REGIONE PIEMONTE

ASSESSORATO AMBIENTE

PROVE SPERIMENTALI PER L'UTILIZZO *"UNA TANTUM"* DELLA FRAZIONE ORGANICA STABILIZZATA IN ATTIVITÀ DI RECUPERO AMBIENTALE

ASSESSORATO AMBIENTE
Direzione Tutela e Risanamento Ambientale, Programmazione Gestione Rifiuti
Settore Programmazione Gestione Rifiuti
Coordinamento generale: Agata MILONE
A cura di: Paola BERGERO, Paolo PENNA

I.P.L.A. S.p.A.
A cura di: Luca ROSSI, Nicoletta ALLIANI, Mario SIMONETTI

Si ringrazia per le attività svolte il Consorzio Co.A.B.SER. e la Società S.R.T. già Azienda Braidese Smaltimento Rifiuti

Foto copertina: realizzazione parcelle sperimentali presso discarica di Sommariva Perno, località Cascina del Mago.

Sommario 3
Introduzione 4
Materiali e metodi 4
Sito della sperimentazione 4
Materiali 4
Messa a punto delle parcelle 7
Monitoraggio 8
Risultati e discussione 10
Vegetazione 10
Influenza della FOS sulle proprietà fisiche e chimiche del suolo 11
Influenza della FOS sulla qualità dei percolati 15
Simulazioni in laboratorio 16
Conclusioni 17

Sommario

La Regione Piemonte ha effettuato, in collaborazione con l'I.P.L.A.- S.p.A.[1], negli anni 2002-2004 prove sperimentali per verificare la possibilità dell'utilizzo *una tantum* della Frazione Organica Stabilizzata[2] (FOS) in attività di rivegetazione e recupero ambientale dei suoli, al fine di valutare sia gli effetti ammendanti, sia i rischi ambientali in termini di rilascio di inquinanti e di elementi eutrofizzanti nelle acque di percolazione.
Sono state realizzate 11 parcelle sperimentali, 8 delle quali contenenti FOS e suolo in diverse proporzioni e modalità di impiego (miscelazione o stratificazione), e 3 con funzione di testimoni, contenenti suolo puro e suolo addizionato di un compost derivante dal trattamento di fanghi e frazione verde.
I risultati ottenuti, mediante il monitoraggio di vegetazione, suolo e acque di percolazione, evidenziano come la FOS, similmente al compost testimone, alle dosi inferiori utilizzate nella sperimentazione (200 e 750 t di sostanza secca per ettaro) eserciti una funzione ammendante (aumento del contenuto in sostanza organica ed in macroelementi fertilizzanti, aumento della capacità di scambio cationico) senza la manifestazione di effetti collaterali dannosi particolarmente significativi (rilascio di elementi eutrofizzanti e metalli pesanti nelle acque di percolazione). Soprattutto nelle fasi iniziali l'effetto ammendante è stato evidenziato anche dall'aumento dello sviluppo del cotico erboso.
Alle dosi più elevate (1500 e 2000 t di sostanza secca per ettaro) si sono invece rilevati effetti negativi importanti, quali l'impedimento al drenaggio ed il rilascio di azoto nelle acque in concentrazioni superiori ai limiti indicati dalla Tab. 4 All. 5 D. Lgs. 152/99 ("Limiti di emissione per le acque reflue, urbane ed industriali che recapitano sul suolo"), nonchè notevoli difficoltà nello sviluppo del cotico erboso soprattutto nelle prime fasi dopo la semina.
L'apporto di metalli pesanti conseguente all'aggiunta di FOS a basse dosi non ha costituito, nel caso specifico, un fattore limitante l'utilizzo, in quanto nel suolo ricostituito non sono stati superati i limiti di concentrazioni totali previsti dalla normativa vigente (D.M. 471/99 e Delibera del Consiglio Regione Piemonte 8 marzo 1995, n. 1005-C.R. 4351). Tuttavia i dati di campo, suffragati anche dai risultati di prove di rilascio eseguite in laboratorio, suggeriscono che la disponibilità dei metalli pesanti presenti (e quindi la possibilità che questi vengano rilasciati nel sistema) diminuisce con l'aumento del grado di stabilizzazione dell'ammendante organico; di qui la necessità di prolungare i tempi di maturazione della FOS prima dello spandimento. Rilevante risulta infine il problema legato alla presenza di vetro ed inerti, soprattutto in caso dell'utilizzo di FOS in attività di rivegetazione e recupero ambientale in ambiti non protetti, a maggior ragione se destinati alla fruizione da parte della popolazione (aree a verde pubblico).
I risultati della sperimentazione evidenziano pertanto i seguenti due aspetti:

1) la sostenibilità ambientale di un utilizzo una tantum di FOS a concentrazioni da 200 t/ha s.s. a 750 t/ha s.s. per applicazioni entro uno spessore di circa 1 metro di terreno, con una preferenza per le concentrazioni prossime alla prima;
2) la necessità di concentrare la FOS negli orizzonti di suolo in cui la vegetazione può avvalersene, tenendo conto delle dosi massime oltre le quali si verificano fenomeni di fitotossicità o di selettività delle specie presenti.

In conseguenza di quanto sopra evidenziato si ritiene che l'orizzonte superficiale di suolo da ricostituire mediante l'aggiunta di FOS, non debba essere molto profondo, di norma non superiore a 50 cm e che le modalità di distribuzione siano preferenzialmente in miscela. La quantità di FOS da utilizzare dovrà pertanto essere proporzionalmente ridotta in funzione della profondità adottata (es. fino a 250 t/ha s.s. per applicazioni entro uno spessore di circa 30 cm) e delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo da ricostituire.

1 Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente - Torino

2 Biostabilizzato proveniente dal trattamento meccanico biologico effettuato sui rifiuti urbani indifferenziati

Introduzione

Attualmente il prodotto della stabilizzazione aerobica di matrici organiche provenienti dal trattamento meccanico del rifiuto indifferenziato, denominato Frazione Organica Stabilizzata (FOS), viene normalmente utilizzato in attività di gestione delle discariche (es. ricopertura giornaliera, ricopertura finale).
L'obiettivo del lavoro è stato quello di verificare l'effettiva possibilità di un utilizzo differente della FOS, ad esempio in attività di rivegetazione e recupero ambientale in ambienti non protetti, intendendo con questi, ambienti non dotati di barriere di confinamento quali possono essere quelle adottate per la realizzazione di discariche.
Per fare ciò si è ritenuto necessario affrontare il problema *in toto,* ossia dal ciclo di lavorazione che ha prodotto questo materiale all'attività di recupero finale, valutando, per quanto possibile, gli effetti generati sull'ambiente circostante.
Nello specifico sono state valutate le conseguenze dell'utilizzo *una tantum* di Frazione Organica Stabilizzata (FOS) sui suoli recettori e sulle risorse idriche sotterranee, mediante simulazioni in campo ed in laboratorio.
In particolare:

- *suolo*: verifica delle variazioni delle principali caratteristiche fisiche e chimiche dopo lo spandimento e la miscelazione della FOS;
- *acqua*: verifica del rilascio di elementi, con particolare riguardo ai macronutrienti e agli inquinanti nelle acque di percolazione;
- *vegetazione*: verifica della produzione di sostanza secca del cotico erboso e della selettività nei confronti dei gruppi di specie che lo compongono.

Oltre alla sperimentazione in campo sono state effettuate simulazioni in laboratorio, per verificare i rilasci di elementi inquinanti in condizioni differenti da quelle utilizzate nella sperimentazione.

Materiali e metodi

Sito della sperimentazione

Le parcelle sperimentali sono state realizzate presso la discarica per rifiuti non pericolosi della Azienda Albese Braidese Smaltimento Rifiuti, in Sommariva Perno (CN), località Cascina del Mago, in un appezzamento di terreno adiacente la discarica messo a disposizione dall'azienda consortile.

Materiali

<u>*Suolo*</u> – Preventivamente sono state effettuate analisi chimico-fisiche su tre suoli disponibili in aree limitrofe al sito di sperimentazione, per scegliere un materiale con caratteristiche tali da influenzare il meno possibile la dinamica degli elementi inquinanti ed in modo tale da evidenziare al massimo i possibili impatti della FOS in termini di contaminazione di suolo e acque e di dilavamento di nutrienti. Poiché carbonati, argilla e sostanza organica possono interferire sui fenomeni di adsorbimento e precipitazione di elementi eventualmente rilasciati dalla FOS nella soluzione circolante, fra i suoli disponibili per l'allestimento della prova è stato scelto quello con pH più acido, tessitura più grossolana e minore tasso di sostanza organica.
Le tabelle sotto riportate (Tab 1 e Tab 2) contengono i valori dei principali parametri chimici e fisici e le concentrazioni di metalli pesanti in forma totale ed assimilabile del suolo prescelto. Le analisi sono state effettuate secondo le metodologie ufficiali di analisi dei suoli (D.M. 13/09/1999, pubblicato su Gazz.Uff. Suppl. Ord. n. 248 del 21/10/1999).

Tabella 1 - Caratteristiche chimiche e fisiche del suolo utilizzato

PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	VALORE
pH in acqua	unità di pH	4,8
sabbia	% sul secco all'aria	63,6
limo	% sul secco all'aria	24,2
argilla	% sul secco all'aria	12,2
calcare totale	% sul secco all'aria	assente
sostanza organica	% sul secco all'aria	0,49
azoto totale	% sul secco all'aria	0,03
capacità di scambio cationico	me/100 g secco all'aria	6,83
calcio scambiabile	me/100 g secco all'aria	1,25
magnesio scambiabile	me/100 g secco all'aria	1,05
potassio scambiabile	me/100 g secco all'aria	0,07
saturazione basica	%	35

Tabella 2 - Concentrazioni di metalli pesanti in forma totale e assimilabile del suolo utilizzato

ELEMENTO	CONCENTRAZIONE IN FORMA TOTALE mg/kg secco all'aria	CONCENTRAZIONE IN FORMA ASSIMILABILE mg/kg secco all'aria
Cadmio	0,26	<0,01
Cromo esavalente	<0,5	<0,05
Cromo totale	19,5	0,3
Mercurio	<0,5	<0,05
Nichel	6,5	1,1
Piombo	47	36
Rame	8	<0,01
Zinco	42,5	2,1

Figura 1

FOS – il processo che ha portato alla produzione della FOS utilizzata per la sperimentazione può essere sintetizzato come segue: il sottovaglio derivante dalla tritovagliatura a 80 mm del RU indifferenziato ha subito una prima fase di biossidazione accelerata in corsie insufflate per 21 giorni, durante la quale è stato realizzato un rivoltamento della massa a metà circa del periodo. Al termine di questa fase è stata effettuata una raffinazione a 20 mm, ed il sottovaglio (circa 150 m^3) è stato posto in cumulo in aia esterna non insufflata per un periodo di sei mesi, con rivoltamenti quindicinali.

I valori dei parametri analitici chimici e fisici della FOS utilizzata, determinati secondo le indicazioni della D.C.I. del 27 luglio 1984 ("Limiti di accettabilità per il compost ai fini della tutela ambientale"), sono risultati inferiori ai limiti previsti. Valori superiori alle soglie previste dalla normativa vigente si sono invece ottenuti per inerti, plastica e vetro (Fig 1), troppo elevati evidentemente a causa della triturazione iniziale del rifiuto urbano indifferenziato e delle modalità di raffinazione. In sede di sperimentazione tali valori sono stati ritenuti ininfluenti, dunque la FOS è stata ugualmente utilizzata, sebbene non sarebbe stato ipotizzabile un suo reale utilizzo in attività di recupero ambientale. Inoltre il valore dell'indice di respirazione, pari a 566 mg O_2/Kg VS*h – UNI 10780, denota che il materiale utilizzato non aveva raggiunto la completa stabilità, nonostante il lungo periodo di maturazione cui era stato sottoposto (6 mesi).

Compost – La caratterizzazione del compost, derivante dal trattamento di fanghi e di frazione verde, utilizzato nelle parcelle testimone, dotato di un elevato grado di stabilizzazione (125 mg O_2/Kg VS*h – UNI 10780) e con un contenuto in metalli pesanti tale da non permetterne la classificazione ai sensi dell'All. 1C della legge 748/84, è stata eseguita ai sensi della D.C.I. 27 luglio 1984.
Nella tabella che segue (Tab 3) sono riportati i valori analitici dei due materiali sopra descritti, raffrontati con i limiti previsti dalla D.C.I. 27 luglio 1984, ottenuti secondo le metodologie ufficiali di analisi del compost (Regione Piemonte, DIVAPRA, Ipla, ARPA, 1998; Metodi di analisi dei compost. Collana Ambiente n.6; UNI 10790 per l'indice di respirazione statico).

Tabella 3

PARAMETRI	UNITA' DI MISURA	FOS	COMPOST DA FANGHI	D.C.I. 27/07/84
Materiali inerti	*%s.s.*	**20,24**	<3	*≤3*
Vetri (vaglio)	*% s.s. >3 mm*	**11,87**	assenti	*≤3*
Vetri (quantità)	*%s.s.*	**15,07**	assenti	*≤3*
Materie plastiche	*%s.s.*	**1,47**	assenti	*≤1*
Materiali ferrosi	*%s.s.*	0,05	assenti	*≤0,5*
Umidità	*% t.q.*	33,37	**52,66**	*≤45*
Carbonio organico totale	*%s.s.*	20,64	24,12	*n.p.*
Sostanza organica	*%s.s.*	**39,29**	44,03	*≥40*
Sostanza umificata	*%s.s.*	21,25	23,57	*>20*
Rapporto C/N	-	18,4	14,1	*<30*
Azoto totale	*%s.s.*	1,12	1,71	*>1*
P_2O_5	*%s.s.*	0,63	1,98	*>0,5*
K_2O	*%s.s.*	0,61	0,42	*>0,4*
Granulometria	*mm*	<2	<2	*0,5-25*
Salmonelle	*n°/50 g*	assenti	assenti	*assenti*
Semi infestanti	*n°/50 g*	assenti	assenti	*assenti*
pH	*unità di pH*	8,34	6,99	*6-8,5*
Arsenico totale	*mg/kg s.s.*	<0,5	<0,5	*≤10*
Cadmio totale	*mg/kg s.s.*	1,65	2,1	*≤10*
Cromo III	*mg/kg s.s.*	70	212	*≤500*
Cromo VI	*mg/kg s.s.*	<0,5	<0,5	*≤10*
Mercurio totale	*mg/kg s.s.*	<0,5	1	*≤10*
Nichel totale	*mg/kg s.s.*	97	131	*≤200*
Piombo totale	*mg/kg s.s.*	487	115	*≤500*
Rame totale	*mg/kg s.s.*	368	467	*≤600*
Zinco totale	*mg/kg s.s.*	485	1643	*≤2500*
Indice di respirazione	*mgO_2/kgVS*h*	566	125	*n.p.*
Indice di germinazione	*%*	8,49	80,85	*n.p.*

n.p. = parametro non presente
In grassetto i parametri che non rientrano nei limiti della DCI 27/07/84

Miscuglio per l'inerbimento – E' stato utilizzato un miscuglio commerciale di specie erbacee graminacee e leguminose fra i più comunemente utilizzati nella costituzione dei prati permanenti:

1. *Lolium italicum* A. Br. 27%
2. *Dactylis glomerata* L. 10%
3. *Medicago lupulina* L. 6%
4. *Trifolium pratense* L. 5%
5. *Poa pratensis* L. 8%
6. *Lolium perenne* L.15%
7. *Lotus corniculatus* L.4%
8. *Onobrychis sp.* 5%
9. *Trifolium repens* L. 5%
10. *Festuca pratensis* Hudson 15%

Figura 2

Messa a punto delle parcelle

Sono state realizzate 11 parcelle di 5×5×1,30 m, nelle quali sono stati miscelati o stratificati in varie proporzioni suolo e FOS, utilizzando come testimoni sia il suolo puro, sia suolo stratificato con compost da fanghi e verde.

Ogni parcella è stata costituita a partire dallo scavo di una trincea (Fig 2) con lieve pendenza verso valle per agevolare il deflusso delle acque di percolazione verso un pozzetto di raccolta. I pozzetti sono stati collegati al sistema di raccolta delle acque della discarica, al fine del corretto smaltimento dei reflui in eccesso. Le parcelle sono state rivestite con telo HDPE, quindi riempite con i substrati da testare, ossia: sul fondo uno strato (circa 20 cm) di ciottoli a tessitura molto grossolana con funzione drenante, quindi suolo e FOS (o compost) in miscelazione o stratificazione secondo quanto riportato negli schemi 1 e 2 (Fig 3 e Fig 5), ed infine uno strato di circa 10 cm di suolo puro.

Figura 3

suolo di copertura 10 cm	**schema 1**
miscela FOS + suolo	
strato drenante	

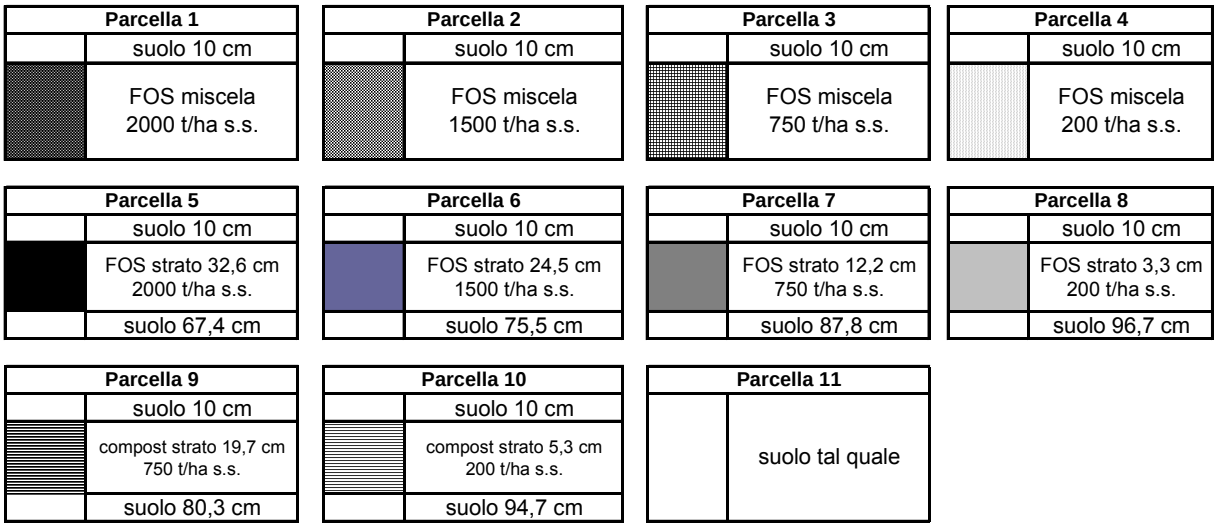
suolo di copertura 10 cm	**schema 2**
strato di FOS o compost	
strato di suolo	
strato drenante	

Le dosi utilizzate nelle 11 parcelle sono riportate nella figura (Fig 4) che segue.

Figura 4

N° parcella	Modalità di riempimento	Carichi unitari FOS o compost
1	miscela FOS + suolo	2000 t/ha s.s.
2	miscela FOS + suolo	1500 t/ha s.s.
3	miscela FOS + suolo	750 t/ha s.s.
4	miscela FOS + suolo	200 t/ha s.s.
5	strati FOS e suolo	2000 t/ha s.s.
6	strati FOS e suolo	1500 t/ha s.s.
7	strati FOS e suolo	750 t/ha s.s.
8	strati FOS e suolo	200 t/ha s.s.
9	strati compost e suolo	750 t/ha s.s.
10	strati compost e suolo	200 t/ha s.s.
11	suolo	-

Figura 5



Gli spessori degli strati di FOS e compost delle diverse parcelle sono stati determinati a partire dai valori di densità ed umidità medi delle matrici; durante la posa dei materiali nelle parcelle si è cercato di rispettare il più possibile, compatibilmente con la "sensibilità operativa" dei mezzi utilizzati, tali indicazioni.

La scelta di testare per ciascuna concentrazione di FOS la distribuzione sia in miscela sia in stratificazione è nata dall'esigenza di capire quale sia la modalità di utilizzo più appropriata da un punto di vista ambientale. Il carico unitario inferiore (200 t di sostanza secca per ettaro) utilizzato nella sperimentazione corrisponde al valore indicato della Comunità Europea "*European Commission - Directorate General - Environment - Directorate A - Sustainable Development and Policy Support - ENV.A.2 - Sustainable Resources: "Biological treatment of biowaste" - 2nd draft (12/02/2001)*". In considerazione di tale carico e della necessità di conoscere gli effetti ambientali correlati all'utilizzo di dosi differenti, si sono testati carichi superiori (fino ad un massimo di 10 volte il limite indicato di 200 t di sostanza secca per ettaro).

Monitoraggio

Il monitoraggio della vegetazione, dei substrati e delle acque di percolazione è stato eseguito da luglio 2002 a novembre 2004.

Per quanto riguarda la vegetazione, durante tutto il periodo sono stati monitorati il grado di sviluppo delle specie seminate e delle eventuali infestanti; nell'autunno 2002 e a fine giugno 2004 è stata valutata in ogni parcella la produzione di sostanza secca da parte del cotico erboso mediante sfalcio e pesatura dopo essiccazione. Nel 2003 non è stato effettuato lo sfalcio a causa della stagione calda e siccitosa che ha fortemente ostacolato la crescita della vegetazione.

Lo studio delle modificazioni del suolo indotte dalla matrice aggiunta è stato condotto mediante caratterizzazione chimica e fisica dei substrati posti nelle parcelle, secondo le metodologie ufficiali di analisi dei suoli ("Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo", D.M. 13/09/1999, Gazz. Uff. Suppl. Ordin. N. 248 del 21/10/1999).

La caratterizzazione completa dei substrati è stata eseguita due volte, nell'autunno 2002 e nell'autunno 2003.

Nel caso delle stratificazioni sono stati individuati ed analizzati tutti gli orizzonti presenti.

Tutti i campioni sono stati sottoposti ad analisi dei seguenti parametri:

- pH in acqua (metodo potenziometrico)
- tessitura apparente (metodo del levigatore alla pipetta secondo Esenwein)
- carbonio organico totale (TOC) (metodo Walkey and Black)
- azoto totale (metodo Kjeldhal)

- capacità di scambio cationico (CSC) e basi di scambio (calcio, magnesio e potassio) (metodo con bario cloruro a pH 8,1; determinazione delle basi per spettrofotometria ad assorbimento atomico)
- fosforo assimilabile (metodo Olsen)
- metalli pesanti in forma totale, assimilabile e solubile: zinco, rame, nichel, cromo, piombo e cadmio (metalli totali: mineralizzazione per ebollizione in acqua regia; metalli estraibili: estrazione secondo Lakanen-Erviö con EDTA a pH 4,65; metalli solubili: estrazione con acqua deionizzata in pasta satura. In tutti i casi la determinazione degli elementi è stata eseguita per spettrofotometria ad assorbimento atomico a fiamma e fornetto di grafite).

Per il controllo delle acque di percolazione sono stati effettuati otto prelievi dai pozzetti di raccolta dei percolati di ciascuna parcella fra il luglio 2002 e il novembre 2004. I prelievi sono stati eseguiti sul percolato fresco all'atto della fuoriuscita dal tubo drenante di ogni parcella.
Sono stati determinati i seguenti parametri:

- pH
- carbonio organico totale (TOC)
- azoto totale
- fosforo totale
- metalli pesanti totali: zinco, rame, nichel, cromo, piombo, cadmio.

Le concentrazioni di metalli totali sono state determinate secondo i metodi ufficiali IRSA-CNR per l'analisi delle acque, mentre per carbonio organico, azoto e fosforo sono state applicate le metodologie di analisi del compost opportunamente adattate (Regione Piemonte, DIVAPRA, IPLA, ARPA, 1998. Metodi di analisi dei compost. Collana Ambiente n. 6).
La sperimentazione in campo è stata messa a punto in modo da evidenziare eventuali effetti negativi conseguenti all'aggiunta di FOS al suolo, soprattutto riguardo al rilascio di metalli pesanti nel sistema. Tuttavia si sono cercate conferme dei risultati attraverso prove di dissoluzione in laboratorio, eseguite in condizioni standardizzate (temperatura, rapporto solidi/liquidi, tempi di contatto), su FOS, compost e miscele impiegati in campo. Inoltre sono stati valutati i rilasci di metalli pesanti in soluzione anche a differenti condizioni di pH.
A tale scopo è stata utilizzata la tecnica di dissoluzione in sistema chiuso, ponendo a contatto il campione (FOS usata in campo pura, compost puro, e miscele FOS-suolo alle dosi di campo) con tampone fosfato a 3 differenti valori di pH iniziale: 4,8, 6,4 e 8,2. Dopo 64 ore di agitazione meccanica continua in sistema termostatato a 30°C sono state misurate le concentrazioni di metalli pesanti in soluzione all'equilibrio, mediante spettrofotometria di assorbimento atomico a fornetto di grafite (HGA-AAS).

Risultati e discussione

Vegetazione

All'inizio della sperimentazione la vegetazione ha avuto difficoltà nello sviluppo alle due dosi più elevate di FOS (2000 e 1500 t/ha s.s.), soprattutto quando i materiali venivano miscelati (Fig 6 e 7). Il fenomeno è stato attribuito in primo luogo all'impedimento al drenaggio, a causa del quale le parcelle 1 e 2 sono rimaste allagate da luglio a novembre 2002.

Figura 6 – Parcella n. 1 nel mese di agosto 2002

Figura 7

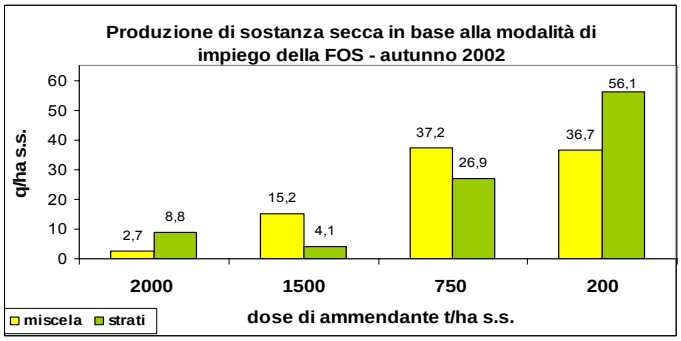
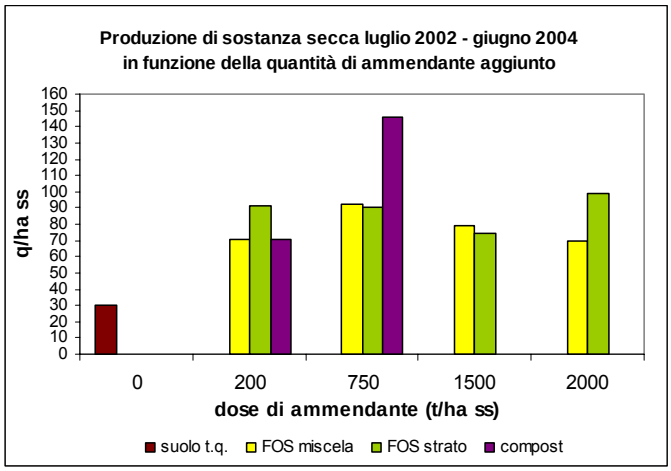


Figura 8



Tuttavia non è da escludere un'azione fitotossica del substrato con queste concentrazioni di FOS.

Successivamente, grazie anche all'andamento secco della stagione vegetativa 2003, in queste parcelle la vegetazione si è sviluppata, ma il popolamento era costituito esclusivamente da *Echinochloa crus galli* (giavone comune, nota specie infestante del riso, resistente ad ambienti sommersi ed asfittici).

Al diminuire della dose di FOS si è rilevato un progressivo aumento delle specie appartenenti al miscuglio di semina rispetto alle infestanti; tra le specie seminate hanno prevalso le graminacee (*Lolium perenne, Lolium italicum, Dactylis glomerata*). Le dicotiledoni del miscuglio di semina (in particolare *Trifolium* e *Medicago*) si sono riscontrate soltanto nelle parcelle contenenti le dosi inferiori di FOS (750 e 200 t/ha s.s.) e nelle parcelle contenenti compost e suolo tal quale, dimostrando quindi una maggiore sensibilità nei confronti della FOS presente ad alte concentrazioni.

La produzione di sostanza secca in tutti i casi trattati (FOS, compost a qualsiasi dose) è risultata superiore a quella del suolo tal quale (Fig 8), tuttavia la produzione delle parcelle a dosi di FOS elevate (soprattutto in miscela) è stata quasi esclusivamente di giavone e poche altre infestanti. Dal grafico si può notare come la produttività del cotico erboso non aumenti oltre la dose di 750 t/ha s.s., portando alla conclusione che, oltre ad una forte selettività nei confronti delle specie presenti, non venga esercitato alle dosi maggiori un ulteriore effetto sulla fertilità dei substrati.

Influenza della FOS sulle proprietà fisiche e chimiche del suolo

Nella tabella che segue (Tab 4) sono riportati i valori dei principali parametri chimici e fisici dei substrati prelevati nelle 11 parcelle sperimentali.

La caratterizzazione completa dei substrati è stata eseguita prelevando campioni di substrato da ciascuna vasca sperimentale: per quanto concerne le parcelle contenenti suolo e FOS in miscela (parcelle n° 1, 2, 3 e 4) e la parcella contenente soltanto suolo (parcella n° 11), è stato prelevato un unico campione, ottenuto mediante la realizzazione di più sottocampioni, mentre nelle parcelle in cui i materiali erano disposti a strati si è provveduto a distinguere i differenti "orizzonti", sempre ricavando i singoli campioni da più sottocampioni.

Tabella 4

	n. lab.	descrizione		pH H_2O	s.g.%	s.f.%	l.g.%	l.f.%	a%	C org %	S.O.%	N tot %	C/N	CSC $BaCl_2$ me/100g	Ca sc	Mg sc	K sc	SB %	P ass mg/kg
	1/1	FOS miscela	2000t/ha ss	7,9	35,3	26,6	10,0	17,6	10,5	2,20	3,78	0,27	8,3	10,27	7,21	1,50	1,56	100	30,4
	2/1		1500t/ha ss	7,89	40,1	22,4	10,4	16,0	11,1	1,69	2,91	0,18	9,4	9,00	4,95	1,00	0,71	74	25,8
	3/1		750 t/ha ss	7,58	40,2	24,0	8,9	15,2	11,7	0,90	1,55	0,11	8,5	9,13	6,50	1,58	0,31	92	14,7
	4/1		200 t/ha ss	6,12	37,4	26,4	8,6	16,0	11,6	0,40	0,69	0,08	4,9	9,16	5,55	2,25	0,14	87	9,7
	5/1	FOS in strato 2000 t/ha ss	0-15 cm	4,85	40,0	25,5	9,4	15,0	10,1	0,47	0,81	0,07	7,1	6,82	2,15	2,00	0,52	69	10,6
	5/2		15-50 cm	7,83	34,7	23,9	11,5	19,4	10,5	7,09	12,19	0,71	10,0	22,80	14,24	5,00	3,56	100	61,1
	5/3		50-100 cm	7,78	40,7	24,7	8,4	15,5	10,7	1,76	3,03	0,14	12,4	8,92	4,94	1,33	2,64	100	25,6
	6/1	FOS in strato 1500 t/ha ss	0-15 cm	5,75	39,5	24,2	7,6	18,0	10,7	0,18	0,31	0,05	3,4	2,76	0,00	2,33	0,43	100	15,2
	6/2		15-40 cm	7,76	40,5	21,6	9,7	18,9	9,3	6,74	11,59	0,66	10,2	19,71	15,28	3,33	1,09	100	67,0
	6/3		40-100cm	7,6	41,0	23,0	9,5	14,5	12,0	1,18	2,03	0,18	6,6	7,89	5,13	1,58	1,18	100	28,3
	7/1	FOS in strato 750 t/ha ss	0-20 cm	5,7	39,4	23,1	9,0	16,6	11,9	0,17	0,29	0,05	3,7	5,95	3,10	2,33	0,52	100	6,1
	7/2		20-40 cm	7,8	41,6	21,5	10,0	18,3	8,6	5,53	9,51	0,57	9,8	14,38	7,89	4,42	2,08	100	47,3
	7/3		40-100 cm	7,27	33,9	27,3	10,2	15,7	12,9	0,83	1,43	0,10	8,5	7,84	4,10	1,33	2,41	100	11,3
	8/1	FOS in strato 200 t/ha ss	0-15 cm	5,18	39,3	23,6	9,0	15,1	13,0	0,16	0,28	0,04	3,8	6,87	2,70	2,33	0,22	76	9,1
	8/2		15-23 cm	7,48	36,0	27,3	10,3	17,1	9,3	1,73	2,98	0,17	10,2	9,91	7,71	1,92	0,28	100	17,3
	8/3		23-100 cm	5,49	37,6	25,3	9,0	16,1	12,0	0,49	0,84	0,04	11,2	6,90	3,60	1,75	0,14	80	7,9
	9/1	Compost in strato 750 t/ha ss	0-10 cm	4,7	41,7	21,8	10,3	14,1	12,1	0,69	1,19	0,05	13,2	6,26	2,90	1,50	0,86	84	8,3
	9/2		10-30 cm	6,91	35,8	27,3	10,0	14,8	12,1	6,80	11,70	0,53	12,8	21,30	15,60	2,83	2,87	100	45,3
	9/3		30-100 cm	5,74	35,5	27,8	8,9	15,7	12,1	2,08	3,58	0,16	13,0	11,86	9,73	1,83	0,29	100	30,5
	10/1	Compost in strato 200 t/ha ss	0-12 cm	5,02	35,4	25,0	8,9	16,5	14,2	0,31	0,53	0,03	10,9	6,18	3,00	2,25	0,14	87	6,3
	10/2		12-20 cm	6,92	37,4	24,7	11,0	15,9	11,0	4,47	7,69	0,32	13,9	18,83	16,20	2,50	0,13	100	57,9
	10/3		20-100 cm	5,59	38,9	24,2	9,9	16,1	10,9	0,91	1,57	0,08	12,0	5,91	3,92	1,83	0,15	100	14,1
	11/1	suolo	suolo TQ	4,64	38,4	27,6	8,7	14,1	11,2	0,24	0,41	0,04	6,1	5,96	0,90	1,83	0,09	47	6,0

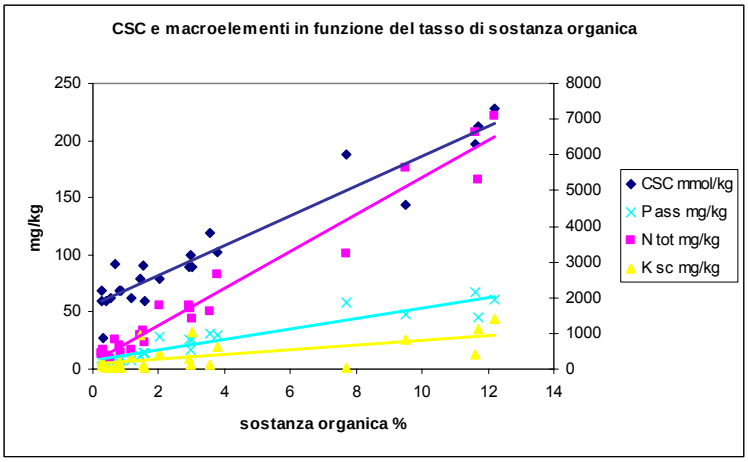
Modificazioni delle proprietà fisiche del suolo

Le dosi maggiori di FOS (2000 e 1500 t/ha s.s.), soprattutto in miscela, hanno profondamente modificato la capacità drenante del suolo, che in occasioni di precipitazioni frequenti ed abbondanti è rimasto sommerso anche per diverse settimane.

Non si sono rilevate invece variazioni significative della tessitura rispetto al suolo tal quale. Essa rimane ascrivibile in tutti i casi alla classe del franco-sabbioso.

Modificazioni delle proprietà chimiche del suolo

Figura 9



Poichè sia la FOS, sia il compost, hanno pH superiore al suolo tal quale, l'aggiunta di dosi crescenti di entrambi ha determinato un aumento del pH fino a farlo coincidere, alle dosi più elevate, con quello dell'ammendante stesso.

Il tasso di sostanza organica è aumentato proporzionalmente al contenuto di ammendante aggiunto. Nei casi in cui i materiali erano stati posti in strati si è notata, sia all'esame macroscopico, sia dai parametri analitici, una tendenza alla miscelazione, per effetto della lisciviazione di suolo superficiale nello strato di materiale organico e di materiale organico nell'orizzonte di suolo in profondità con le acque di percolazione. Proporzionalmente anche all'aumentare del contenuto in sostanza organica sono aumentati i contenuti dei tre macroelementi della fertilità (Fig 9) (azoto totale, potassio scambiabile e fosforo assimilabile), così come la capacità di scambio cationico, indicando un miglioramento anche nella capacità di immagazzinare nutritivi in forma disponibile sul medio-lungo termine. La saturazione in basi è aumentata con il pH e con il tasso di sostanza organica.

Modificazioni delle concentrazioni di metalli pesanti nel suolo

Nella tabella (Tab 5) che segue è riportato il frazionamento dei metalli pesanti nonchè i rapporti fra le varie forme (estraibile/totale, solubile/totale).

Tabella 5

	n. lab.	descrizione		Zinco					Rame					Nichel					Cromo					Piombo				
				tot mg/kg	estr mg/kg	sol mg/kg	est/ tot %	sol/ tot %	tot mg/kg	estr mg/kg	sol mg/kg	est/ tot %	sol/ tot %	tot mg/kg	estr mg/kg	sol mg/kg	est/ tot %	sol/ tot %	tot mg/kg	estr mg/kg	sol mg/kg	est/ tot %	sol/ tot %	tot mg/kg	estr mg/kg	sol mg/kg	est/ tot %	sol/ tot %
	1/1	FOS miscela	2000t/ha ss	148,1	36,1	0,152	24%	0,10%	88,2	44,9	0,435	51%	0,49%	36,2	3,6	0,132	10%	0,36%	39,8	1,574	<0,004	4%	nd	192,9	136,0	0,010	70%	0,01%
	2/1		1500t/ha ss	114,4	20,1	0,148	18%	0,13%	58,1	30,9	0,196	53%	0,34%	36,7	3,4	0,113	9%	0,31%	32,9	1,213	<0,004	4%	nd	104,4	88,0	0,006	84%	0,01%
	3/1		750 t/ha ss	88,2	7,9	0,125	9%	0,14%	41,0	17,1	0,155	42%	0,38%	35,8	2,1	0,111	6%	0,31%	34,8	0,491	<0,004	1%	nd	60,6	59,0	0,003	97%	0,00%
	4/1		200 t/ha ss	65,9	2,8	0,125	4%	0,19%	22,9	4,4	0,066	19%	0,29%	32,8	1,7	0,025	5%	0,08%	28,4	0,331	<0,004	1%	nd	32,8	7,0	0,003	21%	0,01%
	5/1	FOS in strato 2000 t/ha ss	0-15 cm	62,8	3,8	0,105	6%	0,17%	20,1	2,5	0,035	12%	0,17%	32,4	1,6	0,031	5%	0,10%	26,7	0,259	<0,004	1%	nd	24,5	4,9	0,003	20%	0,01%
	5/2		15-50 cm	332,2	32,5	0,231	10%	0,07%	307,3	146,5	0,589	48%	0,19%	53,2	8,9	0,090	17%	0,17%	42,3	1,969	<0,004	5%	nd	921,6	432,5	0,037	47%	0,00%
	5/3		50-100 cm	99,2	34,0	0,194	34%	0,20%	50,1	27,1	0,368	54%	0,73%	34,2	2,2	0,204	6%	0,60%	33,4	1,082	<0,004	3%	nd	98,4	47,5	0,025	48%	0,03%
	6/1	FOS in strato 1500 t/ha ss	0-15 cm	64,4	3,9	0,115	6%	0,18%	21,0	3,1	0,020	14%	0,10%	33,2	0,4	0,010	1%	0,03%	27,2	0,410	<0,004	2%	nd	27,5	5,6	0,004	20%	0,01%
	6/2		15-40 cm	320,0	22,1	0,180	7%	0,06%	219,3	115,5	0,383	53%	0,17%	55,6	7,7	0,028	14%	0,05%	62,1	2,245	<0,004	4%	nd	489,9	262,0	0,012	53%	0,00%
	6/3		40-100cm	107,5	46,4	0,166	43%	0,15%	53,7	31,2	0,193	58%	0,36%	35,6	3,8	0,030	11%	0,08%	31,4	1,240	<0,004	4%	nd	105,0	52,5	0,015	50%	0,01%
	7/1	FOS in strato 750 t/ha ss	0-20 cm	63,1	3,1	0,113	5%	0,18%	20,7	3,0	0,018	14%	0,09%	34,3	1,1	0,002	3%	0,01%	26,1	0,340	<0,004	1%	nd	26,9	5,6	0,005	21%	0,02%
	7/2		20-40 cm	266,7	13,9	0,195	5%	0,07%	189,6	80,5	0,285	42%	0,15%	51,4	6,4	0,025	12%	0,05%	54,5	1,833	<0,004	3%	nd	624,3	331,0	0,008	53%	0,00%
	7/3		40-100 cm	78,3	15,4	0,054	20%	0,07%	31,9	13,3	0,129	41%	0,40%	37,6	2,9	0,072	8%	0,19%	27,1	0,936	<0,004	3%	nd	70,8	8,2	0,015	12%	0,02%
	8/1	FOS in strato 200 t/ha ss	0-15 cm	60,1	3,2	0,111	5%	0,18%	18,9	2,2	0,030	11%	0,16%	36,0	2,0	0,002	5%	0,01%	24,1	0,271	<0,004	1%	nd	24,1	5,2	0,003	21%	0,01%
	8/2		15-23 cm	108,7	4,1	0,054	4%	0,05%	57,2	25,5	0,064	45%	0,11%	39,7	2,6	0,008	7%	0,02%	32,7	0,727	<0,004	2%	nd	151,0	77,0	0,007	51%	0,00%
	8/3		23-100 cm	63,4	4,2	0,078	7%	0,12%	19,7	3,6	0,099	18%	0,50%	34,7	1,7	0,126	5%	0,36%	26,1	0,329	<0,004	1%	nd	24,8	10,3	0,007	42%	0,03%
	9/1	Compost in strato 750 t/ha ss	0-10 cm	64,8	7,0	0,054	11%	0,08%	18,8	2,2	0,011	12%	0,06%	33,4	0,9	0,002	3%	0,01%	26,9	0,243	<0,004	1%	nd	17,1	3,6	0,005	21%	0,03%
	9/2		10-30 cm	670,2	44,5	0,107	7%	0,02%	171,2	108,0	0,204	63%	0,12%	56,1	13,8	0,057	25%	0,10%	88,8	3,605	<0,004	4%	nd	63,0	45,6	0,016	72%	0,03%
	9/3		30-100 cm	187,5	69,2	0,219	37%	0,12%	57,2	23,0	0,028	40%	0,05%	42,7	6,0	0,018	14%	0,04%	44,0	2,238	<0,004	5%	nd	30,2	11,9	0,014	39%	0,05%
	10/1	Compost in strato 200 t/ha ss	0-12 cm	68,0	4,1	0,072	6%	0,11%	19,0	1,7	0,023	9%	0,12%	38,5	2,2	0,001	6%	0,00%	28,3	0,464	<0,004	2%	nd	19,0	3,2	0,005	17%	0,03%
	10/2		12-20 cm	348,6	23,0	0,710	7%	0,20%	118,8	58,5	0,158	49%	0,13%	53,3	8,2	0,009	15%	0,02%	70,6	2,902	<0,004	4%	nd	45,8	28,8	0,040	63%	0,09%
	10/3		20-100 cm	113,8	40,5	0,083	36%	0,07%	33,0	12,8	0,011	39%	0,03%	41,3	4,6	0,048	11%	0,12%	34,8	1,689	<0,004	5%	nd	25,6	6,1	0,005	24%	0,02%
	11/1	suolo	suolo TQ	55,9	1,8	0,054	3%	0,10%	14,9	0,7	0,035	4%	0,23%	32,3	1,6	0,097	5%	0,30%	25,6	0,324	<0,004	1%	nd	20,1	2,0	0,004	10%	0,02%

Le concentrazioni totali sono state comparate con i limiti di legge rispettivamente per i suoli ad uso residenziale e industriale (D.M. 471/99), agricolo (Delibera del Consiglio Regione Piemonte 8 marzo 1995, n. 1005-C.R. 4351) (tab 6).

Tabella 6

elemento	soglie limite in mg/kg		
	D.M. 471/99 limite residenziale	D.M. 471/99 limite industriale	DCR 1005-4351 limite agrario
Zinco totale	150	1500	500
Rame totale	120	600	150
Nichel totale	120	500	150
Cromo totale	150	800	500
Piombo totale	100	1000	375
Cadmio totale	2	15	5

I contenuti in metalli pesanti totali sono risultati proporzionali alla quantità di sostanza organica presente in ciascun campione, e legate anche al contenuto iniziale delle diverse matrici (FOS, compost, suolo). Esse tendono a risultare massime negli orizzonti costituiti da FOS e compost tal quali, ma si possono evidenziare fenomeni di lisciviazione negli orizzonti più profondi. Le concentrazioni di nichel, cromo e cadmio totale non oltrepassano in alcun caso i limiti di legge per i suoli ad uso industriale, agrario, residenziale. Le concentrazioni di zinco totale sono superiori alle soglie-limite residenziale negli orizzonti in cui era stato stratificato ammendante puro, con i massimi valori nelle parcelle contenenti compost. Per quanto riguarda il rame, nelle stesse condizioni viene superata la soglia-limite agraria. Per quanto riguarda il piombo totale, infine, il superamento dei limiti residenziali si verifica negli strati in cui era stata posta FOS pura e nelle parcelle nelle quali era stata posta FOS in miscela a dosi più elevate.
In nessun caso per nessun metallo vengono superati i limiti industriali.
Le concentrazioni di metalli in forma estraibile ed i rapporti estraibile/totale sono indicatori della disponibilità dei metalli per i vegetali e della mobilità degli stessi nella soluzione circolante. Le disponibilità dei metalli pesanti sono molto variabili; in tutti i casi in cui è stato aggiunto ammendante organico esse sono superiori al suolo tal quale, indicando che i metalli nelle frazioni aggiunte sono anche più facilmente disponibili. La disponibilità massima si ha per il piombo, seguito da cadmio, rame e zinco. Alla dose minima di FOS le disponibilità di zinco, nichel e cromo sia in miscela, sia a strati, non sono dissimili da quelle del suolo tal quale. Infine la disponibilità di tutti i metalli tende ad essere più elevata anche nell'orizzonte di suolo profondo delle parcelle a strati, confermando l'esistenza di fenomeni di lisciviazione in atto. Le concentrazioni di metalli in forma solubile sono tuttavia molto basse (per cadmio e cromo inferiori al limite di rilevabilità), così come i relativi rapporti con le quantità totali.

Influenza della FOS sulla qualità dei percolati

Nella tabella che segue (Tab 7) sono riportate le concentrazioni di azoto, fosforo, rame e zinco totali nei percolati.

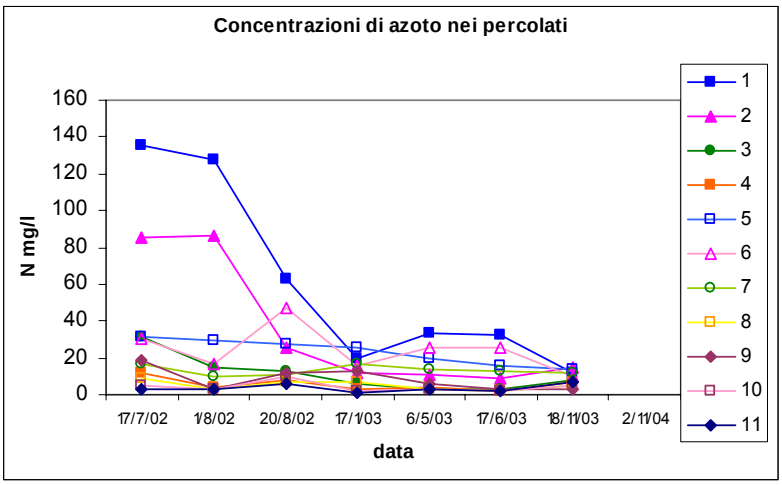
Tabella 7

n.	Azoto totale mg/l								n.	Fosforo totale mg/l							
	17/7/02	1/8/02	20/8/02	17/1/03	6/5/03	17/6/03	18/11/03	2/11/04		17/07/02	01/08/02	20/08/02	17/01/03	06/05/03	17/06/03	18/11/03	02/11/04
1	135,6	128,0	62,7	19,3	33,8	32,7	11,5	nd	1	0,140	0,230	0,130	0,210	0,340	0,270	0,361	0,287
2	85,8	85,9	25,8	11,8	10,7	8,4	14,8	nd	2	0,070	0,120	0,130	0,110	0,140	0,260	0,201	0,188
3	31,0	14,4	13,1	6,2	3,4	3,4	8,2	nd	3	0,050	0,070	0,074	0,060	0,330	0,400	0,402	0,164
4	11,4	4,2	7,8	2,7	3,9	2,2	6,6	nd	4	0,070	0,037	0,074	0,060	0,420	0,360	0,334	0,120
5	31,0	29,7	27,1	25,2	19,2	15,7	nd	nd	5	0,030	0,070	0,130	0,060	0,310	0,270	0,401	0,326
6	30,2	17,0	46,7	16,1	25,4	25,9	9,9	nd	6	0,070	0,100	0,230	0,060	0,380	0,420	0,417	0,288
7	16,3	9,9	10,5	17,2	13,5	12,4	11,5	nd	7	0,070	0,050	0,130	0,080	0,380	0,250	0,231	0,251
8	9,0	3,3	6,5	6,6	2,8	2,2	4,9	nd	8	0,050	0,050	0,070	0,135	0,340	0,270	0,368	0,272
9	7,4	2,6	12,1	12,7	5,6	2,8	3,3	nd	9	0,140	0,169	0,300	0,105	0,350	0,310	0,317	0,188
10	4,9	2,6	9,8	1,6	3,4	2,2	4,9	nd	10	0,028	0,050	0,122	0,157	0,330	0,270	0,236	0,174
11	3,3	2,6	6,2	1,1	2,8	1,7	6,6	nd	11	0,037	0,050	0,122	0,135	0,370	0,450	0,218	0,181

n.	Zinco totale mg/l								n.	Rame totale mg/l							
	17/07/02	01/08/02	20/08/02	17/01/03	06/05/03	17/06/03	18/11/03	02/11/04		17/07/02	01/08/02	20/08/02	17/01/03	06/05/03	17/06/03	18/11/03	02/11/04
1	0,40	1,52	0,30	0,05	0,06	0,08	0,06	0,05	1	0,20	0,18	0,12	0,11	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
2	0,36	0,68	0,26	0,05	0,04	0,04	0,01	0,02	2	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
3	0,14	1,20	0,28	0,05	0,05	0,03	0,02	0,02	3	<0,10	<0,10	<0,10	0,12	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
4	0,18	0,48	0,34	0,17	0,07	0,02	0,04	0,02	4	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
5	<0,01	0,83	0,42	0,32	0,21	0,23	0,03	0,04	5	0,26	0,15	0,12	0,14	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
6	<0,01	0,96	0,98	0,08	0,12	0,15	0,07	0,03	6	<0,10	<0,10	<0,10	0,11	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
7	<0,01	0,80	0,26	0,09	0,08	0,16	0,02	0,03	7	<0,10	<0,10	<0,10	0,12	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
8	<0,01	0,52	0,18	0,11	0,07	0,08	0,01	0,02	8	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
9	<0,01	1,00	0,62	0,26	0,14	0,12	0,05	0,06	9	<0,10	<0,10	<0,10	0,11	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
10	<0,01	1,08	0,40	0,03	0,12	0,11	0,01	0,05	10	<0,10	<0,10	<0,10	0,11	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
11	<0,01	0,48	0,90	0,02	0,09	0,10	0,04	0,02	11	<0,10	<0,10	<0,10	0,11	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Ai fini di una valutazione ambientale sono stati utilizzati, a titolo puramente esemplificativo, i limiti previsti dal D.Lgs. 152/99, Allegato 5, tabella 4 “Limiti di emissione per le acque reflue urbane ed industriali che recapitano sul suolo”.

Figura 10



Le concentrazioni di elementi in soluzione seguono nel tempo un andamento simile a quello della sostanza organica, mostrando valori massimi nelle fasi iniziali (effetto dilavamento), per poi attestarsi a livelli molto bassi. Piombo, cadmio, nichel e cromo non raggiungono in alcun caso il limite di rilevabilità strumentale (0,04 mg/l per nichel, cromo e piombo; 0,004 mg/l per il cadmio), e non oltrepassano dunque le soglie stabilite dalla normativa succitata, presa in questo caso come riferimento. Le concentrazioni di rame superano la soglia (0,10 mg/l) soltanto nei primi prelievi alla massima dose di FOS, sia in miscela sia in strato, mentre quelle di zinco superano la soglia (0,50 mg/l) in tutti i casi tranne nel suolo tal quale nei primi prelievi, quindi in tutte le parcelle si attestano su valori inferiori ai limiti. Le concentrazioni di azoto totale (Fig 10) superano la soglia (15 mg/l) durante la maggior parte del periodo di monitoraggio nelle parcelle, sia in strato sia in miscela, contenenti le due dosi maggiori di FOS; negli ultimi prelievi in tutti i casi le concentrazioni risultano inferiori alla soglia. Le concentrazioni di fosforo totale sono sempre inferiori al limite di legge (2 mg/l).

Simulazioni in laboratorio

Nella tabella che segue (Tab 8) sono riportate le concentrazioni di metalli pesanti in soluzione all'equilibrio dopo 64 ore di agitazione in continuo con tampone fosfato a differenti valori di pH iniziale ed alla temperatura di 30°C.

Tabella 8

matrice	pH iniziale	risultati dopo 64 ore di agitazione continua a 30°C						
		pH	Zn mg/l	Cu mg/l	Ni mg/l	Cr mg/l	Pb mg/l	Cd microg/l
miscela 200 t/ha ss	4,8	4,8	0,05	0,13	0,1	<0,04	0,08	<0,004
	6,4	6,4	0,01	0,14	0,09	<0,04	0,07	<0,004
	8,2	8	0,01	0,15	0,09	<0,04	0,04	<0,004
miscela 750 t/ha ss	4,8	4,8	0,05	0,13	0,1	<0,04	0,08	0,26
	6,4	6,5	0,03	0,37	0,11	<0,04	0,09	0,28
	8,2	8,1	0,03	0,5	0,11	<0,04	0,08	0,45
miscela 2000 t/ha ss	4,8	6	0,08	0,38	0,12	<0,04	0,11	0,24
	6,4	6,5	0,06	0,5	0,13	<0,04	0,09	0,4
	8,2	8	0,06	0,73	0,15	<0,04	0,09	0,7
FOS tal quale	4,8	6,4	0,34	1,26	0,37	<0,04	0,31	2,25
	6,4	6,7	0,35	1,82	0,43	<0,04	0,47	2,52
	8,2	7,6	0,55	2,33	0,54	<0,04	1,04	1,51
compost tal quale	4,8	5,8	0,25	0,48	0,17	<0,04	0,11	0,55
	6,4	6,7	0,24	0,75	0,21	<0,04	0,08	0,67
	8,2	7,4	0,17	1,18	0,24	<0,04	0,05	0,83

Il rilascio di rame, nichel e cadmio in tutti i casi aumenta con l'aumento del pH (quello del cadmio diminuisce con l'aumento del pH nel caso della FOS tal quale), mentre quello di zinco e piombo diminuisce con l'aumento del pH in tutti i casi tranne per la FOS tal quale. Le concentrazioni di cromo sono sempre inferiori al limite di rilevabilità.
Il compost, pur avendo contenuti in metalli totali più elevati rispetto alla FOS, mostra minore tendenza al rilascio in soluzione, suggerendo un'influenza da parte del maggior grado di stabilizzazione della matrice.

Conclusioni

I risultati ottenuti dal presente lavoro forniscono una serie di indicazioni sull'utilizzo della FOS in attività di recupero ambientale.
In primo luogo si può evidenziare come l'utilizzo della FOS non abbia determinato effetti ambientali negativi, se applicata a basse concentrazioni (200 t/ha s.s.). A concentrazioni fino a 750 t/ha s.s. gli effetti sono risultati poco rilevanti (rilascio solo nelle fasi iniziali di elementi eutrofizzanti nelle acque di percolazione - dilavamento iniziale). Discorso differente invece nel caso di utilizzo di concentrazioni superiori dove, soprattutto nelle fasi iniziali, si è verificato un drenaggio limitato con conseguenti fenomeni di idromorfia del substrato e un rilascio di elementi eutrofizzanti e metalli pesanti nelle acque di percolazione (1500, 2000 t/ha s.s.).
Gli effetti positivi legati alla capacità ammendante del materiale utilizzato, in termini di biomassa prodotta, evidenziano come non vi siano stati aumenti utilizzando concentrazioni superiori a 750 t/ha s.s..
Discorso differente per quanto riguarda la capacità di scambio e la disponibilità di macroelementi che invece risultano essere correlati alla quantità di sostanza organica presente e quindi alla FOS utilizzata.
Altro aspetto interessante è stato quello legato alla stabilità del materiale utilizzato; infatti si è rilevato che materiali aventi un grado di stabilizzazione superiore (IR_s più basso) tendono a rilasciare più difficilmente i metalli nonostante che in fase iniziale quest'ultimi siano presenti in concentrazioni più elevate.
Alla luce dei risultati sovra esposti, premesso che l'utilizzo della FOS in attività di recupero paesistico-ambientali ha come scopo fondamentale migliorare la fertilità del suolo ricostituito, favorendo l'attecchimento ed il mantenimento della copertura vegetale, si ritiene che questa debba essere concentrata negli orizzonti di suolo in cui la vegetazione può avvalersene, tenendo conto delle dosi massime oltre le quali si verificano fenomeni di fitotossicità o di selettività delle specie presenti. In queste condizioni gli asporti di elementi fertilizzanti (soprattutto azoto) da parte della vegetazione verrebbero massimizzati, riducendo il rischio di eutrofizzazione delle acque di percolazione.
Per tale motivo si ritiene che lo strato iniziale di suolo da ricostituire mediante l'aggiunta di FOS, non debba essere molto profondo, di norma non superiore a 50 cm e che le modalità di distribuzione siano preferenzialmente in miscela. Considerato che la sperimentazione prende in considerazione un terreno avente una profondità di circa 1 metro ed i risultati indicano impatti poco rilevanti fino ad un utilizzo di FOS pari a 750 t/ha s.s., la quantità complessiva di FOS da utilizzare dovrà essere proporzionalmente ridotta in funzione della profondità adottata (es. fino a 250 t/ha s.s. per applicazioni entro uno spessore di circa 30 cm) e delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo da ricostituire.
Naturalmente sull'impiego operativo della FOS intervengono una serie di fattori che se non opportunamente analizzati potrebbero vanificarne l'utilizzo.
Tra questi merita ricordare:

- la presenza di inquinanti, quali ad esempio i vetri, riducibili attraverso l'utilizzo di adeguate tecnologie (es. mediante l'adozione di sistemi di raffinazione densimetrici) o di adeguati sistemi di raccolta del vetro;
- la stabilizzazione del materiale;
- la presenza di sufficienti superfici disponibili da recuperare (ad esempio quelle relative alla superfici di cava rese disponibili dall'insieme delle attività estrattive che, nel caso specifico della Regione Piemonte, risultano non essere sufficienti per la produzione teorica di FOS a livello regionale);
- i costi di trasporto;
- la logistica: difficoltà di distribuire la produzione di pochi impianti su tutto il territorio regionale.