



**Gestione sostenibile delle Terre e Rocce da scavo  
Strumenti, normative e buone pratiche**

---

# ***Terre e Rocce da scavo: un caso di studio ed esempio di economia circolare***

***Anna Barra Caracciolo***

---

*Dirigente di Ricerca Istituto di Ricerca Sulle Acque,  
Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IRSA)*

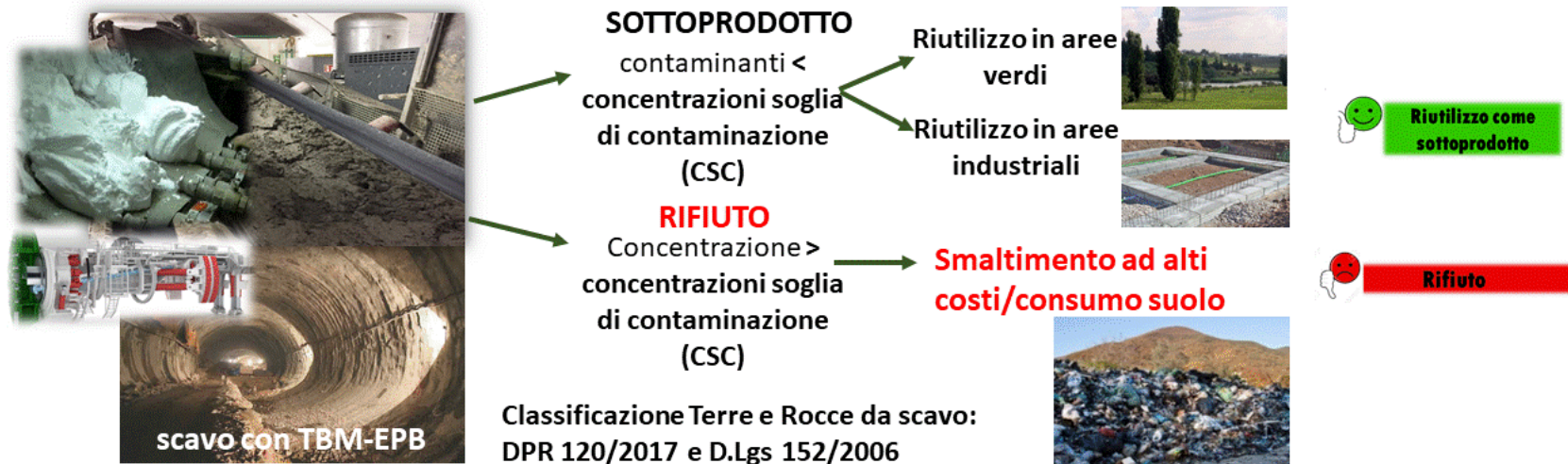
*Italferr Roma, 9 dicembre 2025*

- La Galleria Santa Lucia, lunga quasi 8 km, ad oggi è la galleria più lunga a tre corsie esistente al mondo ed eseguita con uno scavo meccanizzato mediante fresa "Tunnel Boring Machine-Earth Pressure Balance" – (TBM-EPB) con un diametro di scavo pari a quasi 16 m.
- Le terre scavate sono state interamente utilizzate per la realizzazione del rilevato destinato alla futura Area di Servizio Bellosguardo (come previsto dal piano di utilizzo approvato ai sensi del D.M. 161/12) e per ripristinare a verde l'intera area di cantiere in un'ottica di economia circolare.



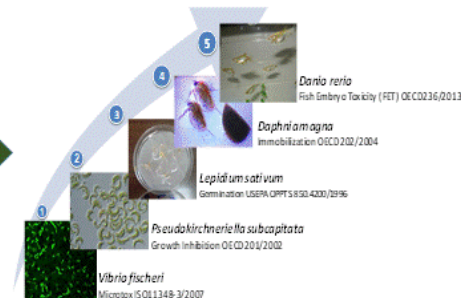
In mancanza di CSC per i prodotti schiumogeni, il CNR ha proposto un protocollo di valutazione della compatibilità ambientale attraverso un approccio ecologico e sito-specifico basato sulla valutazione della biodegradabilità dei prodotti e sull'assenza di ecotossicità dei loro possibili residui nelle terre scavate.

## CASO APPLICATIVO: Valutazione impatto ambientale additivi (schiumogeni) non normati utilizzati per T&R da scavo di gallerie



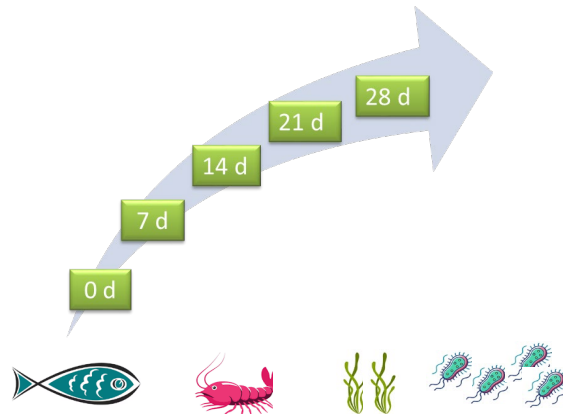
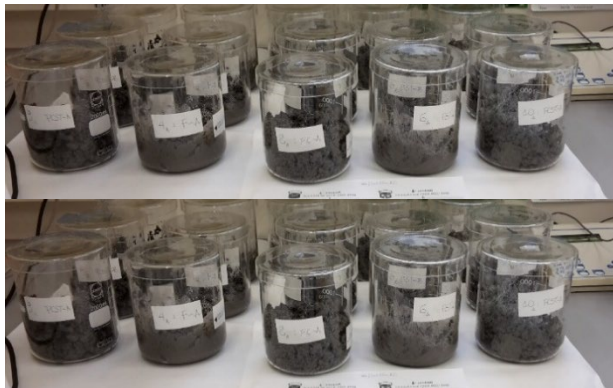
CSC per metalli pesanti ed alcuni composti organici (es. idrocarburi), ma non per gli additivi (prodotti schiumogeni) utilizzati per lo scavo

Additivi possono provocare **effetti nocivi sull'ambiente?**  
«Approccio ecologico e test ecotossicologici»



Tale approccio è stato realizzato per la prima volta con successo proprio per la realizzazione della S. Lucia, attraverso:

- Confronto **dell'ecotossicità intrinseca** di diversi prodotti commerciali e selezione dei prodotti più ecocompatibili
- Studi in **microcosmo e mesocosmo** per valutare se le concentrazioni dei tensioattivi presenti (es SLES) nei terreni scavati potesse generare criticità su organismi test selezionati, considerando sia l'ambiente acquatico, che quello terrestre.
- Individuazione organismi test più sensibili e di quello più facilmente applicabile per i tempi di esecuzione da proporre in n «**Protocollo operativo in fase di scavo**»





# Confronto dell'ecotossicità intrinseca di diversi prodotti commerciali contenenti SLES e selezione dei prodotti più ecocompatibili

*Aliivibrio fischeri*

Prodotto commerciale (ISO 11348-3:2019)  $EC_{50}$  (mg/L)  $\pm$  e.s.

**30 min**

Agente schiumogeno 1

$6.96 \pm 0.9$

Agente schiumogeno 2

$6.89 \pm 0.9$

Agente schiumogeno 3

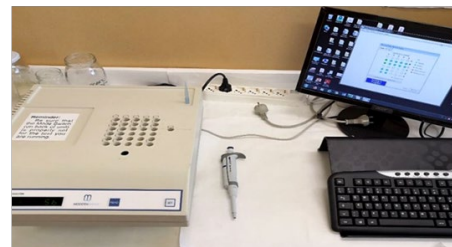
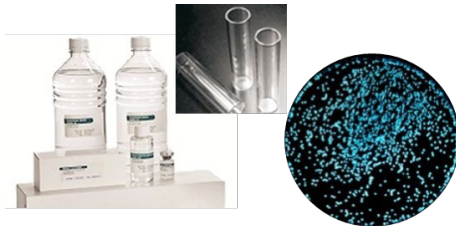
$17.86 \pm 1.5$

Agente schiumogeno 3 + Polimero

$12.75 \pm 0.0$

Polimero

$6.11 \pm 0.9$



- Il prodotto schiumogeno 3 è risultato il meno tossico
- In base ai TR e alle concentrazioni percentuali del tensioattivo presente si può anche calcolare la concentrazione di SLES attesa nel terreno (PEC) per ogni prodotto

# Studi in microcosmo e mesocosmo per valutare concentrazioni dei tensioattivi (es SLES) nei terreni condizionati e batteria di test ecotossicologici a diversi tempi dal deposito temporaneo

## Additivi schiumogeni non normati per scavo di gallerie



< CSC= by-product

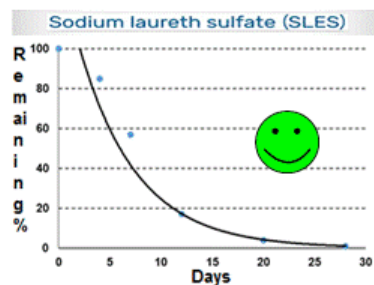
NO Ecotossico

> CSC = WASTE



Valutazione tempi biodegradazione naturale  
valutazioni ecotossicologiche terreno scavato  
a diversi tempi dal condizionamento.

Batteria di test con terreno ed estratti  
acquosi (1:10 leaching test UNI EN 12457-  
2:2004) per verificarne la compatibilità  
ambientale



No persistence  
No effects



A bioassay battery for the ecotoxicity assessment of soils conditioned with two different commercial foaming products

P. Greeni<sup>a</sup>, A. Barra Caracciolo<sup>a</sup>, L. Patrolecco<sup>a</sup>, N. Ademollo<sup>a</sup>, J. Rausen<sup>a,b</sup>, M.L. Sacchi<sup>a,c</sup>, M. Mingazzini<sup>a</sup>, M.T. Palumbo<sup>a</sup>, E. Galli<sup>a</sup>, V.G. Muzzini<sup>a</sup>, C.M. Pelcaro<sup>a</sup>, E. Donati<sup>a</sup>, I. Lacchetti<sup>a,c</sup>, A. Di Giulio<sup>a</sup>, P.M.B. Gucci<sup>a</sup>, E. Deccoloni<sup>a</sup>, G. Minzini<sup>a</sup>

<sup>a</sup> CNR Water Research Institute of CNR (IRSA-WRISA) - Rome 1 Research Area, Via Salaria km 2913, 00137 Montebello, Rome, Italy

<sup>b</sup> Environmental Biology Unit, Sapienza University of Rome, Italy

<sup>c</sup> CNR Water Research Institute (IRSA-WRISA), Via dei Mulari, 15, 00187 Pignone, Rome, Italy

<sup>d</sup> CNR Institute of Agro-Environmental and Geo-Bio (IRAG-IGB) - Rome 1 Research Area, Via Salaria km 2913, 00137 Montebello, Rome, Italy

<sup>e</sup> CNR Chemical Technologies Institute (IRSA-ICT) - Rome 1 Research Area, Via Salaria km 2913, 00137 Montebello, Rome, Italy

<sup>f</sup> Sapienza University of Rome (SUA) - Environmental and Health Engineering, Via degli Etruschi, 159, 00144 Rome, Italy

<sup>g</sup> CNR Institute of Environmental Geology and Geoengineering (IRSA-IGEG) - Rome 1 Research Area, Via Salaria km 2913, 00137 Montebello, Rome, Italy



✓ **Pianta:** Seedling Growth test (OECD Guideline No. 208, 2006) e Seed germination and primary root growth (US EPA OPPTS 850.4200 Guideline, 1996)



✓ **Lombrico:** Acute and chronic tests (OECD Guidelines No. 207, 1984 and n. 222, 2016 e OECD n. 207)



✓ **Crostaceo:** *Heterocypris incongruens* (ISO 14371:2012)



✓ **Batterio:** *Aliivibrio fischeri* bioluminescence inhibition test (UNI EN ISO 11348-3:2019)

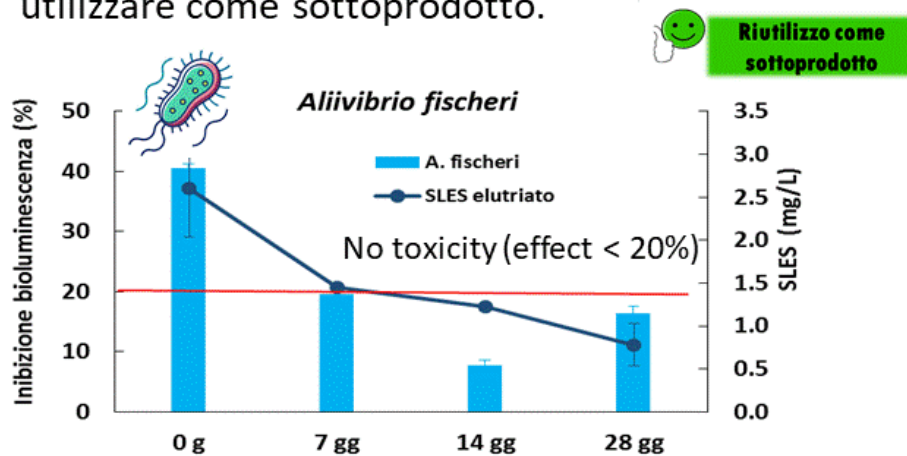


✓ **Pesce:** Fish Embryo Acute Toxicity (FET, OECD 236, 2013)

# Individuazione degli organismi test più sensibili al fine di proporre un «Protocollo operativo in fase di scavo»

## Test ecotox: Valutazione impatto ambientale schiumogeni in T&R condizionate

- *A. fischeri* è risultato particolarmente sensibile alla presenza dello SLES a concentrazioni residuali.
- La tossicità dipende dalla concentrazione del tensioattivo
- *A. fischeri* (*Aliivibrio fischeri* bioluminescence inhibition test UNI EN ISO 11348-3:2019) per definire «tossicità/assenza tossicità» di T&R da utilizzare come sottoprodotto.



## Test ecotox più sensibile applicato per superamento gap normativi e Definizione di Protocolli in fase di scavo approvati dal Ministero dell'Ambiente (VIA-VAS)

Protocollo per la valutazione della compatibilità ambientale delle terre e rocce da scavo da adottare in corso d'opera per la realizzazione della Galleria S. Lucia dell'Autostrada A1 Barberino del Mugello-Calenzano. n. 069662 del 01/12/2016

Ecotoxicology  
<https://doi.org/10.1007/s10646-020-02202-7>

Toxic response of the bacterium *Vibrio fischeri* to sodium lauryl ether sulphate residues in excavated soils

L. Mariani<sup>1</sup> · P. Grenni<sup>1</sup> · Anna Barra Caracciolo<sup>1</sup> · E. Donati<sup>2</sup> · J. Raueo<sup>3</sup> · L. Rolando<sup>1,4</sup> · L. Patrolecco<sup>3</sup>

I risultati ottenuti negli studi in micro/mesocosmi si sono confermati nella fase di scavo: terre senza alcun tipo di tossicità a 7 giorni dal condizionamento



# Ripristino a verde dell'area di cantiere e circostante

- L'obiettivo è garantire il successo vegetativo delle specie botaniche da mettere a dimora sul rilevato realizzato con le terre scavate al fine di garantire un recupero e una rinaturalizzazione dell'area.
- Le terre scavate oltre ad essere povere di nutrienti poiché provenienti da orizzonti profondi, in molti casi sono state stabilizzate mediante l'aggiunta di calce (pratica industriale normalmente consentita in questi cantieri), per migliorarne le caratteristiche meccaniche e di stabilità con incremento di pH.
- Inoltre, nello stesso progetto si è previsto di utilizzare il terreno di scotico impilato per tutta la durata dell'opera.
- Applicazione di «strategie basate sulla natura» (nature-based solutions) per ottenere un substrato idoneo all'attecchimento delle specie vegetali





# I sperimentazione in microcosmi

Utilizzo di ammendanti organici come una soluzione per promuovere decremento pH Sansa, Digestato, Compost e testare qualità del suolo di scotico da impiegare sulla parte superficiali



Surface Soil (0-3 cm)

Spoil material  
below (3-6 cm)  
mixed with OAs



Control and Control\_P



Dig and Dig\_P



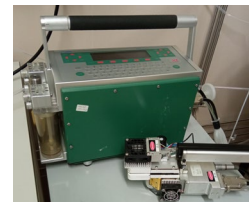
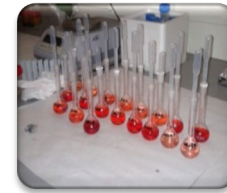
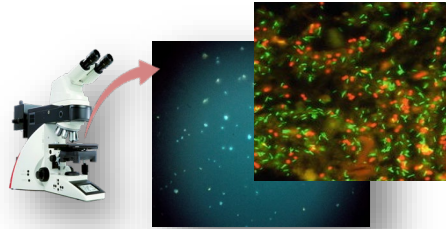
Pom and Pom\_P

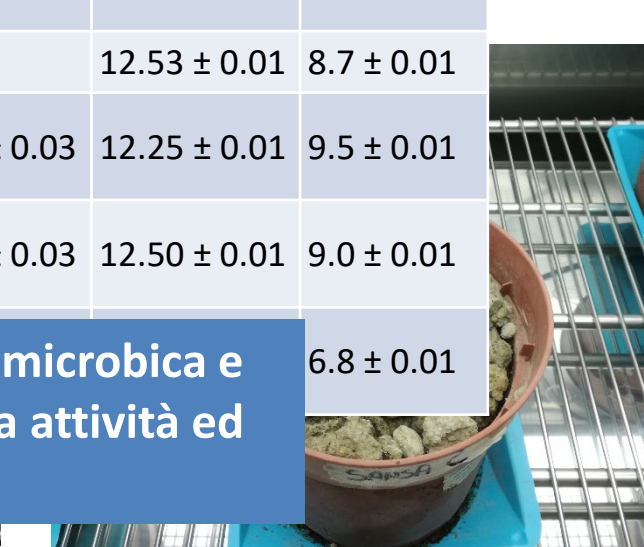
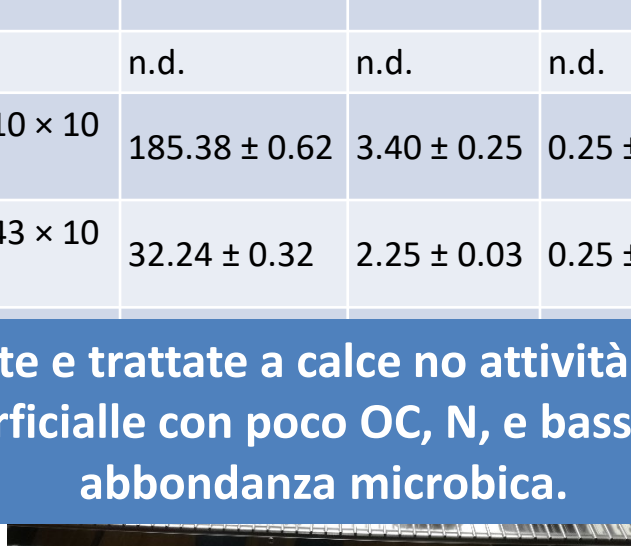
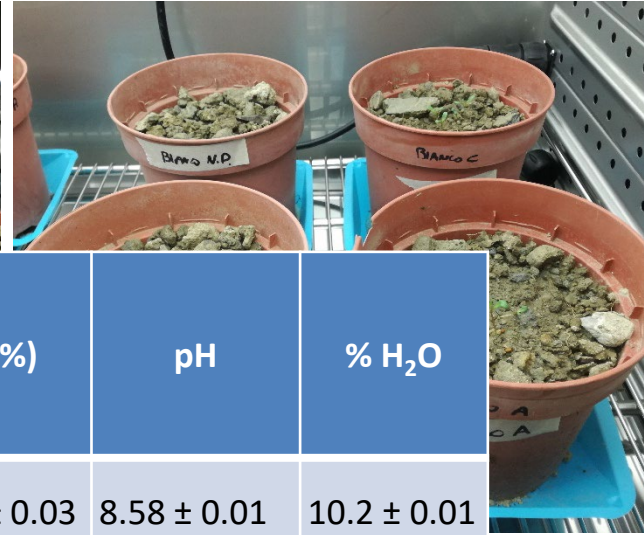
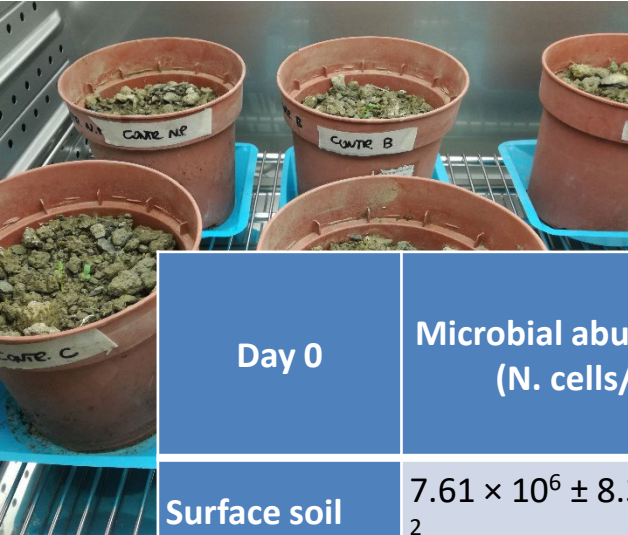


Comp and Comp\_P

# Analisi microbiologiche e chimico fisiche a 0 4 mesi

- ✓ Total organic carbon
- ✓ Total organic nitrogen
- ✓ pH
- ✓ Soil water content
- ✓ Total microbial abundance
- ✓ Microbial activity
- ✓ Next generation sequencing
- ✓ Predictive Functional Analysis of soil Prokaryotes
- ✓ *Medicago sativa* biomass
- ✓ Total leaf chlorophyll content
- ✓ Total phenolic compounds content



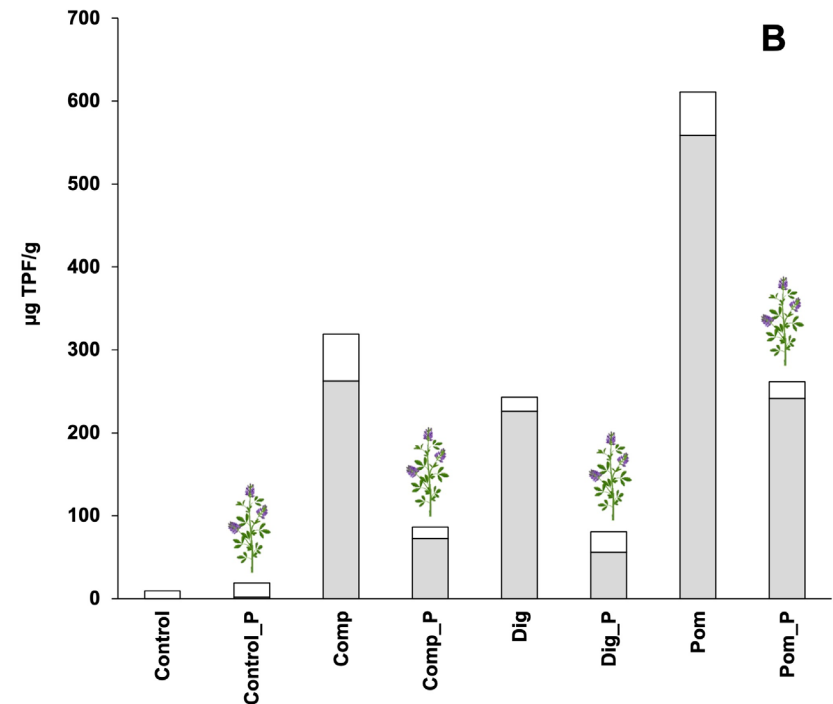
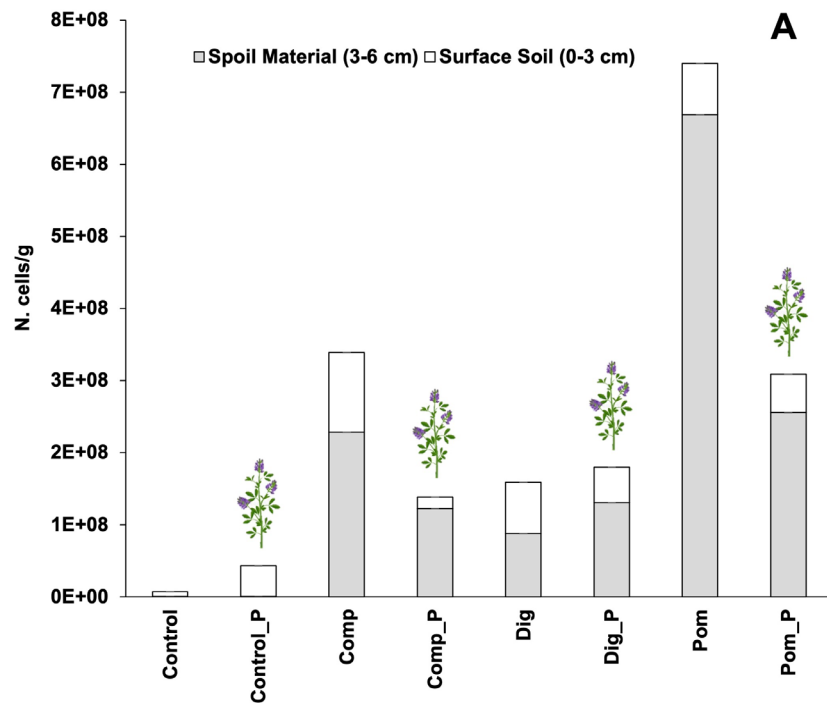
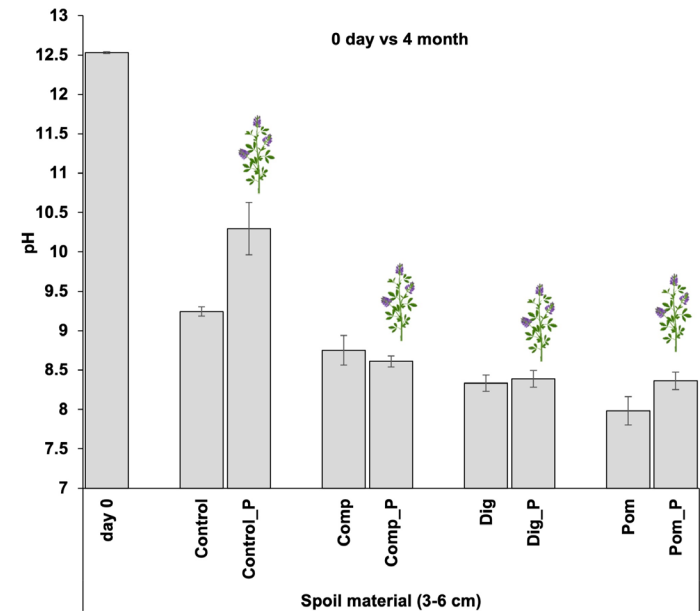


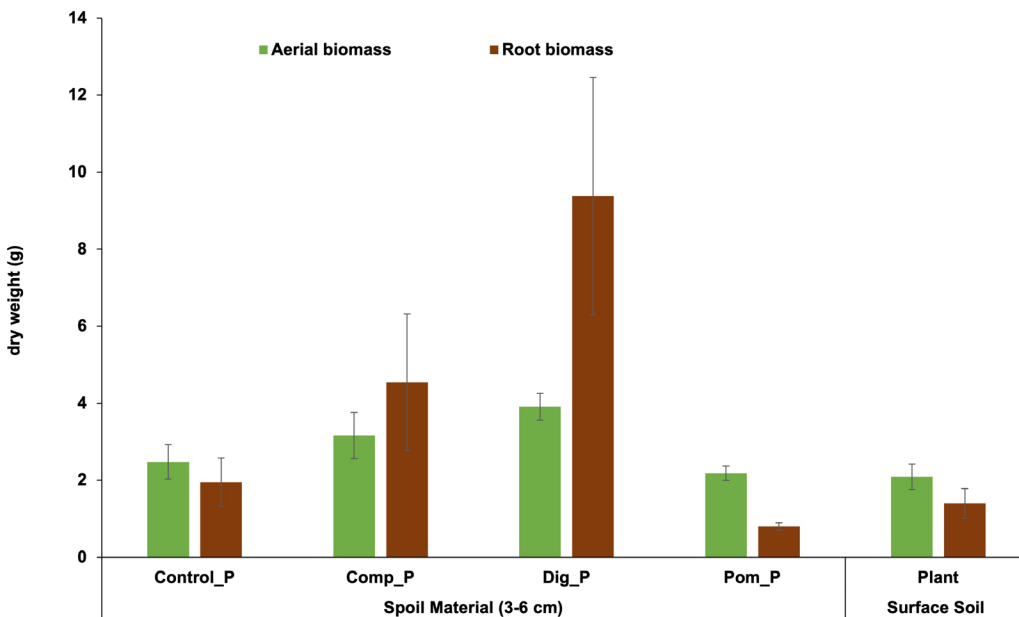
Day 0	Microbial abundance (N. cells/g)	Microbial activity ( $\mu\text{g TPF/g}$ )	OC (%)	N (%)	pH	% H <sub>2</sub> O
Surface soil	$7.61 \times 10^6 \pm 8.35 \times 10^2$	$19.60 \pm 4.54$	$0.85 \pm 0.03$	$0.25 \pm 0.03$	$8.58 \pm 0.01$	$10.2 \pm 0.01$
SM	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	$12.53 \pm 0.01$	$8.7 \pm 0.01$
SM + compost	$2.13 \times 10^7 \pm 1.10 \times 10^3$	$185.38 \pm 0.62$	$3.40 \pm 0.25$	$0.25 \pm 0.03$	$12.25 \pm 0.01$	$9.5 \pm 0.01$
SM + digestate	$3.29 \times 10^7 \pm 1.43 \times 10^3$	$32.24 \pm 0.32$	$2.25 \pm 0.03$	$0.25 \pm 0.03$	$12.50 \pm 0.01$	$9.0 \pm 0.01$
SM + poma	Terre scavate e trattate a calce no attività microbica e suolo superficiale con poco OC, N, e bassa attività ed abbondanza microbica.					$6.8 \pm 0.01$



**Dopo 4 mesi gli ammendanti promuovono un decremento significativo del pH nel terreno trattato a calce**

**Dopo 4 mesi gli ammendanti promuovono un aumento dell'abbondanza ed attività microbica**





**Compost e digestato sono i migliori per promuovere crescita pianta**



Applied Soil Ecology 192 (2023) 105070

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)



Applied Soil Ecology

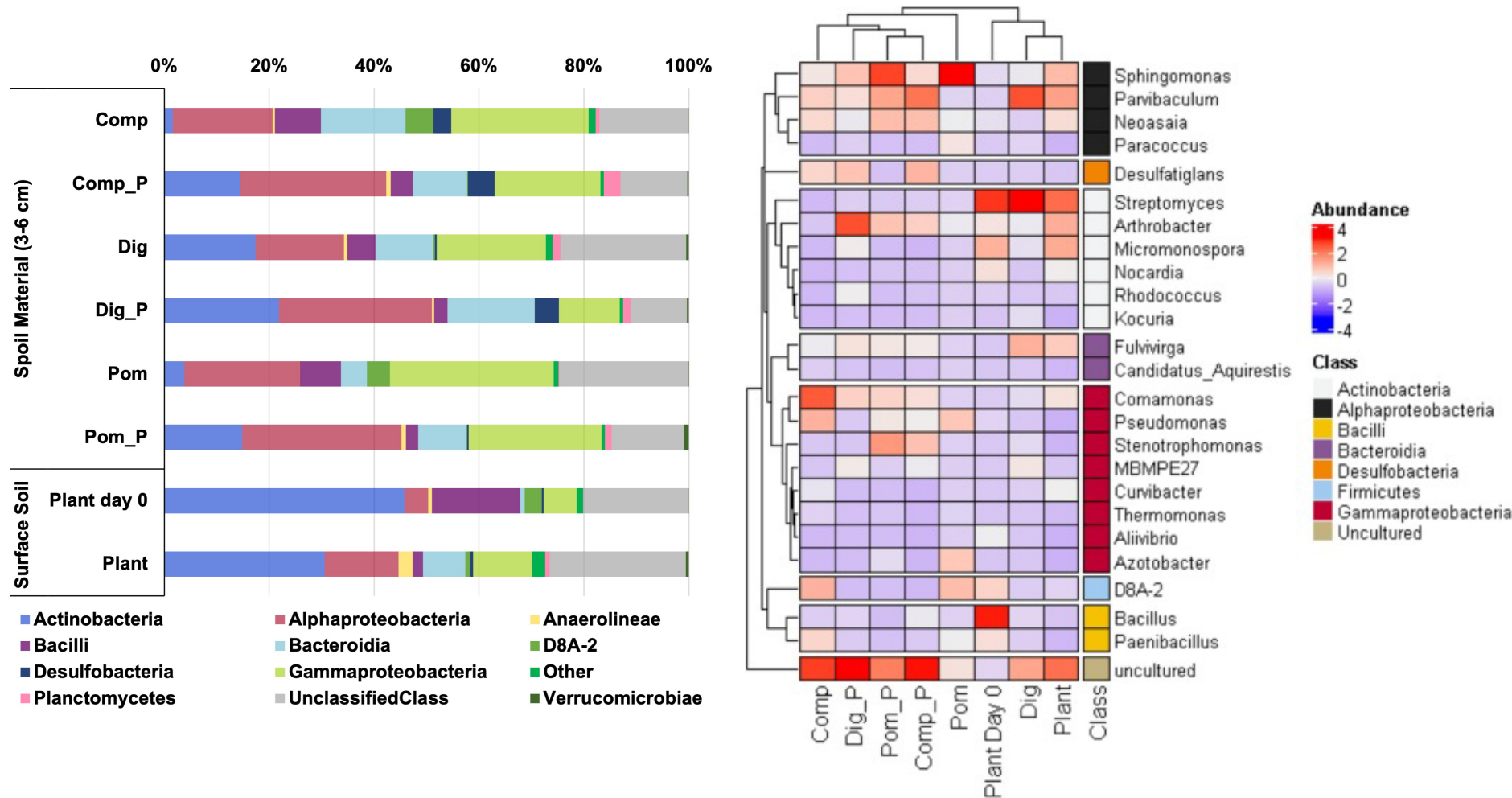
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/apsoil](https://www.elsevier.com/locate/apsoil)



Nature-based solutions using organic amendments for bioremediation of alkaline spoil material

Ludovica Rolando<sup>a</sup>, Anna Barra Caracciolo<sup>a,\*</sup>, Gian Luigi Garbini<sup>a,b</sup>, Andrea Visca<sup>a</sup>, Livia Mariani<sup>a</sup>, Antonio Finizio<sup>c</sup>, Valentina Mazzurco-Miritana<sup>d</sup>, Isabel Nogues<sup>d</sup>, Paola Grenni<sup>a,e</sup>

# Analisi della composizione della comunità microbica

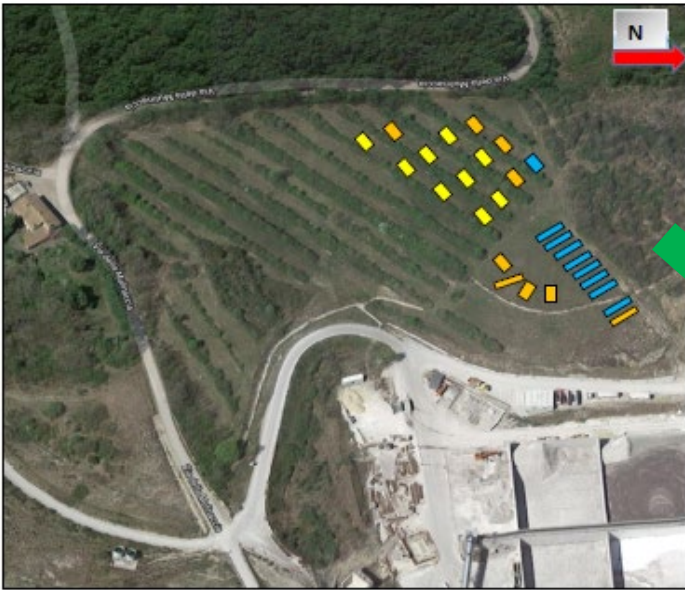


**Gli ammendanti introducono/promuovono gruppi batterici tolleranti allo stress e capaci di tamponare gli elevati valori di pH**



## II. Dai microcosmi ai mesocosmi in cantiere

Specie autoctone arboree testate:  
quercia, frassino, olivo, carpino, nocciolo



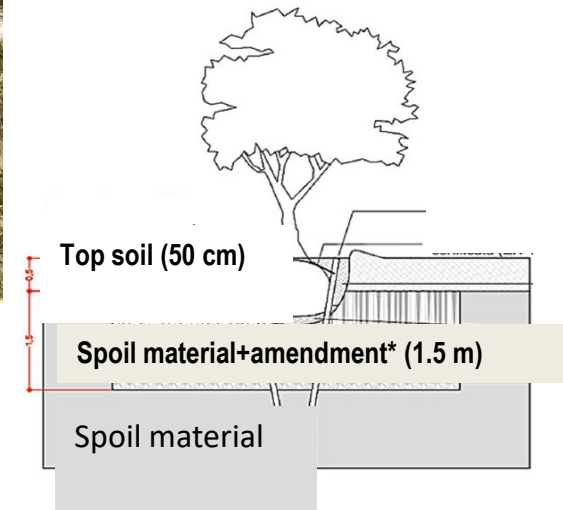
Monitoraggio per verificare  
la crescita in profondità  
specie arboree su diverse  
tipologie di stratigrafia del  
terreno e diverse  
ammendanti



**compost o sansa o  
digestato provenienti  
dall'area di indagine**

### List of tree species planted:

- **Oak:** *Quercus pubescens*
- **Ash:** *Fraxinus ornus*
- **Olive tree:** *Olea europaea*
- **Hop-hornbeam:** *Ostrya carpinifolia*
- **Hazel:** *Corylus avellana*



# Monitoraggio annual alberi e carotaggi per verificare sviluppo radici e pH suole e smarino nel tempo

## pH decresce nei mesocosmi



Plant survival was between 85-100%





## Concluding remarks

- Nell'ottica di economia circolare, l'idea è stata quella di studiare le condizioni per poter stimolare un processo naturale di recupero della fertilità del terreno mediante specifiche pratiche agricole (es. concimazioni con ammendanti organici), lavorazioni superficiali (sovescio) e semina di piante (es. favino) che inducano il processo di modifica e riattivazione della funzionalità naturale, limitando l'utilizzo di terreno vegetale.
- L'utilizzo di soluzioni verdi necessita una conoscenza sito-specifica del substrato e delle condizioni meteo-climatiche attraverso studi in micro e mesocosmi propedeutici alla realizzazione dell'impianto definitivo con pratiche sostenibile e mirate



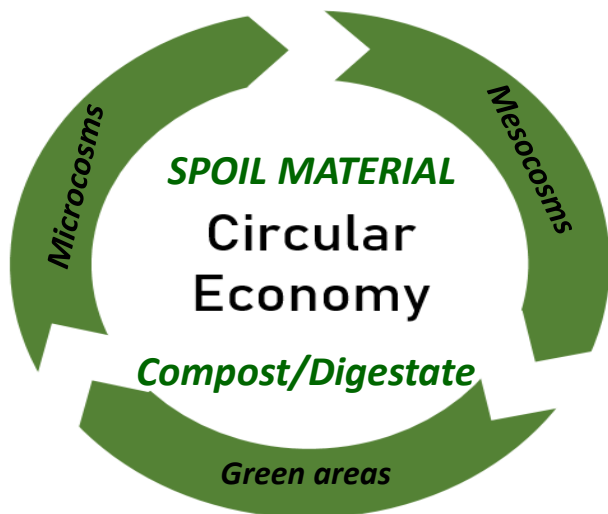
Realizzazione dei primi due sesti di impianto e varie pratiche di miglioramento del terreno (es. ammendanti, sovescio, favino) .



L'opera non solo ha superato positivamente l'iter autorizzativo previsto dalla normativa italiana (compatibilità ambientale a seguito della V.I.A. e conformità Urbanistica a seguito della Conferenza dei Servizi) ma ha anche ottenuto **la certificazione *Envision***, sistema di rating dedicato alla progettazione e realizzazione di infrastrutture sostenibili, che l'Azienda ha scelto di adottare a supporto delle analisi ambientali e ad integrazione della Valutazione di Impatto Ambientale.

<https://www.envisionitalia.it/about>





**autostrade** // per l'italia

## CNR

Anna Barra Caracciolo  
Paola Grenni  
Livia Mariani  
Luisa Patrolecco  
Jasmin Rauseo



## Università Bicocca

Antonio Finizio  
Rodolfo Gentili



**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

**Anna Barra Caracciolo**

[anna.barracaracciolo@irsa.cnr.it](mailto:anna.barracaracciolo@irsa.cnr.it)