

## UTILIZZO DI FRAZIONE ORGANICA STABILIZZATA (FOS) NEL RECUPERO DI CAVE DI ARGILLA: MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI SULL'AMBIENTE

*P. Mantovi\**, *S. Piccinini\*\**, *L. Rossi\*\**, *R. Laraia\*\*\**, *A. M. Lanz\*\*\**, *M. Bergonzoni\*\*\*\**

**Sommario** – Gli effetti ambientali conseguenti all'aggiunta di frazione organica stabilizzata (FOS) di rifiuti urbani a materiali argillosi di cava, per la ricostruzione di substrati utilizzabili nei ripristini ambientali delle aree di estrazione, sono stati valutati in una prova sperimentale. Quattro parcelle sono state costituite per comparare gli effetti dei seguenti trattamenti:

- FOS alla dose di 100 t s.s./ha;
- FOS alla dose di 300 t s.s./ha;
- FOS alla dose di 500 t s.s./ha;
- terreno naturale agrario che copriva la cava.

La frazione organica stabilizzata è stata incorporata in uno spessore di 115 cm. In ogni parcella sono stati installati tensiometri e lisimetri a coppa porosa (da 25 a 115 cm di profondità) rispettivamente per monitorare i flussi idrici e campionare le acque di percolazione. Sistemi collettori sono stati installati per misurare e campionare le acque di deflusso superficiale. Sulle acque campionate sono stati determinati i parametri ST, SST, SV, SSV, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn. I substrati sono stati caratterizzati in maniera completa a inizio e fine prova, mentre nel corso della prova su campioni di suolo sono stati determinati ST, NO<sub>3</sub> e P-Olsen. Le caratteristiche agronomiche dei substrati sono migliorate all'aumentare della dose di FOS utilizzata, ma le importanti dotazioni di limo, accoppiate a elevati tenori naturali di sodio del materiale di cava, hanno contribuito allo sviluppo di condizioni di destrutturazione e bassa permeabilità dei terreni. Per questo la percolazione delle acque è stata molto limitata, mentre sono risultate importanti le quote di acqua di precipitazione defluite superficialmente. In queste acque comunque, così come all'interno dei suoli, le concentrazioni dei nutrienti, della sostanza organica e dei metalli pesanti sono risultate inferiori ai livelli di rischio definiti per la protezione dell'ambiente.

### USE OF STABILISED BIOWASTE IN CLAY QUARRY RESTORATION: MONITORING OF ENVIRONMENTAL EFFECTS

**Summary** – The environmental effects resulting from the addition of stabilised biowaste to quarry clay materials, to obtain suitable substrates for quarry restoration, were evaluated in an experimental trial. Four plots were set up to compare the effects of the following treatments:

\* Dott. Paolo Mantovi; Fondazione CRPA Studi Ricerche – Corso Garibaldi, 42 – 42100 Reggio Emilia – tel. 0522.436999, fax 0522.435142, e-mail: p.mantovi@crpa.it

\*\* Dott. Sergio Piccinini, Dott.ssa Lorella Rossi; Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA SpA) – Corso Garibaldi, 42 – 42100 Reggio Emilia – tel. 0522.436999, fax 0522.435142, e-mail: s.piccinini@crpa.it; l.rossi@crpa.it

\*\*\* Dott.ssa Rosanna Laraia, Dott. Andrea Lanz; APAT – Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici – Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma – tel. 06.50072646, fax 06.50072650, e-mail: laraia@apat.it; lanz@apat.it

\*\*\*\* Dott. Ing. Marco Bergonzoni; AGAC SpA – Servizi Energetici ed Ambientali – Via Gastinelli, 30 – 42100 Reggio Emilia – tel. 0522.297713, fax 0522.297503, e-mail: marco.bergonzoni@agac.it

- stabilised biowaste at the rate of 100 DM t/ha;
- stabilised biowaste at the rate of 300 DM t/ha;
- stabilised biowaste at the rate of 500 DM t/ha;
- natural soil from the top of the quarry.

The stabilised biowaste was mixed to a depth of 115 cm. Plots were equipped with tensiometers and ceramic cup samplers (from 25 to 115 cm deep) to monitor water fluxes in soils and sample leaching water. Collector systems were installed to measure and sample run-off water. Water samples were analysed for TS, TSS, VS, VSS, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn content. Soils were fully characterised at the start and at the end of the trial whilst TS, NO<sub>3</sub> and Olsen-P were determined on soil samples during the trial. Agronomical characteristics of soils were improved by increasing the stabilised biowaste rate, but the high silt content, together with the high natural sodium concentrations of quarry materials, contributed to the development of low-structured and low-permeable soil conditions. As a consequence, leaching through the soils with stabilised biowaste was limited, whilst run-off volumes were significant. The concentrations of nutrients, organic matter and heavy metals in sampled waters and soils were below the risk levels prescribed to protect the environment.

**Parole chiave:** deflusso superficiale, FOS, metalli pesanti, percolazione, ripristino ambientale cave, sostanza organica

**Keywords:** run-off, stabilised biowaste, heavy metals, leaching, quarry restoration, organic matter

### 1. INTRODUZIONE

La frazione organica stabilizzata, in seguito definita FOS, è il prodotto ottenuto dalla stabilizzazione biologica della frazione organica derivante dal trattamento di separazione meccanica dei rifiuti urbani a valle della raccolta.

Un tempo la destinazione di tale materiale, definito compost da rifiuti, era l'impiego agronomico. La scarsa qualità ambientale da un lato e l'orientamento sempre più accentuato verso produzioni agricole di qualità ottenute con mezzi tecnici appropriati dall'altro hanno ormai reso praticamente nulla la prospettiva d'impiego per le produzioni destinate al consumo umano e animale. L'impiego in attività paesistico-ambientali assume di conseguenza un ruolo primario, in quanto queste richiedono quantità elevate di sostanza organica stabilizzata per migliorare la fertilità dei suoli ricostituiti.

L'utilizzo della FOS e di altri materiali organici per usi paesistici si è recentemente diffuso in diversi Paesi dell'area mediterranea, e in special modo nella Spagna meridionale, dove parte dei suoli subiscono processi di degradazione, principalmente dovuti all'erosione conseguente alle condizioni naturali edafiche e climatiche di zone aride, o soffrono per perdite di sostanza organica dovute ad interventi antropici (Albaladejo *et al.*, 2000; Cuevas *et al.*, 2000; Garcia *et al.*, 1992; Ingelmo *et al.*, 1998; Illera *et al.*, 1999; Lax *et al.*, 1994; Sabrah *et al.*, 1995; Sort & Alcaniz, 1996 e 1999).

Per il corretto impiego di queste frazioni organiche devono essere tenute in considerazione le problematiche ambientali che potrebbero derivare, come:

- contaminazione di suolo e acque dovuta a tossici organici e inorganici (Breslin, 1999; Businelli *et al.*, 1996; Molina *et al.*, 2000);
- dilavamento di importanti quantità dei nutrienti azoto e fosforo (Mamo *et al.*, 1999);
- salinizzazione dei suoli (Albaladejo *et al.*, 1994; Mamo *et al.*, 1998).

Di seguito vengono sinteticamente descritti le attività svolte ed i risultati ottenuti nell'ambito del progetto "Valutazione degli effetti dell'impiego di frazione organica stabilizzata in ripristini ambientali", commissionato e finanziato da APAT e condotto negli anni 2001 e 2002 da Fondazione CRPA Studi Ricerche.

Lo scopo principale della sperimentazione è stato quello di valutare gli effetti ambientali che possono derivare dalla miscelazione di quantità crescenti di FOS a materiale di cava in attività di ripristino ambientale delle cave di argilla. L'aggiunta di FOS è stata effettuata al fine di migliorare le caratteristiche agronomiche del materiale di cava per renderlo utilizzabile per la costituzione di substrati di crescita per essenze erbacee ed arbustive-arboree in ripristini ambientali. Per questo si è anche proceduto a valutare l'efficacia della metodologia di ripristino ambientale rispetto allo sviluppo vegetale ottenibile.

Il sito sperimentale è stato localizzato presso una cava di argilla facente parte di un vasto polo estrattivo (Secchia-Dorgola) per materiali utilizzati nel vicino polo industriale ceramico facente capo alla città di Sassuolo in provincia di Modena. Tale area può considerarsi rappresentativa di una condizione di degrado ambientale assai diffusa sul territorio collinare-montano tra le province di Reggio Emilia e Modena, dove cave di questo tipo sono disseminate numerose ed ampie, anche se la loro diffusione non è esclusiva di questo territorio.

L'attività di scavo in queste zone ha avuto inizio negli anni '50 e da allora ha determinato notevoli cambiamenti nella morfologia del territorio: intere montagne sono state rimodellate e a volte quasi annullate e la vegetazione nelle aree interessate dall'escavazione è stata asportata senza provvedere ad un adeguato ripristino. Tutto questo ha talvolta influenzato la stabilità dei versanti di queste aree, ma il loro recupero ambientale o "restauro verde" risulta di difficile attuazione (Bagnaresi *et al.*, 1991; Muzzi *et al.*, 1997). Ciò è dovuto alle sfavorevoli caratteristiche fisico-chimiche e biologiche dei substrati messi a nudo, caratterizzati da elevati valori di pH, salinità e contenuto percentuale di limo e argilla e bassi valori di sostanza organica, condizioni che contribuiscono alla loro destrutturazione.

La mancata conservazione dei substrati pedogenizzati che originariamente ricoprivano queste aree, e sui quali si poteva sviluppare la flora autoctona, impone la necessità di reperire altrove terreni adatti alla crescita vegetale oppure di migliorare le caratteristiche agronomiche dei substrati venuti a giorno con gli scavi, attraverso l'incorporazione di materiali ammendanti, tra i quali si annovera la frazione organica stabilizzata derivata dal compostaggio dei rifiuti urbani.

## 2. MATERIALI E METODI

Il sito sperimentale è stato insediato presso la cava denominata "Poiatica-Monte Quercia", ubicata nel bacino del fiume Secchia (affluente di destra del fiume Po), sulla sinistra idrografica, nella parte meridionale del Comune di Carpineti (RE), cioè nella fascia di media montagna dell'Appennino Reggiano, tra le quote di 320 e 465 m s.l.m. La cava si trova nelle immediate vicinanze dell'omonima discarica di rifiuti urbani gestita da AGAC SpA di Reggio Emilia.

### 2.1 Caratteristiche dell'area di sperimentazione

L'area di sperimentazione è caratterizzata da un clima di tipo "padano di transizione", con inverni rigidi ed estati calde. I fenomeni di precipitazione meteorologica generalmente si intensificano soprattutto nei periodi primaverile ed autunnale e le escursioni termiche, dovute principalmente all'altitudine, sono accentuate.

L'area di cava è caratterizzata da affioramenti appartenenti alla parte inferiore della successione epiligure, di età compresa tra l'Eocene medio e l'Oligocene inferiore, in discordanza angolare sulle sottostanti Liguridi, qui rappresentate dalla Formazione di Monte Venere (Cretaceo superiore – Paleocene).

In una vasta zona di cava affiora la Formazione argillosa di Monte Piano (Eocene medio), una unità prevalentemente pelitica, costituita da argilliti e argilliti siltose rossastre, rosate e grigio verdine, povere o prive di carbonati. La loro potenza varia da pochi metri a oltre 150 m.

Ai fini dell'utilizzo ceramico tale materiale è stato caratterizzato in uno studio del Centro Ceramico di Bologna (1998). Dal punto di vista petrografico l'argilla può essere definita illitico-cloritico-caolinitico-smectitica. La composizione mineralogica, desunta da analisi quantitativa con metodo Rietveld-RIR, è riportata in tabella 1.

**Tab. 1 – Composizione mineralogica quantitativa di campione rappresentativo della formazione argillosa di Monte Piano (metodo Rietveld-RIR)**

Fase	Composizione percentuale
Quarzo	26,0
Calcite	0,5
Dolomite	–
Plagioclasio	11,0
K-feldspato	3,0
Caolinite	10,1
Arg. 14 Å (1)	12,0
Illite e/o mica	29,0
Amorfo (2)	9,0

(1) Colorite e/o montmorillonite.

(2) Comprendente genericamente fasi colloidali e/o ossidi o idrossidi amorfi di ferro.



Foto 1 – Area di estrazione del materiale di cava utilizzato nella prova



Foto 2 – Miscelazione della FOS al materiale di cava per la costituzione dei substrati di ripristino

## 2.2 Organizzazione del sito sperimentale e del monitoraggio

### 2.2.1 Substrati a confronto

Presso il sito sperimentale sono state messe a confronto quattro tesi corrispondenti ai seguenti substrati di ripristino: A – terreno naturale (“cappello” di cava: è il terreno agrario che copriva una delle ultime porzioni di cava aperte);

B – materiale di cava miscelato con FOS alla dose di 100 t s.s./ha;

C – materiale di cava miscelato con FOS alla dose di 300 t s.s./ha;

D – materiale di cava miscelato con FOS alla dose di 500 t s.s./ha.

Ad ogni tesi è corrisposta una parcella sperimentale delle dimensioni di 12 m (lunghezza) · 8 m (larghezza) = 96 m<sup>2</sup> (figura 1). L'altezza degli strati ricostruiti è risultata pari a 115 cm circa mentre la giacitura della loro superficie è risultata leggermente inclinata, come del resto era quella del loro piano di appoggio.

La FOS utilizzata è stata prodotta nell'impianto di compostaggio di AIMAG SpA di Carpi, il materiale argilloso è stato estratto da una unità abbastanza omogenea di peliti rosso-grigie dell'area di cava “Poiatica” (foto 1).

La miscelazione di materiale di cava e FOS è stata effettuata in aia di cava, rivoltando le miscele con pala meccanica (foto 2).

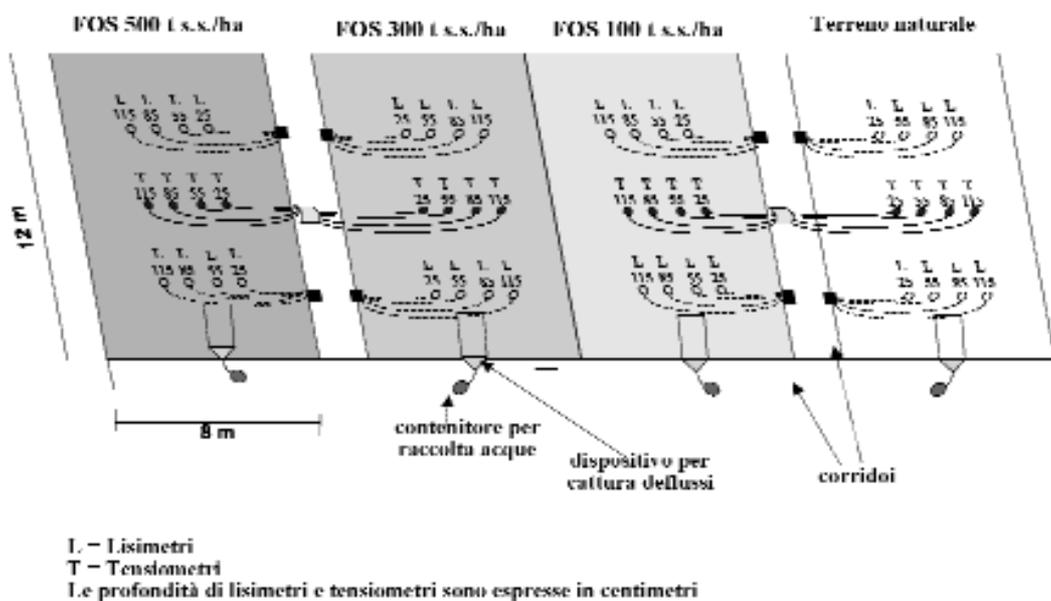


Fig. 1 – Organizzazione del sito sperimentale di monitoraggio

In seguito i substrati sono stati trasportati e posati sull'area predisposta ad ospitare le quattro parcelle sperimentali. Ogni substrato è stato separato da quelli adiacenti da uno strato di solo materiale di cava, profondo quanto i terreni riportati e largo circa 1 m. Attorno alle parcelle sono stati creati canali di scolo per evitare l'afflusso sulle stesse di acque provenienti da aree limitrofe.

A ottobre 2001 sui substrati è stato seminato prato misto, distribuendo un miscuglio di sementi costituito da essenze graminacee (50% *Festuca arundinacea*, 15% *Lolium perenne*, 10% *Cynodon dactylon*) e leguminose (10% *Trifolium repens*, 10% *Lotus corniculatus*, 5% *Medicago lupulina*).

### 2.2.2 Strumentazione di monitoraggio

All'interno di ogni parcella sono stati installati 4 tensiometri elettronici e 8 lisimetri a suzione – coppe porose (Beretta *et al.*, 2000), rispettivamente per la registrazione dei valori di potenziale del suolo e per il campionamento delle acque di ritenzione, alle profondità di 25 cm, 55 cm, 85 cm e 115 cm (figura 1). I tensiometri sono stati installati alla distanza di un metro l'uno dall'altro su una linea perpendicolare alla massima pendenza, a metà della lunghezza di ogni parcella, in modo da poter determinare le condizioni medie di bagnatura di ogni substrato. Essi sono stati collegati con cavi a centraline di registrazione, impostate per memorizzare con cadenza di 12 ore i valori di potenziale misurati da ogni strumento. Le coppe porose sono state invece installate su due linee perpendicolari alla massima pendenza, ad  $\frac{1}{4}$  e a  $\frac{3}{4}$  della lunghezza di ogni parcella, in modo da poter campionare le acque di percolazione nella parte "a monte" e in quella "a valle" di ogni parcella.

Per la raccolta e la misura delle acque di deflusso superficiale (run-off) è stato installato, in prossimità del bordo inferiore di ogni parcella, un sistema basato sull'utilizzo di apposite vasche collettrici, messo a punto presso il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" dell'Università di Pisa e già sperimentato con buoni risultati (Silvestri *et al.*, 2001). Il movimento delle acque di deflusso superficiale verso i dispositivi di cattura è stato assicurato dalla giacitura inclinata della superficie delle parcelle.

Per la misura dei parametri meteorologici (temperatura e umidità ambientali, precipitazioni, velocità del vento e radiazione solare) si è fatto riferimento alle registrazioni orarie della stazione meteo automatica di proprietà AGAC, installata ad una distanza di circa 100 m dal sito sperimentale.

### 2.2.3 Determinazioni periodiche

Nella fase di preparazione dei substrati (settembre – ottobre 2001) si è proceduto alla caratterizzazione completa dei materiali utilizzati e delle loro miscele. A fine periodo di monitoraggio (ottobre 2002) si è nuovamente proceduto alla caratterizzazione completa dei substrati.

Nel corso del periodo di monitoraggio, che ha avuto una durata di 11 mesi (novembre 2001 – settembre 2002), per derivare le curve di ritenzione idraulica caratteristiche di ogni substrato sono stati effettuati campionamen-

ti del terreno alle profondità dei tensiometri, al variare del regime idrico del suolo, per la determinazione della sostanza secca.

Le coppe porose sono state poste in depressione ogni 2 settimane circa, per procedere nei giorni successivi al campionamento delle acque eventualmente accumulate negli strumenti. Il prelievo delle acque di run-off è stato effettuato dopo ciascun evento piovoso capace di generare deflusso superficiale significativo.

Su tutti i campioni di acque sono state determinate le concentrazioni di azoto nitrico e ammoniacale, fosfati e sostanza organica. La determinazione della sostanza organica come COD, e soprattutto come BOD<sub>5</sub>, ha evidenziato problemi di interferenze dovute all'elevato contenuto salino delle argille; pertanto a queste analisi sono state affiancate, per la caratterizzazione dell'eventuale inquinamento organico e del trasporto di particolato (risultato importante nelle acque di run-off), le determinazioni dei solidi totali (ST) e volatili (SV), dei solidi sospesi totali (SST, filtrati a 0,8 µm) e volatili (SSV, filtrati a 0,8 µm). Stagionalmente si è anche proceduto alla determinazione dei metalli pesanti (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) nelle acque.

Inoltre, a cadenza stagionale, sono stati eseguiti campionamenti dei terreni per la parte "a monte" e per quella "a valle" di ogni parcella, per gli strati 0-25 cm, 25-55 cm, 55-85 cm e 85-115 cm. Su questi campioni sono stati determinati i nitrati e il fosforo assimilabile Olsen.

## 3. RISULTATI

### 3.1 Caratteristiche fisico-chimiche di matrici e miscele

I risultati principali delle determinazioni fisico-chimiche effettuate sui materiali impiegati nella prova sperimentale sono riportati in tabella 2.

Le caratteristiche tessiturali del materiale originario di cava e del terreno naturale sono risultate piuttosto simili. Per entrambe, infatti, la classe tessiturale di appartenenza è quella moderatamente fine franco-limoso-argillosa. Altre caratteristiche comuni ai due materiali sono la reazione basica (peralcalino il materiale di cava, alcalino il terreno naturale), la bassa dotazione di sostanza organica, dotazioni normali di N, P e K totali (da cui rapporti C/N bassi), valori normali della CSC e concentrazioni non dissimili dei metalli pesanti (eccezion fatta per Cr e Ni, le cui concentrazioni appaiono significativamente più elevate nel terreno naturale). A differenziare i due materiali sono invece principalmente il contenuto di calcare totale (poco dotato il materiale di cava, ben dotato il terreno naturale), la conducibilità (fortemente salino il materiale di cava, debolmente salino il terreno naturale) e il tipo di basi di scambio che contribuiscono alla CSC, con valore molto elevato per Na nel materiale di cava e per Ca nel terreno naturale; quest'ultima caratteristica conferisce rischio sodico elevato al materiale di cava e basso al terreno naturale.

La FOS utilizzata presentava valori normali del pH e del carbonio organico, buona dotazione di azoto, medie dotazio-

**Tab. 2 – Parametri fisico-chimici dei materiali utilizzati nella prova di ripristino**

Parametri	Unità di misura	Terreno naturale	Materiale di cava	FOS
Argilla	%	27,5	28,5	-
Limo	%	62,5	66,0	-
Sabbia	%	10,0	5,5	-
pH	-	8,57	9,60	7,89
Conducibilità	mS/cm	0,50	2,14	3,44
TOC	%	0,73	0,58	24,01
N totale	g/kg	1,014	1,286	15,7
P totale	g/kg	0,363	0,508	3,9
K totale	g/kg	3,7	5,2	12,3
C/N	-	7,2	4,5	15,3
Calcare totale	%	15	3	-
CSC	meq/100g	18,03	16,37	-
Ca scambiabile	meq/100g	15,04	8,82	-
Mg scambiabile	meq/100g	2,83	1,75	-
K scambiabile	meq/100g	0,38	0,63	-
Na scambiabile	meq/100g	0,46	4,61	-
Indice SAR	-	0,15	2,01	-
As	mg/kg	7,62	9,15	2,75
Cd	mg/kg	0,17	0,19	2,69
Cr	mg/kg	129	107	92
Cu	mg/kg	48	67	368
Ni	mg/kg	129	77	65
Pb	mg/kg	20	21	750
Zn	mg/kg	111	133	646

ni di P e K e concentrazioni normali di tutti i metalli pesanti eccezion fatta per il Pb, la cui concentrazione è risultata elevata (tabella 2).

Per le concentrazioni relative dei metalli pesanti nella FOS e nel materiale di cava l'aggiunta di FOS ha contribuito ad aumentare in maniera apprezzabile nei substrati le sole concentrazioni di Pb e Zn (che si sono comunque mantenute al di sotto dei valori massimi fissati per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale dal Regolamento bonifica e ripristino ambientale siti inquinati – Decreto ministeriale 471/99) mentre ha addirittura contribuito a diminuire, rispetto alle concentrazioni nel materiale di cava, quelle di Cr e Ni.

Il confronto tra i valori dei parametri chimici determinati sui 4 substrati di ripristino a inizio e fine sperimentazione ha evidenziato, in particolare, la buona costanza dei valori di azoto totale e la decrescita dei valori di carbonio organico e quindi del rapporto C/N nelle parcelle con FOS. Tale tendenza, probabilmente dovuta a mineralizzazione di sostanza organica, è risultata più pronunciata nelle parcelle con le dosi inferiori di FOS.

### 3.2 Caratteristiche idrologiche e pedologiche dei substrati

I valori di conducibilità idraulica a saturazione, misurati con permeametro a carico costante in foro (modello Amoozemeter), sono risultati, nell'ordine di permeabilità decrescente:

- parcella A:  $6,4 \cdot 10^{-7}$  m/s;
- parcella D:  $1,0 \cdot 10^{-7}$  m/s;
- parcella C:  $3,1 \cdot 10^{-8}$  m/s;
- parcella B:  $1,2 \cdot 10^{-8}$  m/s.

I valori medi di densità apparente misurata con metodo per escavazione (volumometro a sabbia) a profondità di 30 cm sono variati da un minimo di  $1,40$  g/cm<sup>3</sup> nella parcella A a un massimo di  $1,52$  g/cm<sup>3</sup> nella parcella B.

L'aggiunta di FOS ha contribuito all'incremento della conducibilità idraulica e alla riduzione della densità apparente dei substrati, spostando la curva di ritenzione idrica verso caratteristiche più vicine a quelle dei suoli sciolti, come peraltro era già stato rilevato da altri Autori in esperienze analoghe (Felton, 1995).

Prove pedologiche sono state svolte a fine sperimentazione mediante l'apertura di un profilo pedologico profondo 50 cm (minipit) per ogni parcella sperimentale, caratterizzato con una descrizione sintetica del suolo nel succedersi degli orizzonti.

Per ogni parcella sono state eseguite due trivellate di controllo sino a 115 cm di profondità, per valutare la variabilità spaziale del materiale riportato.

Le descrizioni dei profili hanno confermato una sostanziale omogeneità spaziale di tutto lo spessore dei substrati, che non varia significativamente nemmeno in funzione delle diverse quantità di FOS miscelate alla matrice argillosa. La differente compattezza degli orizzonti è da mettere in relazione al contenuto d'acqua del suolo, rapidamente decrescente con l'aumento della profondità.

### 3.3 Monitoraggio delle acque di percolazione

L'infiltrazione di acqua attraverso i suoli, evidente per la parcella A, si è manifestata nelle parcelle B, C e D con intensità molto minore ed in particolare per lo strato più superficiale. Tra le parcelle con FOS il fenomeno di bagnatura più pronunciato ha interessato la parcella D nel corso dei mesi piovosi di luglio e agosto 2002. Nella figura 2 vengono riportati gli andamenti delle precipitazioni e della temperatura ambiente nel corso del periodo di monitoraggio; in relazione a questi, i potenziali misurati nei substrati A e D vengono descritti, in funzione del tempo (ascissa) e della profondità del suolo (ordinata), da isolinee ottenute mediante interpolazione dei valori rilevati.

Causa le condizioni di limitata permeabilità che non hanno permesso un'importante penetrazione delle acque nei substrati con materiale di cava + FOS, dalle prove di campionamento delle acque di ritenzione dei terreni mediante i lisimetri è stato ottenuto un numero di campioni limitato (essenzialmente provenienti dalla parcella con terreno naturale).

Le concentrazioni medie di azoto nitrico e ammoniacale e di fosfati nelle acque di ritenzione ricavate da ogni-

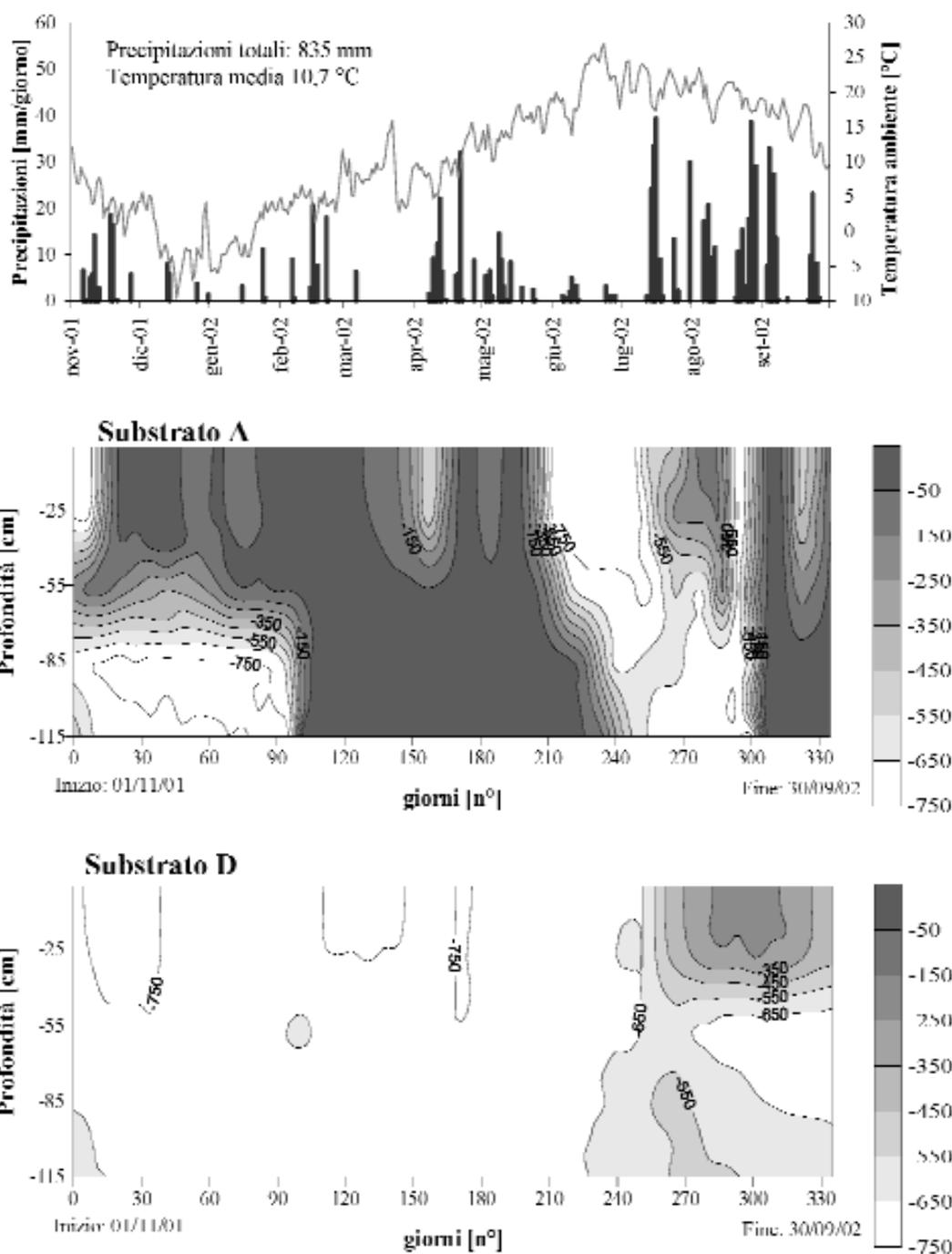


Fig. 2 – Andamento delle principali variabili meteorologiche e del potenziale matriciale nei substrati A (terreno naturale) e D (FOS 500 t s.s./ha) nel corso degli 11 mesi di monitoraggio (valori di potenziale espressi in hPa)

no dei lisimetri sono risultate generalmente basse e per il parametro più rilevante, l'azoto nitrico, nettamente inferiori a quelle normalmente riscontrabili nelle acque dei terreni agrari coltivati. Da notare che le concentrazioni medie di questo parametro nelle acque delle parcelle con FOS, minori o circa uguali a 1 mg/l, sono risultate inferiori a quelle determinate per le acque del terreno naturale.

I valori dei metalli pesanti sono risultati nettamente inferiori ai valori limite di emissione definiti nel D.lgs 152/99 per lo scarico in acque superficiali (Tab. 3, All. 5).

### 3.4 Monitoraggio delle acque di deflusso superficiale

Nel corso dei campionamenti delle acque di deflusso superficiale sono stati riscontrati volumi maggiori per le parcelle

con materiale di cava rispetto alla parcella con terreno naturale (tabella 3).

Relativamente al periodo invernale, quando almeno la parte più superficiale dei substrati era umida e priva di crepaccature, e quindi non difforme per le 4 parcelle, sono state ricavate le funzioni di correlazione tra quantità di precipitazione e volumi di deflusso superficiale misurati (figura 3). Le curve testimoniano della progressiva riduzione del run-off, almeno in condizioni di stabilità del suolo, al crescere del dosaggio di FOS in miscela al materiale di cava. Ciò nonostante, i valori relativi al suolo naturale sono rimasti piuttosto dissimili da quelli delle parcelle con materiale di cava e FOS.

Relativamente al trasporto solido, le concentrazioni di solidi totali (ST) e di solidi sospesi totali (SST) sono risultate superiori per le parcelle con FOS rispetto a quella con terreno naturale, ma non significativamente diverse se si considerano le tre parcelle con FOS. I solidi volatili (SV) hanno rappresentato mediamente percentuali esigue rispetto ai totali (18% per la parcella A, 6% per B, C e D) e quelli sospesi volatili (SSV) percentuali simili alle precedenti rispetto ai sospesi totali (22% per la parcella A, 6% per B, 5% per C e D). Ciò a significare, complessivamente, la bassa incidenza della parte organica rispetto al contenuto totale di solidi di queste acque.

Nelle acque di run-off le concentrazioni di azoto sono risultate basse e non significativamente diverse per le quattro parcelle, con valori ben inferiori alle concentrazioni limite definite nel D.lgs 152/99 per lo scarico in acque superficiali (Tab. 3, All. 5, pari a 20 mg/l per l'azoto nitrico e 15 mg/l per l'ammoniac).

Discorso a parte meritano le concentrazioni rilevate per i fosfati, risultate significativamente superiori per le tre miscele con FOS rispetto al terreno naturale. È da notare, però, che tra le parcelle con FOS il valore medio inferiore è risultato quello relativo alla parcella D e quindi tali concentrazioni non sarebbero da attribuire all'aggiunta di FOS quanto piuttosto ad un effetto del materiale di cava.

Anche la sostanza organica contenuta in queste acque non è risultata significativamente influenzata dalle differenti dosi di FOS utilizzate.

Le concentrazioni di metalli, determinate periodicamente, si sono generalmente mantenute ben al di sotto dei limiti di concentrazione definiti nel D.lgs 152/99 per lo scarico in acque superficiali (Tab. 3, All. 5). Solo per Cu e Zn sono stati verificati saltuari lievi superamenti dei limiti per le parcelle A (Zn), C (Zn) e D (Cu, Zn).

Estendendo alla superficie complessiva di un ettaro i risultati ottenuti nelle aree delimitate con il sistema di misura del run-off (e quindi considerando pari a zero la reinfiltrazione di queste acque nel corso del loro movimento superficiale), si ricavano asportazioni complessive massime dalle parcelle con FOS pari a 12-15 kg/ha di azoto minerale per un anno di monitoraggio. Tali valori appaiono assimilabili agli apporti dello stesso elemento minerale dovuti alle precipitazioni (mediamente circa 15 kg/ha per 1.000 mm di precipitazione – elaborazione su dati dell'ARPA di Reggio Emilia). Per i fosfati le perdite relative al run-off per le stesse parcelle sono variate tra 11 e 18 kg/ha P-PO<sub>4</sub> per gli undici mesi del monitoraggio.

Nel corso dell'intero periodo di monitoraggio anche le perdite di metalli pesanti dovute ai deflussi superficiali delle acque sono state stimate come assai contenute e generalmente variabili attorno ad un punto percentuale rispetto alle quantità apportate con la FOS.

### 3.5 Monitoraggio dei nutrienti nei terreni

I risultati delle determinazioni periodiche di azoto nitrico e fosforo assimilabile nei suoli hanno messo in evidenza valori molto bassi per le concentrazioni dell'azoto nitrico nella parcella A (fino a massimo 5-6 mg N-NO<sub>3</sub>/kg), con tendenza alla diminuzione fino a raggiungere valori inferiori ad 1 mg N-NO<sub>3</sub>/kg nel corso del periodo di monitoraggio. Nei substrati con FOS è stato evidenziato l'avvio di una spiccata nitrificazione nel corso del periodo estivo, con valori che si sono innalzati repentinamente nel corso dei mesi da giugno a settembre da minimi di 0-4 mg N-NO<sub>3</sub>/kg a massimi di circa 40 mg N-NO<sub>3</sub>/kg, valori comunque normalmente riscontrabili nei terreni agrari.

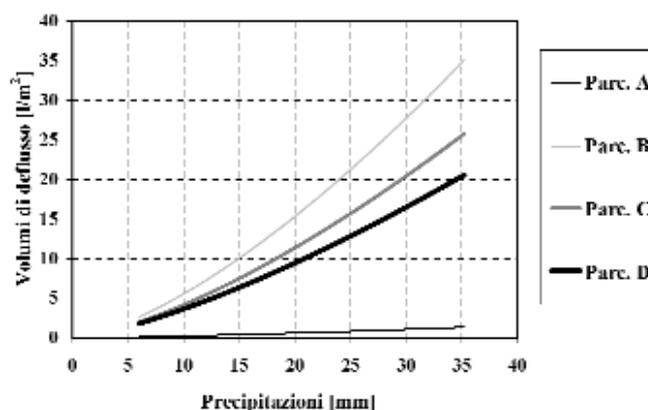


Fig. 3 – Relazioni tra precipitazioni e volumi delle acque di deflusso (periodo invernale)

Tab. 3 – Caratterizzazione media degli eventi di deflusso superficiale per le 4 parcelle

Parametri	Unità di misura	Parcella A	Parcella B	Parcella C	Parcella D
Volume	l	2,6	20,7	22,4	18,3
ST	g/l	1,15	21,77	21,37	20,66
SV	g/l	0,21	1,29	1,17	1,22
SST	g/l	0,68	15,23	16,50	16,41
SSV	g/l	0,15	0,93	0,89	0,85
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	1,218	2,153	1,438	1,639
N-NH <sub>4</sub>	mg/l	0,756	0,337	0,815	0,535
P-PO <sub>4</sub>	mg/l	0,08	3,80	3,87	2,47
COD (1)	mg/l	27	125	99	102

(1) Valori influenzati da elevato contenuto salino.

Le concentrazioni del fosforo assimilabile Olsen mostrano un andamento simile all'interno di tutte e quattro le parcelle, con un generale incremento dei valori in superficie al campionamento invernale ed una successiva progressiva decrescita per raggiungere, a fine periodo di monitoraggio (ottobre 2002), valori simili a quelli riscontrati l'anno precedente.

### 3.6 Caratteristiche della copertura vegetale

Nel corso del primo anno il manto vegetale ha raggiunto un buon grado di sviluppo solo sulla parcella A, con progressivo prevalere delle essenze leguminose con in testa il trifoglio, mentre sulle parcelle B, C e D sono prevalse le graminacee, con progressiva sparizione di loietto e festuca a favore della gramigna, ma non è stato ottenuto un insediamento vegetale soddisfacente.

Per questo a fine periodo di monitoraggio si è proceduto alla risemina delle parcelle B, C e D, cercando di migliorare soprattutto le condizioni fisiche dei substrati.

Il nuovo intervento è stato effettuato incorporando nello strato superficiale una miscela di compost verde + sovrvallo di compost verde (materiali fibrosi derivanti dalla vagliatura del compost) con il solo scopo di incrementare la struttura del terreno. I materiali sono stati prelevati dall'impianto di compostaggio di AGAC SpA, sito in località Mancasale (RE). Tale miscela omogenea è stata dosata a 40 t s.s./ha, pari al 10% della media dei due dosaggi maggiori di FOS. La scelta dello stesso dosaggio per tutte e tre le parcelle consente ancora di evidenziare differenze attribuibili ai diversi tenori di FOS utilizzata a inizio sperimentazione.

Successivamente si è provveduto alla distribuzione di un miscuglio di sementi da prato costituito ancora da essenze graminacee (27% *Festuca arundinacea*, 11% *Festuca ovina*, 17% *Lolium perenne*, 11% *Cynodon dactylon*) e leguminose (17% *Trifolium repens*, 17% *Lotus corniculatus*).

Sul terreno sono state ricavate piccole canalette perpendicolari alla direzione di massima pendenza, allo scopo di limitare la velocità di scorrimento delle acque superficiali e di favorirne l'infiltrazione.

Il nuovo intervento di semina ha dato risultati migliori rispetto a quello dell'anno precedente, con insediamento di una buona copertura vegetale anche sulle tre parcelle con le miscele di materiale di cava e FOS (foto 3).

## 4. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dal lavoro sperimentale condotto permettono di trarre alcune importanti conclusioni di carattere generale di seguito illustrate.

Si può, in primo luogo, rilevare come l'utilizzo di miscele di materiale di cava d'argilla e frazione organica stabilizzata non abbia evidenziato effetti ambientali negativi, anche ai dosaggi più elevati di FOS (500 t/ha di sostanza secca), determinando, invece, un miglioramento delle caratteristiche agronomiche del suolo ricostruito. Tale miglioramento è risultato proporzionale alla dose di FOS utilizzata.

Anche il grado di copertura vegetale è incrementato all'aumentare della dose di FOS, pur essendo stati richiesti interventi correttivi finalizzati a migliorare la permeabilità dei



Foto 3 – Veduta del sito sperimentale dopo l'intervento di risemina

substrati e a ridurre il compattamento. A parità di dosaggio del materiale ammendante utilizzato in fase di intervento correttivo si osserva, comunque, un effetto positivo sullo sviluppo vegetale legato all'incremento delle dosi di FOS.

Va, inoltre, rilevato che la FOS attualmente prodotta negli impianti italiani presenta un contenuto medio di metalli pesanti inferiore non solo ai limiti della Deliberazione della Commissione Interministeriale del 27 luglio 1984, ma anche a quelli previsti per il biostabilizzato di classe 2 individuato dalla Bozza di Decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio relativo a "Norme tecniche relative al trattamento biologico e al trattamento meccanico-biologico dei rifiuti biodegradabili" (fatta eccezione in alcuni casi per il piombo).

In base a tali considerazioni, l'adozione di un limite di FOS di 500 t/ha di sostanza secca (quantitativo massimo sperimentato) in attività di ripristino di ambienti non protetti, ma dotati di naturali buone garanzie di salvaguardia del sito, come le ex cave di argilla, non dovrebbe comportare problemi da un punto di vista ambientale, così come un eventuale superamento della suddetta dose, in funzione della qualità della FOS e della matrice ad essa miscelata (materiale di risulta dall'estrazione dell'argilla o altro, terreno di scavo, ecc.). In quest'ultima eventualità, però, l'utilizzo dovrebbe essere sempre vincolato allo svolgimento di un'adeguata indagine preliminare, in grado di attestare la completa tutela delle matrici ambientali interessate e l'effettivo apporto benefico al terreno, nonché essere preceduto da una relazione tecnica comprendente, tra le altre cose, un'analisi della dinamica dei composti minerali dell'azoto e di tutti i parametri in grado di influire sul rischio per la risorsa idrica. I limiti di dosaggio dovrebbero, inoltre, tenere sempre conto dello spessore dello strato di terreno ricostruito (nella presente sperimentazione mediamente pari ad 1 m circa) e la dose di frazione organica da aggiungere dovrebbe essere ridotta in modo proporzionale alla diminuzione dello spessore del terreno stesso. L'utilizzo di FOS deve, infine, sempre garantire il rispetto, nel suolo ricostruito, dei limiti di inquinanti previsti dalla normativa vigente per la specifica destinazione d'uso (agricolo, verde pubblico, privato, residenziale, commerciale ed industriale).

In tale contesto, particolarmente interessante, al fine di pervenire ad una valutazione più completa degli effetti sulla struttura del suolo (elemento imprescindibile per un buon sviluppo dei vegetali) derivanti da apporti massivi di frazione organica stabilizzata, potrebbe essere la prosecuzione della sperimentazione con dosaggi più elevati di FOS in miscela al materiale di cava, ad esempio 1000 t/ha di sostanza secca (da affiancare alle altre parcelle).

Per similitudine di ambito di impiego, anche nel caso di chiusura finale di discariche esaurite (ad eccezione di quelle per inerti), l'utilizzo di dosaggi di FOS pari o superiori a 500 t/ha di sostanza secca con gli stessi vincoli già illustrati per il ripristino delle cave d'argilla, non dovrebbe comportare problemi da un punto di vista ambientale.

In ogni caso, stante l'esperienza derivata da questa sperimentazione, per favorire lo sviluppo delle specie vegetali insediate sui terreni con materiale di cava + FOS, si ritiene opportuna una adeguata miscelazione, almeno entro i primi 5-10 cm di suolo ricostituito, di materiale fibroso e carbonioso non ricco di nutrienti e metalli. A tal proposito possono essere, ad esempio, utilizzati il compost verde (compost da soli scarti vegetali, leggi ammendante compostato verde) o, addirittura, il sovrillo derivante dalla vagliatura dello stesso. Per questi materiali può essere ritenuto adeguato un dosaggio complessivo di circa 40 t/ha di sostanza secca.

A supporto di quanto finora affermato in merito alle modalità d'uso della frazione organica stabilizzata, si evidenzia come le indicazioni fornite siano assolutamente coerenti con i risultati sperimentali di lavori scientifici prodotti da diversi Autori, secondo cui sono da ritenersi adeguate dosi tra 40 e 80 t/ha di sostanza secca, per applicazioni superficiali di FOS (Cuevas *et al.*, 2000; Illera *et al.*, 1999; Ingelmo *et al.*, 1998) e dosi di 260 t/ha per applicazioni entro uno spessore di 30 cm (Albaladejo *et al.*, 1994; Garcia *et al.*, 1992).

Per l'impiego di FOS in ambienti non protetti e non dotati di barriere naturali di protezione è invece opportuno adottare limiti più restrittivi, in quanto scarse sono al momento le conoscenze in merito alle interazioni chimico-fisiche e biologiche tra FOS e materiale inerte miscelato diverso dall'argilla, soprattutto in relazione all'evoluzione dell'azoto e dei nitrati.

*Si ringraziano AGAC S.p.A., in particolare Valter Guberti ed Eugenio Meglioli per l'ospitalità alla prova e la collaborazione, AIMAG SpA, in particolare Giorgio Rustichelli, per la fornitura della FOS e, per i gentili contributi prestati, il Comune di Carpineti nella persona di Tonino Braglia, Enrico Muzzi dell'Università di Bologna, Rosalba Risaliti e Marco Ginanni dell'Università di Pisa, Letizia Fumagalli, Giuseppe Ruggi e Federica Borciani.*

## BIBLIOGRAFIA

- Albaladejo J., Stocking M., Diaz E., Castillo V. (1994)** – *Land rehabilitation by urban refuse amendments in a semi-arid environment: effect on soil chemical properties*. Soil Technology, 7 (3): 249-260.
- Albaladejo J., Castillo V., Diaz E. (2000)** – *Soil loss and runoff on semiarid land as amended with urban solid refuse*. Land Degradation & Development, 11: 363-373.
- Bagnaresi U., Muzzi E., Ferrari C., Rossi G. (1991)** – *Ricerche sulla sistemazione a verde di una cava di argilla (Appennino Reggiano)*. Comune di Carpineti (RE), Regione Emilia-Romagna (opuscolo di 85 pagine).
- Beretta G. P., Fumagalli L., Mantovi P. (2000)** – *Strumentazione di campi-prova per il monitoraggio del mezzo non saturo ai fini dello studio di inquinanti diffusi*. IGEA, Ingegneria e Geologia degli Acquiferi, 14: 59-70.
- Breslin V.T. (1999)** – *Retention of metals in agricultural soils after amending with MSW and MSW-biosolids compost*. Water, Air and Soil Pollution, 109 (1/4): 163-178.
- Businelli M., Gigliotti G., Giusquiani P. L. (1996)** – *Trace element fate in soil profile and corn plant after massive applications of urban waste compost: a six-year study*. Agrochimica, XL (4): 145-152.
- Centro Ceramico Bologna – Dipartimento di Scienze della Terra Università di Modena (1998)** – *Ricerca su materie prime per piastrelle ceramiche nelle aree circostanti il distretto di Sassuolo*. Relazione Finale.
- Cuevas G., Blazquez R., Martinez F., Walter I. (2000)** – *Composted MSW effects on soil properties and native vegetation in a degraded semiarid shrubland*. Compost Science & Utilization, 8 (4): 303-309.
- Felton G.K. (1995)** – *Temporal variation of soil hydraulic properties on municipal solid waste amended mine soils*. Transaction of the ASAE, 38 (3): 775-782.
- Garcia C., Hernandez T., Costa F. (1992)** – *Variation in some chemical parameters and organic matter in soils regenerated by the addition of municipal solid waste*. Environmental Management, 16 (6): 763-768.
- Illera V., Walter I., Cuevas G., Cala V. (1999)** – *Biosolid and municipal solid waste effects on physical and chemical properties of a degraded soil*. Agrochimica, XLIII (3-4): 178-186.
- Ingelmo F., Canet R., Ibanez M.A., Pomares F., Garcia J. (1998)** – *Use of MSW compost, dried sewage sludge and other wastes as partial substitutes for peat and soil*. Bioresource Technologies, 63 (2): 123-129.
- Lax A., Diaz E., Castillo V., Albaladejo J. (1994)** – *Reclamation of physical and chemical properties of a salinized soil by organic amendment*. Arid Soil Research and Rehabilitation, 8 (1): 9-17.
- Mamo M., Rosen C.J., Halbach T.R., Moncrief J.F. (1998)** – *Corn yield and nitrogen uptake in sandy soils amended with municipal solid waste compost*. Journal of Production Agriculture, 11 (4): 469-475.
- Mamo M., Rosen C. J., Halbach T. R. (1999)** – *Nitrogen availability and leaching from soil amended with municipal solid waste compost*. Journal of Environmental Quality, 28: 1074-1082.
- Molina L., Diaz-Ferrero J., Coll M., Marti R., Broto-Puig F., Comellas L., Rodriguez-Larena M.C. (2000)** – *Study of evolution of PCDD/F in sewage sludge-amended soils for land restoration purposes*. Chemosphere, 40 (9/11): 1173-1178.
- Muzzi E., Roffi F., Sirotti M., Bagnaresi U. (1997)** – *Revegetation techniques on clay soil slopes in northern Italy*. Land Degradation & Development, 8 (2): 127-137.

**Sabrah R.E.A., Abdel Magid H.M., Abdel-Aal S.I., Rabie R.K. (1995)** – *Optimizing physical properties of a study soil for higher productivity using town refuse compost in Saudi Arabia*. Journal of Arid Environments, 29 (2): 253-262.

**Silvestri N., Risaliti R., Ginanni M., Pampana S. (2001)** – *La valutazione del deflusso di superficie in sistemi colturali di pianura: alcune esperienze svolte in provincia di Pisa*. Irrigazione e Drenaggio, 2: 36-42.

**Sort X., Alcaniz J.M. (1996)** – *Contribution of sewage sludge to erosion control in the rehabilitation of limestone quarries*. Land Degradation & Development, 7 (1): 69-76.

**Sort X., Alcaniz J.M. (1999)** – *Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation*. Land Degradation & Development, 10 (1): 3-12.

## CURRICULA

**Paolo Mantovi** – Laureato con lode in Scienze ambientali (indirizzo Terrestre) presso l'Università di Parma nel 1997, dallo stesso anno svolge attività di ricerca presso il Settore Ambiente del Centro Ricerche Produzioni Animali di Reggio Emilia. Dal 2001 è dipendente di Fondazione CRPA Studi Ricerche. Si occupa del monitoraggio degli effetti ambientali dell'uso agricolo di liquami zootecnici e fanghi di depurazione (con particolare riguardo alla dinamica degli inquinanti nei suoli), degli effetti dovuti all'utilizzo di materiali organici nei ripristini ambientali e di fitodepurazione di effluenti zootecnici ed agro-industriali. È rappresentante per l'Italia nell'Azione concertata europea AROMIS (Assessment and reduction of heavy metal input into agro-ecosystems), coordinata dal KTBL tedesco. È autore o coautore di oltre 30 pubblicazioni di carattere scientifico e tecnico, nazionali ed internazionali.

**Sergio Piccinini** – Laureato in Chimica presso l'Università di Modena nel 1981, dal 1983 ad oggi opera, in qualità di ricercatore e responsabile del laboratorio chimico, presso il Centro Ricerche Produzioni Animali di Reggio Emilia, Settore Ambiente; dal 1998 ha assunto la direzione del settore stesso. Ha svolto la sua attività in programmi di ricerca e sviluppo occupandosi principalmente di caratterizzazione, trattamento e gestione dei reflui zootecnici ed agro-industriali, di aspetti di processo della depurazione aerobica ed anaerobica e del compostaggio, di analisi energetica nelle aziende zootecniche e nell'agro-industria e di risanamento ambientale di aree con elevata attività agricola, zootecnica ed agro-industriale. È membro del Comitato Tecnico del Consorzio Italiano Compostatori, dell'ITABIA (Italian Biomass Association) e della IWA (International Water Association). È autore o coautore di oltre 80 articoli di carattere scientifico e tecnico.

**Lorella Rossi** – Dottore agronomo dal 1989, sino al 1991 si è occupata di problematiche connesse con la gestione di effluenti zootecnici e residui agricoli e delle relative tecniche di valorizzazione (utilizzazione agronomica, compostaggio). Dal 1992 è ricercatrice presso il Settore Ambiente del Centro Ricerche Produzioni Animali di Reggio Emilia. Da anni si occupa di: controllo di impianti pilota e dimostrativi di compostaggio per scarti organici selezionati, progettazione di impianti di compostaggio relativamente agli aspetti impiantistici e al parco macchine dedicato, assistenza alla gestione di impianti di compo-

staggio per matrici selezionate, assistenza alla gestione di impianti di stabilizzazione per rifiuti urbani indifferenziati, redazione e gestione di progetti sperimentali di impiego agronomico di ammendanti da scarti organici selezionati e di verifica di mezzi tecnici per il compostaggio e indagini territoriali mirate alla qualificazione e alla quantificazione di scarti organici di genere diverso.

**Rosanna Laraia** – Laureata in Scienze biologiche presso l'Università degli Studi di Napoli nell'a.a. 1978, ha conseguito, nella medesima Università, il Diploma di specializzazione in Microbiologia nel 1982. Ha lavorato per l'Agenzia per la Promozione e lo Sviluppo del Mezzogiorno, il Ministero dell'Ambiente e la Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali. Dal 1995 lavora presso l'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, dal 2002 Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, dove, dal 1999 al 2002, è stata Responsabile dell'Unità Normativa Tecnica ed attualmente riveste la carica di responsabile del Servizio Rifiuti. È presidente del Comitato nazionale dell'Albo nazionale delle imprese che effettuano la gestione dei rifiuti, coordinatrice del Gruppo tecnico ristretto "Gestione Rifiuti" di supporto alla Commissione ex articolo 3, comma 2 del D.Lgs 372/99, nonché referente del National Reference Centre sui Rifiuti per l'Italia nei confronti dell'Agenzia Europea per l'Ambiente e dell'ETCW (European Topic Centre on Waste). È autrice o coautrice di oltre 120 pubblicazioni di carattere tecnico-scientifico.

**Andrea M. Lanz** – Laureato in Chimica industriale presso l'Università degli Studi di Roma – "La Sapienza" nell'a.a. 2000, dal 2001 opera presso l'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, dal 2002 Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici – Servizio Rifiuti. Svolge attività a prevalente contenuto tecnico-scientifico principalmente in materia di produzione e gestione dei rifiuti derivanti dal settore agricolo ed agro-industriale, recupero ed utilizzo agronomico di acque reflue da aziende agroalimentari e di reflui zootecnici, nonché in materia di recupero e riutilizzo della sostanza organica da rifiuti. Ha partecipato, a supporto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ai GdL tecnici per la predisposizione della normativa in materia di trattamento biologico dei rifiuti e di utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue agro alimentari. È autore o coautore di 15 pubblicazioni di carattere tecnico-scientifico.

**Marco Bergonzoni** – Laureato in geologia (con lode) presso l'Università degli Studi di Parma nell'anno 1992 ed in Ingegneria industriale (con lode) presso l'Università Politecnica delle Marche nell'anno 2003. Ha lavorato inizialmente presso l'ente Parco Regionale dei Sassi di Roccamalatina (MO), dove ha svolto attività di progettazione naturalistica e ricerca ambientale. Dal 1995 è dipendente di AGAC S.p.A. (Servizi Energetici ed Ambientali), dove lavora tuttora, nel settore ambientale. In particolare svolge attività di progettazione e direzione lavori nel settore degli impianti di smaltimento rifiuti e del ciclo integrato delle acque. In tale ambito ha inoltre svolto e coordinato numerose ricerche scientifiche di tipo ambientale, in collaborazione con Università ed Enti di ricerca. Ha progettato e svolto docenze per numerosi corsi ambientali, organizzati da enti di formazione territoriale. È professore a contratto all'Università degli Studi di Parma presso la Facoltà di Ingegneria e di Scienze Ambientali. È autore e/o coautore di oltre 40 pubblicazioni di carattere scientifico e tecnico, nazionali ed internazionali.