

RIFIUTI ORGANICI, IGIENE, EROSIONE, DESERTIFICAZIONE DEI SUOLI

A. PAOLETTI (*) - A. PARRELLA (***) - F. ALIBERTI (***)
E. GARGIULO (***) - A.P. VITALE (****) - A. CECERE (****)

IL fenomeno desertificazione ha certamente molte cause sia naturali che antropiche ben documentate dalle Discipline specifiche e largamente divulgate perfino in grandi enciclopedie, mentre organizzazioni internazionali come la FAO approfondono da decenni denaro ed energie per recuperare immensi territori perduti in tal modo e combattere, così, la fame nei paesi sottosviluppati.

Attività umane e desertificazione

Spesso da più fonti ed anche dalla stampa giornalistica viene ricordato, per esempio, che 160.000 kmq di foresta sono andati perduti nell'ultimo secolo e che i terreni aridi sono aumentati del 140%, mentre aree fertili quali l'antica Mesopotamia e gran parte del Sahara hanno iniziato il loro declino proprio con la perdita della vegetazione arborea un tempo abbondante; e così di seguito. L'opinione pubblica oggi è sufficientemente informata e chiede la protezione della foresta Amazzonica ed aree similari perché è messa in allarme per il pericolo dell'effetto serra, ma non è sufficientemente edotta sul fatto che anche in conseguenza della desertificazione tale effetto potrebbe verificarsi. Infatti, l'eccesso di CO₂ prodotto dalle attività umane può essere combattuto proprio aumentando la vegetazione del globo nel suo insieme e non solo conservando le attuali foreste. La lettura di specifici scritti documenta quanto sia grande la responsabilità dell'uomo in questo settore, perché fin dai tempi lontanissimi egli ha iniziato a tagliare gli alberi per accendere il fuoco, per costruire la casa ed i recinti necessari alla sua protezione e per il bestiame, per aumentare lo spazio necessario alla pastorizia ed all'agricoltura. Gli incendi (spontanei o provocati) hanno accelerato il fenomeno; le enormi mandrie di bovini, equini e caprini hanno richiesto sempre più spazi liberi in epoche successive; l'avvento dell'aratro prima ed i moderni mezzi meccanici di lavorazione del terreno, oggi, hanno aumentato gli spazi liberi e livellato vaste aree per

(*) Professore Ordinario di Igiene f.r.
(**) Professori Associati di Igiene.
(***) Tecnico Laureato in Biologia.
(****) Interni Laureati in Biologia.

Sezione Igiene e Microbiologia - Dipartimento di Fisiologia Generale ed Ambientale - Facoltà di Scienze Università Federico II, Napoli.

Abstract

The ongoing desertification of the Earth is progressing both for the well-known natural climatic causes and for causes related to human activities. The deforestation, the spreading of animal farms and the agricultural mechanization caused the formation of the savanna first, then of the steppe and eventually of the desert, as it is well documented in the specialized literature. Where there is no vegetation, the leaching, which is mainly hydrological, erodes the soil surface and progressively removes its fertile surface layer, rich in organic matter and humus. The specialized literature supports also this view. To stop and cope with this urgent problem we cannot but return to the deprived soils that organic matter and humus they lost. In this way it would be possible to start again the forestation and the silviculture, and the rooting of that vegetation whose roots hold the superficial layer of the soil, and in so doing stop the erosion of the soil, and its consequent dryness, which are more and more evident on the Mediterranean southern coasts, including Italian ones. It was experimentally shown that it is possible to make the soil fertile, even dry sand, by covering it with a barely sufficient layer for the natural organic wastes. Such wastes can even be sewage sludges from biological purification plants, provided they have been duly selected and are adequately administered to respect the environmental hygiene.

Résumé

La désertification de la planète terre continue à avancer pour des raisons climatiques naturelles, mais aussi bien pour des causes liées aux activités humaines. La déforestation, l'agrandissement des élevages animaux et la mécanisation agricole ont fait naître la savane et même la steppe et le désert, comme la littérature, elle-même, le montre. Là où il n'y a pas de végétation, la podzolisation érode la surface du sol et l'appauvrit de la couche superficielle et fertile riche en substance organique et en humus. Dans ce sens, toute la bibliographie spécifique concorde. Afin d'arrêter ce phénomène, il faut redonner aux sols ces deux éléments, pour assurer l'afforestation, la sylviculture, le développement des végétaux ayant un système racinaire qui traitent sur place la couche superficielle du sol et arrête l'érosion et l'aridité des sols de plus en plus fréquentes le long des côtes méditerranéennes du sud, y compris l'Italie. D'un point de vue expérimental, le sable stérile peut devenir fertile, lorsqu'on le couvre avec une couche de déchets organiques, y compris les boues, provenant des installations d'épuration biologique des purins, pourvu qu'elles soient sélectionnées et administrées en respectant l'hygiène environnementale.

favorire la monocoltura estensiva; la necessità di cellulosa per l'industria della carta e l'espandersi delle città, delle aree industriali e delle varie infrastrutture collegate con l'urbanizzazione, hanno accelerato ulteriormente questo saccheggio.

Tutto ciò ha portato ad una estesa riduzione del manto arboreo e vegetale in senso lato, con la conseguente facile erosione dello strato superficiale del suolo, che ne rappresenta la parte fertile. La lettura di molti importanti scritti (1, 2, 3, 4, ecc., ecc.) illustra e documenta gli aspetti più eclatanti del fenomeno ed analizza le cause per le quali, nel tempo, la foresta è diventata savana, poi steppa ed infine deserto in molte aree del globo (figura 1) e richiama l'attenzione dei popoli e dei governi tutti sul suo inesorabile espandersi. I non addetti ai lavori generalmente ignorano che il fenomeno è particolarmente esteso anche in USA, dove, a partire dalla scoperta dell'America, si è avuta una acuta ed incontrollata deforestazione per opera dell'uomo e le conseguenze deleterie di tali atti si sono fatte sentire in modo relativamente più celere in questa nazione, tanto è vero che il presidente Roosevelt fu costretto a creare, già nel 1933, il SOIL EROSION SERVICE, divenuto anni dopo il

SOIL CONSERVATION SERVICE perché i dati raccolti erano veramente allarmanti. Il fenomeno è certamente iniziato da secoli, perché risulta accertato che negli ultimi 9.000 anni il suolo del continente Nord-America si è abbassato di un piede in media (30,48 cm) per effetto della erosione eolica ed idrica, mentre nel 1933-35 le grandi tempeste di sabbia delle grandi pianure USA, per esempio, hanno portato via in un sol giorno 300 milioni di tonnellate di suolo fertile, trasportandolo a migliaia di km di distanza; e così di seguito. Questo impoverimento del terreno fertile delle terre emerse è connesso con il dilavamento idrico del suolo che è enorme anche dove esiste una vegetazione imbrigliante; basti pensare che il solo Mississippi versa ogni giorno nel Golfo del Messico 1 milione di tonnellate di sedimenti, riducendo i nutrienti del bacino imbrifero perché erosione vuol dire perdita di quella materia organica esistente in superficie, che è indispensabile per consentire la crescita di vegetazione.

La perdita di materia organica è la inevitabile conseguenza della aridità e desertificazione dei suoli, ed anche nel bacino del Mediterraneo questo fenomeno esiste. Dai dati disponibili, risulta che 100.000 Tonnel-

late/anno di materia organica di provenienza urbana ed industriale finiscono nel Mediterraneo direttamente o tramite fiumi e tale quantitativo è certamente minore rispetto al totale asportato per erosione eolica ed idrica, che sarebbe utile determinare utilizzando i moderni sistemi della NPSP (Non Point Source Pollution) sempre più applicati nel settore (5). Se poi si tiene conto della enorme quantità di materia organica dei *fanghi della depurazione e dei rifiuti solidi urbani* (R.S.U.) che continuamente si perde per incenerimento, per interrimento o per discarica più o meno controllata, avremo una percezione più verosimile di quanto materiale insostituibile vada così perduto.

Nei paesi CEE dell'Europa, nel 1977, si sono prodotti oltre 100 milioni di Tonnellate di R.S.U., di cui 20 milioni di T sono stati inceneriti dando luogo a 6,7 milioni di T tra scorie, ceneri e fanghi (circa il 30% del materiale di partenza) mentre nell'aria sono finite 15.000-30.000 T di polveri contenenti il 7% di metalli pesanti quali *Cu, Pb, Zn, Cd*, oltre che Cloruri e Solfati). I soli fanghi della depurazione biologica dei liquami dei paesi Europei, da smaltire, ammonterebbero a 15 milioni di T/anno. I rifiuti zootecnici sarebbero 10 volte maggiori.

La sola Italia produce circa 20 milioni di T/anno di R.S.U., di cui 2 milioni di T (5.000 T/giorno) sarebbero formati da soli fanghi della depurazione biologica (6) se venisse rispettata la legge Merli 319/76. Va ricordato che più del 60% dei R.S.U. è fatto di materia organica e cellulosa, che diventano materiale riciclabile se si procede ad una adeguata cernita e ad idoneo utilizzo, mentre i fanghi della depurazione biologica di liquami urbani potrebbero considerarsi tutti riciclabili se si procedesse alla loro opportuna sanitizzazione (vedi **tabella 1, 7**) ed abolizione dei prodotti industriali che in essi vengono mescolati abusivamente.

La tabella chiaramente evidenzia che entrambi questi due tipi di rifiuti contengono: a) *materia organica e sali fertilizzanti* (in particolare *N, P, K* e oligoelementi) indispensabili per l'ambiente purché siano ben distribuiti, perché senza di essi i vegetali non crescono; b) *microbi patogeni*, che possono essere aboliti con calore utilizzando il metano che gli stessi impianti di depurazione producono; c) *metalli pesanti*, che sono componenti naturali del suolo, spesso utili, anzi indispensabili per la biologia vegetale ed animale in determinate concentrazioni, e che diventano più o meno pericolosi soltanto se si superano certe concentrazioni (vedi **tabella 2**). Per legge, i metalli non possono essere immessi nelle fognature urbane con gli scarichi di industrie che ne contengono al di sopra di determinate concentrazioni ormai ben codificate; d) *composti chimici non biodegradabili, tossici e accumulabili*, di origine industriale, che per legge non dovrebbero essere immessi nelle fognature urbane (PCB, fitofarmaci, antiparassitari, detersivi non biodegradabili, solventi, idrocarburi, ecc. ecc.). Il problema desertificazione è vecchio, ma

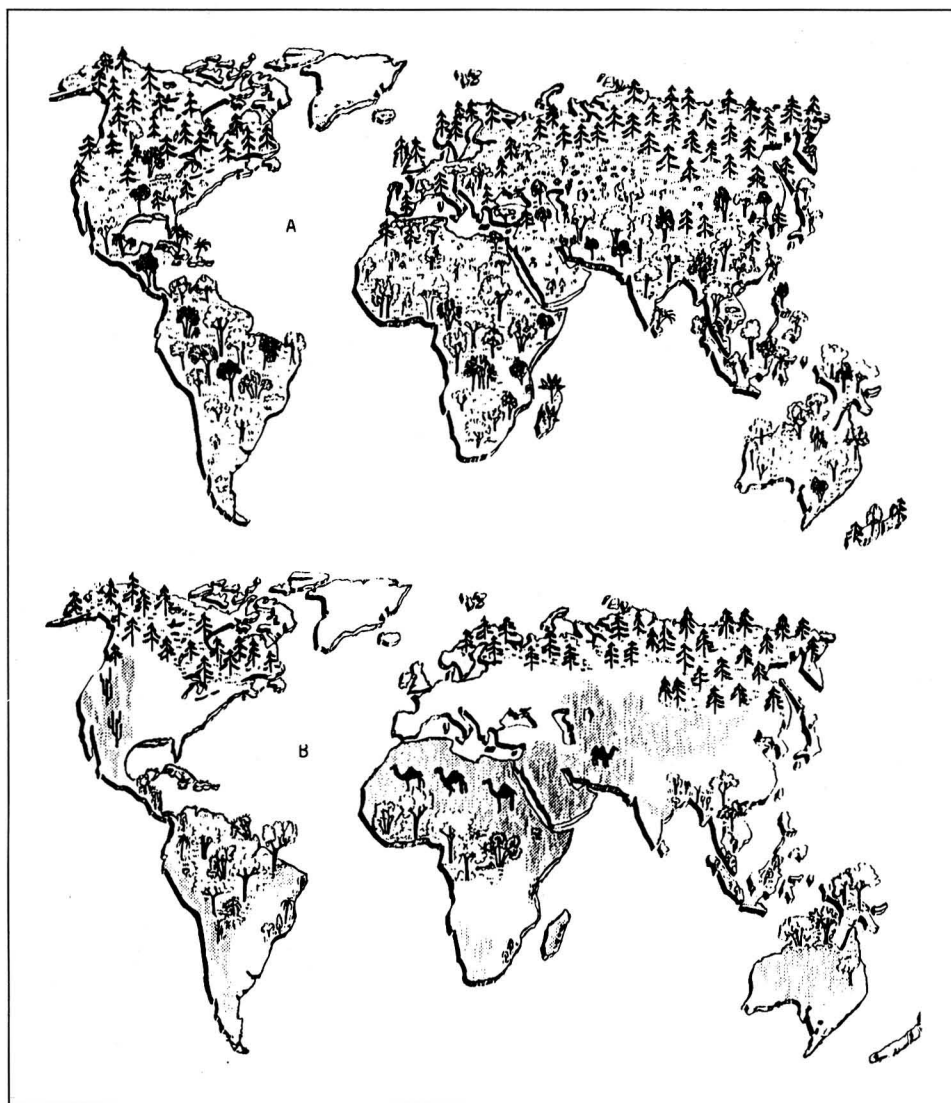


Figura 1 - In A: le foreste erano molto estese sul pianeta ai tempi dell'umanità primitiva. In B: Oggi le aree forestali superstiti sono molto scarse. I deserti ed i territori aridi (punteggiati) avanzano continuamente, raggiungendo ormai le coste del mare Mediterraneo (da Pavan M.).

Tabella 1 *Composizione dei fanghi e del compost (Ettlich e Lewis, 1976).*

Componente (nell'essiccato)	Fanghi digeriti	Compost selezionato
Acqua	80 %	35 %
Solidi totali	20 %	65 %
Materia organica	50 %	50 %
Azoto	2,5 %	0,9 %
Fosforo	2,7 %	2,3 %
Potassio	0,6 %	0,2 %
Zolfo	0,9 %	0,4 %
Calcio	2,9 %	2,6 %
Magnesio	1 %	0,3 %
Boro	23 ppm	27 ppm
Zinco	2.000 ppm	1.000 ppm
Cadmio	19 ppm	9 ppm
Rame	600 ppm	250 ppm
Piombo	540 ppm	320 ppm
Coli totali	23.000.000.000/100 gr	97.000/100 gr
Coli fecali	2.400.000.000/100 gr	3.000/100 gr
Salmonelle	6.000/100 gr	0/100 gr

solo in questo secolo se ne sta intensificando l'analisi delle cause, si estende la divulgazione delle conoscenze, stanno aumentando gli interessi e gli interventi dei Governi. A livello CEE si sono emanate leggi in cui sono previsti contributi della Comunità per la forestazione nei Paesi dell'area Mediterranea. Per quanto concerne i rifiuti organici va ricordato che, in Italia, il Ministero dell'Ambiente e quello dell'Agricoltura finanziano ricerche atte alla loro valorizzazione con un riciclo idoneo per migliorare i terreni. Significative sono anche le prese di posizione di Organizzazioni Ambientaliste in tema di divulgazione del problema, con l'ottenimento di una legge che concorre al finanziamento della posa in sede di un albero per ogni nuovo nato.

Necessita ricordare anche che, durante il Vertice dei 7 Grandi tenutosi ad Houston nel luglio del 1990, il presidente degli USA, piuttosto che ostacolare il progresso industriale per ridurre la produzione di CO₂, si è dichiarato pronto a forestare il territorio piantando un miliardo di alberi all'anno per 10 anni, allo scopo di fronteggiare l'aumento di tale gas nell'aria, di cui gli alberi notoriamente si nutrono. Così facendo avrebbe aumentato al tempo stesso la riserva di legname anche come materia prima per la carta. Ma con tale atto egli interveniva anche nella lotta contro la catastrofica ed incalzante desertificazione, problema antichissimo che è in progressivo aumento anche negli Stati Uniti proprio per opera dell'uomo, soprattutto nell'era attuale. Riteniamo che la citazione di queste poche voci bibliografiche e di questi significativi interventi di alcuni governi siano sufficienti a dare una idea della vastità ed attualità del fenomeno, sulla cui descrizione esistono ormai intere biblioteche.

Struttura del terreno coltivabile

La struttura del terreno coltivabile è ben nota e la composizione del suo strato superficiale (orizzonte A) viene ricordata in questo Convegno anche nelle Relazioni di altri AA. Ricordiamo soltanto alcuni particolari della sua costituzione, limitatamente a quanto necessario per la comprensione di quanto verrà riportato nella nostra Relazione.

Lo spessore dell'Orizzonte A è molto vario (2,5-60 cm in media) e rappresenta la parte fertile del terreno.

Gli elementi in tracce in esso contenuti sono 13 di provenienza dalle rocce frantumate (N, K, Ca, P, Mg, S, Mn, B, Fe, Zn, Cu, Mo, Cl) e 3 provengono dall'aria ed acqua (C, O, H). Sono, perciò, costituenti naturali del terreno e, quindi, dell'ecosfera tutta.

La materia organica rappresenta il 5-10% di un terreno coltivabile ed è necessaria perché contiene gli elementi plastici necessari per la vegetazione (C, N, P, S, ecc.), nonché tracce degli elementi sopra citati, oltre a CO₂ ed O₂. I terreni dell'Irak, per esempio, ne contengono 6-8% se sono fertili mentre

Tabella 2 La utilizzazione dei fanghi in agricoltura. Limiti previsti dalla Direttiva CEE 86/278.

	a Suolo (mg/kg)	b Fango (mg/kg)	c Max 10 anni (kg/ha/anno)
Cadmio	1-3	20-40	0,15
Rame	50-140	1.000-1.750	12
Nichel	30-75	300-400	3
Piombo	50-300	750-1.200	15
Zinco	150-300	2.500-4.000	30
Mercurio	1-1,5	16-25	0,10
Cromo	da definire	da definire	da definire

nei suoli aridi dello stesso Paese vi si trova in concentrazioni esigue di 0,1-0,2%. Il terreno agrario dell'Italia ne contiene appena 0,3-3% rispetto ad una media europea del 3-6%.

L'Humus non è altro che materia organica macerata e trasformata dalle attività microbiche del suolo; ne condiziona la fertilità perché trattiene incorporata (e quindi a disposizione dell'apparato radicale delle piante) una notevole quantità di acqua e di nutrienti di cui è ricco (ma anche di inquinanti se presenti). Un aumento dell'1% di humus nel suolo fa aumentare dell'8-10% la sua capacità di ritenere acqua. Almeno 50 tonnellate di humus per ettaro sono presenti anche nei terreni poveri mentre ben 600-700 tonnellate si riscontrano per ettaro di suoli fertili. Milioni di tonnellate di humus vanno perdute ogni anno a causa dell'erosione idrica ed eolica delle terre emerse. L'acqua è notoriamente un fattore primordiale per la fertilità del suolo, ma va ricordato che i semi germinano anche in presenza di sola acqua distillata dato che contengono i nutrienti essenziali per dar luogo allo sviluppo della piumetta e della radichetta ed alle prime fasi della pianta; la crescita completa di essa si arresta se in seguito, oltre all'acqua, non si somministrano anche gli elementi nutritivi di cui la materia organica ed in particolare l'humus sono ricchi. L'apparato radicale è talora esteso per km e formato da milioni di ramificazioni in una sola pianta; ha la funzione di assorbire acqua, sostanze nutritive ed oligoelementi del terreno. Ovviamente assorbe anche alcuni inquinanti se questi sono presenti in forma solubile ed assimilabile.

I microorganismi sono sempre abbondanti nel terreno, tanto più numerosi quanto maggiore è la quantità di materia organica che hanno il compito di degradare e rendere assimilabile da parte delle piante. Un ettaro di suolo fertile profondo 30 cm può contenere più di 7 tonnellate di esseri viventi quali batteri, funghi microscopici, alghe, protozoi, nematodi liberi, anellidi, insetti, ecc...

Su quasi tutto il pianeta il sottile strato di humus che produce la maggior parte degli alimenti si misura in centimetri e tutte le aree costiere del Mediterraneo del sud ne sono ormai carenti. Prima o poi gran parte di esso finisce in mare mentre il resto si solleva nell'atmosfera. Il solo rimedio possibile sta nel trovare i metodi per conservare più ef-

ficacemente questo strato sottile.

Forestazione e silvicoltura sono indispensabili per ridurre o arrestare l'erosione del suolo e recuperare terreni aridi ed improduttivi. Si tratta di programmi attuali ampiamente sostenuti a livello CEE. «I suoli devono essere protetti dall'erosione». «La produttività dei suoli sarà mantenuta o migliorata attraverso misure che salvaguardino la loro fertilità a lungo termine ed i processi di decomposizione organica, nonché attraverso misure che prevengano l'erosione», (Consiglio d'Europa; Carta Mondiale della Natura, Nazioni Unite).

I rifiuti organici contro la desertificazione

Partendo da queste premesse bibliografiche sinteticamente enunciate ed avvalendoci anche di quanto è stato detto in altre Relazioni di questa Conferenza limitatamente agli aspetti di nostro interesse, c'è da chiedersi se sia giusta la scelta politica e tecnica dell'incenerimento o discarica dei fanghi della depurazione biologica e della parte organica dei rifiuti solidi urbani o non sia invece più corretto (non solo dal lato ecologico ma anche da quello igienico) orientarsi più decisamente verso un recupero e riciclo di ciò che può essere utilizzato con profitto (8 e 9). «I rifiuti sono un qualche cosa che l'uomo non ha avuto ancora l'intelligenza di riutilizzare con suo beneficio» (Spillhaus).

I fanghi della depurazione biologica sono un concentrato di:

a) Microorganismi (patogeni compresi, provenienti dall'intestino umano), che dopo idonea digestione possono anche essere distrutti utilizzando il calore ottenibile dal gas metano che negli impianti stessi si produce (ma in genere viene disperso nell'aria).
b) Metalli tossici e/o sostanze chimiche dannose in eccesso, che per legge non dovrebbero essere immesse nelle fogne urbane, vanno abbattuti dalle industrie stesse. Un controllo capillare in tal senso è considerato difficile, ma per la forestazione si potrebbe, con assoluta tranquillità, iniziare con l'utilizzo dei fanghi già ritenuti idonei anche per l'agricoltura, perché il loro contenuto (eliminati i patogeni di cui sopra) è ampiamente nei limiti richiesti (vedi tabella CEE 1986/278 - tabella 2). Per nostra diretta va-

lutazione ed esperienza sono risultati idonei in tal senso anche i fanghi della sedimentazione secondaria provenienti da città a modica industrializzazione (impianto Foce Regi Lagni-Caserta).

c) *La materia organica ed anche l'Humus che da essa deriva* rappresentano una di quelle risorse non rinnovabili (quindi esauribili) di cui si predica di voler stimolare lo studio ed il recupero dopo aver adottato, ovviamente, le opportune cautele per ridurre e/o eliminare le sostanze pericolose che essi possono contenere. Lo Stato ne raccomanda il recupero ed il riciclo e non v'è dubbio che la soluzione ideale sarebbe quella di ridare ai suoli tutta quella quota di nutrienti ed oligoelementi che con gli alimenti e la vegetazione sono stati prelevati da essi. Questa politica è in continua espansione, ma deve essere incoraggiata e divulgata facendo sapere che molti Paesi la attuano anche in Europa, dove si utilizzano sotto controllo igienico i fanghi della depurazione biologica perfino in agricoltura (Francia 23% dei fanghi, Germania 43%, Gran Bretagna 45%, Lussemburgo 90%, ecc.); ciò significa che ancora una grandissima quantità di sostanza organica utile viene eliminata senza il giusto utilizzo in Europa, ed in particolare nei Paesi Mediterranei.

Anche i rifiuti solidi urbani contengono mediamente una notevole quantità di materia organica il cui utilizzo va sempre più incrementato, dopo ovvia fase di cernita che certamente complica e rende più onerosa tale prassi. Poiché enorme è la quantità di materia organica che viene eliminata con i rifiuti urbani (fanghi compresi) (6) e poiché si tratta di materia organica che proviene dal terreno e che diventa *rinno­vabile se al terreno viene restituita in modo adeguato*, la Direttiva del Consiglio d'Europa 278/1986 non solo codifica le modalità d'uso di tali rifiuti, ma specifica anche le concentrazioni massime di *metalli* da non superare nei fanghi utilizzabili in agricoltura e le concentrazioni che essi non devono superare nel suolo dove naturalmente si trovano in quanto facenti parte della crosta terrestre e persino le quantità massime che possono essere impiegate nei terreni coltivabili nel corso di 10 anni (vedi **tabella 2**, colonna a, b e c).

La destinazione ultima dei fanghi della depurazione biologica e della materia organica dei rifiuti solidi ecologicamente ineccepibile, quindi, dovrebbe essere quella del loro utilizzo per fertilizzare il suolo da cui provengono, dopo che se ne sia accertata la innocuità chimica e batteriologica. Il loro scarico controllato non deve guardarsi come un mal sopportato sistema di smaltimento, bensì va considerato come utile e conveniente mezzo di recupero di terreni degradati e di bonifica paesaggistica, perché è possibile «ricavare un miglioramento della situazione attraverso il recupero di terreni» resi convenientemente idonei e trasformati (quali cave di sabbia, ghiaia, argilla, miniere esaurite a cielo aperto, acquitrini e paludi (8 e 9) (**figura 2**). Lo stesso principio può essere esteso ai rifiuti solidi urbani di natu-



Figura 2 - Orrende cave deturpano le pendici del Vesuvio. Riempite di fanghi idonei e terreno sono state recuperate e valorizzate (vivai a sinistra). Ferite del genere, inferte al territorio, possono sempre essere bonificate con una oculata programmazione di salvaguardia igienica del territorio e delle falde idriche (Paoletti, 1973).

ra organica.

Ancora una volta dobbiamo ribadire che *i fanghi dei centri abitati non industrializzati* rientrano tranquillamente nei limiti di **tabella 2** e, pertanto, sono utilizzabili non solo in agricoltura con le cautele ben codificate, ma certamente anche in silvicoltura e forestazione. *Il Ministero dell'Ambiente e quello della Ricerca Scientifica e Tecnologica incoraggiano questa prassi e perfino prevedono finanziamenti per ricerche del loro utilizzo per fini agricoli e forestali* (Gazzetta Ufficiale 28/2/89, Serie Generale n° 49; decreto 17/2/89). Del tutto recentemente la CEE ha deciso finanziamenti a fondo perduto pari al 75% delle spese di forestazione dei suoli, mentre il rimanente 25% viene concesso con prestito agevolato per 15 anni.

Parte sperimentale

Le remore e la psicosi che si avvertono alla base del non utilizzo dei fanghi e rifiuti organici quali fertilizzanti sono partite da considerazioni di ordine sanitario che noi Igienisti abbiamo posto sul tappeto, ben puntualizzando il fatto che *l'impianto di depurazione non distrugge gli inquinanti ma li concentra in grandissima parte nei fanghi rendendoli pericolosi*. In considerazione di ciò è giusto che oggi dagli Igienisti stessi parta l'iniziativa di convincere e propagandare la certezza che le tecnologie e le conoscenze attuali garantiscono che almeno una parte di questi rifiuti possa essere resa innocua nei riguardi degli inquinanti che contengono ed essere riciclata con beneficio per l'ambiente se si osservano certe norme ben codificate. È con questo spirito e con questi intenti che il nostro gruppo sta lavorando da decenni e che oggi riassumiamo brevemente con alcune osservazioni derivanti da ricerche degli ultimi 3 anni.

Partendo dalla considerazione di base che un terreno è sterile se privo o troppo povero di nutrienti, abbiamo operato alcune ricerche preliminari *utilizzando come substrato sabbia marina* setacciata ed accuratamente lavata per asportare ogni traccia di materia organica e di nutrienti, nonché eventuali sostanze tossiche.

Tale substrato, completamente inerte dal punto di vista biologico, veniva disposto in una serie di contenitori o cilindri, di cui alcuni trasparenti per ragioni di studio. Sulla superficie del primo contenitore veniva versata acqua di fonte (controllo) e nei successivi tre vi si stratificavano fanghi (primari, secondari e digeriti rispettivamente) in quantità uguali al controllo in quanto a contenuto di acqua (**figura 3**). Come si rileva dalla figura, l'acqua del controllo percola immediatamente in profondità e si prosciuga più o meno rapidamente in superficie; i fanghi, invece, mantengono visibilmente in superficie sia l'acqua che la materia organica e l'humus in essa contenuti a causa della elevata capacità igroscopica di cui sono dotati. Praticamente dopo 24 ore lo strato superficiale di sabbia del controllo conteneva solo tracce di acqua mentre quello dei tre tipi di fanghi ne conteneva ancora il 70-80%, e per moltissimo tempo.

Impiegando quale substrato materiale ghiaioso, ugualmente lavato a lungo con acqua di fonte per eliminare ogni sostanza nutriente e/o inquinante, la stratificazione di cui sopra dà risultati ovviamente diversi. Infatti a differenza dell'acqua che, versata in superficie, viene immediatamente inghiottita e fuoriesce dal fondo e alquanto presto si prosciuga sulla superficie del pietrisco, i tre tipi di fanghi con pari contenuto di acqua, versati su detto pietrisco, ugualmente scendono in profondità in modo rapido, ma in buona parte rimangono permanentemente adesi al pietrisco e rimpiccioliscono gli spazi fino ad occluderli completamente con

le successive aggiunte anche di terriccio e di sabbia. Anche su questo pietrisco la aggiunta di fanghi rende possibile la germinazione dei semi e lo sviluppo di piante.

In campo aperto, sul terreno ghiaioso, questa percolazione dei fanghi avviene più lentamente ma la saturazione dei pori si manifesta in modo più netto e completo perché in natura tale substrato è sempre frammisto a sabbia e tracce di argilla e, quindi, più facilmente si manifesta la occlusione dei pori, che sono di dimensione variabili ma comunque minori che nel caso della sperimentazione da noi fatta in laboratorio con pietrisco lavato e di pezzatura uniforme; ne consegue che ogni tipo di terreno disciolto, in pratica, trattiene in superficie i fanghi e l'acqua in essi contenuta purché i fanghi posti in superficie siano limitati per quantità ed adeguatamente densi per qualità. Questi esperimenti dimostrano in modo chiaro ed ineccepibile che i fanghi della depurazione mantengono umido a lungo, in modo più o meno accentuato, lo strato superficiale del terreno proprio perché su di esso facilmente si stratificano e vi trattenono l'acqua in essi contenuta, oltre che i nutrienti sempre presenti (nonché gli eventuali inquinanti che si devono sempre evitare).

La stratificazione sulla sabbia dei tre tipi di fanghi, con contenuto quasi uguale di acqua (80-90% circa), non solo mantiene umido lo strato superficiale di sabbia, ma ne occlude rapidamente i pori a tal punto che le successive aggiunte di acqua in superficie o di altro fango fanno rilevare una completa o per lo meno molto duratura impermeabilizzazione del substrato. L'acqua, infatti, rimane anche per giorni galleggiante, fino ad esaurirsi più per evaporazione che per percolazione.

I fanghi primari permettono una percolazione dell'acqua più rapida di quelli degli altri due tipi, evidentemente perché la materia organica dei liquami non ha ancora subito una sufficiente trasformazione microbica di humificazione.

I fanghi secondari occludono molto tenacemente i pori del substrato, perché il trattamento ossidativo ha stimolato le attività microbiche portandole alla formazione di abbondanti polisaccaridi esocellulari dotati di spiccata azione flocculante e collante nei riguardi di tutti gli altri componenti cellulari e colloidali del materiale organico.

I fanghi digeriti, infine, pur presentando una consistenza maggiore ed un aspetto catramoso, permettono che l'acqua percoli un pò più facilmente, forse perché la digestione metanica ha distrutto gran parte di tali polisaccaridi. Va rilevato che, una volta saturato di fango lo strato superficiale di sabbia (10-20 cm di esso sono sufficienti), nemmeno l'aggiunta in superficie di acqua di fonte ne consente il passaggio in profondità o questo avviene con lentezza. Operando con ghiaia quale materiale di supporto, tale comportamento di impermeabilizzazione del substrato ad opera dei fanghi non è facilmente ottenibile negli esperimenti di la-



Figura 3 - Sulla sabbia filtrata e lavata si sono versati 100 cc di acqua o di fanghi (primari, secondari e digeriti). L'acqua pura percola immediatamente in profondità (a sinistra) mentre l'analoga quantità di acqua contenuta nei tre tipi di fanghi resta in superficie, trattenutavi dall'humus unitamente ai nutrienti (ma anche ai contaminanti batteriologici e chimici se ci sono). La sabbia così trattata diventa fertile.

boratorio, ovviamente perché le micelle dei tre tipi di fanghi hanno dimensioni troppo piccole per essere arrestate completamente da pori troppo grandi del substrato di pietrisco. Lavorando sul campo, invece, è facile dimostrare che lo spandimento in superficie di una modica quantità di fango (pochi cm di altezza) produce uno strato superficiale umido e fertile di suolo senza che ne possano essere interessate le falde idriche sottostanti.

Sostanze inquinanti quali batteri, virus, nitrati, nitrati e detergenti non sono stati mai reperiti oltre i 30-50 cm di profondità negli esperimenti condotti con sabbia coperta da 5-10 cm di fanghi biologici.

I semi dei cereali (*Pisum sativum*, *Cicer arietinum*, *Lens esculenta*, *Vicia Fava*, *Triticum sativum*, *Hordeum vulgare*, *Phalaris canariensis* e *Panicum miliaceum*) sono stati sottoposti al test di fitotossicità sulla germinazione ponendoli sulla superficie della sabbia a contatto con i tre tipi di fanghi. La loro germinazione e successivo sviluppo di radichetta e piumetta sono stati simili ai controlli con sola acqua purché si curasse di mantenere costantemente umido l'ambiente sabbioso. Ciò sta a significare che le sostanze presenti nell'acqua e nei fanghi o non sono tossiche per i semi o non vengono assorbite da essi unitamente all'acqua che le contiene. Non si è rilevata alcuna sostanziale accelerazione o alcun miglioramento della germinazione dei semi per effetto dei nutrienti che la sostanza organica e l'humus dei fanghi sempre contengono in gran copia, perché il fenomeno si è manifestato praticamente analogo anche in presenza di sola acqua. Se ai fanghi in oggetto o all'acqua si aggiungono sostanze tossiche (sono stati sperimentati alcuni detergenti), la germina-

zione viene bloccata o rallentata in rapporto alle dosi impiegate, a conferma che questo tipo di test di fitotossicità della germinazione può considerarsi idoneo, almeno orientativamente, per questo tipo di indagine. Un arresto totale della germinazione può verificarsi, invece, se i semi vengono completamente affondati nel fango e/o ricoperti dal fango stratificato sulla sabbia. Ciò è da attribuirsi ad un blocco meccanico dell'apertura degli strati esterni dei semi per incollamento delle parti provocato dal fango denso; infatti il fenomeno è transitorio in quanto tali semi riprendono a germogliare se vengono lavati e trasferiti in ambiente umido senza fanghi.

Lo sviluppo delle piante in una fase successiva (test di fitotossicità) fa rilevare che la sola sabbia con acqua (controllo) consente la loro crescita in modo stentato ed essa procede fino ad un certo punto per poi arrestarsi quando la pianta comincia ad avere bisogno di nutrienti esterni, essendosi esaurita la riserva di quelli presenti nel seme. Tale arresto di crescita è marcato soprattutto se non viene somministrata acqua di fonte. Le piante poste in contenitori contenenti sabbia con uno strato superficiale di fanghi, continuano invece a crescere bene senza aggiunta di nuova acqua perché questa non evapora facilmente e viene trattenuta a disposizione dell'apparato radicale, ad opera dell'humus presente nei fanghi, unitamente ai nutrienti.

Lo strato superficiale di fango lasciato prosciugare fino al punto da formare un crostone si fessura in scaglie più o meno grandi e perde in parte quella impermeabilità che aveva all'inizio, sicché l'acqua percola attraverso queste soluzioni di continuo dello strato impermeabile. Ciò non avviene se si

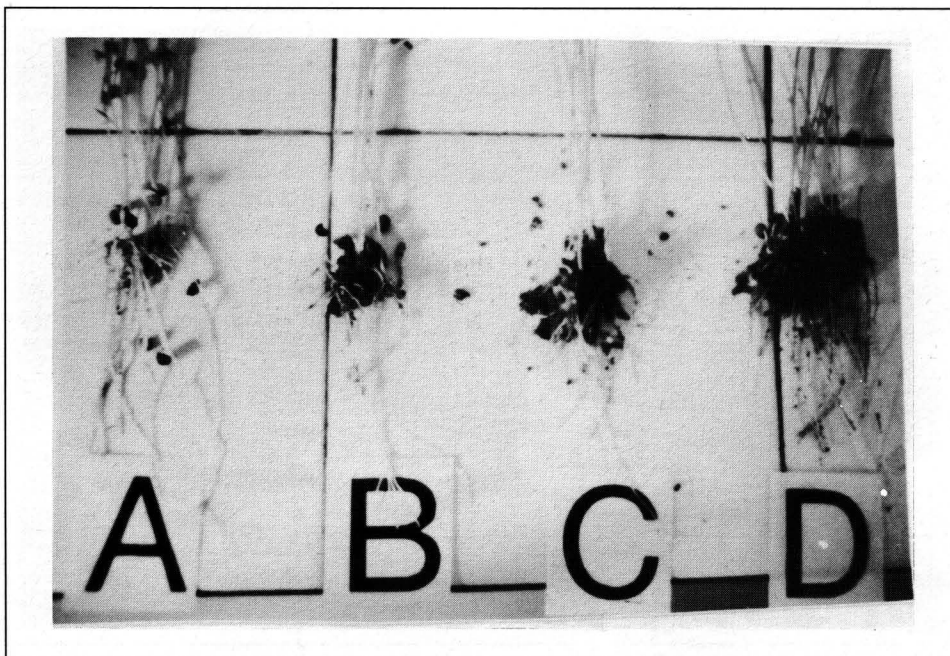


Figura 4 - Le radici di piante estratte dalla sabbia con fanghi stratificati escono con notevole quantità di humus e materia organica attaccata, che tiene a loro disposizione sia l'acqua che i nutrienti (B, C e D), mentre le piante di controllo (con sola acqua) presentano radici nude.

evita il suo completo prosciugamento mediante periodica aggiunta di acqua o di altri fanghi. Procedendo con adeguati accorgimenti si ottiene una impermeabilizzazione veramente efficace della sabbia o di qualsiasi tipo di terreno misto e se ne può arricchire lo strato superficiale con molti centimetri di materia organica ed humus, al punto tale da avere un orizzonte A capace di sostenere lo sviluppo di una vegetazione arborea notevole. In alcuni esperimenti fatti su terreni pedemontani, aridi perché privi di strato organico di superficie (0,6% di materia organica sul terreno di partenza), abbiamo riempito periodicamente con fanghi scavi cilindrici praticati nel terreno con gli accorgimenti che si adottano per eseguire il test di percolazione. In poco tempo si sono ottenuti artificialmente campioni di orizzonte A di detti terreni con 25-35 cm di strato organico superficiale altamente ricco di microflora e microfauna terricola, costantemente umido anche nella annata particolarmente secca del 1991. Significativo è il fatto che il microcampione di terreno prelevato con carotaggio a 1 metro di profondità sotto questo orizzonte A artificialmente ottenuto non è risultato difforme (per umidità, contenuto organico e microbico) da analogo campione ottenuto alla stessa profondità ma in luogo lontano dagli scavi riempiti di fango. Queste prove vanno continuate e ripetute, ma già congiuntamente con le prove di laboratorio dianzi riportate esse ci dicono che l'inquinamento delle falde idriche in profondità è inesistente se sul terreno si versano fanghi con determinati accorgimenti ed in quantità non eccessiva ma solo sufficiente per lo sviluppo della pianta che si vuole ottenere. La rottura dello strato protettivo del fondo di una discarica che contiene tonnellate di fango rappresen-

ta, invece, un sicuro pericolo per la falda, dati i quantitativi di fanghi in gioco, perché le piogge finiranno per portare in profondità almeno nitrati (con pericolo di metemoglobinemia) anche dopo molto tempo, nonché batteri e virus. Avendo escluso l'impiego di fanghi industriali, non si ipotizza la percolazione profonda di metalli o inquinanti persistenti.

Lo sviluppo dell'apparato radicale delle piantine cresciute in presenza di fango, presenta radici relativamente più piccole e più tozze dei controlli ma, particolare oltremodo importante, esse sono più tenacemente fissate al terreno tanto è vero che, in seguito a loro estrazione, trattengono incollata ad esse una quantità di terreno notevolmente maggiore (figura 4). Ciò sta ad indicare che la vegetazione presente in terreni ricchi di sostanze umiche mantiene fisso sul posto il loro strato superficiale e, pertanto, li protegge dall'erosione idrica ed eolica. Che la vegetazione in genere e quella arborea in particolare siano efficaci contro l'erosione, è noto da sempre; qui si dimostra che tale capacità può essere acquisita o aumentata impiegando i rifiuti organici ed in particolare i fanghi biologici quali emendanti dei terreni aridi, sabbia compresa.

Conclusioni

La fertilizzazione dei suoli aridi impiegando rifiuti organici ed anche fanghi della depurazione biologica dei liquami urbani è utile perché:

a) Può essere fatta rispettando l'igiene e l'ecologia dell'ambiente se si adottano accorgimenti ben noti e codificati per legge; tale prassi non costituisce una forma sostitutiva

di smaltimento di detti rifiuti, ma rappresenta soltanto un modo saltuario di utilizzo di essi, limitato nel tempo e nello spazio a seconda delle necessità pedologiche del luogo.

b) Tale prassi può rendere fertile un terreno arido per mancanza di humus e materia organica nello strato superficiale di esso, dovuta soprattutto al dilavamento idrico ed eolico.

c) La vegetazione che si instaura su un terreno reso così produttivo, soprattutto se arborea, è bene ancorata al suolo perché le radici di essa ne risultano ben fissate ed il terreno stesso diviene meno friabile e meno erodibile. Terreni aridi pedemontani, privi di vegetazione, possono essere così adibiti alla silvicoltura, con evidente stabilizzazione di suoli soggetti ad erosione, frane e smottamenti e con grandi benefici per l'estetica e la vivibilità dell'ambiente, fino ad evitare e/o ridurre la desertificazione. Anche la sabbia diviene così capace di sostenere una vegetazione.

d) L'impiego di rifiuti organici quali fertilizzanti (fanghi biologici compresi) è consentito dalla legislazione di tutti i Paesi ed è praticata in molte Nazioni, con la ovvia osservanza di determinate norme ben codificate, che riguardano sia la composizione chimica e biologica sia la località di utilizzo dei fanghi stessi.

e) Tale impiego è auspicato ed agevolato dalle normative CEE, nonché dalla legislazione Italiana (Ministero dell'Ambiente e dell'Agricoltura) con finanziamenti per ricerche sul riutilizzo dei rifiuti organici.

f) Con detta prassi si concorre non solo a diminuire il volume da smaltire di questi rifiuti, ma anche ad incrementare la forestazione e silvicoltura con conseguente diminuzione ambientale dell'anidride carbonica e contrastare, così, il temuto effetto serra che, secondo Alcini, minaccia la biosfera terrestre.

Riferimenti Bibliografici

- (1) Pavan M.: *Dissesto ecologico, fame e sicurezza nel mondo*. Ministero Agricoltura e Foreste, Ministero dell'Ambiente, 2ª Ediz. Meroni Edit. Como, 1987.
- (2) Ramade F.: *Catastrofi ecologiche*, Mc Grow Hill Edit., Londra 1989.
- (3) Owen Oliver S.: *Natural Resources Conservation*. Mc Millan Publ. Co. Londra, 1980.
- (4) Faggi P.: *La desertificazione*. Geografia di una crisi ambientale. ETAS LIBRI. Milano, 1991.
- (5) Giorgini A., Zingales F.: *Agricoltura Nowpoint Source Pollution (N.P.S.P.): Model Selection and Application*. Elsevier Edit. Amsterdam, 1986.
- (6) Giannico L., Seller L.: *I rifiuti solidi urbani*. Considerazioni sugli attuali aspetti igienico-sanitari e normativi della situazione italiana. Seminario su Trasformazione e Smaltimento. Regione Umbria Edit., 1981.
- (7) Ettlich W.F., Lewis A.K.: *Is there a Sludge Market?* Water and Waste Engineering, 40, 1976.
- (8) Genevini P.L., Vismara R., Mezzanotte V.: *Utilizzo agricolo dei fanghi di depurazione*. Ingegneria Ambientale: Inquinamento e Depurazione, 12, n° 9, 363-478. 1983.
- (9) De Fraja Frangipane E.: *Criteri e tendenze dello smaltimento dei rifiuti solidi urbani in Italia*. Seminario su Trasformazione e Smaltimento. Regione Umbria Edit., 1981.