



Consiglio Nazionale delle Ricerche



L'IRSA e le nuove sfide ambientali: un caso di studio

Giuseppe Mininni (IRSA)

GdL CNR:

Anna Barra Caracciolo (IRSA), Girolamo Belardi (IGAG), Anita Di Giulio (IGAG),
Enrica Donati (IMC), Emanuela Galli (IBAF), Paola Grenni (IRSA),
Piernicola Lollino (IRPI), Marina Mingazzini (IRSA), Valerio Muzzini (IBAF),
Maria Teresa Palumbo (IRSA), Luisa Patrolecco (IRSA), Chiara Polcaro (IMC),
Paolo Tommasi (IGAG)



Unità di ricerca

- Istituti del Cnr
 - IBAF (Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale).
 - IGAG (Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria);
 - IMC (Istituto di Metodologie Chimiche);
 - IRPI (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica);
 - IRSA (Istituto di Ricerca Sulle Acque).
- Subcontratti di IRSA a Istituto Superiore di Sanità e Università di Milano Bicocca

Alcuni dati sui contratti affidati al DTA da Nodavia/Condotte con supervisione di Italferr

DTA



Nodavia



Italferr

- **Contratto base (Contratto Nodavia/CNR 5277-14 in data 23/9/2014)** Aspetti di natura chimico-ambientale: 396.000 €
 - Aspetti di natura geotecnica: 278.300 €
- **Addendum (Integrazione 1 in data 27/5/2015)**
 - Biotest su miscele di terreni e prodotti schiumogeni, polimeri e lubrificanti: 246.840 €

Importo totale: 921.140 €

Aspetti generali ai fini dell'utilizzo di terre e rocce da scavo

- Le terre e rocce da scavo possono essere qualificate come sottoprodotti dell'attività finalizzata alla realizzazione di un'opera civile, o come rifiuti.
- Ove le terre e rocce fossero qualificate come rifiuti esse potrebbero comunque essere recuperate a fini ambientali ma rispettando la disciplina sui rifiuti.

Disciplina su terre e rocce da scavo

⇒ Applicazione della qualifica di sottoprodotto (art. 184 bis)

- a) *la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;*
- b) *è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;*
- c) *la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;*
- d) *l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.*

⇒ Applicazione della disciplina del D.M. 161/2012 per le grandi opere soggette a VIA o ad AIA (art. 184 bis comma 2bis)

Normale pratica industriale (Allegato 3 D.M. 161/2012)

- Selezione granulometrica e riduzione volumetrica mediante macinazione;
- Stabilizzazione a calce, a cemento o altra forma idoneamente sperimentata per conferire ai materiali da scavo le caratteristiche geotecniche necessarie per il loro utilizzo, anche in termini di umidità, concordando preventivamente le modalità di utilizzo con l'ARPA o APPA competente in fase di redazione del Piano di Utilizzo;
- Stesa al suolo per consentire l'asciugatura e la maturazione del materiale da scavo al fine di conferire allo stesso migliori caratteristiche di movimentazione, l'umidità ottimale e favorire l'eventuale biodegradazione naturale degli additivi utilizzati per consentire le operazioni di scavo;
- Riduzione della presenza nel materiale da scavo degli elementi/materiali antropici (ivi inclusi, a titolo esemplificativo, frammenti di vetroresina, cementiti, bentoniti), eseguita sia a mano che con mezzi meccanici, qualora questi siano riferibili alle necessarie operazioni per esecuzione dell'escavo.

Procedure di caratterizzazione chimico-fisiche e accertamento (Allegato 4 D.M. 161/2012)

- I parametri da considerare ai fini della verifica dei requisiti di conformità ambientale sono: **Arsenico, Cadmio, Cobalto, Nichel, Piombo, Rame, Zinco, Mercurio, Idrocarburi C>12, Cromo totale, Cromo VI, Amianto, BTEX, IPA.**
- La valutazione relativa agli ultimi due parametri (**BTEX e IPA**) è richiesta solo quando i materiali di scavo derivino da aree poste a una distanza inferiore a 20 m rispetto alle infrastrutture viarie di grande comunicazione o quando vi sia il sospetto di ricadute atmosferiche dovute ad attività antropiche.
- I limiti da considerare sono quelli di Tab. 1 della disciplina sulle bonifiche, colonna A o B in funzione della destinazione d'uso dell'area dove sono destinate i materiali di scavo.
- La caratterizzazione va fatta con riguardo alle metodologie applicate sui terreni, scartando in situ i materiali di granulometria > 2 cm, vagliando la parte rimanente a 2 mm e sottoponendo ad analisi il sottovaglio.
Le concentrazioni determinate sul tal quale dovranno poi essere riferite al totale del campione comprendente anche la frazione del sopra vaglio compresa tra 2 e 20 mm.

Esempio di fresa «tunnel boring machine»(TBM)



Inquadramento attività

Attività Contratto base

1. Selezione di due tipologie di terreno che rappresentino condizioni estreme di utilizzo della fresa TBM il cui comportamento può perciò essere utilizzato per rappresentare anche altre tipologie incontrate nel corso dello scavo;
2. Verifica geotecnica delle due tipologie di terreno di cui al punto 1. dopo condizionamento ai fini della loro idoneità per la realizzazione della collina di S. Barbara (Cavriglia);
3. Prove di laboratorio (slump test) per identificare la idoneità di diversi condizionanti proposti dal contraente generale in funzione dei parametri proposti dalle ditte fornitrici;
4. Valutazione della eco-tossicità di 4 prodotti commerciali e selezione dei due meno impattanti sulla base di 4 test eco-tossicologici e su una analisi di rischio in assenza di biodegradazione;
5. Valutazione della biodegradazione in microcosmi di laboratorio (circa 2 L) dei due prodotti schiumogeni selezionati in miscela con le due tipologie di terreno;
6. Valutazione delle CSC/valori soglia di riferimento delle sostanze contenute nei prodotti condizionanti e verifica della conformità ai fini della qualificazione come sottoprodotti dei terreni contenuti nei fusti in funzione del tempo di maturazione;
7. Allestimento di fusti di maturazione di 2 tipologie di terreni condizionati con i due prodotti schiumogeni selezionati;
8. Protocollo per il monitoraggio in corso d'opera delle sostanze potenzialmente impattanti in fase di scavo.

Attività addendum

1. Preparazione dei cosiddetti «mischioni» per l'allestimento delle prove di maturazione in microcosmo, comprendenti terreno, schiumogeno, polimero accoppiato e lubrificanti di stillicidio della fresa [i parametri di condizionamento sono stati modificati rispetto a quelli che inizialmente erano stati adottati per la valutazione della conformità dei prodotti (Slump test) e per lo studio di biodegradazione];
2. Modifica del protocollo base per la maturazione dei terreni condizionati in fusti (allo schiumogeno è stato aggiunto anche il polimero ad esso accoppiato rafforzante la schiuma);
3. Verifica della concentrazione di SLES dei terreni e dell'acqua di drenaggio in funzione del tempo di maturazione nei fusti **e suo confronto con la CSC/valore soglia di riferimento;**
4. Produzione degli elutriati da campioni di terreno prelevati dai microcosmi (test di cessione ex DM 5/2/1998 e s.m.i.) e test di ecotossicità: test di germinazione, ecotossicità algale, bioluminescenza con batterio *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna*, test FET con embrioni di pesci *Danio rerio*;
5. Valutazione complessiva dei risultati dei test di ecotossicità mediante un indice di batteria;
6. Verifica della conformità ai criteri per la qualificazione delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti.

Apparecchio produzione schiuma

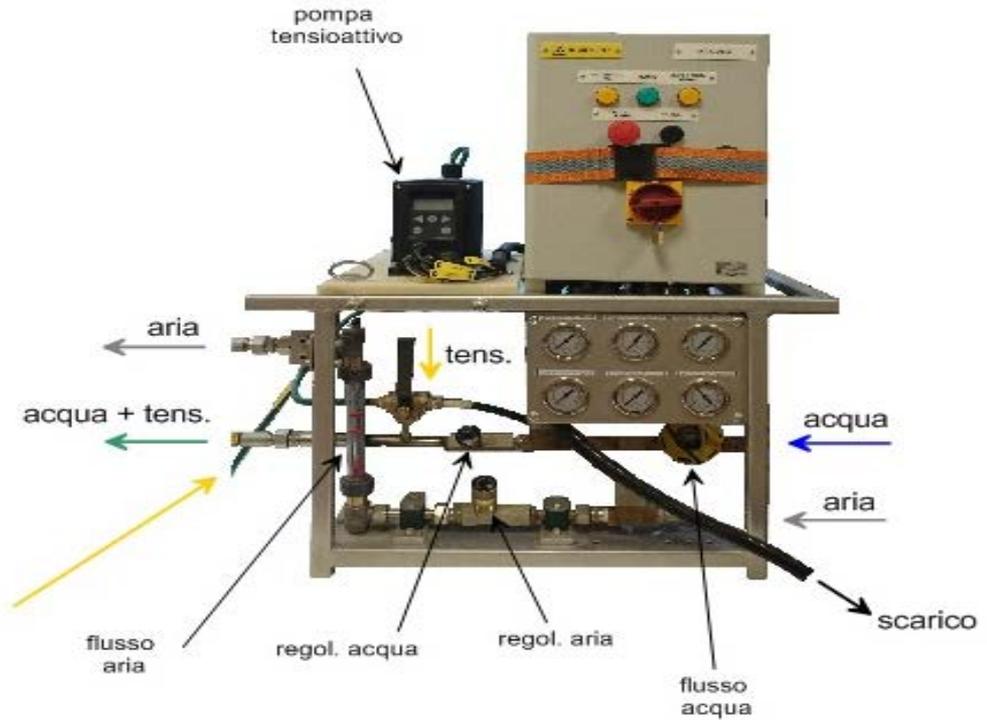


a)



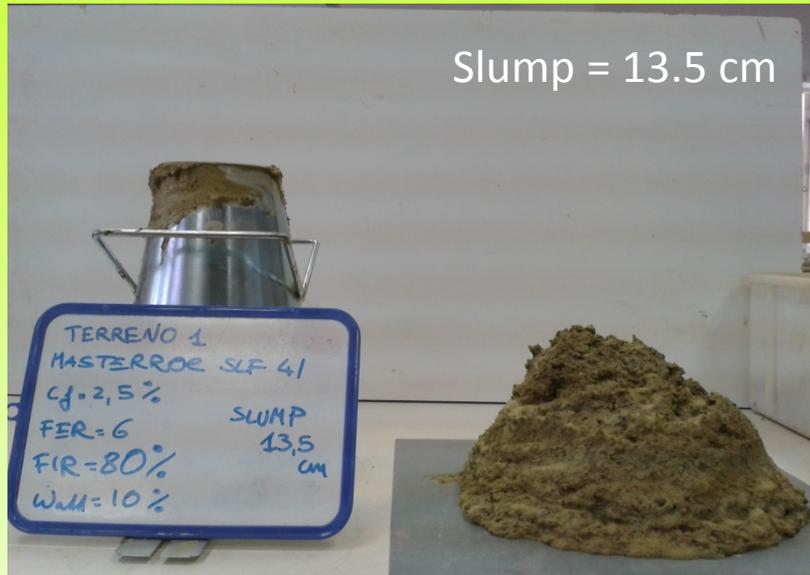
b)

tensioattivo

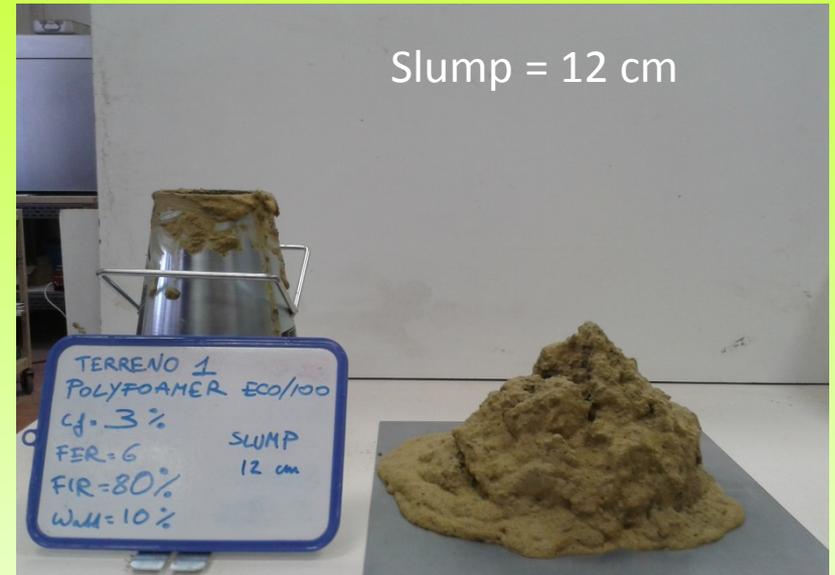


Test di slump su terreno 1

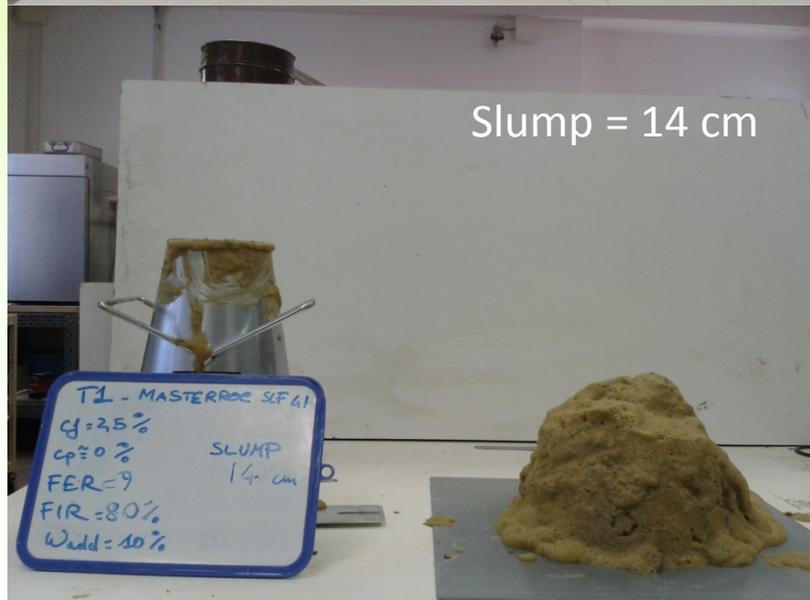
Slump = 13.5 cm



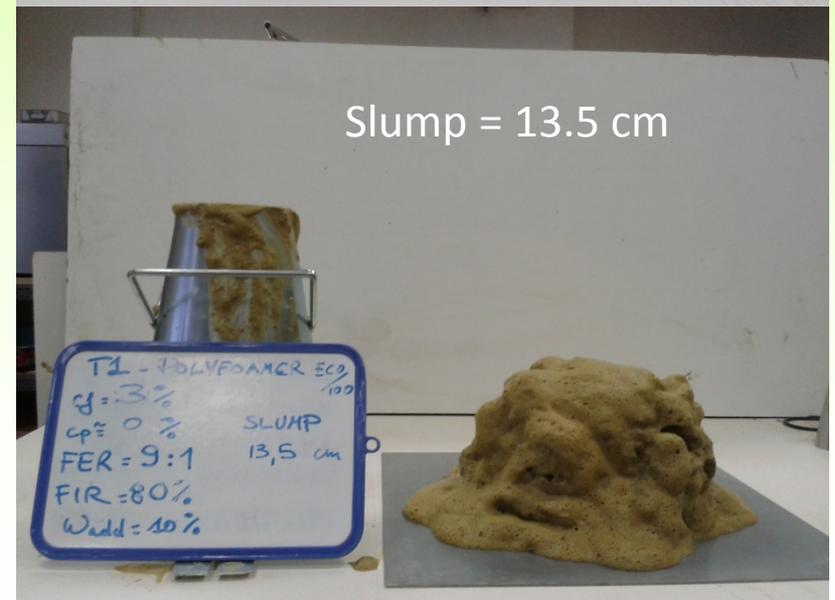
Slump = 12 cm



Slump = 14 cm

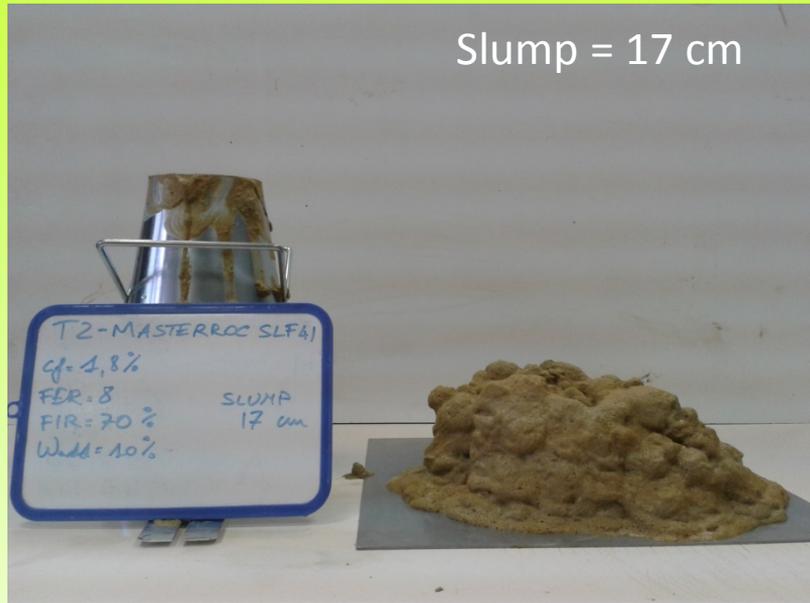


Slump = 13.5 cm



Test di slump su terreno 2

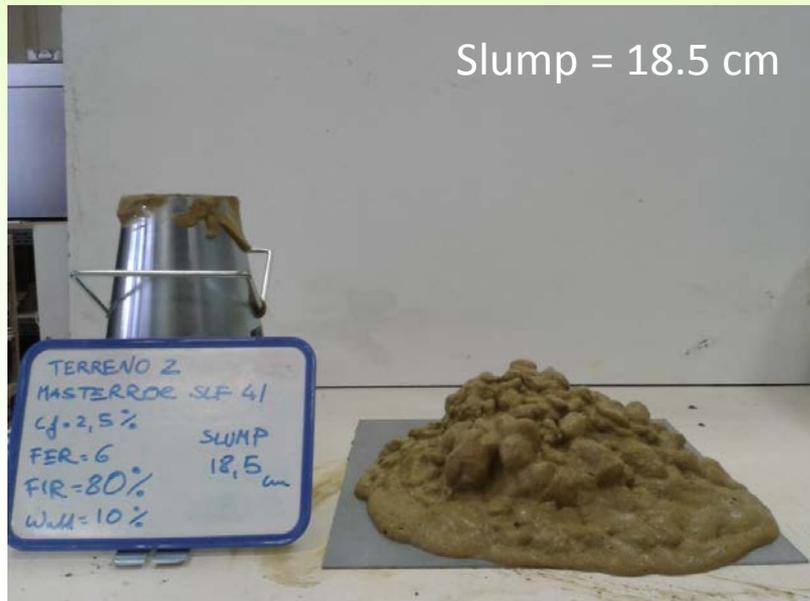
Slump = 17 cm



Slump = 15 cm



Slump = 18.5 cm



Slump = 18 cm



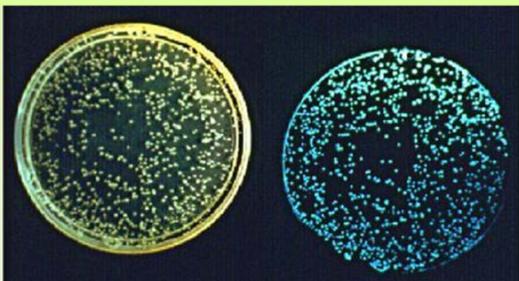
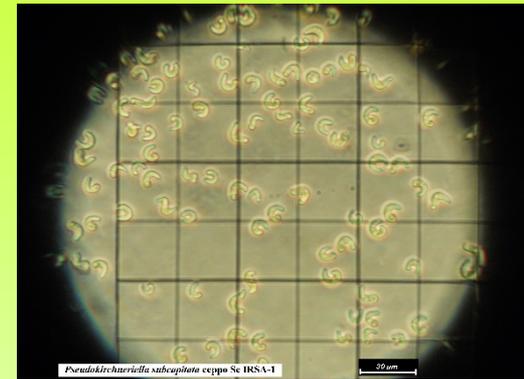
Esempi di formazione di schiuma ottenuta con apparecchiatura di laboratorio e di terreno condizionato



Valutazione ecotossicità di 4 prodotti commerciali



1. Saggio inibizione crescita algale
(*P. subcapitata* a 72 h)



Vibrio fischeri

2. Saggio tossicità acuta con *Vibrio fischeri* (5 e 15 min)



Lepidum sativum

3. Saggio di fitotossicità: Test di germinazione (72 h)

4. Saggio di fitotossicità: Test di accrescimento (21 giorni)

Microcosmi



I beaker erano chiusi da un coperchio in vetro non sigillante, in modo da consentire gli scambi di ossigeno con l'esterno ma limitando, al tempo stesso, un'eccessiva evaporazione di acqua.

Alcuni campioni di terreno 1 e 2 sono stati sterilizzati in autoclave per poi essere condizionati nelle stesse modalità dei terreni "microbiologicamente attivi", al fine di valutare eventuali differenze nei processi degradativi.

Il contenuto di acqua del terreno è stato misurato all'inizio del condizionamento, monitorato giornalmente per tutta la durata dell'esperimento ed eventualmente reintegrato. I microcosmi sono stati mantenuti in laboratorio alla luce naturale ed alla temperatura di 20°C durante tutto il periodo di incubazione.

Allestimento microcosmi per biotest

- I terreni di tipologia 1 e 2 sono stati condizionati con due agenti schiumogeni, con l'aggiunta di polimero rafforzante la schiuma (specifico per ciascun agente schiumogeno) e di due grassi di stillicidio usati per la lubrificazione della fresa secondo i parametri di condizionamento (suggeriti dalle ditte produttrici e verificati nuovamente in laboratorio da IGAG-CNR con prove di Slump).
- Il miscelamento è avvenuto nei laboratori di geologia applicata e geotecnica della Facoltà di Ingegneria "Università La Sapienza" ove è operativa un'unità di ricerca di IGAG-CNR.
- Il terreno 2 è stato essiccato a temperatura ambiente e sottoposto a vagliatura prima del condizionamento, utilizzando solo la frazione passante al setaccio di 2 mm, secondo le procedure standardizzate di questi test (APAT, 2004).

Preparazione dei «mischioni»

(in parentesi i TR adottati nelle prove iniziali geotecniche e di biodegradazione)

Prodotto	FIR (% in volume)	FER (fraz. vol.)	Cf (% in volume)	TR (L/m ³)	Conc. attesa terreno (mg/kg)	Densità terreno (kg/L)	Densità prodotto (kg/L)
Terreno 1							
Agente schiumogeno 1	90	8	2	2,25 (1,0)	1.170	2,0	1,04
Polimero per agente schiumogeno 1	90	8	0	0	0	2,0	1,0
Agente schiumogeno 2	80	6	1,6	2,13 (0,48)	1.108	2,0	1,04
Polimero per agente schiumogeno 2	80	6	0,1	0,13	63,2	2,0	0,95
Grasso stillicidio 1					120	2,0	
Grasso stillicidio 2					60	2,0	
Terreno 2							
Agente schiumogeno 1	70	12	3	1,75 (0,6)	827	2,2	1,04
Polimero per agente schiumogeno 1	70	12	1	0,58	527	2,2	1,00
Agente schiumogeno 2	70	8	1,8	1,58 (0,4)	747	2,2	1,04
Polimero per agente schiumogeno 2	70	8	0,1	0,088	38	2,2	0,95
Grasso stillicidio 1					120	2,0	
Grasso stillicidio 2					60	2,0	

Confronto concentrazioni di Sodium Lauril Eter Solfato (SLES) contenuto nell'agente schiumogeno 1 in tre set di test in funzione del tempo di maturazione

Prove di biodegradazione

Tempo (d)	Terreno 1		Terreno 2	
	Tensioattivo	dev.st.	Tensioattivo	dev.st.
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
0	85,2	13,2	83,0	2,8
4	78,6	7,6	77,6	3,5
7	52,4	5,5	71,2	5,1
12	19,0	8,0	44,0	4,0
20	2,1	0,3	6,4	0,9
28	0,0		0,0	

Maturazione in fusti

Tempo (d)	Terreno 1		Terreno 2	
	Tensioattivo	dev.st.	Tensioattivo	dev.st.
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
0	162,6	13,2	124,9	12,3
3	64,6	8,7	110,4	11,2
7	54,5	9,3	94,1	10,3
12	35,4	6,5	61,5	8,7
20	34,8	3,2,	44,8	4,3
28	8,4	3,8	14,4	1,6

Maturazione mischioni in microcosmo

Tempo (d)	Terreno 1		Terreno 2	
	SLES C ₁₂ -C ₁₄	dev.st.	SLES C ₁₂ -C ₁₄	dev.st.
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
0	191,3	15,2	97,6	4,5
7	128,1	9,8	59,3	9,2
14	93,6	5,4	29,3	3,5
28	82,3	4,2	22,3	2,6

Confronto concentrazioni di SLES contenuto nell'agente schiumogeno 2 in tre set di test in funzione del tempo di maturazione

Test di biodegradazione

Tempo (d)	Terreno 1		Terreno 2	
	SLES C ₁₂ -C ₁₄	dev.st.	SLES C ₁₂ -C ₁₄	dev.st.
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
0	98,3	11,0	82,8	5,2
4	83,5	9,3	78,4	2,1
7	55,8	2,6	74,4	1,3
12	16,8	1,7	40,9	0,8
20	3,9	0,8	3,4	0,5
28	0,9	0,1	0,9	0,2

Maturazione in fusti

Tempo (d)	Terreno 1		Terreno 2	
	SLES C ₁₂ -C ₁₄	dev.st.	SLES C ₁₂ -C ₁₄	dev.st.
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
0	151,4	17,3	140,4	13,6
3	98,1	11,4	129,7	11,4
7	92,7	9,6	87,0	9,8
12	71,6	9,9	52,7	6,3
20	61,0	4,2	45,8	3,2
28	41,2	3,1	45,1	4,5

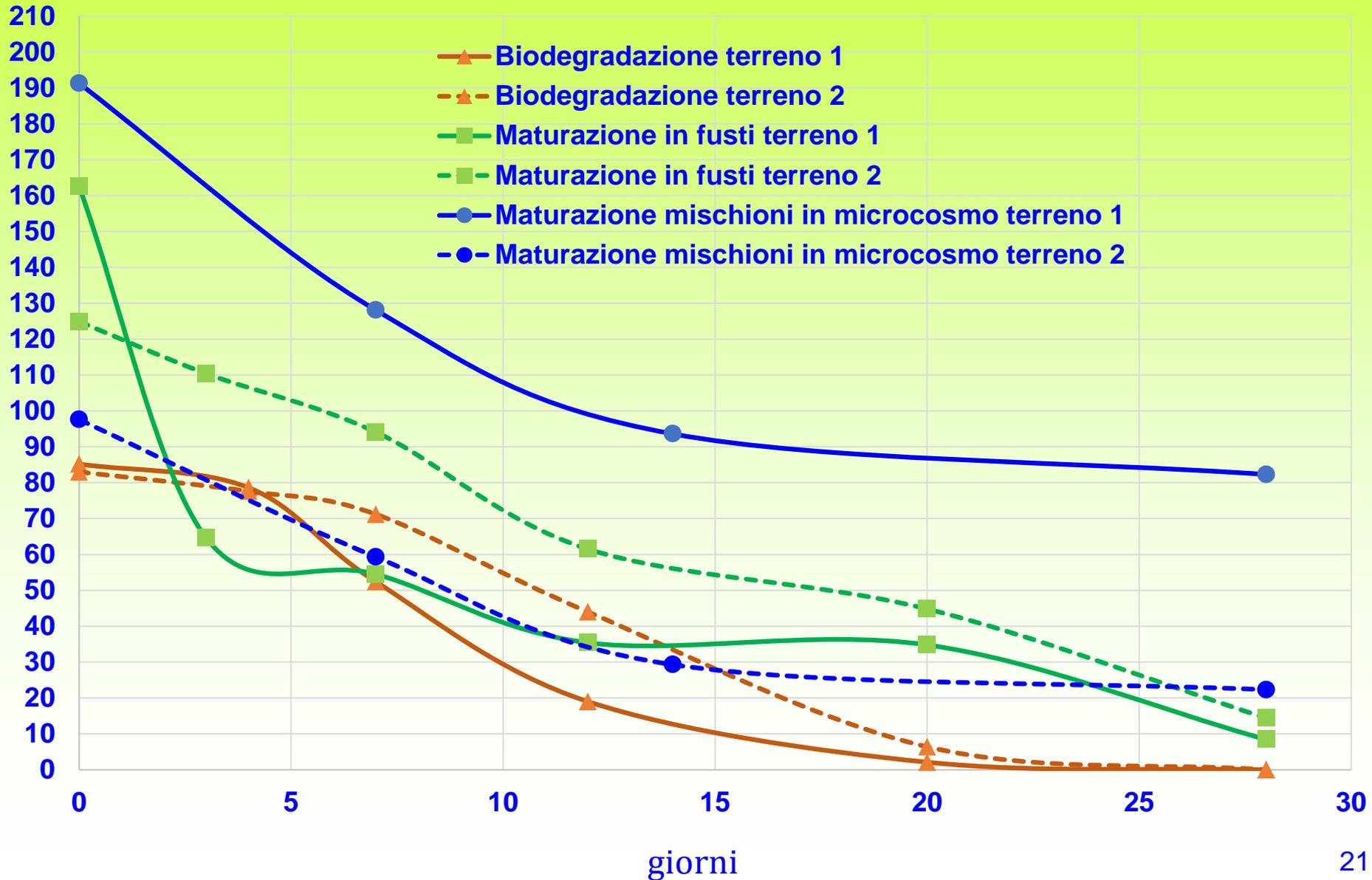
Maturazione mischioni in microcosmo

Tempo (d)	Terreno 1		Terreno 2	
	SLES C ₁₂ -C ₁₄	dev.st.	SLES C ₁₂ -C ₁₄	dev.st.
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
0	350,2	13,2	173,2	6,7
7	249,8	15,6	121,7	5,3
14	237,4	11,2	70,1	4,2
28	203,7	8,9	67,8	3,8

Andamenti concentrazioni SLES

mg/kg secco

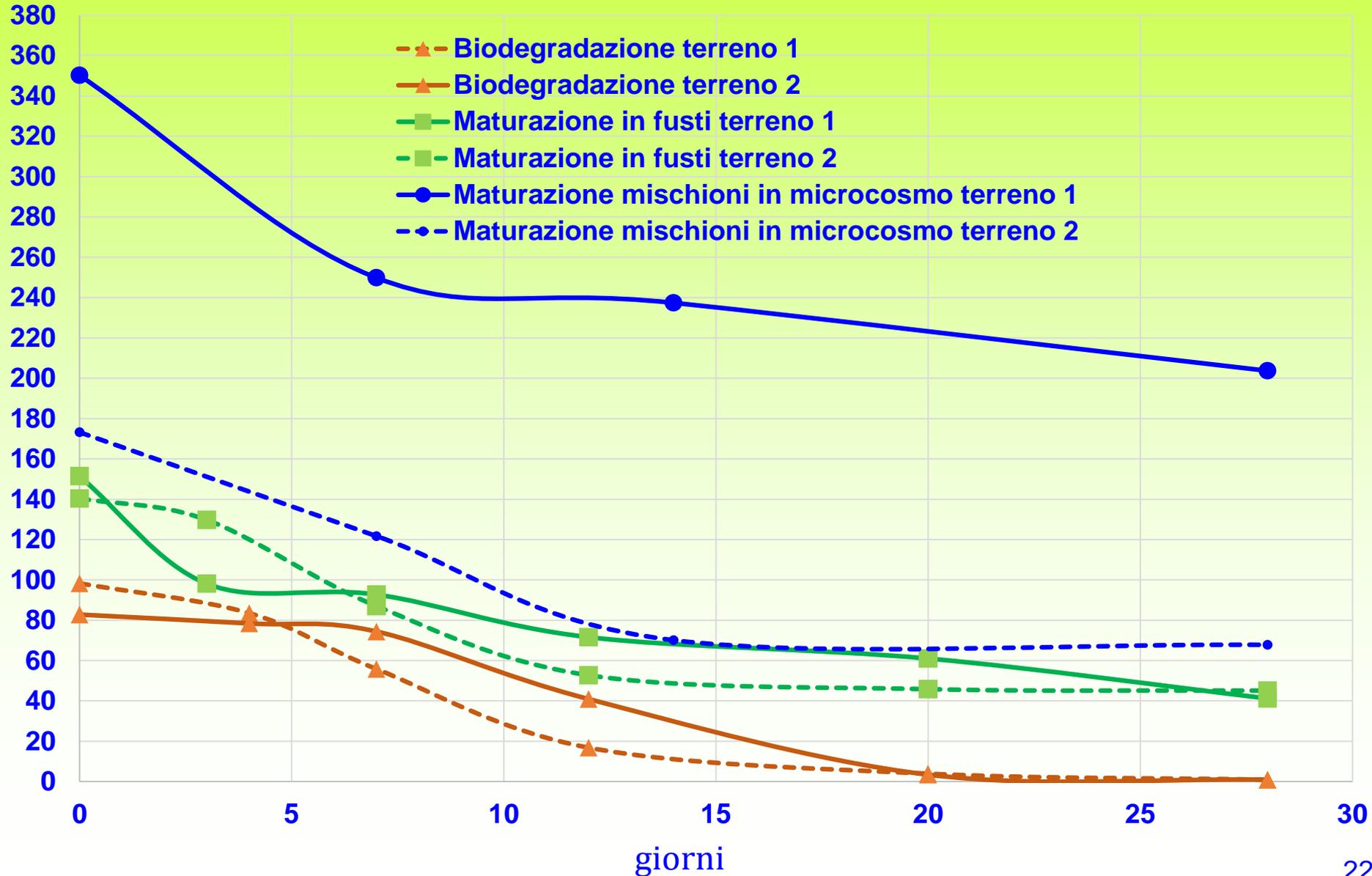
Agente schiumogeno 1



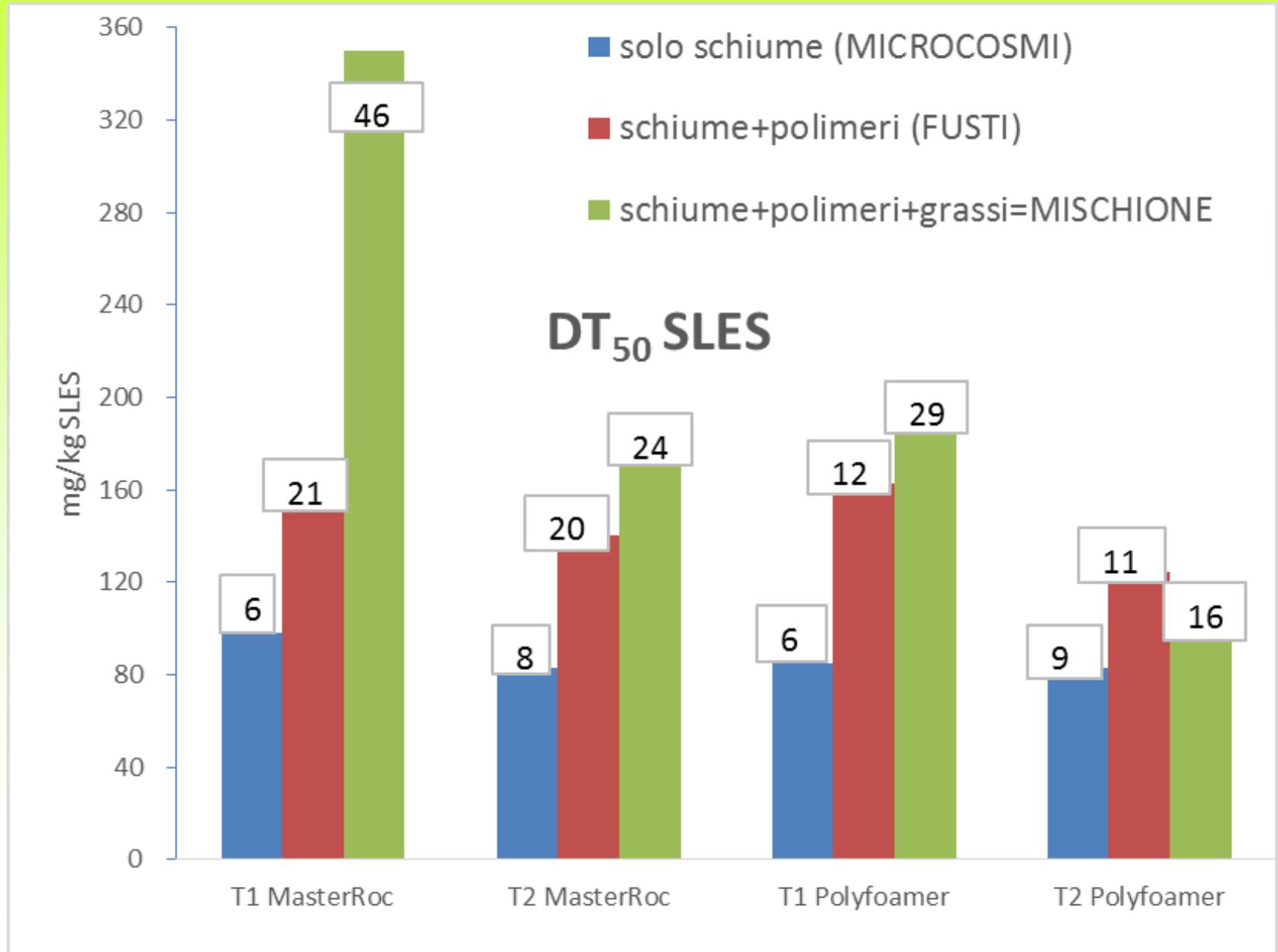
Andamenti concentrazioni SLES

mg/kg secco

Agente schiumogeno 2



Stima DT_{50} (giorni)



Concentrazione di metalli ($\mu\text{g/L}$) e anioni (mg/L) negli eluati al tempo $t=0$

	Unità misura	Controllo T1	Controllo T2	Terreno 1 MasterRoc SLF41	Terreno 2 MasterRoc SLF41	Terreno 1 Polyfoamer ECO/100	Terreno 2 Polyfoamer ECO/100	Conc. limite All. 3 DM 5 febbraio 88
Be	$\mu\text{g/L}$	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	10
V	$\mu\text{g/L}$	2,1	1,4	4,2	2,1	5,1	2,1	250
Cr T	$\mu\text{g/L}$	1,5	1,1	3,1	1,6	3,8	1,5	50
Co	$\mu\text{g/L}$	0,1	0,1	0,3	0,1	0,4	0,1	250
Ni	$\mu\text{g/L}$	0,4	0,4	1,5	0,6	1,6	0,7	10
Cu	$\mu\text{g/L}$	0,9	0,4	1,3	0,8	1,2	1,1	50
Zn	$\mu\text{g/L}$	2,1	0,4	2,9	5,7	2,7	1,4	3.000
As	$\mu\text{g/L}$	0,5	0,2	0,7	0,3	0,7	0,3	50
Se	$\mu\text{g/L}$	0,9	1,3	0,9	1,9	0,9	1,4	10
Cd	$\mu\text{g/L}$	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5
Ba	$\mu\text{g/L}$	6,1	6,8	8,1	8,2	9,5	8,3	1.000
Hg	$\mu\text{g/L}$	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1
Pb	$\mu\text{g/L}$	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	50
Mo	$\mu\text{g/L}$	7,6	5,8	8,4	7,2	8,5	6,5	
Fluoruri	mg/L F	0,6	0,5	0,7	0,5	0,8	0,5	1,5
Cloruri	mg/L Cl	2,1	2,4	2,2	2,4	2,3	2,4	200
Nitrati	mg/L NO_3	0,9	0,9	1	1,1	1	1,1	50
Solfati	mg/L SO_4	3,4	3,4	3,4	3,7	3,7	3,9	250

Concentrazione SLES acqua drenaggio fusti in maturazione ed elutriato prove cessione

Concentrazione acqua drenaggio fusti in maturazione (mg/L)								
	Terreno 1 Agente 1		Terreno 2 Agente 1		Terreno 1 Agente 2		Terreno 2 Agente 2	
Tempo (d)	Concentrazione	dev.st.	Concentrazione	dev.st.	Concentrazione	dev.st.	Concentrazione	dev.st.
0	18,3	3,3	206,4	15,2	62,4	6,9	270,1	15,3
3	13,7	3,5	118,5	9,6	58,2	7,3	100	10,4
7	9	1,2	66,7	7,5	55,8	3,2	42	4,2
12	3	0,8	19,4	2,4	39,6	3,3	11	2,7
20	no acqua		17,3	1,8	no acqua		8	0,9
28	no acqua		0		no acqua		0	

Concentrazione elutriato test di cessione terreno mischioni microcosmi (mg/L)								
	Terreno 1 Agente 1		Terreno 2 Agente 1		Terreno 1 Agente 2		Terreno 2 Agente 2	
Tempo (d)	Concentrazione	dev.st.	Concentrazione	dev.st.	Concentrazione	dev.st.	Concentrazione	dev.st.
0	19,4	2,2	20	3,1	35	4,2	33,6	9,8
7	12,4	1,8	9,6	2,7	20,5	2,1	20,7	6,7
14	9,4	0,8	6,1	1,5	20,8	1,8	18,5	4,5
28	7,1	0,9	3,6	0,9	18,9	1,5	12,9	3,2

Risultati biotest terreno 1 trattato con l'agente schiumogeno 1

Vibriofischeri							
Tempo maturazione (d)	Effetto		Dev. St. controllo	Dev. St. campione	Repliche controllo	Repliche campione	% effetto
	Controllo	Campione					
0	18,11%	90,91%	3,37%	1,27%	3	3	88,90%
7	10,80%	75,28%	6,42%	4,61%	4	4	72,29%
14	10,80%	32,50%	6,42%	1,29%	4	4	24,33%
28	6,52%	29,74%	6,03%	1,09%	4	4	24,84%
Alga							
0	2.586.000	155.508	86.578	4.418	3	3	93,99%
7	2.875.700	394.863	60.573	11.302	3	3	86,27%
14	3.211.350	390.369	59.560	10.776	3	3	87,85%
28	2.945.417	883.754	60.596	7.903	3	3	70,00%
Daphnia							
0	19,67	14	0,55	1,17	3	3	28,83%
7	19,67	19,33	0,55	0,62	3	3	1,73%
14	19,67	19,33	0,55	0,62	3	3	1,73%
28	19	19	0,93	0,93	3	3	0,00%
FET							
0	15	0	0,44	0	4	4	100,00%
7	15	0	0,44	0	4	4	100,00%
14	15	0	0,44	0	4	4	100,00%
28	15	14	0,44	0,47	4	4	6,67%
Germinazione							
0	881,3	832	26,30	87,50	3	3	5,59%
7	766,3	826,7	90,50	63,40	3	3	7,88%
14	809,7	786	155,30	91,30	3	3	2,93%
28	645,3	731,3	145,10	84,30	3	3	13,33%

Risultati biotest terreno 2 trattato con l'agente schiumogeno 1

Vibriofischeri							
Tempo maturazione (d)	Effetto		Dev. St. controllo	Dev. St. campione	Repliche controllo	Repliche campione	% effetto
	Controllo	Campione					
0	15,99%	91,67%	1,67%	0,98%	3	3	90,08%
7	11,71%	35,73%	2,61%	1,11%	4	4	27,21%
14	11,71%	14,47%	2,61%	3,45%	4	4	3,13%
28	-0,45%	7,19%	4,42%	1,36%	2	4	7,61%
Alga							
0	2.441.733	403.767	87.643	13.236	3	3	83,47%
7	2.842.500	635.358	85.630	16.426	3	3	77,65%
14	2.944.417	515.019	30.200	14.780	3	3	82,51%
28	2.668.617	907.288	23.315	17.558	3	3	66,00%
Daphnia							
0	20	13	0,00	1,02	3	3	36,65%
7	20	18	0,00	0,72	3	3	8,35%
14	20	19	0,00	0,70	3	3	6,65%
28	19	19	0,49	0,93	3	3	0,00%
FET							
0	14	0	0,47	0,00	4	4	100,00%
7	14	0	0,47	0,00	4	4	100,00%
14	14	17	0,47	0,37	4	4	21,43%
28	14	15	0,47	0,44	4	4	7,14%
Germinazione							
0	918,7	806,7	27,6	67,0	3	3	12,19%
7	797,0	784,0	77,1	24,4	3	3	1,63%
14	788,0	760,4	128,0	90,4	3	3	3,50%
28	672,7	775,7	119,2	78,0	3	3	15,31%

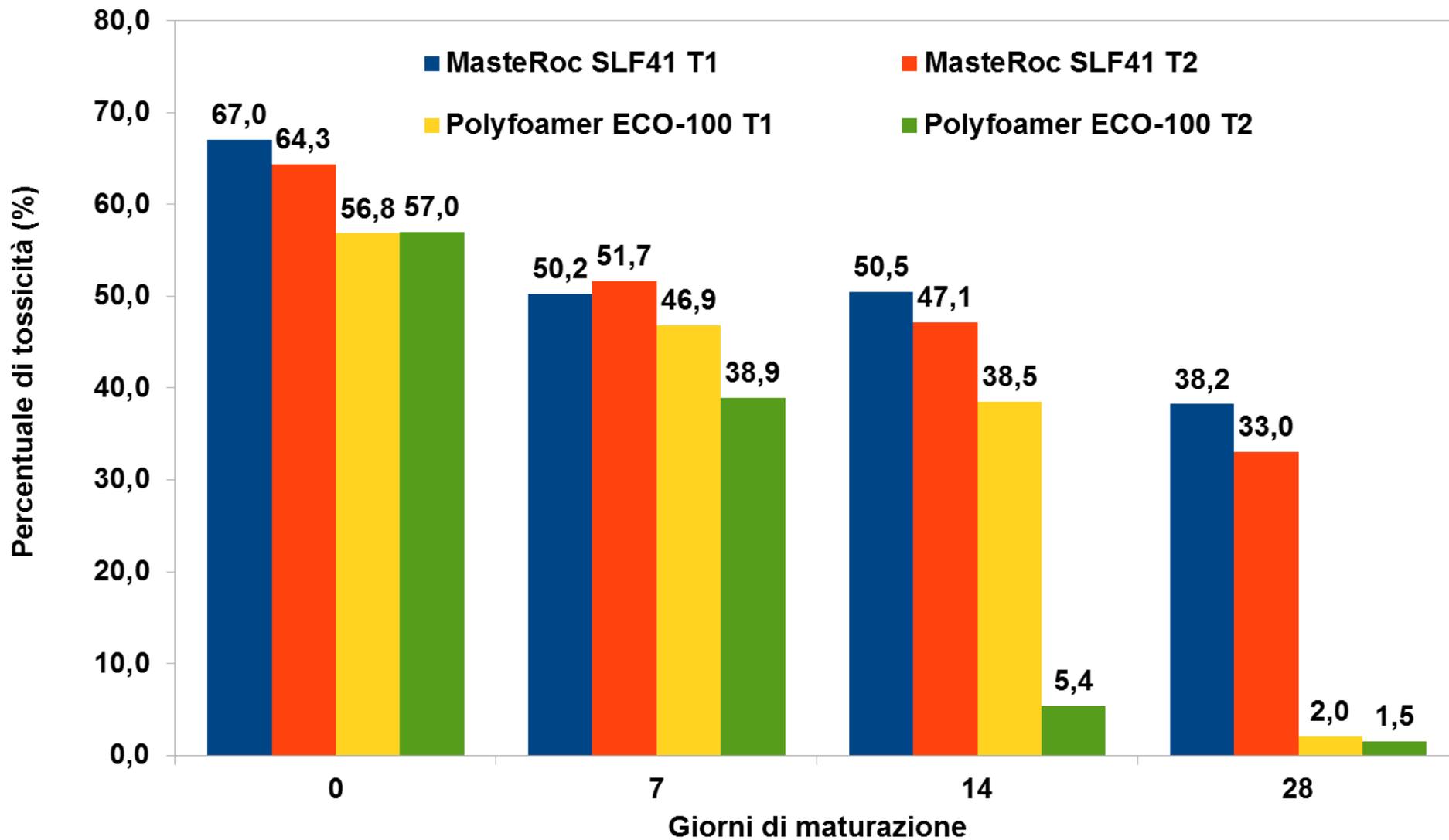
Risultati biotest terreno 1 trattato con l'agente schiumogeno 2

Vibriofischeri							
Tempo maturazione (d)	Effetto		Dev. St. controllo	Dev. St. campione	Repliche controllo	Repliche campione	% effetto
	Controllo	Campione					
0	18,11%	94,13%	3,37%	1,63%	3	3	92,83%
7	10,80%	90,11%	6,42%	0,42%	4	4	88,91%
14	10,80%	88,16%	6,42%	1,74%	4	4	86,73%
28	6,52%	36,61%	6,03%	1,73%	4	4	32,19%
Alga							
0	2.586.000	156.117	86.578	5.014	3	3	93,97%
7	2.875.700	337.529	60.573	9.572	3	3	88,27%
14	3.211.350	232.552	59.560	3.744	3	3	92,76%
28	2.945.417	671.921	60.596	10.825	3	3	77,19%
Daphnia							
0	19,67	4,67	0,55	1,51	3	3	76,26%
7	19,67	18,67	0,55	0,70	3	3	5,08%
14	19,67	19,33	0,55	0,62	3	3	1,73%
28	19	18,33	0,93	0,72	3	3	3,53%
FET							
0	15	0	0,44	0	4	4	100,00%
7	15	0	0,44	0	4	4	100,00%
14	15	0	0,44	0	4	4	100,00%
28	15	0	0,44	0	4	4	100,00%
Germinazione							
0	881,3	841	26,30	72,90	3	3	4,57%
7	766,3	879,3	90,50	18,50	3	3	14,75%
14	809,7	815,3	155,30	97,10	3	3	0,69%
28	645,3	771	145,10	11,40	3	3	19,48%

Risultati biotest terreno 2 trattato con l'agente schiumogeno 2

Vibriofischeri							
Tempo maturazione (d)	Effetto		Dev. St. controllo	Dev. St. campione	Repliche controllo	Repliche campione	% effetto
	Controllo	Campione					
0	15,99%	92,80%	1,67%	2,00%	3	3	91,43%
7	11,71%	93,26%	2,61%	0,31%	4	4	92,37%
14	11,71%	84,37%	2,61%	3,18%	4	4	82,30%
28	-0,45%	26,41%	4,42%	2,45%	2	4	26,74%
Alga							
0	2.441.733	124.617	87.643	3.884	3	3	94,90%
7	2.842.500	456.763	85.630	15.063	3	3	83,93%
14	2.944.417	243.835	30.200	6.384	3	3	91,72%
28	2.668.617	556.688	23.315	17.558	3	3	79,14%
Daphnia							
0	20	7,33	0,00	2,74	3	3	63,35%
7	20	18,33	0,00	0,72	3	3	8,35%
14	20	18,00	0,00	1,08	3	3	10,00%
28	19	18,33	0,49	0,72	3	3	3,53%
FET							
0	14	0	0,47	0,00	4	4	100,00%
7	14	0	0,47	0,00	4	4	100,00%
14	14	3	0,47	0,37	4	4	78,57%
28	14	3	0,47	0,37	4	4	78,57%
Germinazione							
0	918,7	884,7	27,6	5,0	3	3	3,70%
7	797,0	757,7	77,1	109,0	3	3	4,93%
14	788,0	813,7	128,0	31,5	3	3	3,26%
28	672,7	685,7	119,2	63,5	3	3	1,93%

Indice di tossicità di batteria



Conclusioni

1. L'indice di batteria dei 5 biotest ha evidenziato che i terreni 1 e 2 trattati con l'agente schiumogeno 1 già dopo 14 giorni di maturazione (terreno 2) e dopo 28 giorni (terreno 1) possono essere considerati privi di tossicità.
2. I due terreni 1 e 2 trattati con l'agente schiumogeno 2 sono invece risultati sempre non conformi al terreno di controllo anche dopo 28 giorni di maturazione.
3. L'indice di batteria non è risultato direttamente correlabile alla concentrazione di SLES. Ciò probabilmente è dovuto alla contemporanea presenza di altre sostanze presenti nei polimeri e nei grassi di stillicidio. La qualificazione delle terre e rocce da scavo in corso d'opera non può perciò fare riferimento alla concentrazione di SLES.
4. Il biotest più robusto che ha determinato in modo sostanziale la risposta dell'indice di batteria è risultato essere il FET. Il secondo è risultato il *Vibrio fischeri*.

Grazie per l'attenzione