

SOCIETÀ ITALIANA DELLA SCIENZA DEL SUOLO

INQUINAMENTO E BIOLOGIA
DEL SUOLO

A T T I

DELLA TAVOLA ROTONDA SUL TEMA

CONSEGUENZE DELLA CONTAMINAZIONE
SULLE BASI BIOLOGICHE
DELLA FERTILITÀ DEL SUOLO

F I R E N Z E

29 GENNAIO 1971



SOCIETÀ ITALIANA DELLA SCIENZA DEL SUOLO

INQUINAMENTO E BIOLOGIA
DEL SUOLO

A T T I

DELLA TAVOLA ROTONDA SUL TEMA

CONSEGUENZE DELLA CONTAMINAZIONE
SULLE BASI BIOLOGICHE
DELLA FERTILITÀ DEL SUOLO

F I R E N Z E

29 GENNAIO 1971

COMITATO ORGANIZZATORE

Prof. G.P. BALLATORE

Prof. G. BANFI

Prof. G. FLORENZANO

Prof. G. PICCI

Prof. V. TRECCANI

Segretario: Prof. R. MATERASSI

ELENCO DEI PARTECIPANTI

- ACCOLTI GIL Dr. Francesco - Ist. Agronomico Oltremare - Firenze
ANASTASIADIS Dr. Basil - Elanco - Firenze
ANNICCHIARICO F. SEBASTIANI Dr.ssa Laetitia - Lab. Radiochim. Ecofis.
Veg., C.N.R. - Roma
ARCARA Dr. Pier Giacomo - Ist. Sperim. Studio e Difesa del Suolo -
Firenze
ARU Prof. Angelo - Centro Reg. Agrario Sperim. - Cagliari
BALLATORE Prof. Gian Pietro - Dirett. Ist. Agronomia e Colt. Erbacee,
Università - Palermo
BALLONI Prof. Waldemaro - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Uni-
versità - Firenze
BANFI Prof. Giulio - Centro Ricerche Orticole - Minoprio (Como)
BARTOLONI Dr. Piero - Direttore Osservatorio Malattie delle Piante -
Firenze
BERTONE Dr.ssa Giovanna - Ist. Agronomia e Colt. Erbacee, Univer-
sità - Firenze
BONIFACIO Prof.ssa Anna Rosa - Ist. Patologia Forestale ed Agraria,
Università - Firenze
BRUNO Dr. Vincenzo - Ist. Chimica Agraria, Università - Firenze
CALVANI Dr. Leonardo - Elanco - Firenze
CAPRIGLIONI Dr. Giuseppe - Ministero Agricoltura e Foreste - Roma
CARLONI Prof. Luciano - Staz. Chimica Agraria - Pisa
CASINI ROPA Prof. Giorgio - Ist. Meccanica Agraria, Università -
Bologna
CASTORINA Dr. Salvatore - Ist. Sperim. Patologia Vegetale - Roma
CAVAZZA Dr. Carlo - Via Carlo Porta, 20 - Bologna
CECCONI Prof. Carlo Alberto - Ist. Chimica Agraria, Università - Fi-
renze
CHISCI Prof. Giancarlo - Ist. Sper. Studio e Difesa del suolo - Firenze
CIAMPI Prof.ssa Clara - Ist. Botanica Agr. e Forestale, Università -
Firenze
COPPOLA Prof. Salvatore - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università
- Napoli
CORBERI Prof.ssa Elisa - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università -
Milano
CORTI Prof. Roberto - Preside Facoltà Agraria e Forestale, Università -
Firenze
DE GIOVANNI Dr. Giovanni - Osservatorio Fitopatologico - Bologna

- DALLAGIACOMA Dr. Giorgio - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Firenze
- ESCHENA Prof. Tomaso - Dirett. Ist. Chimica Agraria, Università - Sassari
- FAVILLI Prof. Franco - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Firenze
- FERRARI Prof. Giovanni - Ist. Geologia Applicata, Università - Firenze
- FIEROTTI Prof. Giovanni - Ist. Agronomia e Colt. Erbacee, Università - Palermo
- FISCHETTI Dr. Boris - R.E.D.A. - Roma
- FLORENZANO Prof. Gino - Dirett. Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Firenze
- FUSI Prof. Paolo - Ist. di Chimica Forestale, Università - Firenze
- GALIGANI Dr. Ugo - Ist. di Geologia Applicata, Università - Firenze
- GASPARINI Prof. Marino - Presidente Accademia Economico-Agraria dei Georgofili - Firenze
- GAJO Prof. Paolo - Ist. Economia Agraria, Università - Firenze
- GELLINI Prof. Romano - Ist. Botanica Agr. e Forestale, Università - Firenze
- GIARDINA Dr.ssa Maria Carmela - Lab. Radiochim. Ecofis. Veg., C.N.R. - Roma
- GIOVANNINI Prof. Erminio - Dirett. Ist. Chimica Agr. Università - Catania
- GIULIMONDI Prof. Giorgio - Centro Sperim. Agric. Forestale - Roma
- GOLDBERG FEDERICO Prof.ssa Linda - Ist. Chimica Agraria, Università - Milano
- HAUSSMAN Prof. Giovanni - Dirett. Ist. Sperim. Colture Foraggere - Lodi
- INTINI Dr. Marcello - Ist. Patologia Forestale ed Agr., Università - Firenze
- LANDI Prof. Renzo - Ist. Agronom. e Colt. Erbacee., Università - Firenze
- LEPIDI Prof. Aldo - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Pisa
- LISANTI Prof. Enrico - Dirett. Ist. Chimica Agraria, Università - Bari
- LODI Dr. Giuseppe - Ist. Sperim. Studio e Difesa del Suolo - Firenze
- LULLI Dr. Luciano - Ist. Sperim. Studio e Difesa del Suolo - Firenze
- MALQUORI Prof. Alberto - Dirett. Ist. Chimica Forestale, Università - Firenze
- MANCINI Prof. Fiorenzo - Dirett. Ist. Geologia Applicata, Università - Firenze
- MATERASSI Prof. Riccardo - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Firenze
- MARGHERI Dr.ssa Cristina - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Firenze
- MARTELLI Dr.ssa Marta - Ist. Chimica Agraria, Università - Firenze
- MODENA Dr.ssa Maria Paola - Ministero Agricoltura e Foreste - Roma

- NALDINI Dr.ssa Bianca Maria - Ist. Patologia Forestale e Agr., Università - Firenze
- NARESE Dr.ssa Maria - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Firenze
- NUTI Dr. Mario - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Pisa
- PACINI Prof.ssa Novella - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Milano
- PANCONESI Dr. Alberto - Ist. Patologia Forestale ed Agr., Università - Firenze
- PANICUCCI Dr. Mario - Ist. Sperim. Studio e Difesa del Suolo - Firenze
- PAOLETTI Dr. Celso - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Firenze
- PELOSI Dr. Elio - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Firenze
- PENNISI Dr. Luciano - Staz. Sperim. Agrumicoltura - Acireale (Catania)
- PERCUOCO Dr. Giorgio - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Napoli
- PICCI Prof. Giovanni - Direttore Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Napoli
- PUSPHARAJ Dr. Benjamin - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Firenze
- RADAELLI Prof. Luciano - Ist. Chimica Forestale, Università - Firenze
- RICCI Dr.ssa Daniela - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Firenze
- RISTORI Prof. Giuseppe - Ist. Chimica Agraria, Università - Firenze
- RIZZO Prof. Luigi Sebastiano - Scuola Nazionale di Stato per la Meccanica Agraria - Roma
- ROMAGNOLI Prof. Luciano - Lab. Prot. Idrogeologica Italia Centrale, C.N.R. - Perugia
- RONCHETTI Prof. Giulio - Ist. Sperim. Studio e Difesa del Suolo - Firenze
- ROSSI Dr. Nino - Ist. Chimica Agraria, Università - Bologna
- ROSSINI Prof. Renato - Dirett. Ist. Idraulica Agr., Università - Bologna
- RUSSO Dr. Salvatore - Staz. Sperim. Agrumicoltura - Acireale
- SANESI Prof. Guido - Ist. Geologia Applicata, Università - Firenze
- SABATO Dr. Sergio - Ist. Botanica Agr. e Forestale, Università - Firenze
- STEFANELLI Prof. Giuseppe - Dirett. Ist. Meccanica Agraria, Università - Firenze
- STEINBERG Dr.ssa Mireille - Ist. Sperim. Studio e Difesa del Suolo - Firenze
- TALAMUCCI Prof. Paolo - Ist. Agric. Montana, Università - Firenze
- TELLINI Dr.ssa Maria - Ist. Sperim. Studio e Difesa del Suolo - Firenze
- TOMASELLI Dr.ssa Luisa - Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Firenze
- TRECCANI DEGLI ALFIERI Prof. Vittorio - Dirett. Ist. Microbiologia Agr. e Tecnica, Università - Milano

TURCHETTI Dr. Tullio - Ist. Patologia Forestale e Agr., Università -
Firenze
VERGNANO GAMBÌ Prof.ssa Ornella - Ist. Botanico, Laboratorio Fisiologia Vegetale, Università - Firenze
VIDRICH Dr. Veriano - Ist. Chimica Agraria, Università -- Firenze

Alla pubblicazione di questi Atti ha contribuito la Nuova Italcampo di Bologna,
a cui va il ringraziamento della S.I.S.S.

TAVOLA ROTONDA

SU

CONSEGUENZE DELLA CONTAMINAZIONE SULLE BASI BIOLOGICHE DELLA FERTILITÀ DEL SUOLO

Alle ore 10 del 29 gennaio 1971, presso la sede dell'Accademia Economico-Agraria dei Georgofili in Firenze, si sono aperti i lavori della Società Italiana della Scienza del Suolo sul tema « Conseguenze della contaminazione sulle basi biologiche della fertilità del suolo ».

Ai partecipanti è stato porto il saluto dal Prof. MARINO GASPARINI, Presidente dell'Accademia Economico - Agraria dei Georgofili e dal Prof. GIAN PIETRO BALLATORE, Presidente della Società Italiana della Scienza del Suolo.

SALUTO DEL PRESIDENTE DELL'ACCADEMIA ECONOMICO- AGRARIA DEI GEORGOFILI PROF. MARINO GASPARINI

Permettete che il Presidente di questa Accademia rivolga il saluto più cordiale al Collega Ballatore Presidente della Società Italiana della Scienza del Suolo, ai Membri del Consiglio, ai Colleghi che vi fanno parte e a tutto il pubblico qui presente.

Sono particolarmente lieto che proprio in questa Accademia dove nel corso di oltre due secoli sono continuamente emersi i maggiori problemi della conservazione del suolo, della difesa delle acque, della fertilità dei terreni, avvenga questo incontro per la trattazione di un argomento di grande interesse.

Il Collega Florenzano, illustre studioso di Microbiologia agraria, introdurrà oggi un tema di rilevante importanza e direi affascinante per gli aspetti di questo microcosmo che domina ogni forma di vita sulla terra. Ciò che Egli ci dirà sarà di grande interesse per tutti coloro che oggi dedicano i loro studi al grande problema del secolo: l'inquinamento.

Desidero altresì rivolgere al Collega Prof. Ballatore i miei più vivi rallegramenti per la Sua attività quale Presidente della Società Italiana per la Scienza del Suolo. Attività che si è dimostrata assai proficua e valida nella impostazione di nuovi studi e dibattiti.

Auguro pertanto al Prof. Ballatore, al Prof. Florenzano ed ai convenuti il miglior successo ai loro lavori.

SALUTO DEL PRESIDENTE DELLA SOCIETA' ITALIANA
DELLA SCIENZA DEL SUOLO PROF. G.P. BALLATORE

Cari Colleghi,

sono lieto di porgerVi il saluto più cordiale ed il benvenuto del Consiglio della Società Italiana della Scienza del Suolo.

Consentitemi di esprimere subito il più vivo ringraziamento alla benemerita Accademia Economico-Agraria dei Georgofili, che ha voluto ospitarci nella sua magnifica sede.

Un ringraziamento particolare è doveroso rivolgere al Prof. Marino Gasparini, Presidente dell'Accademia, per l'apprezzamento lusinghiero che ha voluto esprimere nei riguardi dell'attività della nostra Società.

Noi oggi siamo qui riuniti per trattare un tema di grande importanza ed attualità, quale è quello della salvaguardia delle basi biologiche della fertilità del suolo dal pericolo della contaminazione.

A parte l'attualità del tema, esso si inserisce ottimamente fra le manifestazioni culturali svolte dalla nostra Società, che sono state incentrate, sino ad oggi, su una serie di argomenti o temi che, nella loro logica successione, consentiranno di potere meglio affrontare, in prosieguo, un più approfondito dibattito sul complesso problema della fertilità integrale del terreno.

Noi abbiamo tutto l'interesse affinché il nostro ambiente sia vitale, per non finire i nostri giorni in un mondo di benessere materiale, ma abitato da uomini logorati, senza una salute reale.

L'impiego sempre più massiccio di prodotti antiparassitari di elevata tossicità e di erbicidi di varia natura chimica, l'infiltrazione di acque di rifiuto delle industrie e le deposizioni delle nuvole di smog, possono contribuire ad alterare quegli equilibri biologici che ancora oggi vengono considerati basilari per la fertilità del suolo. D'altra parte, partendo da un suolo contaminato da sostanze tossiche, queste potrebbero concentrarsi per migliaia di volte nelle catene di alimentazione (piante, animali, uomo) che si riscontrano in natura; ciò potrebbe determinare, all'estremità della catena, conseguenze anche fatali.

La Tavola Rotonda di oggi si propone di affrontare un profondo dibattito su questi problemi così preoccupanti.

L'argomento, in verità vasto e molto complesso, verrà introdotto dal Collega Prof. Gino Florenzano, Direttore dell'Istituto di Microbiologia Agraria e Tecnica dell'Università degli Studi di Firenze.

Per gli interventi non vengono posti limiti di tempo, al fine di consentire agli eminenti Studiosi presenti in sala, fra i quali noto diversi specialisti del settore, di potere liberamente portare il prezioso contributo dei loro studi e delle loro ricerche al tema della Tavola Rotonda.

Il Prof. G.P. BALLATORE, in qualità di Presidente della Società Italiana della Scienza del Suolo, assume la direzione dei lavori della Tavola Rotonda.

INTRODUZIONE DEL PROF. GINO FLORENZANO

1. - Il problema generale della contaminazione dell'ambiente

Oggi si propone un dilemma quanto mai grave per il futuro dell'umanità: dobbiamo porre sotto un attento controllo le nostre attività se vogliamo evitare che, alla fine, l'ambiente venga trasformato in qualcosa di decisamente ostile alla nostra esistenza. L'allarme è generale ed ampiamente giustificato, in quanto se la nostra specie continuerà a moltiplicarsi, non solo nel numero ma anche nella capacità di contaminazione dell'ambiente *pro capite*, la terra si dimostrerà inadeguata anche come semplice recipiente dei rifiuti, prima ancora che come mezzo per il nostro sostentamento.

Molti ritengono sia giunto il momento di considerare il mondo come un veicolo spaziale, sul quale vivere o morire è una alternativa drammatica legata al corretto funzionamento dei meccanismi di biorigenerazione dell'ambiente, soprattutto scambio di gas e mineralizzazione dei rifiuti organici.

È specialmente il bilancio di quest'ultimo meccanismo che diventa sempre più precario a causa dell'effetto perturbatore dei numerosi contaminanti — se ne contano molte migliaia nell'arsenale chimico fabbricato dall'uomo — che in quantità sempre crescenti vengono immessi nei circuiti naturali.

L'aria e l'acqua sembrano i recipienti ove fino ad oggi maggiormente sono stati riversati i rifiuti delle attività umane. Il risultato è ben noto per richiedere un commento. Gli effetti della contaminazione dell'atmosfera si stanno rivelando assai insidiosi, se si pensa che la rapida caduta del pH dell'acqua piovana da essa causata sta, in diverse zone, influenzando negativamente lo sviluppo delle foreste e la produttività biologica di taluni *habitat* naturali.

La vitale funzione di veicolo dei rifiuti organici e di sede dei processi di epurazione svolta dall'acqua è oggi gravemente compromessa, poiché se da un lato il lavoro dell'acqua diviene sempre più essenziale

per l'aumento costante del carico di BOD che grava su di essa, la contemporanea presenza di contaminanti sintetici ed industriali, sconvolge ed impoverisce, fino alla completa distruzione, la vita acquatica ed altera il quadro fisico-chimico entro il quale questi processi avvengono. Oggigiorno l'inquinamento delle acque dolci e marine è più dannoso della stessa carenza d'acqua.

Eventi come quelli verificatisi in Francia, ove lo scorso anno alcuni fiumi risultarono inquinati alle sorgenti solo perché la siccità aveva provocato un abbassamento della falda freatica ed in Svezia, ove la presenza di composti tossici di mercurio ha costretto ad interrompere la pesca, rappresentano segni premonitori assai eloquenti.

Per i biologi la biosfera — questa tenue pellicola di materia vivente che avvolge il nostro pianeta — forma un tutto; le varie porzioni di cui essa si compone, comprese quelle trasformate dall'uomo, si integrano in un sistema globale.

Di tutte le trasformazioni che l'uomo ha indotto nella biosfera — come la messa a coltura di estese porzioni della superficie terrestre, l'aumento del contenuto in CO₂ dell'atmosfera in seguito alla combustione dei carboni fossili e del petrolio — senza dubbio la più pericolosa e quella capace di portare rapidamente a conseguenze catastrofiche è la immissione massiccia di molecole sintetizzate dalle industrie chimiche e per la cui distruzione la natura possiede una capacità limitata. Queste molecole rappresentano una sorta di *boomerang*, poiché esse, circolando nelle catene alimentari, tenderanno a concentrarsi alla sommità di esse, cioè sull'uomo.

Esistono mezzi tecnici per lottare contro le contaminazioni; così attuando processi di riciclaggio che stabilissero catene alimentari brevi e facilmente controllate — mediante l'intervento massiccio di microrganismi foto-autotrofi e chemio-eterotrofi — sarebbe possibile escludere una porzione sostanziale dei prodotti chimici contaminanti. Ma il problema è più generale e porta a riflettere se l'uomo non finirà per divenire vittima del suo stesso sviluppo.

Questo accenno alla crescente gravità della minaccia rappresentata dall'inquinamento atmosferico e delle acque non deve far dimenticare che il problema interessa anche il suolo, gli alimenti e, perciò, la stessa materia vivente a tutti i livelli.

Una larga parte del biodegradamento dei prodotti contaminanti si compie nel terreno, come parte del ciclo degli elementi vitali nel quale le spoglie di animali, piante e microrganismi sono convertite nei loro costituenti minerali.

Il suolo, grazie alla biomassa microbica in esso contenuta, possiede una capacità metabolica superiore a quella di ogni altro *habitat* naturale, che ne fanno un potente agente di degradazione, se ha il tempo necessario per compiere questo lavoro.

Ma il terreno si deve considerare deputato a questa nuova funzione o alla antica, naturale vocazione agricola ed al potenziamento della sua fertilità?

Fino a qualche decennio fa non vi è stato motivo di dubitare che il ruolo di agente depuratore svolto dal terreno potesse in qualche modo essere in antitesi con la sua funzione nell'agricoltura; anzi l'agricoltore aveva imparato a trarre profitto dai rifiuti tradizionali della società umana per recuperarne gli elementi nutritivi il più prontamente possibile. Oggi la situazione si presenta profondamente differente, poiché ogni anno accanto ai rifiuti tradizionali si rovesciano sui terreni, specialmente su quelli coltivati, decine di milioni di tonnellate di prodotti dell'industria chimica provenienti in parte dalle acque superficiali inquinate e dall'atmosfera, ed in parte costituiti dai vari tipi di sostanze che, per diversi motivi, vengono sparse sulle terre coltivate.

Nei Paesi più densamente popolati ed industrializzati e nei quali l'agricoltura è più progredita, la situazione è arrivata ad un punto tale per cui dobbiamo chiederci se l'attuale ritmo di contaminazione, oltre ad aver chiaramente messo in crisi la funzione di depurazione del suolo, non rischi di compromettere anche le sue caratteristiche biologiche ed agronomiche, ossia la sua fertilità.

La domanda è pertinente poiché buona parte dei contaminanti si dimostra altamente nociva per una frazione più o meno grande della microflora e della microfauna del terreno, ed è noto che la produttività del suolo è di natura essenzialmente biologica.

Se è vero quanto dice Jacks (1963), e cioè che *l'unione della materia minerale ed organica per formare il complesso organo-minerale dei terreni è così vitale per la continuazione della vita quanto la fotosintesi*», è evidente che il rischio implicito in un intervento di disturbo, effettuato su scala pressoché planetaria, di quella che è appunto la espressione più compiuta del complesso lavoro biologico del suolo, deve essere attentamente valutato.

La premessa di tale valutazione è rappresentata da un apprezzamento delle basi biologiche della fertilità del suolo il più possibile aderente alla complessa realtà biologica che lo caratterizza. A questo scopo sono rivolte le considerazioni che seguono.

2. - *Le basi bio-ecologiche essenziali della fertilità del suolo.*

Il terreno è un ecosistema aperto, perché è il punto d'incontro e la risultante delle interazioni di litosfera, idrosfera, atmosfera e biosfera, della quale fa parte.

Considerato esso stesso « organismo vivente » sia per la massa vivente che ospita sia per i processi metabolici che vi si svolgono, il suolo nella impostazione della microbiologia ha nelle stesse metodiche di studio l'essenza ecologica (Winogradsky, 1924) di un sistema complesso e dinamico che realizza nelle condizioni naturali un equilibrio tra guadagni dovuti alla fotosintesi e alla fissazione dell'azoto e perdite per decomposizione. Poiché le colture e lo sfruttamento turbano tale equilibrio ecologico elementare, lo studio biologico, per le finalità agronomiche e selvicolturali che persegue, si pone in antitesi con i principi dottrinali enunciati.

I lavori di biologia del suolo rappresentano perciò un insieme bibliografico difficile da coordinare in un insieme concettuale unico ed omogeneo.

Per entrare in tema, le basi biologiche della produttività del suolo, insite nella sua natura, non coincidono con quelle della fertilità agronomica, che rappresenta un livello produttivo superiore a quello naturale.

Il terreno come corpo naturale, è dotato d'individualità strutturale e funzionale, integrato dagli organismi viventi e dal mezzo fisico e possiede un insieme di meccanismi e processi che permettono una relativa autosufficienza ed autoregolazione.

L'autosufficienza nel senso edafico, assumendo per « edaphon » (R. Francé, 1912-1921) il complesso di organismi del suolo che mai lasciano il loro ambiente nello stesso significato che ha in idrobiologia il « plancton », è basata sull'equilibrio tra processi di produzione primaria e fenomeni di rigenerazione, determinati i primi dagli autotrofi ed i secondi dagli eterotrofi (microrganismi mineralizzatori ed includendovi consumatori erbivori, saprofiti e predatori) con funzioni diversificate che permettono una più o meno grande conservazione di materia organica viva o morta, accelerando o rallentando la mineralizzazione.

L'autoregolazione è difettosa, ma assicura una certa omeostasia fisico-chimica del mezzo e lo smorzamento delle variazioni biologiche con una intensità variabile secondo il grado di complessità dell'ecosistema.

Tutti i componenti di integrazione dell'ecosistema suolo, biologici e non biologici, s'influenzano reciprocamente con fenomeni di reazione dei primi sui secondi, di azione dei secondi sui primi e di coazione degli organismi fra di loro, effetti a livello ecologico classificati reazioni ed azioni molecolari mediante agenti attivi indicati rispettivamente come ecomoni e coactoni.

Essendo un sistema ecologico aperto, il suolo riceve energia dal mezzo extraterrestre e subisce perdite di energia, soprattutto quando esistono forti differenze di maturità e complessità fra ecosistemi vicini.

In senso stretto il terreno, soltanto per integrazione con l'entità epigea, forma un ecosistema autosufficiente ed autoregolato. Fra le due entità ecologiche si stabilisce un flusso reciproco di energia e di informazione, per l'energia più forte verso il sottosistema ipogeo e viceversa per l'informazione.

Per tutto ciò il terreno non è una entità funzionale indipendente perché deve ricevere la maggior parte dell'energia necessaria, direttamente o indirettamente, dalla vegetazione epigea; una parte di tale energia è utilizzata per aumentare la complessità strutturale del sottosistema edafico che in questo modo funge da stabilizzatore del sistema intero.

Come centro di controllo del sistema nel suo insieme si dovrebbe assumere l'*humus*, quantunque la maturazione di questo sia un processo lungo e complesso di controversa interpretazione chimica e biologica. Le ricerche con C^{14} hanno attribuito alle frazioni meno condensate dell'*humus* un'età media di 50-250 anni e alla umina 2000 anni, senza contare che, in condizioni estreme dal punto di vista climatico, sono attribuiti ad *humus* fossili 5000 anni di età.

L'*humus* ha un ruolo essenziale nel determinare le caratteristiche chimico-fisiche del terreno, funziona da riserva dei più importanti elementi macro e micronutritivi, condiziona l'attività e l'equilibrio della microflora tellurica e, mediante le sostanze fisiologicamente attive che contiene, anche lo sviluppo delle piante superiori.

Negli strati umiferi del suolo si riscontra effettivamente un contingente microbico e faunistico rilevante con la gamma più intensa di relazioni interspecifiche, data la presenza di sostanze ad azione ormonale esterna, dotate di effetti selettivi di stimolo o di inibizione.

Il terreno, individuato come sistema ecologico in base agli attributi sommariamente riferiti, ha comportamento simile a quello di un organismo con individualità propria, del quale bisogna conoscere i meccanismi di funzionamento e di regolazione, il che presuppone la interpre-

tazione delle modificazioni energetiche determinate dalla nutrizione e respirazione delle popolazioni microbiche, dal trasferimento e circolazione ciclica degli elementi, dalla sintesi e degradazione della sostanza organica, etc. Su questa base si possono sviluppare gli studi sui meccanismi di controllo che assicurano un equilibrio dinamico fra i componenti del sistema e una certa stabilità fisico-chimica.

I processi del metabolismo nel suolo, intesi come trasformazioni materiali ed energetiche, sono la premessa indispensabile per comprendere i processi di regolazione dovuti alla dinamica delle popolazioni e delle comunità del suolo sotto l'azione dei fattori limitanti abiologici o di coazione biologica.

La distinzione in metabolismo e regolazione corrisponde alla funzione e permette di stabilire una definizione più precisa tra i due sub-sistemi epigeo ed ipogeo.

In definitiva un suolo naturale è caratterizzato da quattro fattori fondamentali ed interdipendenti: bioenergetica, trasformazioni cicliche, umificazione e pedogenesi. Infatti il flusso di materia ed energia nel suolo rende possibile il ciclo degli elementi ed i processi biochimici che si svolgono in esso. Parte integrante di tali processi è la sintesi e la mineralizzazione dell'*humus*, rispettivamente fasi di ristagno e di accelerazione dei cicli, il cui andamento a sua volta ha un ruolo ben noto nell'indirizzare la pedogenesi.

Lo sfruttamento agricolo modifica i rapporti di interdipendenza fra terreno ed ambiente. In linea generale si può dire che il suolo diviene più aperto anche dal punto di vista degli scambi di materia, poiché una parte notevole degli elementi biogeni viene asportata periodicamente con i raccolti e periodicamente ripristinata con le concimazioni.

Il bilancio energetico è caratterizzato da una maggior quantità di energia globalmente fissata, della quale però una parte consistente viene asportata con i raccolti. A questa minore disponibilità energetica corrisponde una diminuzione del contenuto in *humus*.

Le pratiche agronomiche hanno in linea generale l'effetto di accelerare le trasformazioni cicliche, poiché l'assicurare disponibilità di elementi nutritivi, soddisfacenti scambi gassosi con l'atmosfera, migliore disponibilità di acqua, etc. tutto gioca a favore di una intensa attività metabolica il cui fattore limitante principale è rappresentato dalla disponibilità di fonti di energia e, subito dopo, dalla quantità di azoto assimilabile. Questa dinamicità fa sì che il terreno agrario abbia, rispetto al terreno naturale, un minor grado di stabilità, deducibile anche dalla minore età media dell'*humus* dei terreni agrari.

La destinazione agricola del suolo ha fatto sì che la fertilità sia stata interpretata essenzialmente come stato nutritivo del terreno. Una tale concezione implica che un terreno è fertile quando contiene ed è capace di offrire un ben equilibrato ed adeguato rifornimento di nutrienti in forma assimilabile per soddisfare le esigenze della crescita delle piante durante i differenti stadi di sviluppo.

Questa concezione può essere accettata purché si abbia una chiara visione degli stretti rapporti fra fattori biologici e stato nutrizionale del suolo. Infatti il complesso edafico del terreno opera sugli elementi nutritivi delle piante altrettanti cicli che, comportando fasi di organizzazione e mineralizzazione, ossido-riduzione, solubilizzazione e immobilizzazione, condizionano direttamente il mutare nel tempo della disponibilità dei singoli elementi. Questo controllo microbico è decisivo per le vicende dell'azoto: elemento che il suolo contiene sempre al minimo in forma facilmente assimilabile.

Allora possiamo dire che una delle funzioni basilari, ma non la sola, della componente microbica dei suoli coltivati è quella di dirigere le trasformazioni a carico degli elementi nutritivi in modo da realizzare nel tempo quel dinamico equilibrio di scambi che è l'essenza della fertilità.

Quello ora considerato è un aspetto finale dell'azione microbica del suolo. Esso è la risultante di infinite coazioni che si preparano e si svolgono su una scala molto piccola, che dipende dalla stessa natura fisica del terreno.

A questo punto occorre fermarsi sulla struttura e la eterogeneità micromorfologica e microbiologica del suolo, non tanto come esigenza di studiare gli effetti della microflora e degli animali sulla struttura, quanto come conoscenza di base di come e dove metabolizza la microflora del suolo ed a quale livello si può riconoscere l'esistenza dei centri di regolazione del suolo.

Il suolo come substrato di vita microbica è un mezzo sostanzialmente discontinuo ed eterogeneo dal punto di vista fisico-chimico, nel quale i principali supporti della vita — acqua, nutrienti, ossigeno — sono inegualmente ripartiti attorno ed all'interno degli elementi solidi strutturali. A questa situazione corrisponde una aggregazione e microdistribuzione degli organismi del suolo ugualmente discontinua ed eterogenea. Da qui la nozione di « microhabitat », concepibile come una nicchia ecologica di dimensioni proporzionate alla scala microbica, nella quale si hanno determinate condizioni fisico-chimiche ed una definita micro-cenosi.

Quando si concentra l'analisi della ripartizione dei microrganismi su un microcampione (un granello di terra, oppure una quantità dell'ordine di 1 mm^3), si rileva che le cellule microbiche non sono uniformemente distribuite in tutta la massa del terreno; si riscontrano, come hanno dimostrato Jones e Mollison, ammassi, dispersi in modo discontinuo, di microcolonie separate da distanze variabili, oppure cellule isolate non associate alla fase solida, ma presenti nella soluzione del terreno: in media il 23% dei batteri è allo stato di cellule isolate, in genere mobili, il 60% in colonie di 3-6 individui ed il resto in colonie più numerose. In sezioni di aggregati strutturali Jones e Griffiths (1964) hanno rilevato dati ancora più interessanti.

Lo sviluppo delle tecniche di studio del microhabitat o di gruppi di essi ha assunto giustamente carattere di priorità nello studio della microflora del suolo. Oltre alla microscopia diretta, metodi indiretti sono assai utili per studiare tali fenomeni. Una tecnica elaborata consiste nell'impiego del pedoscopio (Gabe, 1961; Gray e coll., 1968), costituito da un insieme di capillari in vetro di mm. $0,65 \times 20$, simulanti i pori del terreno ed infossato nel terreno in modo che i capillari siano posti nel senso del flusso dell'acqua; dopo incubazione in situ per $1-2\frac{1}{2}$ mesi si leva dal terreno e si esamina al microscopio.

Un altro metodo è basato nell'impregnare di resina il terreno e farne sezioni sottili per lo studio micromorfologico, così come la microscopia elettronica, introdotta da Gray, consente un esame molto fine della reale microdistribuzione dei microrganismi nel terreno.

Tra i metodi indiretti, il più semplice, applicato da Krasilnikov (1958) allo studio della distribuzione di *Azotobacter*, consiste nel suddividere il campione convenzionale in microcampioni di alcune decine di mg., cioè in granuli o granelli di terreno (Pochon e Tardieux, 1962) e nel disporli separatamente nel mezzo di coltura per *Azotobacter*, come si fa con i semi nel saggio della germinabilità: si rileva così che non tutti i granuli di terra danno luogo a colonie, il che dimostra che la specie considerata non è distribuita uniformemente.

Szabo e coll. (1962) hanno dimostrato che la distribuzione degli attinomiceti e dei batteri in un terreno forestale è irregolare nei microcampioni da 200 mg. ciascuno e che il rapporto attinomiceti/batteri varia da $1/0,8$ a $1/3,2$. La tecnica di separazione, per lavaggio, delle diverse frazioni del terreno, in specie le frazioni organiche e quelle minerali, ha dimostrato che le particelle organiche sono molto più ricche di funghi di quelle minerali, tanto che Williams et alii (1965)

affermano che le particelle organiche rappresentano nicchie di sviluppo della micoflora.

La eterogenea distribuzione dei microrganismi è spiegata dalla esistenza nel terreno di una serie di microhabitat che differiscono fra loro per essere più o meno favorevoli alle attività microbiche. La discontinuità dei microhabitat favorevoli nel terreno si giustifica nel fatto che il supporto materiale, costituito da substrati assimilabili (resti vegetali, spoglie microbiche, essudati vegetali della rizosfera, metaboliti microbici), e le altre risorse (O_2 , CO_2 , elementi minerali) sono anch'essi irregolarmente distribuiti nel terreno.

I microhabitat favorevoli sono limitati nello spazio e nel tempo e sono labili (soprattutto perché i microrganismi che vi si sviluppano ne modificano le caratteristiche) tanto che lo studio di essi non è possibile con gli attuali metodi di ricerca. Occorre servirsi di modelli di grandi dimensioni, ottenuti inserendo cialde (Malquori e Florenzano, 1961), o dischi, sui quali è possibile realizzare lo studio analitico e microbiologico.

L'attività biologica globale del terreno è pertanto la sommatoria delle attività di un grandissimo numero di microhabitat, che continuamente si formano e declinano in rapporto al continuo mutare nello spazio e nel tempo, dei fattori che, come il contenuto in umidità e la distribuzione dei materiali organici assimilabili, maggiormente influiscono nel creare siti favorevoli alle attività microbiche.

A questo punto viene spontaneo pensare quanto generici siano certi indici di attività microbiologica del suolo e come essi al più abbiano un valore di rilevamento istantaneo, ma ben poco aiuto ci si può attendere quando si vuol comprendere i meccanismi intimi attraverso i quali si forma e si evolve l'equilibrio microbiologico del suolo.

È anche il caso di dire che forse siamo ancora lontani dal possedere un quadro completo dei microrganismi che popolano il terreno. Basti pensare che Bystricky e coll. (1966) isolarono forme assolutamente nuove, provvisoriamente denominate polisferoidi elicoidali, mentre Perfiliev e Nikitin (1966), rispettivamente con la microscopia elettronica ed il metodo dei capillari, hanno trovato un ampio numero di nuovi organismi, aventi le dimensioni dei batteri, ma con morfologie del tutto nuove; filamentose con peduncoli, simili a protozoi, di forma stellata, muniti di pori; forme a bastoncino, sferiche convesse, simili ad alghe o a virus. Altre forme ricordano microrganismi fossili del gen. *Kakabekia*.

Data la ubiquità e la frequenza di molti nuovi microrganismi polimorfi del suolo, è sempre più necessario che lo studio delle questioni

microbiologiche diventi sempre più ecologico in senso più definito e specifico di quello enunciato da Winogradsky, che trovò anch'egli microorganismi nuovi, ricercati prima invano per oltre 50 anni ed agenti della nitrificazione.

Quali meccanismi entrano in gioco nella evoluzione del popolamento microbico e delle attività metaboliche della microflora al livello del microhabitat?

La popolazione microbica del terreno ha sviluppato innumerevoli meccanismi per adattare il proprio comportamento alle mutevoli e severe condizioni imposte dalla competizione. Così si è avuta una chiara tendenza verso un abito vegetativo filamentoso, tipico dei funghi e di uno dei grandi gruppi batterici del terreno, gli attinomiceti, poiché esso offre indiscutibili vantaggi in un mezzo discontinuo per passare da un microhabitat all'altro, vale a dire una più efficiente dispersione. La produzione abbondante di spore, cisti ed altri organi di vita latente è particolarmente importante in un substrato sottoposto a repentini mutamenti a livello di microhabitat (siccità, esaurimento del nutrimento, etc.).

I controlli chimici e fisici sono assai numerosi e diversificati. Al livello primitivo si pongono la crescita localizzata ed i movimenti attivi delle cellule microbiche in risposta ad un gradiente di concentrazione di determinate molecole. La chemiotassi positiva assolve in primo luogo la importante funzione di mettere in contatto le cellule con gli alimenti, mentre quella negativa di allontanarle da sostanze dannose.

La chemiotassi positiva, può essere illustrata dalla scoperta di un agente chimico attivo, il 3',5'-adenosin-monofosfato ciclico, emesso dai batteri e che attrae i mixomiceti (Konijn et al., 1967), nei quali la formazione di un sistema AMP e AMP-asi regola l'evoluzione verso la pluricellularità e la formazione dei corpi fruttiferi. Anche la crescita delle ife nel suolo risponde in prevalenza a stimoli chemiotattici.

D'altra parte i microrganismi hanno imparato ad adattare il loro ciclo vitale a ben definiti segnali chimici. Così la produzione di spore in risposta a condizioni sfavorevoli e la produzione di corpi fruttiferi obbediscono a tali stimoli.

Con ciò siamo giunti ad una fase nella quale il controllo è prodotto dallo stesso organismo.

Samuel (1961) ha dimostrato che *Dictyostelium mucoroides* (Acra-siaceae) elabora una sostanza autorepellente che determina la distribuzione radiale delle cellule di una colonia, che si muovono in modo centrifugo orientato mentre si nutrono a spese di colonie batteriche, stabi-

lendo equidistanze fra le cellule che ricordano la distribuzione delle pecore al pascolo.

In questo ordine di fatti si pongono le sostanze che stimolano od inibiscono la produzione di spore.

L'interazione chimica fra componenti la microflora e microfauna del suolo assume anche il ben noto aspetto di integrazione biochimica fra microrganismi esigenti in fattori di crescita e microrganismi produttori di tali fattori. Un curioso esempio di relazioni chimiche interspecifiche è offerto dall'effetto morfogenetico che un principio ignoto, denominato nemina, prodotto da nematodi ha sullo sviluppo dei funghi che li attaccano (spp. di *Zoophagus*).

Il complesso campo delle interazioni chimiche fra specie microbiche nel suolo è in gran parte inesplorato, per cui è impossibile trarre indicazioni circa i modi e la misura in cui tali rapporti determinano l'equilibrio microbico. È ad ogni modo certo che il microhabitat appare come il luogo più idoneo al manifestarsi di tali interazioni.

In questo quadro un cenno meritano gli antibiotici, poiché sembra oramai certo che tali inibitori della crescita sono un componente comune dell'ambiente chimico delle cellule nel suolo. Pink e coll. (1961) hanno studiato in vitro l'assorbimento degli antibiotici sulle argille. Considerando *antibiotici cationici* (molto alcalini), ad es. streptomina, neomicina, kanamicina; *anfoteri* (bacitracina, aureomicina, terramicina) e *antibiotici anionici* o *acidi* (penicillina, cicloesimide, cloramfenicolo), gli AA. hanno stabilito che gli antibiotici cationici ed anfoteri sono assorbiti in ordine decrescente da montmorillonite, vermiculite, illite, caolinite, mentre gli antibiotici anionici sono assorbiti, in misura limitata, solo dalla montmorillonite. Anche Krasilnikov e coll. (1958, 1965) giunsero a conclusioni analoghe.

Siccome l'assorbimento degli antibiotici determina l'inattivazione, *Bacillus subtilis* può svilupparsi nel suolo in presenza di dosi di cloramfenicolo, terramicina ed aureomicina molto più elevate di quelle che in vitro producono inibizione.

Skinner (1956) ha dimostrato lo stesso fenomeno coltivando insieme *Streptomyces albidoflavus* e *Fusarium culmorum* (che si inibiscono a vicenda in mezzo liquido a causa degli antibiotici che producono), mediante aggiunta di argilla che inattiva i prodotti antagonistici del metabolismo.

Gli antibiotici assorbiti possono d'altra parte essere rilasciati, come hanno dimostrato con tamponi appropriati Pinck e coll. (l.c.). Con streptomina, sotto l'effetto del tampone fosfato, la caolinite ed il con-

trollo danno zone di inibizione sul batterio test del medesimo diametro, mentre la montmorillonite mantiene la streptomicina assorbita, nel caso dell'aureomicina e tampone citrato anche la montmorillonite cede l'antibiotico e dà zone di inibizione, il cui diametro però è inferiore a quello del controllo e della caolinite.

Nel terreno, secondo Krasilnikov (1965), le cellule batteriche e le radici intervengono attivamente nei processi di scambio degli antibiotici assorbiti sulle argille.

I fenomeni di antibiosi si svolgono pertanto a livello dei microhabitat, nei quali gli antibiotici possono trovarsi a concentrazioni relativamente elevate, mentre mancano nelle altre parti del terreno: se si considera che il volume dei microhabitat favorevoli rappresenta una esigua frazione del volume totale del terreno, la estrazione chimica sul totale volume del suolo, e non sui microhabitat di produzione antibiotica, determina una tale diluizione dei principi biologicamente attivi, che è difficile metterli in evidenza. Wright (1956) ha verificato sperimentalmente la effettiva produzione di antibiotici (gliotossina, frequentina, acido gladiolico) sui semi di sesamo, grano e pisello posti nel terreno dopo inoculazione rispettivamente con *Trichoderma viride*, *Penicillium frequentans* e *P. gladioli*.

Pertanto, concludendo, fenomeni antibiotici nel terreno si possono determinare in terreni ricchi di adatte sostanze organiche, a livello di nicchie ecologiche o microhabitat favorevoli allo sviluppo di microrganismi produttori di antibiotici, specie nella rizosfera.

A livello enzimatico nel suolo si verificano meccanismi ugualmente delicati, che mettono in atto reazioni interessanti, anche in relazione al noto effetto protettore esercitato sugli enzimi del terreno dai colloidali.

L'enzimologia del suolo è una realtà importante, perché gli enzimi esistono nel terreno e danno luogo ad equilibri altrettanto complessi quanto quelli testé considerati.

Una parte delle attività enzimatiche del suolo non è legata alle particelle intracellulari, perché è possibile con appropriati metodi estrarre enzimi dal suolo e perché il ruolo dei colloidali argillosi nella protezione e conservazione degli enzimi è ben dimostrato.

I microrganismi, le piante e gli altri organismi viventi nel terreno hanno una grande importanza nella biosintesi degli enzimi, ma è difficile definire il ruolo che in tale sintesi hanno la microflora e gli altri organismi.

La facilità della induzione enzimatica nel suolo, specie in rapporto a certi enzimi assenti in un dato terreno in un dato momento (Sorensen

nei riguardi della xilanasi), fa pensare che il terreno contenga « enzimi autoctoni » e « zimogeni » in analogia con la distinzione di Winogradsky della microflora, il che equivale al fatto che il terreno, si può affermare, è dotato di enzimi costitutivi e di adattamento.

L'esistenza di evidenti analogie fra certe attività enzimatiche (deidrogenasi, invertasi, etc.) e taluni aspetti della attività biologica nel suolo è interessante perché attesta una stretta relazione fra l'attività degli enzimi e la restante attività microbiologica.

Né si possono trascurare le indicazioni biologiche globali che i metodi di ricerca enzimatici forniscono sulle attività del suolo. Così Lenhard (1956) correla l'attività deidrogenasica alla quantità di materia organica decomponibile ad opera dei microrganismi. Schaefer (1963) afferma che tale attività « misura il tasso di humus labile e pertanto rappresenta l'attività della microflora zimogena ».

La porzione di terreno immediatamente adiacente alle radici, denominata rizosfera, rappresenta il luogo ove le interazioni piante-suolo-microrganismi raggiungono lo stadio più complesso e dinamico.

In questo biotopo il fattore dominante è rappresentato dai prodotti escreti dall'apparato radicale, i quali costituiscono un apporto extra di energia, che consente livelli di densità microbica e di attività metabolica nettamente superiori rispetto al suolo distante dalle radici.

Gli essudati radicali rappresentano il fattore principale dell'equilibrio microbiologico nella rizosfera. Essi, oltre ad aminoacidi, zuccheri ed acidi organici (che svolgono la funzione di « pabulum ») contengono anche sostanze con funzione più specifica di veri e propri regolatori chimici della microflora (fattori di crescita, auxine, inibitori). Ma recentemente l'attenzione è stata richiamata su certe sostanze mucillaginose che circondano specialmente l'apice radicale formando una sorta di manico gelatinoso che entra in intimo contatto con il suolo e nel quale si annidano in gran copia cellule microbiche. Data l'abbondanza di tale materiale e gli stretti rapporti che esso instaura con la microflora, è da presumere che esso rappresenti un tramite importante nelle interazioni pianta-microrganismi.

Modificando la composizione degli essudati è evidente che la pianta ha notevoli possibilità di influire sulla microflora rizosferica, ed un esempio di come essa abbia imparato a trarre profitto da ciò ci è offerto da certe varietà vegetali le quali sono riuscite a crearsi una efficiente barriera biologica alla invasione parassitaria grazie ad appropriate variazioni nella composizione degli essudati (*Anthoxantum odoratum* e *cumarina*).

Lo studio di questi delicati meccanismi di regolazione rappresenta indubbiamente un'area di ricerca di grande interesse, specialmente se vogliamo influire sugli equilibri rizosferici per conseguire determinati fini agronomici.

Dall'insieme delle intense attività microbiche, delle quali la zona delle radici è sede, emergono alcuni fatti che illustrano quanto siano vitali le interazioni a questo livello. Nella rizosfera si producono vari regolatori dello sviluppo vegetale. Infatti numerose specie fra le più diffuse nel suolo e nella rizosfera (specie di *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Azotobacter*, etc.) producono acido indol-acetico a partire dal substrato di elezione, rappresentato dal triptofano contenuto negli essudati radicali.

Katznelson (1966) ha segnalato la presenza di sostanze vicine alle gibberelline in *Arthrobacter globiformis* ed in vari altri batteri isolati dalla rizosfera. Fra i prodotti del metabolismo dei microrganismi nel suolo e nella rizosfera si annoverano infine le citochinine, come hanno dimostrato Fallot (1964) per *Bacillus megatherium* e Coppola (1968) per *Rhizobium leguminosarum*.

I fenomeni di antagonismo intesi nel senso più ampio (antibiosi, competizione per lo spazio e per il nutrimento) risultano naturalmente esaltati in proporzione diretta all'aumentato livello di attività biologica della rizosfera; la loro influenza si compone con quella esercitata dalla pianta e concorre in modo decisivo a determinare l'equilibrio finale.

L'intima associazione fra batteri ed apparato radicale, specialmente peli radicali, a livello del rizopiano pone il problema se il ruolo dei microrganismi nell'assorbimento nutritivo non sia più diretto di quanto fino ad ora si sia pensato. La possibilità di discriminare il ruolo fisiologico dei batteri da quello della radice è complicato proprio dalla intima connessione fra i due partner, ma il fatto che le conoscenze sulla struttura della associazione radicale si va arricchendo di nuovi elementi porta a rivedere anche le idee sui suoi aspetti fisiologici.

Questo approccio alle basi biologiche della fertilità in apparenza ha trascurato gli aspetti di più immediato interesse per l'agronomia, come il bilancio delle trasformazioni degli elementi nutritivi, in primo luogo l'azoto, la sintesi e degradazione dell'humus, etc. Il fatto è che questi fenomeni rappresentano le estrinsecazioni tangibili delle attività microbiche, ma le forze che regolano l'evolversi di tali attività risiedono in primo luogo nei meccanismi intimi di regolazione dell'ecosistema che sono stati appena sfiorati in questa introduzione. Tali meccanismi sono le basi reali della fertilità del terreno.

Questo approccio è parso il più idoneo anche in rapporto al tema in discussione che può essere adeguatamente affrontato non tanto considerando se ed in quale misura un certo pesticida deprime la microflora totale o qualche sua funzione biochimica (che equivarrebbe a rimanere in superficie) ma solo conoscendo in quale complesso gioco di interazioni in continuo movimento va ad inserirsi una sostanza estranea biologicamente attiva introdotta nel terreno.

Visto al livello del microhabitat il problema della contaminazione del suolo presenta molte incognite, e la affermazione di un gruppo di esperti di ecologia del suolo, i quali pochi anni orsono hanno detto che: « basta qualche passo falso da parte nostra perché la produttività del suolo risulti compromessa, e gli artropodi prendano il sopravvento sulla terra » acquista concretezza inquietante.

3. - *Contaminazione indiretta del terreno.*

A titolo introduttivo e schematico, esamineremo rapidamente nei riflessi microbiologici due fonti di contaminazione del suolo, quella indiretta conseguenza della contaminazione delle acque e quella diretta determinata da trattamenti pesticidi e chimici applicati al terreno.

Le due fonti di inquinamento non sono distinte l'una dall'altra perché i terreni coltivati irrigui o non, sono interessati non solo dai movimenti verticali e laterali delle acque che trasportino pesticidi verso bacini e fiumi, ma anche da immissione ed infiltrazioni di detergenti e prodotti tossici provenienti da scarichi di fogna, industriali, etc.

Middleton e Walton (1961) hanno osservato che alcuni derivati fenolici possono persistere nelle acque sotterranee per 6 anni o più, ma le ricerche sulla migrazione verticale di pesticidi non metabolizzati sono troppo poche per tracciare un quadro adeguatamente esauriente del problema della contaminazione delle acque sotterranee per questa via, alla quale, per complicare i fatti, si aggiunge la contaminazione provocata, in senso inverso a quello dei pesticidi, dai detergenti, che dalle acque possono raggiungere il terreno.

È noto che gli alchil-benzene-solfonati o ABS, specie i tipi a catena ramificata di uso comune, resistono alla degradazione negli impianti di depurazione delle acque luride e delle fosse biologiche e spesso si ritrovano nei corsi d'acqua e nelle acque sotterranee. Le operazioni di depurazione delle acque luride sono ostacolate dal grande accumulo di « cappelli di schiuma » che si formano in quantità superiori ai volumi delle acque di scarico che contengono i detergenti.

La popolazione batterica del terreno può largamente degradare detergenti in un periodo abbastanza lungo, ma esistono prodotti *biologicamente teneri*, cioè facilmente degradabili, e *biologicamente resistenti* (ad es. derivati dal tetrapropilene), le cui ramificazioni bloccano la progressiva ossidazione batterica delle catene, dato che i glicoli polietilenici di peso molecolare elevato sono troppo grandi per penetrare nelle cellule microbiche.

Per valutare le possibili influenze dei detergenti sulla popolazione microbica del suolo, occorre conoscere non solo le modalità ed i tempi della degradazione, ma anche le azioni che i singoli composti sono in grado di esercitare a carico della microflora del suolo e dei gruppi fisiologici di microrganismi che ne fanno parte.

Bisogna riconoscere che, mentre i rapporti fra detergenti e corpi idrici sono stati studiati abbastanza diffusamente, le interazioni fra suolo e detergenti sono ancora largamente ignote, con l'eccezione di lisimetri ed altri dispositivi speciali che sono stati applicati non tanto per studiare gli effetti dei detergenti sul suolo, quanto per controllare la degradazione dei diversi tipi di detergenti.

Dal punto di vista della suscettibilità all'attacco microbico, i detergenti possono essere distinti in: (a) prontamente utilizzabili; (b) degradabili dopo adattamento della microflora; (c) non degradabili.

I detergenti del primo tipo sono quelli che hanno una costituzione chimica simile a quella dei metaboliti microbici e per la degradazione dei quali i microrganismi posseggono i necessari enzimi. Quelli del secondo tipo sono molecole non naturali per la cui demolizione i microrganismi debbono sviluppare appositi enzimi di adattamento. Il mondo microbico possiede una enorme capacità di induzione enzimatica, tanto che si parla della « infallibilità » dei microrganismi. Questo assioma, valido per i prodotti naturali, non si applica necessariamente ai composti sintetici aventi struttura sconosciuta in natura.

Alcune molecole sintetiche dimostrano di avere una persistenza estremamente lunga sia nelle acque sia nei terreni e possono considerarsi « recalcitranti ». Tuttavia Goring (1967) ritiene che la loro distruzione, quando e se avviene, è il risultato di azioni biologiche: i composti labili sono utilizzabili dai microrganismi come sorgente di energia, gli altri, che non sembrano esserlo mai, sono decomposti, in realtà con un rendimento minimo, grazie ad innumerevoli reazioni enzimatiche assicurate dalla microflora.

Ma allora si ripropone la domanda se il terreno deve essere l'inceneritore finale con la conseguente mobilitazione di tutte le sue pro-

prietà a questo scopo. In realtà uno stato di cose di tal genere sarebbe il colpevole risultato di una disfunzione a monte di tutti i sistemi predisposti per la epurazione e lo smaltimento dei rifiuti inquinati.

La resistenza dei detergenti all'attacco degli enzimi microbici dipende ovviamente dalla loro struttura chimica. A questo riguardo sono valide le seguenti correlazioni generali: (a) La struttura del gruppo idrofobo è molto importante ai fini della degradabilità; le catene lineari favoriscono la degradazione, mentre le catene ramificate rappresentano un ostacolo; (b) le caratteristiche del gruppo idrofilo hanno una scarsa influenza sulla degradabilità del detergente; (c) nel caso degli ABS la degradazione primaria è tanto più rapida quanto maggiore è la distanza fra il gruppo solfonico e la fine del gruppo idrofobo; (d) la degradazione dei LAS è tanto più rapida quanto maggiore è la lunghezza del radicale alchilico; (e) gli atomi di carbonio quaternario, ossia quelli legati ad altri quattro atomi di carbonio, rappresentano un ostacolo all'attacco microbico; (f) i fattori che influiscono sulla degradabilità dei detergenti non ionici etossilati sono, in primo luogo, la struttura del gruppo idrofobo ed il numero di unità di ossido di etilene in esso introdotte. La marcata resistenza dei TBS alla degradazione enzimatica è da attribuire in gran parte all'effetto combinato delle caratteristiche strutturali menzionate nei punti (a) ed (e).

Le reazioni enzimatiche ed i meccanismi metabolici che intervengono nella degradazione microbiologica dei detergenti sono numerosi ed assai differenti in rapporto alla grande varietà chimica e strutturale di questa categoria di composti. Le reazioni tipiche del metabolismo degli idrocarburi alifatici e degli acidi grassi sono interessate alla degradazione del gruppo idrofobo; quando quest'ultimo contiene nuclei aromatici le reazioni di ossidazione a carico di questi sono parte essenziale del processo di degradazione. Per i detergenti solfonati vi è da considerare l'influenza del gruppo solfonico sulla suscettibilità all'attacco enzimatico, che è piuttosto complessa e legata alle caratteristiche strutturali delle molecole in cui tale gruppo è presente.

La degradazione dei LAS comprende essenzialmente una prima fase nella quale si verifica la ossidazione del carbonio terminale della catena alifatica ed una rapida demolizione di essa; quindi segue una fase di degradazione lenta che interessa i nuclei aromatici e durante la quale il gruppo solfonico viene convertito in solfato inorganico.

A differenza dei detergenti anionici, quelli non ionici posseggono anche il gruppo idrofilo in forma organica per cui l'attacco enzimatico può procedere alle due estremità della molecola.

I detergenti sono in grado di esercitare effetti marcati sui microrganismi, basti pensare che molti tensioattivi sono degli efficienti disinfettanti ed antisettici. Buona parte delle nostre conoscenze sugli effetti dei detergenti sui microrganismi sono state ottenute proprio in funzione dell'impiego dei tensioattivi quali agenti antimicrobici. Uno dei fattori che maggiormente influisce sulla attività antimicrobica dei detergenti è il pH. Nelle condizioni di pH prossimo alla neutralità tipiche di gran parte dei terreni, sono i detergenti cationici quelli che esercitano l'effetto più pronunciato: nei terreni alcalini la loro azione è ancora più marcata, mentre in quelli acidi essi risultano meno pericolosi. Gli anionici si comportano in senso opposto.

I detergenti non ionici non hanno in genere effetti apprezzabili sui batteri. I detergenti anionici sono più attivi verso i batteri Gram positivi, mentre quelli cationici agiscono con uguale efficacia anche sui Gram negativi. A titolo orientativo, composti del gruppo degli alchil-benzene-solfonati (LAS, TBS, KBS) hanno un marcato effetto inibitore sulle attività microbiche a dosi comprese fra 1 e 10 ppm. Questo fatto evidenzia la potenziale pericolosità degli effetti derivanti dalla immissione di detergenti nel suolo, considerando che i detergenti che giungono al terreno sono quelli più refrattari all'attacco microbico, poiché i prodotti più teneri sono stati in gran parte distrutti nelle acque.

Questo rapido cenno ad un problema così vasto e complesso, come quello della contaminazione da detergenti, dimostra di per sé la gravità e la minaccia che deriva alla vita del suolo e delle piante per questa via.

È vero che alcuni AA. (Kempf e Carlson, 1968) hanno trovato che il più alto potenziale di biodegradazione si consegue con sistemi di terreno a condizioni di flusso insaturo, in lisimetri, nei quali, a giudicare dalla formazione di joni SO_4 , si è ottenuta una primaria degradazione dell'alchil-benzen-solfonato derivato da tetrapropilene pari al 98%, ma il numero e le quantità crescenti di detersivi, di cui si è generalizzato l'impiego, propongono questioni estremamente complesse, che vanno dai processi di epurazione delle acque luride, sistemi di fognature, fosse settiche, fanghi attivati, ai processi biochimici della biodegradazione.

La presenza di enzimi proteolitici nelle formulazioni dei detersivi del commercio pone altri interrogativi che riguardano gli eventuali effetti sull'uomo (recentemente in preparati enzimatici batterici per l'impiego nei detersivi è stata riscontrata la presenza di principi tossici) e quelli sull'ambiente. Parker e coll. (1971) hanno studiato gli effetti della immissione delle proteasi alcaline usate nei detergenti nei bacini di ossidazione delle acque luride ed hanno rilevato che taluni preparati, quando

la loro concentrazione supera 1 mg/litro, possono influire in maniera apprezzabile sulla composizione del fitoplancton, ad esempio favorendo le alghe verdi-azzurre a scapito delle alghe verdi, evento questo considerato dannoso per il buon funzionamento dei bacini di epurazione.

Sorvolando su una serie di questioni connesse con questo grosso problema del giorno e sui molteplici effetti biologici dei detergenti, che vanno dalla interazione con gli enzimi alla distruzione di certe strutture cellulari (come i flagelli o le membrane citoplasmatiche), sembra opportuno accennare ad una prospettiva interessante offerta dalle alghe, il cui intervento nei processi di decontaminazione si dimostra, con il progredire delle conoscenze, così vitale da potersi considerare rilevante ai fini della messa in opera di bacini controllati di smaltimento o di epurazione.

Wurtz-Arlet J. (1967), Klein S. A., Mc. Gauhey P. H. (1964), Davis E. M. e Gloyna F. (1969) riferiscono che gli alchil-benzen-solfonati sono degradati dalle alghe. Davis e Gloyna (1967) riscontrarono che gli alchil-benzen-solfonati derivati dal tetrapropilene, gli alchilbenzeni lineari, i glicol-polietilenici con 7 molecole di ossido di etilene e gli alchil-fenoli con 9 mol. di EO sono degradati dalle alghe in coltura pura in misura fortemente variabile da specie a specie.

Ma le alghe, oltre all'intervento diretto nella degradazione dei detergenti, svolgono un ruolo fondamentale e complementare a quello della microflora eterotrofa, nella depurazione delle acque. Palmer (1969) ha potuto stabilire una correlazione ben precisa fra la entità della contaminazione delle acque con prodotti organici e la natura delle alghe in esse presenti.

Sulla base delle frequenze riportate da 165 AA. egli ha potuto formulare una graduatoria di generi e specie tipiche delle acque contaminate, che vede ai primi 8 posti i seguenti generi: *Euglena*, *Oscillatoria*, *Clamydomonas*, *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Nitzschia*, *Navicula* e *Stigeoclonium*.

La graduatoria delle specie vede ai primi 5 posti: *Euglena viridis*, *Nitzschia palea*, *Oscillatoria limosa*, *Scenedesmus quadricauda*, ed *Oscillatoria tenuis*.

Questi studi dimostrano l'esistenza di un rapporto ben preciso fra contaminazione e microflora algale, rapporto che i detergenti sconvolgono perché le diverse specie di alghe non risentono allo stesso modo gli effetti algostatici od alghicidi dei detergenti. I limiti di tolleranza delle specie appartenenti alla medesima famiglia sono in genere simili e ciascuna famiglia dimostra uno specifico meccanismo di inibizione. I detergenti anionici inibiscono la crescita in concentrazioni variabili in

funzione della specie algale. Tutte le specie sono più sensibili ai detergenti cationici che non a quelli anionici e non ionici, ma la spiegazione di tale comportamento richiede ulteriori indagini (Ukeles, 1965).

Questo accenno si aggiunge ai fatti ben noti sulla utilizzazione delle alghe in bacini di epurazione controllati sia per esaltarne il rendimento sia per superare gli ostacoli e le inibizioni derivanti dall'inquinamento.

Ma non si può chiudere l'argomento della contaminazione indiretta del terreno da detergenti e tossici industriali delle acque senza ricordare il caso dei terreni idromorfi (terreni di risaia in fase di sommersione, marcite) nei quali la situazione aggravata dall'inquinamento conseguente all'impiego di diserbanti, pesticidi, etc., determina una così grave rottura dell'equilibrio biologico che supera di gran lunga la negativa evoluzione della idromorfia non riduttrice (in cui si svolgono i normali processi ossidativi a carico dei composti ferrosi, dei composti dello zolfo, dell'ammonio, etc.) in idromorfia mediamente e fortemente riduttrice, segnate dalla denitrificazione e dalla riduzione dei solfati. I monaci di Chiaravalle sono stati benemeriti ad inventare la marcita utilizzando le acque di rifiuto di Milano, ma erano ben lungi dall'immaginare la catastrofe che si sarebbe abbattuta su questa fonte di foraggio fresco per il bestiame.

4. - *Contaminazione diretta del terreno.*

In agricoltura l'impiego di pesticidi, prodotti chimici ed agenti tossici per combattere fitopatogeni, erbe infestanti, insetti, roditori, etc. si è enormemente esteso ed intensificato.

Di fronte alla continua ricerca di mezzi più perfezionati per aumentare la produttività delle colture ed alle crescenti esigenze dell'agricoltura, dell'industria e della sanità, gli eventuali effetti dannosi dei pesticidi sull'uomo, le piante, gli animali, i microrganismi del suolo e delle acque richiedono una valutazione critico-sperimentale, che permetta la selezione degli agenti chimici meno pericolosi e più efficaci.

L'osservazione che molti prodotti chimici possono persistere rende necessaria la conoscenza del comportamento biologico di essi e delle loro relazioni con i processi microbiologici del terreno, nel quadro più ampio della contaminazione ambientale con sostanze tossiche che è diventata l'eventualità più grave.

Al pericolo della persistenza di taluni prodotti tossici nel terreno si aggiunge quello già accennato della mobilità.

Sebbene i pesticidi, intesi in senso lato, comprendano un'ampia gamma di composti utilizzati per combattere agenti di malattie dell'uomo, degli animali e delle piante, dal punto di vista agrario l'interesse si concentra praticamente sui diserbanti, gli insetticidi ed i fungicidi.

I diserbanti si possono definire prodotti fitotossici selettivi contro le erbe infestanti, ma la cui attività può includere la distruzione di piante superiori del terreno e delle acque. Il loro meccanismo di azione varia da prodotto a prodotto (si contano circa 60.000 formulazioni).

Kruglov e coll. (1970) hanno dimostrato che il 2,4-D assorbito da *Chlorella vulgaris* può essere metabolizzato proprio come nei tessuti delle piante superiori. Le osservazioni di Bertagnolli e Navakavukaren (1970) sulle modificazioni ultrastrutturali indotte in *Chlorella pyrenoidosa* da 2,4-D sono molto significative. Le cellule cresciute in liquidi colturali contenenti 5×10^{-3} M di 2,4-D dimostrano vescicolazione della membrana plasmatica, rigonfiamento mitocondriale con disorganizzazione di creste, rottura del sistema lamellare del cloroplasto e dictiosomi con cisterne irregolarmente rigonfiate. Dettagli strutturali non rilevati prima per specie di *Chlorella* furono: 1) la presenza di un pirenoide cristallino con periodicità di 80 Å; 2) un nucleo costituito da particelle simili a ribosomi; 3) ribosomi e mitocondri più piccoli nel cloroplasto che non nel citoplasma.

Ugualmente interessanti perché riferite alla biologia del suolo sono le osservazioni di Pantera (1970) il quale ha dimostrato che gli erbicidi, somministrati nelle dosi pratiche d'impiego, hanno un effetto marcatamente negativo sulle alghe del suolo, che si protrae per parecchi mesi. Il prodotto più tossico per le alghe si dimostrò essere il tehwar (un derivato dell'urea); tutte le triazine saggate esercitarono un effetto negativo. Prendendo le alghe quale test biologico, si deve ammettere che tutti gli erbicidi saggiati alterano l'equilibrio biologico del terreno.

Fletcher e coll. (1970) hanno studiato il grado di tossicità di taluni erbicidi nei confronti delle alghe constatando che l'MCPB è più tossico dell'MCPA e che l'isoxinil è più tossico del bromoxinil, definendo talune delle condizioni che influiscono sulla attività di queste sostanze. L'insieme di queste ricerche lascia intravedere la possibilità di utilizzare le alghe del suolo per definire indici di attività dei diserbanti sulla microflora del terreno.

La maggior parte degli erbicidi agisce su più di un aspetto del metabolismo, e poiché il cambiamento di un componente provoca una serie di altri cambiamenti, è arduo capire quale è l'effetto primario. È per questo motivo che il meccanismo di azione del 2,4-D, pur es-

sendo il più studiato, è ancora oscuro (sistema enzimatico studiato da Tomati, Lippi e Pietrosanti, 1970).

Diversi erbicidi agiscono come ormoni, poiché interferiscono nella ordinata progressione dello sviluppo di cellule e tessuti in radici, fusti e foglie. Questa interferenza è segnata da una tipica serie di reazioni cellulari all'erbicida quali: aumento nel contenuto di acqua nelle cellule, iperplasia cellulare seguita da divisione, differenziamento ed orientamento in primordi radicali e morte.

L'efficienza degli erbicidi sta in primo luogo in due fattori: mobilità e persistenza nella pianta. La persistenza fa sì che l'alterazione fisiologica o metabolica persista per un periodo sufficiente ad uccidere la pianta. La mobilità fa sì che l'erbicida possa raggiungere anche le nuove gemme la cui entrata in attività sia stimolata dalla morte dei germogli precedenti.

La categoria degli insetticidi comprende prodotti impiegati nella lotta degli insetti nocivi e quella dei fungicidi le sostanze attive contro i funghi patogeni ed altri microrganismi patogeni.

Per i fungicidi c'è da osservare, in generale, che essi agiscono nelle parti aeree di una pianta contro un fungo patogeno in condizioni simili a quelle di una monocoltura, mentre nel suolo la totale microflora può interferire positivamente o negativamente sull'azione del fungicida. Tutta la parte epigea di una pianta ha una superficie totale relativamente piccola in confronto a quella del sistema radicale. Inoltre, la radice rappresenta un organo molto sensibile « aperto » all'assunzione dei nutrienti, mentre le foglie sono molto meglio protette contro le influenze avverse dell'ambiente.

I fumiganti infine, sotto forma di gas o di vapori, sono utilizzati per combattere sia funghi patogeni, sia nematodi, etc.

Dal punto di vista chimico si tratta di idrocarburi clorurati, composti fosfo-organici, composti solfo-organici, composti eterociclici, fenoli, composti di ammonio quaternario, alogenati, nitro-aromatici ed alifatici, oltre a numerose sostanze inorganiche.

Circa l'azione dei pesticidi sull'assetto microbiologico del terreno si possono considerare due meccanismi generali:

- 1) l'effetto sulla microflora tellurica può essere più dannoso che utile per le piante coltivate, se, ad esempio, l'applicazione compromette la simbiosi radicale delle leguminose o interferisce con i processi microbiologici del suolo;

- 2) la presenza di prodotti chimici, in prevalenza di natura organica, impiegati come pesticidi, può determinare nel suolo l'insediarsi

di attività microbiche selettive capaci di determinare in alcuni casi la degradazione dei composti e la conseguente scomparsa di essi dal terreno; oppure nel caso di ripetute applicazioni di composti non biodegradabili, può avvenire accumulo fino a concentrazioni tossiche.

Può avvenire inoltre che la resistenza alla degradazione, ad es., di un erbicida impiegato contro le erbe infestanti di una determinata coltura determini l'insuccesso della coltura successiva che sia più sensibile all'erbicida impiegato per trattare quel terreno.

I problemi microbiologici connessi con la degradazione dei pesticidi nel suolo, riguardano la durata degli effetti osservati, i limiti di efficacia compatibili con la produttività delle colture senza pregiudizio delle attività della microflora, l'influenza degli eventuali intermediari della degradazione sui processi microbiologici del suolo e la persistenza di alcune molecole non degradate, il cui accumulo è capace di effetti microbiologici rilevanti.

Per considerare la complessa questione della degradazione microbica in rapporto alla persistenza, alla disintossicazione, al metabolismo ed alla trasformazione di insetticidi, fungicidi ed erbicidi, bisogna tener conto degli effetti di detti prodotti nei riguardi della inibizione di specifici microrganismi del suolo e dello svolgimento dei processi microbiologici, nonché delle azioni selettive da essi esercitate.

È noto che i colloidali del suolo per assorbimento determinano spesso diminuzione dell'attività biologica e della efficacia di molte sostanze tossiche. I meccanismi che intervengono sono svariati e dipendono dalla natura del terreno, dallo specifico colloide, dal tipo di pesticida, dal pH, temperatura, etc.

Reazioni idrolitiche ed ossidative, formazione di complessi o di prodotti di coniugazione, la rimozione di un gruppo funzionale essenziale o altre modificazioni chimiche possono concorrere alla disintossicazione.

Esempi di trasformazioni chimiche, non biologiche, rilevati attraverso la misurazione dell'inattivazione su terreno sterile interessano insetticidi organofosforici modificati per reazioni diverse (O'Brien, 1960), il Vapam (Turner e Corde, 1963), etc. non senza aver prima determinato uno stress nel sistema microbico (Gunner, 1970).

Ma un altro aspetto da considerare, dal punto di vista non microbiologico, è rappresentato dalla possibilità che le piante agrarie e quelle spontanee possono concorrere alla disintossicazione del terreno da diserbanti ed insetticidi, ad esso applicati, mediante assorbimento radicale, abbassando la concentrazione di essi nel suolo.

Piante alimentari e foraggere possono così assumere dal suolo pesticidi e loro derivati, traslocando le sostanze assimilate nella parte aerea e pertanto divenendo potenzialmente pericolose per la salute dell'uomo e degli animali.

Colby et al. (1964) hanno dimostrato che le piante di pomodoro possono assorbire l'Amiben dal terreno e che questo diserbante si concentra in quantità apprezzabili nei frutti. Così Aldrin, Heptachlor ed i loro prodotti di ossidazione si riscontrano presenti nelle parti epigee di colture praticate su terreni energeticamente disinfestati con tali insetticidi.

Pur tenendo conto dei fatti esposti, nei quali il problema della evoluzione dei pesticidi applicati al terreno investe trasformazioni non biologiche, la microflora del suolo non solo rappresenta in generale il principale fattore e talora il solo mezzo per liberare il terreno dai prodotti chimici estranei, ma è anche il test più sensibile di effetti dannosi, di fenomeni di persistenza e di accumulo dei pesticidi con conseguenze pratiche, che non è difficile comprendere.

I processi di degradazione sono condizionati al fatto che il pesticida applicato possa essere utilizzato, come sorgente di carbonio o di energia, da un piccolo o da un grande numero di microrganismi del suolo. In tal caso il pesticida scomparirà più o meno rapidamente dal terreno in funzione della natura del composto, del metodo di applicazione, della misura e grado di assorbimento, del tasso di crescita delle specie microbiche attive, di vari fattori ambientali e della eventuale tossicità del substrato per i microrganismi capaci di degradarlo.

In generale l'intervento microbico nella degradazione viene valutato per confronto tra il comportamento di un dato composto in un dato terreno, in condizioni sterili e naturali: se la persistenza è minore nel campione naturale, si ha la prima dimostrazione della partecipazione microbica al processo di disintossicazione del suolo.

Le sostanze biodegradabili incrementano la produzione di CO_2 e l'ampiezza dell'incremento è funzione dell'entità alla quale il carbonio della molecola del pesticida viene ossidato completamente: ad es. i composti clorurati (DDT, DDD, Metossiclor) persistono senza esercitare influenza apprezzabile sulla produzione di CO_2 ; gli insetticidi ciclodienici (Aldrin, Dieldrin, Endrin, Telodrin) determinano una moderata, ma persistente inibizione della respirazione del terreno, rilevata anche nel caso dei carbammati e dei tiol-carbammati.

Più difficile da interpretare e perciò più complesso risulta il meccanismo di produzione di CO_2 determinato dagli organofosforici (Mala-

tion, Paration), dai fenil-carbammati (Swep, IPC, CIPC, Barban) e dai diserbanti anilidici (Stam FS4, Dicryl, Marsil). Essi determinano un incremento iniziale nella produzione di CO₂.

L'entità dell'eccesso e la durata dell'effetto variano da composto a composto, ma in ogni caso l'incremento è seguito da una diminuzione più o meno sensibile e da inibizione. Sia l'incremento iniziale che il successivo decremento sono proporzionali alle concentrazioni di pesticida applicato.

Talora avviene che i processi biologici intervengano nel ritardare e impedire la degradazione a causa della formazione di inibitori delle attività microbiche, come hanno messo in evidenza Hill e coll. (1955) per il Monuron, che persiste più a lungo dopo applicazione di cloropicrina e Takijima e Hayashi (1954) per il 2,4-D e l'MCPA, la cui durata nel suolo si prolunga in presenza di toluolo. Fra gli erbicidi persistenti sono da considerare le triazine e le uree sostituite e, fra gli insetticidi, il Parathion, rapidamente metabolizzato nei tessuti degli organismi superiori e nel rumine, può persistere nel terreno per anni dopo la introduzione.

In realtà il metabolismo microbico dei pesticidi può seguire differenti vie, con conseguenze diverse:

a) trasformazioni enzimatiche, capaci di determinare modificazioni chimiche tali da aversi la perdita delle proprietà inibitrici, ossia l'inattivazione del prodotto: es. la trasformazione del Dalapon in acido piruvico (Kearney e coll., 1963);

b) il composto non è tossico, ma può diventarlo per attivazione microbiologica;

c) il composto è tossico e può essere trasformato in altri prodotti che sono a loro volta inibitori con modificazioni che comportano aumento e diminuzione della tossicità e talvolta comparsa di inibitori con spettro differente da quello del composto di partenza;

d) il composto per degradazione microbica può dare origine a prodotti ad effetto stimolante.

Diventa pertanto molto importante non solo conoscere se avviene o no degradazione microbica, ma anche il meccanismo biochimico e la natura dei prodotti intermedi, che possono svolgere attività sulle piante, sui parassiti e le malerbe che si combattono, sulla microflora del suolo, nonché sui mangimi, gli alimenti e più latamente sul problema della contaminazione dell'uomo.

Una indagine così complessa richiede l'applicazione di metodi di analisi microbiologica, che dimostrino preliminarmente se la micro-

flora del suolo può degradare un determinato composto impiegato come pesticida.

All'uopo, in un mezzo di coltura, in cui il composto in esame funzioni da unica sorgente di carbonio e di energia, si aggiunge il terreno come inoculo e si sottopone ad incubazione in condizioni controllate la sospensione: se avviene sviluppo microbico, vuol dire che il composto è in grado di consentire la crescita dei microrganismi e che pertanto viene decomposto.

Analogamente si può procedere a livello di singole specie microbiche del suolo per studiare il metabolismo di un pesticida ad opera di microrganismi noti.

Con tali tecniche Alexander ed Aleem (1961) e MacRae ed Alexander (1965), Treccani e coll. hanno studiato il metabolismo di fenoli clorurati, di erbicidi a base di fenossiderivati di diversi cloro-benzoati, etc.

A differenza della degradazione chimica, che si manifesta entro breve tempo e decorre ad un tasso di inattivazione costante o attenuato col tempo, nel caso di attività microbiologica si determina una fase di latenza durante la quale non avviene alcuna decomposizione; dato che si tratta di un substrato estraneo al terreno e che solo pochi microrganismi sono capaci di utilizzarlo, è necessario che la popolazione di tale specie si moltiplichi sufficientemente perché diventino apprezzabili gli effetti della biodegradazione.

La cinetica della disintossicazione microbiologica è perciò differente da quella osservata per la maggior parte dei processi non biologici del terreno. Nel caso di azioni microbiche, il tasso d'incremento nel numero di cellule e nella degradazione corrispondente del composto è, in condizioni controllate, logaritmico. Una volta arricchito il terreno di tali microrganismi attivi, le quantità successivamente aggiunte di un dato pesticida saranno decomposte più rapidamente che non a seguito della prima applicazione.

Rappresentando graficamente la curva di biodegradazione di un composto, si ha una iniziale fase di latenza, durante la quale non si ha attività, quindi una fase esponenziale, in cui aumenta il tasso di decomposizione, specie dopo aggiunte successive del pesticida: si ha così la dimostrazione sperimentale dell'intervento microbico.

Ma la dimostrazione conclusiva dell'intervento microbico nella biodegradazione si realizza con l'isolamento in coltura pura della specie microbica responsabile. Le difficoltà di raggiungere questo obiettivo finale sono rappresentate generalmente dalla tossicità del prodotto e

dalla scarsa solubilità in acqua. Nonostante ciò, numerose specie sono state riconosciute attive ed isolate.

Allo stato attuale manca una adeguata conoscenza dei generi e specie di microrganismi dominanti nei processi di degradazione dei maggiori gruppi di fungicidi ed insetticidi. I pesticidi esaminati fino ad oggi hanno dimostrato che responsabili della disintossicazione del suolo sono rappresentanti di importanti generi di batteri dei principali generi di attinomiceti e di numerose specie fungine, tipiche saprofiti ecologiche o, come dice Christensen, « field fungi », caratterizzati da idrofilia e talora anche termofili.

D'altro canto la grande varietà e la diversità strutturale dei composti impiegati come pesticidi presuppongono altrettante varietà e diversità di tipi fisiologici di microrganismi attivi.

Sono stati altresì riscontrati microrganismi capaci di metabolizzare pesticidi clorurati senza liberazione dell'alogeno (Hirsch ed Alexander, 1960) o fenossi-derivati senza rottura dell'anello aromatico (Webley e coll., 1958) oppure in grado di dealogenare composti cloro-sostituiti, ma incapaci di utilizzare la molecola come sorgente di carbonio (Jensen, 1963).

Tra i meccanismi di degradazione che si verificano più frequentemente, sono la ossidazione, la riduzione, la dealogenazione, la coniugazione e la idrossilazione, con formazione di prodotti sprovvisti di effetto inibitore.

In alcuni casi, l'eliminazione di un singolo sostituente, ad es. un atomo di cloro, elimina anche la tossicità; in altri casi un pesticida può essere inattivato in diversi modi da differenti specie microbiche: ad es. erbicidi a base di fenossi-derivati inattivati da certe specie per beta-ossidazione della catena laterale (Gutenmann e coll., 1964), mentre specie di *Flavobacterium* agiscono spezzando il legame etereo della molecola (MacRae ed Alexander, 1964).

Gli insetticidi a base di idrocarburi clorurati, notoriamente resistenti alla degradazione, dimostrano una lunga persistenza nel terreno: così ad es. Clordano, DDT, Eldrin, Dieldrin, Heptaclor, etc. possono subire alcune modificazioni molecolari che non portano ad inattivazione, ma ad aumento della tossicità, come nel caso della epossidazione dell'Heptaclor e dell'Aldrin, che formano rispettivamente l'eossido dell'Heptaclor e la Dieldrin, potenti inibitori. Gli epossidi resistono alla degradazione e rimangono attivi per anni.

Le ricerche sui composti organo-fosforici mostrano che essi sono in generale rapidamente metabolizzati dalle piante, dagli animali e dai

microrganismi. Sebbene dal punto di vista microbiologico manchino sufficienti dati sulle reazioni biochimiche della trasformazione, per la degradazione microbica vengono postulati meccanismi metabolici analoghi a quelli accertati per gli organismi superiori.

Meritano di essere citate in proposito le indagini di Mounter e Tuck (1956) sull'attività idrolitica di *Escherichia coli* e *Propionibacterium pentosaceum* sul dietil-nitrofenil-fosfato, e tetraetilpirofosfato e dietil, di-isopropil ed n-butil fluorofosfati; quelle di Ahmed e Casida (1958) sul *Pseudomonas*, *Thiobacillus* e *Chlorella*, capaci di azioni idrolitiche, ma non ossidative, di Verona e coll. (1956) sulla utilizzazione dell'octametilpirofosforamide da parte di *Aspergillus*, *Penicillium* e *Alternaria*.

Circa le trasformazioni di fungicidi (Captan, Nabam, Spergon, TMT, Zineb, etc.) si può affermare una notevole persistenza di essi nel terreno. Lo Zineb ad es., secondo Iley e Fiskell (1966), libera in 30 giorni più della metà della Zn e dell'azoto contenuti.

Gli esempi riportati mostrano quanto vasto è il campo delle ripercussioni immediate e mediate dell'impiego dei pesticidi ed un adeguato e completo svolgimento del tema esorbita dai limiti di questa relazione. Vogliamo solo chiudere questi cenni con la conclusione del rapporto del Comitato dei pesticidi persistenti del Consiglio Nazionale delle Ricerche, in U.S.A., del Maggio 1969:

« Vi sono relativamente scarse informazioni sul destino ultimo dei pesticidi persistenti nel suolo o in altre parti di ogni ecosistema, oppure sulla sequenza dei processi di degradazione che hanno luogo. Per alcuni pesticidi interessati, i prodotti iniziali formati sono noti e misurabili, ma i prodotti formati successivamente e la sequenza nella quale si formano non sono noti o sono noti solo per pochi tipi di habitat naturali.

Fino a che questi prodotti non verranno identificati e non saranno accertate le loro potenziali attività biologiche, è impossibile stabilire in modo soddisfacente la loro tossicità per l'uomo e per i bioti oppure i tempi della loro persistenza in natura ».

5. - Conclusioni.

La rassegna succinta dei principali aspetti dell'impiego dei pesticidi mostra le lacune ancora esistenti dal punto di vista microbiologico nella conoscenza delle interazioni tra microrganismi e pesticidi. Tali lacune

sono ancora più gravi, se poste in relazione con la crescente meccanizzazione dell'agricoltura, la riduzione della mano d'opera e il generalizzato e necessario ricorso a mezzi chimici e dimostrano l'importanza di ricerche fondamentali ed applicate sull'uso, comportamento, destino e tossicologia dei prodotti chimici impiegati come pesticidi in agricoltura.

Gli effetti sulla microflora e sui processi microbiologici del terreno sono talora noti, ma numerosi sono quelli ancora da prendere in esame.

L'influenza e le ripercussioni dei pesticidi sull'equilibrio microbiologico sono abbastanza evidenti, mentre per lo più rimangono oscuri gli effetti ecologici e patologici.

Occorrono conoscenze sicure inoltre sui prodotti di decomposizione dei pesticidi e sui meccanismi di degradazione delle sostanze tossiche ai fini della disintossicazione del terreno. Questo problema, che s'inserisce in quello più vasto della contaminazione ambientale, permetterà, se risolto, di realizzare un indirizzo di produzione di pesticidi biodegradabili a partire da prodotti a lunga persistenza nel suolo.

È quindi ovvio che le seguenti misure sono urgenti:

a) estendere l'impiego di prodotti biodegradabili o che per altra via siano inattivati;

b) sviluppare la lotta biologica;

c) ridurre le fonti di contaminazione purificando le acque.

Ma i motivi che inducono a considerare con estrema attenzione i problemi di contaminazione del suolo, oltre l'aspetto generale della incidenza sull'inquinamento globale del pianeta, sono che il suolo si trova immediatamente a monte dell'uomo nella porzione principale della sua catena alimentare e che l'influenza prevedibile dei prodotti di sintesi aggiunti al terreno sulle sue caratteristiche biologiche e perciò sulla sua fertilità possono essere gravi.

Si pensi quale effetto potenzialmente dirompente abbia un composto dotato di attività antimicrobica se la sua azione viene valutata a livello del microhabitat e dei milioni di micro ecosistemi microbici in cui si fraziona il terreno con la eterogeneità micromorfologica che lo caratterizza.

Un altro possibile effetto a lungo termine della presenza prolungata di contaminanti nel suolo può riguardare eventuali interferenze con la sintesi dell'humus. Data la vita media dell'humus nel terreno, è evidente che effetti di questo genere potranno manifestarsi solo dopo decenni.

Le interferenze che tendono a diminuire la complessità e la capacità di regolazione del terreno sono dunque di origine antropica.

Il loro studio equivale alla determinazione degli effetti delle diverse colture agrarie e di altre pratiche agronomiche sul funzionamento e la efficienza di autoregolazione del suolo. Il punto fondamentale sta nella necessità di conciliare l'incremento delle rese agricole con il mantenimento nel suolo di un certo equilibrio intrinseco.

Le applicazioni pratiche relative ai problemi di regolazione in rapporto all'effetto degli insetticidi, fungicidi, erbicidi, nematocidi, etc. sull'equilibrio della fauna e della microflora rappresentano una parte considerevole delle ricerche attuali di biologia del suolo, come la messa in evidenza della influenza delle sostanze radioattive e di altri rifiuti sulle biocenosi edafiche va acquistando importanza crescente.

Inoltre nel campo agronomico, in particolare per la utilizzazione dei concimi, ed in quello forestale per la rigenerazione delle foreste, l'esistenza di una visione ecologica e pedobiologica dei problemi diventa sempre più incombente. La possibilità di mantenere nel suolo lo stato desiderato mediante introduzione di fattori di regolazione fisico-chimici o anche biologici non sembra allo stato attuale una utopia.

Il livello di applicazione dei risultati pedobiologici ed i rapporti con le scienze agrarie e forestali costituiscono invece un aspetto poco soddisfacente che limita la possibilità di contare su un potenziamento delle ricerche.

Questa situazione è la conseguenza, in un certo senso, dell'eccesso di pragmatismo concettuale che si riscontra in alcuni campi delle scienze agrarie. Si deve ammettere che una gran parte della responsabilità di questo disimpegno dalla pratica ricade sulla biologia del suolo, nonostante che le applicazioni di questa disciplina siano reali e si estendano ad altri campi, oltre a quello agronomico, quali la conservazione e il trattamento della natura, l'igiene umana e veterinaria e la lotta contro la contaminazione.

Siamo convinti che la base teorica per lo sfruttamento delle risorse agricole e forestali dovrà necessariamente derivare dagli studi di biologia e di ecologia del suolo e ci si deve domandare se siamo sulla buona strada per raggiungere lo scopo.

La buona terra è un deposito di ricchezze, ma le sue risorse non sono inesauribili. La razionale utilizzazione di queste risorse significa cura per la conservazione ed il ripristino della fertilità.

Non è pessimismo affermare che l'uomo, dimostratosi l'unico essere capace di distruggere il proprio ambiente, rischia di comportarsi, anche nell'agricoltura, come un elefante in un museo di porcellane cinesi.

PRESIDENTE - Dopo il vostro caloroso applauso di approvazione desidero ringraziare a nome di tutti il Prof. Florenzano per la sua interessantissima, esauriente e chiara relazione.

La prima parte della relazione Florenzano è stata dedicata al problema generale della contaminazione dell'ambiente, con frequenti richiami a fatti, situazioni e prospettive di pericolo allarmanti per il divenire del genere umano.

Successivamente, l'eminente Studioso ha richiamato alla nostra mente le basi bio-ecologiche della fertilità del suolo, integrando le conoscenze classiche con i contributi di recenti ricerche, di cui alcune originali.

Partendo da queste premesse, il Prof. Florenzano è entrato nel vivo dell'argomento, affrontando, per primo, il problema della contaminazione indiretta del suolo, tramite le acque ricche di composti provenienti dai vari prodotti chimici, che sotto forma di detersivi ed altri, vengono sempre più impiegati dalla nostra civiltà. Il Relatore si è, poi, intrattenuto sugli aspetti, per noi agronomi più interessanti, della contaminazione diretta, ossia l'influenza dei residui di pesticidi sui microorganismi e sulle proprietà chimiche del suolo, fino alla contaminazione delle piante. Infine, egli ha concluso brillantemente la sua relazione densa di contenuto, dandoci una visione ecologica e pedo-biologica dei problemi agronomici legati e riguardanti il mantenimento della fertilità del terreno agrario.

Dichiaro aperta la discussione su questi punti fondamentali toccati dal Prof. Florenzano nella sua relazione.

DISCUSSIONE

PROF. V. TRECCANI - Desidero in questa sede, a seguito della relazione introduttiva del Prof. Florenzano « Conseguenze della contaminazione sulla fertilità del suolo », trattare l'aspetto biochimico della degradazione microbica dei composti organici che più comunemente sono considerati inquinanti delle acque e del terreno. Riassumerò anzitutto i risultati ottenuti dalle ricerche sulla degradazione microbica degli idrocarburi e dei loro diretti derivati, che hanno consentito fra l'altro di affrontare lo studio della degradazione microbica dei composti organici di sintesi (detergenti, erbicidi, antiparassitari, ecc.) che rappresentano una recente e importante fonte di inquinamento.

Gli idrocarburi, come sapete, sono dei composti estremamente stabili e dotati di scarsa reattività chimica. Le loro proprietà fisiche e chimiche, almeno a prima vista, non fanno pensare alla possibilità di una utilizzazione da parte dei microrganismi. Infatti, essi sono in genere pochissimo solubili in acqua ed alcuni derivati presentano per di più spiccate proprietà antisettiche. Le ricerche, quindi, compiute tra il 1913 e il 1928 da diversi Autori fecero molto scalpore: infatti furono isolati e descritti diversi microrganismi capaci di crescere in coltura pura su numerosi idrocarburi e derivati forniti come unica fonte di C e di energia. Tali ricerche dimostrarono che queste forme microbiche appartengono a specie e generi diversi e sono estremamente diffuse in natura; sono state infatti isolate dal terreno, dal letame, dai corpi idrici superficiali, dal mare, dai pozzi e dalle rocce petrolifere, ecc. Questa microflora non può essere considerata una microflora particolare ed estremamente specializzata, poiché numerose colture di collezione, non ottenute quindi da colture di arricchimento, presentano questa stessa proprietà. Gli idrocarburi consentono una crescita microbica rigogliosa anche quando sono insolubili in acqua e quando presentano una attività antisettica nei confronti di altri microrganismi.

Recentissime ricerche (1-4) eseguite con tecniche analitiche moderne (gas cromatografia, spettrografia di massa, ecc.) hanno dimostrato la presenza in molti organismi viventi di idrocarburi sia aromatici che alifatici, anche molto complessi e con strutture ramificate. Questi idrocarburi, ovviamente, alla morte degli esseri viventi si riversano nel terreno e le analisi eseguite hanno dimostrato la loro presenza, sebbene in quantità molto piccole, nel terreno stesso. Ciò spiega il motivo per cui i microrganismi capaci di degradarli erano così diffusi in natura anche quando i prodotti petroliferi non erano così largamente impiegati e dimostra che la degradazione microbica degli idrocarburi costituisce un aspetto molto importante del ciclo del C in natura.

Solo a partire dal 1947 furono intraprese ricerche biochimiche ed Evans, per primo (5), dimostrò che la pirocatechina è un intermedio comune della degradazione del fenolo e dell'acido benzoico. Esperienze di questo tipo furono sviluppate da diversi Autori negli anni successivi e divennero così numerose che oggi noi possiamo affermare di conoscere

-
- (1) ALBRO P.W., DITTMER J.C. — *Lipids* 5, 320 (1970).
 - (2) WANLESS G.G., KING W.H., RITTER J.J. — *Biochem. J.* 59, 684 (1955).
 - (3) ORO J., NOONER D.W., WIKSTROM S.A. — *Science* 147, 870 (1965).
 - (4) WINTERS R., PARKER T.L., VAN BAALEN C. — *Science* 163, 467 (1969).
 - (5) EVANS W.C. — *Biochem. J.* 41, 373 (1947).

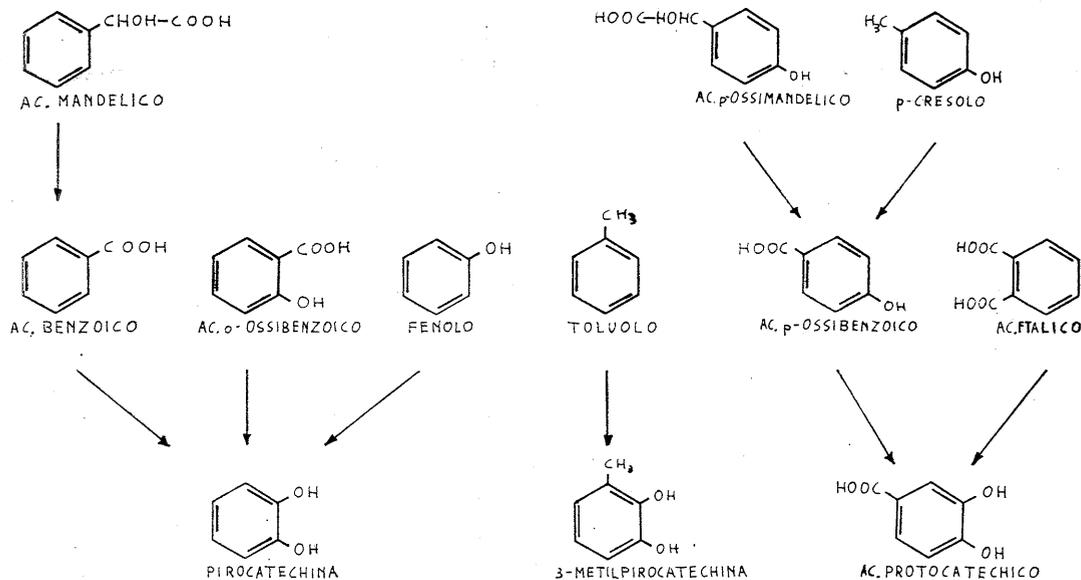


Figura 1

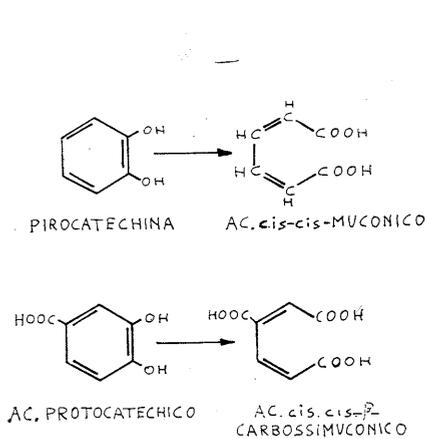


Figura 2

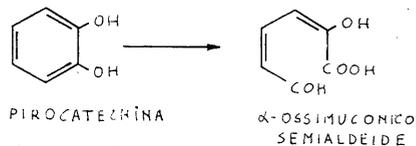
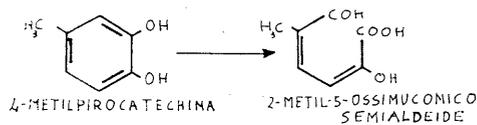
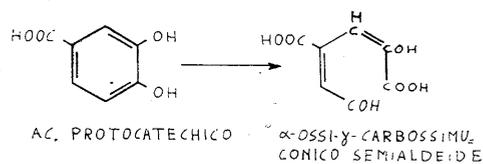


Figura 3

nelle loro linee essenziali le vie metaboliche attraverso le quali gli idrocarburi ed alcuni loro derivati vengono degradati. È da rilevare che tali ricerche hanno richiesto un ingente lavoro sperimentale, in quanto, per assegnare ad un dato composto la funzione di intermedio metabolico, è necessario servirsi del maggior numero di criteri possibili come il suo isolamento dalle colture e la sua caratterizzazione o almeno il suo riconoscimento nel mezzo colturale, il rapido sviluppo microbico in presenza del composto in questione, l'immediato consumo di ossigeno da parte delle cellule non proliferanti cresciute sull'iniziale substrato, la produzione e la degradazione del presunto intermedio a mezzo di preparati enzimatici estratti dalle stesse cellule microbiche.

Nelle figure 1, 2, 3 sono riassunti gli schemi metabolici noti per alcuni derivati del benzolo. Non sono riportati quelli degli alchilbenzeni che vengono ossidati nella posizione terminale della catena con formazione dei corrispondenti acidi grassi ω -fenilstituiti; successivamente la catena laterale viene eliminata attraverso un processo di β -ossidazione, per cui i composti a numero pari di atomi di C portano alla formazione di acido fenilacetico, quelli a numero dispari di atomi di C ad acido benzoico. Da questi processi degradativi emergono alcune interessanti considerazioni: il carbossile direttamente legato ad un anello aromatico può venire eliminato sia attraverso una decarbossilazione ossidativa, come nel caso dell'acido benzoico, sia per decarbossilazione anaerobica (acido ftalico). Il metile direttamente legato all'anello aromatico può rimanere inalterato durante tutto il compiersi del processo degradativo del nucleo, come nel caso del toluolo, oppure venire ossidato a carbossile come per il *p*-cresolo. Inoltre in questi processi metabolici sono implicate reazioni di ossigenazione (l'introduzione cioè di O₂ atmosferico nel substrato) catalizzate da particolari sistemi enzimatici: le *ossigenasi* (6). La formazione intermedia di difenoli (pirocatechina, metilpirocatechina, acido protocatechico) (fig. 1) è dovuta all'azione di *monoossigenasi*, che incorporano un solo atomo di ossigeno atmosferico nel substrato organico e simultaneamente riducono l'altro atomo ad acqua in presenza di NADH. La rottura dell'anello aromatico, successiva alla ossidrillazione, è catalizzata dalle *diossigenasi*, che incorporano due atomi di O₂ atmosferico nel substrato e può avvenire attraverso due differenti meccanismi: alcuni microrganismi determinano la scissione ossidativa del legame tra i due atomi di C che portano i due ossidrili dell'*o*-difenolo, con la conseguente formazione di un acido muconico:

(6) HAYASHI O., NOZAKI M. — Science 164, 389 (1969).

questa rottura è operata dalla pirocatecasi (1,2-ossigenasi) e viene comunemente chiamata rottura in *orto* (fig. 2). Altri invece rompono il legame tra un atomo di C ossidrilato e quello adiacente non sostituito con conseguente formazione di una semialdeide ossimuconica; questo

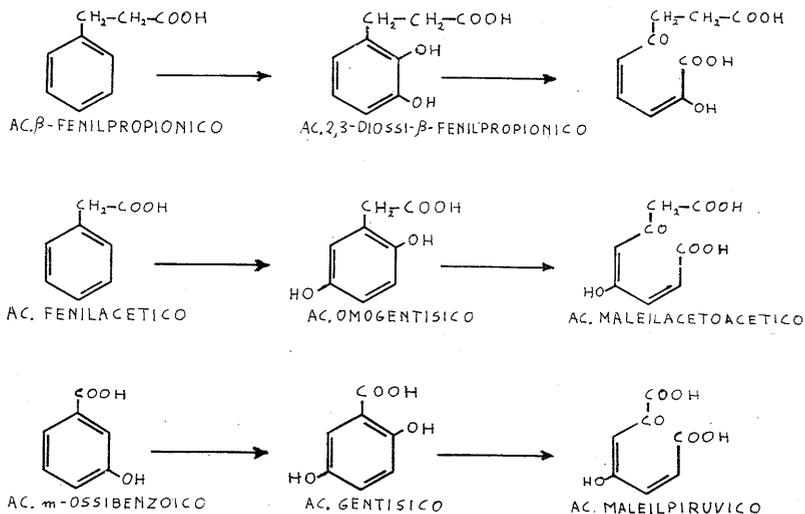


Figura 4

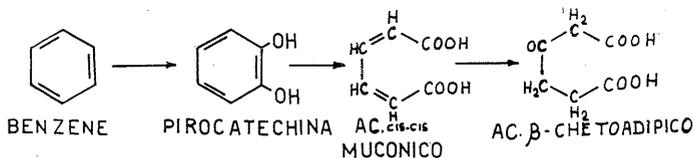


Figura 5

tipo di rottura è operata dalla metapirocatecasi (2,3-ossigenasi) ed è comunemente chiamata rottura in *meta* (fig. 3). A quest'ultimo tipo di rottura si riferisce anche quella relativa agli acidi 2,3-diossifenilpropionico, omogentisico e gentisico, nei quali si ha la scissione del legame tra un atomo di C ossidrilato e quello adiacente che porta una catena laterale (fig. 4).

È da ricordare tuttavia che diversi derivati del benzene vengono fotometabolizzati da alcune *Athiorhodacee* che degradano completa-

mente questi composti ad acidi organici semplici attraverso schemi degradativi parzialmente noti (7).

L'ossidazione del benzolo, della naftalina, del fenantrene e dell'antracene inizia sempre con la formazione di un diolo per ossigenazione di 2 C adiacenti. A questo passaggio fa seguito il ripristino dell'assetto aromatico per deidrogenazione con la conseguente formazione di un *o*-diossifenolo (pirocatechina, diossinaftalina, ecc.). I microrganismi finora isolati capaci di crescere sul benzolo determinano la rottura in *orto* della pirocatechina con successiva formazione di acido 3-oxoadipico (fig. 5). Negli idrocarburi aromatici polinucleari (fig. 6) la rottura dell'anello che porta i due ossidrilici è operata da ossigenasi che determinano la scissione tra il C₁ ossidrilato e il C angolare con la conseguente formazione degli acidi *o*-ossibenzalpiruvico, 1-ossi-2-naftilmetilpiruvico e 2-ossi-3-naftilmetilpiruvico, quali intermedi rispettivamente della naftalina, fenantrene e antracene. La degradazione di questi acidi prosegue poi fino alla formazione di un intermedio comune, l'acido salicilico, che per decarbossilazione e ossidrilazione viene trasformato in pirocatechina, che viene a sua volta ulteriormente degradata mediante una rottura in *orto* o in *meta* a seconda della forma microbica. Le naftaline cloro, bromo- e metilsostituite vengono degradate sempre a partire dall'anello non sostituito con uno schema del tutto analogo a quello sopra descritto (8). Recenti ricerche (9, 10) hanno dimostrato che l'attacco microbico del bifenile (fig. 7) inizia su uno dei due anelli aromatici con formazione del 2,3-diolo. Alcuni microrganismi proseguono la degradazione fino ad acido fenilpiruvico con l'intermedia produzione di una semialdeide, altri portano alla formazione di acido benzoico, pirocatechina e semialdeide ossimuconica.

La degradazione microbica degli idrocarburi alifatici inizia con la ossidrilazione di un metile terminale e la sua successiva trasformazione in carbossile con conseguente formazione di un acido grasso, che subisce poi un processo di β -ossidazione. Una α - ω ossidazione delle *n*-paraffine, l'ossidazione contemporanea cioè dei due metili terminali con formazione di un acido bicarbossilico, è stata osservata da diversi Autori.

(7) DUTTON T.L., EVANS W.C. — *Biochem. J.* 113, 525 (1969).

(8) CANONICA L., FIECCHI A., TRECCANI V. — *Rend. Ist. Lombardo Sci. Lettere B* 91, 119 (1957).

(9) LUNT D., EVANS W.C. — *Biochem. J.* 118, 54P (1970).

(10) CATELANI D., SORLINI C., TRECCANI V. — *Experientia* 27, 1173 (1971).

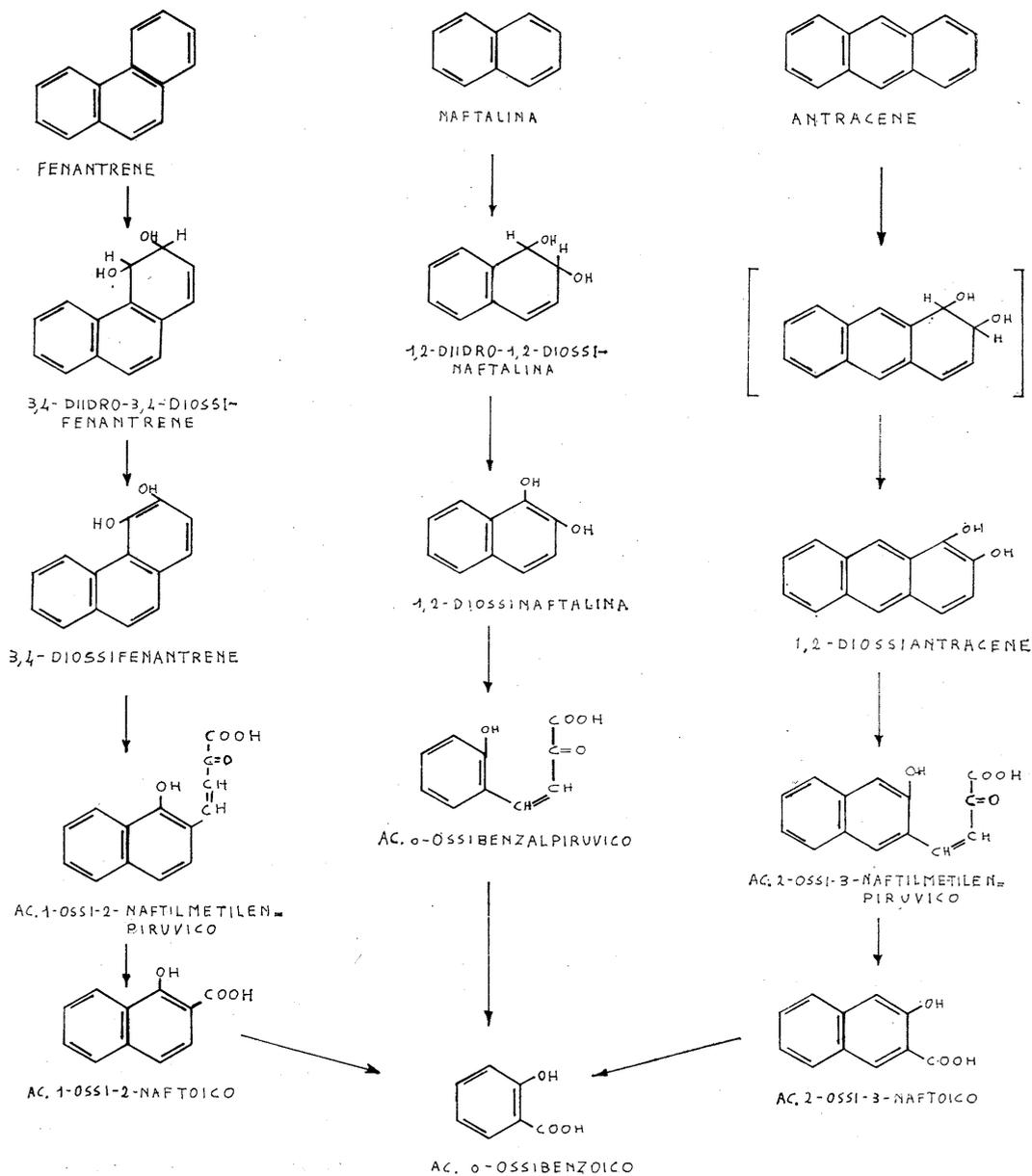


Figura 6

Le ricerche che ho brevemente descritto hanno consentito di chiarire alcuni aspetti della degradazione dei composti organici che più comunemente inquinano le acque ed il terreno e sono una premessa necessaria all'allestimento degli impianti di depurazione degli scarichi industriali ed urbani. A questo proposito, come esempio, vorrei accennare ad un processo di decontaminazione che siamo riusciti a realizzare

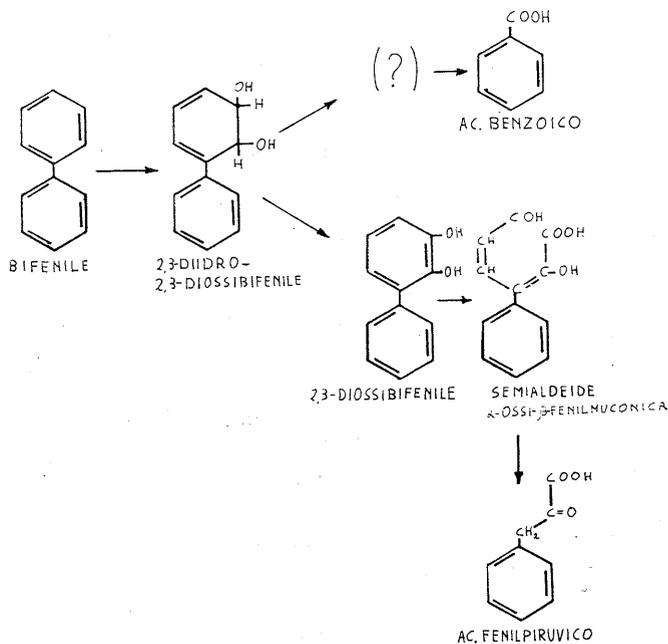


Figura 7

al Centro Euratom di Ispra (11). Alcuni reattori nucleari impiegano come scambiatori di calore miscele di idrocarburi aromatici (bifenile, terfenile, naftalina ed alcuni suoi alchilderivati). La decontaminazione delle scorie radioattive richiede una preventiva eliminazione di tali composti organici dalle acque di lavaggio. Le difficoltà incontrate nell'applicazione di metodi chimici hanno suggerito di tentare un trattamento microbiologico, che è stato ottenuto mediante fermentazione con tre dif-

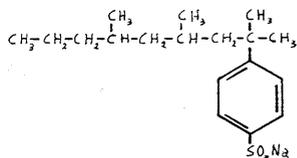
(11) CATELANI D., MOSSELMANS G., NIENHAUS J., SORLINI C., TRECCANI V. — *Experientia* 26, 922 (1970).

ferenti ceppi di microrganismi, due dei quali, capaci di crescere in presenza di bifenile e *m*-terfenile, sono stati isolati da colture di arricchimento, mentre per la naftalina ed i suoi alchilderivati si è utilizzato uno *Pseudomonas* precedentemente isolato (12).

In questi ultimi 20 anni il problema dell'inquinamento si è esteso per l'abbondante produzione industriale di composti organici di sintesi, alcuni dei quali presentano una struttura assai dissimile da quella dei composti naturali per cui non in tutti i casi sono ancora noti i microrganismi capaci di degradarli. Ovviamente la mancata mineralizzazione di una sostanza organica nel terreno porta ad un suo accumulo che può arrecare notevoli danni alla vita vegetale ed animale. È inoltre da ricordare che tali sostanze non completamente degradabili possono subire da parte dei microrganismi parziali ossidazioni con formazione di composti che in alcuni casi si sono dimostrati fortemente tossici. Per la loro crescente diffusione anche questi composti hanno assunto un'importanza notevole nel ciclo del C in natura e lo studio dei processi biochimici connessi con la loro eventuale degradazione ha consentito di stabilire alcune *correlazioni tra struttura chimica e possibilità di degradazione microbica*. È ormai accertato che la sostituzione di uno o due atomi di H con alogeni nei composti aromatici non impedisce la degradazione microbica; l'alogeno rimane legato fino a quando non è necessario il suo allontanamento per lo svolgimento dei susseguenti processi degradativi. Un maggior numero di alogeni sostituenti, come nel caso dei cloroderivati organici (esaclorocicloesano, Aldrin, DDT, ecc.), impedisce totalmente la degradazione. È da rilevare che il difenilmetano, composto non clorurato con struttura analoga a quella del DDT, viene completamente degradato dai microrganismi (13). L'attacco microbico dei nitrocomposti porta all'eliminazione del nitrogruppo sotto forma di nitrito, poi la degradazione prosegue secondo le vie metaboliche note per i derivati del benzolo. I composti di sintesi con atomi di C quaternari sono estremamente resistenti all'attacco microbico: catene alchiliche con atomi di C quaternari legate ad un anello aromatico non sono assolutamente degradabili (strutture di questo genere si riscontrano in alcuni detergenti: gli ABS-alchilbenzen-solfonati a catena ramificata) (fig. 8); per primi abbiamo potuto dimostrare la degradazione di acidi organici contenenti C quaternari (fig. 9), ma non dei rispettivi idrocar-

(12) TRECCANI V., WALKER N., WILTSHIRE G.H. — J. Gen. Microbiol. 12, 478 (1955).

(13) FOCHT D.D., ALEXANDER M. — Appl. Microbiol. 20, 608 (1970).



STRUTTURA TIPO DI ALCHILBENZENSOLFONATO RAMIFICATO (ABS)

Figura 8

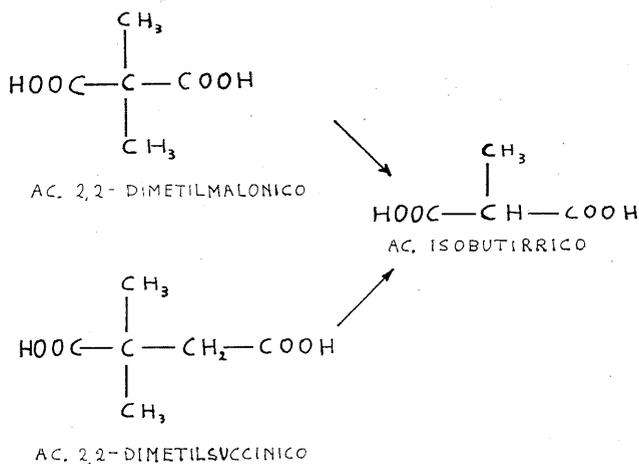


Figura 9

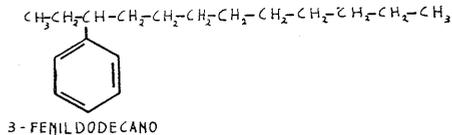
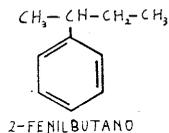
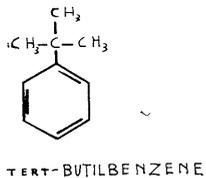


Figura 10

Figura 11

buri (14), e recentemente abbiamo potuto isolare uno *Pseudomonas* capace di crescere su *tert*-butilbenzene (fig. 10), struttura presente in un erbicida. Gli alchilbenzeni lineari con il fenile attaccato in diverse posizioni della catena laterale consentono la crescita microbica: tali strutture sono presenti nei detergenti di tipo LAS (alchilbenzensolfonati a catena lineare). Noi abbiamo potuto isolare diversi microrganismi capaci

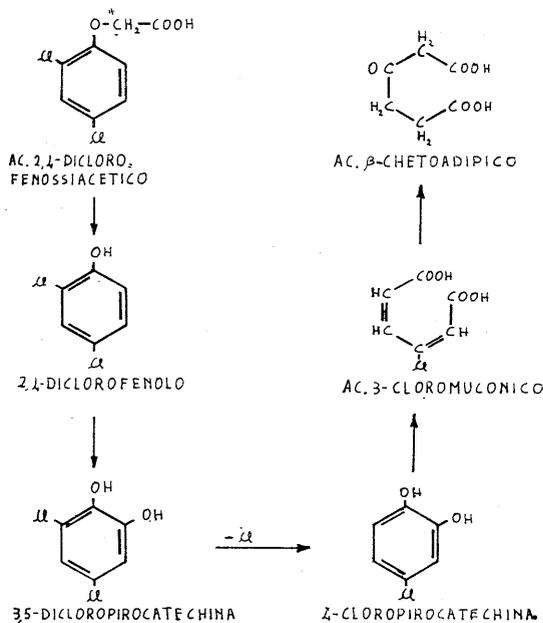


Figura 12

di crescere in presenza di 2-fenilbutano, 3-fenilpentano, 4-fenileptano e 3-fenildodecano, forniti come unica fonte di C e di energia (fig. 11). Le prime indagini effettuate hanno dimostrato che per alcuni di questi composti l'attacco microbico inizia dall'anello aromatico con la formazione di un diolo e successivamente di una semialdeide (15, 16). È da rilevare inoltre che i detergenti costituiti da alchilbenzensolfonati lineari o ramificati possono subire una desolfonazione anche da parte di nu-

(14) SORLINI C., TRECCANI V. — *Experientia* 25, 1302 (1969).

(15) BAGGI G., CATELANI D., GALLI E., TRECCANI V. — *Atti XV° Congresso Naz. di Microbiologia* (1969) in corso di stampa.

(16) TRECCANI V. — *Rivista Italiana delle sostanze grasse* 48, 233 (1971).

merosi microrganismi che non sono in grado di utilizzare questi composti come fonte di C e di energia (17).

Le ricerche sulla degradazione microbica degli erbicidi sono numerose ed i risultati ottenuti possono essere così brevemente riassunti. La degradazione degli acidi fenossialcanoici inizia con la rottura del legame etero che porta alla formazione dell'acido grasso corrispondente e di pirocatechina: nella fig. 12 è riportato lo schema degradativo del-

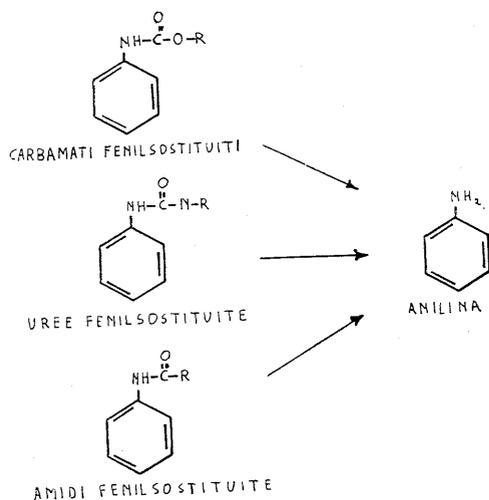


Figura 13

l'acido 2,4-diclorofenossiacetico. Gli acidi *p*-clorofenossiacetico e 4-cloro-2-metilfenossiacetico vengono degradati attraverso l'intermedia formazione di 4-cloropirocatechina e 5-cloro-3-metilpirocatechina rispettivamente. Alcuni microrganismi degradano per β -ossidazione l'acido fenossibutirrico ad acido fenossiacetico.

I carbammati, le amidi e le uree fenilsostituite vengono degradate ad anilina per distacco idrolitico della catena laterale (fig. 13). Gli erbicidi a base di composti ammoniacali quaternari (Diquat e Paraquat) subiscono una fotodegradazione a picolinamide e 4-carbossi-1-metilpiridina rispettivamente; questi ultimi vengono facilmente e ulteriormente degradati.

(17) BENARDE M.A., KOFT B.W., HORWARTH R., SHAULSI L. — App. Microbiol. 13, 103 (1965).

Gli acidi alifatici alogenati, tricloroacetico e 2,2,3-tricloropropionico), anche se lentamente, vengono degradati dai microrganismi del terreno.

Non si hanno molte conoscenze sulla degradazione delle diazine, triazine, tiocarbamati e composti tiocarbonilici, i quali tuttavia per la loro struttura devono considerarsi degradabili.

Il recente isolamento da noi effettuato di microrganismi capaci di crescere in presenza di 2-fenilbutano e *tert*-butilbenzene fa ritenere possibile la degradazione del Dinoseb acetato (2-(1-metilpropil)-4,6-dinitrofenil-acetato), del Tribonato (2,4-dinitrofenil-2-(1-metilpropil)-4,6-dinitrofenil-carbonato) e del Monsanto 31675 (α -cloro-6-*t*-butil-*o*-acetotoluidide).

Non si hanno per contro notizie sulla degradazione delle trifurline (dinitroaniline sostituite) e del cloroxon (N'-4-(4-clorofenossi)fenil-NN-dimetilurea), mentre per quanto sopra esposto, non si debbono ritenere degradabili il pentaclorofenolo, gli acidi triclorobenzoico, tricloro-fenilacetico e triclorofenossialcanoici, il Dachtal (dimetiltetraclorotereftalato) e il 2,3-dicloro-1,4-naftochinone (Dichlone), quest'ultimo sicuramente tossico per i microrganismi.

Per concludere desidero anzitutto ricordare che le ricerche descritte hanno portato ad applicazioni industriali di grande interesse (produzione microbiologica di proteine, aminoacidi e vitamine; trasformazioni microbiche dei composti steroidici) ed hanno portato un contributo alla fisiologia, in quanto è stato dimostrato che il chimismo della degradazione microbica degli idrocarburi è del tutto simile a quello che si verifica negli animali superiori. Desidero inoltre esporre alcune considerazioni emerse dal complesso dei risultati ottenuti da queste ricerche: è necessario sottolineare che per dimostrare la completa degradazione (mineralizzazione) di un composto organico occorre isolare microrganismi capaci di crescere in presenza del composto desiderato fornito come fonte di C ed energia. Tuttavia per alcuni composti organici di sintesi la completa degradazione può avvenire solo con il concorso di più di una specie microbica; in questo caso è necessario approfondire le indagini accertando che nella coltura non si verifichi l'accumulo di prodotti derivati dalla parziale ossidazione del composto in esame e che quest'ultimo venga tutto trasformato ad acqua, CO₂ e materia cellulare. L'accertamento della biodegradabilità di sostanze costituite da miscele di composti strutturalmente differenti, come ad esempio detergenti, erbicidi, ecc., è molto complesso e richiede l'isolamento di microrganismi capaci di utilizzare i diversi componenti singolarmente considerati.

Infine, le ricerche finora effettuate hanno dimostrato che non tutti

i composti organici di sintesi saggiati e che trovano larga applicazione in campo agricolo ed industriale, vengono completamente degradati dai microrganismi. Queste ricerche, inoltre, hanno consentito di stabilire alcune *correlazioni esistenti fra struttura chimica e possibilità di degradazione microbica*, per cui, in molti casi, dalla struttura chimica di un composto organico di sintesi è possibile dedurre se può o meno venire degradato. I danni ingenti determinati dagli inquinamenti impongono di estendere le indagini a quelle strutture chimiche che ancora non sono state sperimentate in questo senso ed, in futuro, ai nuovi composti di sintesi prima di autorizzarne l'uso e la vendita.

Desidero ora avere alcuni chiarimenti sulle ricerche citate dal Prof. Florenzano che sembrano aver dimostrato la capacità delle alghe a degradare gli alchil-benzeni solfonati. Ho alcune perplessità al riguardo.

PRESIDENTE - Ringrazio vivamente il Prof. Treccani per il suo interessante intervento, che rappresenta un prezioso contributo di ricerche originali al tema della Tavola Rotonda. Gli schemi sulla degradabilità degli idrocarburi e dei detergenti, che Egli ci ha illustrato, hanno allargato il quadro delle nostre conoscenze di base e ci hanno introdotto nel vivo della relazione Florenzano. Colgo l'occasione per esprimere al Prof. Treccani ed ai suoi Collaboratori i nostri rallegramenti per queste interessanti ricerche alle quali essi si dedicano da diversi anni.

Il Prof. Treccani ha rivolto una domanda specifica al Prof. Florenzano che è pregato di rispondere.

PROF. G. FLORENZANO - Il Prof. Treccani ha affrontato un tema fondamentale, che è quello della ricerca di base sui meccanismi biochimici della degradazione microbiologica di una categoria di molecole organiche strettamente correlate con molti dei prodotti sintetizzati dalle industrie che rappresentano dei contaminanti del suolo. In questo settore di ricerca l'Istituto diretto dal Prof. Treccani vanta una tradizione che può dirsi unica in Italia e che risale all'insegnamento di Arnaudi.

Gli schemi biochimici che il Prof. Treccani ha illustrato devono essere integrati nella complessa realtà del metabolismo del suolo. In particolare alcuni di questi schemi decorrono, in un certo senso, paralleli a certe fasi della umificazione. È importante chiedersi in quale rapporto siano le trasformazioni dei prodotti aromatici di sintesi con il decorso della umificazione ed in qual modo le prime deviano dal secondo.

Per quanto riguarda la domanda specifica sul ruolo delle alghe, i

progressi realizzati negli ultimi 10-15 anni nelle conoscenze sul metabolismo delle alghe hanno dimostrato che in questo gruppo di microrganismi, in massima parte fotolitotrofi, la capacità ad utilizzare composti organici, per via sia foto-eterotrofica sia chemio-eterotrofica, è assai diffusa.

Per quanto si riferisce, in particolare, alla capacità delle alghe a metabolizzare i detergenti, R. D. Swisher (*Surfactant Biodegradation*, Marcel Dekker Inc., New York, 1970) elenca tre lavori nei quali è stata osservata attività di degradazione algale a carico di ABS. Davis (*Anionic and Nonionic Surfactant Sorption and Degradation by Algal Cultures*, J. Am. Oil Chemists Soc., 46, 604-608, 1969) ha saggiato l'attività di colture pure di cinque specie di *Cyanophyceae* e di tre specie di *Chlorophyceae*, scelte fra quelle ricorrenti nei bacini di stabilizzazione delle acque luride, su LAS e su due prodotti non ionici (alchil-polietossilato ed alchil-fenol-polietossilato), riscontrando che tutte le alghe erano capaci di decomporre buona parte del prodotto aggiunto.

È vero che rimangono ancora da chiarire gli aspetti biochimici, però mi pare che la capacità delle alghe a degradare enzimaticamente i detergenti sia ormai fuori dubbio. Sarebbe interessante condurre sulle alghe quelle ricerche di base che il Prof. Treccani ha fatto sui batteri.

Tutti sanno che le alghe sono molto abbondanti specialmente laddove le acque di rifiuto domestico apportano gli elementi nutritivi ad esse necessari; pertanto la conoscenza delle attività che le alghe sono in grado di esplicare a carico dei detergenti potrebbe aprire interessanti prospettive circa le misure da predisporre per decontaminare le acque.

PRESIDENTE - Con queste domande e risposte i colleghi Treccani e Florenzano ci hanno introdotti nel vivo della Tavola Rotonda e penso che oramai tutti noi siamo meglio predisposti ad affrontare un efficace dibattito. Data l'ora, però, propongo di interrompere i nostri lavori, per riprenderli alle 15,30.

A questo punto (sono circa le 13,15) i lavori vengono interrotti per la colazione. Alla ripresa, che avviene alle 15,30 circa, il PROF. V. TRECCANI viene chiamato a presiedere la seduta. Il PROF. TRECCANI riapre i lavori della Tavola Rotonda ed avvia la discussione dando la parola al PROF. BANFI.

PROF. G. BANFI - I quesiti che vorrei proporre si riferiscono all'intervento del Prof. Treccani. Le ricerche molto interessanti che il

Prof. Treccani svolge a Milano con i suoi Collaboratori, ad un livello altamente scientifico, rappresentano una sicura premessa per lo studio della biodegradabilità di quelle sostanze dalle quali, oggi più che mai, l'uomo ed il suo ambiente devono difendersi.

Gli schemi proposti nelle successive fasi dei processi di biodegradazione sono convincenti, d'altra parte, come mi pare abbia pure sottolineato il Prof. Florenzano, l'estensione di una applicazione pratica di tali studi potrebbe presentare un interesse ancora maggiore se rapportata e commisurata ai complessi meccanismi biologici propri della flora microbica del suolo.

La prima domanda che pongo è questa: se i ceppi di microrganismi attivi isolati e studiati a Milano dal Prof. Treccani e dai suoi collaboratori, come precedentemente accennato, possono rappresentare un materiale di studio idoneo per affrontare il problema della biodegradabilità anche sulla base di rapporti associativi tra colture note. Mi pare di avere inteso che i ceppi isolati, per ovvie ragioni metodologiche, vengono studiati in coltura pura e sono dotati di una certa specificità. Se alcuni metaboliti intermedi fungono da scalini indispensabili per raggiungere i termini estremi del processo degradativo, anche lo studio dell'aspetto associativo delle colture microbiche diverrebbe particolarmente interessante.

La seconda domanda, sempre pertinente all'argomento, è questa: se durante il mantenimento delle colture i ceppi isolati tendono a perdere la loro capacità biodegradativa e se il mantenimento di tale meccanismo biochimico è subordinato alla specificità, ad un certo livello minimo, del terreno di coltura.

Infine la terza domanda: se per una classificazione dei microrganismi sino ad oggi studiati, interessati ai processi di biodegradazione, ci si possa giovare di un certo criterio tassonomico. Chiedo, per meglio spiegarmi, se la frequenza e le caratteristiche che presentano determinate specie microbiche sono tali da giustificare, allo stato delle attuali conoscenze, l'applicazione di particolari criteri tassonomici.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Prof. Banfi per il suo intervento e rispondo subito alle sue domande. La prima riguarda i rapporti associativi. L'isolamento in coltura pura di microrganismi capaci di crescere in presenza di un composto organico fornito come unica fonte di C e di energia, dimostra la sua completa mineralizzazione ad acqua e CO₂. Ovviamente per studiare i processi biochimici connessi con la degradazione è assolutamente necessario sperimentare con colture pure.

Tuttavia non è da escludere che la degradazione degli erbicidi, insetticidi, detergenti ed in genere di tutti gli idrocarburi possa avvenire con l'intervento di più forme microbiche, come del resto è noto per altri processi di mineralizzazione. L'isolamento effettuato nel nostro Istituto di microrganismi capaci di degradare gli alchil-benzeni lineari, ma non i corrispondenti derivati p-solfonati, unitamente alla dimostrazione che diversi microrganismi sono capaci solo di staccare il gruppo solfonico quando è presente un'altra fonte di C (Bernarde ed al., 1965), fanno supporre che nel terreno la degradazione di questa classe di detergenti avvenga con il concorso di più di una forma microbica.

Rispondo ora alla seconda domanda. È molto facile ottenere mutanti che abbiano acquistato o perduto la capacità di utilizzare un determinato composto organico come fonte di C. La tecnica dei mutanti bloccati viene normalmente impiegata per individuare gli schemi metabolici con cui vengono degradati questi composti. È da sottolineare inoltre che la microflora che opera questi processi degradativi non può essere considerata come una microflora particolare ed estremamente specializzata poiché numerose colture di collezione, non ottenute quindi da colture di arricchimento, presentano questa stessa proprietà (vedi al proposito le interessanti ricerche di McKenna e Kallio, 1964). Per tali motivi la capacità di crescita su un determinato composto organico non può essere utilizzata per la tassonomia batterica; questa proprietà è una caratteristica del ceppo e non della specie.

La parola alla Prof.ssa Federico.

PROF.SSA L. FEDERICO - È stato posto più volte l'accento, questa mattina, sulla possibilità che quanto è stato messo in evidenza in laboratorio sia o meno valido anche per il terreno. Ci si chiede, in altri termini, se le trasformazioni messe in evidenza in laboratorio si svolgono anche nel terreno. Vorrei accennare a questo proposito ad alcune delle mie indagini sperimentali condotte proprio allo scopo di accertare se i detergenti di sintesi, biodegradabili e non biodegradabili, una volta aggiunti al terreno determinano degli effetti negativi nei confronti di alcune attività biologiche del terreno stesso e se questi effetti permangono anche dopo che i detergenti sono stati a contatto per un certo periodo di tempo con il terreno. In sostanza ho messo in evidenza che l'addizione al terreno di detergenti determina un abbassamento dell'attività respiratoria e dell'attività nitrificante. Comparando gli effetti dei detergenti anionici, cationici e non ionici, risulta che il dodecilben-

zensolfonato a catena ramificata (ABS) è il detergente ad azione più spiccata; seguono il dodecilbensolfonato a catena lineare (LAS), i cationici ed infine i non ionici, cioè i derivati poliossietilenici.

Per rispondere al secondo quesito se cioè gli effetti documentati persistono a lungo nel tempo oppure si modificano; se, in altri termini, è possibile una degradazione nel terreno dei detergenti, ho effettuato test biologici invece di analisi chimiche, fondamentalmente per due ragioni: prima di tutto perché il detergente una volta addizionato al terreno è tenacemente trattenuto e pertanto difficilmente eluibile; in secondo luogo, perché è molto difficile la sua determinazione chimica essendo i metodi di norma utilizzati scarsamente specifici e largamente influenzati da sostanze di diverso tipo presenti negli estratti di terreno. In pratica ho operato su aliquote di terreno addizionate di quantità crescenti di detergenti anionici, cationici e non ionici. Dei detergenti anionici ho utilizzato sia i biodegradabili che quelli non biodegradabili.

Dopo un certo periodo di contatto dei detergenti con il terreno, ho nuovamente determinato il loro effetto sul potere nitrificante. I risultati ottenuti hanno dimostrato che dopo 30-60 giorni di contatto col terreno, naturalmente mantenuto in condizioni di umidità tali da consentire una pressoché normale attività microbica, gli effetti dei cationici, dei non ionici e del LAS, non sono più praticamente avvertibili, mentre sono ancora nettamente avvertibili, ed in qualche caso sono anche più forti degli effetti che essi avevano all'inizio della prova, quelli determinati dall'ABS. Il che dimostra, sia pure indirettamente, che il terreno è in sostanza capace di metabolizzare il LAS, i cationici, i non ionici anche nelle condizioni da me adottate, che non sono certamente quelle utilizzate dai biochimici nei loro studi sul meccanismo della degradazione dei tensioattivi, né sono quelle di campo, ma qualcosa di intermedio tra i due estremi.

Queste osservazioni sono, a mio avviso, degne di nota, perché si parla spesso dell'inutilità di sostituire i detergenti resistenti alla degradazione biologica con quelli biodegradabili non esistendo impianti di depurazione adatti allo smaltimento di questi ultimi.

In realtà le cose non stanno in questi termini, perché, anche ammettendo che la flora microbica delle acque sia insufficiente a metabolizzarli, è estremamente probabile, anzi quasi certo che la flora microbica del terreno sia qualitativamente idonea e quantitativamente sufficiente alla loro metabolizzazione. Avremo così un mezzo per salvare, almeno in parte, il terreno da questo tipo di contaminazione.

Questo l'ho voluto dire perché penso che sia abbastanza importante da un punto di vista pratico.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio vivamente la Prof.ssa Federico, che da diversi anni lavora su questi argomenti con particolare competenza, per il suo interessante intervento. Ritengo tuttavia che avrebbe potuto descrivere anche le ricerche che le hanno consentito di dimostrare che nei confronti dei vegetali gli alchil-benzeni solfonati ramificati (ABS) sono più tossici di quelli lineari (LAS). La parola al Prof. Picci.

PROF. G. PICCI - Prima di tutto io voglio esprimere i miei migliori complimenti al Prof. Florenzano, per la sua brillante relazione, ed al Prof. Treccani per il suo primo intervento.

Una domanda che vorrei rivolgere al Prof. Florenzano, vista la sua competenza in questo campo particolare, riguarda le alghe. Ad un certo punto della sua relazione, il Prof. Florenzano cita una serie di lavori di Wurtz ed altri circa la biodegradabilità dei detergenti da parte delle alghe.

Ora io vorrei chiedere al Prof. Florenzano di darmi qualche lume a questo riguardo. Questa biodegradabilità come si deve intendere? Come una nutrizione carboniata di questi composti da parte delle alghe od una mineralizzazione in altro senso? Oppure si può porre il quesito anche così: queste alghe, dal lato trofico, sono autotrofe in senso stretto, oppure presentano quella che Peck chiama autotrofia assimilativa? Voglio dire che hanno una specie di *pathway*, oltre la autotrofia in senso stretto, anche diverso?

PROF. G. FLORENZANO - Ringrazio il Prof. Picci e posso rispondere alla sua domanda dicendo che sulle alghe il discorso sarebbe lungo, poiché esse comprendono una gamma assai estesa di tipi fisiologici, che vanno dalla foto-autotrofia obbligata (in verità assai meno diffusa di quanto si riteneva fino a non molti anni addietro) alla chemioeterotrofia, passando attraverso varie forme di foto-eterotrofia. Pertanto in moltissime specie coesistono fototrofia e chemiotrofia, autotrofia ed eterotrofia, ed è questo che rende il discorso sulle alghe piuttosto complicato. Fra le forme che maggiormente sono chiamate in causa come decontaminanti si annoverano prima di tutto le flagellate, che sono notoriamente foto-organotrofe, ossia ad abito mixotrofico.

Il problema delle alghe è stato toccato anche dal Prof. Treccani. In aggiunta a quanto ho detto posso precisare che l'attività di degrada-

zione esercitata dalle alghe è strettamente correlata con la utilizzazione del composto organico come fonte di carbonio ed, eventualmente, di energia. Può darsi che ulteriori studi dimostrino che in certi casi la degradazione è legata ad aspetti, quali la detossificazione del mezzo, che nulla hanno a che vedere con la nutrizione, ma per il momento si hanno pochi elementi per farci un'idea esauriente su questo punto.

In quanto ai processi metabolici connessi alla utilizzazione dei composti organici da parte delle alghe, si può affermare che il metabolismo eterotrofico delle alghe è fundamentalmente simile, sia pure con le inevitabili differenze, a quello degli organismi non fotosintetici.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio vivamente il Prof. Florenzano. Se mi è consentito, desidero aggiungere alcune considerazioni su questo argomento. Gli ABS, per la loro struttura ramificata e per il fatto di contenere uno o più C quaternari, non possono venire mineralizzati dai microrganismi. Possono subire solo parziali ossidazioni. A mio avviso la degradazione degli ABS, riscontrata nelle colture di alghe dagli AA. citati dal prof. Florenzano, è probabilmente operata da batteri che normalmente vivono in associazione con le alghe stesse. È stato sicuramente dimostrato, invece, che alcuni derivati del benzene vengono fotometabolizzati dalle *Athiorhodaceae*, che notoriamente utilizzano come donatori di H diverse sostanze organiche. La parola al Dr. Russo.

DR. S. RUSSO - Le ricerche sul comportamento dei pesticidi in ambienti parzialmente o totalmente anaerobi, quali risultano i terreni sommersi coltivati a riso, hanno finora ricevuto scarsa attenzione da parte degli studiosi. Ciò, contrariamente a quanto è stato fatto nei terreni normalmente aerati, nei quali gli studi sugli antiparassitari sono ormai moltissimi, come si desume dalla vasta letteratura disponibile.

Studi compiuti recentemente (1-4) hanno, peraltro, permesso di osservare come determinati pesticidi, in particolare gli idrocarburi clorurati, considerati normalmente fra i più persistenti negli ambienti aerobi, possano essere degradati anche più rapidamente in assenza di ossigeno. A seguito di tali scoperte è probabile che l'applicazione dei

(1) GUENZI W.D., BEARD W.E. — Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32, 522-524 (1968).

(2) MILL D.W., MC CARTY P.L. — J. Water Poll. Control Fed. 39, 1259-1277 (1967).

(3) MAC RAE I.C., RAGHU K., BAUTISTA E.M. — Nature 221, 859-860 (1969).

(4) RAGHU K., MAC RAE I.C. — Science 154, 263-264 (1966).

fitofarmaci ai terreni sommersi acquisterà maggiore interesse, in vista della più pronta detossificazione di dette sostanze.

MacRae e Coll. (5) trovarono che la persistenza dello isomero γ (lindano) e di altri tre isomeri α , β e δ dell'esacloro-benzene, in ambiente sommerso, quando impiegati a dosi triple di quelle normalmente usate per la difesa del riso, variava dai 70 ai 90 giorni. La decomposizione dei quattro composti nel terreno sommerso sterile, risultava molto più lenta che nel terreno non sterilizzato. Poiché l'isomero gamma dell'esacloro-benzene viene riportato dalla letteratura (6-9) come uno degli insetticidi più recalcitranti nei terreni non sommersi, a motivo della sua eccessivamente lunga persistenza, si può dedurre, da questi risultati, che i microrganismi anaerobi sono molto più attivi di quelli aerobi nella degradazione dell'insetticida.

Successive esperienze di Yoshida e Castro (10), sulla biodegradazione dell'isomero gamma dell'esacloro benzene (γ -BHC) condotte nelle Filippine, mostrarono una rapida decomposizione dell'insetticida nei terreni sommersi, in contrasto con la lunga persistenza osservata in terreno non sommerso. Nelle condizioni sperimentali, a distanza di un mese dal trattamento, più nessun composto intermedio di decomposizione dell'isomero gamma fu trovato nei campioni di terreno incubati a 30°C.

Dati non ancora pubblicati di queste stesse esperienze, indicano che in terreno sommerso il DDT viene rapidamente trasformato in DDD. Questo fa pensare che la prima tappa della degradazione degli insetticidi cloroorganici consiste in una dechlorurazione riduttiva.

Si può dedurre pertanto che le condizioni anaerobiche e riducenti riscontrabili nei terreni sommersi, sono senz'altro più favorevoli alla detossificazione degli insetticidi cloroorganici. Ne consegue, anche, che il problema dell'accumulo dei loro residui nelle risaie, potrà essere di importanza molto limitata.

(5) MAC RAE I.C., RAGHU K., CASTRO T.F. — *Agric. Food Chem.* 15 (5), 911-914 (1967).

(6) ALEXANDER M. — *Advan. Appl. Microbiol.* 7, 35 (1965).

(7) LICHTENSTEIN E.P., POLIVKA J.B. — *J. Econ. Entomol.* 52, 289-293 (1959).

(8) LICHTENSTEIN E.P., SCHULTZ K.R. — *J. Econ. Entomol.* 52, 124-131 (1959).

(9) LICHTENSTEIN E.P., DE PEW L.J., ESHBAUGH E.L., SLEESMAN J.P. — *J. Econ. Entomol.* 53, 136-142 (1960).

(10) YOSHIDA T., CASTRO T.F. — *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34 (3), 440-442 (1970).

Secondo Laskowski e Broadbent (11) nei terreni sommersi la degradazione degli acidi alifatici clorosostituiti usati come erbicidi, tra cui l'acido 2,2-dicloropropionico (dalapon o DCP) e l'acido tricloroacetico (TCA), può essere spiegata con il fatto che questi composti vengono metabolizzati durante la fermentazione metanica la quale, come è noto, costituisce uno dei processi essenziali nei terreni di risaia. Tali composti, in realtà, sono strutturalmente molto simili agli acidi propionico, acetico, piruvico, che costituiscono importanti prodotti intermedi nella trasformazione anaerobia delle sostanze organiche in gas non tossici, CO₂ e CH₄ (12). Se ne deduce che gli erbicidi clorosostituiti, derivati dagli acidi grassi volatili, possono influenzare la *metanogenesi* nei sistemi anaerobi.

La fermentazione metanica è soltanto una delle tante trasformazioni biochimiche, anche se la più tipica, che si manifestano nelle risaie. Ma è indubbio che gli antiparassitari fanno sentire la loro influenza, come del resto è stato dimostrato, anche su altre attività microbiologiche che coinvolgono più direttamente la fertilità dei terreni sommersi coltivati a riso.

In una recente indagine circa gli effetti dell'insetticida dursban (0,0-dietil-0-3,5,6-tricloro-2-piridil-fosfotioato) e dell'erbicida linuron [3-(3,4-diclorofenil)-1-metossi-1-metilurea] sulla microflora di un terreno sommerso, compiuta da Sivasithamparam (13), l'analisi microbiologica ha mostrato un effetto stimolante, di entrambi i pesticidi, sulle popolazioni attinomicetiche, in accordo con quanto era stato precedentemente osservato in terreni sommersi trattati con γ -esaclorobenzene, pentaclorofenolo, « ruberon » (14) e diazinone (15).

Una evidente azione stimolante sulla microflora ammonificante è stata osservata per linuron e dursban, come in precedenza per il gamma esacloro-benzene (14-16) e il pentaclorofenolo (14).

Anche i nitrificanti, dopo un rallentamento iniziale, sono stati stimolati dal trattamento con linuron e dursban, mentre la microflora ossidante l'ammonio è risultata del tutto inibita da queste sostanze. Ov-

(11) LASKOWSKI D.A., BROADBENT F.E. — Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34 (1), 72-77 (1970).

(12) PONNAMPERUMA F.N. — In: *The mineral nutrition of the rice plant*. pp. 295-328. Johns Hopkins Press. Baltimore, Md. (1965).

(13) SIVASITHAMPARAM K. — Il riso 19 (4), 339-346 (1970).

(14) ISHIZAWA S., MATSUGUCHI T. — Bull. Natl. Inst. Agr. Ser. B 16, 1-90 (1966).

(15) SETHUNATAAN N., MAC RAE I.C. — Plant and Soil 30 (1), 109-112 (1969).

viamente l'importanza dei microrganismi ossidanti, nei terreni sommersi, risulta limitata solamente a quelle zone ove è presente l'ossigeno, ad esempio negli strati più superficiali del terreno e nelle immediate vicinanze delle radici di riso.

I riduttori dei solfati, che rivestono particolare importanza nei terreni di risaia, sono risultati stimolati dall'insetticida dursban, e in misura molto minore, dal linuron. Analogo effetto era stato osservato per la cloropicrina (14). Un incremento di attività di questi microrganismi può produrre effetti tossici sul riso, in quanto il ristagno del gas H_2S fa insorgere la malattia cosiddetta « Akiuchi », specialmente quando il terreno è povero di composti ossidati del ferro.

Nei terreni trattati con dursban si è pure riscontrato un notevole progressivo incremento dei microrganismi dissolventi i fosfati. Tale effetto non si è avuto, viceversa, con il trattamento linuron. Nella risaia, come è noto, la dissoluzione microbiologica dei fosfati insolubili può assumere un ruolo molto importante nel processo di mobilitazione del fosforo.

Entrambi i suddetti pesticidi hanno influenzato gli azotofissatori anaerobi non simbiotici. Ma, mentre inizialmente si è avuto un incremento, a distanza di 3 mesi dal trattamento, il loro numero risultava più basso che nel testimoniaio, nel quale, però, si era avuto contemporaneamente un incremento in conseguenza della prolungata sommersione. Aumento nel numero degli azotofissatori è stato riportato per i terreni sommersi trattati con gamma esaclorobenzene (16).

Per quanto riguarda i denitrificanti, i quali, come è noto, assumono una particolare importanza nei sistemi anaerobi riducenti, sono risultati leggermente inibiti dai trattamenti con dursban e linuron. Per contro, un effetto stimolante, su questi stessi microrganismi hanno avuto il pentaclorofenolo e la cloropicrina, sempre in terreni sommersi (14).

Sulla popolazione algale vi è stata una influenza nettamente positiva dell'insetticida dursban. Il trattamento con linuron ha invece contenuto visibilmente lo sviluppo delle alghe. In precedenti ricerche (17) si era osservato un aumento di alghe in terreni sommersi trattati con gamma esaclorobenzene, analogamente a quanto riportato da Sethunathan e MacRae (15) per l'insetticida fosfororganico diazinone.

(16) RAGHU K., MACRAE I.C. — *Can J. Microbiol.* 13, 621-627 (1967).

(17) RAGHU K., MACRAE I.C. — *Can J. Microbiol.* 13, 173-180 (1967).

L'azione di stimolo di certi antiparassitari sulle alghe può avere un qualche riflesso sul bilancio della fertilità nelle risaie. È stato infatti osservato da Florenzano e Coll. (18), dopo un triennio di sperimentazione, che le alghe verdi-azzurre possono aumentare il contenuto in azoto del terreno e la produzione di risone. Inoltre, si è avuto un effetto favorevole da parte di *Anabaena cylindrica* sullo sviluppo del riso. È noto, peraltro, che in India e nell'Asia Sud-orientale, dove il riso si concima poco, la fertilità del suolo viene mantenuta da un anno all'altro grazie anche all'apporto delle alghe verdi-azzurre azotofissatrici (19).

I risultati fin qui riferiti mostrano in che modo gli antiparassitari influenzano le attività microbiologiche nei terreni sommersi. Essi mettono in evidenza non soltanto l'azione selettiva svolta da queste sostanze su determinati gruppi di microrganismi, ma anche come le particolari condizioni di un terreno sommerso o anche soltanto saturo (anaerobiosi, processi riduttivi, maggiore concentrazione di CO₂) possano interferire con le azioni che gli antiparassitari esercitano sui normali processi biochimici determinanti la mobilità delle sostanze nutritive.

Nell'annata 1968 ho iniziato, presso la stazione sperimentale di Riscoltura di Vercelli, una ricerca avente lo scopo di studiare gli effetti degli antiparassitari sulla solubilità degli elementi nutritivi nelle condizioni di terreno sommerso (20).

L'esperimento è stato effettuato in vaso, impiegando terreno di marcita preventivamente essiccato all'aria e setacciato, in quantità pari a Kg. 3,8 per ciascun vaso.

Si sono studiati gli effetti di due comuni erbicidi, l'azide potassica (KN₃) e l'Ordram (esametileneiminocarbatiolato di etile) e di un fungicida, il Dithane A-40 (Nabam) usato normalmente in risaia nella lotta contro le alghe.

Nei vasi non si è coltivato riso per evitare eventuali interferenze delle radici sugli effetti dei pesticidi. Si è provveduto, tuttavia, a mantenere il terreno costantemente sommerso con quotidiane aggiunte di acqua, per crearvi le condizioni asfittiche della risaia.

(18) FLORENZANO G., BALLONI W., MATERASSI R. — Atti III Simp. Int. Agrochimica, 576-589 (1960).

(19) DE P.K. — Proc. Roy. Soc. (London), B 127, 121 (1939).

(20) Russo S. — Il Riso. 19, 37-54 (1970).

Periodicamente, a intervalli di 20 giorni, su campioni di terreno prelevati in ciascun vaso nell'arco di tempo di 80 giorni, si sono eseguite le determinazioni analitiche relative ai seguenti costituenti:

- 1) - Carbonio: metodo al bicromato potassico, secondo Borasio (21);
- 2) - NH_4 scambiabile: metodo per spostamento con KCl N ;
- 3) - P_2O_5 solubile: metodo per estrazione con soluzione di acido nitrico 1% (21);

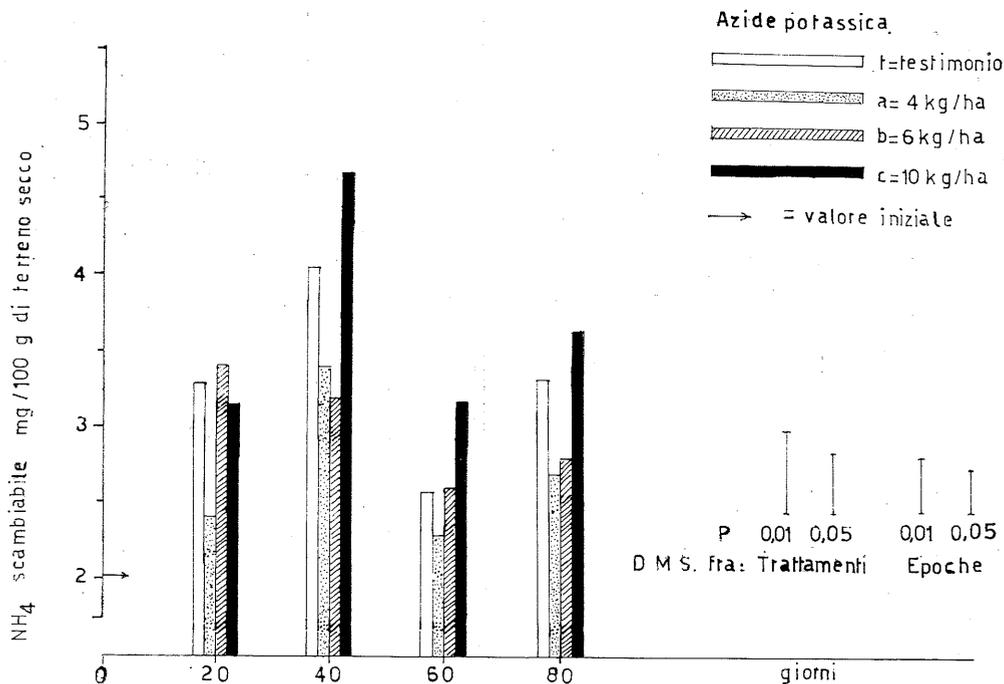


Fig. 1. — Effetto dell'azide potassica sulla solubilità dell'azoto.

- 4) - K_2O solubile: metodo di estrazione con soluzione di acido nitrico 1% (21).

I risultati di queste analisi mettono in evidenza gli effetti dei trattamenti sulla mobilitazione degli elementi nutritivi.

L'ammonio scambiabile (fig. 1, 2 e 3) è stato aumentato significativamente, rispetto al testimonia, dalle dosi più alte di azide potassica. Per contro le dosi più basse lo hanno ridotto sensibilmente.

(21) BORASIO L. — Riscicoltura, 39, 211-229 (1951).

L'effetto dell'Ordram è stato nettamente negativo sulla mobilità dell'azoto, in quanto ha ridotto, con tutte e tre le dosi impiegate, la formazione di ammonio scambiabile.

Quanto al Dithane A-40, i dati mostrano l'effetto favorevole, altamente significativo, di questo composto sulla disponibilità dell'azoto ammoniacale, benché la dose intermedia abbia agito in modo meno efficace.

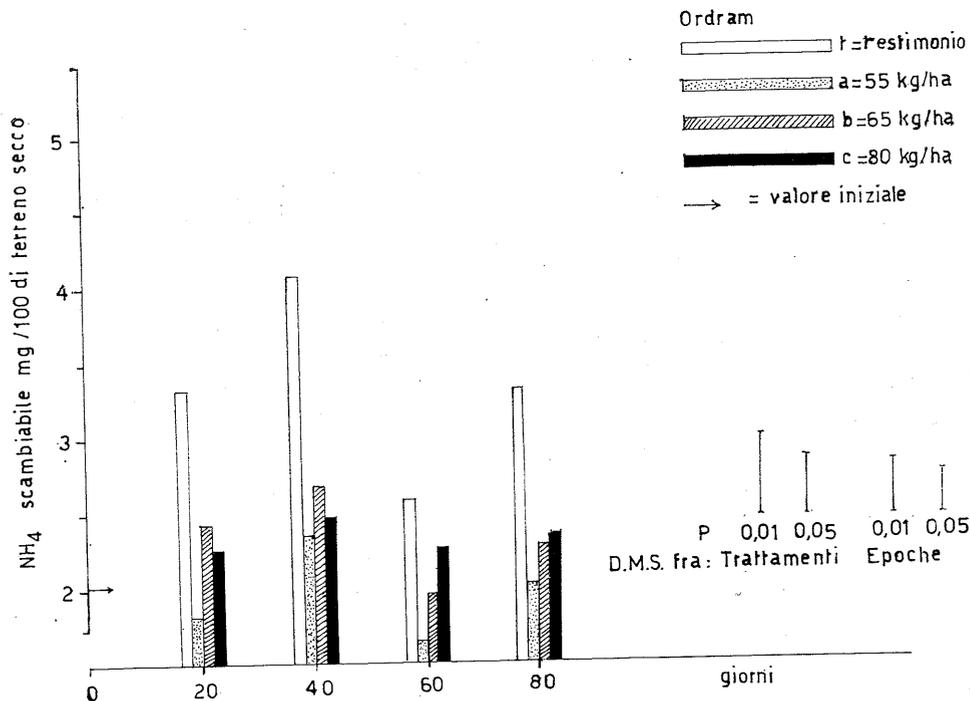


Fig. 2. — Effetto dell'ordram sulla solubilità dell'azoto.

Questo aumento di mobilità dell'azoto può essere verosimilmente attribuito ad un'azione stimolante, in accordo con i risultati ottenuti da Sivasithamparam (13) in terreni sommersi messi ad incubare a 27°C.

È interessante notare che le variazioni nel tempo della solubilità dell'azoto indotte dai trattamenti, ad eccezione del Dithane A-40, seguono un particolare andamento riscontrato anche nel testimonia e caratterizzato da un incremento iniziale, con un massimo generalmente a 40 giorni e da un parziale recupero finale. Da ciò si può dedurre che l'influenza degli antiparassitari non annulla gli effetti della sommersione, ma piuttosto si sovrappone ad essi.

Tali risultati sono in buon accordo con le esperienze di Ponnamparuma (12), il quale trovò nel terreno oltre 300 ppm di ammonio dopo 30 giorni di sommersione. I fattori che maggiormente influiscono sul tasso e sulla velocità di produzione dell'ammonio sono la quantità di sostanza organica disponibile e la temperatura del suolo.

Il rallentamento nella produzione di ammonio, notato tra i 40 e i

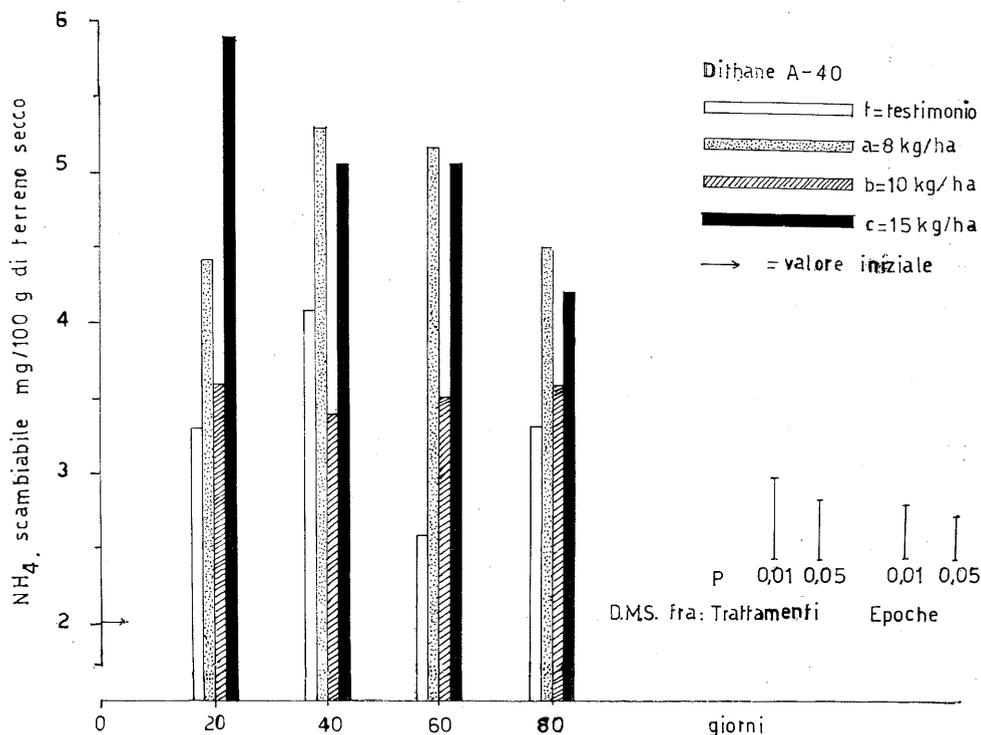


Fig. 3. — Effetto del dithane A-40 sulla solubilità dell'azoto.

60 giorni, può essere messo in relazione con una temporanea immobilizzazione dell'azoto conseguente ad un repentino sviluppo della microflora anaerobica, stimolata dalla disponibilità di idrati di carbonio.

L'anidride fosforica (Fig. 4, 5 e 6) solubile è stata significativamente aumentata da tutte le dosi dell'azide potassica e dell'ordram, nonché da quella più bassa del Dithane A-40. Al contrario, le dosi più alte di quest'ultimo composto hanno avuto un effetto negativo sulla solubilità del fosforo.

Le variazioni di solubilità nei terreni trattati seguono, generalmente nell'intervallo di tempo in cui si è svolto l'esperimento, il caratteristico andamento messo in evidenza dal testimonio con un incremento iniziale nei primi 20 giorni ed una successiva graduale diminuzione.

La tendenza all'aumento nella mobilità del fosforo messo in evidenza nei primi 20 giorni, tanto dal testimonio come dai trattamenti,

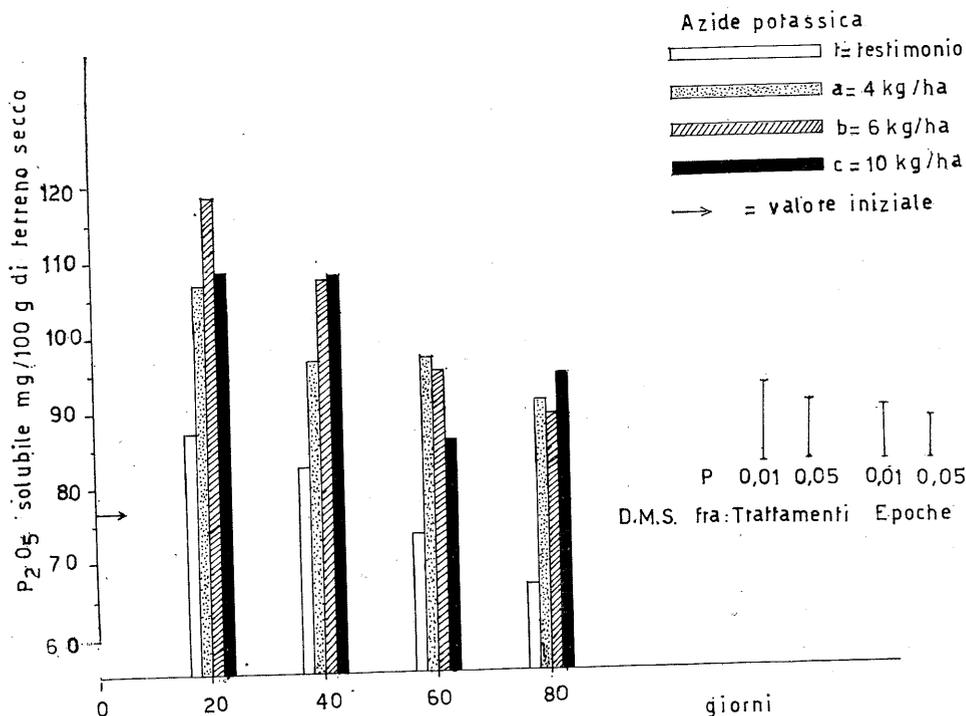


Fig. 4. — Effetto dell'azide potassica sulla solubilità del fosforo.

trova piena convalida in precedenti lavori sperimentali sui quali ha riferito Ponnampuruma (12) e da cui si rileva come la formazione di anidride fosforica solubile aumenti a mano a mano che si raggiunge la completa anaerobiosi, con il procedere della sommersione. Sull'aumento di solubilità del fosforo evidentemente gioca un ruolo molto importante l'attività dei microrganismi anaerobi dissolventi i fosfati insolubili (13). I risultati che sono stati ottenuti nella prova in oggetto fanno pensare a un'azione di stimolo su questi microrganismi da parte dei prodotti chimici studiati.

Altri processi, tuttavia, possono ugualmente essere responsabili dell'aumento di solubilità dei fosfati nei terreni sommersi e cioè: *a*) riduzione del fosfato ferrico a fosfato ferroso, alquanto più solubile (22); *b*) spostamento dell'anione fosforico dai fosfati di ferro e di alluminio ad opera degli anioni organici presenti nel terreno (23). E ciò indipendentemente dall'eventuale azione dei fitofarmaci sui microrganismi.

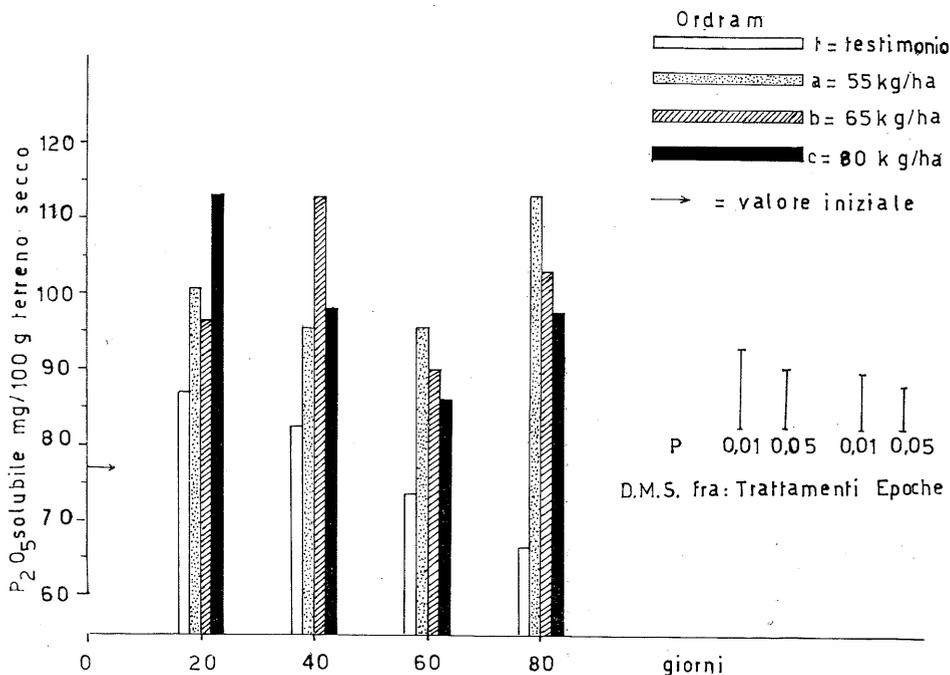


Fig. 5. — Effetto dell'ordram sulla solubilità del fosforo.

Per spiegare la successiva graduale diminuzione di fosforo solubile, con il protrarsi della sommersione, sono indicati due ordini di cause: 1) un processo di riassorbimento del fosfato da parte dei composti argillosi e dell'idrossido di alluminio, a mano a mano che procede la distruzione degli anioni organici operata dai microrganismi (24); 2) il progressivo aumento del pH durante la sommersione che, abbassando il tenore in ferro ridotto (25), determina una minore mobilità dei fosfati.

(22) ERIKSON E. — J. Soil Sci 3, 238-250 (1952).

(23) BRADLEY D.B., SIELING D.H. — Soil Sci. 76 (3), 175-179 (1953).

(24) BROMFIELD S.M. — Austr. J. Agr. Res. 11, 304-316 (1960).

(25) RODRIGO D.M. — Newsletter. 17, 7-16 (1967).

Ai fini dell'economia della fertilizzazione, un aumento di solubilità dei fosfati nella risaia, in conseguenza della sommersione, può essere considerato favorevolmente. Non sono rare, infatti, le osservazioni circa la mancata risposta del riso alle alte dosi di fertilizzanti fosfatici, attribuita all'aumentata solubilità del fosforo del terreno (26).

La potassa solubile (Fig. 7, 8 e 9) è stata aumentata nel corso dell'esperimento, da tutti i trattamenti a confronto col testimone.

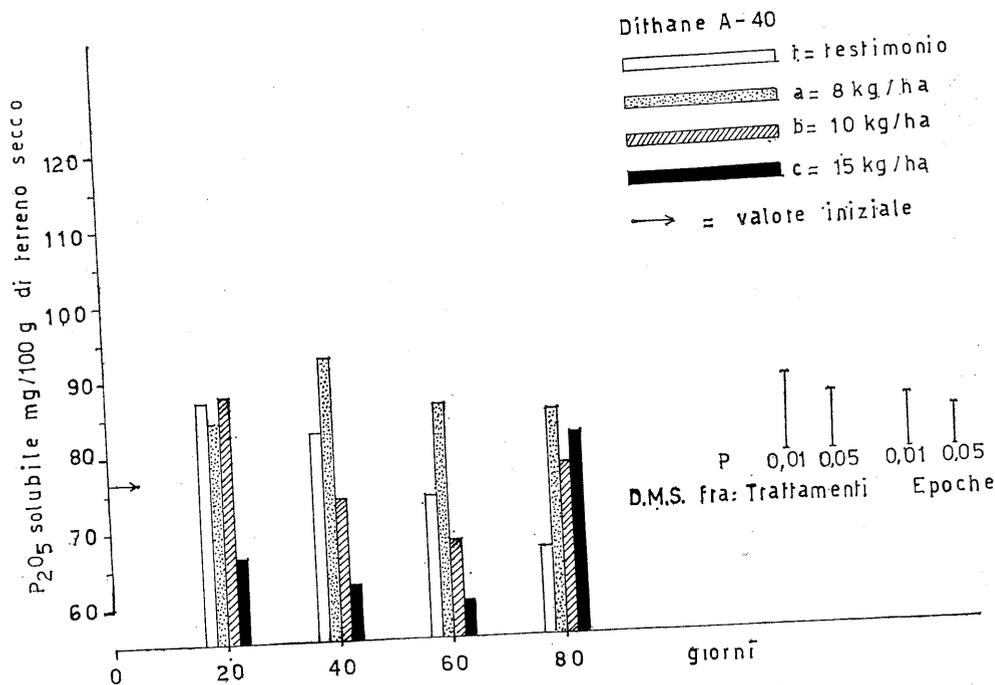


Fig. 6. — Effetto del Dithane A-40 sulla solubilità del fosforo.

L'effetto positivo degli antiparassitari sulla solubilità della potassa è risultato particolarmente evidente nel primo periodo dell'esperimento in contrasto col testimone nel quale, al ventesimo giorno, si è riscontrata una forte diminuzione della potassa solubile (da 11,13 a 7,83 mg/100 g) altamente significativa (per $P < 0,01$).

Questa minore solubilità osservata inizialmente nel testimone, può essere attribuita a un processo di fissazione del potassio nel terreno.

(26) MITSU S. — Inorganic nutrition fertilization and soil amelioration for lowland rice. Yokendo press, Tokyo (1955).

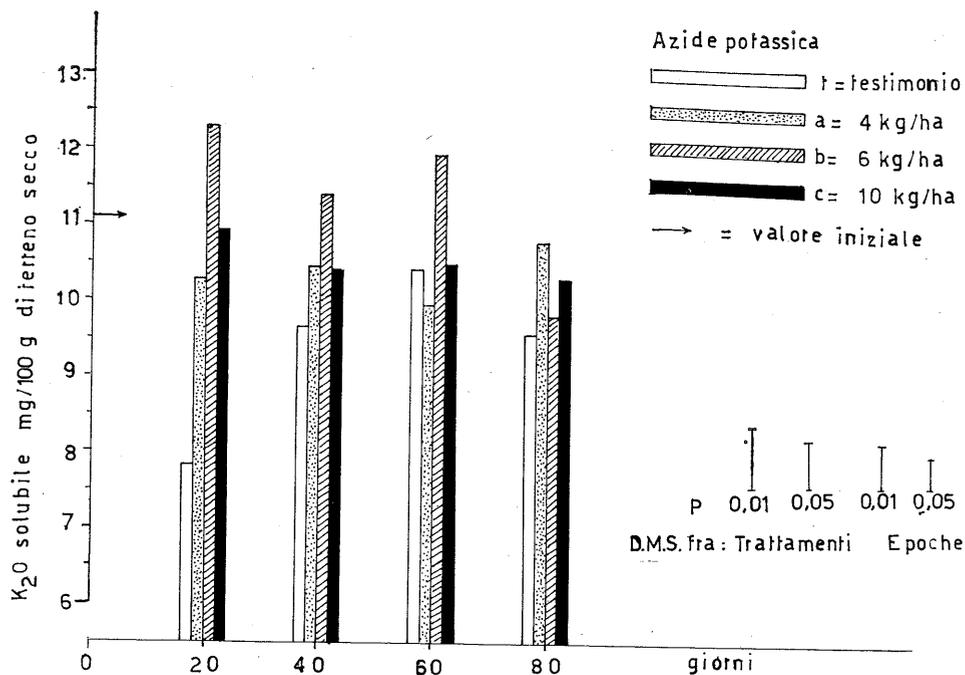


Fig. 7. — Effetto dell'azide potassica sulla solubilità del potassio.

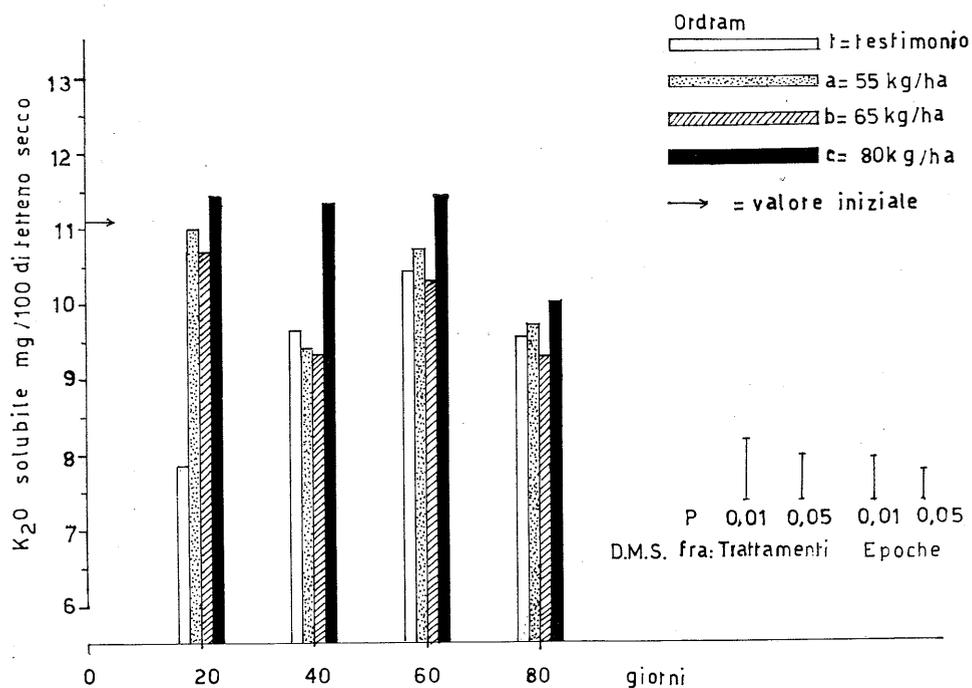


Fig. 8. — Effetto dell'ordram sulla solubilità del potassio.

Feng e Chang (27), studiando la dinamica del potassio nei terreni sommersi di risaia, hanno osservato che la capacità di fissare il potassio varia notevolmente ed in qualche caso può raggiungere valori piuttosto elevati. Il fenomeno di fissazione, tuttavia, risulta reversibile. Secondo diversi ricercatori, la fissazione del K scambiabile e la liberazione del K non scambiabile ed a quella scambiabile, procede piuttosto rapidamente. ruolo importantissimo sulla assimilabilità del potassio. Nei terreni som-

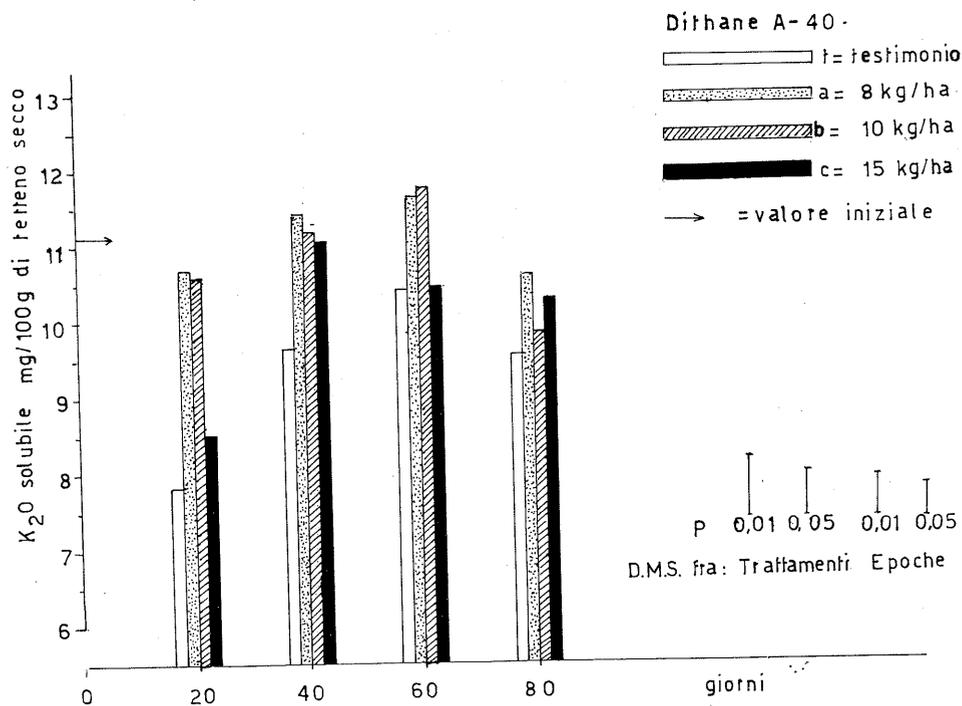


Fig. 9. — Effetto del Dithane A-40 sulla solubilità del potassio.

mersi la trasformazione del potassio dalla forma minerale alla forma non scambiabile e a quella scambiabile, procede piuttosto rapidamente. Si pensa che sul processo di liberazione del potassio fissato influiscano favorevolmente anche i prodotti metabolici a funzione acida, oltre che delle piante, anche dei microrganismi.

Ne consegue che l'effetto positivo che hanno avuto i pesticidi in discussione sulla solubilità del potassio può essere messo in relazione

(27) FENG M.P., CHANG S.C. — Revue de la potasse, Section 4, 34, 1-9 (1965).

con una loro efficace azione sullo sviluppo e sulla attività della microflora anaerobia.

Infine, la decomposizione della sostanza organica (figg. 10, 11 e 12), messa in evidenza attraverso la determinazione analitica del carbonio, è stata significativamente rallentata da tutti i trattamenti con gli antiparassitari, ad eccezione della dose più bassa del Dithane A-40. Ciò suggerisce che l'azione di questi prodotti chimici ha avuto l'effetto di ostacolare l'attività dei microrganismi decomponenti la sostanza or-

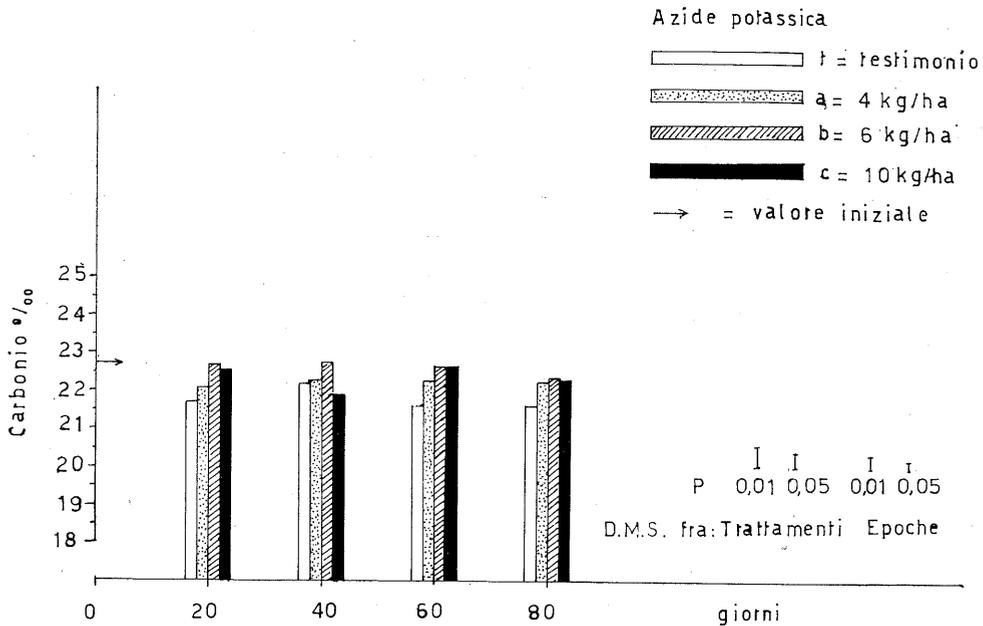


Fig. 10. — Effetto dell'azide potassica sulla decomposizione della sostanza organica.

ganica, in conformità con quanto osservato da Laskowski e Broadbent (loc. cit.) per i cloroderivati degli acidi alifatici, i quali inibivano la *metanogenesi*.

Peraltro, anche nel testimonia il processo di mineralizzazione è stato piuttosto lento. Questo risultato è in accordo con le osservazioni di altri ricercatori, secondo le quali la trasformazione della sostanza organica nei sistemi anaerobi, contrariamente a quanto avviene nelle ordinarie condizioni agronomiche, procede lentamente per la mancanza di ossigeno. Il metabolismo anaerobico, infatti, della microflora decomponente i residui organici passa attraverso la formazione di sostanze or-

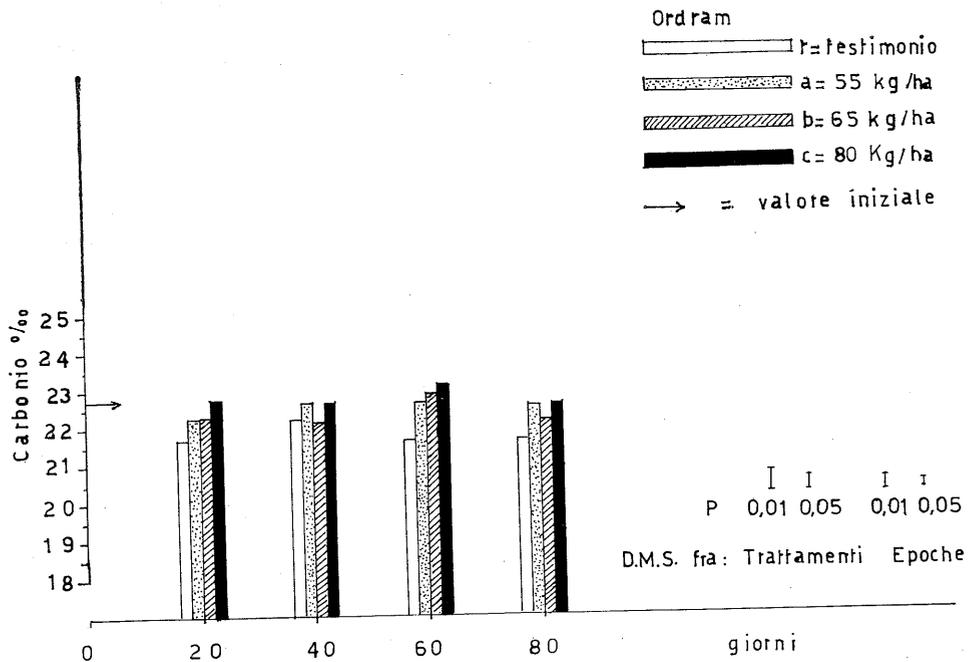


Fig. 11. — Effetto dell'ordram sulla decomposizione della sostanza organica.

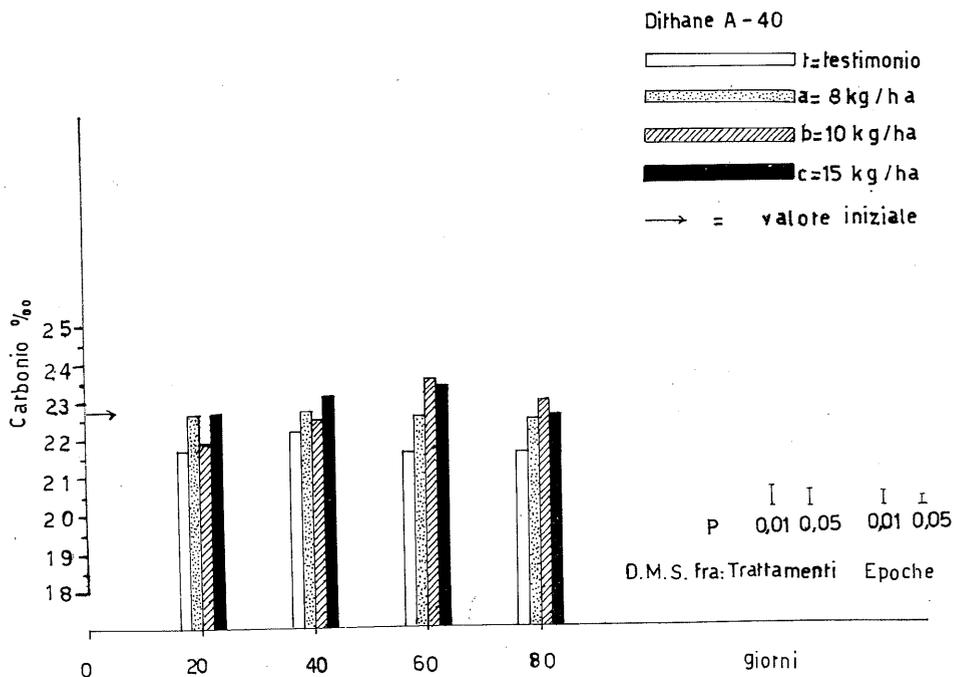


Fig. 12. — Effetto del dithane A-40 sulla decomposizione della sostanza organica.

ganiche intermedie, le quali possono temporaneamente accumularsi nel terreno sommerso. Fra questi composti si annoverano acidi grassi, acido solfidrico, aldeidi e chetoni, alcoli, mono e diamine, mercaptani e composti eterociclici. La natura tossica di gran parte di questi metaboliti organici nei confronti dello sviluppo del riso è stata recentemente confermata dagli studi di Takijma (28).

A conclusione di quanto si è venuto dicendo possiamo affermare che gli antiparassitari applicati ad un terreno sommerso influenzano, attraverso la loro azione di sviluppo e sulla attività dei microrganismi anaerobi, quei processi biochimici che incidono in modo preponderante sulla fertilità del suolo.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Dr. Russo per il suo contributo. La parola al Dr. Fischetti.

DR. B. C. FISCHETTI - Rappresento il R.E.D.A., Ramo Editoriale degli Agricoltori; il mio intervento non è un contributo, ma soltanto la breve considerazione di un osservatore in qualità di giornalista e di agronomo.

Desidero, in primo luogo, esprimere il mio apprezzamento per questa tavola rotonda, che ha colto un aspetto molto attuale e significativo degli inquinamenti, ché nessuno finora, a quanto mi risulta, aveva incentrato il problema della contaminazione sugli aspetti agronomici veri e propri, quelli cioè che interessano più da vicino l'agricoltura.

La contaminazione è stata soprattutto presentata come tema di interesse sociale e umanitario — non senza accenni scandalistici — più come un problema scientifico e di grande portata economica: in definitiva, quelli che sono i problemi attuali e futuri dell'agricoltura, non sono stati finora presi in considerazione nella loro reale importanza.

Mi sembra si debba dare atto della sensibilità che gli organizzatori hanno avuto nel realizzare questa tavola rotonda, e della precisione con la quale il Prof. Florenzano ha trattato i vari e complessi aspetti dell'argomento, che hanno incidenza soprattutto su quelli che sono gli aspetti biologici del suolo.

Vorrei ora porre una domanda. Il problema che è stato posto oggi è la difesa della fertilità del terreno nei suoi aspetti generali. La conseguenza che è stata tratta, dal punto di vista della contaminazione, è di

(28) TAKIJMA Y. — Bull. Natl. Inst. Agr. Sci., Japan, Ser. B 13, 117-252 (1963).

chiedere all'industria chimica di orientarsi verso prodotti che siano degradabili da un punto di vista chimico.

Qui nasce la domanda, domanda da profano, se volete da curioso, da giornalista: può essere considerata come ipotesi di lavoro, come prospettiva di studio, come speranza del futuro, l'ipotesi di selezionare in senso microbiologico delle specie, dei ceppi di microrganismi i quali possano aggredire quei composti, che oggi come oggi, non sono ancora degradabili?

Può essere considerata anche questa possibilità, in aggiunta alla richiesta rivolta all'industria e alla ricerca chimica? Grazie.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Dott. Fischetti per il suo interessante intervento e soprattutto per aver posto in luce l'importanza di questo convegno nel quale agronomi, pedologi, chimici agrari e microbiologi si sono radunati per discutere ad un livello altamente scientifico sulle conseguenze biologiche delle contaminazioni del terreno agrario.

Desidero ora rispondere alla seconda domanda del Dottor Fischetti, riguardante la selezione di microrganismi capaci di degradare quelle sostanze attualmente non degradabili. Purtroppo queste sostanze hanno una struttura chimica che non trova riscontro nelle sostanze organiche naturali, per cui non sono noti i sistemi enzimatici capaci di attaccarle.

DR. B. C. FISCHETTI - Volevo dire soltanto questo: l'ipotesi deve essere scartata o può essere considerata nel quadro delle cose possibili, se non oggi, in una prospettiva futura?

PROF. V. TRECCANI - Come ricercatore e come studioso non mi sento di scartare nessuna ipotesi. Solo con la sperimentazione si è in grado di avere una sicura risposta.

La parola al Prof. Romagnoli.

PROF. L. ROMAGNOLI - Per prima cosa mi sia consentito di rallegrarmi con il Prof. Florenzano per l'estrema chiarezza usata nella sua esposizione, rendendo così vivo un argomento che ad uno come me, con specializzazione sostanzialmente inorganica, avrebbe potuto risultare completamente arido se non incomprensibile.

La relazione del Prof. Florenzano mi sembra abbia, fra l'altro, messo in evidenza il grado di arretratezza della organizzazione scien-

tifica e tecnica del nostro Paese nel campo da lui trattato. Ciò è a mio avviso dovuto anche al fatto che lavoriamo isolatamente e perciò perdiamo di vista degli sviluppi delle branche collaterali della nostra disciplina. Dicendo questo sono preso dal rimorso e dalla vergogna perché, alcuni anni or sono, avendogli prospettato il grande interesse di una certa ricerca interdisciplinare, il Prof. Florenzano mi aveva messo in contatto con alcuni suoi collaboratori con i quali avevo iniziato delle indagini. Purtroppo, per il subentrare di altri impegni di lavoro, ritenuti al momento più urgenti, tali ricerche vennero da me trascurate e poi interrotte. Mi rendo conto che se avessimo continuato ora avremmo forse potuto avere dei risultati originali che non avrebbero sfigurato nella casistica citata, contenente quasi esclusivamente contributi stranieri.

Le ricerche di cui parlo avrebbero dovuto, fra l'altro, dimostrare che anche in Italia a diversi tipi di suolo corrisponde una diversa composizione microbiologica e perciò ogni suolo reagisce in modo diverso anche rispetto agli inquinanti ed a tutti gli altri interventi umani tendenti ad alterare l'equilibrio naturale.

Se non sappiamo infatti a quale tipo di suolo si riferiscono le prove con detergenti cationici citate dalla Prof.ssa Federico né a quale tipo di argilla gli antibiotici cationici citati dal Prof. Florenzano non possiamo trasferire in pratica i risultati ottenuti.

Rinnovo quindi ai colleghi l'invito a dare il nome dei suoli sui quali effettuano le loro ricerche. Anche nella Società Italiana della Scienza del Suolo esiste una sezione che tratta la genesi, classificazione e cartografia del suolo i cui aderenti saranno certamente ben lieti di aiutare i colleghi a definire i suoli sulla base dei criteri tassonomici ormai ampiamente accettati in campo internazionale. Ciò, oltre a fornire una maggiore uniformità di giudizio nella utilizzazione ed interpretazione dei dati, permetterebbe anche di meglio trasferire nella pratica i risultati ottenuti dalla sperimentazione.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio vivamente il Prof. Romagnoli per il suolo interessante intervento e per aver sottolineato l'importanza delle ricerche di gruppo; il ricercatore isolato non ha più ragione di essere.

Prima di dare ad altri la parola desidero esporre alcune osservazioni sull'intervento del Dott. Russo. La degradazione dei composti aromatici e quindi dei detergenti, erbicidi, insetticidi, è stata sicuramente dimostrata solo con microrganismi aerobi. Le numerose ricerche effettuate non hanno finora consentito di isolare microrganismi anaerobi capaci di degradare composti aromatici. Fanno eccezione i batteri foto-

sintetici organotrofi capaci di fotometabolizzare anaerobicamente alcuni composti aromatici. Alcuni microrganismi anaerobi facoltativi si sono dimostrati capaci di eliminare uno o due atomi di Cl da alcuni insetticidi. In questo caso si ha solo una parziale dechlorurazione con formazione di composti che non vengono ulteriormente degradati dai microrganismi. Oggi al termine « biodegradazione » vengono dati significati diversi:

— *biodegradazione primaria*: rappresenta il livello minimo di degradazione necessaria a cambiare l'identità del prodotto (la parziale dechlorurazione degli insetticidi è una « biodegradazione primaria »);

— *biodegradazione « accettabile »*: rappresenta il livello minimo di biodegradazione necessario a rimuovere alcune proprietà indesiderate del composto (tensioattività, tendenza a produrre schiuma, tossicità. ecc.);

— *biodegradazione completa*: rappresenta la mineralizzazione della sostanza organica ad acqua e CO₂.

Questa terminologia ha creato molta confusione e non è stata utile alla ricerca scientifica; serve solo a coprire interessi economici.

Mi lasciano molto perplesso anche le ricerche citate dal Dott. Russo relative all'azione stimolante degli insetticidi sulla microflora del terreno agrario, in quanto le numerose ricerche effettuate in questi ultimi anni hanno chiaramente dimostrato che la maggior parte dei diserbanti e degli anticrittogamici, alle concentrazioni normalmente impiegate nella pratica agraria, pur non determinando turbamenti sensibili o dannosi sui processi microbiocchimici essenziali del terreno, inibiscono *in vitro* la crescita di queste particolari forme microbiche.

La parola al Prof. Florenzano.

PROF. G. FLORENZANO - Io vorrei aggiungere una considerazione, sempre a proposito dell'intervento del Dott. Russo. La risaia costituisce un caso particolare. L'equilibrio microbiologico della risaia è condizionato dal grado di riduzione della idromorfia (non riducente, mediamente riducente, fortemente riducente) la quale diventa il fattore dominante quando raggiunge la fase più riducente, che è segnata dalla riduzione dei solfati.

In queste condizioni precarie l'aggiunta di pesticidi non fa che dare il colpo di grazia ad un sistema di equilibri già compromesso. D'altra parte, considerando le condizioni microbiologiche generali dei suoli sommersi ed alla luce di quanto poc'anzi ha detto il Prof. Trecani, è difficile credere che il terreno di risaia possieda l'energia biologica per decontaminarsi.

A questo proposito sono particolarmente eloquenti le vicende di una risaia di circa 60 ettari, situata nei dintorni di Firenze, alimentata dalle acque reflue della città di Prato. Questa risaia ha funzionato bene fino al 1962-63. A partire da quest'epoca l'aumento del contenuto in detergenti ed altri prodotti delle acque reflue ha reso impossibile la coltura del riso.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Prof. Florenzano per le sue precisazioni. Qualcun altro desidera intervenire?

DR. S. RUSSO - Ringrazio il Prof. Treccani per le precisazioni che ha voluto apportare al mio intervento. Esse mi danno l'occasione di ribadire che i dati da me citati a proposito della degradazione degli insetticidi cloroderivati organici negli ambienti anaerobi, sono stati ricavati dai diversi lavori riportati dalla letteratura specializzata.

Non essendo state finora compiute delle ricerche, nell'ambiente delle nostre risaie, sulla degradazione degli antiparassitari, dobbiamo necessariamente rifarci alle fonti che sono state citate.

Per quanto riguarda in particolare il lindano (isomero γ), che è il composto meglio studiato nei terreni sommersi di risaia, e gli altri isomeri α , β , δ , gli autori (MacRae, Raghu e Castro, 1967) hanno trovato che la loro persistenza in risaia (Filippine) non andava oltre i 70-90 giorni. La decomposizione molto più lenta dei quattro isomeri osservata nel terreno reso sterile in confronto ai campioni non sterilizzati, ha indicato che la microflora dei terreni sommersi è capace di degradare l'esacloruro di benzene.

PROF. V. TRECCANI - Come hanno determinato la scomparsa di queste sostanze?

DR. S. RUSSO - Attraverso la tecnica del carbonio marcato.

PROF. V. TRECCANI - Quali sono i prodotti metabolici marcati ottenuti dalla degradazione?

DR. S. RUSSO - La degradazione microbica del lindano è stata dimostrata dalla liberazione della $C^{14}O_2$ dai terreni sommersi trattati con l'insetticida marcato.

Per quanto, poi, riguarda la stimolazione di certi microrganismi da parte dei fitofarmaci applicati al terreno a determinate dosi mi risulta che osservazioni in tal senso siano state compiute non solo nei terreni

sommersi, ma anche nei normali terreni aerati. Certamente si tratta di un effetto indiretto, che va inquadrato nello sconvolgimento del generale equilibrio ecologico del terreno causato da queste sostanze, per cui l'inibizione di certi gruppi di microrganismi dà ad altri la possibilità di moltiplicarsi attivamente.

Penso di non aver altro da aggiungere.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Dottor Russo. La parola al Prof. Ballatore.

PROF. G. P. BALLATORE - Desidero porre qualche domanda ai Colleghi di Microbiologia.

Non ho nulla da aggiungere a quanto è stato già detto sulla contaminazione indiretta del suolo, le cui influenze sulle basi microbiologiche della fertilità sono veramente notevoli, come stanno a dimostrarlo i numerosi casi di isterilimento graduale del terreno sia in Italia che all'estero. La bibliografia sull'argomento mi sembra concordante ed i danni al suolo ed alle colture sono più immediati e visibili per effetto delle forti concentrazioni di principi tossici e detergenti presenti nelle acque d'infiltrazione verticale e laterale provenienti da scarichi industriali, di fogna, ecc.

Le mie perplessità nascono invece dall'esame della bibliografia relativa alla contaminazione diretta del suolo, cioè dovuta ai residui di prodotti anticrittogamici, insetticidi ed erbicidi che l'agricoltura impiega con sempre maggiore frequenza.

Da un lato ci sono i dati di numerosi Autori, anche quelli riportati da Florenzano nella sua relazione, relativi alla persistenza di molti di questi prodotti nel suolo, che suscitano in noi Agronomi gravi preoccupazioni, perché spesso si tratta di tempi piuttosto lunghi; nel caso degli erbicidi, per esempio, la persistenza nel suolo può oscillare da un minimo di un mese, per prodotti a base di aminotriazolo, a quattro mesi, per prodotti a base di simazina, a 12 mesi per monuron, fino a 32 mesi per il 2,3,6 TBA.

Dall'altro lato ci sono pubblicazioni di diversi Autori che hanno esaminato il problema della contaminazione diretta del suolo in seguito all'impiego di prodotti pesticidi, le cui conclusioni sembrano piuttosto rassicuranti.

Ad es., il 2,4-D sino a 100 kg/ha sarebbe senza influenza sulla attività microbica; il dalapon nella dose di 700 p.p.m. non ritarda l'ossidazione dei nitriti; questo processo, invece, viene inibito dal fenac a

400 p.p.m. e dal CIPC a 80 p.p.m.; si tratta, però, di dosi sperimentali molto elevate, che non hanno alcun rapporto con quelle molto più basse che si impiegano nella pratica agricola.

Secondo vari Autori, anche gli insetticidi, compresi quelli che presentano rimanenze elevate nel suolo, si mostrano poco tossici per i microrganismi.

Un recente lavoro di Hascoot (*Les résidus de pesticides dans les sols*, Bull. Tech. d'Inform., n. 252, 1970), che riporta un'ampia rassegna bibliografica sull'argomento, conclude con la seguente affermazione: « Per quanto riguarda la incidenza dei pesticidi sulla fertilità del suolo, l'opinione degli specialisti è piuttosto rassicurante. L'impiego a dosi normali dei pesticidi, anche i persistenti, non determina modificazioni importanti e definitive sulla popolazione dei microrganismi presenti nel suolo ».

Con riferimento specifico agli erbicidi, T. J. Sheets e C. I. Harris sono pervenuti alla conclusione che « anche se deboli concentrazioni di residui fitotossici abbiano a persistere da una stagione all'altra, i risultati di numerosi studi indicano che l'accumulo di tenori massivi di erbicidi organici selettivi è improbabile ».

L'accordo, invece, sussiste per quanto riguarda l'accumulo di residui nelle piante e quindi negli animali lungo la via delle concatenazioni alimentari e delle concentrazioni progressive, che alla sommità trovano l'uomo, la cui salute appare sempre più minacciata.

Comunque, con riferimento al terreno, diversi Autori, in base alle esperienze sino ad oggi condotte, affermano che solo concentrazioni di prodotti pesticidi maggiorate di almeno 10 volte rispetto a quelle normali, possono determinare depressioni, peraltro passeggera, sui microrganismi del suolo.

Personalmente ritengo che, nonostante l'ottimismo di diversi Autori, una certa preoccupazione sul divenire della fertilità del suolo per effetto delle crescenti contaminazioni non può essere esclusa. Questi aspetti negativi della contaminazione diretta affiorano di già nei suoli delle serre, dove l'impiego di prodotti chimici di varia natura è molto intenso.

Le basi biologiche della fertilità del suolo costituiscono una realtà dalla quale non possiamo staccarci: starebbe a dimostrarlo il fatto che diverse specie vegetali allevate in coltura idroponica non riescono a fornire, rispetto alla coltura su suolo fertile, quelle rese unitarie alle quali si aspirava quando si passò dalla fase sperimentale all'applicazione pratica.

Io chiedo ai colleghi di Microbiologia se si può accettare l'ottimismo di una certa stampa tecnico-scientifica o se non si debba procedere con più cautela nello impiego, spesso indiscriminato e talora molto intenso, di prodotti pesticidi.

È nozione comune che l'equilibrio microbiologico del suolo è cosa assai fragile e mille fattori possono concorrere a turbarlo.

Supponiamo che in un dato suolo un microrganismo *A* domina e tiene in rispetto un fungo *B*, patogeno per una data specie vegetale che cresce in quel suolo. Se introduciamo un fattore *X*, apparentemente inoffensivo, ma capace di turbare più o meno profondamente la crescita di *A*, rischiamo di vedere *B* prendere il sopravvento e creare, così, un nuovo focolaio di malattia. Le conseguenze potrebbero essere una modificazione del paesaggio vegetale, seguita da una nuova evoluzione del suolo, o di gravi perdite finanziarie se si tratta di colture da reddito.

Se ciò è vero, le preoccupazioni devono sussistere, specie se i minuti processi degenerativi vengono proiettati nel tempo. Però gradirei il conforto degli Studiosi di Microbiologia del suolo.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Prof. Ballatore, per il suo intervento e per aver messo in luce alcuni importanti aspetti dell'inquinamento nelle colture in serre. La parola al Prof. Florenzano.

PROF. G. FLORENZANO - Il quesito posto dal Prof. Ballatore ha colto uno degli aspetti centrali del problema. Dirò subito che una risposta univoca su una questione così complessa è difficile da dare, ma dirò anche che io sono francamente pessimista circa le conseguenze dell'uso dei pesticidi, almeno fino a quando tale uso prescinderà, come oggi accade, dalla più elementare considerazione delle conseguenze, potenzialmente disastrose per tutto l'ecosistema terrestre, derivanti da una massiccia introduzione nella biosfera di molecole che sono nocive, sia pure in diversa misura, per tutti gli organismi viventi e che i meccanismi che mantengono « pulito » il nostro pianeta non riescono ad eliminare con efficacia.

Le vicende del DDT sono particolarmente illuminanti a questo riguardo. Per circa 30 anni noi abbiamo distribuito senza alcuna remora questa sostanza in natura e solo da pochi anni ci siamo accorti che il DDT, dopo avere esplicato la sua azione distruttiva immediata, non solo non scompare, ma addirittura percorre le catene alimentari e si concentra al loro apice, dove si trova l'uomo. Il risultato è che tutti noi abbiamo, soprattutto nella materia cerebrale, una certa quantità di DDT. Io sono dell'avviso che noi oggi siamo, per quanto riguarda gli

effetti sul terreno dei prodotti impiegati in agricoltura, nella medesima posizione di ignoranza in cui eravamo quando cominciammo ad usare il DDT. Questa situazione è oltremodo pericolosa, poiché ci espone al rischio di dover constatare, *a posteriori*, il danno quando esso si sarà verificato.

Le conclusioni ottimistiche circa gli effetti dei pesticidi sulla microflora del suolo si basano essenzialmente sulla constatazione che le quantità somministrate sono molto ridotte, per cui, rapportando il peso di prodotto tossico usato al peso di terreno interessato dalla somministrazione, il pesticida subirebbe una diluizione tale da abbassarne la concentrazione a livelli non nocivi. Questo modo di ragionare ignora completamente la natura del suolo, che non è certamente un corpo idrico nel quale ogni componente disciolto si ripartisce uniformemente in tutta la massa d'acqua. Viceversa tutto quanto sappiamo sulla migrazione nel suolo ci porta a ritenere che, a causa di ben noti fenomeni di assorbimento, di distribuzione eterogenea, etc., la possibilità che un prodotto raggiunga livelli nocivi alla microflora del suolo in almeno una parte dei micro-habitat del terreno dipende solo in parte dalla quantità somministrata.

Quantunque il problema dei rapporti fra pesticidi e microflora del suolo sia di grande attualità, bisogna dire che ancora noi non possediamo le tecniche adatte a svelare gli intimi meccanismi attraverso i quali queste sostanze estranee possono esplicare la loro azione su equilibri così sottili come sono quelli che si realizzano nel suolo.

Uno degli interrogativi più inquietanti, ed al quale non siamo ancora in grado di dare una risposta, riguarda la natura e la entità degli effetti a lungo termine. Sappiamo che il suolo reagisce lentamente, ma inesorabilmente, a qualsiasi intervento agronomico e che la risposta può attendere anche molti anni prima di palesarsi. Sarebbe un caso fortunato che il fatto nuovo rappresentato dall'uso dei pesticidi facesse eccezione. Anche i dati che indicano come nel suolo le quantità di pesticidi che residuano sono molto piccole non sono da prendere con assoluta certezza. Vorrei richiamare a questo proposito quanto è accaduto per gli antibiotici: sono più di 30 anni che dai più diversi tipi di terreno si isolano migliaia e migliaia di colture microbiche attive produttrici di antibiotici, ma fino ad una decina di anni fa si pensava che nel terreno gli antibiotici non si formassero, per il fatto che non eravamo riusciti a metterne in evidenza la presenza.

Bisogna chiedersi quale possa essere il risultato a lunga scadenza di un assorbimento continuo da parte del terreno di piccole quantità

di sostanze le quali, già dotate di una elevata resistenza alla degradazione, verosimilmente divengono inaccessibili agli enzimi microbici e perciò possono accumularsi fino a livelli capaci di interferire con il biochimismo normale del suolo e con l'equilibrio microbiologico.

L'inserimento nel processo di formazione dell'*humus* di molecole ad esso estranee, ma capaci di essere incorporate nel corso della sua biosintesi, può portare ad una modificazione profonda delle sue proprietà biologiche. Una delle eventualità più allarmanti a questo riguardo è costituita dalla possibilità che le strutture chimiche simili a quelle naturali, una volta incorporate per errore nell'*humus*, possano comportarsi poi come antimetaboliti nei confronti degli enzimi che partecipano alla sintesi ed alla mineralizzazione dei complessi umici.

Fra gli effetti dell'inquinamento chimico del suolo non si devono dimenticare le possibili conseguenze genetiche sulla microflora, che potrebbero provocare mutamenti apprezzabili nei connotati fisiologico-biochimici della popolazione microbica o di parte dei suoi componenti. Un esempio noto di tali modificazioni è costituito dalla produzione, indotta dallo stesso inquinante, degli enzimi che provocano la sua degradazione. Questa induzione enzimatica è considerata con favore, poiché è il fattore essenziale della decontaminazione, tuttavia non ci si deve nascondere che si tratta di una deviazione biochimica che potrebbe essere accompagnata da altre.

Un altro aspetto da tener presente è la possibilità di azioni sinergiche tra differenti prodotti antimicrobici, poiché questo è un fatto che nel suolo ha sempre più concrete possibilità di verificarsi, sia per il sovrapporsi di inquinamenti diretti ed indiretti, sia perché la gamma dei trattamenti chimici tende ad estendersi.

Quindi il punto di vista del microbiologo è di una grande perplessità e preoccupazione di fronte all'attuale tendenza ad usare indiscriminatamente una gran quantità di prodotti, tendenza che potrà facilmente avere gravi ripercussioni sull'agricoltura di domani.

Queste poche considerazioni sottolineano l'urgenza di porre sotto controllo l'inquinamento indiretto e di mutare radicalmente indirizzo nello sviluppo delle sostanze di uso fitosanitario. La premessa di questo mutamento dovrà essere rappresentata da un ben coordinato sforzo di ricerca condotto congiuntamente da microbiologi, chimici, ecologi, pedologi e fitopatologi, al fine di individuare le vie da battere per ottenere la indispensabile protezione delle colture senza minacciare l'integrità biologica del terreno, che è uno dei fondamenti della produttività vegetale.

PROF. G. P. BALLATORE - Ringrazio il Prof. Florenzano per i chiarimenti che ha voluto darmi. Condivido inoltre le sue preoccupazioni circa la superficialità con cui si esprimono giudizi circa l'innocuità di questo e di quell'altro prodotto nei riguardi delle attività biologiche del suolo.

Ho l'impressione che ci si adagia sempre più sull'impiego di prodotti insetticidi, erbicidi, etc., per combattere parassiti ed infestanti. La stessa sperimentazione applicata impiega tempo e denaro in questa direzione e ciò è encomiabile fino ad un certo punto, perché si trascurano sempre di più altre pratiche agronomiche o direttive di ricerca che potrebbero consentire, in diversi casi, un sufficiente controllo di infestanti e parassiti.

Intendo riferirmi, ad esempio, alla possibilità di potere contrastare le infestanti mediante lavori preparatori e colturali eseguibili in modo razionale mediante impiego di macchine appropriate ed ancor più alle ampie prospettive che si schiudono alla lotta biologica contro determinati parassiti. In un periodo in cui si parla dappertutto, ma spesso superficialmente, di pericoli di sopravvivenza dell'uomo a causa degli inquinamenti, è assai triste constatare, ad es. che un metodo di lotta biologica contro la mosca dell'olivo, definitivamente impostato, anche nei suoi aspetti applicativi ed organizzativi dal Prof. Monastero e suoi Collaboratori presso l'Istituto di Entomologia Agraria dell'Università di Palermo, non abbia ancora trovato in Italia il riconoscimento ufficiale che senz'altro meriterebbe, nonostante i positivi apprezzamenti espressi anche da organismi internazionali.

Dobbiamo ricordare a noi stessi più spesso che l'agricoltura resterà prospera a lungo andare se saprà progredire nel rispetto di tutti quegli equilibri biologici che regolano i rapporti pianta-suolo e condizionano i processi produttivi.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Prof. Ballatore per le sue importanti precisazioni e ricordo che molto opportunamente anche il Prof. Florenzano nella sua relazione ha accennato alla lotta biologica. La lotta biologica attualmente interessa solo gli studiosi, non l'industria a cui interessa unicamente vendere molti insetticidi, erbicidi, detergenti, etc. La parola al Prof. Fierotti.

PROF. G. FIEROTTI - Il mio intervento a questa Tavola Rotonda, che si è rivelata molto interessante per i temi dibattuti, si traduce in alcune precisazioni che vorrei chiedere al Prof. Florenzano, con cui, pre-

liminariamente, mi congratulo per la Sua completa ed esauriente relazione.

Il suolo in campagna, viene studiato dai pedologi con l'attenta osservazione di tutto il suo profilo, di quella parte cioè delimitata, inferiormente, dalla roccia madre e, superiormente, dall'aria atmosferica. Per meglio comprendere e studiare i complessi fenomeni che hanno sede lungo il profilo del suolo, esso viene suddiviso in orizzonti, di cui, in linea di larga massima, quello superiore è indicato con la lettera *A* e quello immediatamente sottostante con la lettera *B*; a sua volta ogni orizzonte può essere suddiviso in sub-orizzonti. Ora, per quanto riguarda l'azione sul suolo dei prodotti di cui stiamo qui trattando, gli studi sono numerosi e ne abbiamo avuto un esempio stamattina durante l'esposizione del Prof. Florenzano, ma mi pare che manchino od almeno non sono a mia conoscenza, studi condotti per conoscere l'entità dell'accumulo nei diversi orizzonti o sub-orizzonti e per accertare se esistono orizzonti preferenziali.

Desidererei sapere, allora, dal Prof. Florenzano se Egli nel corso delle sue ricerche sia venuto a conoscenza di studi di questo tipo ed eventualmente delle conclusioni a cui sono arrivati. Inoltre dalle relazioni e dagli interventi che si sono succeduti mi è parso di capire che esiste uno stato di allarme per l'uso indiscriminato che si fa di questi prodotti; allarme che si va sempre più diffondendo e che nel futuro non molto lontano, potrebbe anche diventare realtà. In questo senso mi pare che sarebbe oltremodo interessante approfondire gli studi pedologici per stabilire se esistono dei suoli più soggetti di altri suoli ad essere inquinati ed eventualmente per stabilire quali essi sono.

Il pedologo, cioè, potrebbe portare un enorme contributo nella lotta contro l'inquinamento, individuando e cartografando le aree pedologiche ritenute più sensibili ad essere inquinate in modo che su di esse si venisse a limitare se non ad abolire l'uso delle sostanze ritenute inquinanti.

Grazie.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Prof. Fierotti per il suo intervento. La parola al Prof. Florenzano.

PROF. G. FLORENZANO - La domanda del Prof. Fierotti tocca un aspetto interessante, poiché il modo con cui un inquinante si ripartisce nel suolo ha evidente rapporto con la natura ed entità degli effetti che esso può produrre.

È evidente che la ripartizione degli inquinanti nel suolo è determinata, a prescindere dal modo in cui l'inquinante viene a contatto col suolo (caduta di aerosol o di polveri, infiltrazione con le acque superficiali oppure con quelle di falda, spargimento superficiale od iniezione nel terreno etc.), dalle caratteristiche chimiche e fisico-meccaniche del mezzo, pertanto una risposta esauriente può essere fornita dai chimici.

È noto che la ripartizione avviene secondo vari meccanismi (diffusione nella atmosfera e nell'acqua del suolo, trasporto da parte dell'acqua che si muove nel suolo, etc.) ai quali si sovrappongono i fenomeni di assorbimento da parte dei costituenti del suolo. Poiché tali meccanismi operano in un senso di volta in volta differente, è difficile poter individuare orizzonti di elezione per la localizzazione degli inquinanti. Ad ogni modo l'accumulo tenderà a verificarsi negli orizzonti ove più alta è la capacità di scambio.

In linea di massima si può dire che nei suoli sabbiosi prevale il trasporto ad opera dell'acqua percolante, per cui i residui vanno più facilmente a finire nella falda. Nei terreni argillosi, al contrario, si avrà prevalenza dei fenomeni di assorbimento.

Il concetto di definire la nocività dei prodotti inquinanti in funzione dei vari tipi di terreno può essere condiviso. Purtroppo si tratta di un aspetto ancora pressoché inesplorato.

PROF. V. TRECCANI - La parola al Prof. Malquori.

PROF. A. MALQUORI - Nella bella relazione tenuta stamani dal Prof. Florenzano appare evidente la preoccupazione che esiste oggi nel campo agricolo per quanto riguarda il corretto uso dei prodotti che la chimica offre all'agricoltore per la difesa e il potenziamento della produttività dei campi.

Questi prodotti sono costituiti da: fertilizzanti chimici, diserbanti, insetticidi, anticrittogamici, e il loro impiego andrà più aumentando dato che si tratta di prodotti indispensabili a fornire derrate alimentari in quantità sempre maggiori e di qualità sempre più efficienti.

Ora a me sembra che la buona conoscenza della natura dei prodotti e del loro impiego, sia proprio una delle cose da curare in massimo grado, nella diffusione commerciale di questi prodotti fra gli agricoltori, perché molto spesso, gli insuccessi o danni che possono derivare dal non corretto impiego dei medesimi, dipendono da ignoranza specifica.

Per i prodotti antiparassitari o erbicidi, le cui interazioni col ter-

reno formano un particolare oggetto di studio nel nostro Istituto, si tratta di sostanze organiche molto attive, le quali sono tossiche per l'economia animale. Tuttavia se impiegate entro i limiti prescritti, agiscono con un'efficacia che vanifica col tempo, e quindi possono anche non dar luogo ad accumuli; se sono invece impiegate empiricamente, si corrono dei rischi talvolta molto seri. E questa fonte di rischi dovrebbe per tempo essere eliminata, almeno nella nostra agricoltura.

La diffusione di notizie sulle caratteristiche del prodotto, sulla sua pericolosità, sulla dose da impiegare, sul miglior modo di spargimento nel terreno e sulla pianta, rappresenta una efficace arma per abbassare notevolmente il campo di tossicità del prodotto stesso.

Il problema degli accumuli nel suolo dei residui di un erbicida è effettivamente un problema molto serio, che tuttavia trova un buon correttivo nella microflora del terreno la quale costituisce uno dei mezzi naturali più adatti alla degradazione degli erbicidi.

D'altra parte per avere dei fenomeni di accumulo, conta non tanto la potenza con cui viene degradata la molecola erbicida, quanto la velocità di degradazione, che, a parte la carica batterica, fungina, attinomice-tica propria di un terreno, dipende dalle condizioni ambientali esterne, come ad esempio temperatura ed umidità.

Durante un arco stagionale, non è detto che la dissipazione o la degradazione di un erbicida avvenga sempre allo stesso modo, perché può darsi che in una stagione non adatta si possano avere residui notevoli di un erbicida, che invece, in una stagione che decorre normalmente, possono essere addirittura trascurabili. Il problema dei residui quindi è di difficile controllo proprio perché troppo legato alle condizioni climatiche, durante il periodo in cui un erbicida deve esplicare la sua azione.

Riferendosi sempre agli erbicidi, devo ricordare che dal punto di vista teorico un erbicida ideale dovrebbe svolgere la sua azione durante il ciclo della coltura che si intende salvare dalle male erbe, ed essere alla fine completamente degradato o inattivato.

Purtroppo, ciò è un assurdo, perché nessuno riesce ad impiegare dosi così precise onde soddisfare queste condizioni: i pericoli allora provengono da accumuli dell'erbicida. Gli erbicidi, come ha ricordato il Prof. Treccani, sono molecole abbastanza biodegradabili, anche per il semplice fatto che si tratta per lo più di prodotti azotati: il fatto di contenere azoto, costituisce un richiamo abbastanza potente per l'insorgere di nuove specie batteriche, che prima nel terreno non esistevano ma che in seguito alla permanenza dell'erbicida si possono formare.

Ciò è visibile dalla curva di degradazione biologica di un erbicida, che all'inizio può avere un periodo di stasi piuttosto notevole corrispondente alla formazione della particolare carica batterica, capace di demolire la molecola organica. Successivamente, dopo questa prima fase si ha l'insorgere di una più o meno rapida biodegradazione.

Per quanto riguarda la parte agronomica, un particolare importante è fornito dall'influenza che i nuovi prodotti organici impiegati nella difesa delle colture possono avere sulla fertilità del terreno. È noto che una delle più importanti sedi della fertilità del suolo è costituita dalla massa di sostanze organiche del suolo stesso.

È stato già accennato che questa massa tende oggi a diminuire nel terreno agrario e fra le cause che concorrono a questa diminuzione, lenta ma progressiva, sono proprio anche gli erbicidi, perché questi distruggono delle male erbe che in fondo rappresentano sostanza organica sviluppatesi *in situ*.

Quando infatti, con un erbicida a traslocazione radicale oppure antigerminello, eliminiamo una infestante all'inizio del suo sviluppo, togliamo sostanza organica dal terreno.

L'uso continuato degli erbicidi, contribuisce perciò ad una lenta diminuzione del tasso organico del suolo. D'altra parte, poiché tutta la microflora del suolo è legata alla massa di sostanza organica, è ottima pratica quella di reintegrare continuamente il materiale organico del terreno per assicurare a quest'ultimo un corredo microbiologico necessario a degradare le molecole organiche che vi si introducono con i vari prodotti.

Pertanto il problema dei residui degli erbicidi, dal punto di vista agronomico e chimico agrario, può riallacciarsi a quello della sostanza organica del terreno. Grazie per la vostra attenzione.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Prof. Malquori per queste precisazioni veramente molto importanti. Il Prof. Ballatore desidera aggiungere alcune parole.

PROF. G. P. BALLATORE - Il Prof. Fierotti ha chiesto qualche chiarimento circa l'intensità dell'accumulo di pesticidi in suoli di diversa natura.

La letteratura sull'argomento parla di sensibili variazioni dell'assorbimento in suoli di diversa natura. Ad esempio, l'assorbimento di simazina decresce quando si passa da un suolo Chernosem ad un suolo Podsol, ad un suolo Sierozem.

In alcune esperienze è stato notato che un cernosem ha assorbito il 99,4% del totale di erbicida simazina somministrata, un podsol il 78% ed un sierozem il 70%.

Il grado di assorbimento, tuttavia, risulterebbe influenzato dalle modalità d'impiego dell'erbicida. Per uno stesso tipo di suolo il grado di assorbimento di simazina diminuisce sensibilmente, se si aumenta il volume d'impiego della soluzione erbicida, a cui corrisponde evidentemente un abbassamento di concentrazione, pur risultando invariata la quantità di principio attivo somministrata per unità di peso del suolo. Si deve, poi, tener presente che il grado di assorbimento di un erbicida può variare in relazione con le sue proprietà intrinseche: ad esempio, atrazina, simazina e atraton, manifestano un diverso comportamento nei riguardi dell'assorbimento da parte del suolo, a seconda della concentrazione della soluzione d'impiego.

Comunque, aumentando il volume della soluzione d'impiego, l'assorbimento del prodotto erbicida diminuisce sensibilmente, ma sempre in diverso grado, a seconda della natura del suolo.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Prof. Ballatore. La parola al Prof. Haussmann.

PROF. G. HAUSSMANN - Io purtroppo non posso portare contributi, perché non è materia di mio particolare studio, anche se in passato, abbiamo fatto qualche esperienza sugli erbicidi nel campo della foraggicoltura, specialmente per opera della Prof.ssa Romani, che adesso lavora in un altro Istituto. Anzi, ricordando queste esperienze ed a risposta ad un altro intervento che parlava di azione per strati di terreno, abbiamo osservato come l'efficacia microbica del diserbante è nettamente distinta in superficie, rispetto alla profondità di 20 centimetri; invero, l'azione inibitoria sulla moltiplicazione dei microrganismi è nettamente più intensa in superficie. Peraltro — e ne abbiamo avuto la conferma stamattina dal Prof. Treccani — i normali erbicidi a base di 2,4-D sono degradabili, come abbiamo constatato anche noi. Quindi effettivamente, dopo un breve periodo di tempo dalla loro distribuzione (circa 20 giorni) la moltiplicazione dei microrganismi diventa molto rapida, forse proprio perché l'ambiente si libera di alcune specie che erano concorrenti: ci sarebbe dunque una compensazione di ripopolamento con differenziazione di specie.

Comunque, quello che intendevo dire riguarda un aspetto diverso della questione. Come agronomo ansioso di trarre le conclusioni di una discussione così interessante, quale oggi abbiamo avuto, vedo l'importan-

tanza di fissare due punti, affermati dai microbiologi, nei riflessi delle due distinte funzioni dei microrganismi sul terreno: concorrenza alla formazione dell'*humus*, e concorrenza alla disinfezione del terreno, cioè della mineralizzazione della sostanza organica, e quindi anche della degradazione delle sostanze nocive, che vengono apportate dall'uomo con certi prodotti intesi per lotte varie contro fitoparassiti, infestanti ecc.

Ora, purtroppo, esistono, nella cerchia degli studiosi del suolo, coloro che sostengono che sia il ruolo dell'*humus*, sia l'azione dei microrganismi, siano fundamentalmente trascurabili, rispetto alle possibilità che si hanno di far crescere i prodotti agricoli con mezzi artificiali, anche astraendo da ogni apporto dovuto ad azioni biogene della microflora.

Per quanto riguarda l'*humus*, le posizioni sono molto categoriche, c'è tutto un gruppo di studiosi anglosassoni (specialmente la scuola americana e la scuola australiana) che affermano addirittura che il considerare l'*humus* come un mezzo fertilizzante (il che non è esatto, perché è molto più che un fertilizzante), ostacola il progresso tecnico in quanto impedisce la diffusione dei concimi chimici, come mi è accaduto di sentire ad un convegno internazionale; quantunque simili opinioni, a noi che viviamo in una tradizione agronomica nettamente diversa, sembrino una eresia, esse continuano a circolare e sono sostenute da persone autorevoli.

Per quanto riguarda l'altra funzione della microflora, quella appunto di servire da purificatore del terreno dalle sostanze tossiche, o atte ad accumularsi in misura eccessiva, anche a questo riguardo vi sarà probabilmente qualcuno pronto a sostenere che il terreno in fondo non è che un substrato minerale inerte, e che quindi è sufficiente che il prodotto pesticida od erbicida non sia tossico per le piante superiori, e non interessa se sia dannoso o meno ai microrganismi del suolo.

Se si potesse ben sottolineare, dal punto di vista dei microbiologi, che sia la fertilità, intesa nel senso integrale (compresa la funzione dell'*humus*), sia la purificazione del terreno, la sua liberazione dalle sostanze inquinanti introdotte dall'uomo (come fitofarmaci o come rifiuti vari, residui industriali, detergenti, ecc.) sono dovute in misura preminente all'azione dei microrganismi del suolo veramente insostituibili sotto questi due aspetti, le conclusioni derivanti dall'odierno Convegno sarebbero particolarmente confortanti per gli agronomi, poiché confermerebbero quell'indirizzo che mira a conservare le condizioni di vita organica del terreno. Il giorno in cui ci dovessimo associare all'indirizzo opposto, che vede nel terreno soltanto la funzione di substrato minerale,

tutto ciò che abbiamo sentito oggi da questa cattedra da parte dei microbiologi verrebbe indubbiamente sottovalutato, con sicuro danno dell'agricoltura.

Grazie.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Prof. Haussmann. La parola al Prof. Materassi.

PROF. R. MATERASSI - Desidero fare alcune osservazioni, che mi sembra siano pertinenti con gli argomenti trattati negli interessanti interventi che hanno inquadrato i vari aspetti del rapporto fra contaminazione e fertilità biologica del terreno.

Una prima osservazione riguarda il significato da dare agli effetti stimolanti che molti pesticidi manifestano sulla attività microbiologica globale dopo un certo tempo dalla loro aggiunta al terreno. Questi effetti sono la conseguenza di una azione microbiostatica e microbica più o meno pronunciata e perciò denunciano la capacità potenziale del composto che li provoca ad alterare l'equilibrio microbiologico del suolo.

Con l'avvento della moderna industria dei detergenti e dei pesticidi di sintesi, si è dato il via ad un esperimento su larga scala, consistente nel disseminare sui terreni e nelle acque un gran numero di composti persistenti e nocivi ai sistemi biologici, del quale non siamo in grado di prevedere l'esito finale.

Le incognite circa gli effetti a lungo termine sulla sintesi dell'*humus* sono state già poste in evidenza. Un altro interrogativo riguarda la possibilità di effetti mutageni che possono anche modificare sensibilmente le caratteristiche della flora microbica dei terreni. Poiché non è realistico pensare che l'uso agricolo e non agricolo di prodotti inquinanti possa diminuire, si deve sottolineare l'urgenza di mutare indirizzo nella produzione di detergenti e pesticidi, orientandosi verso quei prodotti che presentino i minori pericoli possibili.

Vi è una enorme differenza fra il ritmo con cui nuovi prodotti vengono posti in circolazione e quello con cui si sviluppano le conoscenze di base, l'acquisizione delle quali dovrebbe precedere, e non seguire a lunga distanza, l'ammissione al consumo. Può così accadere che per molti anni si faccia un uso massiccio di sostanze sul cui destino si hanno notizie assai scarse. È il caso della dieldrina, la quale in natura viene trasformata in un derivato stabile più tossico del prodotto di partenza, denominato fotodieldrina, perché prodotto dalla luce solare. Recentemente è stato dimostrato che la fotodieldrina viene prodotta da

molti microrganismi, sia aerobi sia anaerobi, il che, è ovvio, muta radicalmente le prospettive circa il destino ed i possibili effetti di tale pesticida.

Questo è un esempio, ma purtroppo la carenza di conoscenze in questo campo è quasi generale.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Prof. Materassi. La parola al Prof. Banfi.

PROF. G. BANFI - Volevo semplicemente richiamarmi all'accenno fatto dal Prof. Ballatore precedentemente, accenno alle colture idropo- niche, che rientrava in un quadro generale di considerazioni.

I sistemi di coltivazione idroponica non hanno trovato la diffusione che inizialmente si presumeva e direi che ciò deve essere essenzialmente a due fatti: anzitutto un fatto economico di costi e poi ad una questione d'ordine tecnico, la necessità di disporre di personale specializzato e con ciò si ricade di nuovo nel problema dei costi. Ma sussiste un'altra possibile constatazione di carattere fitopatologico. Si pensava infatti che questi sistemi di coltivazione offrissero una certa garanzia fitosanitaria, ma ci si è resi conto che dopo 2-4 anni di coltivazioni il quadro diagnostico delle infestazioni parassitarie non era dissimile da quelli propri delle colture in piena terra o in serra, con l'aggravante spesso di costi più elevati.

Per tali motivi soprattutto, la coltivazione idroponica industriale si è sviluppata solo in determinati ambienti particolarmente favorevoli alla sua installazione. Attualmente, mi pare si stiano diffondendo altri sistemi, quali gli aeroponici, di cui tuttavia non mi sono note le caratteristiche essenziali.

Occorre però riconoscere che, comunque sia, tali sistemi colturali come mezzo sperimentale di ricerca sia in laboratorio che fuori, sono particolarmente utili e sempre funzionali.

Di questo specifico argomento mi sono occupato per lungo tempo.

Inoltre, poiché la coltivazione idroponica può essere installata all'aperto, senza alcuna protezione, sussiste anche per essa un problema di inquinamento atmosferico oltre che di rifornimento di acqua sicuramente priva di sostanze inquinanti.

Tale problema è tuttavia del tutto particolare poiché, a differenza di quanto avviene per il terreno, dove la massa microbica è particolarmente attiva ed eterogenea, nel substrato minerale idroponico l'agente inquinante, in senso lato, tende a interessare la pianta prima ancora che

la flora microbica, senza il benefico, rapido intervento di un'azione biologica degradativa.

La flora microbica delle soluzioni minerali idroponiche, di cui abbiamo avuto modo di occuparci per più anni, si presenta infatti come flora microbica del tutto banale, dipendente più dai fenomeni di rizosfera della vegetazione in atto, che avente una definita funzionalità propria. Pertanto sono convinto che l'eventuale azione di un agente inquinante, in tali condizioni e tanto più in presenza di un veicolo liquido, difficilmente possa venire neutralizzata in tempo utile per evitare danni alle piante coltivate. Grazie.

PROF. G. P. BALLATORE - Desidero riprendere brevemente l'intervento del Prof. Banfi sul problema delle colture idroponiche.

Condivido pienamente quanto egli ha detto in merito agli aspetti fitopatologici ed ai pericoli di inquinamenti dei substrati idroponici.

Condivido anche le sue considerazioni sul fatto che le colture idroponiche hanno trovato e trovano una limitazione alla loro diffusione nei notevoli costi di impianto e nella necessità di dovere disporre di personale altamente specializzato. Devo, però, fare rilevare, per esperienza diretta, che le colture idroponiche, almeno in Sicilia, anche se attuate col migliore sforzo tecnico-scientifico, in pratica non hanno costituito una valida alternativa economica rispetto alle serre normali impiantate su suoli di elevata fertilità.

Mettendo da parte le considerazioni di ordine economico ed organizzativo, si può dire che le produzioni unitarie ottenute in idroponica sono risultate assai vicine a quelle ottenute in serre normali.

L'arricchimento in *humus* dolce del suolo delle serre è il traguardo che ormai perseguono gli orticoltori siciliani per l'incremento delle rese ed il miglioramento qualitativo dei prodotti. Si ritorna, quindi, alle basi biologiche delle fertilità illustrate dall'amico Florenzano.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Prof. Ballatore per le sue precisazioni. La parola al Prof. Mancini.

PROF. F. MANCINI - Signor Presidente, ci stiamo avviando alla conclusione di questa giornata di lavoro, e mi pare che la società debba essere lieta, in primo luogo dell'intervento, a lato dei microbiologi e dei chimici agrari, che sono stati protagonisti della Tavola Rotonda odierna, di un qualificato numero di agronomi, di studiosi di ingegneria agraria, e anche di cultori di pedologia.

Questo dimostra l'interesse che anche noi, purtroppo molto ignoranti in materia, abbiamo verso le vostre ricerche. Condivido l'opinione del Prof. Malquori che in futuro avremo nelle zone che rimarranno agricole, un maggior uso di fertilizzanti, di anticrittogamici, di erbicidi e via dicendo. Faccio mio il desiderio di Romagnoli e di Fierotti, espresso pochi minuti or sono, di aver la possibilità, dato che lavoriamo in campagna con intenti di rilevamento cartografico per un lungo lasso di tempo ogni anno, di cooperare, sia pure in tenue misura, alla segnalazione o di fenomeni per voi interessanti o almeno di un certo stato di cose.

Mi rendo conto perfettamente che noi stiamo ai microbiologi, come una grossa vanga sta all'ago microscopico. Infatti le nostre ricerche, che hanno un interesse anche applicativo considerevole, sono fatte con una metodologia naturalistica di campagna che ha una certa grossolanità, per cui ci differenziamo sostanzialmente da voi. Solo nell'analisi mineralogica da un lato, nella micromorfologia del suolo dall'altro siamo raffinati.

Mi domando, perciò, se con l'andare del tempo, microbiologi e chimici agrari non potrebbero fornirci un test relativamente semplice, un test di campagna che ci permettesse di contribuire in qualche modo, se non altro alla segnalazione, e magari anche alla delimitazione di un determinato fenomeno di degradazione.

È ovvio che nei nostri contatti con la gente di campagna, che forse sono più frequenti di quelli di altri studiosi, potremmo altresì ridire in parole povere tutto quello che abbiamo imparato qui oggi e quanto i colleghi ci invitassero a comunicare.

Mi pare che abbiamo raggiunto quest'oggi un quadro molto più chiaro, per merito del relatore e di tutti gli altri studiosi che sono intervenuti su parecchi fenomeni di degradazione; se potessimo in futuro dire: signori con questo test vi diciamo che nel tale comune ci sono 5.000 ettari dei terreni coltivati che presentano questi sintomi, credo che potrebbe essere un contributo assai utile. Mi rendo conto che non è molto facile avere un test, data la molteplicità di prodotti che vengono somministrati, che valga per un largo numero di essi.

Non mi rimane che concludere, augurandomi che la società possa anche in futuro godere del prosieguo della attività della terza Commissione, che con questa manifestazione odierna, attraverso il suo Presidente e gli altri membri, ci ha dato veramente delle ore di grande godimento. Grazie.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Prof. Mancini. La parola al Dr. Cavazza.

DR. C. CAVAZZA - Faccio parte del Centro Studi Biologia del Suolo di Bologna e chiedo al Presidente ed al Prof. Florenzano di poter divulgare, per esteso od in sintesi, la relazione del Prof. Florenzano, in quanto il Centro si prefigge di raccogliere e diffondere le più recenti conoscenze nei diversi campi della biologia del suolo.

Il Prof. Treccani ha affermato che sarebbe molto opportuno sviluppare la lotta biologica contro tutte le malattie delle piante, siano esse di origine animale o vegetale. A tale riguardo io penso che questa lotta biologica, almeno verso i parassiti vegetali che risiedono nel terreno, potrebbe essere iniziata anche subito mediante l'impiego di letame ben maturo, giacché è largamente dimostrato che tale concimazione è in grado, grazie alla quantità e qualità della materia organica ed alla massa microbica vivente che essa apporta, di ripristinare un equilibrio biologico ormai rotto da tempo.

È previsione generale, come ha detto anche il Prof. Malquori per i diserbanti, che in futuro i pesticidi saranno usati in modo molto più intenso che non attualmente.

Questa previsione contrasta con la preoccupazione sempre maggiore dei frutticoltori e degli orticoltori, i quali sanno che la frutta e la verdura non possono superare un certo grado di tossicità; anzi sembra ormai certo che entro 2 anni il MEC prenda il provvedimento di distruggere tutta la frutta e la verdura che giungano ai mercati con un residuo di prodotti tossici che superi le 5 parti per milione.

Quindi, se con letame maturo o sostituti del letame si possono limitare le malattie delle piante, di conseguenza potremo usare meno pesticidi ottenendo il grande vantaggio di non superare il grado di tossicità.

Infine voglio aggiungere che l'arricchimento del suolo in materia organica è un contributo importante per combattere la contaminazione, poiché le forme microbiche che operano la mineralizzazione dei pesticidi e degli altri contaminanti saranno più numerose e potranno agire più efficacemente in un terreno biologicamente attivo.

PROF. V. TRECCANI - Ringrazio il Dott. Cavazza per il suo intervento e rispondo subito alle sue domande. Non è il numero totale dei microrganismi presenti in un terreno che condiziona la degradazione,

ma l'arricchimento, la selezione di quelle forme microbiche che partecipano direttamente al processo degradativo del composto desiderato.

L'introduzione nel terreno di una determinata sostanza organica porta immediatamente all'arricchimento di quelle specie capaci di degradarla. È la struttura chimica dei composti organici che condiziona la degradazione, non il numero di microrganismi presenti nel terreno.

Ora ritengo necessario trarre alcune conclusioni emerse dall'ampia discussione che si è svolta e, prima di dare la parola al Prof. Ballatore, desidero esporre alcune considerazioni al riguardo.

I detergenti, gli anticrittogamici, gli erbicidi ecc. non sono i maggiori responsabili dell'inquinamento del terreno. Numerose altre sostanze organiche scaricate dall'industria nei corpi idrici e di cui è difficile conoscere la natura vengono immessi nel terreno. Noi possiamo in certa misura controllare la quantità di erbicidi ed anticrittogamici che vengono immessi nel terreno; purtroppo non abbiamo nessuna possibilità di controllo sugli inquinamenti da rifiuti industriali.

Ora desidero esprimere alcune considerazioni sulla legge recentemente approvata dal Parlamento riguardante la biodegradabilità dei detergenti. Se non si vuol svuotare la legge stessa del suo contenuto è necessario che venga elaborato un regolamento che stabilisca le modalità necessarie per valutare la effettiva biodegradazione dei detergenti. A mio avviso un semplice test biologico, proposto anche in sede internazionale, non consente di valutare se effettivamente il detergente in esame venga degradato.

La Prof.ssa Federico in un recente convegno ha portato una critica sperimentale ai vari test usati, critica che dimostra chiaramente come tali metodi non siano sufficientemente validi. È necessario, come dicevo poc'anzi, che i detergenti siano completamente degradabili e ricordo che per dimostrare la completa mineralizzazione di un composto organico di sintesi occorre isolare microrganismi capaci di crescere in presenza del composto desiderato, fornito come unica fonte di C ed energia. Tuttavia per alcune di queste sostanze la completa degradazione può avvenire solo con il concorso di diverse specie microbiche; in questo caso è necessario approfondire l'indagine per accertare che nella coltura non si verifichi l'accumulo di prodotti derivati dalla parziale ossidazione del composto in esame e che quest'ultimo venga tutto trasformato ad acqua, e CO₂. L'accertamento della biodegradabilità di sostanze costituite da miscele di composti strutturalmente differenti, come ad esempio i detergenti, è molto complessa e richiede l'isolamento di microrganismi capaci di utilizzare i diversi componenti

singolarmente considerati. I composti attualmente impiegati come detersivi non sono molto numerosi, per cui è possibile anziché applicare un semplice test biologico, effettuare una ricerca per determinare la effettiva biodegradabilità prima di consentire la vendita e l'uso di un determinato detersivo.

Infine vorrei ricordare che in Italia esiste un numero limitatissimo di impianti di depurazione delle acque e che parte di questi non funzionano adeguatamente. In un paese civile le comunità cittadine e le industrie devono restituire depurata l'acqua che hanno utilizzato per i loro fabbisogni.

PROF. G. P. BALLATORE - Cari Colleghi ed Amici, siamo così arrivati al termine della Tavola Rotonda sulle conseguenze della contaminazione sulle basi biologiche della fertilità del suolo, dopo una intensa giornata di approfondite e interessantissime discussioni.

Il Prof. Treccani, che ha guidato con diligenza e competenza i lavori del pomeriggio, ha già tirato le conclusioni che potevano scaturire dalla relazione Florenzano e dai numerosi interventi e ciò mi esime dal ritornare sull'argomento.

La Tavola Rotonda ha visto riuniti specialisti di diversi settori: microbiologi, chimici agrari, pedologi, agronomi, che con la loro partecipazione attiva al dibattito, hanno contribuito ad allargare gli orizzonti conoscitivi in un settore della scienza del suolo che fino ad oggi in Italia non è stato sufficientemente apprezzato e valutato.

Gli Atti di questa Tavola Rotonda, che verranno pubblicati al più presto, costituiscono un concreto contributo al problema degli inquinamenti, di cui il nostro Paese va prendendo sempre più coscienza.

La Società Italiana della Scienza del Suolo non poteva non portare questo primo contributo ad un problema di così vitale importanza ed i risultati positivi di questa giornata di studio potrebbero costituire la piattaforma preparatoria per un successivo Congresso Nazionale.

La nostra Società, con le sue sette Commissioni di Studio, ciascuna delle quali raggruppa studiosi specializzati in particolari settori della Scienza del Suolo, rappresenta, senza dubbio, l'organismo più idoneo e più competente per potere organizzare Congressi di più ampio respiro ed a carattere interdisciplinare.

Noi oggi possediamo basi conoscitive più approfondite che ieri per potere, eventualmente, organizzare un prossimo Congresso sul problema delle contaminazioni, anche con la collaborazione di altri organismi interessati e sotto gli auspici di quei Ministeri ai quali sta a

cuore la salvaguardia dell'ambiente e della salute umana ed il divenire della nostra agricoltura.

Il maggior merito di questa riuscitissima Tavola Rotonda va al Prof. Gino Florenzano, che con la sua chiara, profonda e poliedrica relazione, ha saputo dare un alto contenuto scientifico, umano e sociale al nostro incontro, mettendo altresì a disposizione degli Studiosi e degli amministratori dello Stato un documento di basilare importanza.

All'Amico Florenzano, Presidente della Commissione Biologia della nostra Società, desidero esprimere i più vivi ringraziamenti, che vanno estesi a tutti coloro che hanno voluto prendere viva parte alle discussioni, apportando il prezioso contributo delle loro conoscenze ed esperienze.

Desidero, inoltre, rinnovare, a nome di tutti Voi, il più sentito ringraziamento al Prof. Marino Gasparini, Presidente della benemerita Accademia Economico-Agraria dei Georgofili, per l'ambita ospitalità accordata alla nostra Società per lo svolgimento della Tavola Rotonda.

A questo punto il PROF. BALLATORE legge un testo preparato da alcuni intervenuti contenente uno schema di mozione da sottoporre alla approvazione dei partecipanti e da riportare negli atti della tavola rotonda.

Segue una breve discussione nella quale intervengono BALLATORE, TRECCANI, MANCINI e MATERASSI, i quali avanzano suggerimenti per la compilazione della mozione conclusiva, che viene approvata all'unanimità dai partecipanti alla Tavola Rotonda.

MOZIONE CONCLUSIVA DELLA TAVOLA ROTONDA SU « CONSEGUENZE DELLA CONTAMINAZIONE SULLE BASI BIOLOGICHE DELLA FERTILITA' DEL SUOLO ».

I partecipanti alla Tavola Rotonda della S.I.S.S. su « Conseguenze della contaminazione sulle basi biologiche della fertilità del suolo », a conclusione dei lavori:

rilevato che i microrganismi del suolo svolgono un ruolo fondamentale ed insostituibile nella acquisizione e conservazione della fertilità dei terreni;

constatato che le attuali tendenze conducono ad un sempre crescente livello di contaminazione dei terreni sia per l'uso indiscriminato

di prodotti chimici sia per l'incontrollato incremento nel grado di contaminazione chimica delle acque superficiali e sotterranee:

esprimono la loro più viva preoccupazione per le gravi conseguenze che possono derivare da questo stato di cose, specialmente per quelle a lungo termine, legate a deviazioni nella umificazione o ad effetti mutageni sulla popolazione microbica del suolo, che interessano le basi stesse della fertilità e che potrebbero risultare disastrose per le future generazioni.

Ravvisano la necessità di sviluppare e porre in opera tutti i mezzi idonei a limitare la contaminazione dell'ambiente e del suolo. In particolar modo sottolineano l'urgenza di una aggiornata legislazione che vieti l'immissione nelle acque urbane ed industriali di sostanze nocive alle forme di vita presenti nelle acque e nei terreni e che renda operante il principio secondo il quale chi usa le acque deve restituirle depurate. Ugualmente essenziale è limitare i danni derivanti dall'impiego di pesticidi, sia sviluppando mezzi chimici di lotta che non presentino effetti dannosi indesiderati, sia adottando quei sistemi che, come la lotta biologica, non presentano problemi di inquinamento.

Auspicano che i problemi della difesa del suolo e dell'ambiente in generale dalla contaminazione vengano affrontati e risolti mediante uno sforzo esteso e coordinato di tutti quegli enti ed organismi, quali i Ministeri dell'Agricoltura e delle Foreste, della Sanità, della Ricerca Scientifica, gli enti regionali, il Consiglio Nazionale delle Ricerche e le Università, i quali hanno le competenze specifiche per risolvere gli aspetti scientifici, legislativi e di controllo che tali problemi sollevano.

INDICE

Comitato Organizzatore	Pag. 2
Elenco dei partecipanti	» 3
Saluto del Presidente della Accademia Economico-Agraria dei Georgofili Prof. Marino Gasparini	» 7
Saluto del Presidente della Società Italiana della Scienza del Suolo Prof. G.P. Ballatore	» 8
Introduzione del Prof. G. Florenzano	» 9
DISCUSSIONE ED INTERVENTI	» 39
Prof. V. TRECCANI	» 39
Prof. G. BANFI	» 53
Prof.ssa L. FEDERICO	» 55
Prof. G. PICCI	» 57
Dr. S. RUSSO	» 58
Dr. B.C. FISCHETTI	» 73
Prof. L. ROMAGNOLI	» 74
Prof. G.P. BALLATORE	» 78
Prof. G. FLORENZANO	» 80
Prof. G. FIEROTTI	» 83
Prof. A. MALQUORI	» 85
Prof. G. HAUSSMANN	» 88
Prof. R. MATERASSI	» 90
Prof. F. MANCINI	» 92
Dr. C. CAVAZZA	» 94
Mozione conclusiva della Tavola Rotonda	» 97