510 LS (SIKA).

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, Tabella 1, (% in massa nel prodotto).

Tabella 1. CAS e % delle classi di composti reperibili dalle schede di sicurezza dei prodotti condizionanti.

FOAMEX SNG-MD		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
Poly(oxy-1,2-ethanediyl), alpha-sulfo-omega- (undecyloxy)-,sodium salt, branched and linear	219756-63-5	7-10
Alcool C11, ramificati e lineari, etossilati	127036-24-2	1-3
FOAMEX SNG-IT		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
Alcoli, C12-14, etossilati, solfati, sali di sodio	68891-38-3	5-10
Polyfoamer ECO/100 PLUS		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
sodium laureth sulfate	9004-82-4	5-10
MasterRoc SLF 32		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	68891-38-3	10-20
Sika Foam TBM 110 FB		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	68891-38-3	10-20
2-[2-(2- butoxyethoxy)ethoxy]ethanol	26530-20-1	5-10
2-octyl-2H-isothiazole-3-one (OIT)	26530-20-1	0.0025-0.025
SIKA Foam TBM 510 LS		
Componente	Numero CAS	% nel prodotto
Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	68891-38-3	10-20
2-[2-(2- butoxyethoxy)ethoxy]ethanol	26530-20-1	10-20

sodium hydroxide	1310-73-2	0.5-1
2-octyl-2H-isothiazole-3-one (OIT)	26530-20-1	0.0025-0.025
5-chloro-2-methyl-4-isothiazolin-3-one and 2-methyl-2H-isothiazol-3-one isothiazolin-3-one	55965-84-9	0.0002-0.0015

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

Tabella 2. Informazioni reperibili dalle schede di sicurezza dei prodotti condizionanti.

	Polyfoamer ECO/100 PLUS	FOAMEX SNG-IT	FOAMEX SNG-MD	MasterRoc SLF 32	SIKA Foam TBM 110 FB	SIKA Foam TBM 510 LS
Aspetto	Liquido	Liquido	Liquido	Liquido	Liquido	Liquido
Colore	Paglierino	Giallognolo	Giallognolo	Da incolore a lievemente paglierino	Incolore	Giallognolo
Densità (g/cm³)	1.01-1.07	1.02	1.02	1,008-1,028	1.03	1.04
pH a 20 °C	8.5	6 – 9	6 - 9	10,5	7	4
Punto di ebollizione	100 °C	N.D.	N.D.	>100 °C	/	/
Sostanza chimica principale	Sodium laureth sulfate; 5-10% CAS n. 9004-82-4	Alcoli, C12-14, etossilati, solfati, sali di sodio 5% - < 10% CAS: 68891-38-3,	Poly(oxy-1,2-ethanediyl), alpha-sulfo-omega-(undecyloxy)-,sodium salt, branched and linear 7% - < 10% CAS: 219756-63-5,	Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts 68891-38-3 10% - < 20% CAS: 68891-38-3,	Alcohols, C12-14, ethoxylated, 10% - < 20% CAS: 68891-38-3,	Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts 10% - < 20% CAS: 68891-38-3,

La caratterizzazione degli additivi sopra riportati proposta da GEEG viene fatta sul prodotto diluito in soluzione acquosa nella stessa misura utilizzata in fase di scavo e prevede l'esecuzione dei seguenti test:

1. **TOC**, su almeno 2 diluizioni in acqua distillata (usualmente 0.1, e 0.3% in massa);
2. **COD**, su almeno 2 diluizioni in acqua distillata (usualmente 0.1 e 0.3% in massa);
3. **MBAS**, su almeno 2 diluizioni in acqua distillata (usualmente 0.1 e 0.3% in massa);
4. **pH**, su almeno 2 diluizioni in acqua distillata (usualmente 0.1 e 0.3% in massa);
5. **Test di tossicità per la valutazione dell'EC50 ed EC20** su *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*;
6. **Test di biodegradazione** a 5 e 28 giorni.

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, E e F) al fine di procedere, come usualmente fatto, con *blind test*.

3 Metodiche sperimentali

3.1 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.

3.1.1 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, si eseguono almeno 4 centrifugazioni a 12000 rpm per 10 min, separando il surnatante di volta in volta fino a ottenere una soluzione limpida.

3.1.2 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 immobili.

3.1.3 Modalità di esecuzione

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 pipetta pasteur 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). Il saggio risulta valido nel momento in cui nel controllo negativo sia 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.

3.1.4 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 Metilene un sale di colore blu, estratto in modo quantitativo con cloroformio. L'assorbanza della fase organica è proporzionale alla concentrazione del tensioattivo anionico e può essere misurata mediante colorimetro, alla lunghezza d'onda di 650 nm nella regione del visibile. I test sono stati eseguiti in base alla metodica 5170 del Manuale 29/2003 APAT IRSA CNR Metodi analitici per le acque. Si utilizza un analizzatore a flusso continuo segmentato, che automatizza gli step di aggiunta reattivi, miscelazione, estrazione in cloroformio, separazione della fase cloroformica contenente il complesso colorato, lettura fotometrica. Si costruisce una retta di calibrazione del colorimetro prendendo come composto di riferimento il sodio dodecilsolfato, tensioattivo anionico noto anche come sodio lauril solfato. Per i dettagli si può consultare il metodo di riferimento.

3.1.5 Misura del TOC

Il TOC (Total Organic Carbon, espresso in mgC/l) è una misura quantitativa del carbonio organico presente nella soluzione acquosa del prodotto schiumogeno. 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.

La misura del TOC può essere indiretta, come differenza tra il carbonio totale ($TC=TOC+IC$) e quello inorganico (IC) misurati direttamente, oppure può essere diretta valutando il carbonio organico residuo dopo eliminazione del carbonio inorganico (NPOC, carbonio organico non purgabile). Quest'ultima tecnica è quella preferibile per acque con bassi valori di TOC, in cui la differenza tra TC e IC è troppo piccola per essere correttamente apprezzata. Per la misura del TOC si è applicata la tecnica NPOC, con riferimento al metodo UNI EN 1434:1999 ed utilizzando l'analizzatore Shimadzu TOC-V csh.

3.1.6 Test del BOD

Il saggio del BOD (Biochemical Oxygen Demand) esprime la quantità di ossigeno necessaria per l'ossidazione biochimica delle sostanze contenute in un'acqua nelle condizioni in cui viene eseguito il saggio stesso. Il metodo si basa sulla determinazione dell'ossigeno disciolto nel

campione da analizzare prima e dopo incubazione di cinque giorni, al buio ed alla temperatura di 20°C. La differenza fra le due determinazioni, moltiplicata per il fattore di diluizione, dà il valore del BOD₅ del campione in esame, espresso in mg/L di ossigeno. La determinazione dell'ossigeno disciolto può essere effettuata con metodi chimici, fisici ed elettrochimici.

Le misure sono state eseguite con un misuratore di ossigeno disciolto, integrato in una stazione di automazione degli step di aggiunta reattivi, diluizione del campione, misura ed elaborazione del risultato. I campioni sono stati arricchiti con un inoculo batterico per assicurare l'instaurarsi dei processi di ossidazione biochimica. La conservazione in camera termostata garantisce il controllo delle condizioni di incubazione. Il metodo di riferimento è il 5170 del Manuale 29/2003 APAT IRSA CNR Metodi analitici per le acque.

3.2 Risultati delle prove chimiche sui prodotti commerciali

Le analisi chimiche sui prodotti commerciali sono state condotte a due diverse diluizioni pari a 0.1% e 0.3% in massa. Si sono ottenuti i risultati riportati nella tabella 3.

Tabella 3. Risultati dei test chimici eseguiti sui 6 prodotti condizionanti.

DILUIZIONE 0.1 % IN MASSA						
	A	B	C	D	E	F
TOC (mg C/l)	57	42	63	78	127	158
COD (mg/l)	197	191	176	301	443	551
MBAS in acqua (mg/l)	49.0	75.8	55.7	114	104.5	103.1
pH	7.8	7.9	7.4	7.5	8.3	7.0
BOD ₅ (mg O ₂ /l)	90	126	57	195	157	162
BOD ₅ \ COD	0.46	0.66	0.32	0.65	0.35	0.29
BOD ₂₈ (mg O ₂ /l)	120	189	60	208	277	321
BOD ₂₈ \ COD	0.61	0.99	0.33	0.69	0.62	0.58

DILUIZIONE 0.3 % IN MASSA						
	A	B	C	D	E	F
TOC (mg C/l)	188	184	179	288	373	490
COD (mg/l)	558	597	480	1173	1386	1622
MBAS in acqua (mg/l)	202	232	174	318	256	244
pH	6.8	7.2	7.1	9.4	8.6	6.8
BOD ₅ (mg O ₂ /l)	232	355	140	639	481	485

BOD ₅ \COD	0.41	0.59	0.29	0.54	0.34	0.30
BOD ₂₈ (mg O ₂ /l)	323	407	176	833	890	947
BOD ₂₈ \COD	0.58	0.68	0.37	0.71	0.64	0.58

I dati di incertezza per i metodi del TOC, COD, MBAS, pH e BOD sono pari a: 5.4%, 10.9%, 9.6%, ±0.2 e ±30 mg/l. Ai fini progettuali è essenziale conoscere le velocità di degradazione del tensioattivo impiegato in quanto da essa dipende il dimensionamento delle aree di stoccaggio da predisporre nei pressi delle aree di imbocco della galleria.

3.3 Risultati delle prove eco-tossicologiche sui prodotti commerciali

3.3.1 Risultati test eseguiti con *Vibrio Fischeri*

I test eco-tossicologici con *V. fischeri* sui campioni analizzati hanno prodotto i seguenti risultati (Tabella 4).

Tabella 4. Risultati dei test di EC50 ed EC20 con *V. Fischeri*.

V. Fischeri EC 50			
PRODOTTO	valori di effetto 5' (mg/l)	valori di effetto 15' (mg/l)	valori di effetto 30' (mg/l)
A	243.80	159.60	138.30
B	26.00	19.74	16.74
C	156.80	94.99	86.52
D	24.39	13.65	9.56
E	18.97	11.54	8.82
F	28.44	19.59	15.96

V. fischeri EC 20			
PRODOTTO	valori di effetto 5' (mg/l)	valori di effetto 15' (mg/l)	valori di effetto 30' (mg/l)
A	88.47	56.27	50.81
B	9.78	7.90	6.18
C	43.58	28.17	28.36

D	6.48	3.53	2.38
E	5.60	3.03	2.47
F	10.25	7.46	6.12

Il dato di incertezza del metodo è pari a 3.4%.

3.3.2 Risultati dei test eseguiti con Daphnia Magna

I test eco-tossicologici con Daphnia Magna sui campioni analizzati hanno prodotto i seguenti risultati (tabella 5).

Tabella 5. Risultati dei test di EC50 ed EC20 con D. Magna.

D. Magna EC 50		
PRODOTTO	Concentrazione causa di immobilità a 24 h degli organismi (mg/l)	Concentrazione causa di immobilità a 24 h degli organismi (mg/l)
A	546.55	444.13
B	268.06	187.49
C	680.14	673.79
D	147.00	144.76
E	227.24	150.96
F	226.84	150.96

D. Magna EC 20		
PRODOTTO	Concentrazione causa di immobilità a 24 h degli organismi (mg/l)	Concentrazione causa di immobilità a 24 h degli organismi (mg/l)
A	488.47	341.64
B	239.14	183.22
C	664.63	658.43
D	132.70	119.93
E	201.46	138.12

F	216.70	138.12
---	--------	--------

Il dato di incertezza del metodo è pari a 6.6%.

3.4 Caratterizzazione del terreno

La caratterizzazione del terreno vergine proposta da GEEG prevede l'esecuzione dei seguenti test:

1. **TOC**, sull'elutriato acquoso, preparato secondo il rapporto S/L, Solido secco/Liquido (1:10 in massa) secondo UNI 10802:2004;
2. **pH**, sulla miscela acqua bidistillata + terreno in rapporto S/L 1:2.5 in massa;
3. **cloruri, solfati, fluoruri e nitrati** sull'elutriato acquoso, preparato secondo il rapporto S/L, Solido secco/Liquido (1:10 in massa) secondo UNI 10802:2004;
4. analiti secondo la tabella 4.1 del DPR 120/2017 (**Arsenico, Cadmio, Cobalto, Nichel, Piombo Rame, Zinco, Mercurio, Idrocarburi C>12, Cromo totale, Cromo VI, Amianto**), riportati in Tabella 6.

Tabella 6. Risultati della caratterizzazione del terreno prelevato dal sito dove avverrà lo scavo.

Parametro	Matrice	Campioni	Valore
TOC (mg C/l)	su elutriato acquoso preparato secondo UNI 10802	3	18.6
pH	su miscela acqua/terreno 1:2.5 in massa	3	7.9
Cloruri (mg/l)	su elutriato acquoso preparato secondo UNI 10802	3	<5.0
Solfati (mg/l)	su elutriato acquoso preparato secondo UNI 10802	3	<2.5
Nitrati (mg/l)	su elutriato acquoso preparato secondo UNI 10802	3	<0.5
Fluoruri (mg/l)	su elutriato acquoso preparato secondo UNI 10802	3	<0.5
Arsenico (mg/kg)	solido (terreno)	3	3.6
Cadmio (mg/kg)	solido (terreno)	3	<0.3
Cobalto (mg/kg)	solido (terreno)	3	3.4
Cromo (mg/kg)	solido (terreno)	3	4.4

Cromo(VI) (mg/kg)	solido (terreno)	3	<0.1
Mercurio (mg/kg)	solido (terreno)	3	<0.001
Nichel (mg/kg)	solido (terreno)	3	<0.01
Piombo (mg/kg)	solido (terreno)	3	<0.001
Rame (mg/kg)	solido (terreno)	3	11.9
Zinco (mg/kg)	solido (terreno)	3	21.2
Amianto*	solido (terreno)	3	<0.01%
C>12 (mg/kg)	solido (terreno)	3	<50

*tecnica SEM-EDAX il valore si riferisce alle seguenti specie: crisotilo, crocidolite, amosite, tremolite, actinolite, antofillite.

3.5 Conclusioni sui risultati sperimentali preliminari e scelta dei 4 prodotti condizionanti

A valle dei risultati ottenuti dalle prove condotte sui diversi prodotti e sui campioni di terreno è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- In tutti e 6 i prodotti studiati la classe di composti principale è relativa a una miscela di omologhi dello SLES, con i caratteristici CAS 68891-38-3, 9004-82-4 e 219756-63-5, in percentuali nell'intervallo 5-20%, di cui sono note in letteratura le caratteristiche di biodegradabilità ed eco-tossicità [8];
- 3 prodotti su 6 riportano composti diversi dallo SLES nella loro scheda di sicurezza, e sono composti volti a modificare le caratteristiche chimico-fisiche del prodotto (principalmente per migliorare la semi-vita della schiuma e permettere la conservazione del prodotto in fase di stoccaggio);
- I valori di TOC e COD, per le soluzioni diluite allo 0.1% in massa in acqua bidistillata, cadono in intervalli tipici (40-160 mg/l per il TOC, 170-550 mg/l per il COD), come riportato in altri studi [9] e risultano fra loro proporzionali. Analoghe considerazioni possono farsi per le diluizioni allo 0.3% in massa;
- I valori di MBAS, per le soluzioni diluite allo 0.1% in massa in acqua bidistillata, cadono nell'intervallo 50-115 mg/l e non aumentano linearmente con i rispettivi valori di TOC e COD. Analoghe considerazioni possono farsi per le diluizioni allo 0.3% in massa;
- I valori di pH sono risultati essere sempre nell'intervallo di neutralità per le diluizioni allo 0.1% in massa, mentre per il prodotto D ed E il valore di pH misurato è basico per la diluizione allo 0.3%;

- I valori dei rapporti BOD₅/COD e BOD₂₈/COD indicano un'ottima biodegradabilità per i prodotti B, D ed E (>0.6 a 28 giorni) e una non elevata biodegradabilità per il prodotto C (<0.4 a 28 giorni). I rapporti di BOD₂₈/COD non tendono a ridursi in maniera apprezzabile (anzi nel caso dei prodotti D ed E si ha un leggero incremento) all'aumentare della concentrazione del prodotto da 0.1 a 0.3% in massa;
- I valori di EC50 ed EC20 per il V. Fischeri tendono generalmente a diminuire con l'aumentare del tempo di esposizione e cadono nell'intervallo 19-250 mg/l per EC50 (valori a 5') e 5-90 mg/l per EC20 (valori a 5'). I prodotti meno tossici per il V. Fischeri risultano essere A e C, mentre i restanti sono risultati maggiormente tossici con valori di EC50 minori rispetto a quelli di A e C di circa 1 ordine di grandezza;
- I valori di EC50 ed EC20 per il D. Magna tendono generalmente a diminuire con l'aumentare del tempo di esposizione e cadono nell'intervallo 147-680 mg/l per EC50 e 132-664 mg/l per EC20. I prodotti meno tossici per il V. Fischeri risultano essere A e C, mentre i restanti sono risultati maggiormente tossici con valori di EC50 minori rispetto a quelli di A e C ma sempre dello stesso ordine di grandezza;
- Il terreno è risultato essere a reazione debolmente alcalina, con tutti i valori di metalli pesanti, Amianto e idrocarburi inferiori alle CSC riportate nel D. Lgs. 152/06, con una concentrazione di carbonio organico solubile in acqua non elevata (<20 mg/l di eluato) e un valore di specie anioniche disciolte inferiore a 5 mg/l per tutte le specie ioniche analizzate.

In base all'analisi dei risultati ottenuti dai test preliminari si è deciso di selezionare per la successiva sperimentazione i prodotti A, C, D e F. Il prodotto A è stato selezionato in quanto quello caratterizzato dal valore minore di MBAS e ottimo profilo eco-tossicologico (rispetto a quello degli altri prodotti all'infuori di C) e apprezzabile biodegradabilità. Il prodotto C è stato selezionato invece perché caratterizzato dal minore valore di BOD₂₈/COD ma da un ottimo profilo eco-tossicologico e un valore limitato di MBAS (il minore subito dopo quello del prodotto A). Il prodotto D è stato selezionato in quanto caratterizzato dal maggior valore di BOD₂₈/COD e dai valori minori di EC20 per entrambe le specie acquatiche. Infine il prodotto F è stato selezionato in quanto quello con il maggior valore di carbonio organico, bassi valori di EC20 per entrambe le specie acquatiche e un valore di BOD₂₈/COD minore di 0.6 per entrambe le diluizioni 0.1 e 0.3% in massa. Si sono scelti quindi i due prodotti con il miglior profilo eco-tossicologico (A e C) di cui il secondo risultato essere il meno biodegradabile e due prodotti con bassi valori di EC20 ed EC50 per entrambe le specie acquatiche ed elevato carico organico (D ed F) di cui il primo risultato essere il più biodegradabile.

I prodotti selezionati sono quindi A, C, D e F che corrispondono ai seguenti prodotti commerciali:

- A FOAMEX SNG-MD
- C Polyfoamer ECO/100 PLUS
- D MasterRoc SLF 32

F SIKA Foam TBM 510 LS

Noti i prodotti si è passati quindi alla sperimentazione geotecnica per lo studio dei dosaggi impiegati per il condizionamento del terreno e quindi alla successiva valutazione del rischio sulla salute umana e sull'ambiente secondo il regolamento (CE) n. 1272/2008. Lo studio è infatti da riferirsi a ciascuna classe di composti presente nel terreno condizionato, calcolabile a valle dell'individuazione dei dosaggi di prodotto condizionante e dai valori di concentrazione (min e max) riportati sulle schede di sicurezza dei prodotti.

4 Valutazione del potenziale rischio sulla salute umana e sull'ambiente secondo il regolamento (CE) n. 1272/2008

Nella tabella che segue (Tabella 7) sono riportati i parametri di condizionamento e le concentrazioni nel suolo dei prodotti testati, ricavati dai test geotecnici riportati nella relazione dedicata.

Tabella 7. Dati del condizionamento.

	W %*	FER	FIR	Cf %	ρ (kg/l)	Tr (l/m ³)	Tr (g/kg)
A	12	10	18	2	1.02	0.36	0.128
C	12	10	18	2	1.03	0.36	0.127
D	12	10	15	2	1.02	0.3	0.107
F	12	10	16	2	1.04	0.32	0.111

*Aggiunta + naturale.

Dove il Tr (treatment ratio) rappresenta il quantitativo di prodotto condizionante utilizzato per metro cubo di terreno scavato, w% è l'umidità finale del terreno condizionato, ρ è la densità del prodotto condizionante e i parametri FER, FIR e Cf% sono i parametri progettuali del condizionamento, definiti nella relazione geotecnica dedicata.

Una volta ottenuti i valori di Tr è stato possibile calcolare le concentrazioni attese (massime) di ogni singola classe di composti presente nei 4 prodotti, come riportato nella seguente tabella 8.

Tabella 8. Concentrazioni attese nel terreno condizionato delle singole classi di composti presenti nei prodotti condizionanti.

C MSDS POLYFOAMER ECO 100 PLUS	Concentrazione attesa di prodotto commerciale (mg/kg suolo)	% max della singola classe di composti nel prodotto commerciale	Concentrazione max componente (mg/kg suolo)
sodium laureth sulfate	126.6	10	12.7
D MASTERROC SLF 32			

Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	106.8	20	21.3
A FOAMEX SNG-MD			
Poly(oxy-1,2-ethanediyl), alpha-sulfo-omega-(undecyloxy)-,sodium salt, branched and linear	127.9	10	12.8
Alcool C11, ramificati e lineari, etossilati	127.9	3	8.4
F Sika Foam TBM 510 LS			
Alcohols, C12-14, ethoxylated, sulfates, sodium salts	111.5	20	22.3
2-[2-(2-butoxyethoxy)ethoxy]ethanol	111.5	20	22.3
sodium hydroxide	111.5	1	1.11
2-octyl-2H-isothiazole-3-one (OIT)	111.5	0.025	0.03
5-chloro-2-methyl-4-isothiazolin-3-one and 2-methyl-2Hisothiazol-3one isothiazolin-3-one	111.5	0.025	0.03

Il rispetto dei requisiti di qualità ambientale di cui all'articolo 184-bis, comma 1, lettera d), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti, è garantito quando il contenuto di sostanze inquinanti all'interno delle terre e rocce da scavo, comprendenti anche gli additivi utilizzati per lo scavo, sia inferiore alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC), di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, con riferimento alla specifica destinazione d'uso urbanistica, o ai valori di fondo naturali. Qualora per consentire le operazioni di scavo sia previsto l'utilizzo di additivi che contengono sostanze inquinanti non comprese nella citata tabella, il soggetto proponente fornisce all'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e all'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) la documentazione tecnica necessaria a valutare il rispetto dei requisiti di qualità ambientale di cui all'articolo 4. Per

verificare che siano garantiti i requisiti di protezione della salute dell'uomo e dell'ambiente, ISS e ISPRA prendono in considerazione il contenuto negli additivi delle sostanze classificate pericolose ai sensi del regolamento (CE) n. 1272/2008, relativo alla classificazione, etichettatura ed imballaggio delle sostanze e delle miscele (CLP), al fine di appurare che tale contenuto sia inferiore al «valore soglia» di cui all'articolo 11 del citato regolamento per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale e al «limite di concentrazione» di cui all'articolo 10 del medesimo regolamento per i siti ad uso commerciale e industriale. L'ISS si esprime entro 60 giorni dal ricevimento della documentazione, previo parere dell'ISPRA. Il parere dell'Istituto Superiore di Sanità è allegato al piano di utilizzo.

In funzione di tale regolamento e di detti articoli vengono definiti il valore soglia (VS), 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, vedere Figura 1), cioè 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.

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 1. Valori soglia generici riportati nella 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 riferirsi alla tabella 4.1.3 allegato I parte 1, Figura 2).

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 2. Fattori moltiplicativi riportati nella Tabella 1.1 allegato I parte 1 del CE 1272.

Si riporta quindi una tabella riassuntiva (Tabella 9) e comparativa dei valori attesi di concentrazione delle singole classi di composti, per ogni prodotto, e dei relativi VS.

Tabella 9. Tabella comparativa dei dati attesi di concentrazione dei diversi composti presenti nei prodotti condizionanti e relativi VS.

A FOAMEX SNG-MD

CAS	% nel prodotto	Tr (l/m ³)	Quantità singola sostanza (mg/kg)		Classe di tossicità	VS (%in massa)
			Min	Max		
219756-63-5	7-10	0.36	8.95 (0.000895%)	12.78 (0.0012778%)	Skin Irrit. 2 Eye Dam. 1 Eye Irrit. 2	Skin Irrit. 2: C >1% Eye Dam. 1: C >1% Eye Irrit. 2: C >1%

127036-24-2	1-3	0.36	1.28 (0.000128%)	3.86 (0.000386%)	Acute Tox. 3 Acute Tox. 4 Eye Dam. 1 Eye Irrit. 2	Acute Tox. 3: C >0.1% Acute Tox. 4: C >1% Eye Dam. 1: C >1% Eye Irrit. 2: C >1%
-------------	-----	------	---------------------	---------------------	--	--

C Polyfoamer ECO/100 PLUS

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	0.36	6.33 (0.000633%)	12.66 (0.001266%)	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%

D MasterRoc SLF 32

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	0.36	10.67 (0.001067%)	22.30 (0.00223%)	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%

F SIKA Foam TBM 510 LS

CAS	% nel prodotto	Tr (l/m³)	Quantità singola sostanza (mg/kg)		Classe di tossicità	VS (% in massa)
			Min	Max		
68891-38-3	10-20	0.32	11.15 (0.001115%)	22.30 (0.00223%)	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%
26530-20-1	10-20	0.32	11,15 (0.001115%)	22.30 (0.00223%)	Acut. Tox 3 Acute Tox. 4 Skin Corr 3 Skin Sens 1 Acquatic Acute 1 Acquatic Cron 1	Acut. Tox 3: C > 0.1% Acute Tox. 4: C > 1% Skin Corr 3: C > 1% Skin Sens 1: C ≥ 0.05% Acquatic Acute 1: C > 0.1% Acquatic Cron 1: C > 0.1%
1310-73-2	0.0025-0.25	0.32	0.56 (0.000056%)	1.11 (0.000111%)	Skin Corr 1	Skin Corr. 1A: C ≥ 5 %
	0.0025-0.25	0.32	0.003 (0.0000003%)	0.03 (0.000003%)	Acute Tox. 3 Acute Tox. 2 Skin Corr. 1C Eye Dam. 1 Skin Sens. 1° Aquatic Acute 1 Aquatic Chronic 1	Acute Tox. 3: C > 1% Acute Tox. 2: C > 1% Skin Corr. 1C: C ≥ 0.6% Eye Dam. 1: C ≥ 0.6% Skin Sens. 1A: C ≥ 0.0015% Aquatic Acute 1: C > 0.001

						Aquatic Chronic 1: C > 0.001 M(Acute)=100 M(Chronic)=100
--	--	--	--	--	--	--

*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.

In base ai dati riportati in tabella è possibile affermare che per qualsiasi prodotto le concentrazioni massime attese delle singole classi di composti si trovano al di sotto dei rispettivi VS.

5 Allestimento set sperimentale per lo studio sperimentale

Sperimentazioni di questo tipo richiedono la predisposizione di micro/meso-cosmi 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 (Figura 3). 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 ecotossicità, 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 (microorganismi, 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 5 microcosmi di circa 4 kg di terreno condizionato ciascuno: un bianco (terreno non condizionato) e 4 terreni condizionati con i 4 additivi selezionati nella fase preliminare. A tempi prestabiliti (t=0, 7, 14, 21 e 28 giorni), sono state prelevate 2 aliquote di terreno (circa 100 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 ecotossicologiche descritte precedentemente.



Figura 3. Campioni di terreno condizionato posti a dimora per 28 giorni.

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 150 rpm) per 24h a 20°C. Il giorno seguente è stata separata la fase liquida da quella solida (Figura 4).



Figura 4. Campioni di terreno condizionato nei recipienti per la preparazione dell'eluato.

I campioni sono stati condizionati inizialmente adottando un Tr pari a quello ricavato dai test geotecnici e riportato in Tabella 7 ($Tr1$). Gli stessi test sono stati poi ripetuti utilizzando un quantitativo di additivo condizionante pari a 1.5 ($Tr1.5$) e 2 ($Tr2$) volte il quantitativo iniziale, per studiare anche l'effetto di un eventuale aumento di concentrazione degli agenti schiumogeni sulle caratteristiche chimiche ed eco-tossicologiche negli elutriati. Questi test sono stati condotti a 7 giorni, e sono necessari per definire un intervallo di Tr di utilizzo dei diversi prodotti in sito.

5.1 Risultati dei test chimici

5.1.1 Test a 28 giorni adottando un $Tr=Tr1$

Gli elutriati preparati sono stati sottoposti a una caratterizzazione continua, secondo la seguente "time schedule": 0, 7, 14, 21 e 28 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;
3. **pH** sulla miscela acqua bidistillata + terreno in rapporto S/L 1:2.5 in massa;
4. **MBAS** su estratto acquoso preparato secondo UNI 10802:2004.



Figura 5. Eluati posti nei recipienti di raccolta dopo 24 h del test di cessione.

Dalle prove effettuate sui campioni condizionati con i 4 prodotti selezionati e sul bianco (terreno non condizionato) si sono ottenuti i seguenti risultati (Tabelle 10-13 e Figure 6-9).

Tabella 10. Risultati sperimentali (Umidità).

(giorni)	UMIDITÀ %				
	A	C	D	F	BIANCO
t=0	8.1	5.7	7.0	7.3	9.1
t=7	5.2	4.6	4.9	5.7	5.8
t=14	4.8	3.1	3.8	4.1	4.8
t=21	2.7	2.2	1.8	1.2	0.9
t=28	4.7	3.7	5.0	4.1	7.1

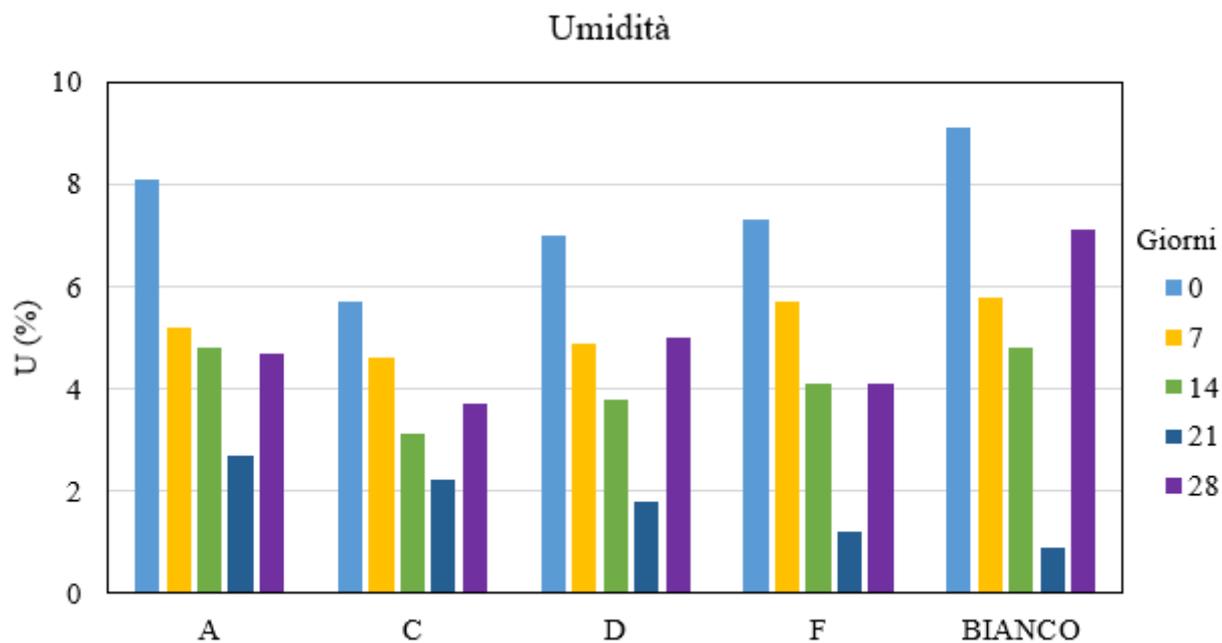


Figura 6. Risultati sperimentali (U=umidità).

Tabella 11. Risultati sperimentali (TOC).

(giorni)	TOC (mg C/l)				
	A	C	D	F	BIANCO
t=0	2.71	2.11	1.43	1.85	1.58
t=7	2.08	1.89	1.56	2.02	1.30
t=14	2.08	2.70	1.91	2.06	2.06
t=21	2.21	2.29	2.40	1.95	2.02
t=28	1.92	1.92	1.88	1.89	1.99

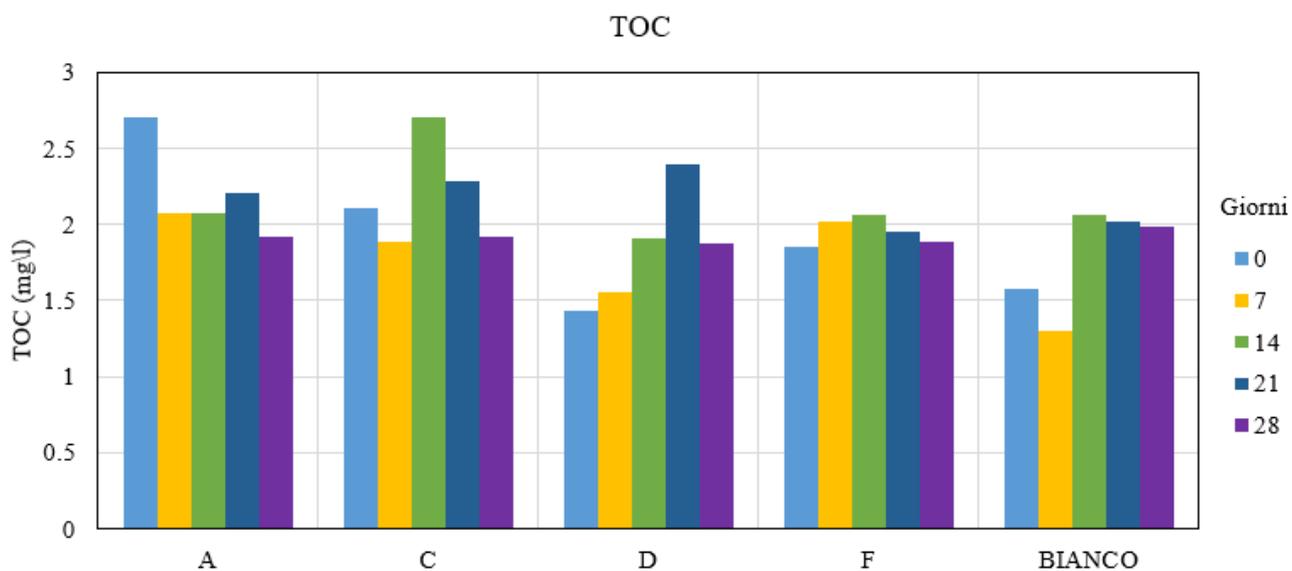


Figura 7. Risultati sperimentali (TOC).

Tabella 12. Risultati sperimentali (pH).

(giorni)	pH				
	A	C	D	F	BIANCO
t=0	7.6	7.3	7.1	7.0	7
t=7	7.7	8.0	7.8	7.9	7.9
t=14	8.8	8.9	8.8	8.8	8.8
t=21	8.3	8.2	8.2	8.3	8.2
t=28	8.2	8.6	8.4	8.3	8.6

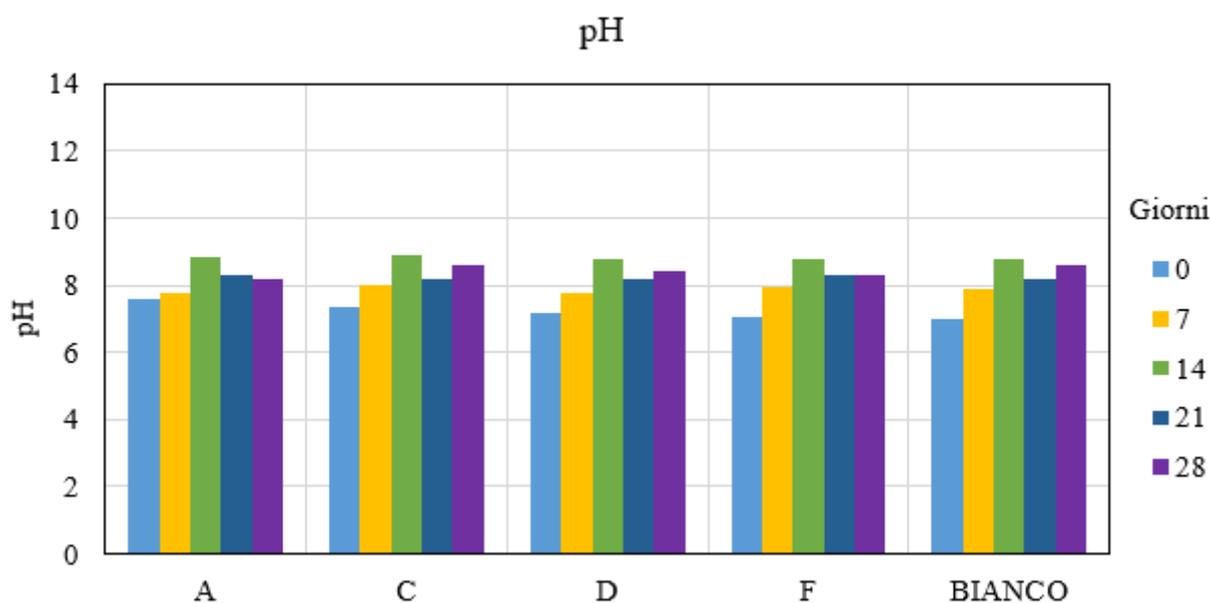


Figura 8. Risultati sperimentali (pH).

Tabella 13. Risultati sperimentali (MBAS).

(giorni)	MBAS (mg/l)				
	A	C	D	F	BIANCO
t=0	0.37	0.42	0.3	0.195	0.13
t=7	<0.10	0.13	<0.10	<0.10	<0.10
t=14	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
t=21	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
t=28	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10

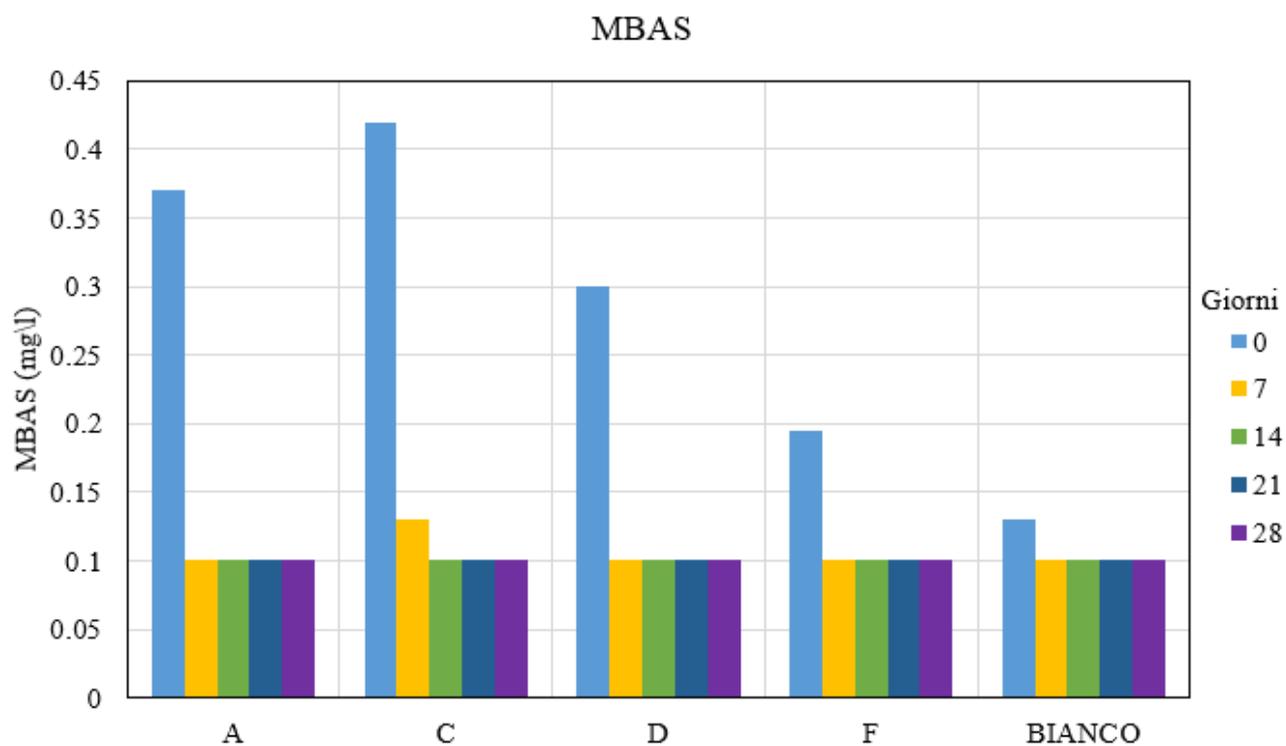


Figura 9a. Risultati sperimentali (MBAS) su eluato.

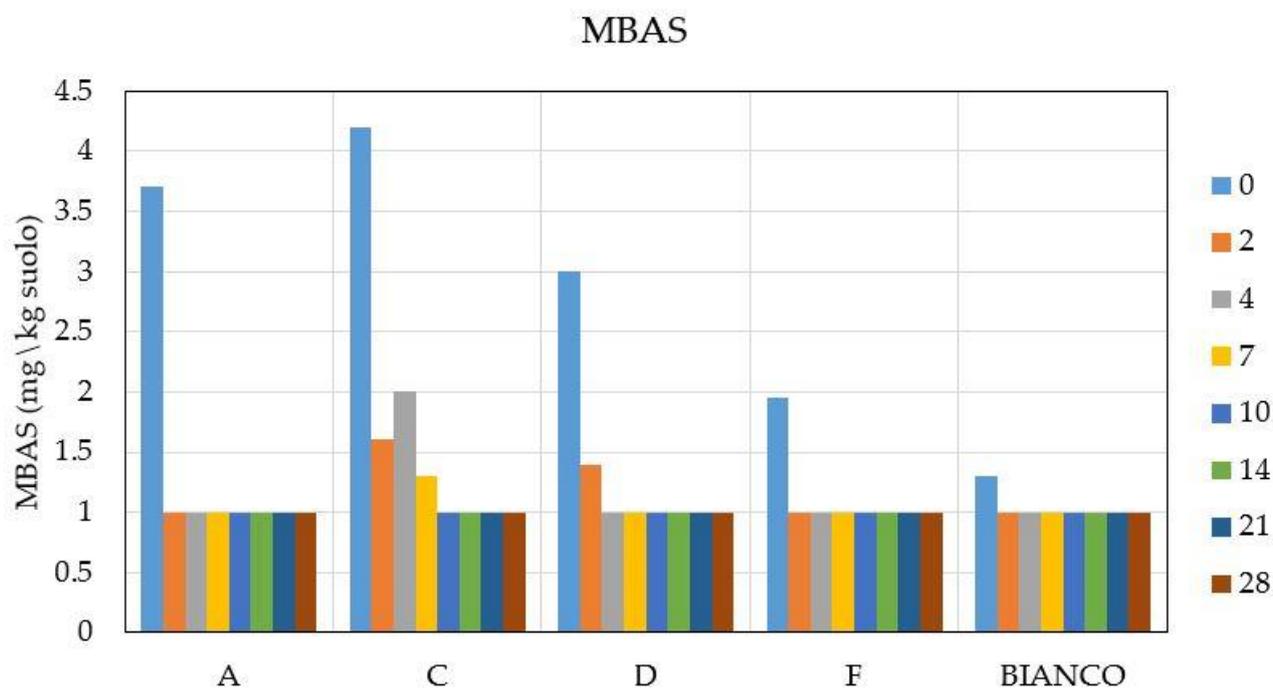


Figura 9b. Risultati sperimentali (MBAS) su matrice solida (valori espressi su base secca).

5.1.2 Risultati dei test eco-tossicologici

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*.

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

5.1.3 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). Nei grafici seguenti (Figure 10-12) sono riportati i risultati dei test registrati a 5, 15 e 30 minuti condotti su ciascun tempo di maturazione e per ogni additivo selezionato.

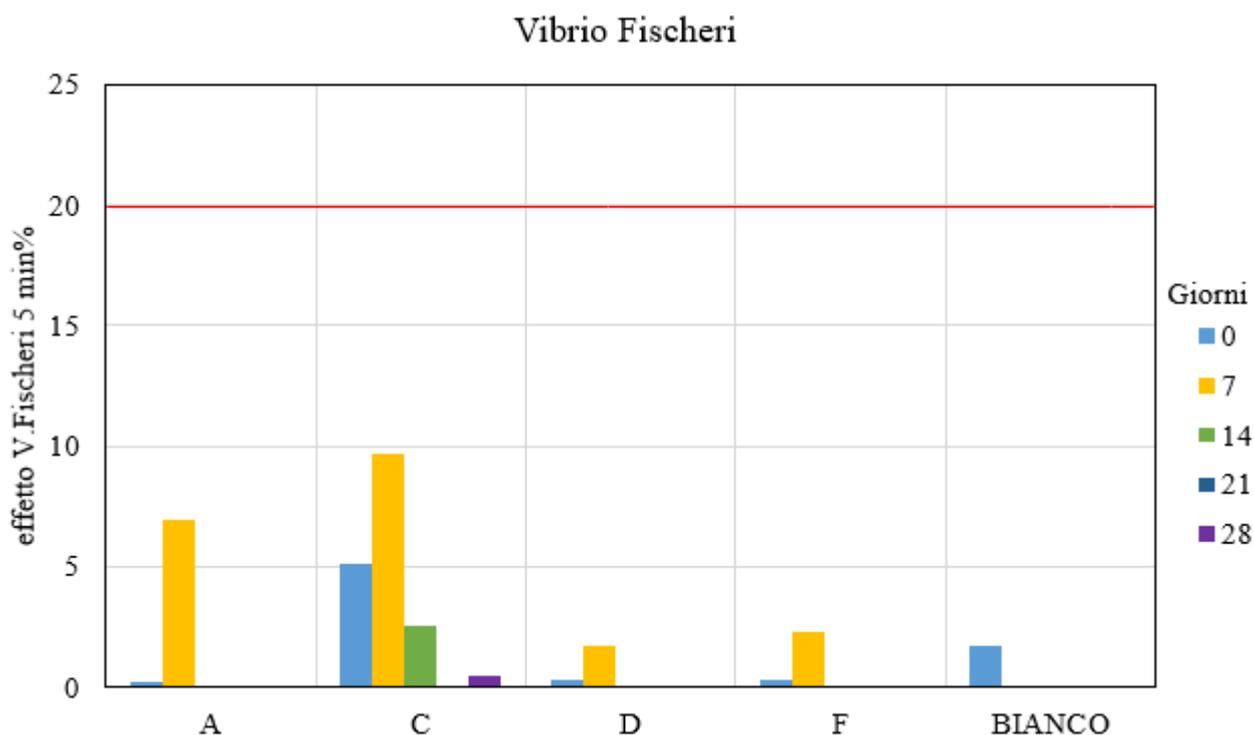


Figura 10. Risultati del test eco-tossicologico con *V.Fischeri* tempo 5 min (*n.d.r.* le colonne mancanti indicano che il valore misurato era pari a zero).

Vibrio Fischeri

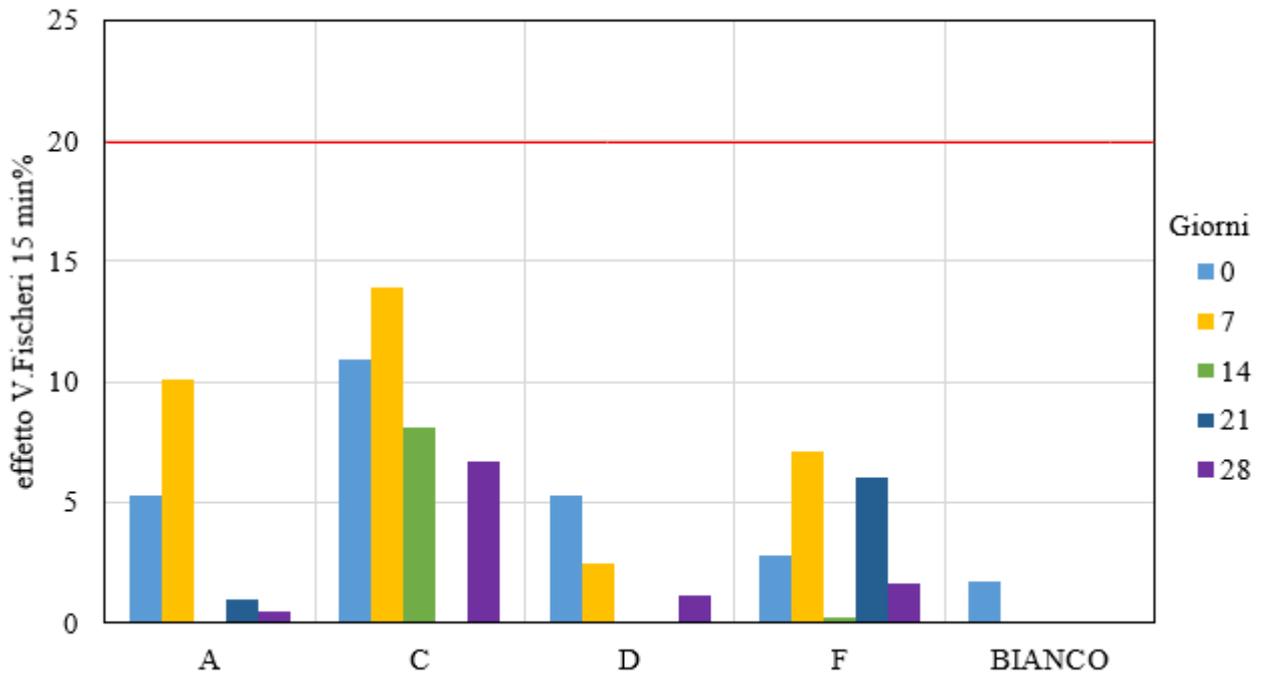


Figura 11. Risultati del test eco-tossicologico con V.Fischeri tempo 15 min (*n.d.r. le colonne mancanti indicano che il valore misurato era pari a zero*).

Vibrio Fischeri

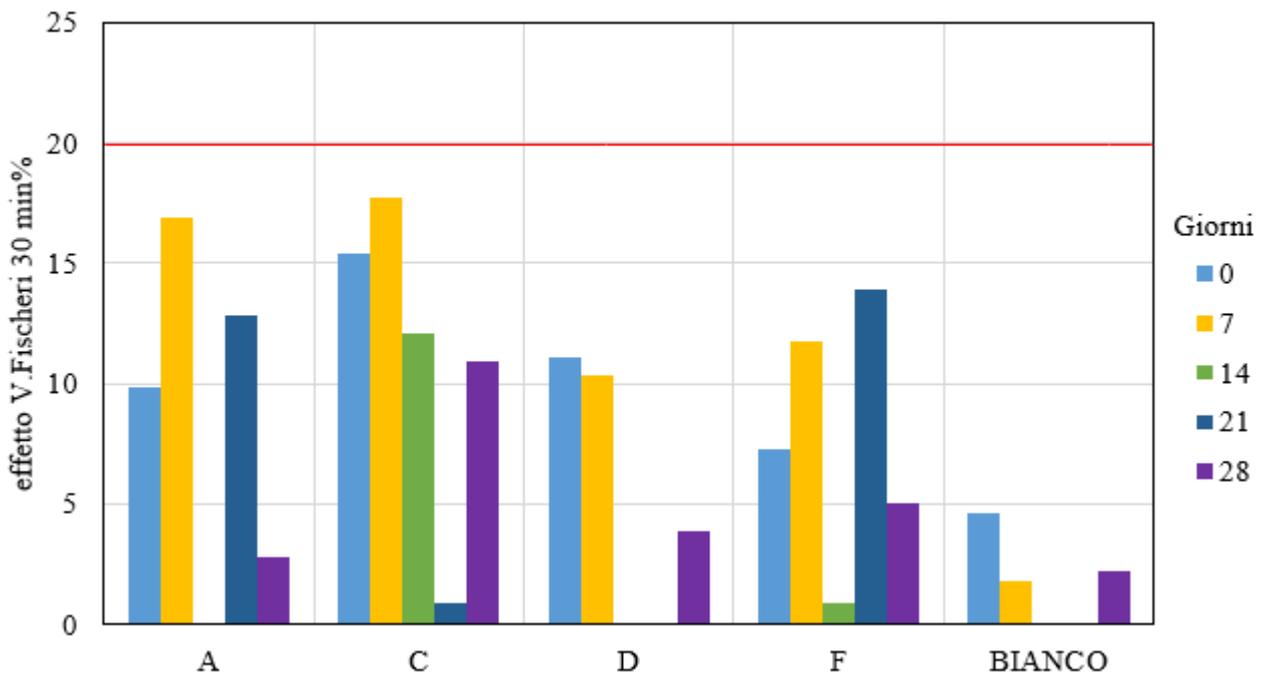


Figura 12. Risultati del test eco-tossicologico con V.Fischeri tempo 30 min (*n.d.r. le colonne mancanti indicano che il valore misurato era pari a zero*).

5.1.4 Risultati dei test con il Daphnia Magna

Si è valutata l'immobilizzazione con Daphnia Magna sui campioni di terreno condizionati con i 4 additivi posti a dimora per 28 giorni e già dal tempo 0 (t=0) non si evidenzia nessun effetto.

Vengono di seguito riportati i risultati dei test di immobilizzazione con Daphnia magna condotti sui campioni di terreno condizionati con i diversi 4 additivi precedentemente selezionati posti a dimora 28 giorni di cui si è valutata l'immobilizzazione a diversi tempi quali 0, 7, 14, 21 e 28 giorni.

5.2 Test a 7 giorni con Tr=Tr1.5

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;
3. **pH** sulla miscela acqua bidistillata + terreno in rapporto S/L 1:2.5 in massa;
4. **MBAS** su estratto acquoso preparato secondo UNI 10802:2004.

Dalle prove effettuate sui campioni condizionati con i 4 prodotti selezionati e sul bianco (terreno non condizionato) si sono ottenuti i seguenti risultati (i valori del bianco sono analoghi a quelli già riportati nel paragrafo 4.5).

Tabella 14. Risultati sperimentali (Umidità).

(giorni)	A	C	D	F
t=0	2.7	4.1	6.5	4.5
t=7	2.5	3.4	2.5	4.1

TOC

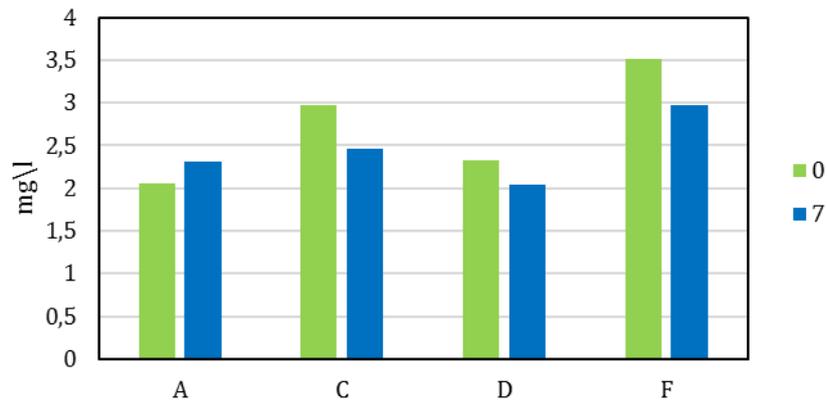


Figura 13. Risultati sperimentali (TOC).

Tabella 15. Risultati sperimentali (TOC).

(giorni)	A	C	D	F
t=0	2.05	2.96	2.32	3.52
t=7	2.30	2.46	2.04	2.96

pH

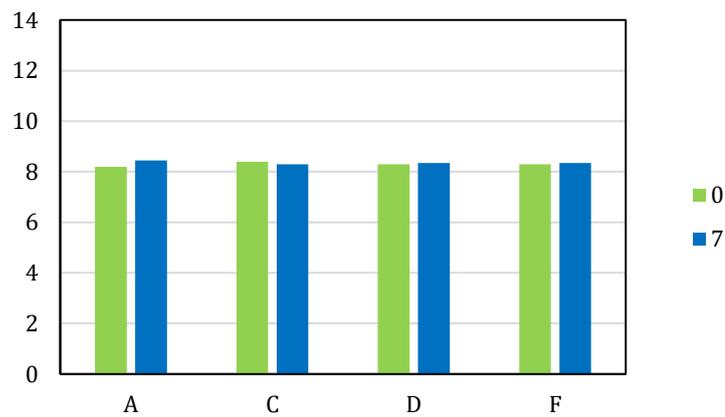


Figura 14. Risultati sperimentali (pH).

Tabella 16. Risultati sperimentali (pH).

(giorni)	A	C	D	F
t=0	8.2	8.4	8.3	8.3
t=7	8.4	8.3	8.3	8.3

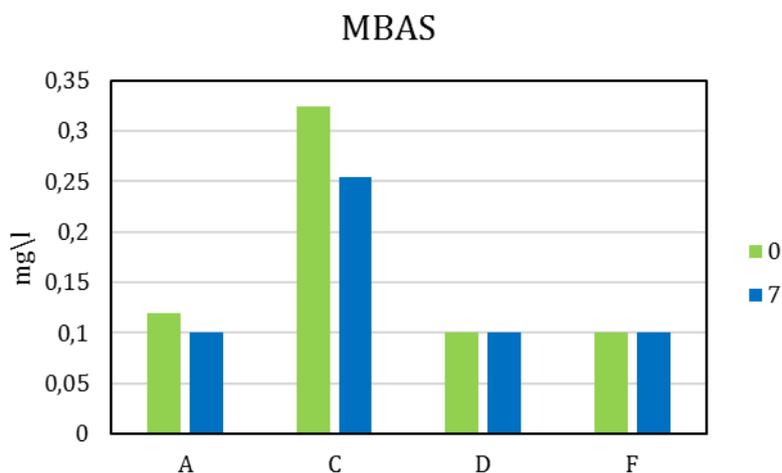


Figura 15a. Risultati sperimentali (MBAS) su eluato.

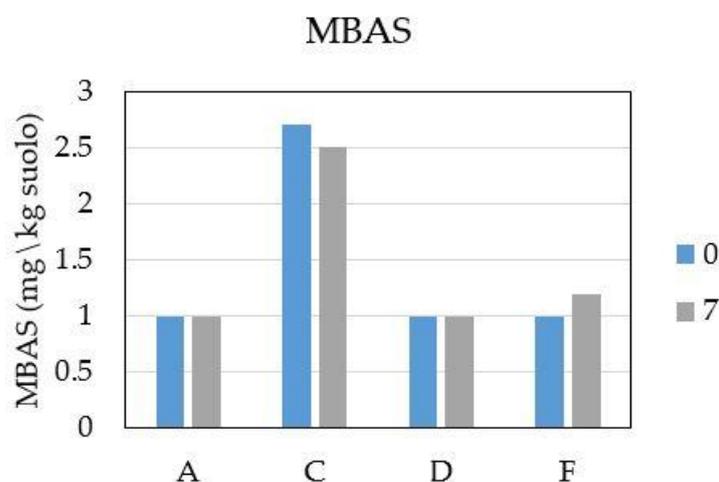


Figura 15b. Risultati sperimentali (MBAS) su matrice solida (valori espressi su base secca).

Tabella 17. Risultati sperimentali (MBAS) su eluato.

(giorni)	A	C	D	F
t=0	0.12	0.32	0.1	0.1
t=7	<0.1	0.25	<0.1	<0.1

5.2.1 Risultati dei test eco-tossicologici

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 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.

5.2.2 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). Nei grafici seguenti sono riportati i risultati dei test registrati a 5, 15 e 30 minuti condotti su ciascun tempo di maturazione e per ogni additivo selezionato (vedere Figure 15-17).

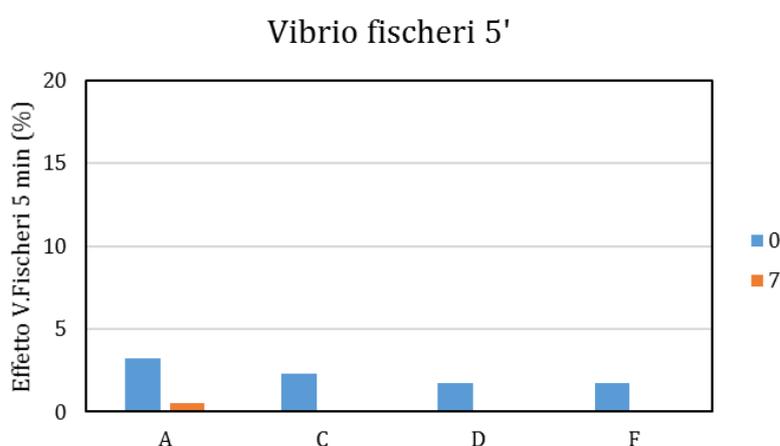


Figura 16. Risultati del test eco-tossicologico con *V.Fischeri* tempo 5 min (n.d.r. le colonne mancanti indicano che il valore misurato era pari a zero).

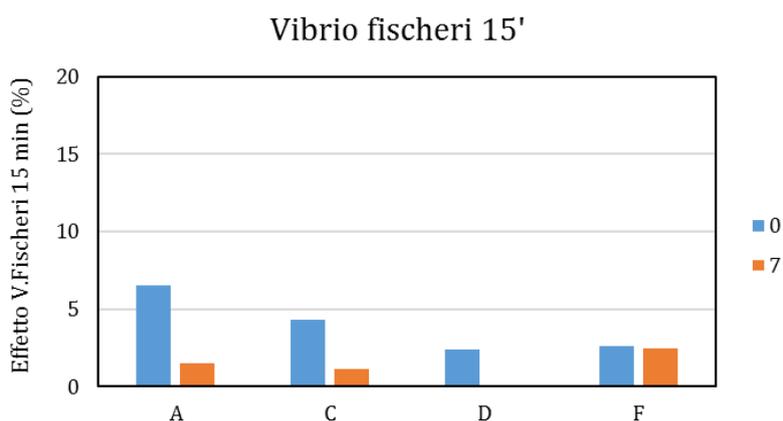


Figura 17. Risultati del test eco-tossicologico con *V.Fischeri* tempo 15 min (n.d.r. le colonne mancanti indicano che il valore misurato era pari a zero).

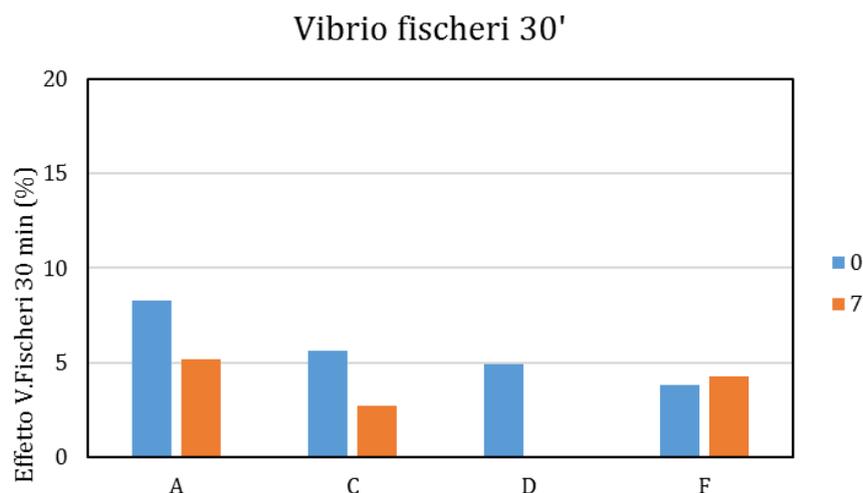


Figura 18. Risultati del test eco-tossicologico con V. Fischeri tempo 30 min (n.d.r. le colonne mancanti indicano che il valore misurato era pari a zero).

5.2.3 Risultati dei test con il Daphnia Magna

Si è valutata l'immobilizzazione con Daphnia Magna sui campioni di terreno condizionati con i 4 additivi posti a dimora per 7 giorni e già dal tempo 0 (t=0) non si evidenzia nessun effetto.

Vengono di seguito riportati i risultati dei test di immobilizzazione con Daphnia magna condotti sui campioni di terreno condizionati con i diversi 4 additivi precedentemente selezionati posti a dimora 7 giorni di cui si è valutata l'immobilizzazione a diversi tempi quali 0 e 7.

5.3 Test a 7 giorni con Tr=Tr2

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;
3. **pH** sulla miscela acqua bidistillata + terreno in rapporto S/L 1:2.5 in massa;
4. **MBAS** su estratto acquoso preparato secondo UNI 10802:2004.

Dalle prove effettuate sui campioni condizionati con i 4 prodotti selezionati e sul bianco (terreno non condizionato) si sono ottenuti i seguenti risultati (i valori del bianco sono analoghi a quelli già riportati nel paragrafo 4.5):

Tabella 18. Risultati sperimentali (Umidità).

(giorni)	A	C	D	F
t=0	8.1	5.7	7.0	7.3
t=7	5.2	4.6	4.9	5.7

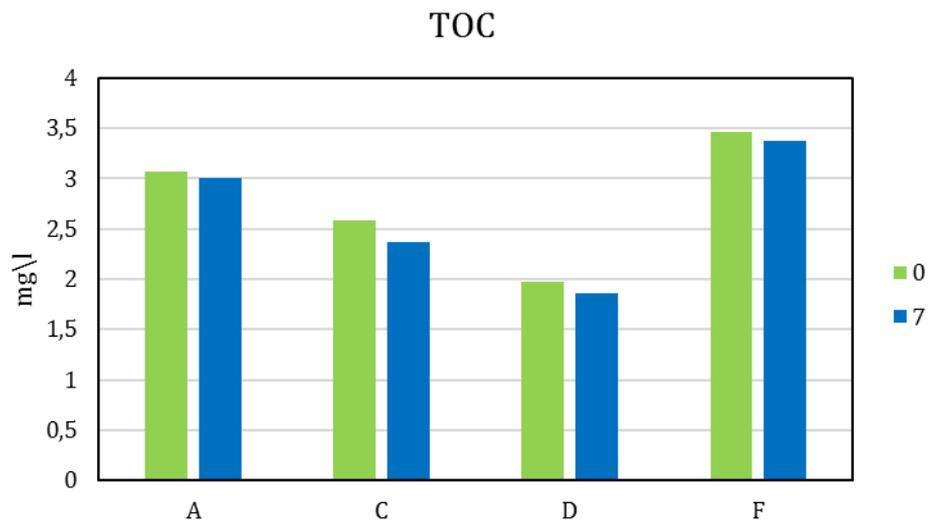


Figura 19. Risultati sperimentali (TOC).

Tabella 19. Risultati sperimentali (TOC).

(giorni)	A	C	D	F
t=0	3.07	2.58	1.97	3.46
t=7	3.00	2.36	1.85	3.37

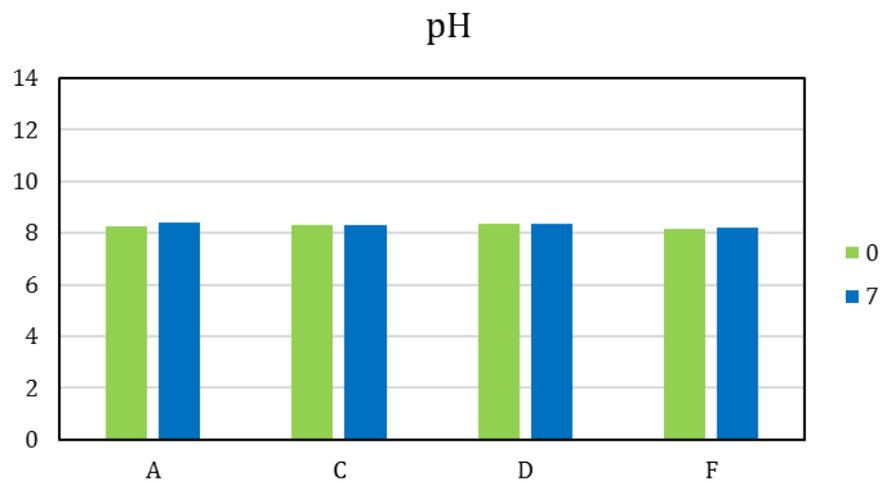


Figura 20. Risultati sperimentali (pH).

Tabella 20. Risultati sperimentali (pH).

(giorni)	A	C	D	F
t=0	8.2	8.3	8.3	8.1
t=7	8.4	8.3	8.3	8.2

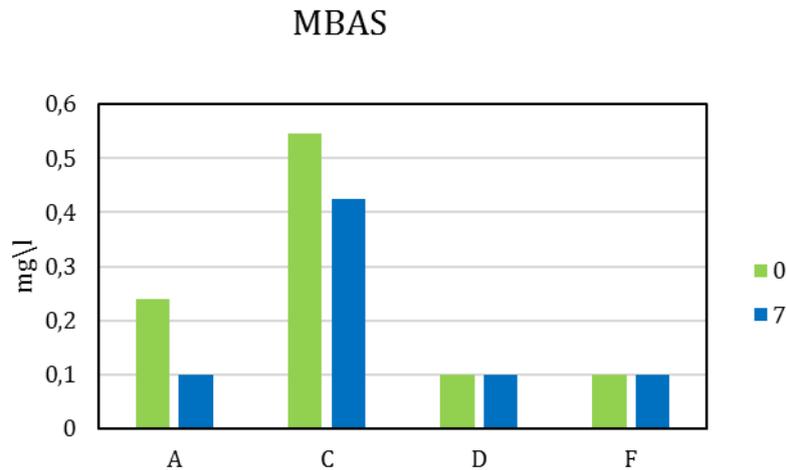


Figura 21a. Risultati sperimentali (MBAS) su eluato.

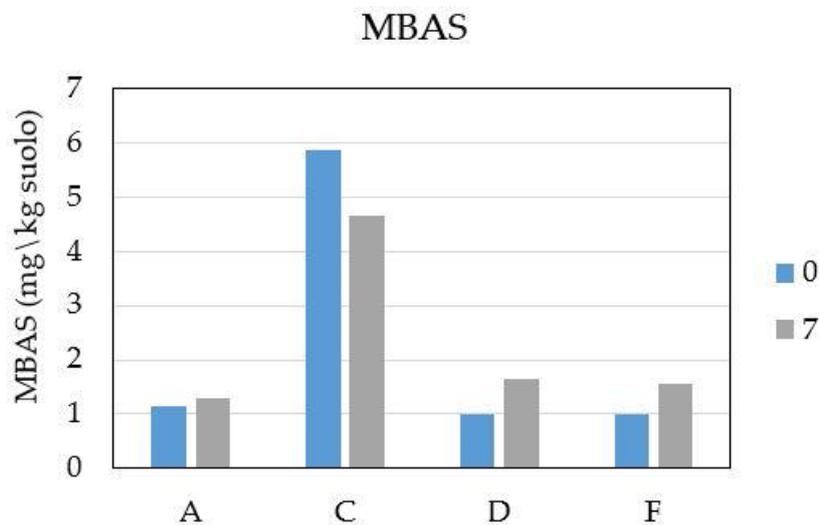


Figura 21b. Risultati sperimentali (MBAS) su matrice solida (valori espressi su base secca).

Tabella 21. Risultati sperimentali (MBAS).

(giorni)	A	C	D	F
t=0	0.24	0.54	0.1	0.1
t=7	<0.10	0.42	<0.10	<0.10

5.3.1 Risultati dei test eco-tossicologici

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 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.

5.3.2 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). Nei grafici seguenti sono riportati i risultati dei test registrati a 5, 15 e 30 minuti condotti su ciascun tempo di maturazione e per ogni additivo selezionato.

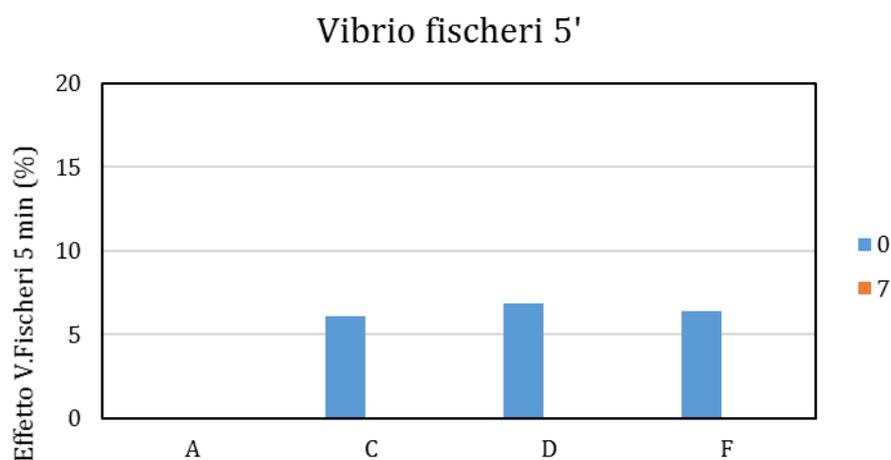


Figura 22. Risultati del test eco-tossicologico con V.Fischeri tempo 5 min (*n.d.r. le colonne mancanti indicano che il valore misurato era pari a zero*).

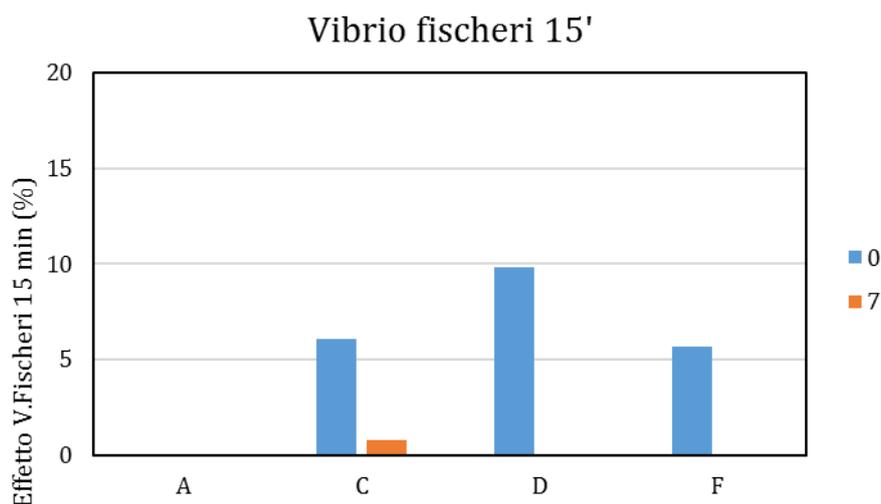


Figura 23. Risultati del test eco-tossicologico con V.Fischeri tempo 15 min (*n.d.r. le colonne mancanti indicano che il valore misurato era pari a zero*).

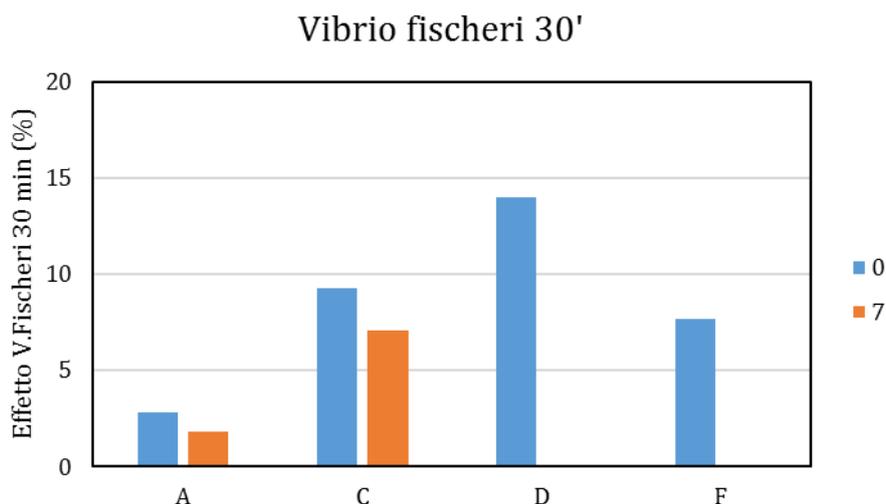


Figura 24. Risultati del test eco-tossicologico con V.Fischeri tempo 30 min (n.d.r. le colonne mancanti indicano che il valore misurato era pari a zero).

5.3.3 Risultati dei test con il Daphnia Magna

Si è valutata l'immobilizzazione con Daphnia Magna sui campioni di terreno condizionati con i 4 additivi posti a dimora per 7 giorni e già dal tempo 0 (t=0) non si evidenzia nessun effetto.

Vengono di seguito riportati i risultati dei test di immobilizzazione con Daphnia magna condotti sui campioni di terreno condizionati con i diversi 4 additivi precedentemente selezionati posti a dimora 7 giorni di cui si è valutata l'immobilizzazione a diversi tempi quali 0 e 7.

6 Conclusioni generali dello studio sperimentale

Le evidenze sperimentali ottenute dai test condotte sui terreni condizionati con i quattro prodotti consentono di formulare le seguenti considerazioni finali:

- i dati relativi al TOC sono risultati circa costanti nel tempo nell'intervallo 1.5-3 mg/l al variare del quantitativo iniziale di agenti condizionanti ma non è stato possibile utilizzarli per una valutazione della cinetica di degradazione del carbonio organico nel tempo in quanto del tutto comparabili con quelli del campione bianco;
- i dati di pH mostrano che i valori si attestano nell'intervallo 7-8.5;
- i dati di MBAS per le prove a 28 giorni mostrano che dopo 7 giorni il valore iniziale si riduce a 0.1 mg/l (limite di rilevabilità del metodo) per tutti i campioni, all'infuori di C per cui il valore è circa 0.13 mg/l. All'aumentare del quantitativo di agenti condizionanti impiegato si nota un aumento del valore di MBAS al tempo 0, che si riduce al tempo 7 al di sotto del limite di rilevabilità, all'infuori del campione C per cui si è misurato un valore pari a 0.25 mg/l nel caso $Tr=1.5$ volte Tr iniziale e un valore pari a 0.42 mg/l nel caso $Tr=2$ volte Tr iniziale. Considerazioni analoghe possono essere fatte per i risultati relativi alla matrice solida, in accordo con quanto riportato per l'eluato. I valori così bassi sono da imputarsi alle stesse caratteristiche inerti del materiale da scavo e ai valori limitati di Tr ;

- non si è osservato alcun effetto di eco-tossicità (come limite oltre il quale si può affermare che vi possa essere un effetto tossico si considera $\geq 20\%$) per qualsiasi prodotto nel caso dell'organismo D. Magna già dal giorno 0, indipendentemente dal valore di Tr adottato;
- non si è osservato alcun effetto di eco-tossicità (come limite oltre il quale si può affermare che vi possa essere un effetto tossico si considera $\geq 20\%$ relativamente ai dati di inibizione di bioluminescenza a 30') per qualsiasi prodotto nel caso dell'organismo V. Fischeri già dal giorno 0, indipendentemente dal valore di Tr adottato.

In conclusione:

- il terreno condizionato con **FOAMEX SNG-MD (prodotto A)** non produce effetti ecotossicologici evidenti e significativi su tutti gli organismi testati già a partire dal tempo 0 di condizionamento (t=0 giorni) adottando un valore di Tr nell'intervallo 0.36-0.72 l/m³;
- il terreno condizionato con **Polyfoamer ECO/100 Plus (prodotto C)** non produce effetti ecotossicologici evidenti e significativi su tutti gli organismi testati già a partire dal tempo 0 di condizionamento (t=0 giorni) adottando un valore di Tr nell'intervallo 0.36-0.72 l/m³;
- il terreno condizionato con **MasterRoc SLF 32 (prodotto D)** non produce effetti ecotossicologici evidenti e significativi su tutti gli organismi testati già a partire dal tempo 0 di condizionamento (t=0 giorni) adottando un valore di Tr nell'intervallo 0.3-0.6 l/m³;
- il terreno condizionato con **SIKA Foam TBM 510 LS (prodotto F)** non produce effetti ecotossicologici evidenti e significativi su tutti gli organismi testati già a partire dal tempo 0 di condizionamento (t=0 giorni) adottando un valore di Tr nell'intervallo 0.32-0.64 l/m³.

Si può concludere che il terreno condizionato nelle modalità riportate nel presente studio sperimentale non comporta un rischio né per l'ambiente né per gli organismi acquatici considerati dal momento che non è stata evidenziata alcuna criticità legata all'utilizzo dei 4 prodotti schiumogeni impiegati nel condizionamento già dopo 0 giorni dal processo di condizionamento.

Come controllo in sito è infine consigliabile eseguire il test eco-tossicologico con il D. Magna o V. Fischeri prendendo come valore di riferimento un valore massimo pari a $< 20\%$, o, in alternativa al test Eco-tossicologico quello dell'MBAS, prendendo come valore di riferimento un valore massimo pari a ≤ 0.54 mg/l sull'elutriato acquoso, eseguendo il campionamento già al giorno 0 in entrambi i casi.

Si sottolinea che, in corso d'opera, per un'agevole gestione generale delle attività di controllo in cantiere e delle operazioni di trasporto del materiale di risulta potrebbe essere considerato preferibile applicare la metodica dell'MBAS per via della maggior rapidità di esecuzione di quest'ultima rispetto alla metodica del D. Magna o del V. Fischeri.

7 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] A. Barra Caracciolo, M. Cardoni, T. Pescatore, L. Patrolecco, Characteristics and environmental fate of the anionic surfactant sodium lauryl ether sulphate (SLES) used as the main component in foaming agents for mechanized tunnelling, *Environ. Pollut.* 226 (2017) 94–103. doi:10.1016/j.envpol.2017.04.008.
- [9] G. Vilardi, D. Sebastiani, S. Miliziano, N. Verdone, L. Di Palma, Heterogeneous nZVI-induced Fenton oxidation process to enhance biodegradability of excavation by-products, *Chem. Eng. J.* 335 (2018) 309–320. doi:10.1016/j.cej.2017.10.152.