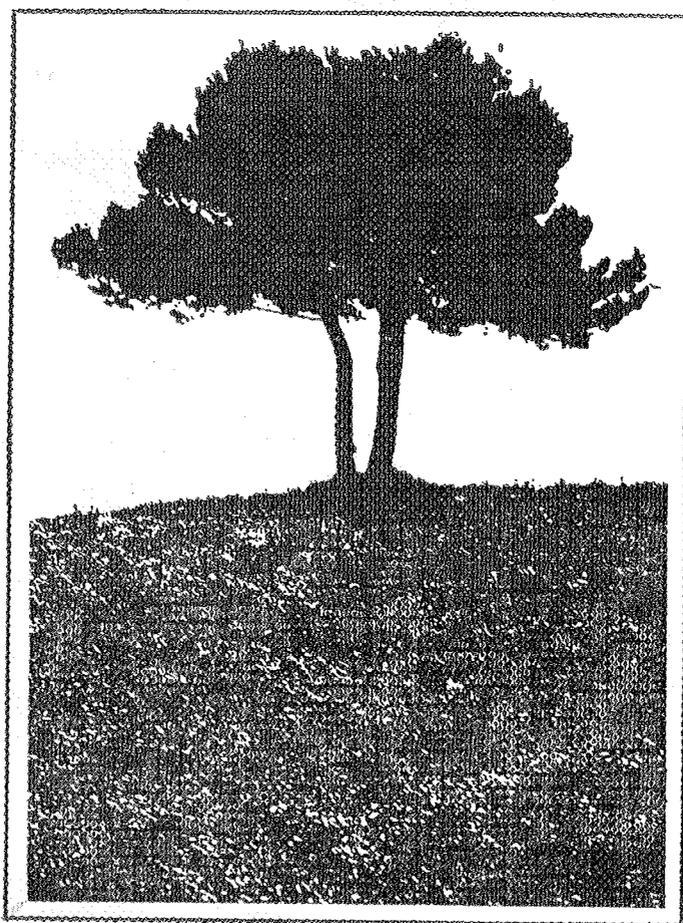




UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
ISTITUTO DI CHIMICA AGRARIA
PORTICI



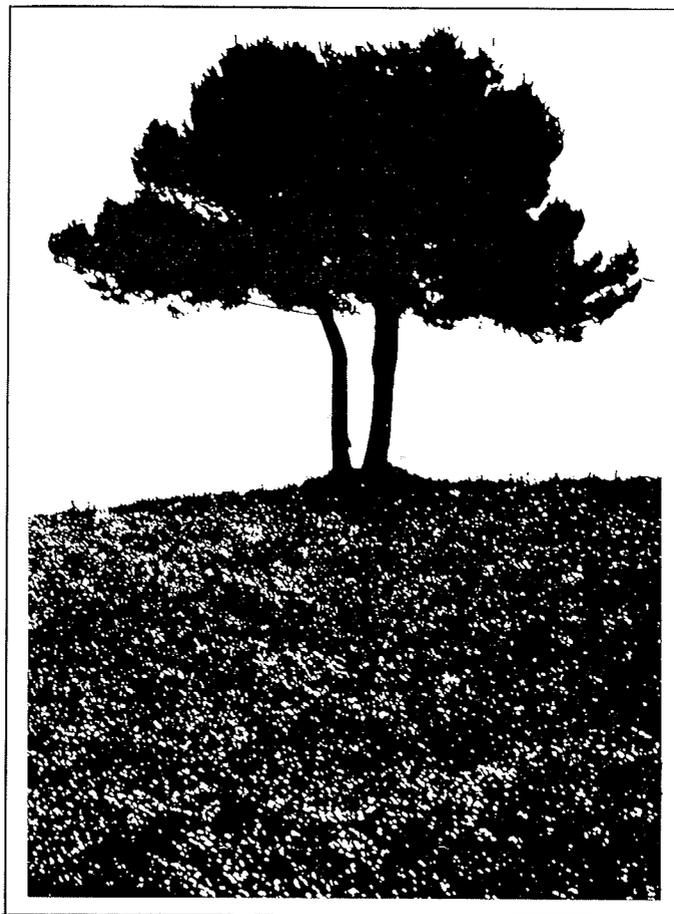
SOCIETA' ITALIANA DELLA SCIENZA DEL SUOLO
SOCIETA' ITALIANA DI CHIMICA AGRARIA

ATTI DEL CONVEGNO
FERTILITA' DEL SUOLO
E
NUTRIZIONE DELLE PIANTE

SORRENTO - S. AGNELLO 6 - 7 - 8 MAGGIO 1987



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
ISTITUTO DI CHIMICA AGRARIA
PORTICI



SOCIETA' ITALIANA DELLA SCIENZA DEL SUOLO
SOCIETA' ITALIANA DI CHIMICA AGRARIA

ATTI DEL CONVEGNO
FERTILITA' DEL SUOLO
E
NUTRIZIONE DELLE PIANTE

SORRENTO - S. AGNELLO 6 - 7 - 8 MAGGIO 1987

Desidero esprimere il più cordiale benvenuto a quanti, colleghi ed amici, hanno voluto partecipare a questo incontro. Il Convegno, per la cui organizzazione si sono impegnati l'Istituto di Chimica Agraria dell'Università di Napoli e l'Istituto di Chimica Agraria e Forestale dell'Università di Basilicata, si inserisce nell'ambito delle iniziative programmate dalla Società Italiana della Scienza del Suolo e dalla Società Italiana di Chimica Agraria.

E' sembrato interessante continuare nell'individuazione di occasioni di dibattito scientifico che ha caratterizzato l'attività della SISS in questi ultimi anni, necessario rispettare i momenti utili per la valutazione dei problemi e delle prospettive della ricerca di chimica agraria e provvedere agli adempimenti statutari della SICA. Ma, in particolare, è apparso stimolante proporre un tema molto ampio e di notevole interesse, quale è quello della fertilità del suolo e della nutrizione delle piante, perché, con approccio multidisciplinare, ne venissero discussi e approfonditi aspetti specifici.

Il Convegno è articolato in otto relazioni generali, quattro delle quali affidate a colleghi stranieri di riconosciuta fama e di indiscusso prestigio, e in due Poster Sessions.

Si è ritenuto di poter riuscire meglio, in questo modo, a considerare e confrontare l'apporto scientifico che discipline diverse riescono a dare per il progresso delle conoscenze comuni, necessarie per contribuire allo sviluppo delle scienze agrarie.

Nel corso della Tavola rotonda che si svolgerà a conclusione delle due sessioni di lavoro potranno essere evidenziati in modo adeguato gli aspetti più significativi e sottolineate le esigenze più urgenti.

La collaborazione scientifica intesa in senso moderno non può consentire isolamenti o arroccamenti a difesa di pretese « specifiche competenze ».

Mi è gradito ringraziare in modo particolare il prof. Carlo Ciliberto, rettore magnifico dell'Università di Napoli, il prof. Cosimo Damiano Fonseca, rettore magnifico dell'Università di Basilicata, i colleghi Noviello e Cosenzino, presidi delle Facoltà di Agraria di Portici e di Potenza, che hanno favorito con comprensione e disponibilità l'organizzazione del Convegno. Nel corso dello svolgimento dei lavori porteranno il loro saluto e daranno personale adesione.

Esprimo i sensi della più viva gratitudine ai responsabili degli Enti e delle Società e a tutti i collaboratori che, in modo diverso ma sempre significativo, hanno contribuito ed hanno lavorato per la migliore riuscita dei lavori.

PIETRO VIOLANTE

SORRENTO, 6 maggio 1987

SESSIONE PRIMA
FERTILITA' DEL SUOLO
RELAZIONI GENERALI

La fertilità dei suoli vulcanici

PIETRO VIOLANTE

Dati recenti (8) hanno messo in evidenza che, dal 1970 ad oggi, si è avuta nel nostro paese una diminuzione della superficie agraria destinata ai seminativi di oltre due milioni e cinquecentomila ettari (-20.9%), una riduzione limitata delle aree destinate alle foraggere permanenti (-2.4%), mentre si sono di poco accresciute le estensioni di territorio utilizzate per colture legnose (+2.3%).

Sono aumentati, invece, di oltre il 200%, quelli che vengono definiti « altri suoli », in larga parte costituiti da incolti produttivi, e di quasi il 14% le aree improduttive.

Nell'ambito delle singole province sono stati evidenziati numerosi casi significativi di sottrazione di superfici agrarie.

Nella provincia di Napoli, negli ultimi dieci anni, è andato perduto il 38.1% dei seminativi ed il 13.3% delle colture arboree mentre sono aumentate del 37.8% le aree improduttive.

Si tratta di fenomeno di grandi proporzioni che, in alcuni casi specifici, ha assunto il carattere di una seria minaccia per la sopravvivenza stessa della attività agricola.

Le aree più interessate dalla incontrollata espansione della utilizzazione extra-agricola del territorio sono state quelle di pianura, in particolare quelle costiere quasi tutte irrigue, mentre l'agricoltura intensiva è risultata sempre più confinata nelle zone collinari e pedemontane dove più marcati sono i condizionamenti e le difficoltà. Forse anche in conseguenza di questo fenomeno l'Italia è stato l'unico paese, tra i sette più industrializzati, a mantenere invariato l'indice di produzione agricola nel periodo 1980-1984 (Figura 1).

Questa situazione rende indispensabile una migliore conoscenza delle caratteristiche dei suoli tipici delle aree interne, in particolare dei suoli derivati da materiali vulcanici o formati con l'apporto di quantità elevate di piroclastiti presenti in larga parte del nostro territorio nazionale.

I suoli il cui processo genetico è stato condizionato dai prodotti del vulcanismo, per la loro distribuzione geografica, per l'origine facilmente identificabile e per le specifiche proprietà, hanno suscitato negli ultimi quaranta anni grande interesse scientifico.

Per la prima volta nel 1947 vennero denominati suoli « ando » i suoli su ceneri vulcaniche. Questo nome, derivato dal termine descrittivo giapponese anshokudo, an (scuro), shoku (colorato) e do (suolo), identifica i suoli vulcanici caratterizzati da orizzonti superficiali di colore nero e, generalmente, da reazione acida.

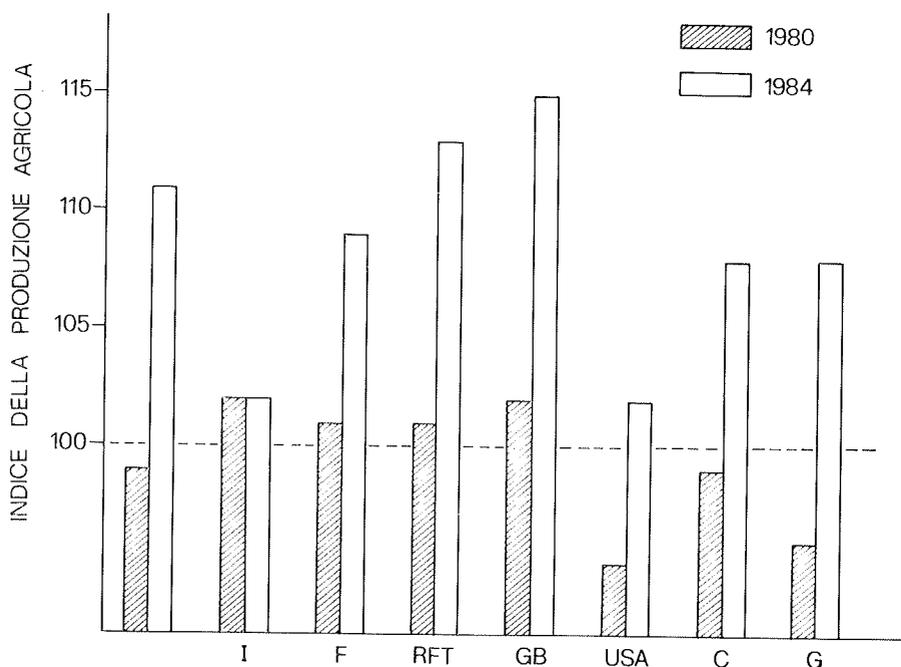


Figura 1 - Valore medio dell'indice della produzione agricola accertato nel periodo 1980-1984 nei sette paesi più industrializzati e confronto tra i valori realizzati, nello stesso periodo di tempo, in Italia (I), Francia (F), Repubblica Federale Tedesca (RFT), Gran Bretagna (GB), Stati Uniti d'America (USA), Canada (C) e Giappone (G).

I suoli derivati da vulcaniti, definiti da valore di densità apparente inferiore a 0.85 g/cc, da notevole contenuto di costituenti allofanici e da elevato valore della capacità di scambio cationico, sono stati classificati come Andept, sottordine degli Inceptisuoli, dalla Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 1975) (26).

Successivamente, nel 1978, considerate le numerose difficoltà di classificare come Andept molti suoli vulcanici, è stato proposto di inserire queste formazioni pedologiche nel nuovo ordine degli Andisuoli, in modo che, più adeguatamente, ne venissero considerati i molteplici, peculiari, specifici caratteri mineralogici, fisici e chimici (15).

Deve essere precisato, tuttavia, che non tutti i suoli formati da materiali vulcanici potranno essere classificati come Andisuoli, pur presentando, anche se non ben definite, molte delle proprietà e delle peculiarità di questi. Entisuoli possono formarsi, infatti, su ceneri vulcaniche recenti, Spodosuoli e Molli-suoli si accertano presenti su vulcaniti, Ultisuoli, Alfisuoli e Oxisuoli possono derivare da piroclastiti profondamente alterate.

I suoli di origine vulcanica sono distribuiti nelle diverse aree della Terra coincidenti con le principali zone tettoniche.

Si accertano presenti in Europa, negli Stati Uniti, nell'America centrale e meridionale, in Nuova Zelanda, nell'area del Pacifico, in Africa orientale. In Italia, in Sicilia, Basilicata, Campania, Lazio, Toscana, Sardegna.

Nel processo di alterazione pedogenetica dei materiali vulcanici, la trasformazione dei minerali primari in minerali secondari segue una direzione tale per cui alcuni costituenti non cristallini tendono inizialmente a formarsi, sotto qualunque condizione di clima, in presenza di umidità sufficiente e di drenaggio adeguato (34).

Tali prodotti danno origine ad una serie mineralogica che progredisce verso termini cristallini sempre più perfetti caratterizzati da meno elevata energia potenziale.

L'intensità dei fattori che determinano la formazione dei diversi componenti può agire variando la velocità ma non la tendenza del processo che risulterà definito da quattro tappe: ionica, colloidale, criptocristallina e cristallina. Ciascuna di queste tappe dà origine, nel tempo, ai diversi prodotti secondari che caratterizzano i suoli vulcanici con proprietà ben definite di stabilità e di persistenza di fronte alle condizioni dell'ambiente. I singoli composti avranno differenti livelli di stabilità nel senso che vi potrà essere prevalenza di un particolare costituente in determinati tempi o ambienti di decomposizione, ma la transazione non si arresterà, di modo che verrà a formarsi tutta una serie di prodotti intermedi (Figura 2) (35).

E' stato accertato che:

- la composizione dei minerali dell'argilla varia in funzione del grado di sviluppo del suolo, dell'orizzonte, della natura della matrice litologica, dello spessore del deposito di piroclastiti;
- la formazione e la trasformazione delle entità cristalline e criptocristalline è condizionata dall'accumulo di humus e dai conseguenti meccanismi di complessazione dell'alluminio e del ferro.

La formazione di allofani caratterizza la fase principale della pedogenesi su materiali vulcanici. La presenza dominante di allofani e di materiali allofane-simili coincide con il massimo sviluppo delle proprietà degli Andisuoli.

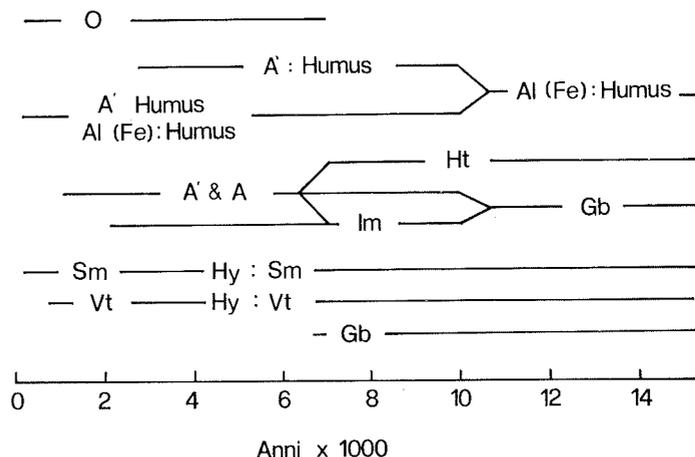


Figura 2 - Schematizzazione della formazione e della trasformazione dei minerali della argilla e dei loro complessi organici in Andisuoli di zone climatiche umide e temperate - A, allofane; A', materiali allofane-simili; Al (Fe), ossidi di alluminio e di ferro; Ch, clorite; G, gibbsite; Ht, halloysite; Im, imogolite, smectite; Hy Sm, smectite con interstratificazioni di idrossidi; O, opale; Vt, vermiculite; Hy Vt, vermiculite con interstratificazione di idrossidi. I segmenti orizzontali indicano il tempo di permanenza relativo di ciascun costituente nel suolo (da Wada, 1977).

Le allofani sono state ritenute inizialmente alluminosilicati, fortemente idrati, amorfi.

Indagini condotte con l'impiego della microscopia elettronica ad alta risoluzione hanno messo in evidenza, però, che queste entità consistono di sfere cave di diametro tra 3.5 e 5.0 nm. (Figura 3) (35).

L'analisi chimica ha consentito di definire specie diverse caratterizzate da rapporto molare $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ variabile tra 1.0 e 2.0 e da rapporto molare $\text{H}_2\text{O} (+)/\text{Al}_2\text{O}_3$ compreso tra 2.5 e 3.0 (Figura 4) (5, 33, 36). La spettroscopia a fluorescenza X ha portato all'accertamento della presenza di alluminio in coordinazione 4 e in coordinazione 6 e alla valutazione dell'incremento, dal 20 al 50%, dell'alluminio totale, del contenuto di alluminio in coordinazione 4 all'aumentare del valore del rapporto molare $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Di recente è stato dimostrato che in allofani caratterizzate da valore di questo rapporto prossimo a 1 l'alluminio è presente solamente in coordinazione 6.

edogenesi
eriali allo-
Andisuoli.

erali della
e umide e
i alluminio
te, smecti-
Vt, vermi-

di ciascun

ortemente

a ad alta
istono di

terizzate
o molare
troscopia
minio in
ento, dal
nazione 4
e è stato
orto pros-

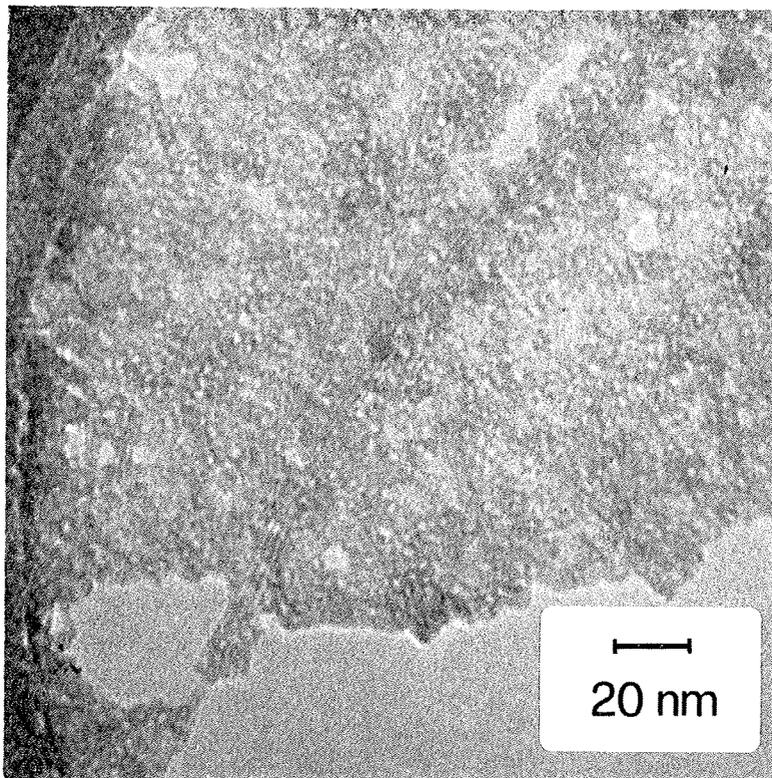


Figura 3 - Micrografia ad alta risoluzione (TEM) della frazione argillosa fine ($< 0.4 \mu\text{m}$) separata da un suolo dell'area vulcanica di Roccamonfina. Sono evidenti addensamenti di sfere cave di allofane (Violante, non pubblicato).

L'organizzazione strutturale delle singole entità risulta modificata al variare della composizione chimica anche se resta immutata la morfologia.

Viene riportato il modello strutturale della proto-imogolite specie di allofane definita da rapporto molare $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ uguale a 1, che risulta analogo, pur con alcuni difetti, a quello dell'imogolite (Figura 5) (9, 24).

Con le allofani coesistono negli Andisuoli costituenti allofane simili, presumibilmente riferibili a forme polimeriche di ioni idrossi-alluminosilicato.

Tipica morfologia e ben definita organizzazione della struttura costituiscono i caratteri distintivi dell'imogolite.

Identificata per la prima volta nella frazione argillosa separata a pH 3.5 da suoli del Giappone meridionale detti imogo, l'imogolite è alluminosilicato per il quale si accerta rapporto $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ uguale a 1 e presenza di alluminio in coordinazione 6 (33).

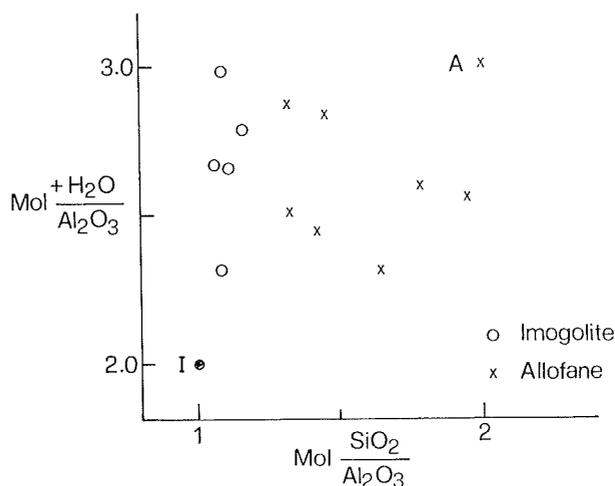


Figura 4 - Schematizzazione della variabilità della composizione chimica accertata per campioni naturali di imogolite e di allofane (da Wada e Yoshinaga, 1969).

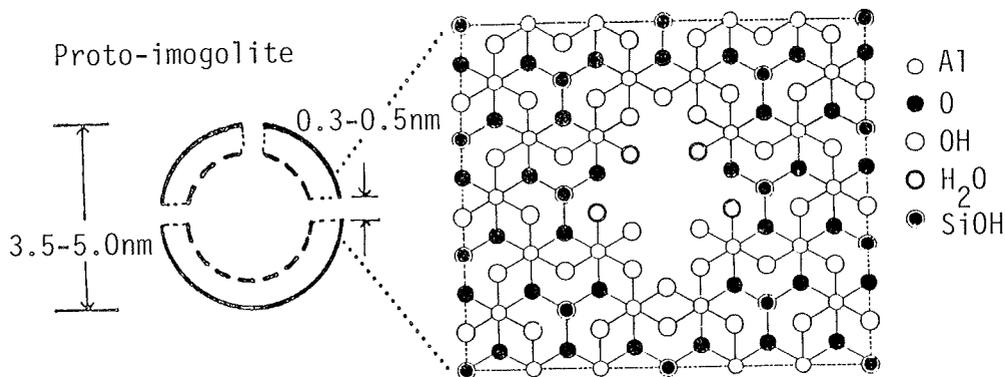


Figura 5 - Modello strutturale della proto-imogolite (da Parfitt e Henmi, 1980).

La morfologia dell'imogolite, quale si può osservare al microscopio elettronico, è caratterizzata da tipici filamenti tubolari, morbidi ed incurvati, spesso disposti in parallelo.

Generalmente l'imogolite è intimamente associata all'allofane, ma occasionalmente si possono osservare grovigli di filamenti relativamente liberi da altri materiali (Figura 6). La struttura delle superfici cilindriche è costituita

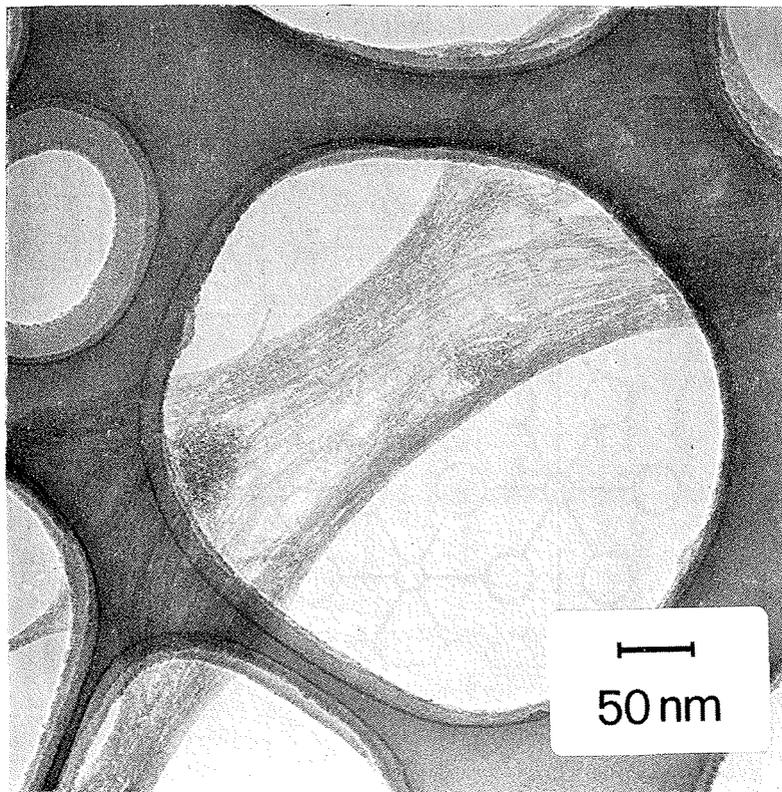


Figura 6 - Micrografia (TEM) di grovigli di filamenti di imogolite (Violante, non pubblicato).

ertata per
(1969).

- Al
- O
- OH
- H₂O
- SiOH

da una foglietto continuo di gibbsite in cui gli ossidrili della superficie interna sono stati sostituiti da gruppi ortosilicato (O_3SiOH) (Figura 7) (7).

In accordo con la sequenza di riorganizzazione cristallina dei materiali amorfi a cui si è accennato precedentemente, la proto-imogolite evolve per processo di risilicizzazione verso la struttura dell'halloysite, in particolare negli orizzonti più profondi caratterizzati da minore drenaggio e, conseguentemente da condizioni favorevoli all'aumento, della concentrazione della silice (Figura 8) (32).

L'halloysite presente nei suoli vulcanici è frequentemente caratterizzata da morfologia sferoidale (Figura 9). L'intima struttura di questo tipo di halloysite appare costituita da strati cristallini approssimativamente concentrici e non regolarmente separati (29).

E' stato dimostrato, tuttavia, che le discontinuità morfologiche risultano da alterazioni strutturali dovute a fenomeni di disidratazione nel corso dell'osservazione al microscopio elettronico, sotto vuoto spinto (Figura 10).

opio elet-
incurvati,

a occasio-
liberi da
costituita

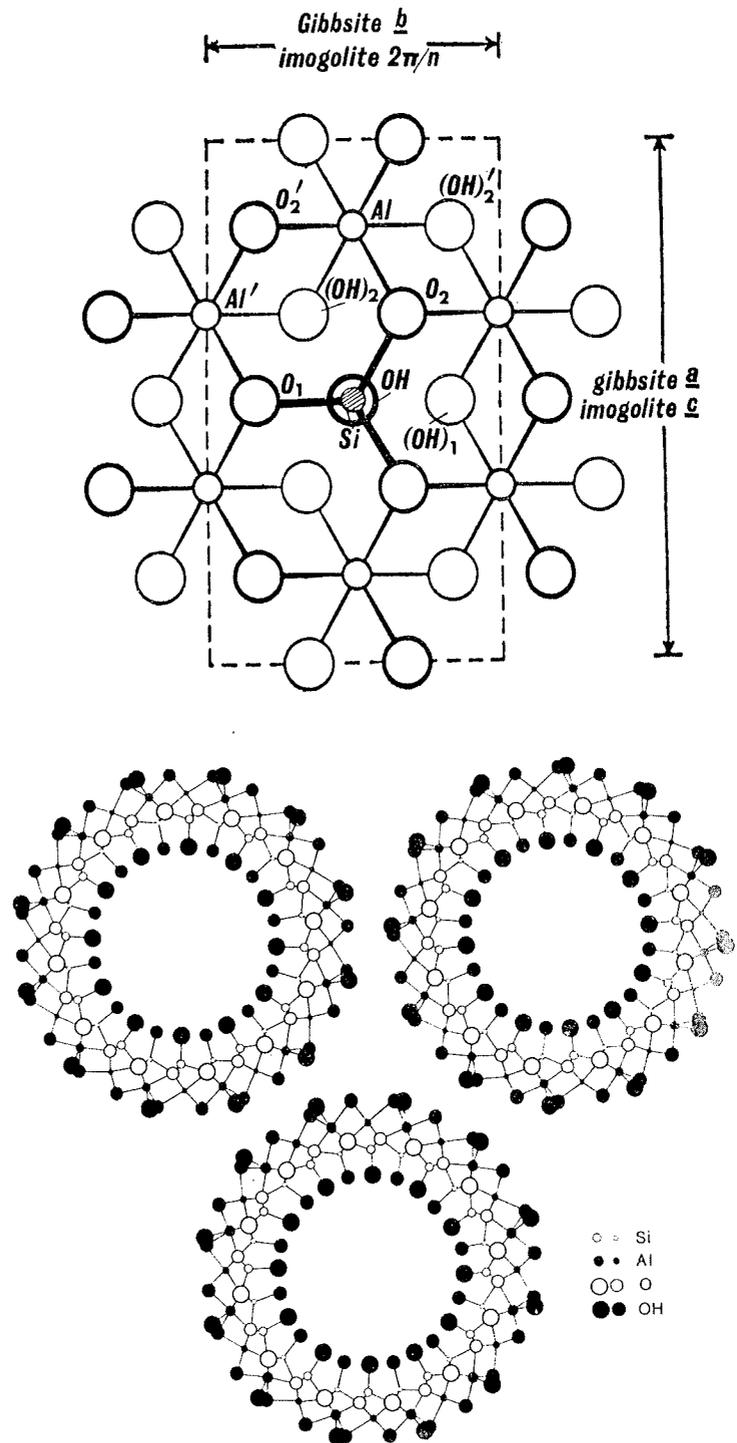


Figura 7 - Modello strutturale dell'imogolite (da Cradwick *et al.*, 1972).

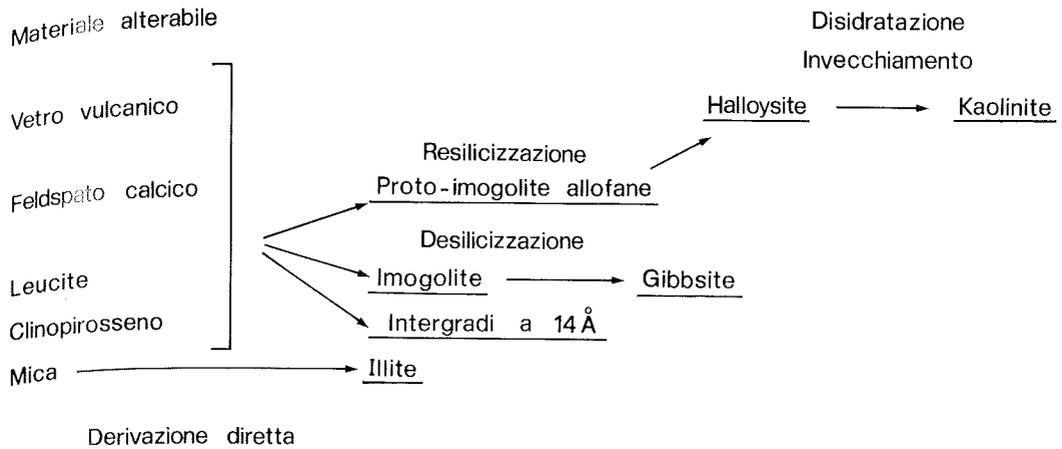


Figura 8 - Meccanismi di formazione e di trasformazione dei minerali dell'argilla negli Andisuoli (da Violante e Wilson, 1983).

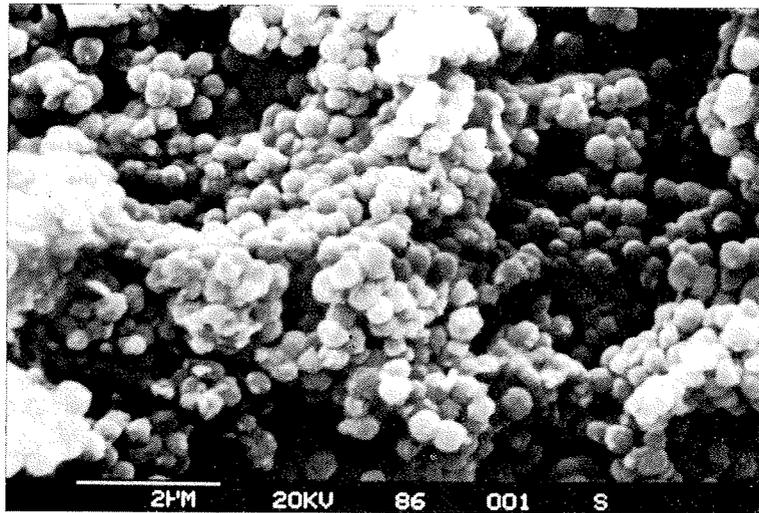


Figura 9 - Micrografia (SEM) di particelle di halloysite sferoidale (Violante, non pubblicato).

Come è stato ricordato il processo di pedogenesi su materiali vulcanici è condizionato dalla presenza dell'humus.

Negli orizzonti superficiali degli Andisuoli è frequente l'accertamento di contenuto di carbonio organico anche superiore al 25%.

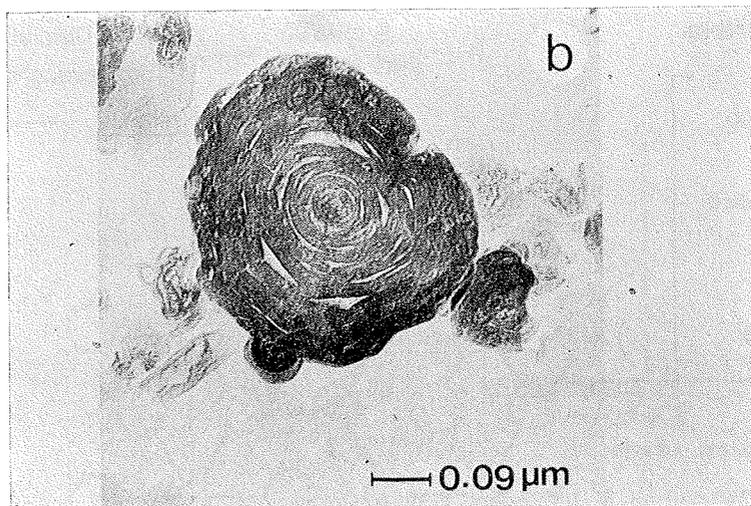


Figura 10 - Micrografia (TEM) di uno sferoide di halloysite (da Violante e Violante, 1977).

Ampiamente provata risulta la reciproca azione di protezione che si stabilisce tra i composti umici e i materiali non cristallini.

I costituenti allofane-simili conferiscono notevole stabilità ai colloidali umici, impegnando l'alluminio attivo che caratterizza le loro superfici nella formazione di complessi organici molto resistenti, o inibendo l'attività di enzimi, quali la proteasi e l'amilasi (Tabella 1; Figura 11) (1, 2, 6).

TABELLA 1 - Effetto della presenza di specie allofane diverse sull'attività della beta-amilasi (Aomine e Kobayashi, 1966).

Suolo	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	Attività relativa %
Kurokami	2.00	16.3
Ei	1.53	11.9
Choyo	1.34	10.8
Kodonbaru *	1.00	14.4

(*) Presenti quantità elevate di imogolite.

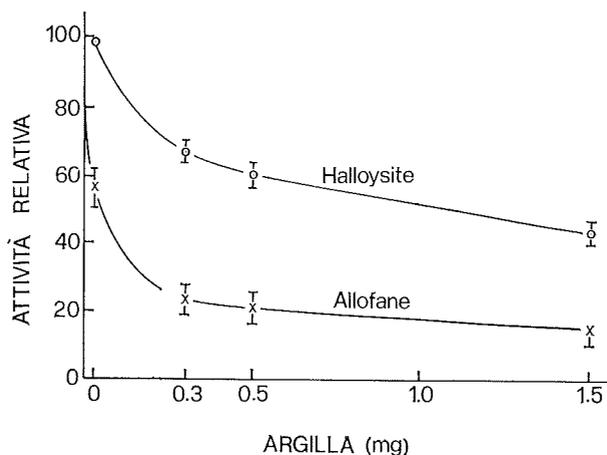


Figura 11 - Effetto della concentrazione di minerali dell'argilla sull'attività enzimatica della β -amilasi (modificata da Aomine e Kobayashi, 1966).

olante, 1977).

one che si

ai colloidi
 erfici nella
 'attività di
).

E' stato accertato che, in comparazione con altri suoli, quantità minori di CO_2 vengono perdute, nel tempo, dai suoli vulcanici (Tabella 2) (19).

TABELLA 2 - Perdita di carbonio organico come CO_2 da suoli allofanici e non allofanici dopo un periodo di incubazione di 1 anno (Zunino *et al.*, 1982).

Suolo	Sostanza organica %	Perdita di carbonio $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ di suolo
Suoli non allofanici		
Steinbeck (franco)	2.6	216
Fallbrook (franco sabbioso)	1.6	143
Greenfield (franco sabbioso)	2.2	218
Pillan (franco)	2.6	243
Suoli allofanici		
Puerto octay	16.1	191
Corte alto	14.6	144
Puerto octay (orizzonte profondo)	8.8	92

Polisaccaridi batterici, lignine e melanine fungine sono risultati i costituenti polimerici più resistenti alla biodegradazione in presenza di materiali allofanici (Tabella 3) (39).

TABELLA 3 - Decomposizione di alcune sostanze organiche marcate con ^{14}C in presenza e in assenza di costituenti allofanici (Martin e Haider, 1986).

	Percentuale di ^{14}C liberatosi in 16 settimane come $^{14}\text{CO}_2$						
	Glucosio	Polisaccaridi	Paglia di grano	Proteina di Chlorella	Cellule di Mucor	Lignina di stocchi di mais	Melanine di <i>Aspergillus glaucus</i>
Suoli non allofanici	77	75	60	67	55	17	5
Suolo franco-sabbioso + 16% di allofane	58	56	37	41	36	—	—
Suolo allofanico (orizzonte superficiale)	56	44	34	38	39	4	2
Suolo allofanico (orizzonte profondo)	56	21	25	26	34	—	—

La presenza di costituenti organici può, dall'altra parte, impedire il processo di organizzazione strutturale di materiali non cristallini (31).

Indagini recenti hanno messo in evidenza come la presenza di acidi organici (citrico, tannico, malico, tartarico, salicilico) turba il meccanismo di reazione tra acido ortosilicico e ioni idrossi-alluminio, impedendo la formazione di imogolite (Figura 12) (13).

A valori di pH che consentono la deprotonazione degli ossidrili fenolici, l'acido tannico forma con i prodotti dell'idrolisi dell'alluminio un complesso a struttura pentagonale caratterizzato da elevata stabilità e da possibilità di polimerizzazione (Figura 13) (12).

Tale forma polimerica, di elevato peso molecolare, può precipitare come fase discreta e svolgere azione cementante fra particelle argillose.

Si può dire, in definitiva, a precisazione di quanto prima affermato, che è l'alluminio attivo, presente nell'organizzazione strutturale dei costituenti minerali non cristallini e para-cristallini, nella composizione dei complessi umici e sulle superfici dei fillosilicati, a definire le proprietà chimiche dei suoli vulcanici.

costi-
eriali
enza e
lanine
di
pergil-
s glau-
cus
5
—
2
—
il pro-
li orga-
simo di
forma-
fenolici,
mplesso
bilità di
re come

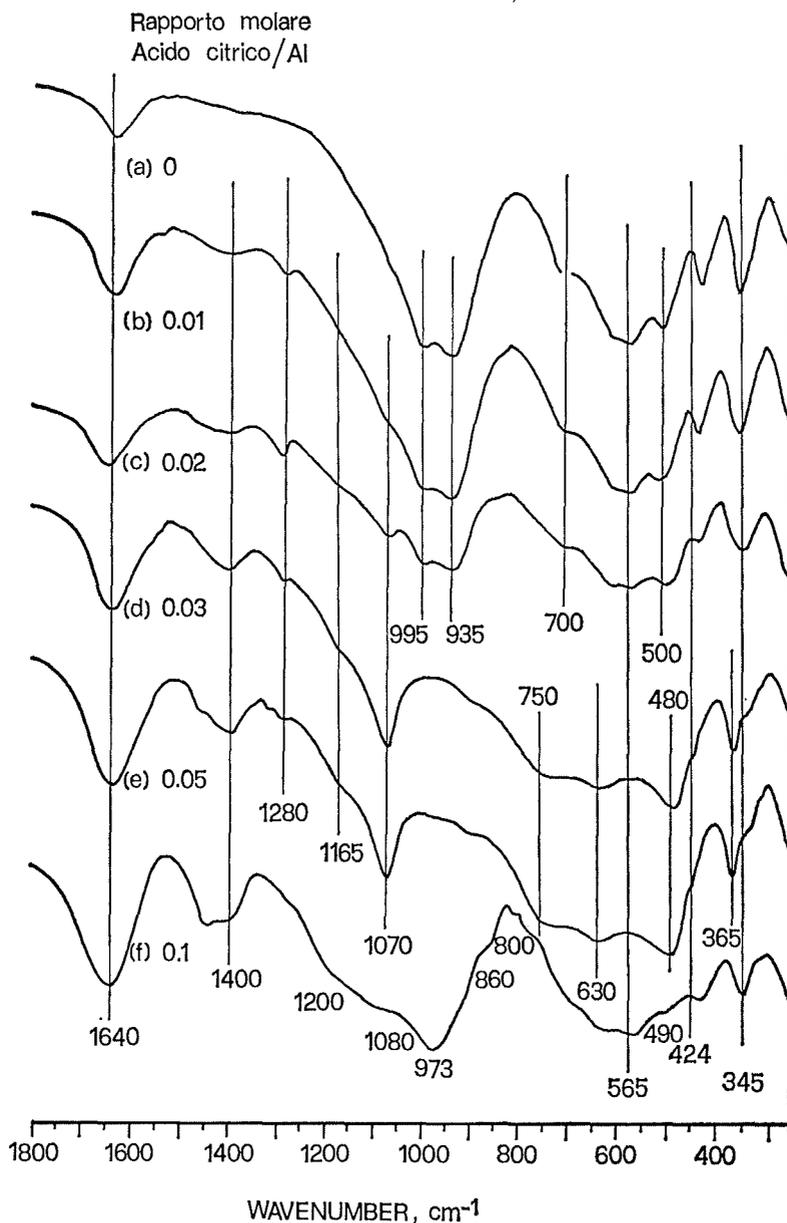


Figura 12 - Spettri IR dei precipitati colloidali e dei prodotti solubili formati (a 96-100°C per 110 ore) a concentrazione iniziale di Si $1.6 \cdot 10^{-3} \text{M}$, valore del rapporto molare Si/Al pari a 0.5, valore del rapporto molare OH/Al pari a 2.0, valori del rapporto molare acido citrico/Al variabili da 0 a 0.1.
(a) - (e), precipitati; (f), prodotto solubile (da Inoue e Huang, 1984).

Diversamente da quanto si accerta nei suoli caratterizzati dalla presenza di costituenti cristallini, le proprietà fisiche degli Andisuoli risultano dalla distribuzione e dalla dimensione dei pori, dalle tensioni all'interfaccia aria-acqua, dalle forze meccaniche piuttosto che dall'attività chimico-fisica delle superfici, non modificata dalla natura dei cationi di scambio.

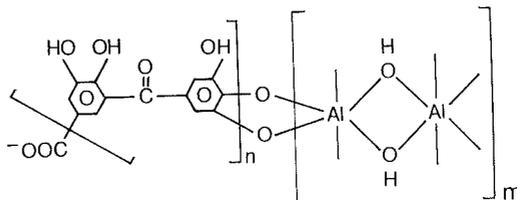


Figura 13 - Possibile sviluppo polimerico di un complesso idrossialuminio - acido tannico (da Huang e Violante, 1986).

Per la difficoltà di operare adeguata dispersione, conseguente all'esplicarsi di forze chimiche di flocculazione nei gel allofanici umidi o a tensioni chimico-fisiche di cementazione nei materiali non cristallini, la composizione granulometrica dei suoli vulcanici non è di facile valutazione e risulta scarsamente significativa nel definirne le proprietà fisiche.

Nei suoli ad elevato contenuto di costituenti allofanici e di imogolite si accertano valori di densità apparente pari a 0.25 - 0.30 g/cc, anche in presenza di modeste quantità di sostanza organica.

L'alta percentuale di umidità che si associa ai bassi valori di densità apparente, è caratteristica comune dei suoli su materiali vulcanici. Particolarmente alto risulta il contenuto di acqua misurato a - 15 bar (Tabella 4) (17).

Fenomeni di disidratazione portano, però, alla contrazione irreversibile del volume dei pori (Figura 14), alla diminuzione della quantità di acqua trattenuta ai diversi valori di potenziale, alla cementazione dei costituenti più dispersi con conseguente formazione di pseudo-limi e pseudo-sabbie (28).

A valori di pF superiori a 3.5 inizia generalmente l'abbassamento del contenuto di argilla e limo e l'incremento relativo di aggregati delle dimensioni della sabbia fine. A valori di pF maggiori di 5 si misura aumento della percentuale di particelle riferibili alla sabbia grossa che presentano scarsa porosità interna e ampi volumi vuoti derivati da interaggregazione.

Nessuna variazione della composizione granulometrica si verifica oltre pF 5.5 (Figura 15) (14).

La composizione mineralogica che caratterizza orizzonti diversi, anche lungo lo stesso profilo, determina l'entità della diminuzione del contenuto di argilla provocata da perdita di acqua (Tabella 5) (38).

TABELLA 4 - Contenuto di acqua in suoli vulcanici misurato a diverso potenziale (modificata da Maeda *et al.*, 1987).

Campione	Contenuto di acqua a		
	0.001 bar	0.3 o 0.5 bar	15 bar
Giappone			
— Umido	275	160	80
— Secco all'aria	170	80	50
S. Domingo			
— Umido	145	90	70
— Secco all'aria	130	70	50
Martinica			
— Umido		207	83
— Secco all'aria		143	42
Equador			
— Umido		255	192
A — Secco all'aria		36	33
— Umido		65	45
B — Secco all'aria		40	30
— Umido		150	115
C — Secco all'aria		40	35

TABELLA 5 - Influenza dell'essiccamento sulla composizione granulometrica e sulla plasticità di suoli vulcanici diversi per composizione mineralogica (Wesley, 1973).

		Minerale dominante					
		Allofane			Halloysite		
		umido	secco all'aria	secco in stufa	umido	secco all'aria	secco in stufa
Argilla	%	65	10	5	76	65	60
Limo	%	28	22	10	19	28	28
Sabbia	%	7	68	85	5	7	12
Limite di liquidità	%	165	60	43	94	75	62
Indice di plasticità		44	6	1	30	16	10

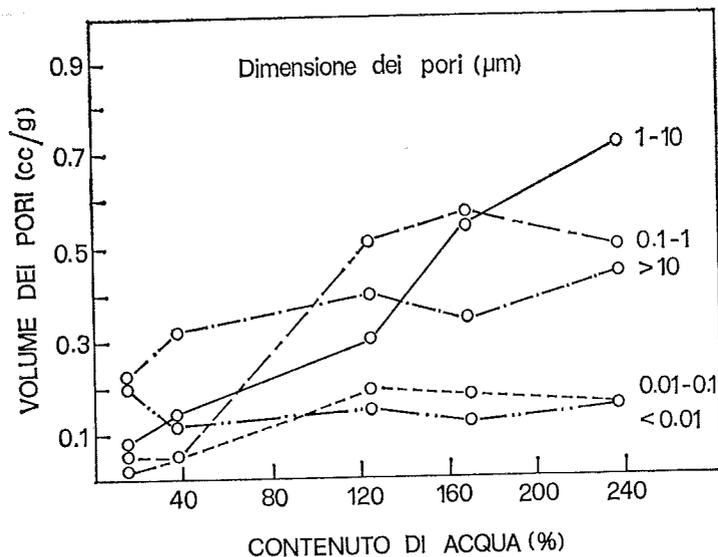


Figura 14 - Distribuzione della dimensione dei pori in un Andisuolo a diversi valori del contenuto di acqua (da Tuncer *et al.*, 1977).

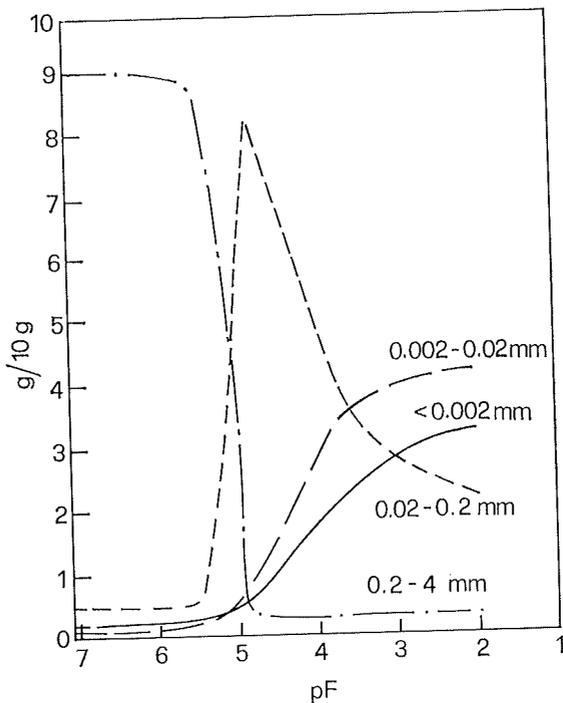


Figura 15 - Composizione granulometrica accertata in un Andisuolo a diversi valori di potenziale (da Kubota, 1972).

I suoli allofanici presentano, in condizioni naturali, elevati limiti di liquidità e di plasticità, anche superiori, rispettivamente, a 350 e 180%, e limitata ampiezza del campo di variazione dell'umidità entro cui risultano plastici.

La posizione assunta sul diagramma di Casagrande può consentire l'accertamento e la valutazione della natura allofanica di un suolo vulcanico (Figura 16).

Mentre la gran parte dei suoli hanno valori di plasticità che non si discostano dalla linea « A », gli Andisuoli tanto più si allontanano da questa quanto più elevato è il contenuto di costituenti allofanici che li caratterizza (37).

La sostanza organica concorre a definire la quantità di acqua trattenuta al limite di liquidità da suoli in condizioni naturali o irreversibilmente modificati dopo essiccamento all'aria.

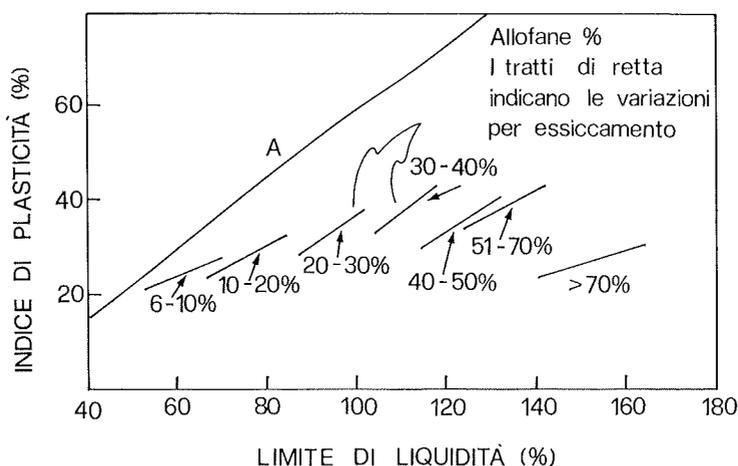


Figura 16 - Posizione sul diagramma di Casagrande di Andisuoli caratterizzati da diverso contenuto di allofani (da Warketin e Maeda, 1980).

I dati riportati nella Tabella 6 danno indicazione del contributo relativo della sostanza organica e dei costituenti minerali (16).

Sono poco numerosi i risultati di indagini di pieno campo per la definizione nei suoli vulcanici della quantità di acqua utilizzabile dalle piante.

Molti dati derivano dall'accertamento del contenuto di acqua tra potenziali di - 15 bar e di - 0.5 o - 0.3 bar.

Esistono indicazioni, però, che per la determinazione del limite superiore valori del potenziale variabili da - 5 a - 8 bar potrebbero meglio rappresentare le condizioni naturali mentre il limite inferiore risulterebbe prossimo a 0.1 bar per suoli allofanici caratterizzati da elevata permeabilità.

TABELLA 6 - Influenza della sostanza organica sul limite di liquidità di suoli vulcanici (da Maeda *et al.*, 1976).

Suolo	S.O %	Acqua in condizioni naturali %	Acqua al limite di liquidità		Abbassamento del limite di liquidità dopo essiccamento del cam- pione all'aria	
			Campione		Contributo relativo	
			Tal quale %	Senza sostanza organica %	Sostanza organica %	Allofane %
A	29	142	180	83	33	36
B	20	116	164	72	28	27
C	20	119	147	72	36	15
D	17	133	151	107	8	40
E	23	108	172	107	52	49
F	11	44	62	42	2	3

La presenza di costituenti inorganici a scarsa organizzazione cristallina e di composti organici esercita influenza sui meccanismi di scambio ionico dei suoli vulcanici. Le entità definite dalla presenza di ferro e di alluminio « attivo » (ferridrite, goethite, gibbsite, imogolite, allofani, materiali allofanosimili, ioni polimerici idrossi-alluminio, complessi alluminio e ferro umici) presentano comportamento anfotero. Conseguentemente, l'attività chimico-fisica delle superfici risulta dipendente dal grado di reazione del sistema, dalla natura e dalla concentrazione dei cationi e degli ioni in soluzione, e dalla temperatura. Nei materiali allofanici, tuttavia, anche la presenza di alluminio in coordinazione 4 potrebbe contribuire a definire cariche negative permanenti.

In figura (Figura 17) viene rappresentata la variazione con il pH del numero di cariche negative e positive che determinano il valore della capacità di scambio cationico (CSC) e della capacità di scambio anionico (CSA). La carica netta è calcolata utilizzando le equazioni Nernst e Gouy-Chapman (35).

Per i suoli contenenti imogolite e allofani caratterizzate da valore del rapporto molare $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1$, la CSC diminuisce con gradualità all'abbassarsi della concentrazione di soluzioni saline diverse (Figura 18) (35).

La diretta proporzionalità esistente tra densità della carica netta superficiale e radice quadrata della concentrazione salina (equazione di Gouy-Chapman) non è sufficiente a chiarire questo andamento.

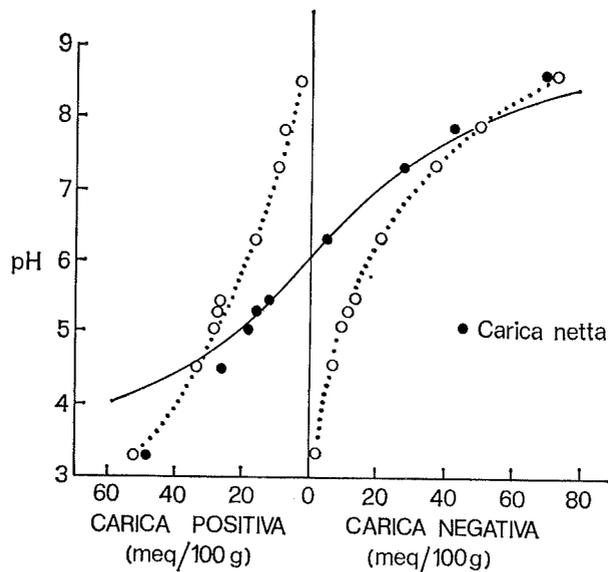


Figura 17 - Effetto del pH sulle cariche negative e positive dell'alofane (frazione $< 2 \mu\text{m}$ separata da deposito di pomice alterata; valore del rapporto molare $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pari a 1.43. La carica netta (linea continua) è stata calcolata utilizzando le equazioni di Nerst e di Gouy-Chapman (da Wada, 1977).

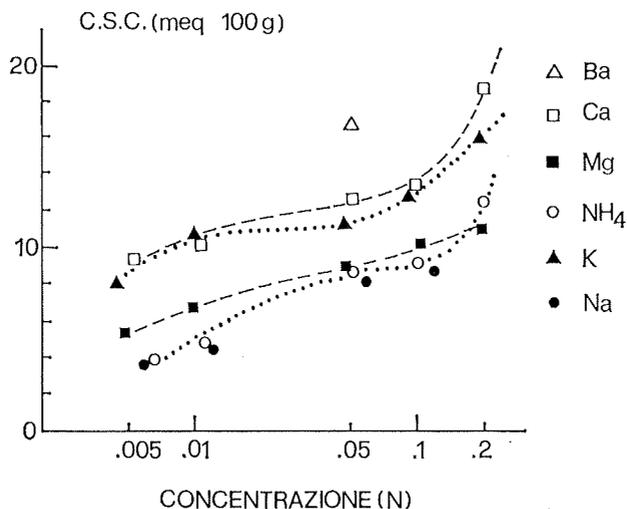


Figura 18 - Effetto della concentrazione di soluzioni saline diverse sul valore della capacità di scambio cationico (CSC) di un Andisuolo caratterizzato dalla presenza di imogolite e allofani (valore del rapporto molare $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pari a 1.0) (da Wada, 1977).

Differenze nell'energia di legame tra protoni e cationi scambiati potrebbero, invece, dar conto del diverso comportamento dei vari cationi.

Incremento del valore della CSC si evidenzia al progressivo aumento della temperatura, inizialmente, fino a 50°C, per più elevato contributo di gruppi OH e/o COOH ionizzati, successivamente, per crescente disponibilità allo scambio di siti Al-OH risultanti dalla distorsione strutturale di entità mineralogiche riferibili ad allofane e imogolite.

Per la comprensione della natura dell'adsorbimento ionico su costituenti minerali a carica variabile è necessaria la conoscenza della possibile distribuzione di cationi e anioni sulle superfici di questi.

In figura (Figura 19) viene schematizzato il tipo di legame che trattiene gli ioni sulle superfici anfotere di una ipotetica struttura cristallina. Si tratta di una rappresentazione estremamente semplificata tenuto conto che non è

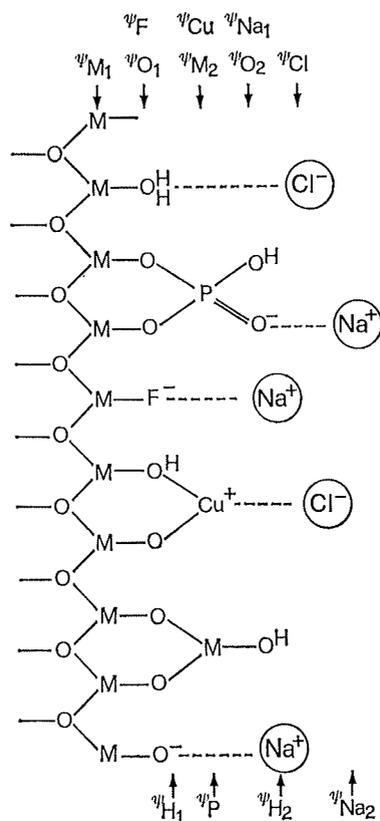


Figura 19 - Schematizzazione di alcuni possibili tipi di adsorbimento ionico sulle superfici anfotere di una ipotetica struttura cristallina (da Bowden, *et al.*, 1980).

reale ipotizzare l'adsorbimento di uno ione (per esempio un protone) su un solo piano caratterizzato da un singolo valore di energia.

Sono evidenti diversi piani di potenziale che rappresentano i centri di carica di differenti specie ioniche che possono formare legame di coordinazione con le superfici (per esempio gli ioni rame e fosfato) o bilanciare cariche elettrostatiche pur restando in fase liquida (per esempio gli ioni sodio e cloruro) (4).

Per una descrizione completa dell'adsorbimento di cationi operato da superfici a carica variabile devono essere considerate differenti le costanti di legame per ioni diversi.

Gli ioni metallici alcalini e alcalino terrosi sono fissati solamente quando le superfici risultano caricate negativamente.

Per il valore molto basso della costante di legame, non riescono, infatti, a coordinarsi con i centri elettrofili presenti sulle superfici minerali. Tuttavia, gli ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} possono risultare molto intensamente fissati dagli Andisuoli.

E' stato dimostrato che a valori di pH maggiori di 6 questi ioni non risultano facilmente scambiabili.

Per la definizione di fenomeni di carenza e di inquinamento molta importanza riveste l'adsorbimento di metalli pesanti sulle superfici anfotere degli scambiatori presenti nei suoli vulcanici.

Ioni Pb^{2+} , CO^{2+} , Zn^{2+} e Ni^{2+} sono specificamente adsorbiti dalle superfici attive con incrementi quantitativi notevoli all'aumentare del grado di reazione. In generale, la selettività con cui i costituenti allofanici adsorbono i metalli pesanti decresce secondo l'ordine seguente Pb , $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Co}$, Cd . E' stato messo in evidenza che le superfici calcio saturate adsorbono più elevate quantità di micronutrienti rispetto alle superfici che naturalmente si presentano acide o debolmente acide. Questo accertamento indica una forte competizione per i siti di scambio tra protoni e cationi metallici. Risulta, infine, notevole il ruolo della sostanza umica nel complessare stabilmente ioni metallici (36).

Determinante per la valutazione della fertilità dei suoli vulcanici è l'adsorbimento anionico.

I rapporti degli anioni con le superfici di alluminosilicati non cristallini sono definiti da tre diversi meccanismi di reazione: adsorbimento non specifico, adsorbimento specifico e decomposizione delle strutture minerali.

L'adsorbimento non specifico consiste nella immobilizzazione di anioni dovuta al realizzarsi di legami elettrostatici con siti di carica positiva presenti sui gruppi Al-OH_2 e Fe-OH_2 .

Esempio di adsorbimento non specifico è quello degli ioni nitrato e cloruro. L'adsorbimento specifico, invece, porta all'inserimento dell'anione come legante nella sfera di coordinazione di atomi di Al o di Fe con conseguente spostamento di gruppi OH o $(\text{OH}_2)^+$ o di ioni solfato o silicato già presenti

sugli scambiatori (Figura 20) (25). Gli ioni fissati con doppio legame di coordinazione sono adsorbiti in modo quasi irreversibile. In ogni caso l'anione adsorbito specificamente non viene rimosso dalle superfici per scambio con un anione fissato in modo non specifico. Il processo è pH dipendente. Le quantità di anioni adsorbiti specificamente possono risultare aumentate in conseguenza della decomposizione dell'organizzazione strutturale degli scambiatori e della formazione di entità insolubili (22, 23).

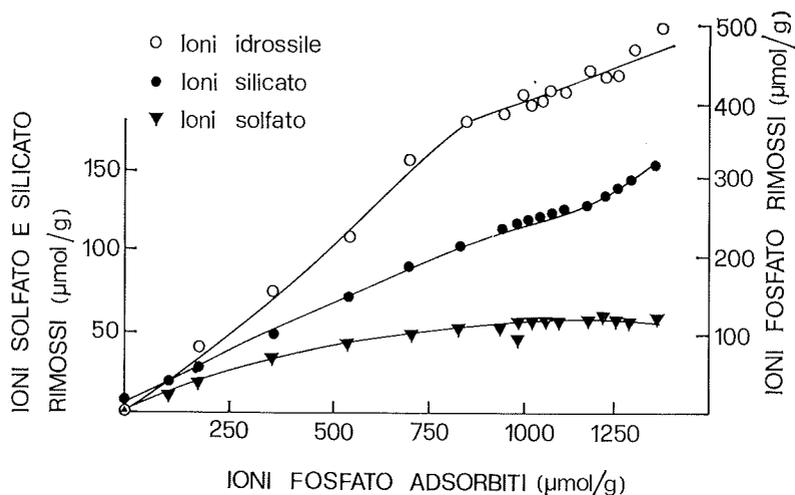


Figura 20 - Relazione tra le quantità di ioni fosfato adsorbiti in modo specifico sulle superfici degli scambiatori non cristallini presenti in un Andisuolo e le quantità di ioni ossidrile, solfato o silicato spostate (da Rajan, 1975).

Esempio di adsorbimento specifico è quello dello ione fosfato.

Gli Andisuoli adsorbono elevata quantità di fosfato.

Valore del coefficiente di adsorbimento del fosfato (CAF) maggiore di 1500 (mg di P_2O_5 fissate da 100 g di campione di suolo secco all'aria da 200 ml di soluzione al 25% di fosfato ammonico a pH 7) viene utilizzato per definire i caratteri di allofanicità degli Andisuoli.

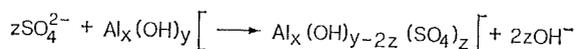
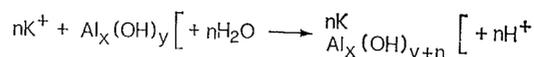
L'elevato adsorbimento di questo essenziale elemento nutritivo viene oggi attribuito oltre che ai costituenti allofanici e all'imogolite anche alle forme di alluminio « attivo » presenti nelle entità polimeriche di ioni idrossi-alluminio e nei complessi umici.

A concentrazioni molto alte, gli ioni fosfato possono provocare decomposizione delle organizzazioni strutturali degli alluminosilicati con liberazione di gruppi SiO_4 .

Considerata l'elevata concentrazione di fosforo (maggiore di 3000 $\mu\text{moli/cc}$) e i valori del grado di reazione ($\text{pH} = 3$) che si realizzano nella soluzione del suolo in prossimità di granuli di concimi fosfatici, deve ritenersi frequente l'immobilizzazione del nutriente conseguente a disgregazione delle strutture non perfettamente definite. Indagini di laboratorio hanno messo in evidenza che per rapida decomposizione di materiale allofanico, provocata in ambiente debolmente acido da soluzioni di fosfato potassico e di fosfato ammonico, è possibile ottenere fasi separate di taranakite ($\text{K}_3\text{H}_6 \cdot \text{Al}_5 (\text{PO}_4)_8 (\text{H}_2\text{O})_{18}$) o di taranakite NH_4 -sostituita.

Carenza di zolfo si accerta frequentemente in piante coltivate in suoli vulcanici capaci di fissare quantità notevoli di ioni SO_4^{2-} .

In Andisuoli italiani sono state riportate come dpH le differenze tra i valori del grado di reazione misurati in soluzioni 0.05 N di solfato e di cloruro di sodio e di potassio, in presenza, cioè, di anioni rispettivamente fortemente e molto debolmente adsorbiti. In accordo con il meccanismo di reazione riportato:



valori positivi di dpH costituiscono indicazione di prevalenza sullo scambio cationico di adsorbimento anionico specifico e possono fornire indicazione di presenza nel suolo di materiali capaci di fissare quantità elevata di ioni solfato.

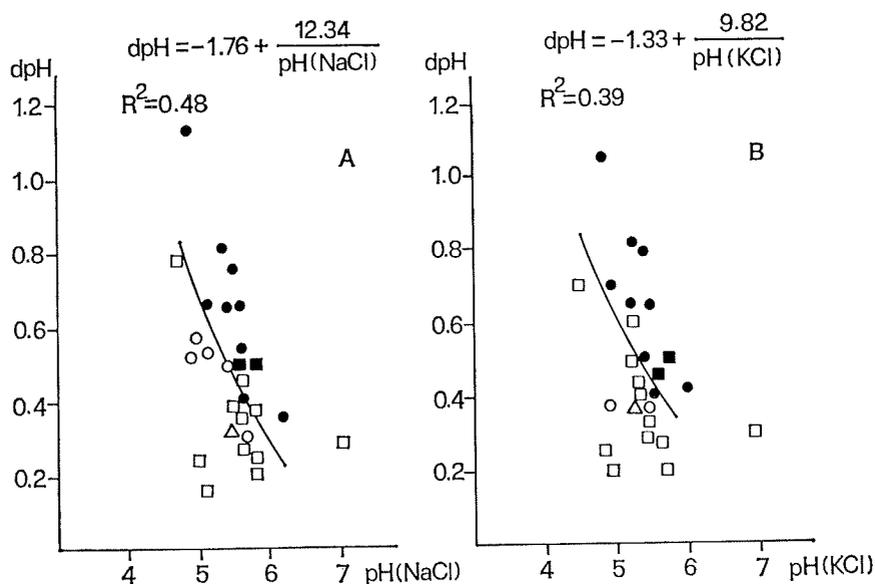
In grafico (Figura 21) vengono riportate le variazioni di dpH calcolate dai valori di pH misurati in presenza di sali di sodio e di potassio, in funzione del grado di reazione del sistema accertato in presenza dei cloruri degli stessi cationi.

Sembra confermato l'aumento di adsorbimento specifico di solfati al diminuire, entro certi limiti, del valore di pH .

Le curve costruite utilizzando i valori teorici di dpH , stimati con calcolo statistico, suggeriscono una relazione tra grado di reazione del sistema e adsorbimento specifico di ioni SO_4^{2-} espresso come incremento di concentrazione idrossilonica.

Ciascuna curva costituisce linea di demarcazione tra valori calcolati per campioni caratterizzati da maggiore o minore capacità di adsorbire anioni chiarendo le cause dell'accertamento di valori di R^2 scarsamente significativi (30).

L'attività chimico-fisica delle superfici delle entità mineralogiche, con organizzazione cristallina più o meno definita, presenti nei suoli vulcanici, determina lo stato e la disponibilità dei nutrienti e condiziona i meccanismi responsabili della nutrizione delle piante (3).



- Orizzonti A di suoli a bassa capacità di fissare ioni solfato
- Orizzonti A di suoli ad elevata capacità di fissare ioni solfato
- Orizzonti B di suoli a bassa capacità di fissare ioni solfato
- Orizzonti B di suoli ad elevata capacità di fissare ioni solfato
- △ Orizzonti C di suoli a bassa capacità di fissare ioni solfato

Figura 21A - Relazione tra i valori di pH misurati in soluzione di NaCl 0.05 N e valori calcolati di dpH ($pH Na_2SO_4 - pH NaCl$).

Figura 21B - Relazione tra valori di pH misurati in soluzione di KCl 0.05 N e valori calcolati di dpH ($pH K_2SO_4 - pH KCl$) (Violante *et al.*, 1981).

E' ben noto che il rame è un elemento essenziale per lo sviluppo dei vegetali.

Sono stati accertati in aree vulcaniche intensamente coltivate, fenomeni di sterilità del frumento conseguenti, in carenza di rame, a mancato accumulo di amido nel polline.

Sembra accertato che una concentrazione nel suolo di rame solubile inferiore a 0.2 ppm possa provocare notevole diminuzione della produzione di cariossidi.

Nelle aree interessate dai fenomeni di sterilità del frumento non è stata messa in evidenza relazione tra contenuto totale di rame e concentrazione di rame solubile, e tra questa e quantità di humus (Figure 22 e 23). E' stata

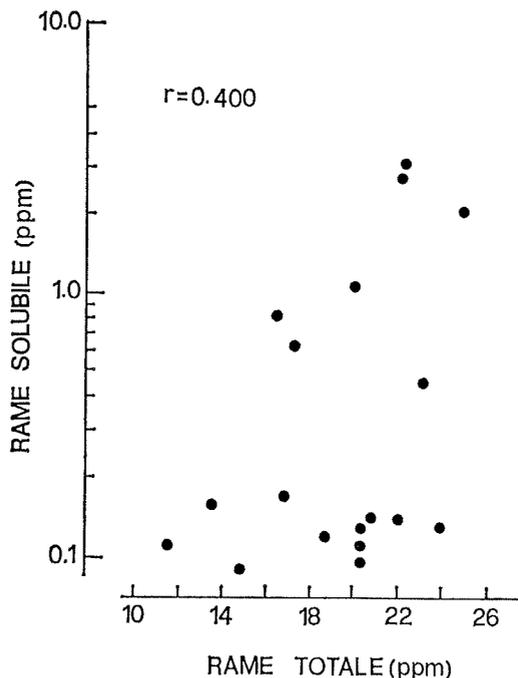


Figura 22 - Relazione tra le quantità di Cu solubile e di Cu totale determinate in un Andisuolo (da Mizuno e Kamada, 1982).

accertata, invece, inversa proporzionalità tra rame solubile e valore di pH misurato in soluzione 1 N di NaF (Figura 24).

Alla presenza di costituenti allofanici e allofane simili devono essere attribuiti, in modo prevalente, l'immobilizzazione del rame e i conseguenti fenomeni di carenza (20).

Dalla quantità di metallo determinata nelle diverse parti epigee del frumento, risulta, però, difficile individuare condizioni di sterilità o possibile diminuzione della produzione, da imputare a scarsa disponibilità di rame.

I dati riportati in tabella (Tabella 7) dimostrano che è la spiga la parte della pianta che presenta più marcata variazione della concentrazione di rame.

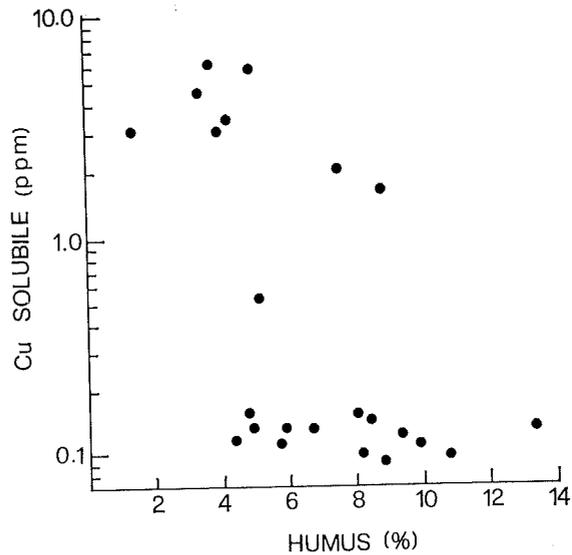


Figura 23 - Relazione tra le quantità di Cu solubile e di humus determinate in un Andisuolo (da Mizuno e Kamada, 1982).

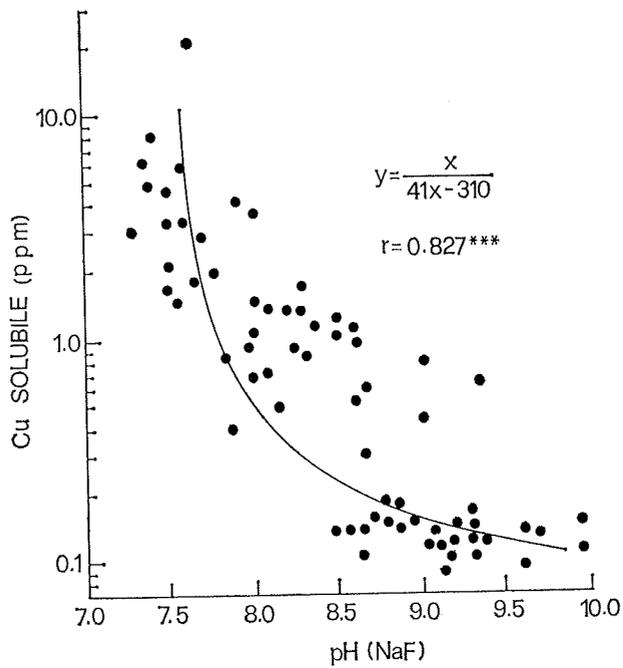


Figura 24 - Relazione tra la quantità di Cu solubile ed il valore di pH (in NaF) determinati in suoli di origine vulcanica (da Mizuno e Kamada, 1982).

Nel caso di piante non sviluppate o che non riescono a formare la spiga la determinazione quantitativa del contenuto di rame potrebbe dare valori anche più elevati di quelli misurati in piante normali per aumento relativo delle parti della pianta in cui la presenza del metallo è più rappresentata.

Dimostrato che le piante Cu-carenti aumentano la concentrazione di ferro, sembra possibile individuare meglio i fenomeni di sterilità dal valore del rapporto Cu:Fe.

TABELLA 7 - Contenuto (ppm) di rame in parti diverse della pianta di frumento (da Mizuno e Kamada, 1982).

Parti della pianta di frumento	Spiga	Foglia	Culmo
Sterile	0.83	2.00	1.05
Normale	2.80	2.90	1.09

Come riportato in figura (Figura 25) a valori del rapporto rame:ferro inferiori a 0.01 si accertano senza eccezioni condizioni di sterilità. Se si considera che valori maggiori di 0.02 si misurano generalmente nelle piante di frumento coltivate in suoli con contenuto normale di rame solubile, valori

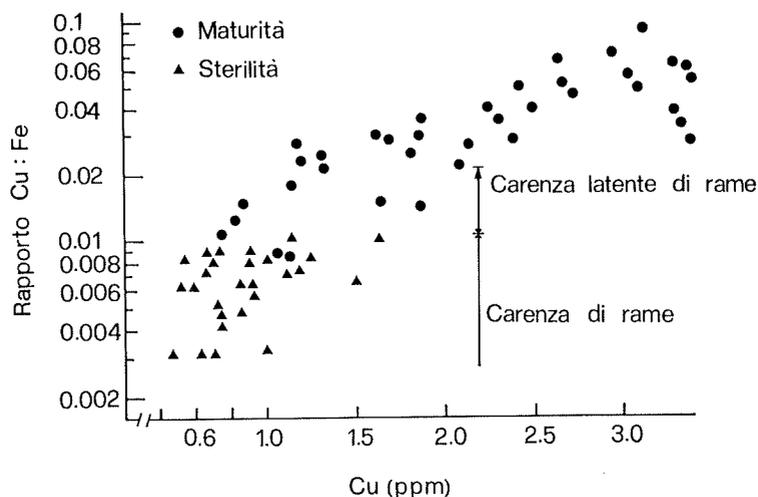


Figura 25 - Relazione tra valori del rapporto Cu:Fe, e del contenuto di Cu accertati in piante mature di grano, normali e sterili (da Mizuno e Kamada, 1982).

compresi tra 0.01 e 0.02 possono costituire indicazione di carenza latente di rame.

La somministrazione di $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ in quantità pari a 40 kg/ha consente di portare a livelli normali il contenuto di rame solubile nel suolo.

Nelle aree poste alle quote più elevate, dove si accertano i valori più bassi del grado di reazione, la fertilità dei suoli vulcanici può risultare condizionata da insufficiente contenuto di nutrienti, dalla scarsa disponibilità del fosforo e dello zolfo specificatamente, e da fenomeni di tossicità riferibili all'elevata concentrazione di alluminio.

Risulta estremamente difficile separare gli effetti della tossicità dell'alluminio da quelli della carenza di fosforo tenuto conto delle interazioni, dovute a complessazione e precipitazione, che, a livello radicale, nell'intervallo di pH fra 4.5 e 7.0, si stabiliscono tra questi due elementi. Mentre infatti l'alluminio presente nel sistema suolo può risultare solubile e tossico per le piante anche in presenza di un eccesso di fosforo se il grado di reazione resta a valori inferiori a 5.0, è pur vero che, in assenza di quantità sufficiente di fosforo, non si realizza completa disattivazione dell'alluminio a valori di pH anche prossimi alla neutralità, con conseguente persistenza di fenomeni di tossicità.

L'inibizione dello sviluppo radicale, associata a diminuita utilizzazione del fosforo, rappresenta il sintomo più evidente della tossicità dell'alluminio nelle specie vegetali più sensibili (10). E' stato accertato, altresì, che l'alluminio influisce sulla disponibilità, il trasporto e l'utilizzazione dei cationi monovalenti e bivalenti, in particolare del potassio, del calcio e del magnesio, sull'assorbimento dell'acqua e sull'attività enzimatica che si esplica nelle radici, favorisce la partecipazione alla nutrizione delle piante dell'azoto ammoniacale.

In Giappone, per compensare la scarsa disponibilità di fosforo, dovuta all'intenso adsorbimento operato dagli Andisuoli, viene in genere consigliata la somministrazione di quantità di fertilizzante fosfatico corrispondente al 10% del CAF (coefficiente di assorbimento del fosforo) (21).

La comparazione delle quantità di fosfati necessarie per ottenere il 95% della produzione massima di piante di avena coltivate in vaso, per raggiungere il valore di 0.2 ppm di fosforo in soluzione all'equilibrio secondo l'isoterma di adsorbimento (IAF) o corrispondenti al 10% del CAF ha permesso di confermare la validità del suggerimento (Tabella 8).

Tuttavia, prove sperimentali hanno messo in evidenza che la calcitazione (aggiunta di polvere di calce dolomitico sufficiente a portare il pH misurato in acqua al valore di 6.5) può incrementare la produzione di sostanza secca in piante di mais coltivate in suolo vulcanico per somministrazione di una quantità di $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ corrispondente solamente al 2% del CAF (1540 mg di $\text{P}_2\text{O}_5/100$ g) (Tabella 9).

Le variazioni della composizione della soluzione del suolo indotte congiuntamente dalla calcitazione e della fertilizzazione fosfatica sono riportati in Tabella 10.

TABELLA 8 - Quantità ottimale di fertilizzante fosfatico da somministrare a suolo vulcanico valutata con metodologia diversa (mg P₂O₅/100 g) (modificata da Nunozawa e Tanaka, 1984).

Suolo	1	2	3
Kuromatsunai (orizzonte superficiale)	100	154	180
Kuromatsunai (orizzonte profondo)	120	209	340

- 1 - Quantità di P₂O₅ necessaria per ottenere il 95% della produzione massima
- 2 - Quantità di P₂O₅ corrispondente al 10% del CAF
- 3 - Quantità di P₂O₅ necessaria per aggiungere il valore di 0.2 ppm di fosforo in soluzione all'equilibrio

TABELLA 9 - Quantità di sostanza secca (g/vaso) in piante di mais coltivate in vaso in suolo vulcanico con o senza somministrazione di correttivo e/o di fertilizzante fosfatico (modifica da Nunozawa e Tanaka, 1984).

Somministrazione		Sostanza secca (g/vaso)
Polvere di dolomite	Fertilizzante fosfatico	
—	—	1.05
—	+	7.44
+	—	1.17
+	+	16.53

La calcitazione dei suoli vulcanici, però, deve essere attuata con particolare attenzione dopo aver considerato le specifiche proprietà dei costituenti minerali a carica variabile.

La disponibilità per le piante di ioni fosfato conseguente a calcitazione risulta, infatti, funzione di due opposti processi. Se da una parte l'aumento dei valori di pH, provocando diminuzione degli effetti tossici dell'alluminio, crea le premesse per una migliore utilizzazione degli ioni fosfato, la trasfor-

mazione dell'alluminio di scambio in ioni polimerici idrossi-alluminio rende disponibili, dall'altra parte, nuove superfici particolarmente attive nell'adsorbimento del fosforo.

TABELLA 10 - Composizione della soluzione di suolo vulcanico indotta da somministrazione di correttivo e/o di fertilizzante fosfatico (modificata da Nunozawa e Tanaka, 1984).

Somministrazione	Polvere di dolomite	—	+
	Fertilizzante fosfatico	—	+
pH		5.7	7.0
NH ₄ -N		3.46	0.71
NO ₃ -N		0.04	2.96
P (ppm)		tracce	0.046
K (ppm)		3.0	2.6
Ca (ppm)		1.3	10.7
Mg (ppm)		1.2	8.1
Al (ppm)		tracce	tracce

I prodotti della reazione idrolitica dell'alluminio possono formarsi come entità discrete, complessarsi con i costituenti umici (Figura 26), ricoprire le originarie superfici definite da comportamento anfotero (27).

La calcitazione per arrivare alla quasi completa neutralizzazione di tutto l'alluminio presente può, di conseguenza, non risultare efficace per migliorare l'utilizzazione del fertilizzante fosfatico (11).

E' stato accertato, tuttavia, che, anche se alcuni costituenti solubili, organici ed inorganici, possono mantenere in forma non cristallina gli ioni polimerici idrossi-alluminio, la perdita di acqua dal suolo favorisce in genere, la cristallizzazione di queste entità. Devono essere valutati, pertanto, con molta attenzione i tempi più adatti per la somministrazione del fertilizzante fosfatico e dei materiali utilizzati per la correzione del grado di reazione (10).

Scarsa disponibilità di micronutrienti può risultare dall'impiego di elevata quantità di correttivo.

Deve essere considerata, infine, in modo adeguato l'azione stimolante della calcitazione sul processo di mineralizzazione del fosforo organico conseguente all'instaurarsi di ambienti più favorevoli all'attività microbica e, con molta probabilità, all'incremento della solubilità e dell'accessibilità di esteri fosforici (18).

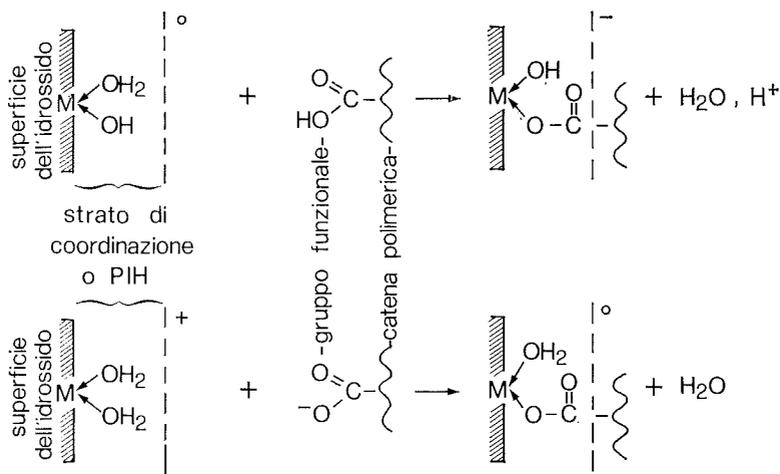


Figura 26 - Schematizzazione dell'adsorbimento di acido umico o di acido fulvico sulle superfici di un idrossido di alluminio a scarso ordine cristallino. L'entrata di un gruppo funzionale (carbossile) dell'acido nello strato di coordinazione o piano interno di Helmholtz (P.I.H.) provoca la liberazione delle molecole di acqua inizialmente coordinate all'alluminio (modificata da Tate e Theng, 1980).

BIBLIOGRAFIA

- (1) AOMINE S., KOBAYASHI Y. - Effects of allophane on the enzymatic activity of alfa-protease. *Soil Sc. Plant Nutr.*, 10: 28, 1964.
- (2) AOMINE S., KOBAYASHI Y. - Effects of allophanic clays on the enzymatic activity of beta-amylase. *Soil Sc. Plant Nutr.*, 12: 7, 1966.
- (3) BARROW N.J. - Retention of anions and cations with variable charge soils. *Adv. Agron.*, 38: 183, 1985.
- (4) BOWDEN J.W., POSNER A.M., QUIRK J.P. - Adsorption and charging phenomena in variable charge soils. *Soils with variable charge* (Edt. B.K.G. Theng). New Zealand Society of Soil Science, 147, 1980.
- (5) BROWN G., NEWMAN A.C.D., RAYNER J.K., WEIR A.H. - The structure and chemistry of soil clay minerals. *The chemistry of soil constituents* (Edts. D.J. Greenland and M.H.B. Hayes). J. Wiley & Sons Ltd., London, 29: 178, 1978.
- (6) BURN R.G. - Interaction of enzyme with soil mineral and organic colloids. *Interaction of soil minerals with natural organics and microbes* (Edts. P.M. Huang and M. Schnitzer). SSSA Special Publication Number 17, Madison U.S.A., 429, 1986.
- (7) CRADWICK P.D.G., FARMER V.C., RUSSELL J.D., MASSON C.R., WADA K., YOSHINAGA N. - Imogolite, a hydrated aluminium silicate of tubular structure. *Nature Phys. Sci.*, 240: 187, 1972.
- (8) CUPO C. - Sviluppo dell'imprenditoria agricola del Mezzogiorno dal dopoguerra ad oggi. Guida Editori, Napoli, 104 pp., 1987.
- (9) FARMER V.C., FRASER A.R., TAIT J.M., PALMIERI F., VIOLANTE P., NAKAI M., YOSHINAGA N. - Imogolite and proto-imogolite in an italian soil developed on volcanic ash. *Clay Miner.*, 13: 271, 1977.
- (10) FOX R.L. - Soils with variable charge: agronomic and fertility aspects. *Soils with variable charge* (Edt. B.K.G. Theng) New Zealand Society of Soil Science, 195, 1980.

- (11) HAYNES R. J. - Effects of liming on phosphate availability in acid soils. A critical review *Plant and Soil*, 68: 289, 1982.
- (12) HUANG P. M., VIOLANTE A. - Influence of organic acids on crystallization products of aluminum. Interactions of soil minerals with natural organics and microbes (Edts. P.M. Huang and M. Schnitzer). SSSA Special Publication Number 17, Madison U.S.A., 159, 1986.
- (13) INOUE K., HUANG P. M. - Influence of citric acid on the natural formation of imogolite. *Nature (London)*, 308: 58, 1984.
- (14) KUBOTA T. - Aggregate formation of allophanic soils: effect of drying on the dispersion of soils. *Soil Plant Nutr.*, 18: 79, 1972.
- (15) LEAMY M. L., SMITH G. D., SOLMET-DAAGE, OTAWA M. - The morphological characteristics of andisols. Soil with variable charge (Edt. B.K.G. Theng) New Zealand Society of Soil Science, 17, 1980.
- (16) MAEDA T., SOMA K., SASAKI S. - Studies on the relationship between physical properties and organic matter content of soil. *Trans. JSIDRE* 61: 9, 1976.
- (17) MAEDA T., TAKENAKA H., WARKETIN B. P. - Physical properties of allophane soils. *Adv. Agron.* 29: 229, 1977.
- (18) MAHILUM B. C., FOX R. L., SILVA J. A. - Residual effects of liming volcanic ash soils in the humid tropics. *Soil Sci.*, 100: 102, 1970.
- (19) MARTIN J. P., HAIDER K. - Influence of mineral colloids on turnover rates of soil organic carbon. Interactions of soil minerals with natural organics and microbes (Edts. P.M. Huang and M. Schnitzer). SSSA Special Publication Number 17, Madison U.S.A., 283, 1986.
- (20) MIZUNO N., KAMADA K. - Method of judging copper deficiency from the concentration of soluble copper in soils and the copper: iron ratio in wheat plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 28: 27, 1982.
- (21) NUNOZAVA F., TANAKA A. - Comparison of nutrient management among acid soils differing in phosphorus fixation capacity and cation exchange capacity. *Soil Sci. Plant Nutr.* 30: 51, 1984.
- (22) PARFITT R. L. - Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agron.*, 30: 1, 1978.
- (23) PARFITT R. L. - Chemical properties of variable charge soils. Soils with variable charge (Edt. B.K.G. Theng) New Zealand Society of Soil Science, 167, 1980.
- (24) PARFITT R. L., HENMI T. - Structure of some allophanes from New Zealand. *Clays Clay Miner.*, 28: 285, 1980.
- (25) RAJAN S.S.S. - Mechanism of phosphate adsorption by allophane clays. *N.Z.J. Sc.*, 18: 93, 1975.
- (26) SOIL CONSERVATION SERVICE - USDA - Soil Taxonomy Agriculture Handbook No. 436, 754 pp., 1975.
- (27) TATE K. R., THENG B.K.G. - Organic matter and its interactions with inorganic constituents. Soils with variable charge (Edt. B.K.G. Theng) New Zealand Society of Soil Science, 225, 1980.
- (28) TUNCER E. R., LOHNES R. A., DEMIREL T. - Dessiccation of soils derived from volcanic ash. National Academy of Sciences, Washington D.C. Transportation Research Record No. 642: 44, 1977.
- (29) VIOLANTE P., VIOLANTE A. - L'halloysite sferoidale nei suoli del Vulture. *Agrochimica*, 21: 513, 1977.
- (30) VIOLANTE P., VIOLANTE A., SCOGNAMIGLIO A. - La misura del pH per la caratterizzazione dei suoli vulcanici. *Agrochimica* 25: 459, 1981.
- (31) VIOLANTE A., VIOLANTE P. - Influence of pH, concentration and chelating power of organic anions on the synthesis of aluminum hydroxides and oxyhydroxides. *Clays Clay Miner.* 28: 425, 1980.
- (32) VIOLANTE P., WILSON M. J. - Mineralogy of some italian andosols with special reference to the origin of the clay fraction. *Geoderma* 29: 157, 1982.
- (33) WADA K. YOSHINAGA N. - The structure of imogolite. *Amer. Miner.* 54: 50, 1969.

- (34) WADA K., HARWARD M. E. - Amorphous clay constituents of soil. *Adv. Agron.* 26: 211, 1974.
- (35) WADA K. - Allophane and imogolite. *Minerals in Soil Environments* (Edts. J.B. Dixon and S.B. Weed). S.S.S.A. Inc. Madison Wisconsin U.S.A., 603, 1977.
- (36) WADA K. - Mineralogical characteristics of andisols. *Soils with variable charge* (Edt. B.K.G. Theng) New Zealand Society of Soil Science, 87, 1980.
- (37) WARKETIN B. P., MAEDA T. - Physical and mechanical characteristic of andisols. *Soils with variable charge* (Edt. B.K.G. Theng) New Zealand Society of Science, 281, 1980.
- (38) WESLEY L. D. - Some basic engineering properties of halloysite and allophane clays in Java, Indonesia. *Geotechnique*, 23: 471, 1973.
- (39) ZUNINO H., BORIE F. AGUILERA S. MARTIN J. P., HAIDER K. - Decomposition of ¹⁴C-labeled glucose, plant and microbial products, and phenols in volcanic ash-derived soils of Chile. *Soil Biol. Biochem.*, 14: 37, 1982.

The determination of plant available nitrogen in the soil
and its importance to characterize soil fertility

KALMAN NÉMETH

INTRODUCTION

The range of optimum nitrogen supply tho the plant is rather small compared to the optimum range of phosphate or potassium fertilizer amounts. Yield depressions may result from either nitrogen deficiency or excess of nitrogen. To predict the nitrogen fertilizer requirements it is therefore necessary to have informations about :

- a) the nitrogen demand of a given crop, which depends on the yield potential (productivity potential) of a site
- b) the amount of the plant available nitrogen in the soil, which can be supplied to the plant roots during the vegetation period
- c) the amount of nitrogen fertilizer to be applied to the soil in order to raise the plant available amounts to the required values (calculation of nitrogen fertilizer requirements).

This paper will explain how to obtain the above required information by means of electro-ultrafiltration (EUF).

DETERMINATION OF PLANT AVAILABLE NITROGEN IN THE SOIL BY MEASUREMENT OF MINERAL NITROGEN

In arable soils, nitrate is the most important form of absorbable nitrogen, as the amount of nitrate present in these soils is almost available. This is the basis of the measurement of mineral nitrogen to predict the N fertilizer requirement (1, 4, 16, 20, 21, 23).

Measurements of mineral nitrogen (N_{\min} analysis) carried out once a year is, however, not able to characterize the amount of nitrate mobilized during

the vegetation period by mineralization, N fixed by symbiotic organisms during the growing period nor the amount of ammonium-nitrogen desorbed from clay minerals with selective binding sites for NH_4^+ ions in the interlayers (22). This nitrogen supply during the vegetation period can, however, play a decisive role in N uptake by crops with a long vegetation period (e.g. sugar beet).

The shorter the vegetation period is, the less nitrogen will be mineralized. In Canada, Soper and Huang (1963) and Nyborg *et al.* (1976) found very close correlations between the contents of nitrate nitrogen in the soil profile and the nitrogen requirements of cereals. Due to the climatic conditions prevailing in Canada the N_{min} content can be determined after harvest, since the soil freezes in autumn, and therefore no nitrogen is translocated into the deeper soil layers during the winter. Application of N_{min} analysis is therefore less problematic in these regions.

In temperate climatic regions like e. g. in Central Europe where the soil is not permanently frozen during the autumn and winter months, translocation of nitrate nitrogen into the deeper soil layers can easily occur. Consequently the N_{min} contents in the soil profile must be determined in February within a short period of 2 - 3 weeks. Moreover, the soil samples have to be kept cool to avoid mineralization of soil nitrogen due to higher temperatures. This makes N_{min} analysis laborious and costly.

As previously mentioned, the amount of nitrate nitrogen mobilized through mineralization of soil organic nitrogen during the vegetation period cannot be estimated with N_{min} analysis carried out once a year. Since this N release can vary between 30 - 160 kg N/ha it is advisable to extract an easily mineralizable organic nitrogen fraction by soil analysis.

DETERMINATION OF PLANT AVAILABLE INORGANIC AND ORGANIC SOIL NITROGEN BY MEANS OF EUF

Principle of EUF-system

The electro-ultrafiltration (EUF) is a combination of electro-dialysis and ultrafiltration (7, 9, 10). The soil nutrients are extracted by water, not by extracting solutions containing different chemical substances. Figure 1 shows a schematic diagram of the EUF-system. The soil sample is placed into compartment A, suspended in water and stirred during the extraction. The temperature in the middle cell (A) is controlled. Platinum net electrodes with micropore filter discs separate the middle cell from compartments B and C. The separation of nutrient cations and anions is carried out by applying direct current. The migration of ions through the filters is supported by using vacuum in sections B and C. The rate of ion migration in EUF is proportional to the field strength and the temperature and is inversely proportional to the binding power of the ions in the soil. Variation of the current, the temperature

and the time makes it possible to collect and separate a number of well defined fractions of nutrients like nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, calcium, aluminium, iron, manganese, boron etc. The extraction time is 35 - 40 minutes (7, 8, 9, 10).

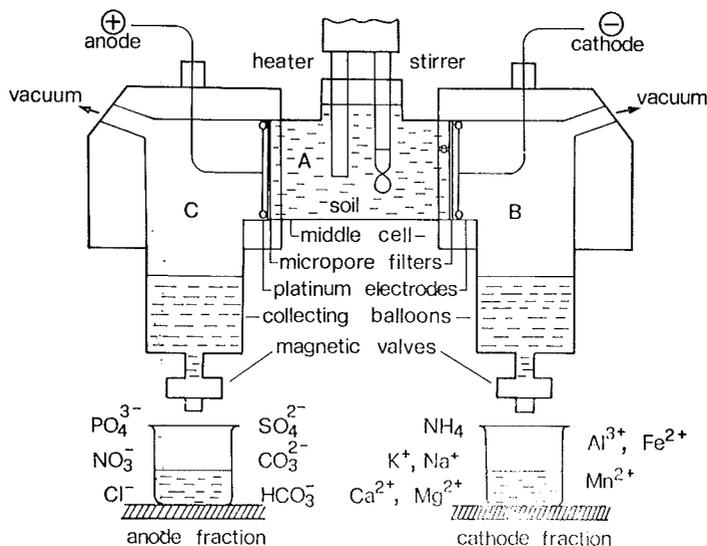


Figure 1 - Electro-ultrafiltration system

EUF nitrogen fractions

In the EUF procedure the NO_3^- ions are collected at the anode, while the NH_4^+ ions are transferred to the cathode. Depending on their electric charge, organic N compounds are extracted anodically as well as cathodically. According to recent investigations this organic EUF-N fraction contains amino acids and other low-molecular weight organic compounds (15).

Automatic determination of EUF nitrogen fractions

Since the EUF extracts are as clear as water, the measurement of nitrate possess no problem. It can be automatically and rapidly determined with an Auto Analyser.

The organic N compounds extracted by EUF are not reduced to NH_3 as commonly practiced with the Kjeldahl method but oxidized to NO_3^- . By this procedure the EUF-N compounds are selected according to their oxidizability. Only those organic N compounds will be recovered that are oxidized to NO_3^- within 15 min by peroxodisulfate under ultraviolet radiation as, for

instance, ammonium, alanine, asparagine, glutamine, glycine etc. (6). NO_3^- and NH_4^+ ions which are already present in the EUF extracts are also obtained together with the organically bound EUF-N. They can, however, be measured before oxidative digestion separately.

EUF-N FRACTIONS TO CHARACTERIZE THE N STATUS OF SOILS

EUF- NO_3 fraction

A close correlation exists between the quantities of EUF- NO_3 -N obtained within 35 min and the quantities of N_{min} nitrate (5). The quantities of EUF- NO_3 -N (mg/kg soil) are, however, higher than the N_{min} contents (mg/kg soil). The reason is probably that part of the easily soluble organic N compounds are mineralized to NO_3^- during the drying procedure of the soil sample before EUF extraction. Some of the easily soluble organic N compounds can also be oxidized to NO_3^- at the anode during the EUF extraction.

EUF- N_{org} fraction

The EUF- N_{org} fraction contains mainly organic N compounds and characterizes the easily mineralizable N compounds of a soil. Due to the conditions of measurement, the EUF- N_{org} fraction contains also the NH_4^+ ions of the soil solution and the easily desorbable NH_4^+ ions. According to Schachtschabel (1961) and Scherer and Mengel (1979) the contents of exchangeable NH_4^+ are in most cases rather low, namely 0.02 to 0.17 mg/100 g soil. They can be neglected, as the EUF- N_{org} contents of agriculturally utilized soils are in the range of 1.0 - 3.0 mg/100 g. In grassland and forest soils the EUF- N_{org} contents attain values of 10 - 20 mg/100 g or more. It is therefore justified to call this EUF-N fraction as « EUF- N_{org} ».

The EUF- N_{org} fraction consists of 3 - 14% of free amino acids. In this connection we must take into consideration that these amounts of free amino acids are based on the amino acid analysis after EUF extraction. It is feasible that during the EUF treatment some amino acids are converted into other N forms, e. g. into imino acids. These are not recorded by the amino acid analyzer. Nevertheless, the N of these compounds will be present in the EUF extract (in the EUF- N_{org} fraction) and therefore analysed in the normal procedure of N analysis in EUF extracts.

A close correlation was found between the EUF- N_{org} contents and the amounts of free amino acids. Figure 2 shows this relationship, which can be expressed by the following equation:

$$y = -0.25 + 0.51x - 0.03x^2$$

$$r = 0.87^{\text{xxx}}$$

According to Figure 2 the amino acid content increased rapidly with increasing EUF-N_{org} content. However, at nearly equal contents of EUF-N_{org}, the amounts of amino acids were higher, the lower the N_Q values were (N_Q means EUF-N_{org}/EUF-NO₃-N). This EUF-N_Q value seems to characterize the microbiological activity of a soil, especially in soils with high EUF-N_{org} content.

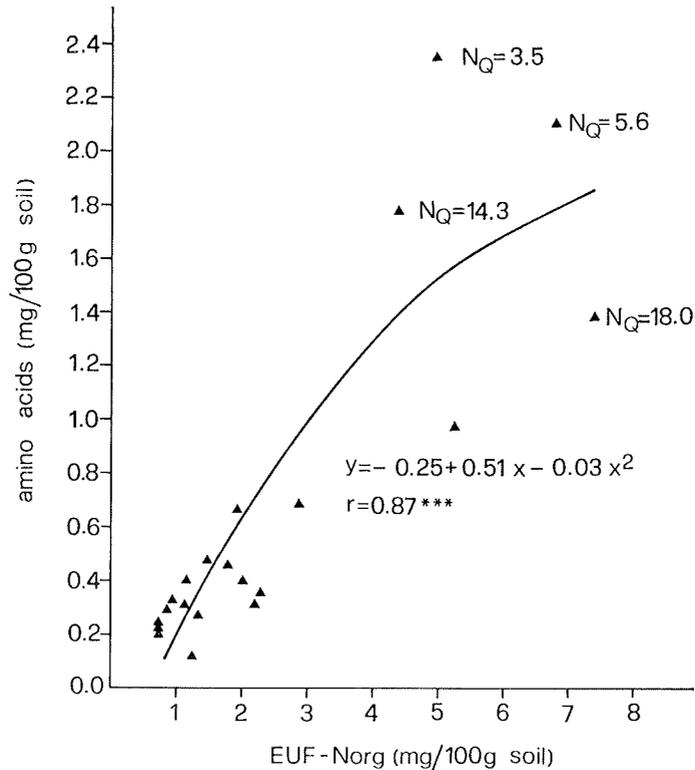


Figure 2 - Relationship between EUF-N_{org} and amino acid contents in agricultural and forest soils.

Therefore, close correlations exist between the Ellenberg nitrogen numbers (indicator for N supply) for grassland soils and the trophic levels of forest soils on the one hand and the EUF-N_{org}/EUF-NO₃-N quotient values on the other. These relationships can be used to characterize the N supply of grassland and forest soils (12, 13, 14, 15).

In the EUF-N_{org} fraction glutamic acid, aspartic acid, serine, glycine and alanine were the primary components, i. e. those amino acids, which parti-

cipate markedly in the cell wall development of soil microorganisms. Therefore a positive correlation was found between the EUF-N_{org} fraction and the microbial biomass in the soil. Figure 3 shows this correlation. It can clearly be seen that with increasing amounts of EUF-N_{org} the contents of « biomass-C » increased. However, at equal amount of EUF-N_{org}, the contents of « biomass-C » were very different. These differences depended upon the EUF-N quotients,

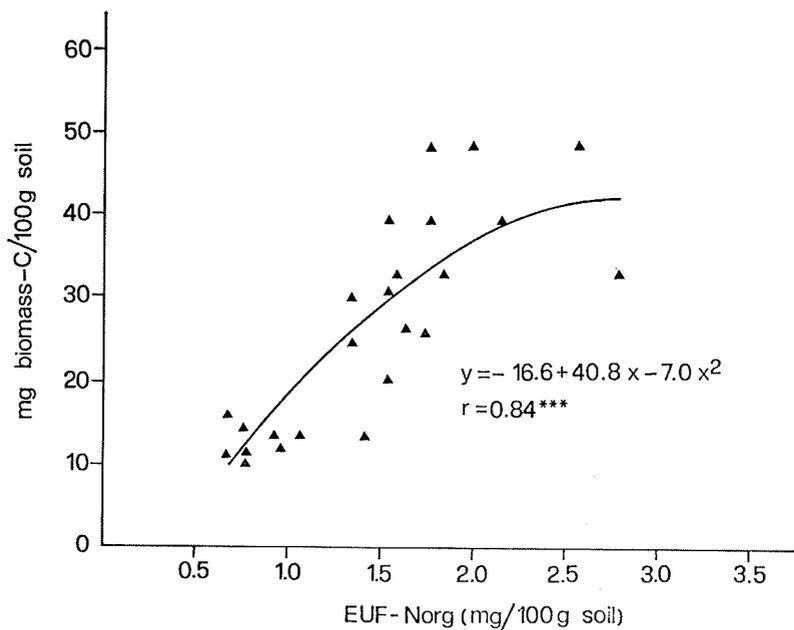


Figure 3 - Relationship between EUF-N_{org} and microbial biomass

because at equal amounts of EUF-N_{org} the contents of microbial biomass are higher, the lower the EUF-N quotient values. The same correlations were observed between EUF-N_{org} and free amino acids (see Figure 2).

According to recent studies of Németh *et al.* (1987) in addition to free amino acids, the EUF-N_{org} fraction consists mainly of hydrolysable amino N (15). This N probably originates from soluble proteins and polypeptides extracted by EUF and therefore seems directly related to soil biomass (see Figure 3). It is likely that this fraction is easily attacked by soil microbes and hence mineralized.

From the total organic N present in arable soils, the EUF-N_{org} fraction represent only a very small part (about 1 - 3%). Nevertheless, this fraction

seems to be of utmost importance for plant nutrition since it reflects the easily mineralizable soil N. This is in contrast to incubation methods, which frequently yield much higher quantities of mineralizable N. It was thus that Stadelmann *et al.* (1983) using the incubation technique of Waring and Brenner (1964) found quantities of mineralizable soil N of 142 to 814 kg N ha⁻¹. By contrast, the amounts of EUF-N_{org} often vary between 75 - 150 kg N ha⁻¹. The average value of EUF-N_{org} of 28000 soil samples analysed in summer 1986 in South Germany amounted to 90 kg N ha⁻¹ and the average value of EUF-NO₃-N amounted to only 39 kg N ha⁻¹.

INFLUENCE OF N MOBILIZATION AND IMMOBILIZATION, FERTILIZER APPLICATION AND N REMOVAL BY THE PLANT ON THE EUF-N FRACTION

Influence of N mobilization and N immobilization processes on the EUF-N fractions in soils under fallow

In order to study the processes of mobilization and immobilization on the EUF-N contents under field conditions, EUF-analysis of soil under fallow

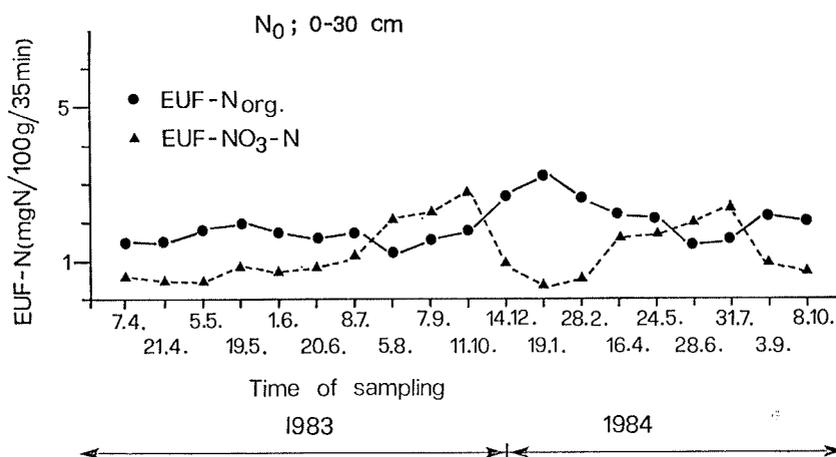


Figure 4 - Variation of EUF-N fractions under fallow

were carried out in two- to fourweek intervals over a period of 17 months (12). Figure 4 shows an example of these investigations. It can clearly be seen that at the beginning of the experimental period (5. 5. 1983) the contents of EUF-NO₃-N were lower than the EUF-N_{org} values. During the spring and summer

months the EUF-NO₃-N contents increased continuously and reached a peak in September/October 1983. Then they fell off in the winter but recovered again during the spring and summer months of 1984.

The EUF-N_{org} contents, on the contrary, were higher in the winter and summer months than the contents of EUF-NO₃-N. A decline of EUF-N_{org} is associated with an increase of EUF-NO₃-N. EUF-N_{org} increases in the autumn and winter with simultaneous decrease of EUF-NO₃-N. As no NO₃⁻ accumulation was observed in the subsoil of this site, it can be concluded that part of the mineral nitrogen had been incorporated into the EUF-N_{org} fraction (immobilization). The immobilized nitrogen was, however, released again during the summer (decrease of EUF-N_{org}). It is therefore concluded that the EUF-N_{org} fraction is able to indicate the capability of a soil to mobilize nitrogen from its reserves due to mineralization and also to immobilize N temporarily.

Influence of N fertilizer application and N removal by the plant on the EUF-N fractions

The amount of mineral nitrogen added by fertilization is not only recovered in the EUF-NO₃-N fraction, but also occurs in the EUF-N_{org} fraction. Different quantities of slurry (30, 60 and 90 m³) applied to different soils increased both the EUF-NO₃-N and the EUF-N_{org} fractions (3). After slurry application, however, the EUF-N_{org} fraction initially consists mainly of NH₄⁺, which is rapidly oxidized to NO₃⁻. As a consequence, a rapid decline of EUF-N_{org} fraction is observed. It could therefore be expedient to measure the EUF-NH₄ and EUF-N_{org} fractions separately, when slurry application is concerned.

Addition of large quantities of organic N fertilizers over a number of years caused a highly significant increase in the EUF-N contents (EUF-N_{org} + EUF-NO₃). The quantity of organic fertilizers depends on the concentration of livestock per ha. Therefore a close correlation was found between the EUF-N contents of different farmers' field and the concentration livestock of these farmers per ha (Figure 5) (14, 15). It can be seen in Figure 5 that with increasing concentration of livestock per ha the EUF-N contents increased rapidly. This result indicates that the EUF method is a convenient and suitable tool to detect nitrogen derived from organic N fertilizers like slurry.

The inorganic and organic EUF fractions decreased during the vegetation period due to N uptake of sugar beet (2, 17), winter wheat (15) etc. This decrease in EUF-N during the vegetation period was significantly correlated with the N uptake and with sugar yield as well as with grain yield. In the plots not treated with fertilizer N, the EUF-N_{org} fraction was more important for crop nutrition than the EUF-NO₃-N fraction. To predict the N fertilizer requirements, it is therefore necessary to use both EUF-N fractions.

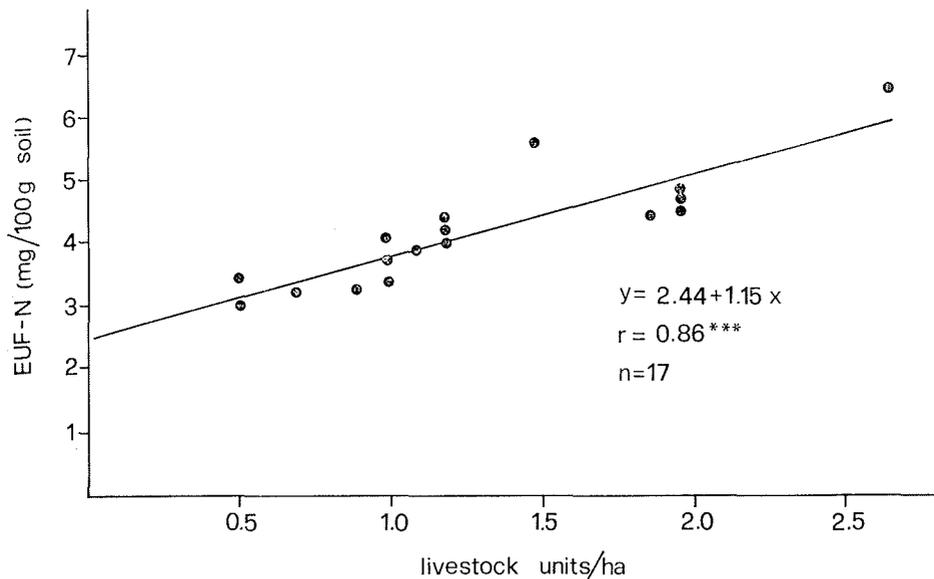


Figure 5 - Relationship between EUF-N contents in the topsoil and the number of livestock units of franconian farms with similar climate and soil types

RELATIONSHIPS BETWEEN EUF-N CONTENTS (SOIL SAMPLES TAKEN DURING THE SUMMER PRECEDING SUGAR BEET CROP) AND YIELD INCREASE OF SUGAR BEET DUE TO N FERTILIZATION

Numerous results of long-term field experiments have shown that for soils with cereal crops, the EUF-N values decline continuously from March to June. The degree of this decline depends upon the rate of N removal by the crop as well as the quantity of late fertilizer application. During the summer period, soils with cereal crops showed that a balance exists between N removal by the crop, N mineralization and N immobilization into the biomass. Consequently the EUF-N values are only subject to slight variations during the time. Therefore this is one of the appropriate times for the determination of EUF-N. (Another appropriate time is for example during October/November for soils with sugar beets, to calculate the N fertilizer requirement for cereals).

The higher the EUF-N values for soils with cereal crops during the summer the higher will be the N quantities delivered to the sugar beet in the following year. This is confirmed by the data of numerous field experiments (2, 11, 17, 27, 28). Some important results of these investigations can be seen in Figure 6 and 7.

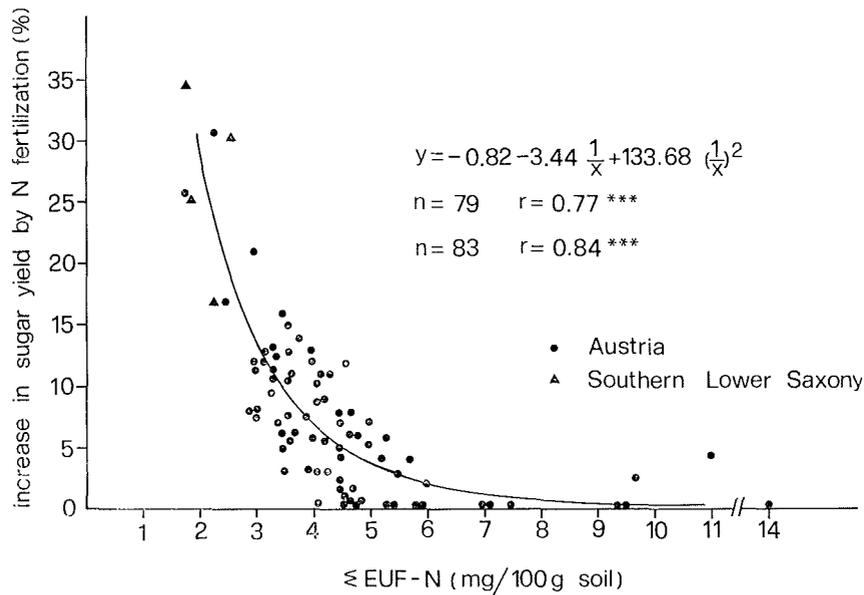


Figure 6 - Relationship between Σ EUF-N (sampling in the summer preceding sugar beet) and increase in sugar yield by N fertilization

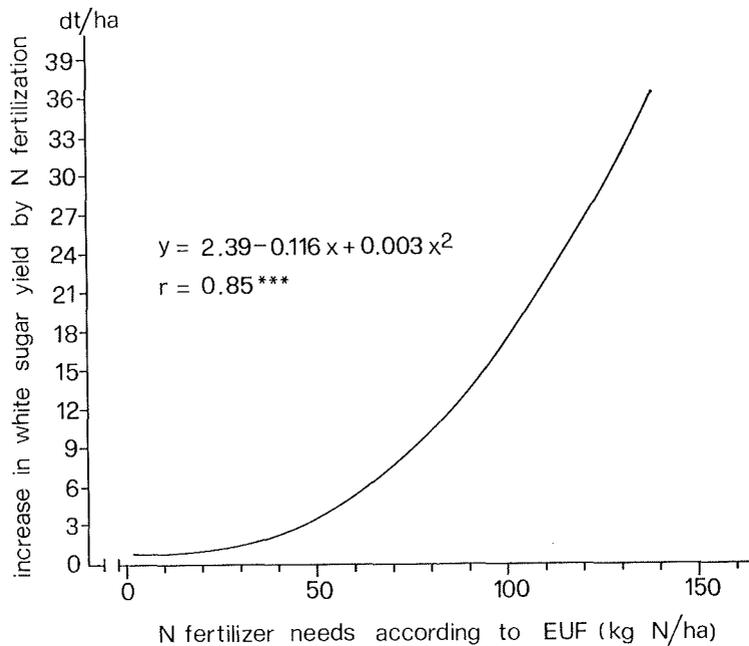


Figure 7 - Relationship between N fertilizer needs according to EUF and increase in white sugar yield by N fertilization (30 sites)

The experiments shown in Figures 6 and 7 were carried out with increasing rates of nitrogen fertilizers (0, 40, 80, 120, 160 and 200 kg N/ha) and each treatment was repeated five times. The EUF-N content (soil sampling in June, July and August) of the year preceding sugar beets is plotted on the abscissa. The increase of sugar yield, in percent (which was obtained in the following year after N fertilization) is shown on the ordinate. In Figure 6 it is clearly demonstrated that the yield increase due to N fertilization rapidly declines with increasing N contents. At EUF-N contents of more than 5 mg/100 g the yield increase to be expected from N fertilization is practically nil.

In contrast, sugar yield is overproportionally increased by N fertilization with decreasing EUF-N contents.

Similar results were obtained in N fertilizer experiments on 30 locations in Southern Germany. These are shown in Figure 7. The N fertilizers requirements of sugar beets calculated by means of EUF are plotted on the abscissa, while the increase of sugar yield, which was obtained in field experiments after N fertilization (0, 40, 80, 120, 160, 200 kg N/ha), is shown on the ordinate. Figure 7 shows that the sugar yield rapidly increases with increasing N fertilizer requirements calculated by means of EUF. The correlation is statistically highly significant. The results in Figures 6 and 7 show that the EUF-N content of soil samples taken from the upper soil (0 - 30 cm) in the summer preceding sugar beet growth is suitable to calculate the N fertilizer requirement of sugar beet.

RELATIONSHIPS BETWEEN EUF-N_{org} CONTENTS AND YIELD POTENTIAL (PRODUCTIVITY POTENTIAL) OF A SITE

In order to get informations about the EUF-N_{org} fraction as an indicator for yield potential of a site N fertilizer experiments (0, 40, 80 and 120 kg N/ha) with winter wheat were carried out in Austria and in Southern Germany in 1986. The soil samples were taken for EUF analysis from the upper soil (0 - 30 cm) in October 1985. Figure 8 shows the correlations between the EUF-N_{org} contents and the grain yields of winter wheat of 29 different sites. As can be seen in Figure 8 grain yield increased with increasing EUF-N_{org} content, and that without N fertilizer application and with optimum N application as well. However, the highest yield was obtained at EUF-N_{org} content over 3.5 mg/100 g soil in October. That means that high grain yield could only be obtained, when the EUF-N_{org} content reaches a certain level. On sites with low EUF-N_{org} contents it was not possible to obtain a high yield, even with increasing N fertilizer applications. The EUF-N_{org} fraction, therefore, proved to be a suitable indicator for the yield potential of a site. It is probably because of this fact that a positive correlation was found between the EUF-N_{org} values and the microbial biomass in soils (Figure 3). Rex *et al.* (1985) found a close positive correlation between the EUF-N values of different soils and the

readily available water capacity of the rooted soil volume. Since the available water capacity is a measure of yield potential of a site, there is further reason to believe that a relationship exists between the EUF-N contents and yield potential.

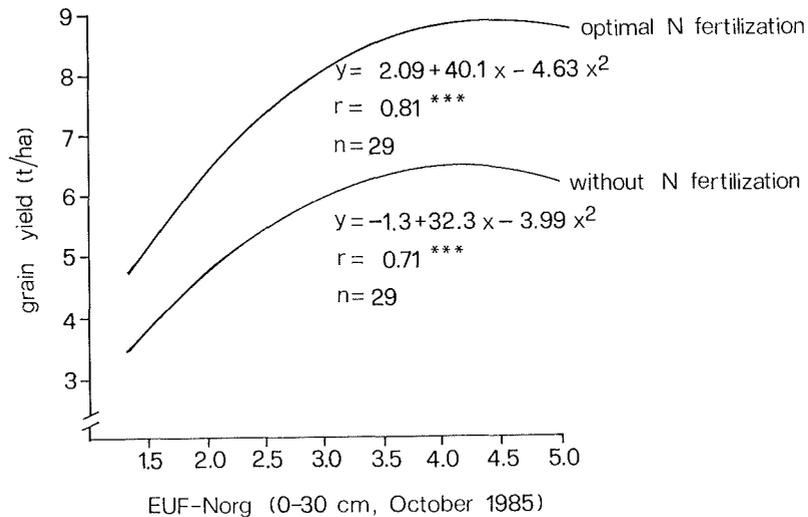


Figure 8 - Influence of the EUF-N_{org} contents on the maximum achievable yield of winter wheat by N fertilization

RELATIONSHIPS BETWEEN EUF-BASED FERTILIZER RECOMMENDATIONS AND INCREASE IN SUGAR YIELD

EUF-based fertilizer advice began in Austria 15 years ago, and it was successful during these years, as can be seen in Figure 9. Figure 9 also shows that after the introduction of EUF-based fertilizer advice by the Tulln Sugar Factory in 1974 that sugar yield increased continuously and especially during the last six years (1980 - 1986). These results show that the EUF-based fertilizer advice was highly successful to increase productivity of sugar beets. In addition, higher sugar yields were obtained with less amounts of fertilizer and the recommendations were based on EUF. The average amount of EUF-based N fertilizer recommendation in Lower Austria was 70 kg N/ha in the last six years.

Similar results were obtained in Southern Germany (Südzucker AG, Mannheim). In this growing area with more than 100000 ha sugar beets, EUF-based fertilizer advice began in 1982. Since that time, sugar content increased continuously with nearly equal amounts of sugar beet yield (Figure 10). This

able
son
field

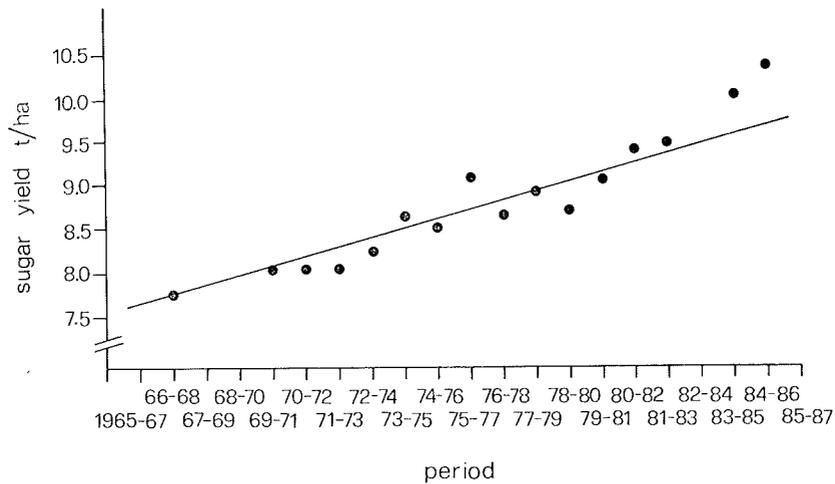


Figure 9 - Sugar yield from 1965 - 1986 (3 year moving averages)

inter

EASE

suc-
ows
ugar
ring
erti-
. In
and
ased
six

Man-
ased
onti-
This

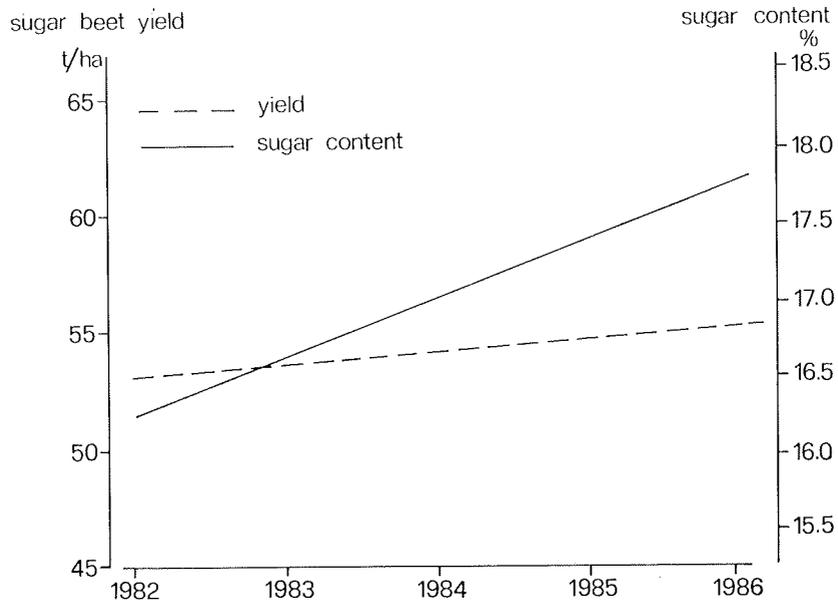


Figure 10 - Trendlines of sugar beet yield and sugar content Südzucker (1982-1986)

TABLE 1 - Comparison between the results of EUF-based fertilizer recommendations and commonly applied fertilizer rates in the sugar beet growing area of 3 sugar factories of Südzucker.

Sugar factory	White sugar yield dt/ha							
	1983		1984		1985		1986	
	EUF-advised	commonly fertilized	EUF-advised	commonly fertilized	EUF-advised	commonly fertilized	EUF-advised	commonly fertilized
Plattling	91,3	84,6	92,9	84,4	96,9	90,3	99,0	90,7
number of EUF analyses	2.300		2.400		3.100		5.400	
Rain	86,8	81,6	77,6	75,8	88,9	82,9	91,3	84,3
number of EUF analyses	1.700		1.700		2.300		5.000	
Regensburg	86,2	76,9	87,1	78,6	96,5	87,1	97,2	88,1
number of EUF analyses	1.600		1.800		2.200		3.600	

increase in sugar yield was achieved with decreasing amount of N fertilizer recommendations. With increasing number of EUF soil analyses (1982 = 7600, 1986 = 28200) the average N fertilizer recommendation decreased from about 180 kg in 1982 to 130 kg N/ha in 1986.

Table 1 clearly shows the differences in sugar yield between the EUF-based fertilizer recommendations and the commonly applied fertilizer rates in the sugar beet growing area of the sugar factories Plattling, Rain and Regensburg (Southern Germany) during five years. In each year the sugar yield was on an average clearly superior, when N fertilization was applied on the basis of EUF analysis. The number of EUF analyses increased rapidly during the five years resulting higher sugar yield year by year (Table 1).

TABLE 2 - Comparison between the results of EUF-based fertilizer recommendations and commonly applied fertilizer rates in the sugar beet growing area of Mezöhegyes, Hungary, 1984.

	Experimental area (ha)	Sugar beet yield (t/ha)	Sugar content %	Sugar yield (t/ha)
EUF-based recommendations	4.475	43,6	16,59	7,23
commonly applied fertilizer rates	5.057	41,4	16,31	6,75

Table 2 shows a comparison between the EUF-based fertilizer recommendations and the commonly applied fertilizer rates in the sugar beet growing area of Mezöhegyes in Hungaria (1984). Similar to the results obtained in Austria and Germany the EUF-based fertilizer advice was also in Hungaria highly successful to increase beet yield and sugar content, although the EUF-based N fertilizer recommendations were lower than the commonly applied N fertilizer amounts.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CARTER J. N., JENSEN M. E., BOSUNA S. M. - Determining nitrogen fertilizer needs for sugar beets from residual soil nitrate and mineralizable nitrogen. *Agronomy Journal* 66: 319, 1974.
- (2) FÜRSTENFELD F. - Stickstoff - und Kaliumverfügbarkeit in norddeutschen Ackerböden bei Gülleanwendung - gemessen mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) - und ihre Bedeutung für die Ernährung der Zuckerrübe. Dissertation, Universität Gießen, 1985.
- (3) FÜRSTENFELD F., NÉMETH K., BERINGER H. - Influence of slurry applications on the EUF-N fractions in the soil. *Plant and Soil* 83: 47, 1985.
- (4) GILES J. F., REUSS J. O., LUDWIK A. E. - Prediction of nitrogen status of sugar beets by soil analysis. *Agric. Abstract Amer. Soc. of Agronomy Annual Meetings* 98: 11, 1973.

- (5) HARRACH T., NÉMETH K., WERNER G. - Effect of soil properties and soil management on the EUF-N fractions in different soils under uniform climatic conditions. *Plant and Soil* 64: 55, 1982.
- (6) KUTSCHA-LISSBERG P., PRILLINGER F. - Rapid determination of EUF extractable nitrogen and boron. *Plant and Soil* 64: 63, 1982.
- (7) NÉMETH K. - Die effektive und potentielle Nährstoffverfügbarkeit im Boden und ihre Bestimmung mit Elektro-Ultrafiltration (EUF). Habilitationsschrift, Universität Giessen, 1976.
- (8) NÉMETH K. - The availability of nutrients in the soil as determined by electro-ultrafiltration (EUF). *Adv. Agron.* 31: 155, 1979.
- (9) NÉMETH K. - Electro-ultrafiltration of aqueous soil suspension with simultaneously varying temperature and voltage. *Plant and Soil* 64: 7, 1982.
- (10) NÉMETH K. - Recent advances in EUF research (1980 - 1983). *Plant and Soil* 83: 1, 1985.
- (11) NÉMETH K., WIKLICKY L. - Erfahrungen mit der EUF-Methode bei der Düngegerbung. *Kali-Briefe (Büntehof)* 15: 15, 1980.
- (12) NÉMETH K., FÜRSTENFELD F. - Changes of EUF-N and EUF-K fractions in three deep greybrown luvisols during 18 months under fallow. *Plant and Soil* 86: 249, 1985.
- (13) NÉMETH K., HARRACH T., KUNZMANN G. - Untersuchungen von Waldböden unterschiedlicher Trophie mit Elektro-Ultrafiltration (EUF). *Mitt. Dt. Bodenkdl. Gesellschaft.* 43/II: 987, 1985.
- (14) NÉMETH K., BARTELS H., VOGEL M. - Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren anorganischen und organischen Bodenstickstoffs mittels EUF - 1 Teil. *Zuckerind.* 111: 932, 1986.
- (15) NÉMETH K., BARTELS H., ZIFGLER K. - Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren anorganischen und organischen Bodenstickstoffs mittels EUF - 2 Teil. *Zuckerind.* 111: 1107, 1986.
- (16) NYBORG M., NEUFELD J., BERTRAND R. A. - Measuring crop available nitrogen. *Proc. Western Canada Nitrogen Symposium, Edmonton/Alberta*, 1976.
- (17) RECKE H. - Kalium- und Stickstoffverfügbarkeit südniedersächsischer Standorte - bestimmt mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) - in Beziehung zu Ertrag und Qualität der Zuckerrübe. Dissertation, Universität Gießen, 1984.
- (18) REX M., NÉMETH K., HARRACH T. - The EUF-N contents of arable soils as an indicator of their yield potential. *Plant and Soil* 83: 117, 1985.
- (19) SCHACHTSCHABEL P. - Bestimmung des fixierten Ammonium im Boden. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde.* 93: 125, 1961.
- (20) SCHARPF H. C. - Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf. Dissertation, Technische Universität Hannover, 1977.
- (21) SCHARPF H. C., WEHRMANN J. - Stickstoffdüngung zu Winterweizen nach Bodenuntersuchung DLG-Mitteilungen 91: 178, 1976.
- (22) SCHERER H. W., MENGEL K. - Der Gehalt an fixiertem Ammoniumstickstoff auf einigen repräsentativen hessischen Standorten. *Landwirtschaftl. Forschung* 32: 416, 1979.
- (23) SOPER R. J., HUANG P. M. - The effect of nitrate nitrogen in the soil profile on response of barley to fertilizer nitrogen. *Canadian J. Soil Sci.* 43: 350, 1963.
- (24) STADELMANN F. X., FURRER O. J., GUPTA S. K., LISCHER P. - Einfluß von Bodeneigenschaften, Bodennutzung und Bodentemperatur auf die N-Mobilisierung von Kulturböden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 146: 228, 1983.
- (25) WARING S. A., BREMNER J. M. - Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature* 201: 951, 1964.
- (26) WEHRMANN J., SCHARPF H. C. - Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (Nmin-Methode). *Plant and Soil* 52: 109, 1979.
- (27) WIKLICKY L. - Application of the EUF procedure in sugar beet cultivation. *Plant and Soil* 64: 115, 1982.
- (28) WIKLICKY L., NÉMETH K., RECKE H. - Beurteilung des Stickstoff-Düngerbedarfs für die Zuckerrübe mittels EUF. In *Stickstoff und Zuckerrübe* (Herausg. Intern. Institut für Zuckerrübenforschung, Brüssel) 553, 1983.

Analyse des facteurs de croissance de la plante pour la définition du concept de fertilité des sols

ROBERT MOREL

1 - LA FERTILITE, CONCEPT DE CARACTERE AGRONOMIQUE

Il est intuitif de concevoir la fertilité d'un sol comme la faculté que possède ce sol de produire, sous l'action de l'agriculteur, des récoltes plus ou moins abondantes.

Toutefois, l'aptitude à produire demeure une notion abstraite qui ne se conçoit clairement que dans la mesure où elle peut être concrétisée: cette concrétisation apparaît sans aucun doute dans l'ampleur des rendements obtenus par l'agriculteur.

Ainsi, la fertilité peut-elle être estimée par le rendement maximal qu'il est possible d'obtenir sur le sol concerné, cultivé avec des espèces végétales les mieux adaptées aux conditions climatiques du lieu considéré.

Dès lors, le concept de fertilité du sol peut-il être abordé, dans une première analyse, par la considération du rendement des récoltes, les facteurs du rendement devenant les facteurs mêmes de la fertilité.

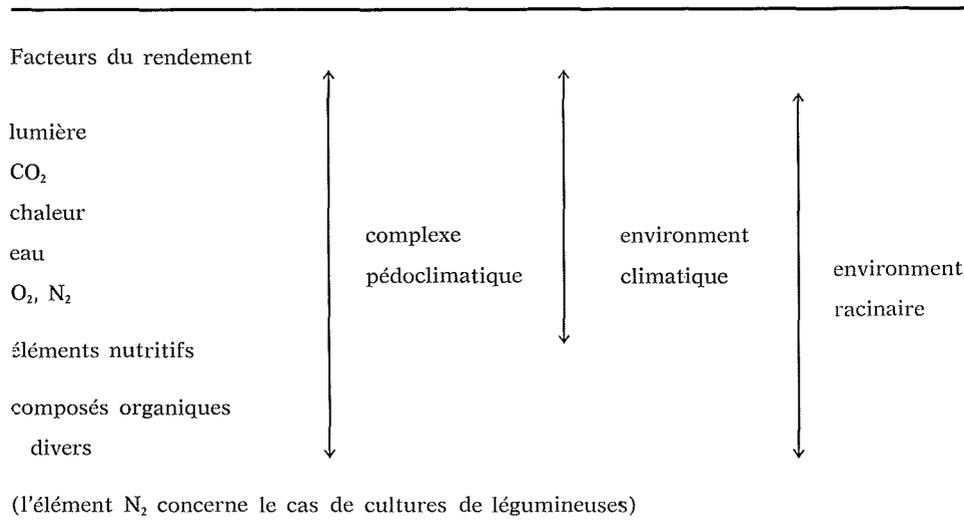
Remarquons alors que les facteurs du rendement, indiqués ci-après, se confondent avec les facteurs de la croissance végétale: à une pleine utilisation des facteurs de croissance correspond un développement maximal du végétal, donc un rendement lui-même maximal (parties aériennes, tubercules ou graines).

Ainsi considérée sous un concept de rendement, la notion de fertilité conduit, pour une espèce donnée, à l'examen des facteurs qui conditionnent ce rendement.

2 - FACTEURS DU RENDEMENT, FACTEURS DE CROISSANCE DES VEGETAUX CULTIVES

Le Tableau 1 résume de façon synoptique ces facteurs.

TABLEAU - 1



L'examen de ce tableau appelle plusieurs remarques :

a) Le rendement ne dépend pas uniquement du sol proprement dit mais aussi :

— du complexe pédo-climatique dans son ensemble.

L'énergie lumineuse demeure le facteur majeur du développement végétal dans la mesure où, sous la température du lieu considéré, ce développement peut bénéficier de l'apport par le sol de quantités suffisantes d'eau et d'éléments nutritifs.

— de l'action de l'agriculteur, action qui se manifeste de diverses façons :

- choix des espèces et des variétés cultivées en fonction du milieu
- choix des rotations culturales
- qualité du travail du sol
- entretien organique du sol
- apport d'éléments nutritifs

- apport éventuel d'eau
- apports correctifs de la réaction du sol
- apport éventuel de bactéries symbiotiques spécifiques (légumineuses)
- utilisation de moyens de lutte antiparasitaire

b) L'action d'un facteur de croissance, considéré individuellement, a suscité de nombreuses études, dont nous rappellerons l'une des plus élaborées, réalisée dès 1930 par MITSCHERLICH.

L'augmentation du rendement en fonction de l'accroissement d'un facteur de croissance se traduit par la courbe classique que représente la Figure 1

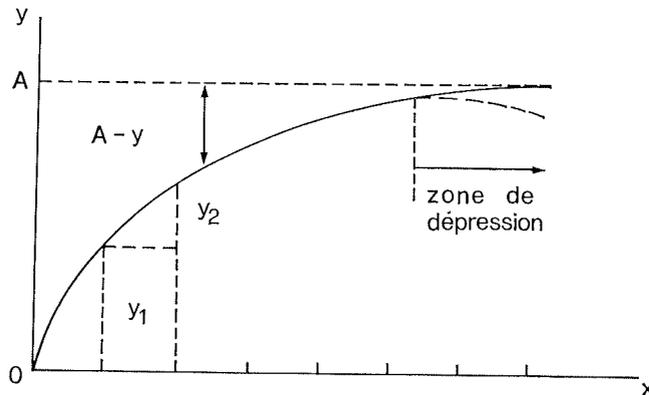


Figure 1 - Augmentation du rendement en fonction de l'accroissement d'un facteur de croissance.

L'augmentation de rendement se poursuit jusqu'à un maximum après lequel se manifeste un phénomène de toxicité.

Dans la phase de croissance de la plante, le rendement croît proportionnellement à « l'augmentation restant possible », ce qui s'exprime par la relation :

$$\frac{dy}{dx} = c (A - y) \quad (1)$$

A représente le rendement maximum possible, c désigne le « coefficient d'efficacité » ; ce coefficient serait constant selon MITSCHERLICH.

Le rendement y est donné par intégration de (1)

$$y = A (1 - e^{-cx})$$

Ces relations ont été appliquées à divers facteurs de croissance: éléments nutritifs, eau, lumière ...

En ce qui concerne les éléments nutritifs, la question se pose de savoir s'il y a additivité de l'effet de l'élément apporté au sol et de l'élément en réserve dans le sol; cette question a été traitée par REMY (1982).

c) L'action des différents facteurs est interdépendante.

Chaque facteur ne peut produire son plein effet que si chacun des autres facteurs agit avec une totale efficacité. Ainsi, l'apport d'azote minéral n'est-il pleinement valorisé que si l'eau, le phosphore ou bien le manganèse disponibles pour la plante sont en quantités suffisantes.

Observons ici que cette interdépendance était déjà évoquée dans la loi dite « du minimum » de LIEBIG (1840):

« L'élément qui manque totalement ou se trouve en quantité insuffisante, empêche les autres combinaisons nutritives de produire leur effet ou, du moins, diminue leur action nutritive ».

Le modèle de MITSCHERLICH permet de traiter le problème d'interdépendance dans le cas d'un nombre limité de facteurs de croissance et en particulier dans l'étude des apports d'éléments nutritifs (P. K.).

La notion d'interdépendance, très importante, a suggéré plusieurs approches de la notion de fertilité définie par l'ampleur des rendements obtenus dans un complexe pédo-climatique donné. Nous évoquons ci-après l'une de ces approches.

3 - ESSAI D'UNE DEFINITION ANALYTIQUE DE LA FERTILITE (BARBIER, 1955)

Le rendement R d'une culture peut s'exprimer par une combinaison de toutes les variables composantes, combinaison symbolisée par la relation:

$$R = A_1 \times f(a) \times f(b) \times \dots \times f(u) \times f(v) \times \dots \times f(x) \times f(y) \times \dots \quad (2)$$

A_1 désigne une constante, $f(a) \dots f(u) \dots f(x) \dots$ sont des fonctions permettant de quantifier l'action de chacun des différents facteurs du rendement: $f(a)$ explicite par exemple l'action du facteur « pluviométrie », $f(x)$ celle du facteur « azote » etc. Certaines de ces fonctions sont connues. Soulignons que dans l'expression (2), l'opérateur \times (multiplication) caractérise l'interdépendance des facteurs: si l'une des fonctions égale zéro, le rendement est nul.

Pour chaque facteur, il est toujours possible d'en exprimer l'action par une valeur K telle que $K \leq 1$, la valeur 1 correspondant à l'efficacité maximale du facteur considéré.

L'ensemble des facteurs du rendement peut être classé en deux catégories :

- a) les facteurs imposés par le milieu naturel
 - facteurs climatiques : énergie lumineuse, pluviométrie, température ...
 - caractéristiques texturales et structurales du sol
 - profondeur du sol

Ce sous-ensemble forme le complexe pédo-climatique

- b) les facteurs demeurant sous la dépendance de l'agriculteur tels que : travail du sol, fertilisation, choix des espèces, des porte-greffes, traitements anti-parasitaires

Dans la relation (2), désignons par A le terme A_1 et l'ensemble des termes correspondant aux facteurs pédo-climatiques, termes qui seront par exemple f(a), f(b).

La relation (2) devient :

$$R = A \times f(u) \times f(v) \times \dots \times f(x) \times f(y) \times \dots$$

f(u), f(v), ... f(x), f(y) ... correspondant aux facteurs relatifs à l'action de l'agriculteur. Si cette action relève d'une haute compétence, toutes les valeurs f(u), f(v), ... f(x), f(y), ... deviennent égales à 1 et

$$R = A$$

A exprime alors la potentialité culturale de production du sol considéré, atteinte lorsque tous les facteurs dépendant de l'agriculteur accèdent à leur pleine efficacité.

La fertilité d'un sol, qui reflète cette potentialité culturale (aptitude à produire), peut alors se définir ainsi (1) :

« La fertilité d'un sol, dans son contexte pédo-climatique, peut se mesurer par l'importance des récoltes qu'il porte lorsque lui sont appliquées les techniques culturales qui lui conviennent le mieux »

Remarque : en ce qui concerne certains facteurs de la fertilité et notamment les éléments nutritifs, chaque fonction peut se décomposer ainsi :

$$f(x_0 + x_1) , f(y_0 + y_1)$$

x_0 , y_0 correspondent aux quantités des éléments en réserve dans le sol (P, K par exemple), x_1 , y_1 aux quantités apportées au sol par l'agriculteur. Observons cependant que, sauf dans le cas d'une première fertilisation, x_0 et y_0 dépendent des apports antérieurs faits au sol.

4 - FERTILITE PROPRE DU SOL

La définition de la fertilité du sol se référant au rendement des récoltes a pour critère le *résultat* sur le développement du végétal de la double action de l'environnement naturel (climat, sol) et de l'action de l'agriculteur.

Ce critère, avons nous observé, prend en compte un résultat qui dépend de facteurs dont tous ne concernent pas le sol: l'énergie lumineuse, en particulier, demeure le facteur majeur du rendement.

Un autre voie de réflexion, relative au sol proprement dit considéré dans son contexte climatique (eau, chaleur), peut être la recherche d'une définition dans les *causes* de l'aptitude du sol concerné à produire des récoltes plus ou moins abondantes. Une telle réflexion s'ouvre alors sur une analyse fonctionnelle de la fertilité propre du sol.

4-1 - *Analyse fonctionnelle de la fertilité propre du sol dans son contexte climatique*

Pour assurer un développement maximal du végétal, la racine doit, pendant toute la durée de la culture, pouvoir bénéficier sans contrainte de tous les facteurs de la croissance végétale qui la concernent.

Cette nécessité implique:

- d'une part l'existence des différentes sources correspondant, pour chacune d'elles, à un facteur de croissance.
- d'autre part la réalisation des conditions d'utilisation par la racine des différents facteurs, c'est-à-dire le transfert des facteurs de croissance au niveau de la surface racinaire.

Exemples:

Oxygène : source: atmosphère
transfert: diffusion gazeuse dans les espaces lacunaires du sol

Phosphore: source: dissolution de phosphates calciques
processus d'échange au niveau des minéraux argileux
transfert: diffusion et convection au sein de la phase liquide du sol

4-1-1 - Sources

Les sources de facteurs de croissance peuvent se ranger en deux catégories :

- la chaleur et l'eau, qui dépendent de l'environnement climatique et de ses variations
- les éléments et composés chimiques nécessaires au végétal et qui forment trois groupes dans le sol
 - les éléments sous forme gazeuse : O_2 , N_2 (pour ce qui concerne la fixation symbiotique de l'azote)
 - les éléments ou composés chimiques ionisés en solution (K^+ , NO_3^- , $PO_4H_2^-$ )
 - des composés organiques en solution produits par le sol et favorisant la croissance.

La disponibilité des sources d'éléments et composés chimiques forme, quant à elle, deux classes distinctes :

- les sources présentes en quantités constantes et pratiquement illimitées comme le sont l'oxygène et l'azote atmosphériques.
- les sources demeurant, avant fertilisation, en quantités limitées et variables : tel est le cas, en particulier, des éléments dits « assimilables » présents dans le sol (P, K, oligo-éléments).

Ces éléments nutritifs trouvent essentiellement leur origine dans les types de processus suivants :

- la solubilisation (exemple : ion phosphorique)
- les phénomènes d'échanges au niveau du complexe absorbant (exemple : potassium)
- la dissociation des complexes de covalence ligand organique-élément métallique (exemple : cuivre)
- les processus de minéralisation de la matière organique du sol.

Les composés organiques favorisant la croissance peuvent avoir leur origine dans les produits de dégradation des substances organiques, ou bien dans les excréments microbiennes.

4-1-2 - Transfert des facteurs de croissance

Alors que la nature des sources des différents facteurs de croissance se révèle d'une grande diversité, les transferts de ces facteurs vers les surfaces racinaires se révèlent, quant à eux, d'une *unité fonctionnelle remarquable*.

Un transfert dépend de l'existence d'un *facteur d'action* qui intervient sous forme de son *gradient* observé dans la direction du transfert.

Exemples :

- le transfert de O_2 par diffusion en phase gazeuse a pour facteur d'action la concentration de O_2
- le transfert de chaleur a pour facteur d'action la température

L'expression mathématique du transfert, de forme linéaire, se révèle très simple.

Si U représente le facteur d'action, l'ampleur Q du transfert dans la direction Ox s'écrit :

$$Q = K \frac{dU}{dx} \text{ ou bien } Q = K \overrightarrow{\text{grad } U}$$

K est un facteur de proportionnalité dont la signification est indiquée dans le Tableau 2.

Exemple :

Transfert d'un soluté par diffusion en phase liquide dans la direction Ox :

$$dq = - D \frac{dc}{dx} = - D \overrightarrow{\text{grad } c} \quad (1^{\text{re}} \text{ loi de FICK})$$

dq représente la quantité de soluté traversant l'unité de surface diffusante par unité de temps.

D est la « constante de diffusion », exprimée en cm^2 par seconde; le signe ($-$) rend compte du fait que le soluté se déplace des concentrations les plus fortes vers les concentrations les plus faibles.

La Figure 2 donne une représentation schématique des composantes fonctionnelles de la fertilité du sol.

TABLEAU 2 - Transferts dans le sol.

Transferts	Expression des transferts (par unité de surface et de temps)	Coefficient de proportionnalité	Facteur d'action	Expression du gradient
Circulation de l'eau en sol saturé	Flux d'eau $dq = K \frac{dH}{dx}$	$K =$ conductibilité hydraulique	$H =$ charge hydraulique	$\frac{dH}{dx} = \text{grad } H$ gradient hydraulique
Circulation de l'eau en sol non saturé	Flux d'eau $dq = K(\Theta) \frac{d\Psi}{dx}$	$K(\Theta) =$ conductivité hydraulique	$\Psi =$ potentiel matriciel	$\frac{d\Theta}{dx} = \text{grad } \Theta$ gradient d'humidité
Propagation de la chaleur dans le sol	Flux thermique $dq = -K_z \frac{d\Theta}{dz}$	$K_z =$ conductibilité thermique	$\Theta =$ température	$\frac{d\Psi}{dx} = \text{grad } \Psi$ gradient de potentiel matriciel
Transfert de O_2 par diffusion en phase gazeuse	Flux gazeux de O_2 $dq = -D_s \frac{dc}{dx}$	$D_s =$ coefficient de diffusion gazeuse dans le sol	$c =$ concentration de O_2	$\frac{dc}{dx} = \text{grad } c$ gradient de concentration
Transfert de soluté par diffusion en phase liquide	Flux de soluté $dq = -D \frac{dc}{dx}$	$D =$ constante de diffusion	$c =$ concentration du soluté	$\frac{dc}{dx} = \text{grad } c$ gradient de concentration

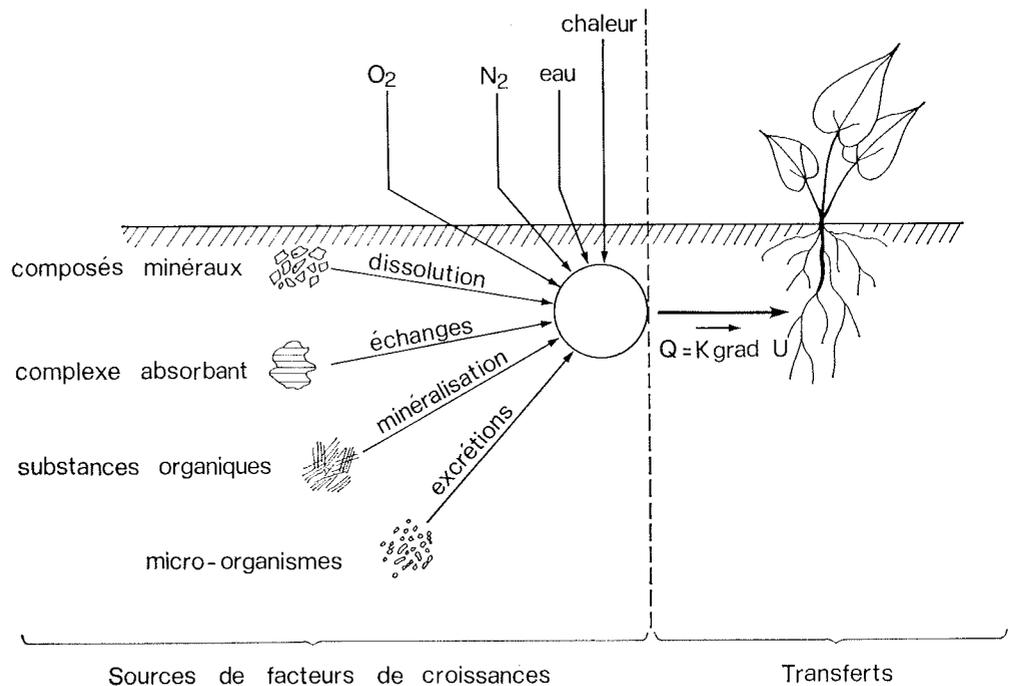


Figure 2 - Composantes fonctionnelles de la fertilité du sol.

4-2 - Fonctionnement d'un sol cultivé

4-2-1 - Caractère dualiste de ce fonctionnement

Le double aspect du mode d'action des facteurs de la croissance végétale n'est en fait que le reflet du fonctionnement même d'un sol cultivé, fonctionnement dont la qualité apparaît comme un test de sa fertilité.

Certains des facteurs de croissance peuvent être disponibles sans contrainte: tels sont la chaleur, O_2 , N_2 , ainsi que l'eau « libre » du sol. En revanche, les éléments nutritifs ne sont libérés de leurs sources respectives qu'à la faveur de processus physico-chimiques ou chimiques qui se développent au niveau de fractions bien définies de la phase solide du sol. Ces processus sont très généralement des phénomènes dits « *de surface* » qui se produisent au niveau des interfaces concernées: processus de solubilisation, d'échanges, actions enzymatiques. Ces facteurs de la croissance végétale ne sont disponibles qu'après la levée de leurs contraintes physico-chimiques ou chimiques.

Les transferts des facteurs de croissance, quant à eux, mettent en jeu soit les seuls espaces lacunaires du sol occupés par les phase liquide ou gazeuse (transferts d'eau, de O_2 , de N_2 , d'éléments chimiques) soit la masse générale du sol (transferts de chaleur).

Alors que la libération des facteurs de croissance propres au sol relève d'actions de surface, les transferts vers la racine de l'ensemble de ces facteurs procède d'un déplacement dans un *espace tridimensionnel* de structure variable; les transferts liquide et gazeux, notamment, s'effectuent dans les *volumes* laissés libres entre les particules du sol (espace lacunaires). La considération de l'état structural du sol prend ici toute sa signification.

Les temps de transferts, de même que leur ampleur, demeurent étroitement liés à la densité de l'implantation racinaire sur la profondeur prospectée; cette densité, dépendante de la qualité structurale du sol, relève pour une part importante de l'alimentation en glucides de la racine, elle même fonction de l'activité photosynthétique qui met en jeu les facteurs essentiels de croissance que sont la lumière, la présence de CO₂ et la température.

Les variables qui constituent les facteurs de croissance d'une part, les différents transferts d'autre part, sont bien entendu interdépendantes quant à la réalisation d'une alimentation optimale de la racine: cette alimentation n'est bien assurée que si chacune de ces variables intervient avec sa pleine efficacité.

4-2-2 - Estimation de la qualité du fonctionnement du sol

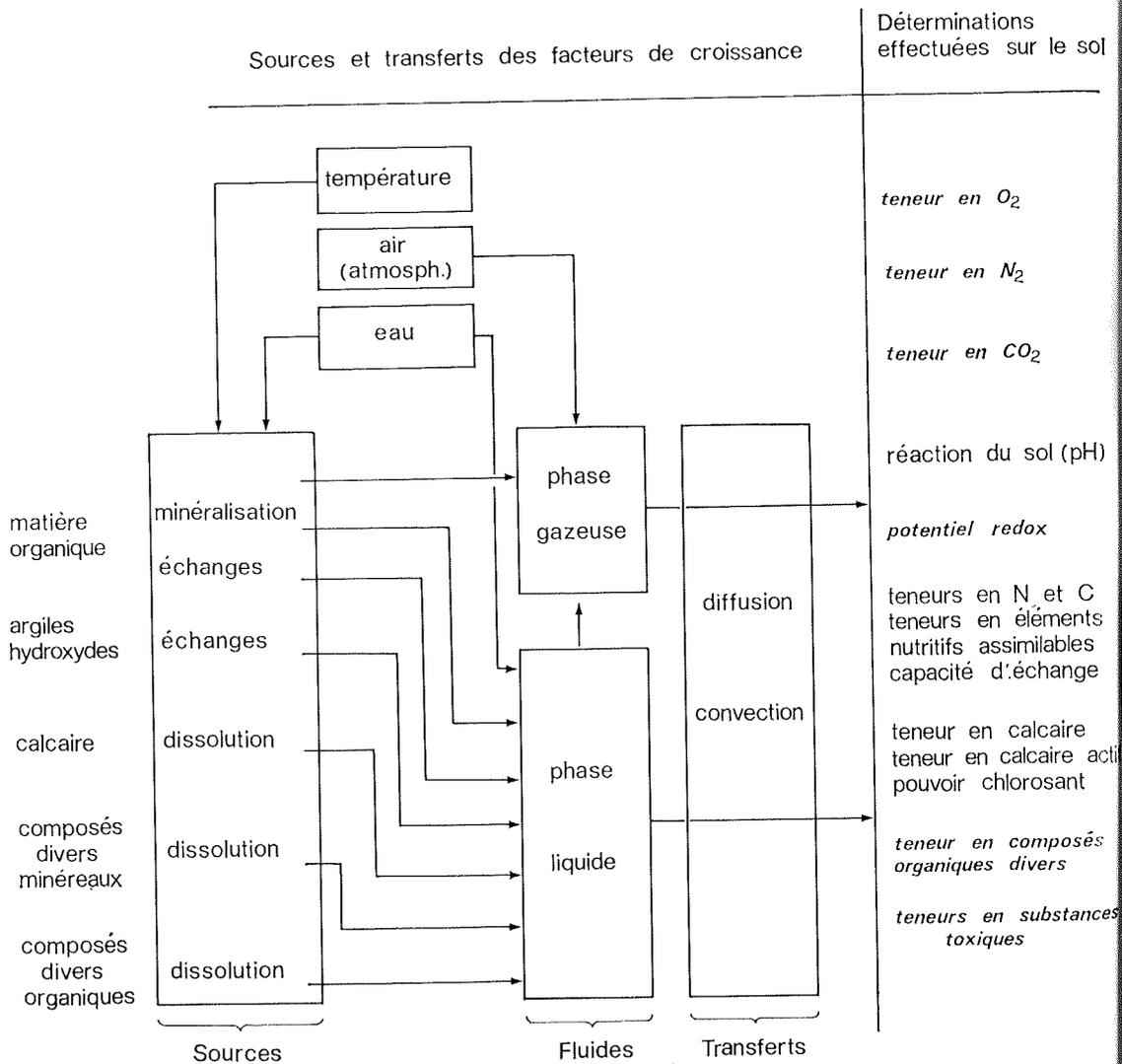
Aux deux formes complémentaires du fonctionnement d'un sol cultivé précédemment évoquées, correspondent deux groupes de tests réalisés sur ce sol pour tenter d'en décèler les qualités et les défauts et orienter l'agriculteur dans son ambition d'en améliorer la productivité.

Ainsi en est-il des déterminations relatives à la fertilité chimique d'une part, à la fertilité physique d'autre part. Ces déterminations permettent de juger, non sans une certaine part d'incertitude, de la valeur des différents facteurs de croissance et de la qualité des divers transferts concernés.

— La *fertilité chimique du sol* répond de la facilité avec laquelle les facteurs nutritifs de croissance sont libérés de leurs sources respectives (débit des sources); les tests de fertilité chimique ont pour objet d'estimer l'ampleur de cette libération. Ils comprennent des déterminations relatives aux éléments nutritifs et à certaines caractéristiques complémentaires permettant d'orienter plus efficacement les décisions de l'agriculteur. Citons quelques unes de ces déterminations: teneurs en calcaire, en matière organique, réaction du sol, capacité d'échange de cations, teneurs en élément dits « assimilables », teneurs en oligo-éléments . . . La Figure 3 représente, en liaison avec les facteurs climatiques, ces différents tests présentés dans leurs rapport avec l'analyse fonctionnelle de la fertilité.

— La *fertilité physique du sol*, quant à elle, ne se rapporte pas aux sources elles-mêmes des facteurs de croissance; elle concerne la qualité des transferts de ces sources (atmosphère, constituants du sol, engrais) de leur origine aux

surface racinaires. Cette qualité relève de l'organisation spatiale des constituants du sol (structure) et du maintien dans le temps d'une structure favorable aux transferts et à la prospection racinaire (stabilité structurale). La Figure 4 indique, en liaison avec les facteurs climatiques, quelques déterminations généralement utilisées pour caractériser la fertilité physique du sol.



(les déterminations écrites en italiques ne sont pas habituelles)

Figure 3 - Fertilité chimique du sol.

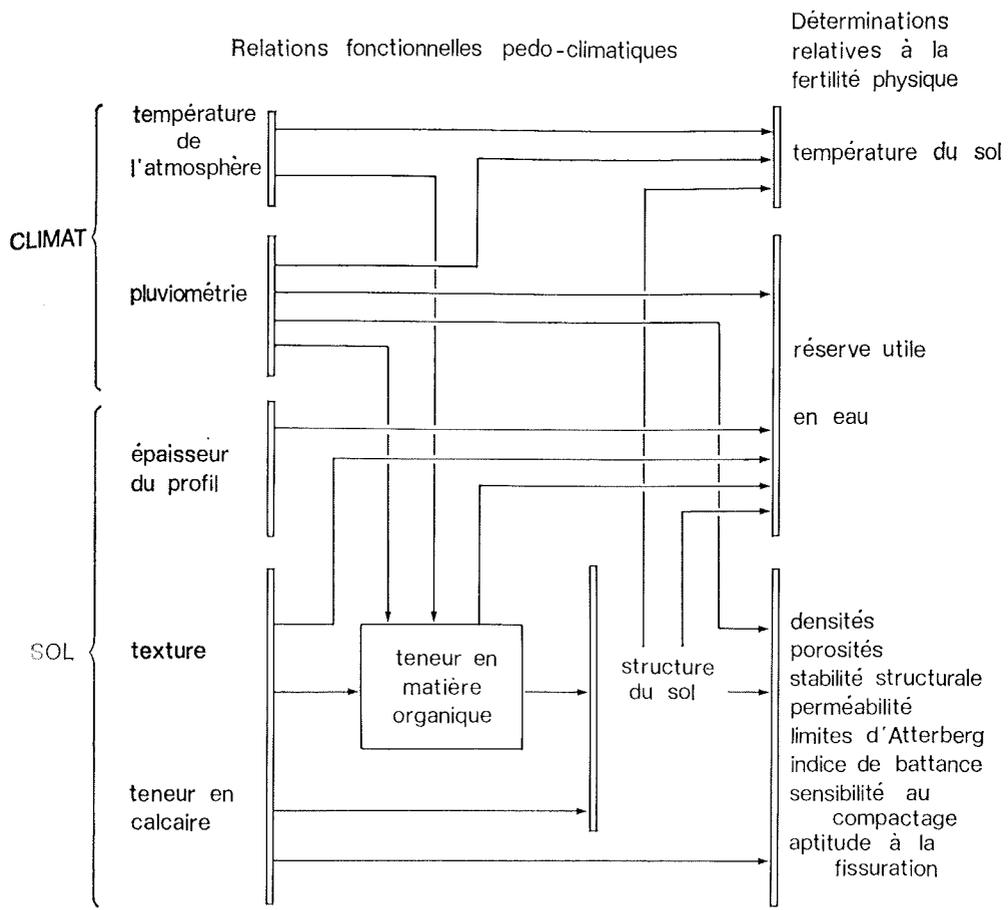


Figure 4 - Fertilité physique du sol.

4-2-3 - *Biologie et fonctionnement du sol*

L'état biologique du sol infléchit de façon permanente le fonctionnement du sol et, en conséquence, sa fertilité propre. Cette action se manifeste sous trois formes :

- sur les facteurs de croissance
- sur la qualité des transfert de ces facteurs
- sur la capacité de la racine à bénéficier des facteurs de croissance qui lui sont offerts.

a) Action sur le facteurs de croissance

Celle-ci se développe sous des aspects fort divers en majorant ou en diminuant le débit des sources des facteurs de croissance.

— La minéralisation des substances organiques du sol libère des éléments nutritifs assimilables pour le végétal (N, P... oligo-éléments). A titre d'exemple, dans la couche arable d'un sol cultivé en climat tempéré, 30 à 80 kilogrammes d'azote sont annuellement minéralisés par hectare; notons ici que cette libération d'azote minéral demeure la source essentielle de cet élément pour les sols non fertilisés.

Les facteurs favorables au développement de la plante sont opportunément et dans une large mesure les mêmes que ceux qui conditionnent la prolifération des micro-organismes; aussi, malgré un effet concurrentiel, cette flore microbienne peut majorer le débit d'une source importante nutritifs. Ainsi une minéralisation active peut-elle se trouver corrélée positivement, dans certains cas, avec un développement important du végétal; cette observation explique vraisemblablement que pour un ensemble de sols de limon de l'Ile de France, situés dans une même région climatique et par ailleurs d'un état structural excellent et stable, les rendements sont d'autant plus élevés que les teneurs en matière organique sont plus faibles (2).

— Des micro-organismes spécifiques sont à l'origine de nouvelles sources de facteurs de croissance; tels sont:

- les bactéries symbiotiques de légumineuses (rhizobium)
- les azotobacters
- les mycorhizes.

— Des conditions particulières permanentes ou temporaires sont susceptibles de détourner certains facteurs de croissance de leur absorption par la racine. Citons, à titre d'exemples:

- une prolifération de micro-organismes dénitrificateurs à la faveur d'une mauvaise aération du sol ou d'une humidité excessive
- le détournement temporaire d'azote minéral par les micro-organismes lié à un enfouissement de substances organiques de rapport C/N élevé (réorganisation).

b) Action sur la qualité des transferts des facteurs de croissance

Traité de façon identique pendant de nombreuses années, un sol atteint progressivement un niveau organique stable résultant d'un équilibre entre les apports et les quantités minéralisées. Ce niveau organique apparaît généralement d'autant plus élevé que la texture du sol est plus riche en éléments fins (argile).

Les substances organiques, de natures extrêmement diverses (substances humiques et non humiques), jouent un rôle capital sur le développement de la structure des sols par leur action dans les processus d'association en agrégats des particules primaires: action liante de certains composés issus de la dégradation des substances organiques, tels que les polysaccharides et les polyuronides, action dans l'élaboration des complexes organo-minéraux, action des sécrétions organiques bactériennes.

Il résulte de ces faits que le maintien d'une certaine teneur du sol en matière organique, lié à la permanence des processus de minéralisation, représente un facteur majeur de la qualité du système lacunaire du sol.

Source de facteurs de croissance, la matière organique apparaît également comme un élément important tant de la qualité des transferts dans le sol que de la facilité de la prospection racinaire.

c) Action de la micropopulation sur la racine elle-même

Des organismes parasites (microflore fongique, nématodes) sont susceptibles d'altérer de façon plus ou moins marquée la capacité de la racine à bénéficier des facteurs de croissance que sont les éléments nutritifs; la production végétale en est diminuée.

4-3 - Essai de définition de la fertilité propre du sol

Les considérations développées dans les paragraphes précédents conduisent à suggérer une définition de la fertilité du sol se rapportant aux causes intrinsèques responsables de l'aptitude d'un sol à alimenter dans de plus ou moins bonnes conditions le système racinaire de la plante:

« La fertilité d'un sol répond de la facilité avec laquelle, pendant toute la durée de la culture, la racine peut, en quantités suffisantes et pour ceux qui la concernent, bénéficier dans ce sol des différents facteurs de la croissance végétale: chaleur, eau, ensemble des éléments chimiques nécessaires à la plante, substances organiques de croissance ».

A cette définition peut correspondre une expression analytique associant les deux conditions d'une alimentation optimale de la racine: la disponibilité des facteurs de croissance et la qualité des transferts de ces derniers vers les surfaces racinaires:

$$\left[\begin{array}{c} \text{fertilité propre} \\ \text{du sol} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{disponibilité des facteurs} \\ \text{de croissance intervenant} \\ \text{dans le sol} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{qualité des transferts} \\ \text{vers les surfaces raci-} \\ \text{naires} \end{array} \right]$$

La considération de cette relation synthétique d'un concept sur la fertilité des sols pourrait éventuellement ouvrir une voie de recherche vers une quantification.

5 - CONCEPT SUR LA FERTILITE DES SOLS ET AGRONOMIE

L'une des ambitions de l'agriculteur est d'accroître la fertilité des sols qu'il cultive, ambition s'ouvrant sur plusieurs types d'interventions possibles :

- a) *Choix des espèces et variétés* cultivées les plus aptes à bénéficier dans les meilleures conditions des facteurs de croissance pédo-climatiques.
- b) Actions diverses ayant pour objectif d'élever à leur *valeur optimale* les différents facteurs de la croissance végétale :
 - choix des rotations culturales
 - interventions concernant une meilleure utilisation des radiations calorifiques par le sol : orientation opportune des surfaces cultivées, recouvrements spéciaux
 - apports d'eau (irrigation)
 - modification éventuelle de la réaction du sol (pH)
 - fertilisation des cultures ; l'apport d'éléments nutritifs, bien qu'assurant en premier lieu une source directe de facteurs de croissance de la plante, permet également d'accroître les réserves du sol et d'améliorer ainsi la fertilité propre du sol
 - interventions de caractère biologique permettant une meilleure utilisation de l'azote gazeux par l'apport de bactéries spécifiques et efficaces
 - apports organiques entretenant une masse organique dont la minéralisation en libère les éléments nutritifs (macro et micro-éléments).
- c) Actions assurant une *qualité des transferts* des facteurs de croissance permettant à ces derniers d'agir avec une pleine efficacité.

Une bonne qualité des transferts relève d'un état structural excellent et stable, favorable d'une part aux transferts par diffusion et convection des solutés, d'autre part à une bonne prospection racinaire du sol. Ces actions

se révèlent souvent moins aisées que les précédentes (b). Elles concernent l'entretien ou l'amélioration des qualités structurales du sol:

- entretien ou augmentation du niveau organique du sol
- surchaulage éventuel (sols à proportion élevée de limon très fin)
- drainage
- travail du sol: choix des matériels, des pièces travaillantes, de la profondeur travaillée, des périodes d'intervention en fonction des conditions climatiques.

d) Action permettant à la racine de bénéficier pleinement des facteurs de croissance qui lui sont offerts:

Il s'agit ici de techniques permettant d'une part la destruction de la végétation adventice, d'autre part l'élimination des organismes parasites susceptibles d'altérer le fonctionnement racinaire (bactéries, champignons, nématodes).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BARBIER G. - Essai de définition de la fertilité du sol. Bull. Assoc. Fr. Et. Sol 67: 210, 1955.
- (2) LEPINE - Communication personnelle, 1960.
- (3) MITSCHERLICH - Die bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens I: vol. 115 p., 1930. P. Parcy edit. Berlin.
- (4) REMY J.C. - Coût de la fertilisation et richesse chimique des sols. Bull. Tech. Inf. n. 370-372. Fertilité du milieu et agriculture, 383, 1982.

Il comportamento del fertilizzante azotato nel sistema terreno-pianta

PAOLO NANNIPIERI

COMPLESSITÀ DELLE REAZIONI DELL'AZOTO NEL SISTEMA TERRENO-PIANTA

Il comportamento dell'azoto nel sistema terreno-pianta è caratterizzato da una molteplicità di passaggi metabolici e da scambi con gli altri due comparti ambientali: aria ed acqua. Tale complessità è dovuta sia ai diversi stati di ossidazione che può assumere l'azoto (da -3 a $+5$) che alla presenza di composti azotati gassosi e/o solubili in acqua. E' noto che apporti di azoto al terreno sono dovuti ai processi di azoto fissazione, alle precipitazioni atmosferiche, all'aggiunta dei fertilizzanti ed alla presenza di residui organici di diversa provenienza (vegetale, microbica ed animale). Le perdite di azoto dal sistema terreno-pianta sono dovute ai processi di denitrificazione, di volatilizzazione ammoniacale, di dilavamento e di scorrimento superficiale delle acque. Negli ultimi trenta anni si è assistito ad una numerosa serie di indagini che hanno avuto lo scopo di caratterizzare il bilancio azotato in diverse situazioni ambientali ed in diversi sistemi colturali (3, 10, 12, 16, 20, 24).

I principali processi metabolici che interessano l'azoto nel sistema terreno-pianta sono stati individuati da diverso tempo; di essi si conoscono i microorganismi responsabili ed i prodotti finali; tuttavia le nostre conoscenze non sono complete poichè non si conoscono gli intermedi metabolici di alcune reazioni ed i relativi enzimi. Così se prendiamo in considerazione il processo di nitrificazione è noto che l'ammoniaca viene ossidata ad idrossilammina attraverso una reazione catalizzata da una ossigenasi; a sua volta l'ammoniaca viene ossidata in presenza di una idrossilammina ossidoriduttasi a nitrito. Poichè la reazione da idrossilammina a nitrito richiede un salto di 4 e, troppo elevato per una reazione di tipo biologico, si ritiene probabile l'esistenza di un intermedio la cui presenza non è stata ancora dimostrata

forse poichè si tratta di un composto instabile; si è ipotizzato che tale intermedio sia l'acido iponitroso (21).

La situazione metabolica delle forme azotate nel terreno è stata resa ancora più complessa dal fatto che si è accertato la presenza di due nuovi steps metabolici. Si è di recente ipotizzato che il protossido di azoto (N_2O) si può formare nel terreno attraverso il processo di nitrificazione, in condizioni di aerobiosi con un meccanismo che è ancora sconosciuto. La formazione di protossido di azoto durante il processo di nitrificazione operato da microorganismi di tipo autotrofo è stata dimostrata *in vitro* negli anni sessanta (5). Si è assistito, specialmente negli Stati Uniti, ad una serie numerosa di ricerche che hanno tentato di stimare, in termini quantitativi, la produzione di N_2O dal terreno in diversi sistemi colturali. La necessità di queste indagini deriva dal fatto che si è scoperto che il protossido di azoto reagisce con l'ozono presente nell'atmosfera che ha un effetto protettivo dalle radiazioni ultraviolette.

Di recente si è ipotizzato che il protossido di azoto si può originare attraverso la decomposizione dell'acido iponitroso o mediante una interazione chimica tra idrossilammina e nitrito oppure ad opera di una reazione enzimatica di riduzione dei nitriti (5). Il protossido di azoto è anche un intermedio metabolico del processo di denitrificazione che si svolge in condizioni di carenza di ossigeno, cioè in condizioni ambientali completamente diverse da quelle che caratterizzano il processo di nitrificazione. E' facilmente intuibile che i due processi sono nel terreno in una stretta relazione spaziale; se consideriamo la dinamica dei processi in un aggregato sferico è chiaro che il processo di nitrificazione avviene all'esterno, dove prevalgono le condizioni aerobiche, mentre il processo di denitrificazione avviene all'interno, dove prevalgono le condizioni di carenza di ossigeno (13).

Una ulteriore complicazione delle trasformazioni dell'azoto inorganico nel terreno è rappresentata dal fatto che lo ione ammoniacale può essere prodotto attraverso la riduzione dissimilatoria dei nitrati ad opera di alcuni batteri. Questa riduzione, connessa alla utilizzazione dei nitrati e dei nitriti come accettori di elettroni in assenza di ossigeno, deve essere distinta da quella di tipo assimilatorio che avviene in presenza di ossigeno. Recentemente si è avanzata la ipotesi che questa reazione di tipo dissimilatorio sia quantitativamente più importante nel terreno di quella dissimilatoria (22).

SULLA DISTRIBUZIONE DELL'AZOTO NEL TERRENO

Prima di prendere in considerazione le trasformazioni del fertilizzante azotato nel sistema terreno-pianta è bene considerare la distribuzione quantitativa delle diverse forme azotate nel terreno che si differenzia da quella degli altri due comparti ambientali: acqua ed aria. Nel terreno una percentuale elevata, dal 90-97% dell'azoto totale, è presente come azoto organico; il rima-

nente è presente come ammoniaca fissata nell'interstrato dei fillosilicati, mentre la percentuale di ammoniaca scambiabile e di azoto nitrico è in genere minore dell'uno per cento del totale (23).

Il contenuto di azoto di un terreno varia dallo 0.06 allo 0.3% del peso secco (4, 23). La tecnica più accurata per determinare la composizione dell'azoto organico del terreno è quella che si basa sulla idrolisi acida; dal 30 al 45% del totale organico è presente come azoto amminoacidico mentre il 5-10% è presente come amminozuccheri; una percentuale cospicua, talvolta superiore al 50% del totale, ha una composizione chimica sconosciuta. La percentuale di azoto amminoacidico è di gran lunga più elevata di quella presente nella biomassa microbica che è in genere pari al 4% del totale (11). Se si considera che gli apporti di substrato per la popolazione microbica di tipo eterotrofo sono intermittenti e quantitativamente sono tali da soddisfare solamente le richieste energetiche di mantenimento delle funzioni vitali della stessa popolazione (2), un valore più elevato di azoto amminoacidico rispetto a quello microbico pone dei quesiti sui meccanismi che proteggono queste forme azotate e sul significato ecologico ed agronomico di tale protezione. E' difficile pensare che una parte considerevole dell'azoto amminoacidico sia presente sottoforma di amminoacidi liberi poichè questi composti sono facilmente degradabili dai microrganismi ed hanno perciò una breve vita nel terreno (23). E' perciò probabile che gli amminoacidi rilasciati in seguito all'idrolisi acida siano dei costituenti di peptidi o proteine che sono in qualche modo protetti dalla degradazione microbica da una loro associazione con i complessi organo-minerali del terreno (6). Tale tipo di protezione può interessare anche singole molecole di amminoacidi. L'estrazione di enzimi attivi e presenti al di fuori dell'ambiente cellulare, è la prova più convincente della presenza di complessi uno-proteici nel terreno. Si è accertato che i complessi uno-fosfatasi di dimensioni molecolari più elevate sono quelli più resistenti alla denaturazione termica ed alla proteolisi (15, 19). E' stato ipotizzato che la resistenza di questi enzimi all'attacco microbico è dovuta al loro inglobamento in una maglia di molecole organiche con pori sufficientemente larghi da permettere il passaggio dei substrati e dei prodotti della reazione ma non quello degli enzimi proteolitici. Questo modello può spiegare la persistenza di enzimi che agiscono su substrati caratterizzati da dimensioni molecolari piccole. Dato che i complessi aventi dimensioni molecolari maggiori sono caratterizzati da un maggior contenuto di polisaccaridi, la presenza di glicoproteine in questi complessi non può essere trascurata (19).

Questi complessi sono stati analizzati per determinare la loro età in base ad un metodo messo a punto dal Dr. Kimber del CSIRO di Adelaide in Australia. Questa tecnica si basa sul fatto che il rapporto tra la forma destrorisa e quella levogira di un amminoacido è in relazione all'età dell'amminoacido. Un confronto tra gli amminoacidi rilasciati dalla idrolisi acida di due terreni, dei due loro estratti e delle frazioni ottenute dai due estratti ha dimostrato che i valori più elevati sono ottenuti dal terreno che presenta la

sostanza organica più umificata (Kimber, Ceccanti e Nannipieri, dati non pubblicati). Per quanto riguarda le singole frazioni non abbiamo ottenuto dei risultati univoci nel senso che per alcuni amminoacidi abbiamo ottenuto i rapporti più elevati per le frazioni a più basso peso molecolare mentre per altri abbiamo ottenuto un risultato opposto. Al momento stiamo tentando di dare una età media alla sostanza organica delle singole frazioni, ottenute dai due estratti; tale tentativo è piuttosto problematico per i molti fattori che occorre tenere presente.

« HOLISTIC APPROACH »

Dato l'elevato uso dei fertilizzanti azotati nella pratica agronomica, è necessario determinare la reale utilizzazione da parte delle piante del fertilizzante al fine di evitare degli inutili sprechi di natura economica ed ambientale.

Per comprendere in modo adeguato il comportamento del fertilizzante azotato nel terreno occorrerebbe individuare tutti gli intermedi metabolici organici ed inorganici ed occorrerebbe determinare le variazioni delle loro concentrazioni. Infine occorrerebbe determinare in modo accurato il tipo e la quantità dei composti azotati assorbiti dalla pianta. Numerose prove sperimentali portano a ritenere che le piante assorbono dal terreno l'azoto sotto forma nitrica; tuttavia, recentemente, si è avanzata la ipotesi che le piante possono assorbire le forme di azoto organico quando le dimensioni molecolari del composto sono piuttosto piccole. L'assorbimento dello ione ammoniacale per contatto tra le radici e le particelle del terreno non può essere escluso anche se è difficile stabilirne l'entità.

Con le tecniche attualmente disponibili è impossibile seguire ogni trasformazione del fertilizzante azotato nel terreno. Si ricorre perciò, come accade in altre discipline, a quello che gli anglo-sassoni definiscono « holistic approach »; il sistema viene considerato come un insieme di « pools » od interi il cui comportamento deriva da quello dei singoli costituenti che compongono il pool. Così, nel caso delle reazioni dell'azoto nel sistema terreno-pianta, si considerano i seguenti pools: azoto organico, quello nitrico, quello dello ione ammoniacale « fissato », quello costituito dallo ione ammoniacale in forma scambiabile, quello nelle forme gassose (N_2 , N_2O , NH_3) e la quantità assorbita dalla pianta. Recentemente è stata messa a punto una tecnica, relativamente semplice, che consente di determinare la quantità di azoto presente nella biomassa microbica (11). Anche per i processi riguardanti le trasformazioni delle forme azotate nel sistema terreno-pianta si ricorre a delle semplificazioni in quanto con le attuali tecniche è impossibile determinare il tipo e la velocità di ogni singola reazione. Così si parla di mineralizzazione dell'azoto per indicare il processo di trasformazione delle forme organiche in azoto ammoniacale anche se, come è noto, il processo si compone di numerosi steps metabolici; ad esempio, nel caso della mineralizzazione dell'azoto proteico si

hanno prima le reazioni catalizzate da proteasi e peptidasi che portano alla formazione degli amminoacidi e successivamente, attraverso reazioni di tipo diverso catalizzate da diversi enzimi (asparaginasi, glutamminasi, amminoacido ossidasi, amminoacido deidrogenasi, liasi C-N) a secondo del tipo di substrato, si viene a formare ammoniaca (14).

USO DEI COMPOSTI ARRICCHITI IN ^{15}N PER COMPRENDERE IL COMPORTAMENTO DI FERTILIZZANTE AZOTATO NEL SISTEMA TERRENO-PIANTA

Il fertilizzante aggiunto al terreno viene assorbito solo in parte dalle piante essendo soggetto ad una serie di processi metabolici di natura microbica ed a processi di tipo chimico e fisico. D'altra parte le piante soddisfano in parte i propri bisogni in azoto assorbendo i composti inorganici prodotti in seguito ai processi di mineralizzazione delle forme organiche presenti nel terreno prima dell'aggiunta del fertilizzante (17). E' chiaro che per definire il comportamento del fertilizzante azotato occorre distinguere tale comportamento da quello delle forme azotate del terreno. Ciò è possibile impiegando composti arricchiti in ^{15}N , un isotopo stabile presente nell'atmosfera in una percentuale pari allo 0,366% (8, 9). La determinazione dell'arricchimento in ^{15}N , necessaria per poter risalire alla quantità di fertilizzante azotato presente in un determinato campione, può essere eseguita con lo spettrometro di massa o con quello ad emissione. I due strumenti si differenziano, oltre che per un diverso funzionamento, anche per il fatto che lo spettrometro di massa è più sensibile, permette cioè di determinare delle piccole differenze in arricchimento, è più costoso, richiede del personale qualificato per il suo funzionamento, e richiede delle quantità di campione maggiori di quelle impiegate nell'analisi con lo spettrometro ad emissione. Qualunque sia lo strumento impiegato è necessario convertire prima i composti azotati presenti nel campione in azoto ammoniacale e successivamente l'ammoniaca in azoto elementare (8).

Nonostante il fatto che nella bibliografia internazionale fosse noto che uno studio accurato del fertilizzante azotato potesse essere compiuto solo ricorrendo a composti arricchiti in ^{15}N , solo recentemente in Italia si è ricorso a tale approccio.

In un esperimento condotto presso l'Azienda Sperimentale dell'Istituto per lo Studio e la Difesa del Suolo del M.A.F., localizzata presso Vicarello di Volterra, si è osservato che la quantità di fertilizzante azotato asportato con il raccolto alla fine della stagione di crescita era pari al 25% della quantità aggiunta (18). L'urea era stata aggiunta in una singola dose in marzo a tre microparcelle; la coltura a prato era costituita da una consociazione di graminacee (*Dactylis glomerata* e *Lolium* spp) e leguminose (*Medicago sativa* e *Lotus corniculatus*). Alla fine della prima stagione di crescita il fertilizzante residuo nel terreno (strato 0-40 cm) era pari al 59.4% della quantità aggiunta;

perciò le perdite, ricavate dalla quantità di fertilizzante azotato non ritrovata nel sistema, erano pari al 16%; tale quantità tiene conto sia dell'errore sperimentale che delle perdite dovute alla denitrificazione, alla volatilizzazione ammoniacale ed al dilavamento ed allo scorrimento superficiale delle acque.

Il fertilizzante azotato presente nel terreno alla fine della prima stagione di crescita veniva mineralizzato lentamente nei due anni successivi; la quantità assorbita dalle piante al secondo anno era pari al 2.7% mentre quella assorbita durante il terzo anno era pari al 1.4% della quantità aggiunta due anni prima (Tabella 3).

La quantità di fertilizzante azotato presente nella biomassa microbica variava dal 6.5 al 13% della quantità residua rimasta nel terreno (17).

Al fine di valutare le variazioni di concentrazione del fertilizzante azotato nei singoli pools che si verificano subito dopo l'aggiunta del fertilizzante al terreno, si procedette l'anno successivo ad una nuova fertilizzazione con urea (140 kg di N per ha, come nel precedente esperimento) arricchita in ^{15}N al 17.7%; il fertilizzante fu aggiunto in tre microparcelle aventi le stesse dimensioni di quelle utilizzate l'anno precedente. Il fertilizzante ureico aggiunto in marzo veniva trasformato velocemente in azoto ammoniacale; dopo 2 giorni dalla applicazione del fertilizzante circa il 45% del fertilizzante era presente come azoto ammoniacale (Tabella 1); tale quantità scendeva al 20% dopo 5 giorni, al 10% dopo 9 giorni dalla applicazione del fertilizzante ed allo 0.1% dopo 18 giorni. La quantità di fertilizzante azotato presente come azoto nitrico

TABELLA 1 - Quantità percentuale di fertilizzante ureico nello strato superficiale del terreno (da Nannipieri, Ciardi e Palazzi dati non pubblicati).

Periodo di tempo trascorso dall'applicazione del fertilizzante	NH_4^+	NO_3^-	N biomassa microbica	N organico	N raccolto
Giorni					
2	45 ± 5	0.7 ± 0.1	—	—	
5	30 ± 2	2.0 ± 0.2	15 ± 4	20 ± 2	
9	10 ± 1	0.8 ± 0.1	28 ± 4	47 ± 6	
18	0.1 ± 0	0.1 ± 0	13 ± 4	52 ± 7	
Mesi					
1					12 ± 2
7	0.1 ± 0	0.1 ± 0	4 ± 2	50 ± 6	12 ± 3

aumentava, nel periodo 2-5 giorni, passando dallo 0.7 al 1.8% della quantità aggiunta; successivamente tale quantità diminuiva raggiungendo lo 0.1% dopo 18 giorni dalla aggiunta del fertilizzante. Una quantità cospicua di fertilizzante azotato era presente nella biomassa microbica; tale percentuale aumentava nel periodo 5-9 giorni passando dal 15 al 28% della quantità aggiunta (Tabella 1) ed era più elevata di quella asportata dal raccolto al primo taglio.

Questi dati dimostrano come i microorganismi del terreno siano molto più « abili » delle piante nello utilizzare il fertilizzante azotato. Inoltre i dati della tabella 1 dimostrano come il processo di conversione delle forme inorganiche in quelle organiche (processo di immobilizzazione dell'azoto) sia rilevante: dopo 9 giorni dalla applicazione del fertilizzante il 47% del fertilizzante azotato è presente come azoto organico.

Si è osservato che la fertilizzazione provoca un aumento notevole della biomassa microbica espressa come mg di C per g di terreno secco; tale aumento persiste per un breve periodo (Nannipieri, Ciardi e Palazzi, dati non pubblicati).

Le perdite di azoto ureico, aggiunto come composto arricchito in ^{15}N a microparcelle (2.25 m^2) coltivate a grano varietà Resistente, sono risultate piuttosto basse variando dall'8 al 25% della quantità aggiunta (Tabella 2); come già abbiamo visto nel caso dell'associazione graminacee-leguminose le perdite di azoto sono state stimate indirettamente considerando complessivamente le quantità di fertilizzante azotato ritrovate nella pianta e nel terreno (Ciardi, Nannipieri, Toderi e Giordani, dati non pubblicati). Le parcelle prese in considerazione sono soggette ad una rotazione mais-grano e sono incluse in un esperimento a lungo termine iniziato nel 1967 presso l'azienda sperimentale di Cadriano dell'Università degli Studi di Bologna. Le parcelle testimone non sono mai state concimate ad eccezione dell'aggiunta di urea arricchita in ^{15}N effettuata nel 1985; quelle concimate con concimi minerali hanno ricevuto ogni anno 200 kg di N e 150 kg di P_2O_5 per ha; le altre parcelle hanno ricevuto ogni anno 40 t di letame per ha con o senza 200 kg di N e 150 kg di P_2O_5 per ha. L'urea arricchita in ^{15}N al 10.3% è stata aggiunta in una quantità pari a 200 kg di N per ha ed è stata suddivisa in due dosi: una aggiunta in gennaio e l'altra in marzo (Ciardi, Nannipieri, Toderi e Giordani dati non pubblicati). Nelle parcelle che non erano mai state concimate (parcella testimone) o che erano state concimate solamente con composti azotati e fosfatici la quantità di fertilizzante azotato assorbita dalle piante è uguale a quella che rimane nello strato superficiale del terreno (Tabella 2). Nelle parcelle concimate con letame la quantità assorbita dalle piante prevale su quella residua presente nel terreno. Con i dati a nostra disposizione possiamo avanzare solamente delle ipotesi che necessitano di una verifica sperimentale. È possibile che nelle parcelle concimate con letame, presentando il terreno un più elevato contenuto di sostanza organica, siano presenti delle molecole uniche che una volta assorbite dalla pianta stimolano l'attività fisiologica delle piante.

TABELLA 2 - Bilancio del fertilizzante ureico in parcelle a grano (Ciardi, Nannipieri, Toderi e Giordani dati non pubblicati).

Parcelle	Granella	Paglia	Radici	Terreno	Totale
	% della quantità aggiunta				
Testimone	24.5 ± 1.6	11.3 ± 0.8	1.2	37.5	74.5
Concimi minerali	31.7 ± 0.1	9.8 ± 0.2	1.0	42.9	85.5
Letame	41.2 ± 4.6	11.8 ± 0.2	0.4	38.8	92.2
Letame + concimi minerali	38.0 ± 2.1	13.6 ± 1.8	1.4	28.9	81.9

Un'altra considerazione da fare è quella relativa al basso contenuto di fertilizzante azotato presente nelle radici; è evidente che il fertilizzante azotato assorbito viene traslocato velocemente alla parte epigea; è possibile che il fertilizzante azotato presente nelle radici di grano al momento del campionamento, effettuato come quello delle altre parti della pianta al raccolto, sia quello in precedenza immobilizzato nel terreno e successivamente mineralizzato.

Quantità inferiori di fertilizzante azotato vengono assorbite dalle piantine di melo fertilizzate con urea arricchita in ¹⁵N (Tabella 3). Questa ricerca come

TABELLA 3 - Quantità di azoto ureico assorbita dalle piantine di melo rispetto alla quantità aggiunta (De Nobili *et al.*, 1986).

	% della quantità aggiunta
Dopo 1 anno dalla messa a dimora	1.1
Dopo 2 anni	2.3
Dopo 3 anni	6.8
Dopo 4 anni	10.5

quella sul grano è stata condotta nell'ambito del Progetto Finalizzato IPRA ed è iniziata nel 1983 con la messa a dimora di piantine di melo cv *Golden delicious* su 5 filari di 25 piantine (7); le distanze di impianto erano di m 4.1,6.

La ricerca viene condotta presso l'Azienda Vitifrutticola di Pantianicco, gestita dall'Ente Regionale per lo Sviluppo dell'Agricoltura. Tutte le piante hanno ricevuto la concimazione ureica annuale ad eccezione di due distinti gruppi di 3 piante che hanno ricevuto urea arricchita in ^{15}N . Il primo gruppo è stato asportato dal terreno ogni anno al termine della stagione di crescita onde consentire un bilancio completo dell'efficienza dell'azoto somministrato con la concimazione dello stesso anno. Il secondo gruppo di meli è stato lasciato in luogo per tutta la durata della prova (5 anni). La somministrazione del concime azotato è stata effettuata in 3 dosi successive.

La quantità del fertilizzante azotato assorbita dalle piantine di melo al quarto anno è pari al 10% della quantità aggiunta (Tabella 3). Tale quantità è aumentata con il procedere dell'età delle piantine; tuttavia, se si considera i risultati dell'esperimento condotto con le piantine al quarto anno la quantità di fertilizzante azotato presente nel terreno (circa il 40% della quantità aggiunta) si osserva che circa il 50% del fertilizzante non viene ritrovata nel sistema terreno-pianta. Le caratteristiche del terreno definite da una abbondante scheletro, da una tessitura sciolta e da un pH alcalino favoriscono il dilavamento dei nitrati e le perdite per volatilizzazione dell'ammoniaca. Se però si considera come i singoli componenti vegetali soddisfano i propri bisogni in azoto si osserva che la quantità che deriva dal fertilizzante è cospicua (Tabella 4); ad esempio, nel caso dell'azoto presente nelle foglie

TABELLA 4 - Quantità percentuale di azoto proveniente dal fertilizzante rispetto al totale presente nel pool vegetale. Piantine campionate nel 1984. (De Nobili *et al.*, 1986).

	%
Foglie	49.2
Rami e branche	45.8
Tronco	31.1
Radici	45.9

circa il 50% del totale deriva dal fertilizzante ed il rimanente deriva da composti azotati presenti nel terreno o già presenti nella pianta. Perciò, nonostante le notevoli perdite di azoto dal sistema, la fertilizzazione riesce a soddisfare una buona parte delle richieste della pianta.

CONCLUSIONI E FUTURI INDIRIZZI DI RICERCA

Dal confronto delle tre situazioni investigate (associazione graminacee-leguminose, grano e piante di melo) è emerso che le perdite più elevate si verificano nella coltura arborea; è probabile che le condizioni del terreno, con tessitura sciolta ed un pH leggermente alcalino, favoriscono le perdite di azoto dal sistema terreno-pianta. Tuttavia, nel caso delle piante arboree la presenza di una minore densità radicale di quella che caratterizza, ad esempio, le piante erbacee favorisce l'azione competitiva dei microrganismi. La difficoltà di impostare gli esperimenti, connessa in parte alla necessità di un numero minimo di replicazioni tale da consentire una analisi statistica adeguata, ha portato ad una scarsità di lavori sperimentali in questo tipo di colture. E' perciò problematico capire le ragioni delle elevate perdite di azoto nel caso delle colture arboree e di conseguenza resta difficile ovviare a tali perdite.

Dallo studio del comportamento del fertilizzante azotato nel sistema terreno-pianta si è accertato che i processi di immobilizzazione, effettuati dai microrganismi, trasformano una cospicua quantità di fertilizzante nelle forme organiche e le piante devono soddisfare i propri bisogni in azoto utilizzando i composti inorganici prodotti dai processi di mineralizzazione a carico delle forme organiche presenti nel terreno. Si è accertato che una cospicua quantità del fertilizzante azotato immobilizzato nel terreno si trova come azoto amminoacidico (1). Infatti, da un confronto delle quantità di fertilizzante azotato immobilizzato nel terreno, si è osservato che la quantità presente come azoto amminoacidico era pari al 59% del fertilizzante azotato residuo del terreno ed era più elevata di quella dell'azoto amminoacido nativo che risultava pari al 36% del totale; anche la quantità di fertilizzante azotato residuo presente come amminozuccheri era pari al 10% circa, più elevata cioè di quella dell'azoto « nativo » che risultava pari all'8% (1). Questo frazionamento era eseguito alla fine della stagione di crescita quando circa 1/3 del fertilizzante azotato era stato immobilizzato nelle forme organiche. Quando il terreno veniva prelevato dopo 4 anni ed analizzato si osservava che la quantità di fertilizzante residua nel terreno era pari ad 1/6 della quantità aggiunta e la distribuzione del fertilizzante tra le diverse forme azotate era simile a quello dell'azoto nativo.

Il sistema di frazionamento riguardante l'azoto organico è stato messo a punto circa trenta anni fa da Bremner (4); con tale metodica la struttura chimica di una quantità cospicua di azoto organico non viene identificata. Uno studio più approfondito sul comportamento del fertilizzante azotato richiede una tecnica con la quale si possa definire in modo più accurato la composizione chimica dell'azoto organico del terreno. Recentemente è stata messa a punto una nuova tecnica analitica con la quale si è accertato che la quantità di azoto presente nel terreno come acidi nucleinici, nucleotidi e nucleosidi varia dal 2 al 4% del totale; tale percentuale è più elevata di quella accertata in precedenza.

I tentativi di esprimere le reazioni dell'azoto in termini matematici sono importanti e nascono dalla necessità di definire in termini quantitativi gli effetti delle condizioni climatiche e delle colture sulle trasformazioni dell'azoto. Un notevole numero di modelli sono stati proposti per interpretare il comportamento del fertilizzante azotato nel terreno; tali modelli possono essere raggruppati in due categorie: i modelli analitici semplici e modelli dettagliati di processo. I primi sono i più vecchi, cercano di interpretare le variazioni del contenuto di azoto organico del terreno con il procedere della variabile tempo e si basano su semplici equazioni differenziali. I secondi cercano di simulare i diversi processi che riguardano l'azoto nel terreno e le variazioni di velocità di tali processi in seguito al variare delle proprietà del terreno, della temperatura, della piovosità e della crescita delle piante. Sebbene tali modelli siano estremamente interessanti la loro applicazione pratica è limitata dalla complessità delle reazioni dell'azoto e dalla nostra incompleta conoscenza di tali processi. Tuttavia la utilizzazione dei modelli matematici è utile perchè serve a mettere in evidenza gli aspetti ancora poco conosciuti e perciò le future aree di ricerca.

Tuttavia, nonostante i progressi effettuati negli ultimi tempi rimane problematico determinare in modo accurato *in situ* alcuni processi, quali, ad esempio, le perdite dovute ai processi di denitrificazione. Non è ancora possibile separare e determinare le velocità dei processi di mineralizzazione ed immobilizzazione dell'azoto. Questi due processi avvengono simultaneamente per cui anche impiegando i composti arricchiti in ^{15}N non si riesce a determinare la differenza tra le velocità dei due processi.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ALLEN A. L., STEVENSON F. J. e KURTZ L. T. - Chemical distribution of residual fertilizer nitrogen in soil as revealed by nitrogen - 15 studies J. Environ. Qual 2: 120, 1983.
- (2) ANDERSON T. H. e DOMSCH K. M. - Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil micro organisms in a dormant state. Biol. Fert. Soils 1: 81, 1985.
- (3) BARSDATE R. J. e ALEXANDER V. - The nitrogen balance of arctic tundra: pathways, rates and environmental implications J. Environ. Anal. 4: 111, 1975.
- (4) BREMNER J. M., - Organic forms of nitrogen in « Methods of soil analysis (C.A. Black et al., eds) p. 1148. American Society of Agronomy, Madison U.S.A., 1965.
- (5) BREMNER J. M. e BLACKMER A. M. - Terrestrial nitrification as a source of atmospheric nitrous oxide in « Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide. (C.C. Delwiche, ed.) p. 151. John Wiley and Sons, New York, 1981.
- (6) BURNS R. K. - Enzymes activity in soil: location and a possible role in microbial ecology. Soil Biol. Biochem. 14: 423, 1982.
- (7) DE NOBILI M., LERTA L., PETRUSSI F., FRANZIN F., NANNIPIERI P., CIARDI C., SEQUI P. e YCUSSE J. - Il bilancio dell'azoto nella concimazione del melo. In « La coltura del melo verso gli anni 90 » 18-20 dicembre, 1986.
- (8) FIEDLER R. e PROKSCH G. - The determination of nitrogen - 15 by emission and mass spectrometry in biochemical analysis: a review. Analitica Chimica Acta 78: 1, 1975.
- (9) HAUCK R. D. e BREMNER J. M. - Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research Adv. in Agronomy 28: 219, 1976.

- (10) JENKINSON D. S. - The nitrogen economy of the Broadbalk experiments I Nitrogen balance in the experiments Rep. Rothamsted Exp. Stn. for 1976 Pt 2: 103, 1976.
- (11) JENKINSON D. S. e LADD J. N. - Microbial biomass in soil: measurement and turnover In « Soil Biochemistry » vol. 5 (E.A. Paul e J.N. Ladd, eds) p. 415. Dekker, New York, 1981.
- (12) KEENEY D. R. - A mass balance of nitrogen in Wisconsin transaction Ws. Acad. Sci. Arts Letter, 1979.
- (13) KNOWLES R. - Common intermediates of nitrification and the metabolism of nitrous oxide Microbiology 367, 1978.
- (14) LADD J. N. e JACKSON - Biochemistry of ammonification In « Nitrogen in Agroecultural Soils » (Stevenson F.J., ed.) pp. 173-228. American Society of Agronomy, Madison U.S.A., 1982.
- (15) NANNIPIERI P., CECCANTI B., CERVELLI S. e SEQUI P. - Stability and kinetic properties of humus urease complexes Soil Biol. Biochem. 10: 143, 1978.
- (16) NANNIPIERI P. e GORI S. - Bilancio azotato nel terreno In « Atti del Primo Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia » (Moroni A., Ravera O. e Anelli A.) p. 155, Edizione Zara Roma, 1981.
- (17) NANNIPIERI P. e CIARDI C. - La problematica relativa ai processi di mineralizzazione ed immobilizzazione dell'azoto nel terreno: una introduzione. Informatore Botanico 14: 136, 1982.
- (18) NANNIPIERI P., CIARDI C. e PALAZZI T. - Plant uptake, microbial immobilization and residual soil fertilizer in urea-nitrogen in a grass-legume association Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 452, 1985.
- (19) NANNIPIERI P., CECCANTI B. e BIANCHI D. - Characterization of humus-phosphatase complexes extracted soil Biol. Biochem. 20: 683, 1988.
- (20) PAUL E. A. - Nitrogen cycling in terrestrial ecosystem In « Environmental Biogeochemistry » (J.O. Nugu, ed.) p. 277. Ann. Arbor. Sci. Pub. In., Michigan U.S.A., 1979.
- (21) SCHMIDT E. L. - Nitrification in soil In « Nitrogen in Agricultural Soil » (F.S. Stevenson, ed.) p. 253. American Society of Agronomy, Madison, U.S.A., 1982.
- (22) SMITH M. S. - Dissimilatory reduction of NO_2^- to NH_4^+ and N_2O by a soil *Citrobacter* sp. Applied and Environmental Microbiology 43: 854, 1982
- (23) STEVENSON F. J. - Humus Chemistry Genesis, Composition, Reaction. John Wiley and Sons, New York, 1982.
- (24) WEST N. E. and SKUJINS J. J. - The nitrogen cycle in North American cold-winter semi-desert ecosystem. Ecol. Plant. 21: 45, 1977.

en
er
er,
ci.
ous
ral
on
of
sso
(A.)
one
ota-
and
Soc.
tase
che-
son,
cter
and
nter

SESSIONE SECONDA
NUTRIZIONE DELLE PIANTE
RELAZIONI GENERALI

Problematica delle piante accumulatrici

GOFFREDO LOTTI

CONSIDERAZIONI GENERALI

L'accumulo dei metalli (o in generale degli elementi) si verifica nelle piante fondamentalmente a seguito della loro capacità di *selettività* a livello del plasmalemma, che tende ad escludere — entro certi limiti — alcuni elementi in favore di altri, indipendentemente dalla loro concentrazione nell'ambiente esterno.

I *fattori di concentrazione*, vale a dire i rapporti tra la concentrazione di un elemento nel tessuto fresco della pianta e la concentrazione nella soluzione esterna (valutati per mezzo delle alghe) variano in un campo molto ampio, passando da valori inferiori all'unità (Cl, Na) a valori superiori a 100.000 (Fe, Pb). In genere questi valori sono più elevati per i cationi polivalenti rispetto a quelli monovalenti, senza alcuna relazione con la essenzialità degli elementi.

Una specie vegetale può definirsi *accumulatrice* quando presenta una particolare affinità verso un determinato elemento e quindi è capace di assorbirne quantità anormalmente elevate rispetto al suo contenuto medio negli altri vegetali, anche se il suo tenore nel terreno (o nelle acque, se si tratta di alghe o piante acquatiche) rientra nei limiti normali. In questo accumulo la pianta non deve mostrare sintomi di sofferenza tali da comprometterne la vita.

Da un esame accurato delle più importanti specie accumulatrici conosciute (Tabella 1) si rileva che generalmente le piante non manifestano accumuli per i macronutritivi, anche se possono ritrovarsi in alcune specie quantità elevate di certi elementi, come lo zolfo nelle *Cruciferae* e nell'*Allium* spp. o il calcio e il ferro nei rivestimenti di alcune alghe. Gli accumuli si verificano principalmente per gli elementi micronutritivi e per quelli accessori (40).

Tra le piante superiori le specie accumulatrici sono distribuite senza alcuna regola. Molte specie fanno parte delle grandi famiglie delle *Caryophyllaceae*, *Compositae*, *Cruciferae*, *Leguminosae*, *Labiatae* e *Gramineae*, mentre alcune sono uniche nell'accumulare un determinato elemento.

TABELLA 1 - *Principali famiglie e specie accumulatrici di ioni (4, 27, 31).*

Famiglia	Specie e ioni accumulati
Betulaceae	<i>Betula papyrifera</i> (Hg)
Caryophyllaceae	<i>Silene dioica</i> (Cu), <i>Silene vulgaris</i> (Cu, Sn, Zn), <i>Minuartia setacea</i> (Hg), <i>Minuartia verna</i> (Pb, Zn), <i>Gypsophila patrinii</i> (Cu), <i>Lychnis alpina</i> (Cu), <i>Polycarpha spirostylis</i> (Cu), <i>Thlaspi alpestre</i> , <i>T. calaminare</i> (Zn)
Characeae	<i>Chara</i> spp. (Sr)
Chenopodiaceae Cladoniaceae	<i>Atriplex hastata</i> (Al), <i>Atriplex confertifolia</i> (Re), alcune Cl e Na <i>Stereocaulon pileatum</i> (Pb), <i>S. nanodes</i> (Zn)
Compositae	<i>Cassinia vauvilliersii</i> (Cr, Ni), <i>Grindelia fastigiata</i> (Mo), <i>Dicoma</i> spp. (Ni), <i>Vernonia glaberrima</i> (Cu), <i>Machaeranthera</i> spp. (Se), <i>Haplopappus</i> spp. (Se), <i>Artemisia</i> sp. (Ga), <i>Cirsium</i> sp. (Li)
Cruciferae	<i>Alyssum bertolonii</i> , <i>A. murale</i> (Ni), <i>Sinapis</i> spp. (B, S), <i>Raphanus sativus</i> (B, S), <i>Stanleya pinnata</i> (Se)
Cyperaceae	<i>Uncinia leptostachya</i> (U), tutte il Si, molte Al
Diapensiaceae	(Al)
Dichapetalaceae	<i>Dichapetalum</i> spp. (F)
Equisetaceae	tutte Al
Ericaceae	<i>Clethra barbinervis</i> (Co), <i>Vaccinium myrtillus</i> (Be), alcune specie Al, Mn
Geraniaceae	<i>Otidia onotica</i> (Zn)
Gramineae	<i>Molinia coerulea</i> (Zn), tutte il Si
Hydrophyllaceae	<i>Phacelia sericea</i> (Au)
Juglandaceae	<i>Carya</i> spp. (terre rare, Y, Lu)
Juncaceae	(Si)
Labiatae	<i>Stachys recta</i> (Ni), <i>Elsholtzia eichowensis</i> (Cu), <i>Becium homblei</i> (Cu)
Lecythidaceae	<i>Bertholletia</i> spp. (Ra, Ba), <i>Lecythis ollaria</i> (Se)
Leguminosae	<i>Astragalus</i> spp. (Se), <i>Astragalus preussi</i> (V), <i>Acacia georginae</i> (F), <i>Amorpha canescens</i> (Pb), <i>Crotalaria cobalticola</i> (Co), <i>Cryptosepalum maraviense</i> (Cu)
Liliaceae	<i>Allium montanum</i> (Hg), <i>Allium</i> spp. (S)
Loganiaceae	<i>Strychnos ignatii</i> (Ni)

Segue Tabella 1

Famiglia	Specie e ioni accumulati
Lycopodiaceae	Alcune Al
Malvaceae	Uapaea sp. (Cu)
Melastomaceae	(Al)
Myrtaceae	Leptospermum scoparium (Cr, Ni), Feijoa sellowiana (I)
Nyssaceae	Nyssa sylvatica (Co)
Pinaceae	Pseudotsuga menziesii (As), Pinus sibirica (W)
Plumbaginaceae	Armeria helleri (Zn), alcune Cl e Na
Polygonaceae	Eriogonum ovalifolium (Ag)
Proteaceae	Orites excelsa (Al)
Ranunculaceae	Thalictrum sp. (Li)
Rhizophoraceae	Bruguiera spp. (Cl), Rizophora spp. (Cl), alcune Na
Rosaceae	Moquilea sp. (Si)
Rubiaceae	Coprosma arborea (U), Psychotria sp. (Ni), Morinda reticulata (Ni), Galium sp. (Ga)
Samydaceae	Homalium sp. (Ni)
Saxifragaceae	Geissas spp. (Ni)
Scrophulariaceae	Hebe odora (Cr, Ni)
Solanaceae	Lycium sp. (Li)
Symplocaceae	(Al)
Ternstroemiaceae	Camellia spp. (Mn)
Theaceae	Alcune specie Mn, alcune Si, Thea sinensis (Al)
Thymelaeaceae	Pimelea suteri (Ni) (Cr)
Tiliaceae	Trichospermum sp. (Ni), Triumfetta welwitschii (Cu)
Umbelliferae	Petroselinum sativum (V)
Verbenaceae	Avicennia spp. (Cl), Tectona grandis (Au)
Violaceae	Hybanthus floribundus (Ni), Rinorea bengalensis (Ni), Viola lutea, V. tricolor var. calaminare (Zn)

Accumuli di elementi si trovano anche nelle felci (l'*Asplenium septentrionale* sembra accumuli l'ittrio) ed in molte specie di funghi. L'*Helvella crispa* accumula lo zinco e così pure il *Pleurotus olearius*, l'*Otidia onotica*, la *Russula emetica* e alcune specie di *Tricholoma*; alcune specie di *Lycoperdon* accumulano l'argento; *Amanita* spp. accumulano bromo e vanadio; *Agaricus* spp. e *Hygrophorus puniceus* accumulano il cadmio; il *Boletus edulis* accumula il selenio; specie di *Lepiota*, *Cortinarius* e *Lycoperdon* accumulano il rame (32).

Forti accumulatrici di elementi sono poi le alghe. Il *Fucus spiralis* accumula il titanio, la *Laminaria digitata* il titanio e l'iodio, il *Fucus vesiculosus* il bario, *Coscinodiscus* spp. il manganese, le diatomee il silicio e molte altre specie di alghe accumulano sodio, iodio, stronzio (alghe brune), bromo, arsenico, ferro ed anche uranio e radio.

Specie accumulatrici si ritrovano anche tra i licheni (l'*Acarospora smaragdula* accumula il ferro, lo *Stereocaulon nanodes* e il *Diploschistes scruposus* lo zinco, lo *Stereocaulon pileatum* il piombo) ed in alcuni muschi (*Merceya* spp. e *Mielichhoferia* spp. accumulano il rame).

In teoria è possibile distinguere tentativamente e con una certa approssimazione, quattro situazioni fondamentali di accumulo:

- I) piante che accumulano gli elementi considerati *essenziali* per la vita vegetale, tenendo presente che anche tali elementi in quantità eccessive possono divenire tossici;
- II) piante che accumulano elementi non essenziali, *tollerando* questo accumulo con modificazioni più o meno evidenti riguardanti sia il loro metabolismo, sia la loro morfologia;
- III) piante che accumulano certi elementi per sopperire a determinate necessità fisiologiche o strutturali, ma che possono svilupparsi e compiere il loro ciclo vitale anche in mancanza degli elementi accumulati;
- IV) piante che accumulano elementi non essenziali che svolgono in esse una funzione determinata nel loro complesso metabolico e *non possono* compiere il loro ciclo vitale in mancanza degli elementi stessi. Per queste piante quindi l'elemento non essenziale diventa essenziale.

Al primo gruppo appartengono quelle piante che possono accumulare oltre ai macronutritivi, anche gli elementi micronutritivi e cioè rame, zinco, manganese, cobalto, molibdeno, boro e cloro; al secondo gruppo appartengono classicamente quelle piante che si sono adattate a sopportare livelli di concentrazione degli elementi che sarebbero tossici per gli altri vegetali, in particolare litio, rubidio, berillio, stronzio, bario, arsenico, fluoro, alluminio, cadmio, piombo, cromo, titanio, mercurio e tallio; al terzo gruppo appartengono le piante accumulatrici degli elementi talvolta detti « benefici » quali bromo, iodio, silicio e lo stesso alluminio; al quarto gruppo infine apparten-

gono quelle piante che accumulano elementi indispensabili solo per determinate specie, come sodio, nichel, selenio e vanadio.

E' comunque importante ribadire che la distinzione sopra delineata tra i vari gruppi è puramente indicativa, allo stato attuale delle conoscenze, a causa della enorme multiformità e adattabilità delle specie vegetali.

MECCANISMO DELL'ACCUMULO

Sebbene si sia ancora molto lontani da una soddisfacente spiegazione delle cause fisiologiche che portano all'accumulo di ioni, in particolare metallici, nelle piante e del significato metabolico che taluni di essi assumono per la vita vegetale, i motivi di interesse allo studio del fenomeno dell'accumulo rimangono molteplici, sia di ordine teorico (biochimismo delle piante) che pratico (influenza sulla alimentazione animale e umana, sviluppo e resa delle colture, ecc.).

Sembra comunque accertato che il meccanismo di accumulo abbia una base genetica che si estende non solo alla specie, ma anche alle varietà. Ciò è avvalorato dal fatto che, nell'ambito di un genere, solo poche specie e molto spesso una sola, sono capaci di accumulo.

Questa caratteristica è stata dimostrata da molti sperimentatori per alcuni elementi, come per l'iodio nelle erbe di certi pascoli della Nuova Zelanda (11), mentre le differenze varietali sono state accertate tra gli altri da Rasmusson e Kleese (1967) per lo stronzio nel *Triticum aestivum* e nell'*Hordeum vulgare* e da Foy *et al.* (1967) per l'alluminio su varietà di *Gossypium hirsutum*.

Il controllo genetico, che può operare sia regolando l'assorbimento iniziale, sia i meccanismi di traslocazione, sia l'utilizzazione metabolica dell'elemento, può anche influenzare altri fattori (come ad esempio il grado di proliferazione delle radici o addirittura la respirazione) che a loro volta possono condizionare indirettamente la nutrizione minerale della pianta.

E' quindi possibile per l'uomo sfruttare quei particolari meccanismi che hanno portato soltanto alcune specie di una famiglia a divenire accumulatrici ioniche, per indurre geneticamente il carattere « accumulo » per un determinato elemento in piante di interesse agrario, creando così specie resistenti all'elemento. Ciò è stato già conseguito, in particolare per l'alluminio e soprattutto per il sodio (resistenza alla salinità).

FASI DELL'ACCUMULO

Le fasi dell'accumulo di un determinato elemento nelle piante possono essere sinteticamente distinte in: a) fase dell'assorbimento; b) fase della traslocazione; c) fase della immobilizzazione (accumulo vero e proprio) sotto

forma di sale inorganico, complesso o composto organico. Queste fasi sono relativamente ben conosciute per gli elementi micronutritivi, mentre ancora molta sperimentazione deve essere condotta per gli altri elementi presenti in tracce.

a) Fase dell'assorbimento. Questa costituisce ovviamente la fase fondamentale del processo, che condiziona tutte le altre.

Oltre ad essere legato alla sua concentrazione nel mezzo esterno, l'assorbimento di un ione dipende fortemente dalla natura e dalle proprietà del mezzo nel quale si trova. Sarà cioè nettamente diverso (quantitativamente parlando) se siamo in mezzo acquoso (alghe o piante acquatiche) o se siamo in presenza del terreno. In quest'ultimo caso l'assorbimento dipenderà in forte misura dalla entità delle forze con le quali l'ione è trattenuto nel terreno stesso, dal pH, dal potenziale redox, dalla presenza di sostanza organica, dal grado di umidità, dalla temperatura, dalla aereazione, ecc., oltre che naturalmente dalla forma chimica presente e dalla sua solubilità nelle condizioni del terreno. L'assorbimento dipenderà anche dal tipo di pianta e dal suo stadio di sviluppo. Come è noto le piante hanno la capacità di assorbire selettivamente, con meccanismo attivo, gli ioni di cui necessitano, utilizzando adatti trasportatori che permettono loro un assorbimento contro il gradiente di concentrazione. Così ad esempio il potassio viene assorbito selettivamente anche in presenza di quantità di sodio mille volte superiori, l'iodio viene accumulato nelle alghe sebbene le acque contengano quantità di bromo mille volte più grandi, ecc.

Tuttavia deve essere subito messo in evidenza che la selettività delle piante non è *assoluta*, vale a dire che, se è vero che la pianta è capace di assorbire preferenzialmente un elemento necessario al suo sviluppo anche quando tale elemento è presente in quantità enormemente inferiori a quelle degli altri elementi presenti nella soluzione circolante, è anche vero che la pianta non è in grado di *precludere* totalmente l'ingresso ad altri elementi, anche tossici. Quando un elemento, sebbene dannoso alla vita della pianta, è presente nel mezzo esterno in concentrazione elevata (la cui soglia varia da specie a specie) l'organismo vegetale non può impedirne l'ingresso, almeno in una certa misura, e dovrà eventualmente mettere successivamente in atto meccanismi metabolici di vario tipo per contrastarne la tossicità. E' per questa ragione che in una pianta si ritrovano, in quantità più o meno elevate, tutti gli elementi che sono presenti nel mezzo nel quale essa vive. Il fatto è particolarmente evidente quando la pianta vegeta su substrati notevolmente ricchi di metalli estranei al metabolismo vegetale (substrati serpentinosi, scisti seleniferi, etc.).

La mancanza di una selettività assoluta nelle piante è una caratteristica fondamentale del loro comportamento. Tuttavia non trova una facile spiegazione, anche perchè le ragioni possono variare da caso a caso. Presumibilmente in certi casi l'elemento « anomalo » potrà penetrare in quanto eser-

citerà un meccanismo di competizione per lo stesso sito attivo del trasportatore al quale si legano altri elementi indispensabili, oppure quando, anche se la sua affinità per il trasportatore è molto piccola, la sua alta concentrazione opererà per effetto di azione di massa.

Speculativamente si potrebbe anche pensare che il trasportatore, in presenza di forti quantità di un ione, modifichi in parte la sua struttura aprendo nuovi canali di ingresso, oppure che l'ione venga « cooptato » da altri ioni. L'assorbimento degli ioni si verifica fundamentalmente tramite le radici (in modo passivo o attivo) le quali possono operare anche un'azione di mobilizzazione degli elementi che si trovano legati ai diversi costituenti del terreno. Le forme più facilmente mobilizzabili sono quelle in cui gli elementi sono adsorbiti sulle argille, mentre quando sono fissati agli ossidi (o presenti nei microrganismi) il loro rilascio è molto più difficile.

Oltre al classico meccanismo di ingresso tramite i trasportatori (o gli agenti chelanti) si deve considerare anche la possibilità di uno scambio cationico da parte delle radici, le quali possono anche effettuare processi di riduzione (ad es. da Fe^{3+} a Fe^{2+}).

Si deve ricordare, specialmente ai fini della contaminazione alimentare, che molti elementi possono essere assorbiti anche dalle foglie, in una fase non metabolica che contempla la penetrazione attraverso la cuticola e quindi in una fase attiva per la penetrazione nei protoplasti.

In generale gli elementi assorbiti dalle foglie si muovono nei tessuti fino alle radici, alcuni molto lentamente (cadmio, zinco, piombo), altri assai velocemente (rame).

- b) Fase della traslocazione. Il trasporto a lunga distanza degli elementi comprende il loro movimento nello xilema e nel floema, in una visione « integrata » con il terreno, che comprende un unico meccanismo di regolazione. I caratteri fondamentali del trasporto nello xilema appaiono quelli di un trasporto di massa, legato al flusso dell'acqua, sebbene si verifichino anche meccanismi attivi, con conseguente selettività. Il trasporto (e la sua velocità) viene influenzato da numerosi fattori, come il pH, il potenziale redox, la presenza di cationi competitivi, la temperatura, etc. Sembra che, almeno in parte, il movimento degli ioni a lunga distanza sia influenzato anche dalla respirazione (49).

Comunque la mobilità dei metalli appare legata principalmente alla formazione di chelati. Ciò è stato dimostrato in particolare per il ferro che sembra venga trasportato nella pianta come ferricromo, composto della classe delle siderammine, con meccanismo attivo. Anche l'Al si muove come ossalato o come citrato (47).

- c) Fase della immobilizzazione. E' da mettere innanzitutto in evidenza che la distribuzione e l'andamento dell'accumulo degli elementi in tracce variano considerevolmente per ogni elemento e per ogni specie vegetale. Ciò vale

evidentemente anche per quanto riguarda gli organi nei quali si accumulano i vari elementi.

Così sembra che ferro e manganese si accumulino nelle foglie vecchie, mentre rame e zinco vengono distribuiti più uniformemente nella pianta. Un fenomeno generale è poi l'accumulo nelle radici dei metalli pesanti (Pb, Hg, Cd).

Nelle piante accumulatrici, all'interno dei tessuti e nelle soluzioni circolanti si verifica facilmente una concentrazione dei metalli assorbiti anormalmente alta. E' perciò presumibile che il loro ingresso nelle cellule segua prevalentemente il *meccanismo 2* (17), a bassissima specificità, che considera la presenza di un trasportatore con parecchi punti attivi. Questo spiegherebbe la possibilità dell'accumulo degli elementi nei vacuoli. Per quanto riguarda le *forme di accumulo* nelle piante, si ricorda innanzitutto la possibilità di fissaggio degli elementi sotto forma di sali o di composti organici, che possono avere ancora o non avere più attività metabolica.

Così lo zinco viene accumulato nelle piante del genere *Armeria*, in particolare nell'*Armeria helleri* (14) come zinco di calcio $\text{Ca}(\text{HZnO}_2)_2$, il calcio è stato ritrovato nei vacuoli di molte piante (*Oxalis* spp., rizomi di *Rheum palmatum*) come cristalli di ossalato a diverso abito cristallino (nei bulbi di cipolla si presenta in prismi, in altre piante in druse bipiramidali o in raggruppamenti aghiformi detti rafidi, nella *Atropa belladonna* in piccolissimi cristallini sabbiformi, ecc.).

Il calcio è stato ritrovato anche come carbonato nelle foglie di fico (cistoliti calcaree), e sulla superficie delle foglie di *Saxifraga* e come solfato in alcune alghe e nelle foglie di *Capparis spinosa*.

Si trova inoltre accumulato (escreto) come calcite in alcune alghe rosse e blu-verdi e come aragonite in alghe rosse e talune specie di alghe verdi e brune.

Tra le forme di accumulo prevalentemente inorganiche degli elementi si ricordano inoltre quelle dell'alluminio, presente come silicato (*Rhamnus utilis*), come solfato (*Datura stramonium*), come fosfato e come ossalato nelle radici di numerose specie e come idrato solido nelle foglie di molte piante tropicali e subtropicali della famiglia delle *Symplocaceae*. Talora è presente anche come succinato (*Oritis excelsa*).

Anche il silicio si ritrova accumulato nelle piante, specialmente nelle *Gramineae*, ma anche in molte specie di *Equisetaceae*, *Cyperaceae* e *Urticaceae*, sotto forma di silice amorfa (epidermide fogliare, nodi e internodi, spine e peli). Questa forma di silice, contenente molte molecole di acqua di cristallizzazione, si avvicina molto alla struttura dell'opale. Essa fu chiamata dal suo scopritore Ruprecht nel 1866 *fitolite*, mentre più recentemente è stata detta *biolite* (25).

I bioliti sono estremamente diffusi nel regno vegetale, con fortissime variazioni nelle diverse specie e nei diversi organi di una stessa pianta. Il silicio inoltre è stato ritrovato talvolta come quarzo cristallino (*Lan-*

tana camara), come acido silicico (*Oryza sativa*), oltre che sotto forma di complessi con glucidi e sostanze proteiche, anche come R_3SiCl (*Thuja* sp.). La silice amorfa o sotto forma di opale costituisce poi (legata alle pectine) il guscio siliceo delle diatomee. Altri elementi si accumulano nelle piante principalmente in forma organica. L'arsenico si ritrova in molte specie come arsenobetaina, il cloro in molti composti organici di tipo clorofenolico, il fluoro come acido fluoroacetico nei semi di *Acacia georginae*, *Dichapetalum cymosum* e *Gastrolabium grandiflorum* e come acido ω -fluoro-oleico e acido ω -fluoro-palmitico nel *Dichapetalum toxicarium*, insieme a quantità minori di acido ω -fluoro-caprico e ω -fluoro-miristico (34), l'iodio è accumulato in molte alghe sotto forma di 3-iodotirosina, 3,5-diiodotirosina e tiroxina e nell'alga rossa *Asparagopsis* come iodoformio ed altri derivati idrocarburi.

Lo zolfo infine, in molti termini delle famiglie delle *Cruciferae* e delle *Liliaceae* si trova nei glucosidi tioimminocarbonici e talvolta in derivati vari, come mercaptani, solfuri, disolfuri, sali di solfonio, etc. In alcune alghe (*Desmarestia*) può anche accumularsi come solfato e come acido solforico, mentre il vanadio si trova accumulato nella *Amanita muscaria* come amavadina (43) ed il nichel legato ad acidi organici come nell'*Alyssum bertolonii* (33).

Di particolare interesse sono poi le forme naturali di accumulo del mercurio come metilmercurio e cloruro di metilmercurio e quelle del selenio che si ritrova nelle piante accumulatrici come metil-selenocisteina e selenocistationina.

Casi speciali di accumulo, ai quali si deve rivolgere una attenzione particolare, sono infine quelli che riguardano gli isotopi radioattivi, specialmente di elementi a lungo periodo di semitrasformazione, provenienti dal « fall-out » o derivanti dalla eliminazione di scorie dei reattori nucleari (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{241}Am).

Fortunatamente per l'alimentazione umana, sembra che, almeno per quanto riguarda i cereali, la maggior parte dei radioisotopi si concentri nelle parti verdi delle piante, mentre soltanto piccole quantità passano nei semi.

FITOTOSSICITÀ DEGLI IONI (STRESS DA IONI)

Con le parole « stress da ioni » si possono intendere sia i danni metabolici prodotti da carenza che da eccesso degli elementi; tuttavia generalmente ci riferiamo ai danni prodotti dagli eccessi, danni verso i quali le singole piante hanno sviluppato nel corso della loro vita (ontogenesi e filogenesi) molti meccanismi adattativi, riservando la dizione « stress da sali » solamente a quei casi nei quali la concentrazione salina è tale da ridurre drasticamente il potenziale idrico (28).

La fitotossicità degli elementi minerali è un fenomeno generale; ogni elemento cioè, anche se indispensabile, al di sopra di una determinata concen-

trazione, risulta tossico per la pianta. Tuttavia le concentrazioni di tossicità sono molto difficili a determinarsi, poichè variano da specie a specie e sono soggette ai meccanismi di adattamento. Inoltre il rapporto tra la concentrazione di un ione ed i suoi effetti tossici dipende da numerosi fattori, collegati anche alla presenza nelle soluzioni di altri ioni che possono aumentarne o diminuirne la tossicità (arseniati e seleniati in presenza di fosfati o solfati, ecc.).

Anche i sintomi visivi di tossicità sono fortemente variabili ed in genere aspecifici; i più comuni sono infatti la clorosi delle foglie e la comparsa sulle foglie e sugli steli di zone imbrunite.

Generalmente parlando la tossicità più elevata viene manifestata dagli elementi micronutritivi o meglio da tutti gli elementi in tracce.

Sono stati effettuati molti tentativi per stabilire i campi di tossicità per le piante dei diversi elementi e sono state delineate scale di tossicità, operando con concentrazioni uguali dei diversi elementi. Queste scale e questi campi devono essere considerate con molta cautela per diverse ragioni: a) perché le prove vengono effettuate in ogni caso in soluzione nutritiva, in una situazione quindi profondamente diversa da quella naturale; b) perchè non possono essere considerati fenomeni di competizione ionica che invece, nello stato naturale, sono i maggiori protagonisti dell'instaurarsi o meno della tossicità; c) perchè le piante superiori manifestano una tale varietà di comportamento rispetto ad un determinato ione che al limite sarebbe necessario stabilire *per ogni specie* il campo di tossicità di ogni elemento; e infine d) perchè da questi confronti si discostano profondamente le piante inferiori, alghe, funghi, licheni e microrganismi.

Tuttavia l'esame delle ricerche relative alla tossicità degli elementi, particolarmente importanti per le piante accumulatrici, consente di stabilire con una certa ragionevolezza, dei gruppi di elementi a grado di tossicità decrescente. Considerati nel loro insieme, si può concludere che gli elementi fortemente tossici sono in ogni caso Hg, Ni, Pb, Cd, As³⁺, Be, Cr⁶⁺, Tl; quelli a tossicità media Sr, Bi, Br, F, Li, V, Ag, Sn e quelli a bassa tossicità W, Fe, Ca, K, Cl, Na, Mg, Rb.

Tra gli elementi micronutritivi manifestano una alta tossicità Cu, Co, B, Mo (vale a dire che per questi elementi la soglia di tossicità è molto vicina alla quantità indispensabile) e una tossicità media Zn e Mn.

I meccanismi biochimici secondo i quali si manifesta la tossicità dei singoli elementi sono assai numerosi e variano nettamente con la specie. Per molti elementi in tracce poi la natura dei processi è del tutto sconosciuta.

E' possibile comunque riconoscere i seguenti casi:

- a) cambiamenti della permeabilità delle membrane cellulari, con conseguenti variazioni nella loro selettività e possibilità di perdite, più o meno rilevanti, di cationi interni.

Così agiscono Na, Ag, Au, Br, Cd, Cu, F, Hg, I, Pb e U;

- b) legami dei metalli con i gruppi solfidrilici delle proteine, con conseguente denaturazione e inattivazione di particolari sistemi enzimatici. Così agiscono Cu, Cd, Pb, Hg, Zn, Ag ed anche Mo, che inibisce particolarmente l'azione delle fosfatasi;
- c) possibilità di reazione con i fosfati e quindi con i gruppi attivi dell'ATP dando prodotti insolubili. Questa azione può essere attribuita a tutti i metalli pesanti e particolarmente al rame ed inoltre all'Al (che, rimanendo nelle radici come fosfato, impedisce la traslocazione del fosforo) ed a Be, Sc, Zn e ai lantanidi;
- d) precipitazioni e quindi eliminazione di ioni essenziali al metabolismo. Classicamente agisce in questo modo il bario precipitando i solfati; il calcio come bicarbonato favorisce l'insolubilizzazione del ferro (clorosi ferrica);
- e) rimpiazzamento di ioni essenziali. Tipicamente agisce in questo modo il rame che può spostare il ferro dalle zone fisiologicamente importanti, ciò che spiega la clorosi da eccesso di rame, ma anche Co, Li, Rb, Sr, Se;
- f) competizione nel movimento e nella traslocazione di altri elementi essenziali.
Si ricorda che gli arseniati competono con i fosfati, i seleniati con i solfati, i germanati con i silicati, i cromati con i solfati, i molibdati con i solfati e i nitrati, il litio compete col calcio, il rubidio con il potassio, il cloro con l'iodio, l'alluminio con il rame, lo zinco con il rame, il boro con calcio, rame e ferro, il molibdeno con rame, manganese e zinco, il tungsteno con il molibdeno, ecc.;
- g) interferenza con i processi metabolici essenziali. Ad esempio gli arseniati sostituiscono i fosfati, disaccoppiando i processi di fosforilazione ossidativa, gli arseniti bloccano l'acido lipoico modificando i processi respiratori, il fluoro può formare acido fluorocitrico bloccando il ciclo di Krebs, il cloro modifica l'equilibrio cellulare, richiamando quantità anomale di cationi all'interno della cellula, etc. I sali alcalini infine possono interferire sul metabolismo degli amminoacidi, dando luogo ad accumulo di sostanze azotate tossiche, come putrescina, cadaverina e anche alcaloidi;
- h) bloccaggio della crescita delle radici. L'azione sembra legata al danneggiamento del plasmalemma (52). In questo senso agiscono rame, nichel e cromo (35).

E' noto da tempo che l'assunzione di ioni metallici in quantità eccessive da parte degli organismi animali può indurre in essi l'insorgenza di gravi malattie metaboliche od addirittura di veri e propri avvelenamenti. In questo contesto le piante accumulatrici, in quanto facenti parte di prati polifiti naturali e quindi soggetti al pascolamento, possono giuocare un importante ruolo, anche se non sempre facilmente rilevabile. Un caso a parte è dato dalle piante contenenti forti quantità di zolfo sotto forma di glucosidi solforati (glucosinolati), come la maggior parte delle *Cruciferae*, che possono indurre negli animali sindromi goitrogene.

Gli avvelenamenti più importanti sono comunque quelli prodotti dai metalli. E' noto da tempo la malattia dei bovini detta « molibdenosi », legata ad un eccesso di molibdeno nei foraggi, segnalata già negli anni trenta nei terreni alcalini del Somerset e i gravi disturbi legati all'impiego di vegetali contenenti cadmio che si concentra in organi vitali (rene, fegato e cervello) dando quel complesso di sintomi, scoperti in Giappone per l'uomo e detti « Itai-itai », dovuti al bloccaggio delle attività enzimatiche per legame dell'elemento con le proteine.

Anche il selenio, negli animali che si nutrono di piante accumulatrici delle aree selenifere, in particolare degli *Astragalus* e delle specie affini *Oxytropis*, può originare una serie di turbe metaboliche acute, dette « seleniosi », studiate in particolare negli Stati Uniti (41) e dette « wasting alkaline » o anche « vertigine cieca ».

Il piombo, particolarmente diffuso oggi nell'aria dalle industrie e dai gas di scarico degli autoveicoli, viene facilmente assorbito dalle foglie e dalle radici di molte piante, accumulandosi in esse e provocando gravi fenomeni di « saturnismo » negli animali (uomo compreso) che se ne nutrono. Sembra anche che il piombo, accumulandosi nei centri nervosi degli animali, ne esalti i livelli di aggressività, con conseguenze non facilmente prevedibili, almeno nel caso dell'uomo.

Altri metalli fortemente tossici per gli animali sono poi il berillio, l'arsenico, il nichel, il cromo esavalente, il vanadio, etc.

Un caso particolarmente interessante è quello dell'avvelenamento da mercurio, assai facile per gli animali pascolanti in zone mercurifere, che nell'uomo ha causato quella sindrome detta in Giappone « la malattia di Minamata ».

Tutti questi problemi in tempi recenti sono attentamente seguiti in quanto la maggior parte dei metalli considerati rappresenta una notevole componente dell'inquinamento ambientale.

Si può in linea generale affermare che quasi tutte le piante sono capaci di sopravvivere in condizioni di eccesso di elementi in tracce — ed anche di macronutritivi —, in particolare le piante inferiori (microrganismi, muschi e licheni), accumulandone anche quantità notevoli (2). In particolare ciò risulta evidente nei terreni aventi alte concentrazioni di metalli pesanti, originatisi per eventi geologici o per processi di degradazione o in quelli legati all'opera dell'uomo, ad es. in vicinanza delle miniere. Questi terreni presentano spesso una flora caratteristica e talvolta unica, diversa da quella dei terreni « normali » in quanto la presenza dei metalli pesanti in forti quantità (Pb, Zn, Co, Cu, Se, ecc.) li rendono tossici per la maggior parte delle specie vegetali.

Le piante vegetanti in questi ambienti hanno quindi sviluppato dei meccanismi di « tolleranza » che permettono loro di sopportare soglie molto alte di tossicità.

Come si è già detto l'evoluzione della resistenza ha una base genetica ed è assai rapida, molto più rapida dei ritmi evolutivi conosciuti.

Le specie vegetali più tolleranti appartengono alle famiglie delle *Caryophyllaceae*, *Cruciferae*, *Cyperaceae*, *Gramineae*, *Leguminosae* e *Chenopodiaceae*.

Nella Tabella 2 sono riportati i campi delle più alte concentrazioni di alcuni elementi riscontrati in varie specie accumulatrici.

Ricordiamo che è stato ormai accertato (24) che il meccanismo della tolleranza verso un metallo pesante è in molti casi altamente specifico. Ciò è stato dimostrato in un primo tempo per il piombo nella *Festuca ovina* (53) e per lo zinco nella *Silene inflata* (6) e successivamente anche in altre piante verso metalli differenti. Quindi specie che tollerano un certo metallo pesante, non necessariamente ne tollerano altri.

I cambiamenti legati all'azione dei metalli pesanti sono stati riscontrati in moltissime specie vegetanti su terreni metalliferi e valutati per confronto con le stesse specie cresciute in terreni normali. Talvolta gli effetti dell'eccesso di metalli si traduce anche in cambiamenti morfologici, le cosiddette « chemiomorfosi ». Esempi tipici di queste modificazioni sono quelle operate sulla *Stachys recta* var. *serpentina* dai metalli presenti in tali terreni (29), e particolarmente dal cromo (36) e dal nichel.

I meccanismi della resistenza nelle piante sono stati ampiamente studiati, anche perchè talvolta la tolleranza è multipla; tuttavia molti punti rimangono ancora oscuri. Questi meccanismi sono molteplici ed essenzialmente *interni* alla pianta (15, 21, 45), non considerando la solubilità dei cationi intorno alle radici o gli effetti antagonistici esterni nell'assorbimento.

L'ipotesi più semplice per spiegare la tolleranza potrebbe essere la possibilità che le piante (con meccanismi selettivi o di diminuita permeabilità delle membrane) possano impedire l'ingresso agli ioni tossici, ma ciò è da scartare subito in quanto si assiste ad un accumulo di tali ioni nella pianta (50).

TABELLA 2 - Accumuli di alcuni elementi metallici nelle piante (p.p.m. sulla sostanza secca).

Elemento	Specie vegetale	p.p.m.
Cu	Becium homblei	300
Co	Haumaniastrum robertii	1500
	Nyssa sylvatica	1000
	Crotalaria cobalticola	500-800
	Clethra barbinervis	500-600
Cr	Pimelea suteri, Leptospermum scoparium	16000
Ni	Pimelea suteri	10000
	Alyssum bertolonii	12000
	Stachys recta, var. serpentini	9500
	Cassinia vauvilliersii	1400
	Hebe odora	5600
	Hybanthus floribundus	6500
	Leptospermum scoparium	13000
Hg	Betula papyrifera	1000-2000
Se	Astragalus racemosus	4000
	Astragalus bisulcatus	9000
	Haplopappus fremontii	4800
	Machaeranthera glabriuscula	1800
	Stanleya pinnata	2400
Sr	Arabis stricta	1000-6000
U	Uncinia leptostachya, Coprosma arborea	1000-6000
V	Amanita muscaria	60-180
W	Pinus sibirica	100-200
Zn	Thlaspi calaminare	10000
	Thlaspi alpestre	12000
	Armeria helleri	1000
	Viola lutea	3000
	Arabidopsis thalianum	9000
	Molinia coerulea	3000
	Equisetum arvense	1000-2000

Le teorie più accreditate considerano probabili i seguenti meccanismi:

- a) sintesi da parte delle piante tolleranti di composti chelanti che formino complessi con i metalli pesanti rendendoli innocui, vale a dire diminuendo la possibilità che essi possano raggiungere punti fisiologicamente attivi (26). Questa ipotesi venne verificata soprattutto con ricerche condotte sul genere *Agrostis* cresciuto nel Galles e in Scozia su depositi minerali ricchi in Pb, Zn, Cu, e Ni (5). Sebbene nessuno di questi complessi sia mai stato isolato nei tessuti dell'*Agrostis tenuis* e dell'*A. stolonifera*, l'ipotesi è attraente, tenendo conto che alcuni complessi sono stati ritrovati nelle piante, per esempio il ferro come citrato negli steli di alcune specie (42). Studiando la resistenza all'eccesso di rame della specie accumulatrice *Becium homblei* vegetante in Rodesia, Reilly e Stone (1971) trovarono nelle foglie una alta correlazione tra il contenuto in rame e quello in azoto, ciò che poteva far presumere la formazione di composti di coordinazione tra il rame e i gruppi amminici delle proteine. D'altra parte anche il calcio è stato ritrovato in molte piante come chelato stabile con gli acidi citrico, malico e tartarico. Tuttavia è da osservare che se l'ipotesi della formazione di complessi fosse in ogni caso vera, dovremmo immaginare nelle piante parecchi composti chelanti, ognuno dei quali manifesti una attività più o meno intensa verso un determinato metallo tossico e contemporaneamente una bassa affinità verso gli altri metalli;
- b) immobilizzazione nei semi o nelle radici, sia come si è visto, sotto forma di sali insolubili, sia per legame con i composti organici. Ad es. lo zinco si lega alle pareti cellulari tramite reazione con i gruppi carbossilici delle proteine e così pure il rame, come venne dimostrato da Duvigneaud e De-Smet (1959) nella flora rame-tollerante dello Zaire. Anche il piombo, concentrato inizialmente nei dictiosomi, finirebbe per essere legato alle membrane cellulari, il ferro può accumularsi nelle radici come tannato, il magnesio nei semi come fitina o come ossalato, ad es. nella *Petrorrhagia saxifraga* (19). Il processo più comune nelle radici è l'immobilizzazione dei metalli pesanti come fosfati. Ciò porta alla curiosa considerazione che gli stessi meccanismi che causano la tossicità da metalli, possono talvolta essere utilizzati dalle piante tolleranti per difendersi dagli eccessi dei metalli stessi;
- c) allontanamento dal metabolismo per dislocazione in diversi organelli cellulari. Ad es. lo zinco e così pure il manganese possono accumularsi nel citoplasma e più particolarmente nei mitocondri (51);
- d) interazione con i processi metabolici. Il metallo ad esempio può aumentare la velocità della biosintesi dei sistemi enzimatici che subiscono la inattivazione da parte del metallo stesso o aumentare la sintesi dei metaboliti antagonisti;

- e) adattamento volto al rimpiazzamento del metallo di un sistema enzimatico con il metallo tossico in eccesso;
- f) allontanamento degli ioni tossici per escrezione da parte delle radici o per segregazione sulle foglie con conseguente lisciviazione o per guttazione.

A quest'ultima categoria appartengono classicamente le alofite che come è noto, vivono nei terreni salini e sono adattate a tollerare quantità molto alte di ioni, in particolare Na^+ e Cl^- .

« INDISPENSABILITÀ » DI ELEMENTI TOSSICI

Nei meccanismi di resistenza agli ioni, il fatto altamente interessante è che talvolta le piante tolleranti un determinato elemento, vengono stimulate alla crescita da quantità sempre più forti dell'elemento stesso, del quale dimostrano una particolare necessità. Questa « indispensabilità » per elementi fortemente tossici è ristretta di solito a poche specie e talvolta ad una sola. Nel caso delle alofite è stato dimostrato che la presenza di cloruro di sodio ne stimola la crescita, quando è presente in forti concentrazioni (100-200 mM nelle varie specie di *Atriplex*, ma anche intorno a 700 mM nella *Diplanthera wrightii*), come riferito da Flowers *et al.* (1977), sebbene il meccanismo di stimolazione sia ignoto. Ciò ha indotto a ritenere il sodio — nella generalità dei casi considerato un elemento soltanto « benefico » — essenziale per molte alofite e per alcune alghe marine. Nelle alghe la sua essenzialità è stata dimostrata con sicurezza per l'*Anabaena cylindrica* (1) e forse per tutte le *Cyanophyceae*, mentre tra le alofite è stata studiata in particolare l'*Atriplex vesicaria* (8, 10) che accumula forti quantità di sodio nelle foglie. Tuttavia la quantità di sodio necessaria è assai piccola, intorno a 0,5 ppm nelle soluzioni nutritive; al di sotto di questa soglia, le piante di *Atriplex* ingialliscono e muoiono. Le ragioni biochimiche di questa indispensabilità non sono molto chiare anche perchè non tutte le specie di *Atriplex* sono sensibili al sodio; probabilmente sono legate a meccanismi di attivazioni enzimatiche dell'ATP-asi delle membrane biologiche e soprattutto della piruvicochinasi che nelle piante C_4 come l'*Atriplex vesicaria* giuoca un importante ruolo. Ciò è stato successivamente dimostrato su altre piante C_4 (9), mentre le specie con meccanismo C_3 anche se appartenenti al genere *Atriplex* non sembra necessitino di questo elemento. Si deve quindi supporre che il sodio sia indispensabile in una sequenza metabolica che si verifica solo nelle piante C_4 ; al momento possono farsi solo delle ipotesi più o meno convincenti, data l'estrema complessità del processo fotosintetico di queste piante.

Si ricorda infine che nella pianta del deserto *Halogeton glomeratus* sembra che il sodio si comporti addirittura come un macroelemento (54). In questa pianta il metabolismo dell'elemento si svolge prevalentemente come ossalato. Oltre al sodio, si conoscono diversi altri elementi, generalmente

tossici, che per alcune specie accumulatrici si sono dimostrati indispensabili. D'altra parte si deve ricordare che, se non è facile dimostrare la indispensabilità di un elemento, è anche estremamente difficile dimostrarne la non indispensabilità che potrebbe essere legata alla presenza di quantità infinitesime dell'elemento stesso.

Tra le specie accumulatrici di elementi tossici che per alcune di esse diventano indispensabili, sono particolarmente affascinanti quelle che accumulano il selenio (41). Tali piante, che vegetano soprattutto nei terreni seleniferi originati dai depositi del Cretaceo negli Stati Uniti, ma anche in Canada e in Messico, hanno la caratteristica di vegetare *soltanto* su tali aree. I botanici individuarono da tempo nel genere *Astragalus*, un interessante esempio di evoluzione biochimica. Infatti, delle oltre 500 specie caratterizzate nel Nord America, soltanto 25 mostrarono la capacità di accumulare il selenio e di metabolizzarlo secondo vie particolari. Tra le specie di *Astragalus* saggiate in Italia, nessuna ha dimostrato questa capacità (23). Anche altre piante dei terreni seleniferi hanno mostrato di accumulare il selenio, come alcune specie di *Machaeranthera*, *Stanleya* e *Haplopappus*. Nelle piante selenifere il selenio sembra comportarsi da micronutritivo, seguendo un ciclo metabolico diverso da quello dello zolfo, che può sostituire nelle piante non accumulatrici, dando ad es. selenocisteina, selenometionina e metil-selenometionina. Ciò porta ad una interferenza nel metabolismo dello zolfo con formazione di selenopeptidi mentre, nelle specie accumulatrici, il selenio si ritrova come metil-selenocisteina e selenocistationina (44) ed è stato mostrato che in molte reazioni non può essere sostituito dallo zolfo. Ciò significa che in tali piante il selenio segue un suo ruolo metabolico, entrando in un « ciclo del selenio » analogo agli altri cicli degli elementi nutritivi. Il ruolo del selenio come micronutritivo è stato studiato soprattutto nell'*Astragalus*, anche se è stata avanzata l'ipotesi che la formazione degli amminoacidi seleniati, non proteici, sia in realtà un meccanismo di « detossificazione » da selenio.

Comunque l'azione del selenio potrebbe essere legata al fatto che, come è stato dimostrato in tempi più recenti (46), l'elemento fa parte di numerosi enzimi, come la formiatodeidrogenasi, la glicina-riduttasi, la glutatione-perossidasi, etc. Attraverso il glutatione potrebbe verificarsi il suo inserimento nelle strutture organiche, passando come primo passo a selenio-disolfuro.

IMPIEGHI DELLE PIANTE ACCUMULATRICI

Le piante accumulatrici vengono utilizzate soprattutto come piante indicatrici e in questi ultimi decenni anche come disinquinanti.

- a) Impiego come piante indicatrici. Il fatto che determinate piante accumulatrici si ritrovino *soltanto* in aree ricche di certi elementi, in particolare metalli pesanti, ha fatto sì che queste vengano utilizzate ai fini di una

prospezione mineraria, effettuata anche per aereofotogrammetria. E' evidente che queste piante si correlano bene con il contenuto in metalli dei terreni e delle rocce (7, 13).

Così il *Becium homblei* e la *Polycarpaea spirostylis* indicano terreni ricchi di rame, insieme alla *Merceya latifolia*, detta appunto « muschio del rame »; la *Crotalaria cobalticola*, detta « fleur du cobalt » (16) e la *Nyssa sylvatica* indicano zone ricche di cobalto; l'*Armeria helleri* zone ricche di zinco; l'*Alyssum bertolonii*, la *Pimelea suteri*, la *Hebe odora* ed il *Leptospermum scoparium* terreni ricchi di nichel; numerose specie di *Astragalus*, *Machaeranthera*, *Haplopappus* e *Stanleya*, dette « piante accumulatrici di Beath » sono caratteristiche dei terreni ricchi di selenio, mentre l'*Astragalus preussi* indica zone ricche di vanadio (13).

Lo *Streptanthus glandulosus* var. *pulchellus* è una specie endemica dei terreni serpentinosi, ricchi di cromo e nichel, mentre alcune specie di felci dei generi *Asplenium* e *Notholaena* sono state riconosciute come indicatrici per i minerali contenenti terre rare.

Le piante indicatrici hanno anche trovato impiego per lo studio dei cicli dei metalli nell'ambiente ed i microrganismi accumulatori per l'estrazione microbiologica di metalli da depositi naturali a bassa concentrazione.

- b) Impiego come disinquinanti. L'impiego delle piante accumulatrici di ioni è stato preconizzato per la depurazione delle acque inquinate, in particolare da metalli pesanti. Tra le numerose specie saggiate riveste una particolare importanza l'*Eichhornia crassipes* (*Pontederiaceae*) detta « giacinto acquatico », pianta acquatica altamente infestante, originaria dell'America tropicale, la cui riproduzione si verifica quasi esclusivamente attraverso gli stoloni. Questa pianta presenta una elevatissima potenzialità produttiva ed è quindi stata utilizzata per usi diversi, come fertilizzante, come foraggio, per la produzione di biogas, per l'estrazione di proteine fogliari, ecc. (18). Si è così cercato di trasformare in una produzione utile per l'uomo quella che era una infestazione massiccia e difficilmente controllabile di fiumi e laghi. Nel 1975 Wolverton osservò che la pianta cresceva ottimamente anche su effluenti altamente inquinati da metalli pesanti, tossici per la maggior parte dei vegetali. I metalli, in particolare piombo, cadmio, mercurio e nichel, dopo l'assorbimento, venivano accumulati quasi esclusivamente nelle radici (56). La pianta si comporta quindi come un filtro naturale di sostanze inquinanti (anche di natura organica). L'impiego pratico del giacinto d'acqua come disinquinante comporta tuttavia molti problemi, legati alla asportazione dall'acqua della massa vegetale ed alla sua distruzione, separando possibilmente le radici dalla parte aerea.

Anche altre piante acquatiche o di palude si sono dimostrate atte ad assorbire elevate quantità di metalli e di sostanze organiche e potrebbero essere utilizzate a scopo depurativo di effluenti inquinati (3, 30). Tra queste si ricorda la felce acquatica *Salvinia auriculata* (*Salviniaceae*), la *Pistia stra-*

tiotes (*Araceae*), il *Ceratophyllus demersum* (*Ceratophyllaceae*), la *Justitia americana* (*Acanthaceae*), la *Hydrilla verticillata* (*Hydrocharitaceae*), la *Lemna minor* (*Lemnaceae*) ed anche le comuni piante dei nostri fossati e fiumicelli, come la *Typha latifolia* (*Typhaceae*), la *Phragmites communis* (*Gramineae*) e lo *Scirpus lacuster* (*Juncaceae*).

Per il trattamento delle acque inquinate sono stati anche utilizzati microrganismi accumulatori di metalli pesanti

In conclusione, da tutto quanto sopra esposto, risulta evidente che, nonostante i notevoli progressi conseguiti, il problema delle piante accumulatrici presenta ancora molti interrogativi e rimane aperto alla speculazione.

In particolare dovrà essere chiarito in dipendenza di quali condizioni certe specie si siano evolute verso la capacità di accumulo di un determinato elemento (o forse sono specie che hanno mantenuto l'originaria capacità di accumulo, una volta estesa a tutto il genere?), quale sia il meccanismo selettivo che porta all'accumulo e infine quale sia nelle diverse specie il significato dell'accumulo stesso.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ALLEN M. B., ARNON D. I. - Studies on nitrogen-fixing blue-green algae. II The sodium requirement of *Anabaena cylindrica*. *Physiol. Plantarum*, 8: 653, 1955.
- (2) ANTONOVICS J., BRADSHAW A. D., TURNER R. G. - Heavy metal tolerance in plants. *Adv. Ecol. Rev.*, 7: 1, 1971.
- (3) BOYD C. E. - Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters. *Econ. Bot.*, 24: 95, 1970.
- (4) BOWEN J.H.M. - Environmental chemistry of the elements. Acad. Press, New York, 1979.
- (5) BRADSHAW A. D. - Populations of *Agrostis tenuis* resistant to lead and zinc poisoning. *Nature*, 169: 1098, 1952.
- (6) BRÖKER W. - Genetisch-physiologische Untersuchungen über die Zinkverträglichkeit von *Silene inflata*. *Flora*, 153: 122, 1963.
- (7) BROOKS R. R. - Biogeochemical prospecting in New Zealand. *New Zealand Sci. Rev.*, 26: 9, 1968.
- (8) BROWNELL P. F. - Sodium as an essential micronutrient element for a higher plant (*Atriplex vesicaria*). *Plant Physiol.*, 40: 460, 1965.
- (9) BROWNELL P. F., CROSSLAND C. J. - The requirement for sodium as a micronutrient by species having the C₄ dicarboxylic photosynthetic pathway. *Plant Physiol.*, 49: 794, 1972.
- (10) BROWNELL P. F., WOOD J. G. - Sodium as an essential micronutrient element for *Atriplex vesicaria*. *Nature* (London), 179: 635, 1957.
- (11) BUTLER G. W., JOHNSON J. M. - Factors influencing the iodine content of pasture herbage. *Nature*, 179: 216, 1957.
- (12) CANNON H. L. - Botanical prospecting for ore deposits. *Science*, 132: 591, 1960.
- (13) CANNON H. L. - The biogeochemistry of vanadium. *Soil Sci.*, 96: 196, 1963.
- (14) CARLES J., CALMÈS J., MAGNY J., PULOÙ R. - La répartition du zinc et sa toxicité chez les végétaux. *Compt.-rend Acad. Sci.*, 268: 516, 1969.
- (15) COX R. M., HUTCHINSON T. C. - Multiple metal tolerance in the grass *Deschampsia cespitosa* L. Beauv. from the Sudbury Smelting area. *New Phytol.*, 84: 631, 1980.

- (16) DUVIGNEAUD P., DENAYER - DE SMET - Actions de certains métaux lourds du sol (cuivre, cobalt, manganèse, uranium) sur la végétation dans le Haut-Katanga. 1^{er} Coll. Soc. Bot. France, 121, 1959.
- (17) EPSTEIN E. - Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Wiley, New York, 1972.
- (18) FIORENTINI R., PISANELLI A. M., MASSANTINI F., BRUNETTI N. - Produzione di concentrati proteici fogliari da giacinto d'acqua (*Eichhornia crassipes*). Agric. Ital., 35 n.s.: 375, 1980.
- (19) FITTER A. M., HAY R.K.M. - Environmental physiology of plants. Acad. Press, New York, 1981.
- (20) FLOWERS T. J., TROKE P. F., YEO A. B. - The mechanism of salt tolerance in halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol., 28: 89, 1977.
- (21) FOY C. D., ARMIGER W. M., FLEMING A. L., LEWIS C. F. - Differential tolerance of cotton varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. Agron. J., 59: 415, 1967.
- (22) FOY C. D., CHANEY R. L., WHITE M. C. - The physiology of metal toxicity in plants. Ann. Rev. Plant Physiol., 29: 511, 1978.
- (23) GALOPPINI C., LO MORO A., LOTTI G. - Contenuto in selenio di alcune specie di *Astragalus* italiane. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., serie A, 75: 239, 1968.
- (24) GREGORY R.P.G., BRADSHAW A. D. - Heavy metal tolerance in populations of *Agrostis tenuis* Sibth and other grasses. New Phytol., 64: 131, 1965.
- (25) JONES R. L., HAY W. W. - Bioliths. In: Gieseking I.E. - Soil components. II. Inorganic components. Springer, New York, 1975.
- (26) JOWETT D. - Populations of *Agrostis* spp. tolerant to heavy metals. Nature, 182: 816, 1958.
- (27) KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. - Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, 1985.
- (28) LEVITT J. - Responses of plants to environmental stresses. Acad. Press, New York, 1980.
- (29) LISANTI L. E. - Contributo allo studio delle morfosi che si riscontrano sui serpentinei (possibilità di chemiomorfosi). Nuovo Giorn. Bot. It., 59 n.s.: 349, 1952.
- (30) LITTLE E.C.S. - Handbook of utilization of aquatic plants. FAO, Roma, 1968.
- (31) LOTTI G. - Principi di chimica e biochimica vegetale. Editrice Tecnico Scientifica, Pisa, 1986.
- (32) NAVARI-IZZO F., LOTTI G. - Contenuto in azoto e microelementi di funghi spontanei italiani. Riv. Soc. It. Sci. Alim., 3: 133, 1974.
- (33) PELCSI P., GALOPPINI C., VERGNANO O. - Sulla natura dei composti del nichel presenti in *Alyssum bertolonii* Desv. Agric. Ital., 29 n.s.: 1, 1974.
- (34) PETERS R. A., HALL R. J., WARD P.F.V., SHEPPARD N. - The chemical nature of the toxic compounds containing fluorine in the seeds of *Dichapetalum toxicarium*. Biochem. J., 77: 17, 1960.
- (35) PETERSON P. J. - Unusual accumulations of elements by plants and animals. Sci Prog., 59: 505, 1971.
- (36) PRATT P. F. - Chromium. In: Chapman H.D. - Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. California, Riverside, 1966.
- (37) RASMUSSEN D. C., KLEESE R. A. - Isogenic analysis of strontium-89 accumulation in barley. Crop. Sci., 7: 617, 1967.
- (38) REILLY C., STONE J. - Copper tolerance in *Becium homblei*. Nature, 230: 403, 1971.
- (39) REIMOLD R. J., QUEEN W. H. - Ecology of halophytes. Acad. Press, New York, 1974.
- (40) ROBINSON W. O., EDGINGTON G. - Minor elements in plants and some accumulator plants. Soil Sci., 60: 15, 1945.
- (41) ROSENFELD J., BEATH O. A. - Selenium: geobotany, biochemistry, toxicity and nutrition. Acad. Press, New York, 1964.
- (42) SCHMID W. E., GERLOFF G. C. - A naturally occurring chelate of iron in xylem exudate. Plant Physiol., 36: 226, 1961.
- (43) SIEGEL H. - Metal ions in biological systems. VI. Biological action of metal ions. Dekker, New York, 1976.

- (44) SHRIFT A. - Aspects of selenium metabolism in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 20: 475, 1969.
- (45) SIMON E. - Cadmium tolerance in populations of *Agrostis tenuis* and *Festuca ovina*. *Nature* (London), 265: 328, 1977.
- (46) STADTMAN T. C. - Selenium-dependent enzymes. *Ann. Rev. Biochem.*, 49: 93, 1980.
- (47) STEWART I. - Chelation in the absorption and translocation of mineral elements. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 14: 295, 1963.
- (48) STEWART G. R., LARHER F. - Accumulation of aminoacids and related compounds in relation to environmental stress. In: Milfin B.J. - Aminoacids and derivatives. Acad. Press, New York, 1980.
- (49) TIFFIN L. O. - Translocation of micronutrients in plants. In: Mortvedt J.J., Giordano P., Lindsay W.L. - Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. America, Madison, 1972.
- (50) TURNER R. G. - Heavy metals tolerance in plants. In: Rorison I.H. - Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Blackwell, Oxford, 1969.
- (51) TURNER R. G., MARSHALL C. - The accumulation of Zn⁶⁵ by root homogenates of Zn tolerant and non tolerant clones of *Agrostis tenuis* Sibth. *New Phytol.*, 70: 539, 1972.
- (52) WAINWRIGHT S. J., WOOLHOUSE H. W. - Physiological mechanism of heavy metal tolerance in plants. In: Chadwick M.J., Goodman G.T. - The ecology of resource degradation and renewal. Blackwell, Oxford, 1975.
- (53) WILKINS D. A. - The measurement and genetical analysis of lead tolerance in *Festuca ovina*. *Scottish Plant Breed. Sta. Rep.*, 1960.
- (54) WILLIAMS M. C. - Effect of sodium and potassium salts on growth and oxalate content of *Halogeton*. *Plant Physiol.*, 35: 500, 1960.
- (55) WOLVERTON B. C. - Water hyacinths for removal of cadmium and nichel from polluted waters. NASA, TM-X 72721, 1975.
- (56) WOLVERTON B. C., Mc DONALD R. C. - Water hyacinth sorption rates of lead, mercury and cadmium. In: Compiled data on the vascular aquatic plant program 1975-77. NASA Station, Mississippi, 1978.

In vivo approaches to problems of phosphorus nutrition
in plants using ^{31}P -NMR and ^{32}P

BRIAN C. LOUGHMAN

INTRODUCTION

The concentration of available orthophosphate in normal soil solution is in the range 0.1-10 μM , a level maintained by solubilisation of reserves. Since the cellular concentration of phosphate in higher plants can reach 50 mM it is clear that a highly efficient process is involved in accumulating it. An extreme case of this efficiency is that of halophytic algae such as *Dunaliella parva* growing in salt lakes containing <0.1 μM phosphate where the internal concentration reaches levels greater than 1 M. Another indication of the efficiency of the absorption process in roots of higher plants is that they can absorb phosphate faster than it can diffuse through the soil solution to the root surface.

Particular interest centres on the factors controlling absorption by the root, metabolic incorporation of the incoming phosphate, transport from the cytoplasm to the vacuole and back, and onward transport to the shoot. Experiments designed to examine these problems are presented in this paper, the major emphasis being on the *in vivo* approach. Many of the biochemical systems operating in plants cannot be fully explored by the use of cell free systems and even slight damage to tissue results in marked changes in enzyme activity, e.g., immediate activation of β 1.3 glucan synthase of the plasmalemma. Disruption of cells leading to release of the vacuolar contents into the cytoplasm alters the activities of many enzymes and some of the more labile systems are lost altogether. The need for the assessment of such labile systems in whole plants or pieces of tissue is of paramount importance if we are to understand the way in which components of cytoplasmic metabolism interact. It is also possible to assay the *in vivo* activities of some enzymes by the use of suitable whole plant techniques, including nuclear magnetic resonance

and this represents a considerable step forward in our ability to probe the intermediary metabolism of living cells.

Another particularly important aim of plant physiologists and nutritionists is the improvement of our understanding of the mechanisms involved in the processes of intracellular compartmentation. Of particular interest is the estimation of the functional level of an inorganic ion such as orthophosphate, calcium or manganese in the cytoplasm compared with the total amount obtained by analysis of the tissue. Where the concentration of free ion is of the order of 10 nM the total level can be many orders of magnitude higher, the extra material being either present as insoluble salts, bound to protein or sequestered in the vacuole in the free or bound state.

METHODS

³²P experiments

Experiments have been carried out with a range of plant tissues including root tips, whole plants and storage tissues. Barley, maize and mung bean plants are raised in full culture solution (10 μM KH_2PO_4) and used for whole plant transport experiments at about 10 days. Absorption from 1-10 μM $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ at pH 5.5 is measured by direct counting or by depletion of the culture solution. A G.M. counter tube attached to the tip of the first leaf of one or more plants (100 mm^2) measured the amount of ^{32}P via a probe unit and ratemeter attached to a recorder. The equipment is arranged so that small volumes can be added to the stirred culture solution and when necessary the culture vessel can be removed and replaced with another containing a different solution. As an example the following sequence can be followed. At zero time the plant is placed in 1 μM $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ and the steady rate of arrival of ^{32}P at the leaf tip recorded. 1 M mannose is then added to the stirred medium to a final concentration of 1 mM to inhibit phosphate transport. After complete cessation of transport has occurred the culture solution is removed and replaced with either 1 μM $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$, 1 μM KH_2PO_4 or H_2O .

Metabolism is followed by acid extraction of roots and chromatographic separation of the labelled phosphorylated compounds.

³¹P-NMR experiments

This work has been carried out with a Bruker WH-300 spectrometer, using a 10 mm external diameter tube. ^{31}P -NMR spectra were recorded at 121.49 MHz (3). Root tips (5 mm) are excised from 2.5 day maize seedlings and about 150 are used as a sample. The sample is supplied by perfusion with aerated buffer. Whole root systems are also used and storage tissue such as

potato tuber can be used as a cylinder 3.0 cm long cut to a diameter ensuring a tight fit in the spectrometer tube. Accumulation details are outlined in the figures. A particularly important feature is the excellent reproducibility of the tissue spectra under our experimental conditions. Other nuclei used in related experiments are ^1H , ^{13}C , ^{15}N and ^{42}K .

RESULTS AND CONCLUSION

Phosphate is incorporated into organic forms within seconds of entry into the root, a process prevented by 2,4 dinitrophenol (DNP). Initial incorporation into ATP is followed by labelling of hexose phosphates and glycolytic components. The response to DNP increases as seedlings age indicating an increasing importance of oxidative metabolism. Only inorganic orthophosphate (P_i) is transported to the shoot in the xylem. Either an organic form is dephosphorylated to allow P_i into the xylem or cytoplasmic P_i is transferred to the xylem by an energy requiring process (5). This is a particularly difficult point to elucidate by removing the contents of the xylem after feeding $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ to the roots because of possible hydrolysis of organic forms of phosphate induced by disruption of the tissue needed to extract the xylem fluid. Examination of the base of the shoot of whole maize plants in the NMR spectrometer shows a broad resonance of inorganic orthophosphate and no organic forms thus supporting the view that only P_i is transported.

Mannose has little effect on entry of P_i into the roots of cereals but sequesters the P_i as mannose-6-phosphate (M-6-P) and stops transport to the shoot. Glucose has no effect on this system other than to slightly increase the overall metabolic rate. Removal of mannose allows transport of P_i to the shoot to resume as the M-6-P is converted to F-6-P (Figure 1). The rate of this reversal gives a measure of the *in vivo* activity of the phosphomannoisomerase (PMI). The model illustrated in Figure 2 indicates the possible pathway involved (6).

Mannose has no effect on P absorption or transport in legumes because any M-6-P is rapidly converted by phosphomannoisomerase to F-6-P thus allowing normal glycolytic metabolism (Figure 3). Assay of enzyme activity in tissue extracts confirms this view. Assessment to the *in vivo* activity of enzymes such as those of the glycolytic pathway is difficult but it is of utmost importance that such assays are made because data on apparent activities of enzymes in extracts can be thoroughly misleading if used in attempts to measure the flux of metabolites through sequential systems such as glycolysis. The clear differences shown by cereals and legumes illustrates the importance of *in vivo* studies because assay of PMI activity in extracts provides less convincing support for the view that the mannose effect is due to low PMI in some species than others. Varietal differences within species have been

observed and it is hoped to associate them with corresponding differences in PMI activity.

Pretreatment with 1 mM mannose has no effect on the absorption or transport of P_i in cereals implying that all the mannose entering the root is sequestered as M-6-P (6). Added mannose can affect the fate of phosphate already absorbed by the root. This is an important point and is illustrated in

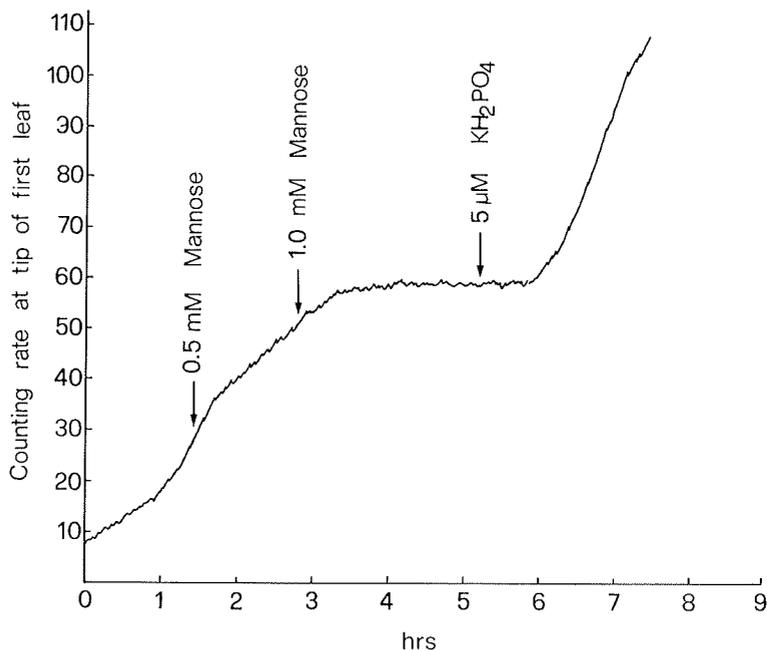


Figure 1 - The effect of increasing concentrations of mannose on the transport of phosphate to the shoots of 10 day old barley plants and the recovery in the absence of mannose. See text for experimental set up.

Figure 4 where after a period of absorption of radioactive phosphate the plants are transferred to unlabelled $1 \mu\text{M KH}_2\text{PO}_4$ and the subsequent transport of label followed. The transport of phosphate to the shoot is very effectively blocked by mannose added to the root environment under conditions where the phosphate is being supplied from a pool within the root.

Phosphate loaded into roots in the dark is rapidly transported to the shoot in the light (Figure 5). This transport is quickly stopped by supplying the root with mannose and even more rapidly by DNP suggesting that the source of P_i for the xylem is the cytoplasmic (or vacuolar) P_i and that the transfer process is energy dependent (Figure 6). P_i supplied to the cytoplasm

s in
or
t is
ate
l in

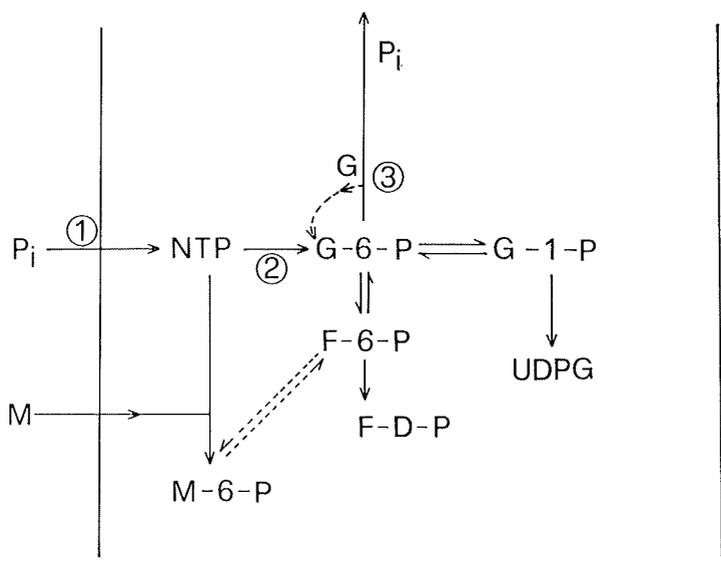
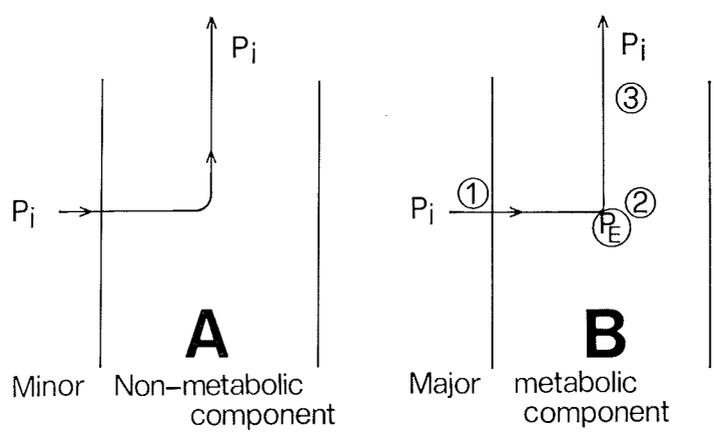


Figure 2 - Schematic representation of the possible mechanisms of phosphate absorption and transport in cereal species as affected by added mannose.

pha-
e of

the
ran-
very
ndi-

the
ving
the
the
asm

from outside the root or from inside the vacuole is equally susceptible to the effects of mannose or uncouplers of oxidative phosphorylation. The cytoplasmic concentration of P_i is obviously important in the control of onward transport. If the xylem is supplied directly by cytoplasmic P_i it is possible that mannose completely removes this P_i as M-6-P and possibly

other metabolites. The rate at which these metabolites can be handled by the tissue determines the ease of reversal of the mannose effect. An autoradiograph of 10 day barley plants supplied with $1 \mu\text{M}$ $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ for 4 hours gives a visual assessment of the mannose and DNP effects (Figure 7).

^{31}P -NMR experiments show the separation of inorganic phosphate in the cytoplasm from that in the vacuole.

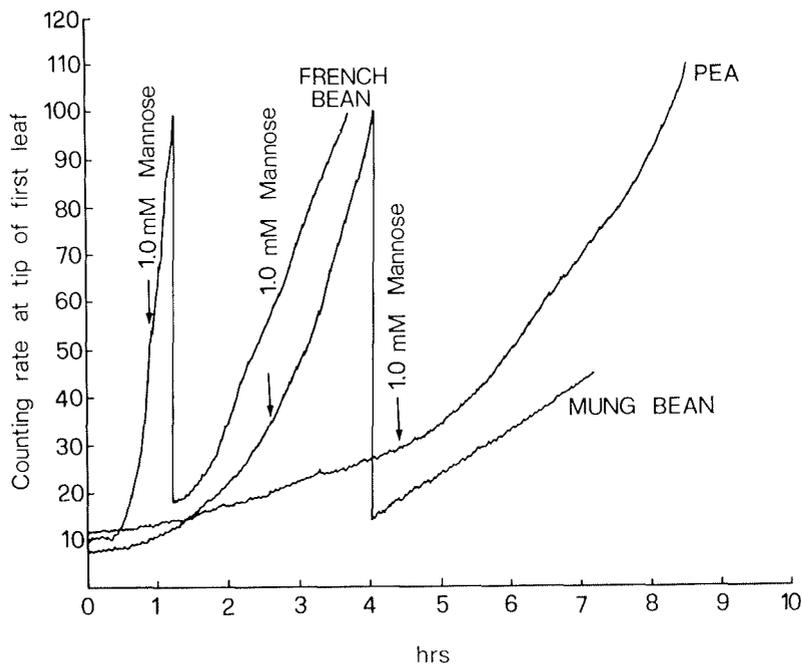


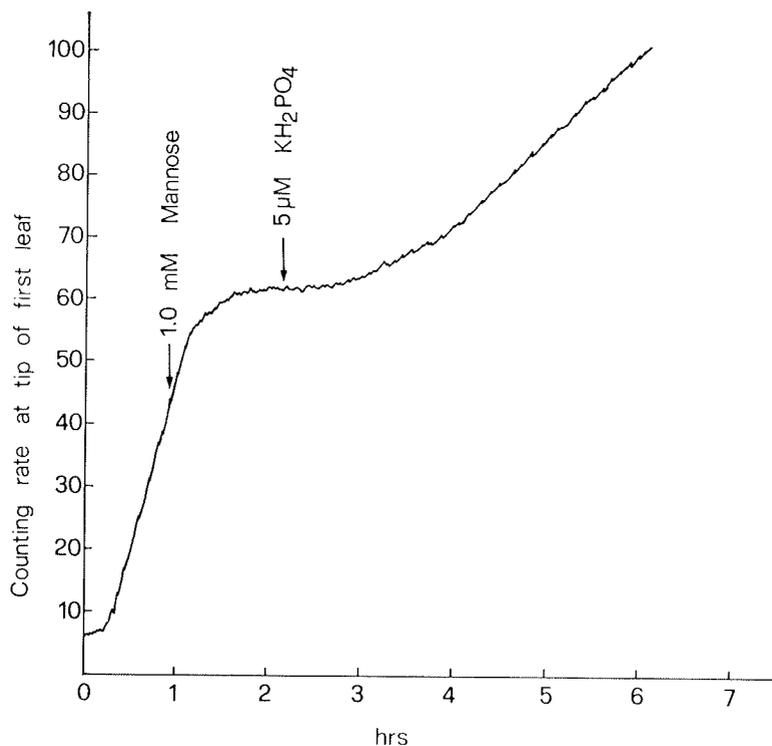
Figure 3 - The absence of effect of mannose on the transport of phosphate to the shoots of legume species.

Cytoplasmic and vacuolar P_i resonances are observed because

- a) P_i has a pH dependent chemical shift in the pH range covered by the two compartments.
- b) P_i is present in each compartment at detectable levels and is slow to exchange across the tonoplast.
- c) The difference in pH between the cytoplasm (pH 7.4) and the vacuole (pH 5.5) is sufficient to cause the P_i resonance to split into two peaks.

by
ora-
ours
in

Figure 8 illustrates the ^{31}P -NMR spectrum obtained with a sample of 160 well aerated 5 mm root tips of 2.5 day old maize roots in buffer of pH 6.0. Addition of 1 mM mannose to the environment brings about the production of a large peak of mannose-6-phosphate (4). Early experiments suggested that P_i was lost from the vacuole while the cytoplasmic P_i remained constant. More detailed examination involving increased aeration of the system suggests that mannose lowers or completely removes the cytoplasmic P_i , implying that



roots

Figure 4 - The effect of mannose on the transport of previously acquired phosphate to the shoots of maize plants.

the

mannose prevents transport to the shoot because the cytoplasm contains no P_i (Figure 9). Such experiments support the view that the xylem is supplied from the pool of inorganic phosphate in the cytoplasm rather than by dephosphorylation of an organic from such as a sugar phosphate.

v to
uole
aks.

The removal of P_i from the cytoplasm in the presence of mannose is accompanied by the appearance of another resonance. This is possibly an early component of the pentose phosphate pathway or a metabolic product

derived from mannose-6-phosphate. On removal of mannose this resonance disappears and the cytoplasmic P_i level is restored. The important role of P_i in governing metabolic reactions in the cytoplasm leads to major disturbances when the P_i level is reduced virtually to zero by mannose. This is particularly noticeable in photosynthetic systems where very significant inhibition of starch synthesis occurs (2). The ability to manipulate the levels of

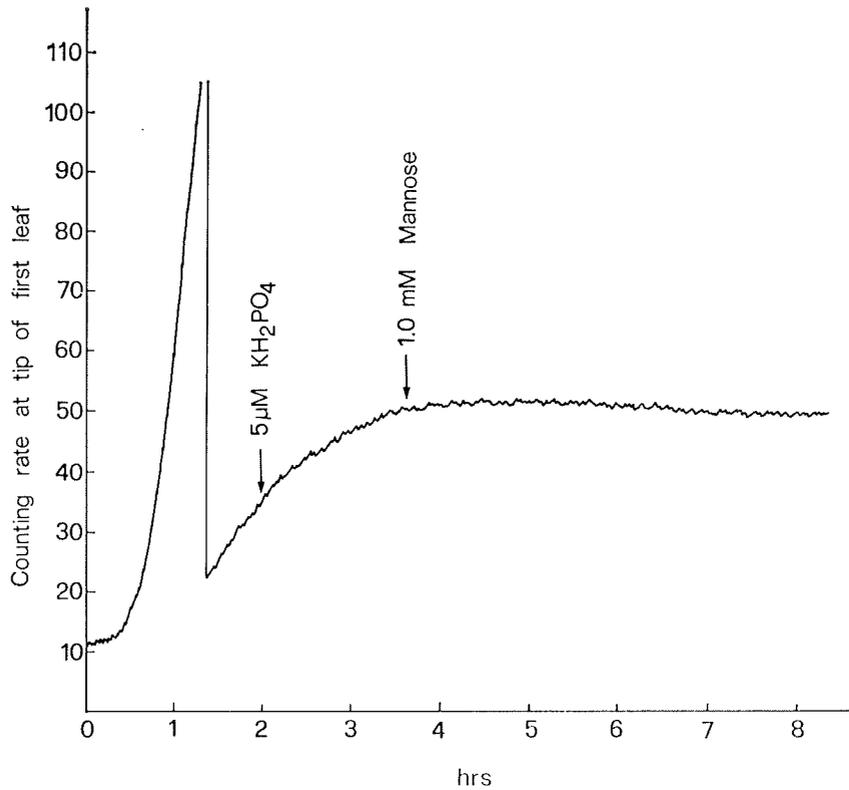


Figure 5 - The effect of mannose on the transport of phosphate in the light from dark loaded roots of 12 day maize plants.

cytoplasmic and vacuolar P_i , and to follow changes in the energy balance of the cell makes $^{31}\text{P-NMR}$ a powerful tool for studying absorption into the cytoplasm, across the tonoplast and out again and onward transport to the shoot *in vivo* and this approach has already led to some reassessment of ideas concerning the mechanisms of the reactions.

The technique of ^{31}P -NMR has enabled *in vivo* assessment of metabolism in other tissues. The identification of high concentrations of inositol hexaphosphate (phytic acid) in potato tubers, located in the free form in the vacuoles

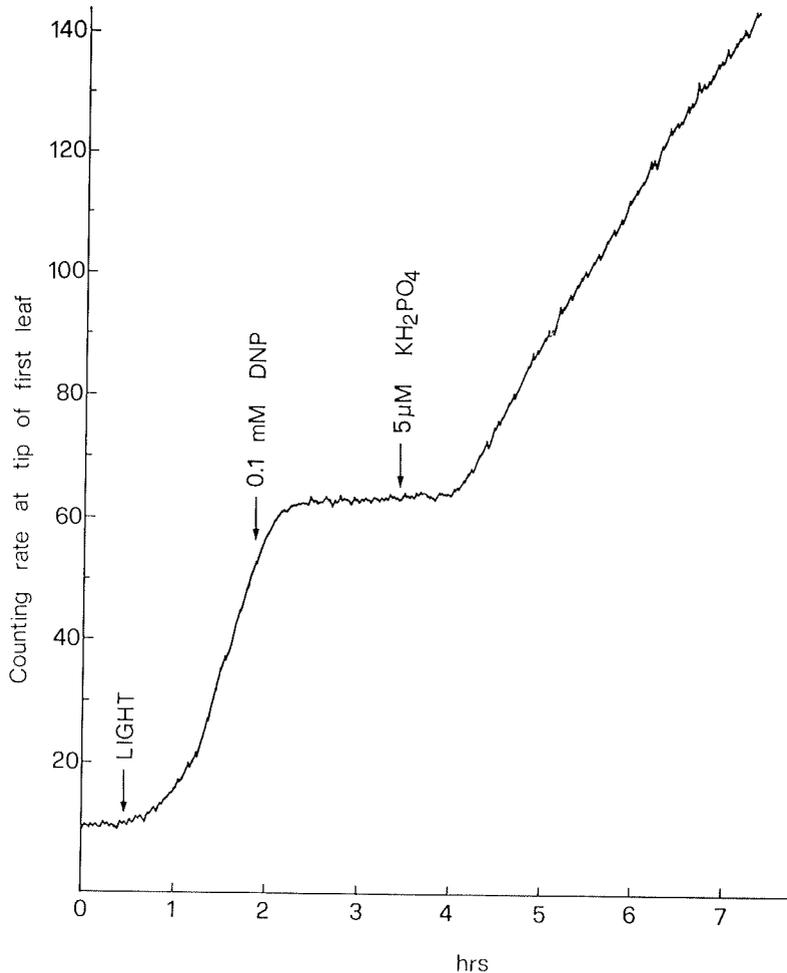


Figure 6 - The effect of 2,4 dinitrophenol on the transport of phosphate in the light from dark loaded roots of 18 maize plants.

of the central pith cells has significance with respect to the flow of phosphate to the buds via the pith arms (3). The use of the technique to follow absorption of phosphate is illustrated by mycorrhizal root tips of beech where the

entry of P_i and its conversion to soluble inorganic polyphosphate in the fungal partner can be clearly show (7).

A new approach to the transport of paramagnetic ions such as manganese, iron and copper is now possible because of their effects on the line width of phosphorus resonances. The abolition of the vacuolar P_i resonance in root tip spectra during absorption of manganese ions implies that the ion crosses the tonoplast and is present in the vacuole in the free form. The fact that the



Figure 7 - Autoradiograph of 10 day barley plants after 4 hours in $1 \mu M$ $KH_2^{32}PO_4$ at $25^\circ C$ and $pH 5.5$.

- (a) Control
- (b) + 1mM Mannose
- (c) + $5 \times 10^{-3} M$ 2,4 dinitrophenol.

cytoplasmic P_i resonance is unaffected suggests that the manganese concentration in the cytoplasm remains very low ($< 1 \mu M$) because of extremely rapid transport to the vacuole or as a result of binding by specific proteins (4).

It is hoped that the *in vivo* approach outlined here will be a valuable aid to our understanding of the interaction of metabolic processes within plants. The development of higher field magnets, improved computer facilities and

the availability of substrates, metabolites, herbicides, etc., enriched in ^{13}C and other nuclei is likely to increase interest in this approach and lead to considerable reassessment of current views on the mechanisms involved in the utilization of ions by higher plants.

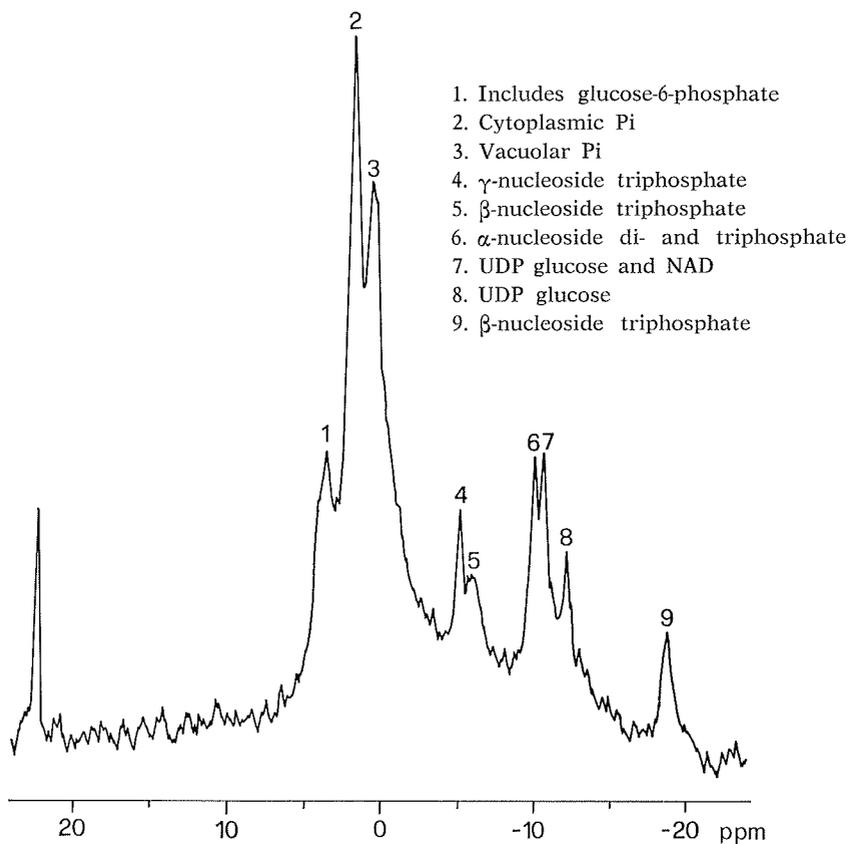


Figure 8 - ^{31}P -NMR spectrum of 160 5mm tips of maize roots 60 hours after exposure of seeds to water.

A particularly interesting recent development is the use of NMR for imaging. Changes in the relaxation times of water resonances in seeds during germination and direct imaging of sections of stem and root tissue have suggested the possibility of using the technique to follow the transport of paramagnetic ions. Refinement of the technique is likely to provide a method of attack on a wide range of physiological problems (1).

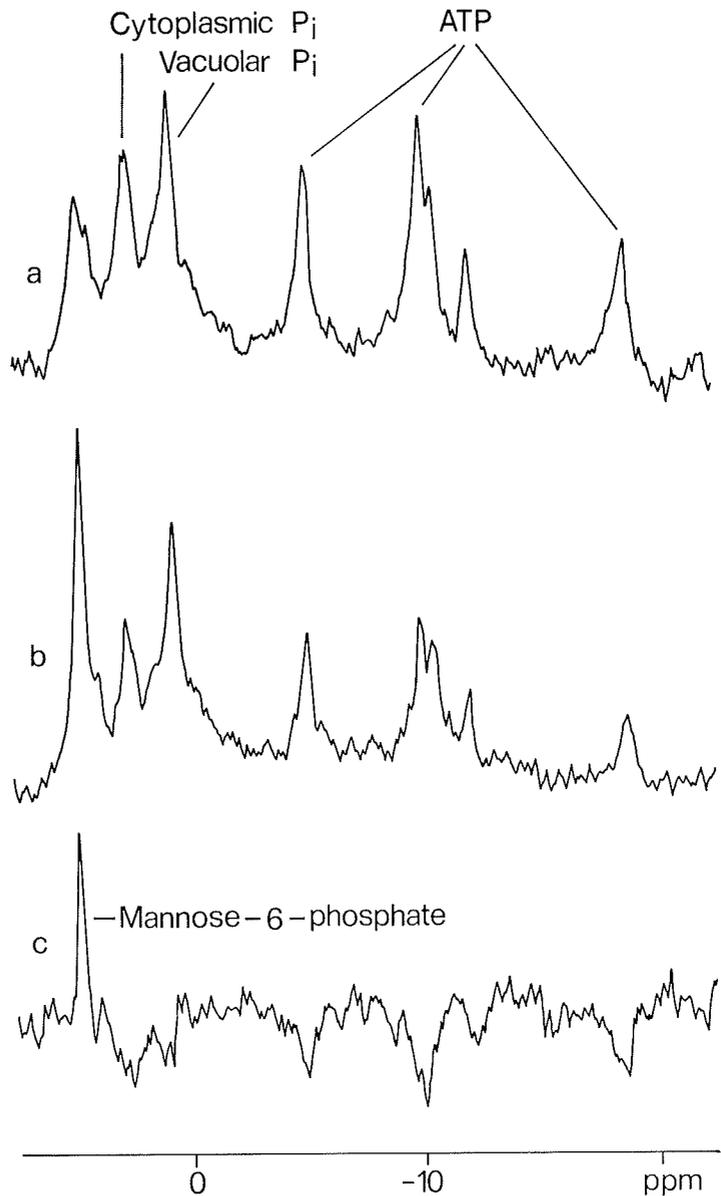


Figure 9 - 121.5 MHz spectra of maize root tips (60 hours) showing the effect of exposure to 1 mM mannose.
 (a) Starting spectrum with contributions from $P_{i,cyt}$; $P_{i,vac}$ and ATP indicated.
 (b) The same sample after 3 hours exposure to 1 mM mannose showing an intensity increase at 5 ppm and decrease in P_i and ATP.
 (c) A difference spectrum (b-a) showing the M-6-P resonance.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CONNELLY A., LOHMAN J.A.B., LOUGHMAN B. C., QUIQUAMPOIX H., RATCLIFFE R. G. - High resolution imaging of plant tissues by NMR. *J. Exp. Bot.* 38: 1713, 1987.
- (2) HARRIS G. C., GIBBS P. M., LUDWIG G.U.A., SPRENGNELTER M., KOLADNY N. - Mannose metabolism in corn and its impact on leaf metabolites, photosynthetic gas exchange, and chlorophyll fluorescence. *Plant Physiol.* 82: 1081, 1986.
- (3) KIME M. J., LOUGHMAN B. C., RATCLIFFE R. G., WILLIAMS R.J.P. - The application of ^{31}P nuclear magnetic resonance to higher plant tissue. I: detection of spectra. *J. Exp. Bot.* 33: 656, 1982a.
- (4) KIME M. J., LOUGHMAN B. C., RATCLIFFE R. G. - The application of ^{31}P nuclear magnetic resonance to higher plant tissue. II: detection of intracellular changes. *J. Exp. Bot.* 33: 670, 1982b.
- (5) LOUGHMAN B. C. - The mechanism of absorption and utilization of phosphate by barley plants in relation to subsequent transport to the shoot. *New Phytol.* 65: 388, 1966.
- (6) LOUGHMAN B. C. - In *Phosphorus in the environment: its chemistry and biochemistry*. R. Porter & D.W. Fitzsimons Eds., Elsevier, Amsterdam. pp. 155-174, 1978.
- (7) LOUGHMAN B. C., RATCLIFFE R. G. - *Advances in plant nutrition*. P.B. Tinker & A. Läuchli Eds., Praeger, New York, 1984.

Diagnostic sur l'élaboration du rendement des cultures

JEAN-MARC MEYNARD e GENEVIÈVE DAVID

Quelle que soit la culture, la quantité de produit récolté est extrêmement variable, d'une parcelle à l'autre, d'une année à l'autre, d'un agriculteur à l'autre. Cette variabilité nous interroge: il n'y a qu'en identifiant et en hiérarchisant les facteurs limitants du rendement qu'on pourra définir les modifications techniques susceptibles d'améliorer la production. C'est une démarche de *diagnostic*, que nous devons adopter, semblable à celle de médecins qui, face à un syndrome, en recherchent l'origine. Nous tentons de faire le point, dans cette communication, sur les moyens théoriques dont nous disposons pour effectuer un tel diagnostic: quelle démarche, quelles connaissances, quelles observations, où mesurer...?

LA DEMARCHE DE DIAGNOSTIC

Le diagnostic vise à identifier *a posteriori* les caractéristiques du milieu et du système de culture ayant influé sur la production.

Une méthode couramment pratiquée, facilitée par les moyens informatiques disponible aujourd'hui, consiste à confronter directement, sur un nombre important de parcelles, les niveaux de production aux critères techniques, climatiques et pédologiques immédiatement accessibles. On impute alors les résultats jugés défavorables aux caractères qui leur sont fréquemment associés dans le réseau étudié.

Cette méthode comporte un risque important de confusion d'effets: les liaisons entre techniques et rendement, climat et rendement, type de sol et rendement, ne sont pas stables et les interactions sont nombreuses et complexes; pour vérifier la réalité des liens de cause à effet, il est nécessaire de rentrer dans la boîte noire, de contrôler des variables d'état du système constitué par le champ cultivé, susceptibles de révéler spécifiquement l'effet des différents facteurs limitants.

Le Tableau 1 donne un exemple typique de confusion d'effets. On observe sur le vignoble de grands vins du Médoc que plus le vin est réputé excellent (colonne de gauche), plus le taux de matière organique du sol est élevé. On

TABLEAU 1 - Teneur en matière organique des sols des grands crus du vignoble du haut Médoc (d'après Delas, 1983).

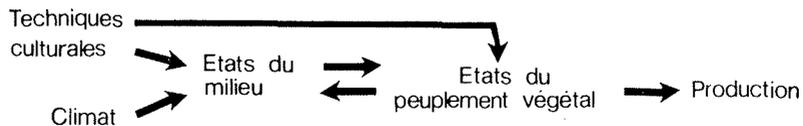
	Classement des crus				
	Grands crus classes			Crus bourgeois	Crus non classés
	Premiers crus	Deuxièmes crus	Cinquièmes crus		
Teneur en matière Organique (%)	2.07 a	1.89 ab	1.78 ab	1.72 bc	1.50 c
Nombre des parcelles	78	47	69	169	41

serait tenté de conclure à un effet de la matière organique sur la qualité du vin: mais pour démontrer que cet effet est réel, il faudrait établir:

- 1 — que les états physiques, chimiques ou biologiques des sols du Médoc son améliorés de manière sensible par les augmentations constatées de taux de matière organique
- 2 — que ces améliorations du sol ont un effet sur la croissance ou le développement de la vigne, favorable à la qualité du raisin.

En fait Delas (1983), à qui l'exemple a été emprunté, montre que le lien de cause à effet, entre qualité et matière organique est inverse: les taux d'humus élevés proviennent d'apports de fumier fréquents; les viticulteurs de la région n'ayant pas de bétail, ce fumier est acheté; ce sont les viticulteurs qui vendent leur vin le plus cher (ceux des premiers crus) qui achètent le plus de fumier, donc en épandent le plus...

Le diagnostic vise donc à reconstituer *a posteriori* le processus d'élaboration de la production:



C'est un processus dynamique: les états du milieu changent au cours du cycle, de même que les exigences de la culture ou les conséquences d'un

état défavorable sur la production. La réalisation du diagnostic suppose donc deux étapes :

- détermination de la (des) phase (s) du cycle où la production a été affectée (en quantité ou qualité)
- identification des facteurs ou conditions du milieu qui ont été défavorables pendant cette ou ces phases.

On resserre ainsi progressivement le champ des possibles et, quand on conclut qu'une technique culturale donnée a été à l'origine des variations de production, c'est avec un degré élevé de certitude.

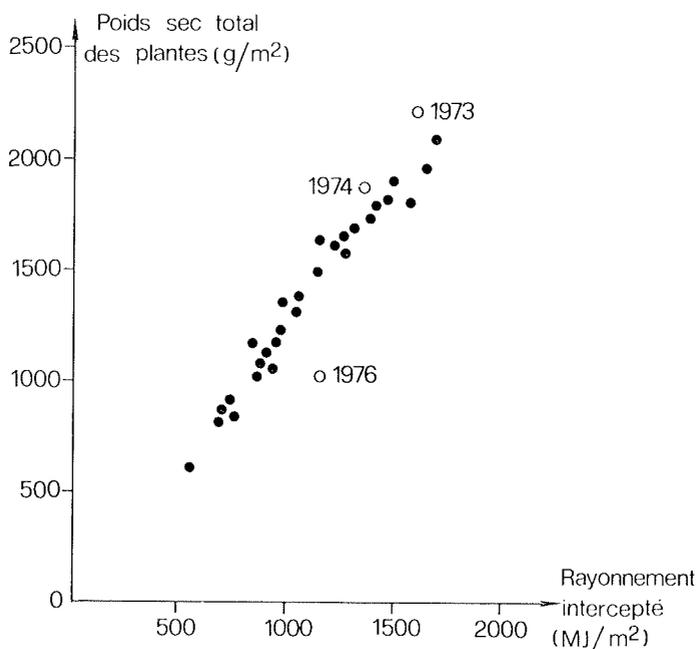


Figure 1 - Relation entre croissance et rayonnement intercepté (Betterave sucrière et Pomme de terre) (d'après Scott & Allen, 1978).

Comme chaque fois qu'on étudie des systèmes complexes, les modèles sont d'une grande utilité. La confrontation des résultats expérimentaux aux modèles d'élaboration du rendement permet d'identifier les facteurs limitants et de quantifier leur incidence. Ceci peut être illustré à partir de la Figure 1, empruntée à Scott & Allen (1978). Ces auteurs montrent que la production de biomasse totale potentielle qu'on peut atteindre sur une parcelle de betterave sucrière ou de pomme de terre est directement fonction du rayonnement

intercepté (points noirs). Les résultats de 3 situations culturales (années 1973, 1974 et 1976) pour lesquelles des rendements très différents ont été obtenus, sont confrontés au modèle.

- Pour 1973 et 1974: la position des points est cohérente avec le modèle; il n'y a probablement pas eu d'autre limitation au rendement que l'interception de l'énergie lumineuse. *La production de biomasse plus faible en 1974 est due à une quantité de rayonnement intercepté plus faible (cycle plus court ou surface foliaire plus faible).*
- Pour 1976, le point est à l'écart de la relation de référence ou n'est plus dans le domaine de validité du modèle, ce qui traduit *l'intervention d'un facteur limitant, parasitaire ou nutritionnel.*

La nature du facteur limitant (ici la sécheresse) peut être déterminée en utilisant un autre modèle, celui du bilan hydrique.

LA PREMIERE ETAPE DU DIAGNOSTIC: A QUEL MOMENT LES DIFFERENCES DE RENDEMENT SE SONT-ELLES CREEES?

Suivi de la croissance

Dans la mesure où la production végétale résulte d'un processus d'accumulation de matière sèche, le suivi de la croissance est un moyen privilégié de diagnostic. Un exemple est donné sur la Figure 2. Sur graminée fourragère Lemaire (1985) a modélisé, pour la région du Poitou (France), la

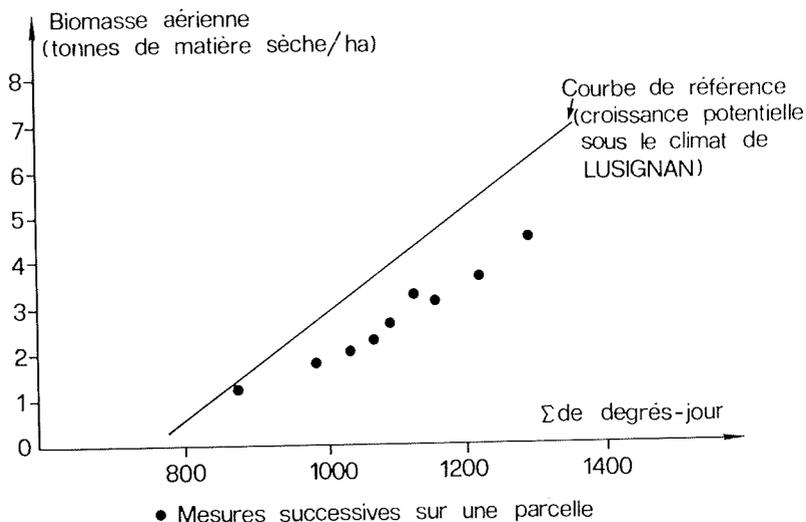


Figure 2 - Croissance de la fétuque (*Festuca*) en fonction de la somme de degrés-jour (d'après Lemaire, 1985).

croissance *potentielle* en fonction de la somme de degrés-jour; le modèle est représenté sous forme d'une droite continue sur la Figure 2. Sur une parcelle où l'on a réalisé un suivi de croissance, on observe les résultats figurés par les points noirs: la vitesse de croissance est inférieure sur cette parcelle; le moment où les vitesses de croissance se différencient, constitue le *moment d'intervention du facteur limitant*.

Cette méthode du suivi de croissance est la seule praticable pour les cultures dont on récolte des organes végétatifs, mais elle est très lourde, très coûteuse en temps. Pour les plantes dont on récolte les grains, on dispose d'un autre moyen de détermination des périodes d'intervention des facteurs limitants: les composantes du rendement, d'emploi beaucoup plus aisé.

Les composantes du rendement

On peut écrire:

$$\text{Rendement} = \text{Nombre de grains/m}^2 \times \text{Poids moyen d'un grain}$$

Ces deux composantes se forment pendant des phases du cycle bien délimitées, partiellement ou totalement disjointes selon les cultures; chacune est influencée par les facteurs et conditions du milieu pendant sa phase de formation. Il en résulte qu'on peut utiliser la valeur d'une composante du rendement comme indicateur du caractère plus ou moins favorable du milieu pendant sa phase de formation (24).

Par exemple pour le blé, le nombre de grains/m² est déterminé, à quelques jours près, à l'anthèse. Le poids moyen d'un grain se détermine entre l'anthèse et la maturité. Le nombre de grains/m² dépend de tout ce qui se passe avant l'anthèse, le poids d'un grain de tout ce qui se passe après. En examinant les variations de ces deux composantes, on peut donc déterminer si, sur une parcelle, le rendement a été limité par un milieu défavorable avant ou après l'anthèse.

La différence de rendement entre les parcelles A et B du Tableau 2 s'est créée avant l'anthèse; entre les parcelles A et C, elle s'est créée après ce stade.

On peut, selon le même principe, effectuer des décompositions plus fines du rendement (nombre d'épis/m², par plante, nombre d'épillets par

TABLEAU 2 - Exemple de composantes du rendement du blé.

	Rendement (q/ha)	Nombre de grains /m ²	Poids moyen d'un grain
Parcelle A	80	20 000	40 mg
Parcelle B	70	17 500	40 mg
Parcelle C (même variété)	70	20 000	35 mg

épi...). L'intérêt et les limites de l'utilisation de ces composantes pour le diagnostic est discuté par ailleurs (6, 16, 18).

Sur la Figure 3 sont indiquées les périodes de formation des composantes du rendement du blé et du lupin. Sur cette dernière culture, la même démarche est possible, bien qu'un peu plus complexe du fait de la non-disjonction totale des périodes de formation des nombres de grains et poids d'un grain (10, 19).

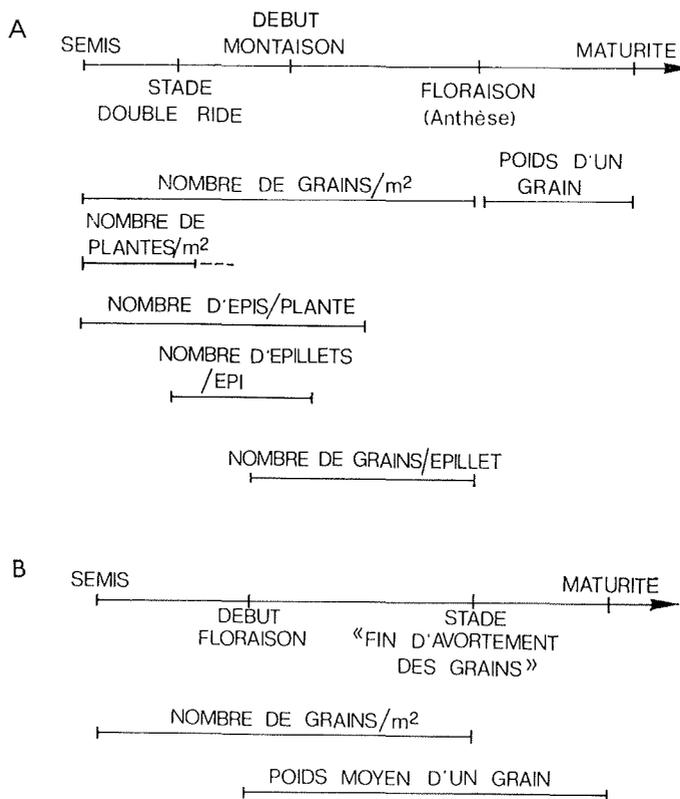


Figure 3A - Périodes de formation des composantes du rendement du blé.

Figure 3B - Périodes de formation des composantes du rendement du lupin.

En fait, l'analyse des composantes du rendement et l'analyse de la croissance permettent de mettre en évidence les mêmes processus, dans la mesure où le niveau de chaque composante dépend directement de la croissance pendant sa phase de formation. Plusieurs exemples de relations entre croissance et composantes, montrant la généralité de cette dépendance, sont donnés sur la Figure 4 (nombre de ramifications du 2^{ème} ordre de la panicule de riz, nombre de grains du soja ou du blé) (1, 2, 20).

le
tes
ar-
on
un

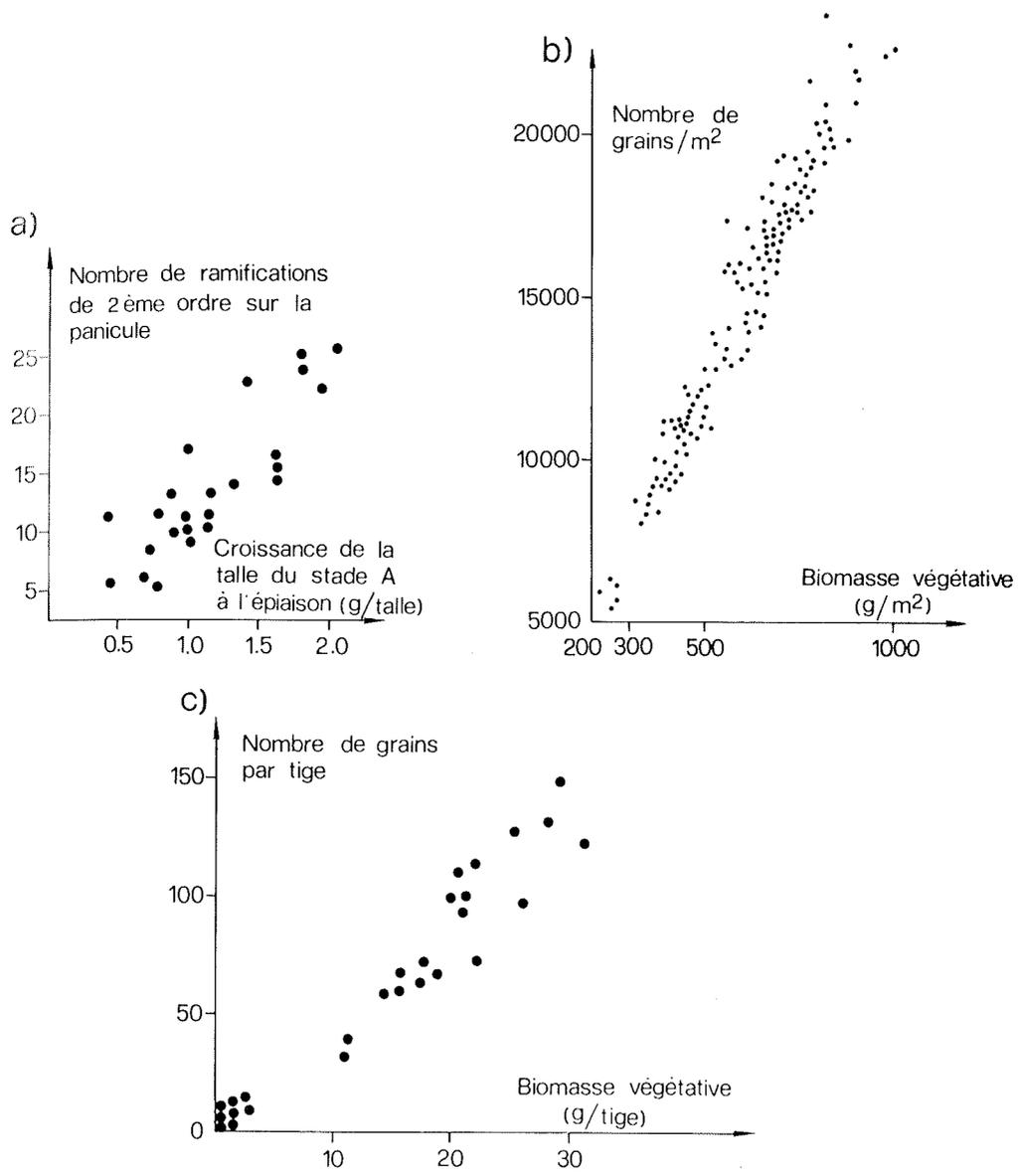
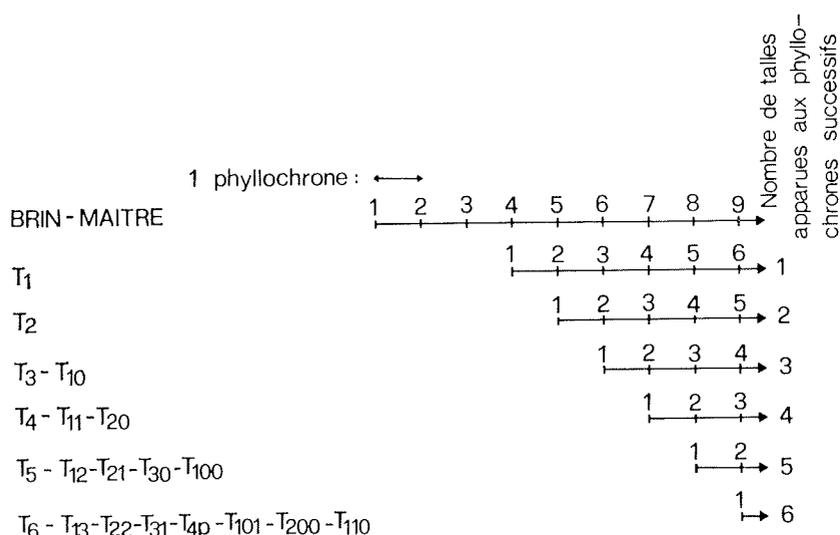


Figure 4 - Relations entre la croissance et les composantes du rendement.

bis-
ure
en-
nce
nés
de

Analyse de la ramification

Pour les céréales à paille tout particulièrement, une datation encore plus précise d'intervention du premier facteur limitant est possible grâce à l'examen des séquences de ramification (11, 12). On connaît en effet la logique d'apparition des feuilles et talles d'un pied en absence de compétition; cette logique, gouvernée par la température, est décrite à la Figure 5. A intervalles de



LEGENDE :

T_i : Talle primaire axillée par la $i^{\text{ème}}$ feuille du brin-maitre

T_{ij} : Talle secondaire axillée par la $j^{\text{ème}}$ feuille de la talle T_i

T_{ijk} : Talle tertiaire axillée par la $k^{\text{ème}}$ feuille de la talle T_{ij}

Figure 5 - Logique d'apparition des talles et feuilles sur une plante de céréale à paille (blé, riz, orge...) en conditions d'alimentation non limitantes (d'après Matsushima, Franquin, 1974; Masle, 1980).

temps constants en degrés-jour (le phyllochrone) apparaissent une nouvelle feuille sur les talles existantes et, à partir du stade 4^{ème} feuille du brin-maitre, un nouveau groupe de talles. Quand l'alimentation du pied, azotée, phosphorée ou carbonée, devient insuffisante à la couverture de ses besoins de croissance, on observe une interruption de l'apparition des talles alors que celle des feuilles continue au même rythme. Il s'ensuit que, pour un pied tel que le pied n. 2 décrit au Tableau 3, on peut diagnostiquer l'existence

TABLEAU 3 - L'observation du tallage herbace comme outil de diagnostic des conditions de nutrition (d'après Masle, 1980, 1985).

		Plante n. 1	Plante n. 2	Plante n. 3
Nombre de feuilles augmenté de l'observation	Brin Maître	7	7	5
	T ₁	4	4	2
	T ₂	3	3	1
	T ₃ T _{1p}	2	2	N'existe pas
	T ₄ T ₁₁ T _{2p}	1	N'existe pas	N'existe pas

d'un facteur limitant sa croissance, apparu au cours du phyllochrone suivant l'émission de la 6ème feuille du brin-maître. Au contraire, pour les plantes n. 1 et 3, on peut diagnostiquer *une alimentation non limitante* jusqu'au moment de l'observation.

LA DEUXIEME ETAPE DU DIAGNOSTIC: QUELLE EST L'ORIGINE DE LA LIMITATION DE LA PRODUCTION?

Les indicateurs susceptibles de révéler un dysfonctionnement de la culture sont nombreux et nous n'en établissons pas une liste exhaustive.

Il nous semble surtout important de montrer comment s'organise la complémentarité entre les informations concernant la plante, données par des indicateurs de son état nutritionnel, et les informations relatives au milieu. Nous illustrerons cette complémentarité sur le cas de l'azote; comment:

- 1 — mettre en évidence que la nutrition azotée est à l'origine d'une baisse de production?
- 2 — identifier la caractéristique du système de culture ou du milieu qui est à l'origine du manque d'azote?

La caractérisation du statut azoté des cultures a fait l'objet de nombreux travaux (25); selon les auteurs, différents critères ont été privilégiés: quantité totale d'azote absorbé, teneur en azote total, teneur en nitrates...

Sur la Figure 6, on illustre l'efficacité diagnostique de la quantité totale d'azote contenu dans les parties aériennes, sur prairie naturelle: la courbe de référence (relation entre biomasse aérienne et quantité d'azote contenue dans cette biomasse en pointillé), correspond à une culture ne manquant pas d'azote; elle a été établie d'après les modèles de dilution de l'azote de Lemaire & Salette (1984), Lemaire (1987). A partir de la date de prélèvement 8, la quan-

tité d'azote absorbé devient inférieure à la référence et ne croît plus. La diminution de vitesse de croissance constatée à la date 8 est probablement liée à cette baisse d'absorption.

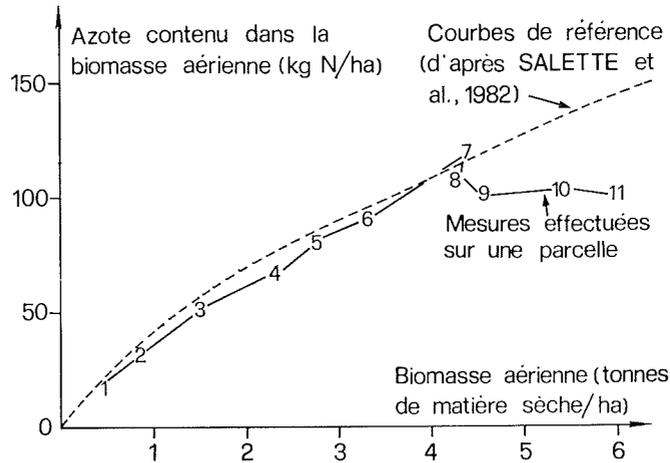


Figura 6 - Relation entre croissance et absorption d'azote diagnostic du manque d'azote (sur prairie naturelle) (d'après David, Faivre, Felix, non publié).

Sur le Tableau 4, on donne, à titre d'illustration, des seuils de teneurs en azote total ou en nitrates qui ont pu être utilisés en France dans des travaux récents pour le diagnostic de nutrition azotée du blé d'hiver. On notera qu'à l'heure actuelle on est beaucoup moins bien armé pour effectuer un diagnostic

TABLEAU 4 - Quelques exemples de teneurs seuils utilisables pour le diagnostic de nutrition azotée du blé.

Teneur en azote total des parties aériennes (jusqu'au début montaison)	➔ 4 % ⇔ Azote non limitant
	➔ 3.4 % ⇔ Azote limitant (d'après MEYNARD, 1985)
Teneur en nitrates dans la base de la tige (au début de la montaison)	➔ 1 200mg/l ⇔ N non limitant
	➔ 1 200mg/l ⇔ N limitant (d'après GONZALES-MONTANER et al, 1987)

sur la nutrition hydrique que sur la nutrition minérale; en particulier, on ne dispose pas d'indicateurs précis permettant, par rapport à une référence, de savoir si une plante manque ou non d'eau: les mesures de potentiel hydrique ou de porométrie sont trop instantanées pour être mises en relation avec des

états de croissance; l'efficacité du diagnostic bute ici sur l'état d'avancement des recherches fondamentales.

Dès lors qu'on a identifié le facteur de croissance qui est à l'origine de la limitation de la production, il est plus aisé de déterminer les caractéristiques du milieu ou du système de culture en cause. Pour rester sur l'exemple de l'azote, on essaiera d'appréhender:

- les quantités d'azote présentes dans le sol sur l'ensemble du cycle et, si possible, aux différentes étapes de celui-ci
- les conditions d'absorption de cet élément: densité, aération, état sanitaire des racines, humidité du sol...

Dans le cas présenté à la Figure 5, la limitation de l'absorption est survenue alors que l'engrais apporté était encore loin d'être consommé; en revanche, le bilan hydrique indique qu'à partir de la date 8, les premiers horizons du sol se sont desséchés, ce qui a probablement diminué de manière importante la mobilité de l'azote.

Appliquée à un réseau expérimental, cette démarche permet de mettre en évidence les caractéristiques du milieu interférant avec la technique étudiée. Ainsi, sur un réseau d'essais de fertilisation azotée du blé où l'on testait le modèle français de raisonnement des doses d'engrais (21), on a mis en évidence l'existence de plusieurs types de courbes de réponse du nombre de grains/m² à la fertilisation, et relié chaque type à des états du milieu particuliers (17):

- Courbe de réponse présentant un plateau à un niveau bas en cas de déficit hydrique prolongé, d'attaque précoce de piétin verse (*Cercospora herpotrichoides*), et sur les sols pauvres en potassium (courbes β);
- Courbe de réponse continûment ascendante, mais avec une pente inférieure à la prévision en cas de structure compacte de la couche arable (courbes γ) (Figure 7).

EXEMPLE DE DIAGNOSTIC REGIONAL

La démarche qui vient d'être détaillée, est appliquée ici à l'identification et à la hiérarchisation des facteurs limitants du rendement du blé d'hiver dans une région.

Ce diagnostic régional est fondé sur le suivi d'une trentaine de parcelles de blé chaque année, plusieurs années de suite. Pour qu'il ait une valeur régionale, les parcelles ont été choisies en fonction:

- du sol: on échantillonne tous les types de sol de la région
- du système de culture et des caractéristiques des exploitations agricoles (17, 18).

Sur cet échantillon représentatif, on a réalisé les différentes observations nécessaires au diagnostic (Tableau 5):

- composantes du rendement
- états du peuplement et du milieu susceptibles d'expliquer les différences de production (les contrôles sont choisis à partir d'hypothèses issues de la connaissance de la culture).

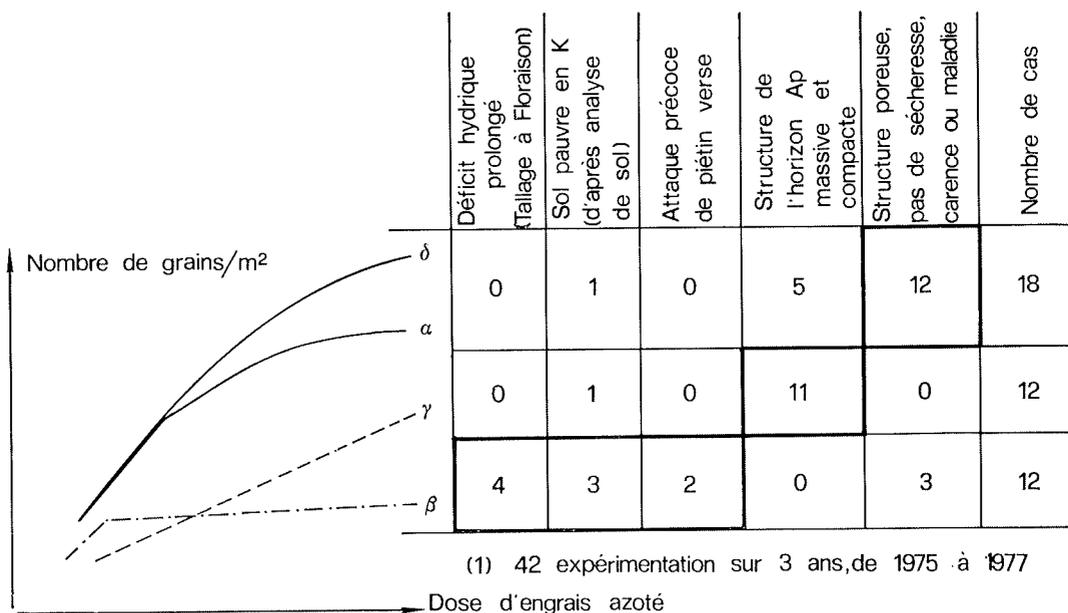


Figure 7 - Etats du milieu et types de réponse à l'engrais azote (d'après Meynard *et al.*, 1981).

Les résultats essentiels sont présentés au Tableau 6 et Figures 8 et 9:

- L'examen des corrélations entre le rendement et ses composantes montre que les variations de production sont en majeure partie créées avant la floraison (rendement plus corrélé au nombre de grains/m² qu'au poids d'un grain). Le poids d'un grain a cependant eu un rôle plus déterminant en 1981 qu'en 1982 (Tableau 6).
- Les variations du poids d'un grain sont expliquées par les maladies de la base de la tige et par la verse (Figure 8). La mesure des quantités d'eau disponibles montre que la nutrition hydrique n'a probablement pas été limitante.

TABLEAU 5 - Les controles effectues.

Nombre de cas	<p>* <i>Toute l'année</i>: Relevés climatiques et techniques culturales</p> <p>— Choix des stations: Au semis ou courant hiver: Prélèvements de terre pour analyses granulométriques ou chimiques (P, K, Mg, C, N)</p> <p>* <i>Sortie d'hiver</i> (20/02 au 1/03)</p> <p>— Nombre de plantes/m²; Nombre de feuilles des brins-mâtres</p> <p>— N.NO₃ et N.NH₄ sur 120 cm</p> <p>* <i>Début montaison</i> (strade « Epi 1 cm »)</p> <p>— Nombre de plantes/m²; Biomasse aérienne/m²; Teneur en azote</p> <p>— Séquence de tallage</p> <p>— Maladies des gaines et des racines</p> <p>— Profil cultural (structure, enracinement, matière organique)</p> <p>* <i>Fin juin ou début juillet</i> (stade laiteux ou laiteux-pâteux)</p> <p>— Appréciation du stade du grain; Nombre de feuilles chlorophylliennes</p> <p>— Proportion nécrosée de la surface des différentes feuilles; Proportion d'épillets blancs; Diagnostic des maladies</p> <p>— Verse (angle, proportion de la surface touchée); Adventices (nombre, nature)</p> <p>— Profil cultural</p> <p>* <i>Maturité</i></p> <p>— Composantes du rendement (Nombre d'épis/m², Nombre de grains/m², Poids moyen d'un grain)</p> <p>— Verse, adventices; Maladies caulinaires</p> <p>— Poids de paille; Teneur en azote de la paille et des grains (Facultatif selon déficit climatique: suivi de l'humidité du profil)</p>
18	
12	
12	

TABLEAU 6 - Coefficients de corrélation entre le rendement et ses composantes.

		Variété Fidel			Variété Lutin		
		Rendement		Effectif	Rendement		Effectif
		NG/m ² (1)	x PIG (2)		x NG/m ²	x PIG	
Enquetes	1981	0.82	(0.58)	7	0.91	0.83	12
	1982	0.93	(-0.18)	10	(0.63)	(-0.23)	8
	1981+1982	0.82	(0.35)	17	0.96	0.79	20
Essais	1981	0.90	0.51	19	0.84	0.63	12
	1982	0.87	(-0.17)	8	0.89	(0.36)	6
	1981+1982	0.83	0.68	27	0.72	0.67	18

(1) NG/m² = Nombre de grains/m²

(2) PIG = Poids d'un grain

Les coefficients entre parenthèses ne sont pas significatifs au seuil de probabilité 5%.

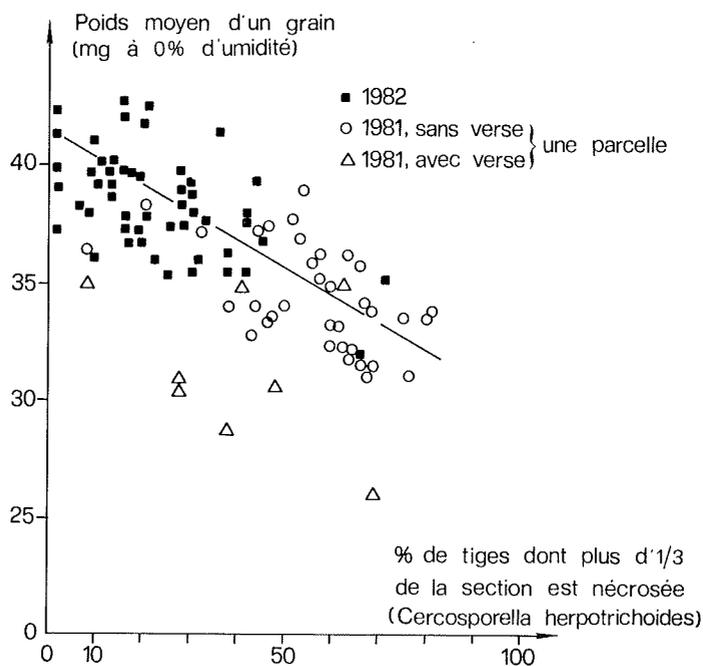
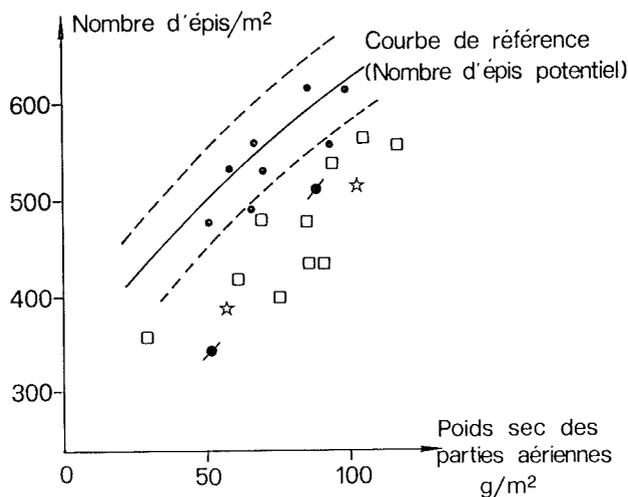


Figure 8 - Maladies de la base de la tige, verse & poids moyen d'un grain.

— Les variations du nombre de grains/m² sont très liées à celles du nombre d'épis. On dispose d'un modèle de détermination du nombre d'épis potentiel, en fonction de la biomasse du peuplement au début de la montaison (12), qui permet de mettre en évidence l'influence de différents facteurs limitants: en confrontant le résultat des parcelles étudiées au modèle, on montre que les faibles nombres d'épis et de grains sont liés (Figure 9):

- à une structure compacte de la couche arable,
- à un apport d'engrais azoté réalisé trop tardivement: dans ce cas la baisse du nombre d'épis s'accompagne d'une carence en azote temporaire au début de la montaison, qui peut être mise en évidence par les mesures de teneur en nitrate (5),
- à la présence de graminées adventices.

La hiérarchie des facteurs limitants, établie à la suite de ce diagnostic, a conduit à mettre l'accent, dans les programmes d'expérimentation et de développement, sur les conditions de travail du sol, les dates d'apport d'engrais azoté et l'efficacité du traitement fongicide anti-piétin.



LEGENDE

- Pas de facteur ou condition limitant identifié
- Mauvaise structure du sol (0-30 cm)
- ✕ Mauvaises herbes en quantité importante
- ☆ Retard de l'apport d'engrais azoté

Figure 9 - Diagnostic régional sur le nombre d'épis 1981, variété Lutin.

CONCLUSION

Le diagnostic sur les causes de variation de la production apparaît ainsi comme une étape essentielle de l'amélioration des systèmes de culture. Il relève d'une démarche spécifique, qui nécessite de synthétiser des connaissances issues de tous les domaines en cause dans l'étude du fonctionnement du « champ cultivé » : Agronomie, Agrophysiologie, Chimie agricole, Bioclimatologie, Pathologie, Physique du sol...

Le diagnostic global ne résulte pas de l'application, par différents spécialistes, de leur grille d'analyse, mais de la constitution d'une grille d'interprétation cohérente : ni l'analyse de sol, ni l'analyse de plantes ne sont suffisantes pour effectuer le diagnostic, mais elles y contribuent ensemble. La mise au point d'une démarche de diagnostic, utilisable par des agronomes généralistes (comme il y a des médecins généralistes) est pour nous un thème de recherche essentiel.

L'articulation d'une telle démarche avec les études analytiques de la fertilité et de la nutrition, qui ont fait l'objet des différents rapports et posters de la convention, est double :

- ce sont les études analytiques qui fournissent les variables d'états pertinentes pour une caractérisation du système Sol-Peuplement végétal ;

— inversement, il semble que la hiérarchie des questions scientifiques, dans un milieu donné, pourrait être, avec profit, déterminée à partir d'un diagnostic sur l'élaboration du rendement des cultures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BOIFFIN J., CANEILL J., MEYNARD J.M., SEBILLOTTE M. - Elaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne Crayeuse. I - Protocole et méthode d'étude d'un problème technique régional. *Agronomie*, 1 (7): 549, 1981.
- (2) DELAS J. - La matière organique dans les sols du Médoc. *Cah. Ing. Agronomes*, 371: 69-71, 1983.
- (3) DURR C. - Systèmes de culture et élaboration du rendement du riz (*Oryza sativa* L.) en Camargue. Thèse Doct. Ing., INA-PG, Paris, 226 p., 1984.
- (4) FRANQUIN P. - Développement de la structure fondamentale ou développement morphogénétique de la plante. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.*, 23: 23, 1974.
- (5) GONZALES-MONTANER J.H., MEYNARD J.M., MARY B. - Contrôle de la nutrition azotée du blé par l'analyse des nitrates dans la plante. *C.R. Acad. Agric. Fr., Spécial Azote* (sous presse), 1987.
- (6) MASLE J., DOUSSINAULT G., HUET PH., MACHET J.M., MAYNARD J.M., SAUR L., SEBILLOTTE M. - Méthodologie de l'analyse du rendement du blé d'hiver. A paraître dans la collection « Les Colloques de l'INRA », 42 p., 1985.
- (7) LEMAIRE G. - Cinétique de croissance d'un peuplement de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* SCHREB.) pendant l'hiver et le printemps. Effet des facteurs climatiques. Thèse Doct. ès Sciences Naturelles, Université de Caen, 96: p., 1985.
- (8) LEMAIRE G. - Diagnostic de la nutrition azotée d'une prairie de graminées. *Perspectives Agricoles*, 115: 145, 1987.
- (9) LEMAIRE G., SALETTE J. - Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I - Etude de l'effet du milieu; II - Etude de la variabilité entre génotypes. *Agronomie*, 4 (5): 423, 1984.
- (10) LETERME Ph. - Modélisation de la croissance et de la production des siliques chez le colza d'hiver (*Brassica napus* L.); application à l'interprétation de résultats de rendements. Thèse Doct. Ing., INA-PG, Paris, 208 p., 1985.
- (11) MASLE J. - L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière. Thèse Doct. Ing., INA-PG, Paris, 274 p., 1980.
- (12) MASLE J. - Compétition among tillers in winter wheat; consequences for growth and development of the crop. In « Wheat growth and modelling ». DAY & ATKIN ed. NATO ASI Serie A, Vol. 86, 33, 1985.
- (13) MATSUSHIMA S. - Crop Science in Rice. Theory of yield determination and its application. FUJI Publishing Co., Tokyo, 365, p., 1966.
- (14) MEYNARD J.M. - Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver. Thèse Doct. Ing., INA-PG, Paris, 258 p., 1985.
- (15) MEYNARD J.M. - Les besoins en azote du blé d'hiver jusqu'au début de la montaison. *Agronomie*, 5 (7): 579, 1985.
- (16) MEYNARD J.M. - L'analyse de l'élaboration du rendement des céréales sur les essais de fertilisation azotée. *Perspectives Agricoles*, 115: 76, 1987.
- (17) MEYNARD J.M., BOIFFIN J., CANEILL J., SEBILLOTTE M. - Elaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne Crayeuse. II - Types de réponse à la fumure azotée et application du bilan prévisionnel. *Agronomie*, 1 (9): 795, 1981.
- (18) MEYNARD J.M., SEBILLOTTE M. - Diagnostic sur les causes de variation du rendement du blé dans une petite région. *La Fatigue des Sols. Les Colloques de l'INRA*, Paris, 157-168, 1982.

- (19) NEY B., PIGEARE A., FLEURY A. - Analysis of the variability of grain legume yields. I - Propositions for a method. *Proposé à Agronomie, INRA, Dijon, 1987.*
- (20) PIGEARE A. - Elaboration des composantes du rendement chez le soja de type indéterminé. *Thèse Doct. Ing., INP, Toulouse, 110 p., 1984.*
- (21) REMY J. C., HEBERT J. - Le devenir des engrais azotés dans le sol. *C.R. Acad. Agric. Fr., 63 (11): 700, 1977.*
- (22) SALETTE J., LEMAIRE G., LAISSUS R. - Analyse de la croissance d'une pairie naturelle normande au printemps. II - Dynamique d'absorption et efficacité de l'azote. *Fourrages, 92: 51, 1982.*
- (23) SCOTT R.K., ALLEN E.J. - Crop physiological aspects of importance to maximum yields. Potatoes and Sugar beet. *Symposium ADAS-ARC. Maximising yields of crops. Harrogate, 17-19 January, England, 1978.*
- (24) SEBILLOTTE M. - An analysis of yield elaboration in wheat. In « Wheat technical monograph ». *Doc. CIBA-GEIGY, Bâle, Suisse, 25-32, 1980.*
- (25) SEBILLOTTE M. - Rôles de l'azote dans le comportement d'un peuplement de céréales. *Réflexions sur les approches de l'agronome. C.R. Acad. Agric. Fr., 71 (3): 292, 1985.*

Accertamento dello stato nutrizionale delle piante:
problematiche diagnostiche

BRUNO MARANO

1. PREMESSA

I rapporti suolo-pianta ai fini della produttività sono stati e continuano ad essere visti sotto tre angolazioni che ne individuano la dipendenza (A) dalla disponibilità di nutritivi nel suolo, (B) dalla loro concentrazione nella pianta e (C) come risultato della correlazione tra i termini precedenti (Figura 1). Una funzione rispettivamente esponenziale, parabolica e lineare identifica queste dipendenze.

L'impegno della ricerca chimico-agraria è diretto principalmente ad individuare e quantificare il ruolo che molteplici fattori, legati al suolo ed alla pianta, assolvono per consentire il terzo tipo di approccio derivante dalla complementarietà tra analisi del suolo ed analisi della pianta.

Il significato da attribuire ai parametri del « *sistema suolo* » è diverso da quello che afferisce al « *sistema pianta* » tanto è vero che nel caso di limitate disponibilità nutritive assume importanza diagnostica fondamentale l'analisi rivolta alla pianta mentre nel caso di forti disponibilità sono i rapporti ionici nel suolo che meritano attenzione.

Un programma di indagine interdisciplinare sullo stato nutrizionale delle piante si deve intendere diretto ad individuare quelle concentrazioni dei nutritivi nei tessuti vegetali alle quali corrispondono rapporti ottimali diretti ad una duplice finalità:

- assicurare un processo di crescita fisiologicamente ottimale
- consentire una produttività crescente per disponibilità crescenti di nutritivi, ed in quantità tali che non vengano, comunque, ad alterarsi quei rapporti ionici ritenuti fisiologicamente ottimali anche sotto l'aspetto qualitativo da assicurare al prodotto.

Per « *produttività potenziale* » delle colture si intende quella conseguibile allorchè tutti i fattori che concorrono a determinarla sono nella migliore e/o massima espressione.

Questi fattori (genetici, climatici, pedologici) saranno tali da garantire uno « *status nutrizionale* » che assicurerà alla pianta condizioni metaboliche rispondenti ad una crescita fisiologicamente equilibrata in ogni fase vegetativa.

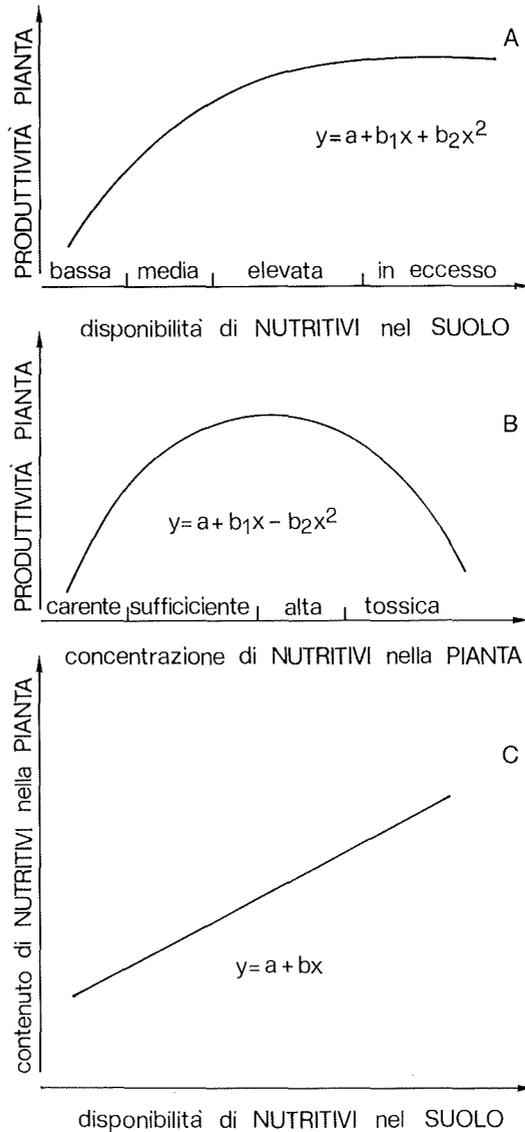


Figura 1 - Relazioni tra nutritivi e produttività nel sistema « pianta-suolo ».

Per « *produttività relativa* » o attuale si intende, invece, la frazione percentuale di quella potenziale che consegue ad uno status nutritivo per il quale uno o più fattori di crescita non risultano al massimo livello o nel miglior rapporto con gli altri per cui la suscettività al miglioramento garantisce un incremento della stessa produttività relativa.

I parametri pedologici, l'assorbimento di nutritivi, o meglio l'accumulo nella pianta, e la produzione sono elementi utili a individuare classi di fertilità dei suoli, di cui in tabella è riportato un esempio e che di fatto rappresenta classi di produttività relativa (Tabella 1).

Sin dal 1971 Bates affermava che le concentrazioni critiche dei nutritivi per assicurare vari gradi della produttività relativa delle colture sono reciprocamente interconnesse così come dipendono dalla disponibilità di acqua, luce e temperatura, dal genotipo e dalle tecniche colturali (2).

La diagnostica dello stato nutrizionale dei tessuti e degli organi vegetali fornisce l'informazione principale per evidenziare i rapporti ionici finalizzati alla crescita ed alla produttività.

L'optimum biologico che presiede a questi due momenti fisiologici consegue ad una « *sequenza di reazioni* » controllata dal livello dei nutritivi espresso quantitativamente, qualitativamente e in reciproci definiti rapporti.

I livelli delle tre espressioni sono geneticamente codificati ma possono essere definiti da « *stand nutrizionali* » che corrispondono alle diverse combinazioni dei fattori pedoclimatici.

La puntualizzazione degli aspetti più problematici sui rapporti suolo-pianta suggerisce alcune considerazioni che si riflettono sulla diagnostica dei nutritivi:

1. l'*assorbimento* di un elemento è funzione della sua concentrazione nel mezzo nutritivo;
2. la *traslocazione* dalle radici verso i germogli e le foglie dipende essenzialmente dalla specie vegetale e dalla specie ionica;
3. la *crescita* delle radici in pieno campo e nelle prime fasi vegetative segue un andamento esponenziale nelle prime settimane mentre è espressa da una curva di 2° grado negli stadi successivi ($y = a + b_1x + b_2x^2$);
4. i *parametri cinetici* regolati dall'equazione di Michaelis-Menten assumono valori diversi per i nutritivi (per il K 16.7 micromoli · litro⁻¹ e per il P valori compresi tra 4.9 - 9.3) e quindi influenzano differientemente la crescita di specie diverse;
5. gli *essudati radicali* condizionano la disponibilità dei nutritivi nel suolo, per effetto della modifica che inducono sul pH della soluzione che circonda le radici (5).

TABELLA 1 - Livelli di produttività per il mais e valori limiti al minimo per una classificazione della fertilità del suolo.

Classe di fertilità del suolo	Mais granella (ton. ha ⁻¹)	Assorbimento di nutritivi (kg. ha ⁻¹)			Caratteristiche diagnostiche del suolo						
		N	P	K	pH (KCl)	C. org. (g·kg ⁻¹)	CSC (meq. kg ⁻¹)	Fosforo totale P-Olsen (mg·kg ⁻¹)	Potassio di scambio mg·kg ⁻¹	Saturazione in basi (%)	
(.) 1	7.5	120	14	100	6-7	30	140	1000	8	15	75
(.) 2	5.5	100-120	10-14	80-100	5-6	25	140	850	6	10	55
(.) 3	3.5	70-100	8-10	50-80	4-5	20	80	650	3	6	55
4 (+)	2.0	50-70	6-8	30-50	4.0	10	50	350	2	4	40
5 (+)	2.0	30-50	3-6	20-30	4.0	5	30	200	1	2	40
(*) 6	1.5	30	3	20	4.0	5	10	50	0.5	1	30

(.) fattore limitante « fosforo »

(+) fattore limitante « azoto »

(*) fattore limitante « complesso di scambio »

2. FATTORI CHE PRESIDONO ALL'INTERAZIONE « FERTILITÀ-PRODUTTIVITÀ »

Le metodiche diagnostiche ed analitiche seguite per ottenere informazioni sulla nutrizione delle piante non possono prescindere dalla conoscenza dei processi e dei fenomeni che nel suolo governano il flusso dei nutritivi.

Trattasi di meccanismi chimico-fisici e biologici che regolano l'assorbimento radicale indotti da fattori legati al suolo ed alla pianta.

Barber (1973) individuò nel « flusso di massa » il fattore pedologico fondamentale che assicura alle radici la concentrazione ottimale mano a mano che i nutritivi vengono immessi nella pianta.

Sono fattori correlati al flusso di massa:

- il *potere tampone* dello ione di cui si esamina il grado di assorbimento ed il suo *coefficiente di diffusione* nella soluzione circolante;
- il *tempo di assorbimento* radicale che corrisponde al periodo di crescita delle radici;
- il *raggio medio delle radici* che controllano l'assorbimento, in quanto l'asportazione di nutritivi dal suolo dipende dalla massa radicale.

In tabella è indicato il ruolo che i parametri *massa radicale*, *flusso di massa* e *diffusione* svolgono per assicurare alla coltura del mais l'assorbimento dei principali nutritivi (Tabella 2).

E' noto che dalla saturazione percentuale del complesso di scambio dipende la disponibilità di un determinato catione per la pianta e che l'assorbimento di uno specifico catione può influenzare quello di altri (*effetto anta-*

TABELLA 2 - Mais coltivato in suolo limo-sabbioso a pH 6.8.

Elementi	Asportati (kg/ha)	Frazione disponibile (kg/ha) per		
		Contatto (*) radicale	Flusso di massa	Diffusione
Ca	23	66	175	—
Mg	28	16	105	—
P	39	1	2	36
K	135	4	35	96
Fe	0.80	0.10	0.53	0.17
Mn	0.23	0.10	0.05	0.08

(*) le radici occupano in media l'1% del volume di terreno esplorato e circa il 2 % degli spazi vuoti (per porosità = 50%).

gonista o sinergico). Su tale dato sperimentale Bear, che nel 1945 espresse i primi concetti teorici, e Hunter, proponevano un'ipotesi di correlazione per i « rapporti di saturazione » tra i cationi cosiddetti di base (K, Na, Ca, Mg) presenti nella soluzione circolante del suolo, da una parte, e quelli contenuti nei tessuti della pianta, dall'altra.

Ma le numerose sperimentazioni di pieno campo non hanno portato alla definizione di un « rapporto ideale », o statisticamente significativo, che sia valido per singola coltura e per specifico suolo, sulla base del concetto della saturazione cationica.

Questa, per esempio, non spiega le variazioni della concentrazione per effetto del « flusso di diffusione » conseguente ai due differenti gradienti (potenziale osmotico o chimico) che si accertano per la soluzione circolante e le superfici radicali.

Da questi dipende il « potenziale di rifornimento » che assicura i fabbisogni della pianta.

Nye nel 1969 dimostrava che questo consegue ad un meccanismo di depauperamento che fa capo alla pianta e indicava in una semplice espressione l'interazione tra attività radicale e concentrazione ionica a sua disposizione:

$$A = F = 2\pi R \cdot \alpha \cdot C\Delta t$$

Nella formula l'assorbimento (A) di nutritivi è determinato dalla velocità del flusso (F) attraverso la superficie radicale (R) ed è misurato in moli \cdot cm² \cdot sec⁻¹.

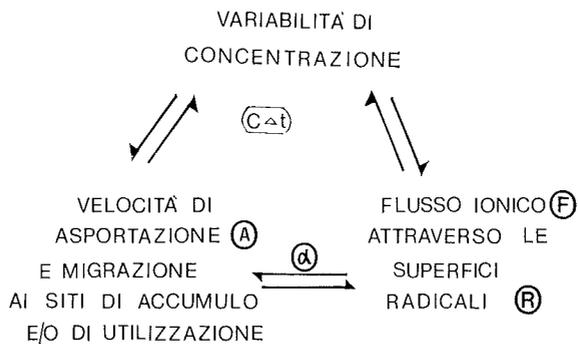
I parametri che lo condizionano sono individuati dal raggio della radice (R) e dalla capacità di assorbimento della pianta (α), che rappresentano i fattori biologici, e dalla variazione nel tempo della concentrazione dello ione nutritivo (C Δ t), nella soluzione e in prossimità della radice, che rappresenta il fattore fisico-chimico (14) (Figura 2).

Il concetto di « capacità tampone » ha fornito una dimensione quantificabile che potrebbe individuare il « potenziale di rifornimento ».

E' noto che la capacità tampone è una relazione quantitativa tra i fattori « quantità » (Q) ed « intensità » (I) essendo Q il termine che dell'elemento nutritivo indica la frazione scambiabile o disponibile o assimilabile, mentre I corrisponde alla sua concentrazione nella soluzione a contatto con le radici.

Riportando in diagramma cartesiano i valori della Q (asse delle y) e della I (asse delle x) risulta una curva parabolica il cui valore del coefficiente b, in una equazione di correlazione tra i due parametri è misura della « capacità tampone » (Figura 3).

Tra i metodi diagnostici di routine dei macronutritivi non rientra ancora l'accertamento della capacità tampone quale parametro significativo della correlazione con lo stato nutrizionale delle colture. Ma la sperimentazione tende ad individuarne la dipendenza con altri parametri pedologici, in quanto essa è la risultante delle interazioni che concorrono a rimpiazzare durante



ASSORBIMENTO DEI NUTRITIVI (potenziale di rifornimento)

Figura 2 - Potenziale di rifornimento ed assorbimento dei nutrienti.

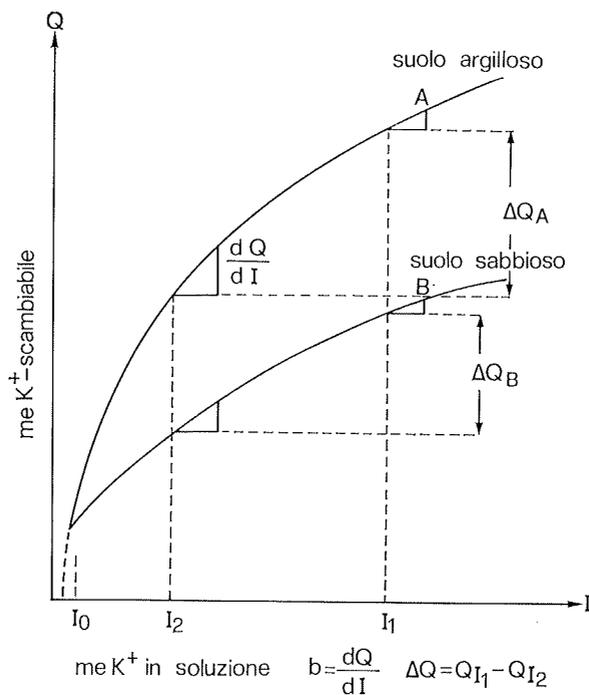


Figura 3 - Correlazioni « Quantità-Intensità » nella capacità tampone di suoli diversi.

la crescita delle piante, nella soluzione circolante, quella frazione di nutritivi prontamente utilizzabile dalle superfici radicali (16).

La misura della « *capacità* » si effettua con procedimenti chimici di estrazione specifica per i diversi elementi, come ad esempio il Ca-lattato per il potassio e l' NH_4 -acetato per il fosforo.

La misura dell' « *intensità* » ha trovato nella elettro-ultrafiltrazione (EUF) un valido metodo diagnostico suffragato da una vasta sperimentazione sulla correlazione tra somministrazione di fertilizzanti ed incremento di produzione. Molti aspetti vanno comunque chiariti, specialmente con riferimento ai parametri pedologici che controllano i due fattori « *capacità* » e « *intensità* ».

Va rilevato che il concetto di « *capacità tampone* » per uno specifico ione ha quasi soppiantato per la praticità di misura quello di « *rapporto di attività* » che concerne, invece, ioni di diversa natura e rappresenta, in senso termodinamico, il *potenziale chimico* degli stessi.

Considerati i rapporti tra *attività ionica* dipendente dalla concentrazione e *forza ionica*, che tiene conto della carica dei singoli ioni, Adams individuava nella misura del « *potenziale chimico* » la possibilità di definire la disponibilità dei nutritivi nel suolo per le piante (1).

Talibudeen successivamente ha suggerito di riconoscere al potenziale la espressione termodinamica della variazione di energia, associata alla dinamica dei nutritivi, che può indicare il « *lavoro di asportazione* » compiuto dalla pianta per rimuovere una mole di nutritivo dalla matrice (16, 20).

Sta di fatto che data la forte variabilità dei « *potenziali chimici* » con il tipo di suolo (Figure 4 e 5) non è semplice individuarne le correlazioni con l'accumulo nei tessuti della pianta, dal momento che queste sono differenti per i diversi suoli e nel corso della crescita (11).

Si tratta di indentificare i fattori dipendenti dalla frazione argillosa e cioè quella attitudine dei diversi suoli, legata alla capacità di scambio, a rimpiazzare nella soluzione circolante le frazioni asportate.

Quando si prendono in considerazione il nutritivo in soluzione e la quantità assorbita dalla pianta si individuano correlazioni che sono differenziate nei diversi suoli in funzione della « *capacità tampone* » (4) e sono espresse da andamento lineare o curvilineo (Figura 6) a seconda che, ad esempio, i fattori « *contenuto di argilla* » e « *potenziale idrico* » ne rappresentino il valore a livello limitante.

Anche se con misure della « *capacità tampone* » e del « *lavoro di asportazione* » si evidenziano aspetti diversi dei rapporti suolo-pianta è con il valore della « *capacità tampone* », agevolmente determinabile da un punto di vista analitico, che si sono evidenziate correlazioni significative con la produttività.

Gli esempi riportati indicano che la ricerca chimico-agraria è diretta ad individuare un parametro che possa rappresentare la chiave dei meccanismi fisico-chimici che hanno sede nel suolo e che risultano correlati al fenomeno biologico della crescita, tramite la nutrizione minerale.

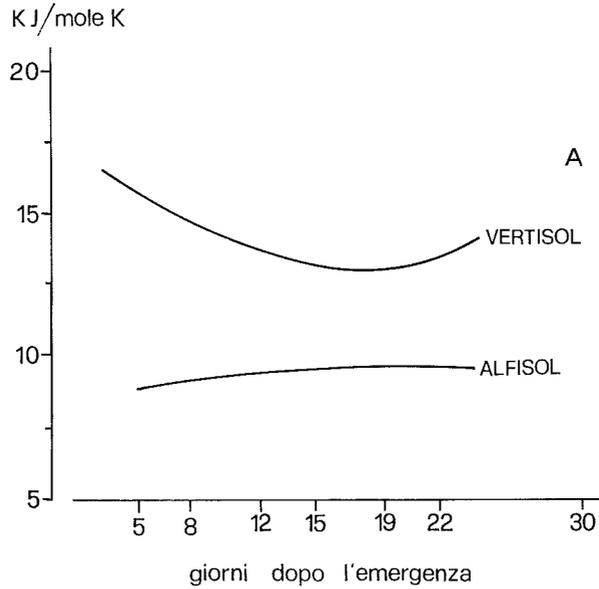


Figura 4A - Potenziale chimico del potassio, in due suoli (- ΔG_k).

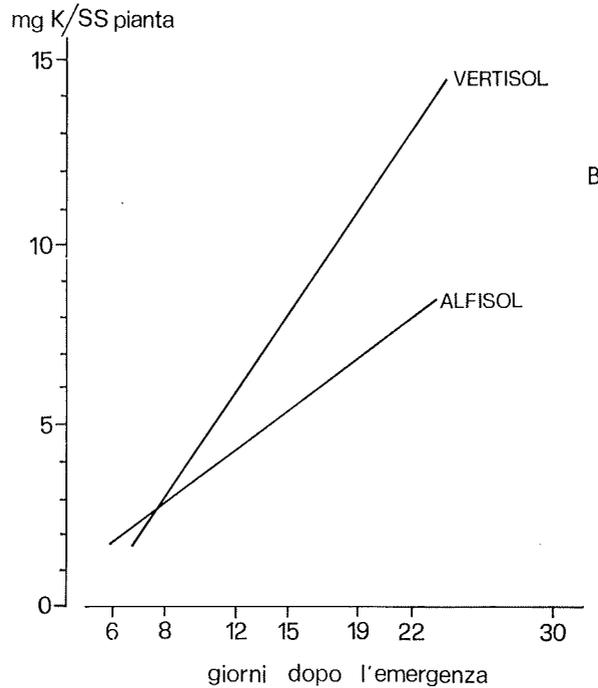


Figura 4 B - Assorbimento di potassio in mais, in due suoli, (riferito a singola piantina).

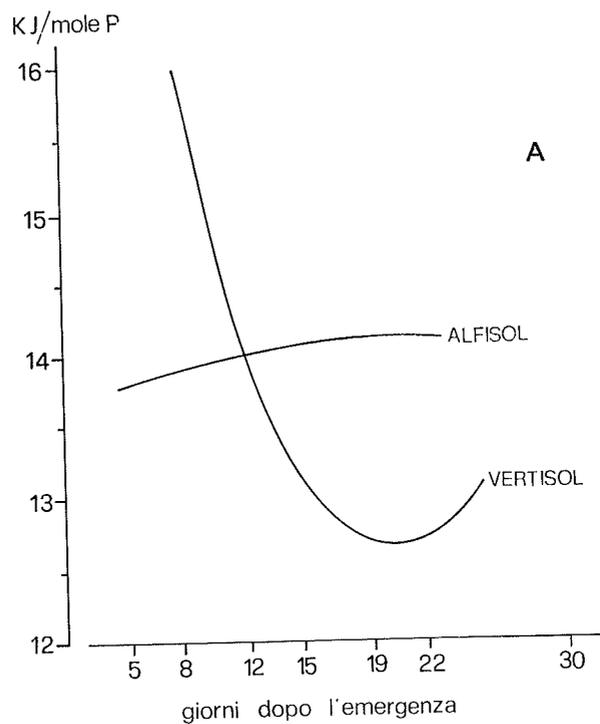


Figura 5A - Potenziale chimico del fosforo, in due suoli ($-\Delta G_p$).

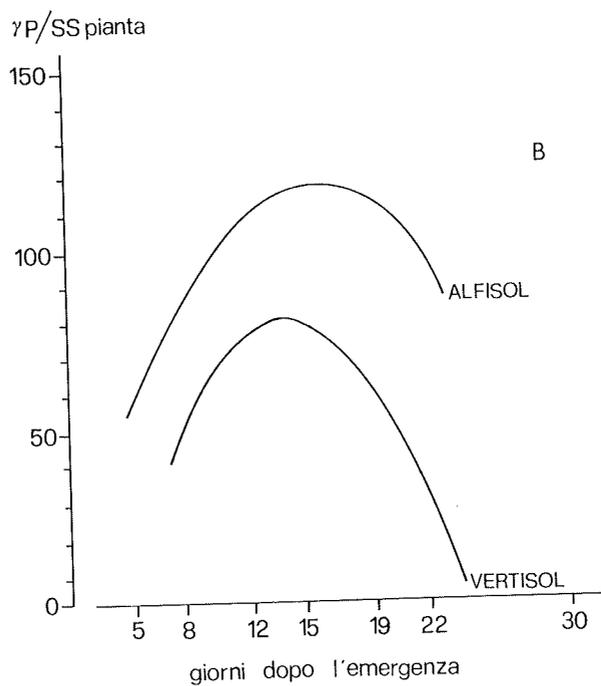


Figura 5B - Assorbimento di fosforo in mais, in due suoli (riferito a singola piantina).

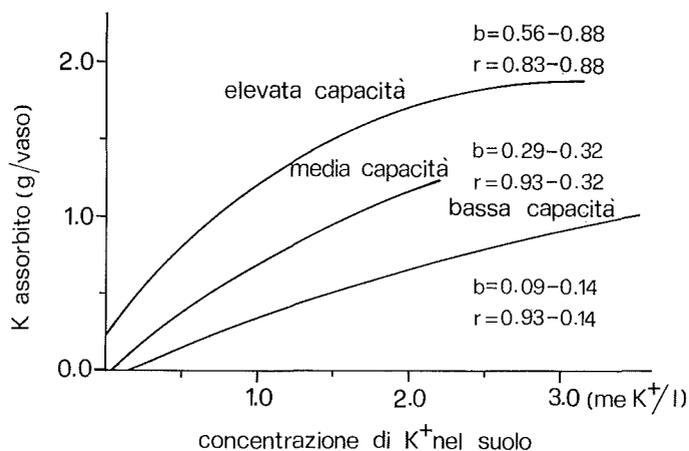


Figura 6 - Relazione tra concentrazioni K^+ nel suolo ed assorbimento del nutritivo in avena, su suoli a diversa capacità tampone.

Ma la diagnostica analitica finalizzata all'accertamento dello stato nutrizionale delle piante è anche rivolta ad approfondire aspetti specifici dei singoli nutritivi che ne influenzano, notoriamente, la disponibilità e l'assorbimento.

Cito, come esempio, la problematica connessa all'azoto, in particolare, ed alla sostanza organica, in generale, per la quale si ricercano « *coefficienti di stabilità* », che possano riferirsi alla quantità chimica dell'humus o « *potenziali di mineralizzazione* » dell'azoto nel suolo, come indice significativo della disponibilità per la pianta (19).

Ancora merita di essere citato lo studio dei rapporti tra le biosintesi organiche nelle piante e la nutrizione minerale e valga in proposito il contributo che fornisce il metabolismo degli acidi organici in rapporto all'assorbimento degli ioni minerali (9).

Inoltre, poichè la concentrazione attiva dei metaboliti nei vari organi o tessuti vegetali è in continua dinamica variazione per i fenomeni di assorbimento, accumulo e trasferimento si deve auspicare una più approfondita conoscenza dei meccanismi biochimici che dipendono dalla « *sink strenght* » dalla « *source strenght* » e dai rapporti « *sink-source* », ben noti ai fisiologi vegetali.

Considerando che per effetto di tali relazioni risultano estremamente mutevoli nel tempo le concentrazioni ioniche nei vari tessuti vegetali si comprende come le conoscenze auspiccate possano indicare lo stadio vegetativo e quindi l'epoca più adatta per effettuare la diagnosi minerale, rimuovendo una delle principali fonti di « *errore statistico* » che conferisce al dato analitico coefficienti di variabilità che spesso lo privano di significato.

3. METODICHE ANALITICHE STRUMENTALI

Dal momento che la composizione chimica dei tessuti vegetali dipende dalla specie vegetale, dalle parti della pianta e dall'età fisiologica o stadio della crescita, si pone l'opportunità di attribuire alle « *modalità di campionamento* » il significato di problematica di base, preliminare a tutte le altre che seguiranno, dal metodo chimico alla scelta della strumentazione, per acquisire il dato analitico. La standardizzazione del « *campionamento* » delle parti verdi deve, in linea di massima, seguire delle regole di base, come ad esempio:

- scegliere accuratamente soggetti sani che devono essere immediatamente essiccati o refrigerati;
- evitare il prelievo al mattino, quando le piante sono bagnate, con forti venti o con cielo nuvoloso;
- conservare il materiale raccolto in recipienti non inquinati, preferibilmente di vetro non di polietilene.

E' necessario che le parti della pianta da analizzare siano con la maggiore precisione individuate, ed in ciò è necessario il contributo dei fisiologi vegetali e dei biochimici, affinché, anche per intendersi allorchè si confrontano risultati, l'oggetto del dibattito abbia una sua precisa configurazione.

Bisogna auspicare altresì che le norme e le istruzioni da seguire siano con precisione catalogate come mostra ad esempio la Tabella che segue (Tabella 3).

TABELLA 3 - Campionamento per l'analisi fogliare di varie colture (da Walsh L.M. and Beaton J.D., 1973).

Coltura	Campionamento	Parte della pianta	Numero per formare il campione
Erba medica	al 10% della fioritura	Foglie adulte ad 1/3 della altezza dalla base	40-50
Mais	a maturazione latte della granella	Foglia intera prima del nodo dell'infiorescenza	15-25
Patata	alla prima fioritura	Dalla 3 ^a alla 6 ^a foglia dall'apice vegetativo	20-30
Riso	durante la fase vegetativa all'altezza di circa 30 cm	Tutta la parte vegetante senza le radici	50-100
Soia	all'inizio della fioritura	Foglie completamente sviluppate alla sommità della pianta	20-30
Barbabietola	alla metà del ciclo vegetativo	Foglie centrali con i pezioli	30-40

Circa le parti della pianta da utilizzare per la diagnostica dello stato nutrizionale bisogna riflettere sui seguenti fatti.

E' noto che tra gli elementi minerali che la pianta utilizza per le biosintesi organiche, alcuni, come calcio e ferro, possono progressivamente accumularsi e rimanere inutilizzati nei vari tessuti ed organi mentre altri, come potassio e fosforo, vengono solo temporaneamente immagazzinati per essere successivamente ridistribuiti alle varie sedi metaboliche attive.

Questo trasporto può interrompersi per senescenza o per fruttificazione (*fattori interni*) o per carenze, tossicità ecc. (*fattori esterni*).

La velocità di risposta delle foglie a queste interruzioni o variazioni di flusso segue lentamente e con ritardo le variazioni di concentrazione del mezzo nutritivo. Da ciò deriva che, le analisi fogliari possono non evidenziare uno stato di carenza in via di evoluzione nel mezzo nutritivo e non consentire un intervento tempestivo, specialmente quando trattasi di colture a ciclo vegetativo piuttosto breve.

Nei tessuti conduttori invece si ha un flusso continuo di nutritivi la cui concentrazione si modifica con immediatezza per la velocità stessa di migrazione dei succhi trasportatori (trasporto della linfa grezza fino a 100m/ora e di quella elaborata fino a 100 cm/ora).

Pertanto, considerata la maggiore variabilità del flusso ionico nei vasi conduttori, perchè essa riflette momento per momento l'influenza e la variabilità degli stessi fattori esterni (pedoclimatici) ed interni (fisiologici), si deve ritenere che l'analisi della linfa circolante, ossia dei pezzi fogliari può rappresentare una metodica più valida a caratterizzare lo stato nutrizionale della pianta, rispetto alle lamine fogliari.

Un discorso va fatto sulle problematiche afferenti all'accertamento dello stato nutrizionale delle piante e sulle varie strumentazioni chimico-fisiche che consentono l'impiego di differenti metodiche analitiche (Tabella 4).

Tra quelle di più recente impiego va considerata la « *cromatografia ionica* », basata sulle reazioni di scambio ionico, che rappresenta un metodo rapido e sensibile per separare miscele di ioni e quindi analizzare una soluzione; essa è applicabile a suoli, piante ed acque consentendo di determinare il contenuto sia di anioni che di cationi.

In molti Istituti universitari, qui in Italia, si seguono queste analisi e molte osservazioni sono emerse circa le reali possibilità di risoluzione che esse offrono, in particolare quando si è in presenza di concentrazioni molto diverse tra i componenti la soluzione.

I risultati di norma concordano con quelli che si ottengono per fotometria ad assorbimento atomico.

La misura di concentrazioni ioniche, quando viene effettuata con l'impiego di elettrodi iono-selettivi, consente una rapida e soddisfacente determinazione analitica, in special modo degli anioni, poco dispendiosa, che non richiede sofisticata apparecchiatura ed è utilizzabile anche per microelementi e per gas disciolti.

TABELLA 4 - Metodiche per le analisi dei tessuti vegetali

Metodo analitico	Autori
— Colorimetria	Piper (1942)
— Spettrofotometria	Mitchell (1956)
— Fotometria alla fiamma	Berneking & Schrenk (1957)
— Polarografia	Sirois (1962)
— Fluorescenza ai raggi X	DiXon & Wear (1964)
— Assorbimento atomico	Bradfield & Spencer (1965)
— Elettrodi iono-selettivi	Orion Research Inc. (1967)
— Spettrometria di massa	Evans & Morrison (1968)
— Attivazione di neutroni	Haller <i>et al.</i> (1968)
— Microanalisi elettronica ai raggi X	Rasmussen (1970)
— Cromatografia ionica	Small, Stevens e Bauman (1975)

Data la semplicità dell'apparecchiatura di base, si possono effettuare misure sul posto, fuori dal laboratorio, il che offre vantaggi non indifferenti quando si devono analizzare campioni che non devono subire alterazioni dovute a lunghi tempi di condizionamento o di trasporto.

Anche per questa metodica strumentale, comunque, le osservazioni di massima che si possono fare riguardano, come per tutte le altre, la standardizzazione di una precisa normativa che va dalla preparazione del campione alla composizione della soluzione che si porta ad analizzare.

Se nel caso della pianta questo discorso finora è stato semplice perchè si opera sulle ceneri, quando si tratta del suolo si incontrano difficoltà che conducono a presupposti concettuali ai quali il metodo di estrazione delle varie frazioni di nutritivi deve adeguarsi.

Infatti, se con i termini *solubile, disponibile, assimilabile, scambiabile, fissato, precipitato* traduciamo il significato che ciascun elemento ha per la nutrizione vegetale, è necessità che veramente l'estrante adoperato ne fornisca quella determinata frazione alla quale risulta correlato l'assorbimento radicale, l'accumulo nei tessuti, la metabolizzazione, ecc.

Si affiancano alle strumentazioni tradizionali dei laboratori di Chimica Agraria, che operano sulla diagnostica del suolo e delle piante, apparecchiature più complesse e multimodali che eseguono in automazione le operazioni che si succedono, dal prelievo delle frazioni di soluzioni da analizzare fino alla trascrizione dei dati analitici che possono essere anche statisticamente elaborati.

Trattasi degli *Auto-analyzer* la cui tecnica analitica è basata sul principio del flusso continuo di campioni e reagenti che consentono perfino la determinazione simultanea di più parametri.

Il sistema comprende un piatto campionatore, cassette analitiche e rilevatori quali colorimetro, fotometro, fluoronefelometro, spettrofotometro ed elettrodi iono-selettivi; completano l'apparecchiatura un registratore ed un computer.

Sicuramente questa strumentazione, che by-passa l'operatore manuale, è in grado di fornire dati analitici ripuliti dall'« *errore uomo* », inteso nel significato statistico di fattore di variabilità, ma pur sempre si basa sull'impiego di metodiche di laboratorio che devono aver ricevuto il generale consenso per quanto concerne la ripetibilità del risultato.

Merita, infine di essere citata la microanalisi elettronica ai raggi X (*Microprobe Analysis*) che, combinando i principi della microscopia elettronica e della spettrofotometria consente di individuare tutti gli elementi (tranne H, He, Li, Be) a concentrazioni estremamente basse: 4×10^{-18} once in millimicron di volume del campione.

Le onde luminose che vengono emesse dallo strumento eccitano le molecole dell'elemento che a loro volta emettono energia sotto forma di raggi X, la cui lunghezza d'onda è specifica dell'elemento.

Captando solo quei raggi X di una determinata lunghezza d'onda, ad esempio per il K quella a 3740 Å, viene individuata la presenza e la concentrazione dell'elemento.

Punteggiature bianche sullo schermo rivelano queste onde la cui intensità è indice della relativa concentrazione. L'analizzatore fornisce così degli oscillogrammi per i vari elementi che possono essere comparati a quelli ottenuti da campioni vegetali provenienti da trattamenti diversi.

Mediante confronti si può esaminare anche la variabilità di concentrazioni di elementi diversi conseguente ad un trattamento fertilizzante in modo da derivare giudizi di « *concimazione bilanciata* », di « *antagonismo ionico* » di « *dosi ottimali* » ecc.

I metodi diagnostici sul suolo e sulla pianta che tuttora sono utilizzati per determinare livelli nutrizionali, consentono di accertare limiti per così dire fiduciarie di concentrazioni, più o meno ampi, per i diversi elementi. Essi sono validi soprattutto per i macroelementi, le cui quantità oscillano entro ranges considerevoli, tanto che solamente in casi eccezionali si verificano alterazioni metaboliche.

Ma allorchè si tratta di definire lo stato nutrizionale con riguardo ai micro-elementi è importante conoscerne i « *valori critici* », ai quali le attività enzimatiche impegnate nel processo di crescita risultano compromesse tanto da interessare anche il metabolismo dei macro-nutritivi.

In tali evenienze si potrebbe rivolgere attenzione all'attività dei cosiddetti « *indicatori biochimici* ».

Essi sono rappresentati da composti organici a semplice struttura, come ammine ed acidi organici, che si accumulano nei tessuti in conseguenza di particolari carenze minerali, ma possono anche, e soprattutto, essere degli enzimi la cui attività viene esaltata o depressa in presenza di concentrazioni di nutritivi fisiologicamente non idonee ad un equilibrato metabolismo.

L'accumulo di questi metaboliti e la diminuzione o la scomparsa di altri ad essi correlati potranno, pertanto, rappresentare degli utili segnali biochimici, espressione di un alterato equilibrio minerale o per meglio dire di squilibri nutrizionali.

Si cita, ad esempio, l'accumulo eccessivo di nitrati nei tessuti correlato alla carenza di molibdeno, la K-carenza che induce accumulo di ammine, la P-carenza legata all'accumulo di arginina nei tessuti fogliari.

La misura dell'*attività nitrato-riduttasica* (NRA) può significativamente essere un indice della assimilazione di azoto nitrico ($N-NO_3$) da parte della pianta.

La *fosfatasi acida fogliare* (LAP) consente valutazione indiretta dello stato nutrizionale della pianta rispetto al fosforo. Aumenta, infatti, l'attività di questo enzima in carenza mentre diminuisce in condizioni di sufficienza del nutritivo.

La semplice determinazione colorimetrica della LAP nella 4^a e 5^a foglia di frumento è stata da Mc Lachlan (10) correlata alla produzione di granella. Sono stati isolati due isozimi in estratti di foglie carenti di fosforo che non erano presenti nel caso di una equilibrata nutrizione fosfatica.

Gli zimogrammi ottenuti mediante tecnica elettroforetica consentono di evidenziare bande relative ai due isozimi, la cui presenza non è legata agli effetti collaterali di altri fattori (stress idrico, età dei tessuti) e che agiscono sull'attività globale della LAP.

Anche nel caso di microelementi, ancor più legati ai processi fisiologici e ad alcune manifestazioni biochimiche della crescita vegetale, alcuni enzimi sono da considerarsi indicatori biochimici di carenze da alterato rapporto tra essi ed i macronutritivi.

Da un'equipe di studiosi spagnoli (18) è stato accertato in foglie di limone che il grado di attività di alcuni metallo-enzimi del sistema *super-ossido-dismutasi* (SOD) è un valido test per evidenziare carenze da ferro e da manganese i cui sintomi vengono difficilmente differenziati.

Gli isozimi corrispondenti consentono una sicura diagnosi di tali carenze; infatti, la clorosi dovuta a *carenza di ferro* consegue a diminuita attività della Fe-SOD e ad aumento di Cu-Zn-SOD, mentre nel caso di *carenza di manganese* diminuisce la Mn-SOD ma non si ha significativa variazione della Cu-Zn-SOD.

Possibilità diagnostiche dello stato nutrizionale della pianta in rapporto ai micro-elementi offrono l'attività delle *fenolasi*, *laccasi* e *citocromossidasi* per il rame e quella della *carbossilanidrasi* per la concentrazione di zinco attivo nei tessuti fogliari.

4. VALUTAZIONE DELLO STATO NUTRIZIONALE DELLE COLTURE

L'accertamento dei contenuti di nutritivi nel suolo e nelle piante, dei loro rapporti e delle correlazioni con i vari fattori di variabilità quantificati con parametri o coefficienti, persegue il fine ultimo di conoscere il livello di fertilità dei suoli, lo stato nutrizionale delle piante ed i fabbisogni che devono essere assicurati perchè si incrementi la produttività innanzitutto, non escluso il miglioramento della qualità dei prodotti.

Il DRIS è metodo previsionale analitico per accertare lo stato nutrizionale delle piante e suggerire forme di concimazione con riferimento alle epoche o fasi vegetative delle colture oggetto dell'indagine e sulla base dell'analisi fogliare specifica per ciascuna coltura.

Il metodo veniva individuato con la sigla risultante dalle iniziali della definizione « Diagnosis and Recommendation Integrated System ».

Nel 1976 Beaufils dopo 25 anni di ricerche, proponeva questa metodica di diagnosi per calibrare i fattori, che legati al sistema naturale « pianta-suolo-ambiente » e integrati dalle tecniche agronomiche, concorrono alla produttività delle colture ed alla qualità di prodotti (3).

La metodica DRIS, specie se si prendono in considerazione altri nutritivi a fianco di quelli fondamentali, consente di accertare squilibri nutrizionali dovuti a rapporti non idonei tra di essi e quindi di evidenziare quello tra gli elementi che può agire da fattore limitante.

Essa può rappresentare un valido test dello stato nutrizionale quando si dispone degli indici con riferimento ai vari stadi della crescita delle diverse colture ed anche delle varie cultivar.

Gli studi di Beaufils furono condotti sull' *Hevea brasiliensis* ma sono state codificate le norme negli anni successivi, principalmente ad opera di Sumner, ed applicate ad altre colture, quali canna da zucchero, patata, mais, frumento, soia, the.

Il metodo DRIS ha consentito di superare il concetto di concentrazione critica dimostratosi limitativo del significato fisiologico da attribuire ai singoli nutritivi quando vengono considerati solo di per sè e non in rapporto alle interazioni con gli altri. Il DRIS non è un modello analitico ma un approccio diagnostico che ha lo scopo di calcolare per ciascun nutritivo alcuni indici che consentono di prevedere sbilanciamenti rispetto agli altri nutritivi, anche nel caso di livelli critici di piena sufficienza per quanto riguarda la loro concentrazione nei tessuti fogliari.

Prendendo in esame i nutritivi N, K, P, Ca, Mg, si ha ad esempio che per il K l'indice relativo risulta da:

$$\text{K index} = \frac{f(\text{K/P}) - f(\text{N/K}) + f(\text{K/Ca}) + f(\text{K/Mg})}{f(= 4)}$$

La somma degli indici DRIS ottenuta per i vari nutritivi si bilancia a zero.

Quando l'elemento è presente nei tessuti analizzati in concentrazione ottimale il relativo indice sarà uguale a zero, se invece sarà minore di zero (negativo) indicherà un livello di carenza e se infine sarà maggiore di zero (positivo) indicherà un grado di surplus.

$$f(N/K) = 100 \cdot 1 - \frac{V_n}{V_a} \cdot \frac{10}{C_v} \text{ per } V_a < V_n \text{ (carenza)}$$

$$f(N/K) = 100 \cdot \frac{V_a}{V_n} - 1 \cdot \frac{10}{C_v} \text{ per } V_a > V_n \text{ (surplus)}$$

C_v = coefficienti di variabilità

V_a = valore accertato per N/K

V_n = valore normale per N/K

Tra le numerose applicazioni concernenti la definizione dello stato nutrizionale delle piante che il DRIS ha consentito se ne citano, ad esempio, le seguenti:

Choinacki in Polonia ha messo a confronto per l'avena popolazioni di elevata e di bassa produttività con prove in vaso ed in pieno campo, esaminando i contenuti di N, P, K, Ca e Mg e calcolandone i rapporti, nell'intera parte aerea della pianta, alle due fasi dell'accostamento e della levata (7).

L'A. ha potuto rilevare che alcuni rapporti determinati alle due epoche non variano (N/P 8.1, P/K 0.10, P/Mg 3.2, K/Ca 8.5) mentre altri risultano diversi nei due momenti della crescita (N/K da 1.0 a 0.8, N/Ca da 8.1 a 6.9, K/Mg da 25.9 a 30.5).

Mingji e coll. hanno utilizzato il DRIS, impiegando prove in vaso ed in pieno campo su coltura di frumento, per verificare la possibilità di intervenire allo stadio di levata con opportune concimazioni. Con esperimenti protratti nel corso di cinque anni hanno accertato valori di 12.74 per N/P, 1.45 per N/K ed 8.80 per K/P (12).

In Italia, Visintini Romanin dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle piante ha studiato in coltura di mais con prove di concimazione potassica la composizione chimica dei tessuti fogliari nel corso di un triennio per definire lo stato nutrizionale attraverso la determinazione degli indici DRIS ed evidenziarne le correlazioni con la produttività (21).

Gli elementi ed i reciproci rapporti sono stati calcolati per N, P, K, Ca, Mg, S ed hanno permesso all'autrice di rilevare la necessità di apporti di potassio nell'area oggetto dell'indagine (pianura friulana, suolo calcareo) per conseguire elevate produzioni di granella.

Quando si utilizzano valori e bilanci di nutritivi per interpretare la composizione chimica dei tessuti vegetali, come avviene con il DRIS, riveste particolare importanza la più accurata determinazione dei « valori ottimali ».

La disponibilità di dati raccolti da molteplici località nelle quali i fattori della crescita sono individuati da differenti situazioni e quindi variabilità, consente di costruire diagrammi di distribuzione che presenteranno un picco di massima corrispondente ad un determinato valore del fattore in esame (24).

Le linee di confine o curve di delimitazione del picco (*boundary lines*) con andamento parabolico crescente e decrescente, verso e dal punto di massima, delimiteranno la correlazione del parametro di produttività al fattore di variabilità. Walworth e coll. hanno applicato tale metodo diagnostico al mais, raccogliendo ben 8500 campioni di foglie da Stati Uniti, Canada, Africa, Sud America e Francia, e pertanto nelle più diverse situazioni pedoclimatiche che possano consentire la coltivazione del mais (23).

Il parametro di produttività (y) indicato dalla granella in t/ha può essere correlato, in diagramma cartesiano, ai contenuti di N, P e K riferiti a sostanza secca fogliare (Figura 7), ai rapporti P/N, K/P ed N/K nei tessuti fogliari (Figura 8) nonchè agli indici DRIS per N, P e K (Figura 9).

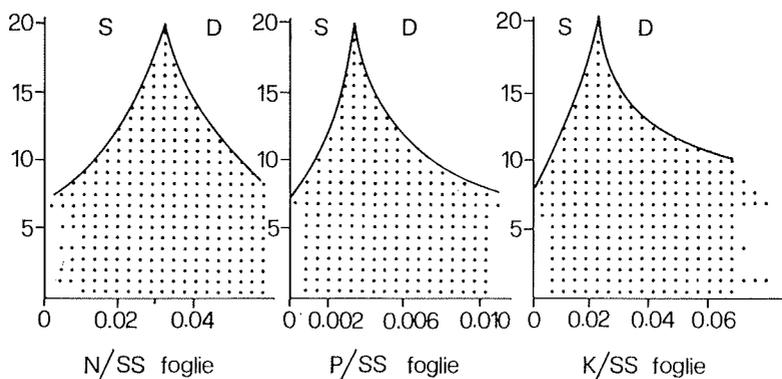


Figura 7 - Linee di confine nell'interazione produttiva del mais e contenuto di nutritivi nelle foglie (da Walworth *et al.*, 1986).

Per ciascuna curva viene individuata l'equazione più rispondente, per le curve a sinistra (S) ed a destra (D) del picco di massima.

Il picco teoricamente dovrebbe corrispondere ad un potenziale produttivo legato a fattori genetici ma in realtà non lo è in quanto i rilievi sono condizionati da indagini territoriali non confortate dalla precisione analitica dei fattori di variabilità.

L'individuazione delle curve di delimitazione permette non solo di prevedere l'esito produttivo conseguente ad un particolare valore che si sarà

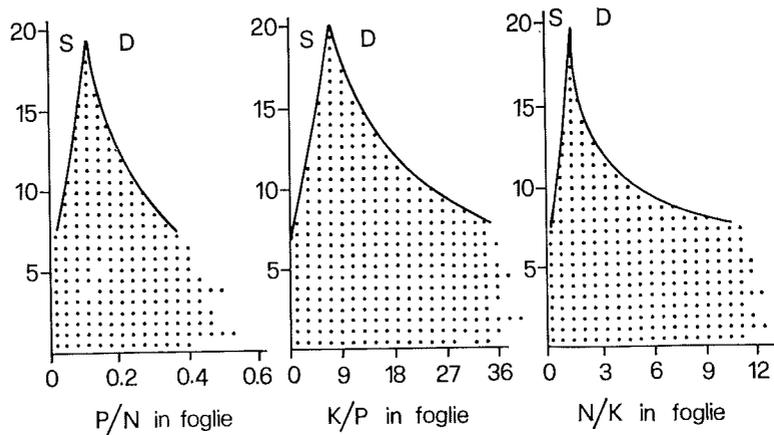


Figura 8 - Linee di confine nell'interazione produttività del mais e rapporto tra nutritivi (da Walworth *et al.*, 1986).

accertato per il fattore di variabilità nutrizionale considerato, ma anche di programmare una produttività allorchè si saranno acquisiti i valori ottimali nutrizionali e/o limiti delle concentrazioni degli elementi che fanno delimitare classi di produttività (23) (Tabella 5 e 6).

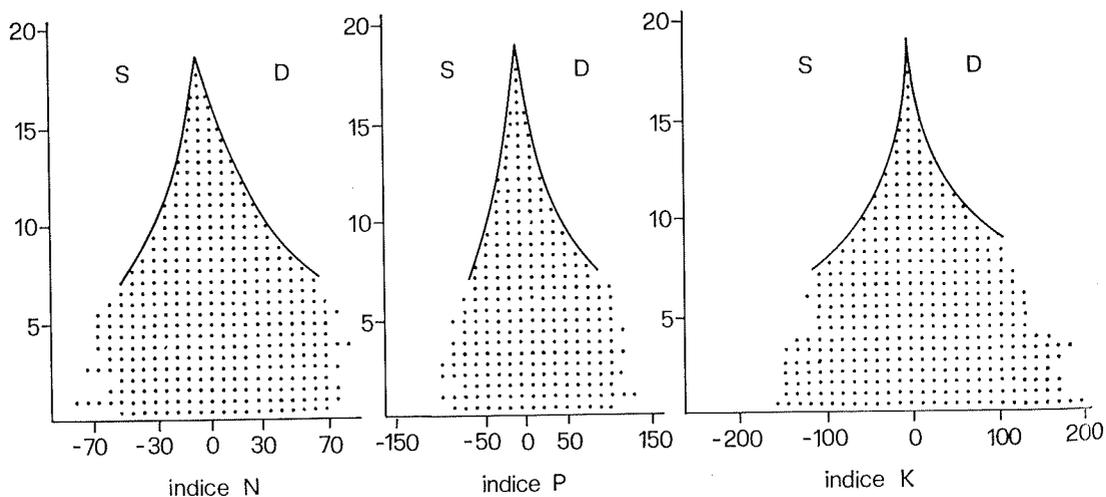


Figura 9 - Linee di confine nell'interazione produttività del mais e indici DRIS dei nutritivi (da Walworth *et al.*, 1986).

TABELLA 5 - Confronto dei valori ottimali per il mais relativi ai vari parametri ottenuti secondo il metodo delle « linee di confine » e le medie calcolate (da Walworth *et al.*, 1986).

Parametro	Linee di confine	Medie calcolate
N/SS	0.0341	0.0317
P/SS	0.0032	0.0034
K/SS	0.0232	0.0205
P/N	0.097	0.108
N/K	1.48	1.74
K/P	6.91	6.52
Indice N	- 3.9	- 0.71
Indice P	- 2.1	0.64
Indice K	+ 6.2	0.08

TABELLA 6 - Limiti fiduciarî dei vari parametri con riferimento a tre classi di produttività del mais (da Walworth *et al.*, 1986).

Parametri	Produttività (granella, Mg·ha ⁻¹)		
	10	12.5	15
N/SS	0.0120 - 0.0601	0.0210 - 0.0460	0.0269 - 0.0397
P/SS	0.0014 - 0.0078	0.0022 - 0.0057	0.0026 - 0.0044
K/SS	0.0067 - 0.1178	0.0122 - 0.0442	0.0166 - 0.0312
P/N	0.041 - 0.275	0.062 - 0.208	0.076 - 0.164
N/K	0.425 - 4.185	0.771 - 2.404	1.053 - 1.873
K/P	1.84 - 23.45	3.41 - 16.07	4.69 - 11.80
Indice N	- 47 - + 75	- 17 - + 19	- 10 - + 8
Indice P	- 43 - + 45	- 28 - + 24	- 17 - + 10
Indice K	- 28 - + 33	- 26 - + 30	- 10 - + 14

5. PROSPETTIVE FUTURE

La panoramica effettuata sui momenti « tecnici » delle diverse tematiche che afferiscono alla vasta problematica dell'accertamento e della definizione dello stato o « livello nutrizionale » delle piante prospetta osservazioni di ordine metodologico analitico e suggerisce interventi di ordine programmatico.

5.1. Osservazioni sulle metodologie diagnostiche

Gli *handicap* più significativi per i rapporti fertilità del suolo e nutrizione della pianta possono individuarsi:

1. a livello di suolo da:

- 1.1. tessitura;
- 1.2. rifornimento di nutritivi dagli orizzonti meno superficiali;
- 1.3. dinamica « deplezione-incremento » come flusso di nutritivi nel sistema « source-sink ».

2. a livello di pianta da:

- 2.1. estensione dell'apparato radicale;
- 2.2. essudati radicali;
- 2.3. rapporti « biochimismo minerale-biochimismo organico »;
- 2.4. fase critica « crescita-riproduzione ».

Alla luce della continua variabilità della presenza di ioni in soluzione per effetto della competizione « disponibilità nel suolo-asportazioni radicali », ossia della dinamica « concentrazione-diluizione », si ha una continua integrazione nel corso del metabolismo vegetale tra fonte di energia (= disponibilità di nutritivi) e sito di utilizzazione (= produzione di biomassa).

Pertanto lo stato nutrizionale delle piante, inteso come un fenomeno di equilibrio instabile, richiede continua verifica della efficienza dei molteplici fattori implicati nel sistema suolo-pianta.

Unitamente alla ricerca delle concentrazioni critiche dei vari elementi nei tessuti vegetali, così come nel suolo, va ravvisata la necessità di seguire la variazione dei rapporti tra i nutritivi con riferimento alle interazioni « clima-suolo-pianta », negli organi o parti di essi che si ritengono rappresentativi per l'intera pianta.

L'analisi fogliare e quella dei succhi tissulari (13) consente di (a) acquisire dati sui livelli critici del contenuto di cationi ed anioni (b) di calcolare rapporti adeguati tra di essi (c) individuare correlazioni tra le produzioni e questi rapporti.

Per una migliore diagnostica sul bilancio dei nutritivi certamente rivestono importanza sia la conoscenza della frazione escreta, ossia restituita al suolo dalle radici, quanto la quantità di acidi organici metabolizzati.

E' necessario conoscere anche per la pianta le relazioni tra il fattore « capacità » (nutritivo accumulato nel tessuto) ed il fattore « intensità » che potrebbe essere rappresentato dal nutritivo legato al co-fattore di crescita quale termine energetico di riferimento, ad esempio ATP per il fosforo, nitrato-riduttasi per l'N, RDP-carbossilasi per il K.

Vanno individuati il « *monitor* » della fase critica vegetativa (sostanza ad attività catalitica del flusso dal « *source* » al « *sink* ») ed il « *detector* » di tale momento (nutritivo impegnato).

La decisione di somministrare nutritivi in base alla diagnosi del suolo e/o della pianta per mettere quantità maggiori a disposizione delle colture non sempre tiene conto di alcuni fattori limitanti quali:

- la solubilità del composto fertilizzante;
- il movimento verso le radici per flusso di massa o per diffusione;
- il trasporto attivo e passivo attraverso le membrane cellulari;
- il bilancio cationi-anioni;
- il trasferimento delle radici ai germogli (*source-sink*).

Su alcuni di questi termini di variabilità ancora non si hanno informazioni definitive.

Dal momento che sono numerosi i fattori che presiedono alla crescita della pianta (pedologici, climatici, genetici, nutrizionali) si avverte la necessità di elaborare modelli matematici previsionali (8), che in special modo l'avvento del computer ha reso attuabili, perché si offre la possibilità di operare su larga variabilità di dati in ampie e differenti situazioni.

La problematica che il tema offre è vasta e qui non può essere presentata e quanto meno discussa, ma l'importanza che essa riveste consente di ricordare lo schema proposto da Nye (1975) dal quale emergono le molteplici interazioni che coinvolgono l'assorbimento di nutritivi, il processo di crescita, la concentrazione e le specie ioniche nella soluzione circolante (15) (Figura 10).

Claassen, che fin dal 1976 si occupa dell'interazione suolo-pianta estrapolandone i più significativi fattori, ha presentato di recente un modello matematico, basato sulla *cinetica di concentrazione* del K nella soluzione circolante del suolo e sui fattori capacità tampone, flusso idrico, raggio radicale, per ottenere informazioni e previsioni sulla disponibilità del nutritivo nei vari tipi di suolo.

L'equazione differenziale proposta è la seguente (6):

$$\frac{dC}{dt} = \frac{1}{Z} \cdot \frac{d}{dZ} Z \cdot K_D \cdot \frac{dC}{dZ} + \frac{\Theta \cdot r \cdot C}{b}$$

C = concentrazione della soluzione del suolo

K_D = coefficiente di diffusione del nutritivo

r = raggio radicale medio

Θ = flusso idrico

Z = distanza dall'asse radicale

b = capacità tampone del suolo

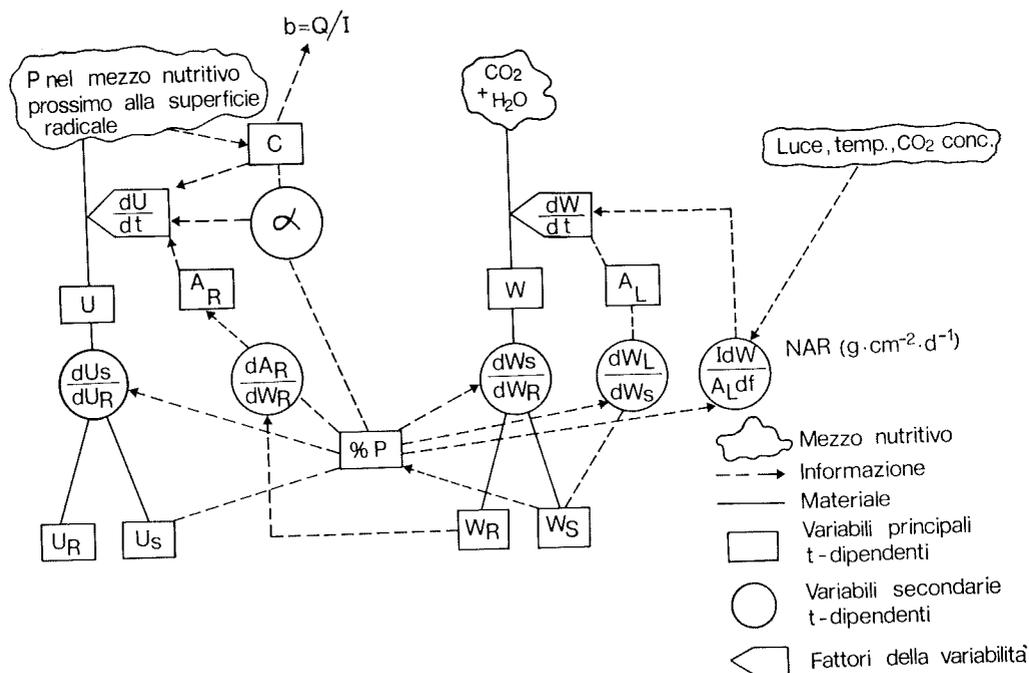


Figura 10 - Diagramma delle interazioni tra il contenuto di fosforo nel suolo ed i parametri della crescita (modello secondo Nye *et al.*, 1975).

Il modello ha consentito di evidenziare che il trasporto e l'assorbimento di K sono significativamente prevedibili in base alla concentrazione dell'elemento e quindi anche all'umidità del suolo. Sia il trasporto che l'assorbimento nei suoli sabbiosi corrispondono a quantità più elevate rispetto a quelli argillosi per assicurare alla stessa coltura lo stesso grado di assorbimento da parte delle radici.

5.2. Proposte ed interventi

Il controllo analitico del suolo e quello delle piante per la definizione, rispettivamente, del « livello di fertilità » e dello « stato nutrizionale » rivestono complementarietà di indagine, finalizzata all'accertamento del bilancio dei nutritivi nel sistema « suolo-pianta » e delle correlazioni conseguenti ai rapporti tra un sistema governato dalle leggi della chimico-fisica ed un altro governato da quelle della biochimica e della genetica.

A tutt'oggi bisogna, purtroppo, ammettere, che lo studio programmato di questo grande sistema naturale rimane affidato alle idee speculative dei singoli studiosi.

Le metodiche analitiche strumentali e l'avvento del computer hanno aperto nuove frontiere all'analisi del suolo e della pianta le cui applicazioni, utilizzazioni e finalità investono interessi che vanno dal fisiologo al genetista, dall'agronomo all'economista, dall'ecologo al chimico-agrario e, pertanto, richiedono l'operatività congiunta di competenze diverse finalizzate alla programmazione del « ciclo agronomico » delle piante, dalla crescita alla produzione.

5.3. Programmazione

Si è pervenuti alla possibilità di *programmare* tutti i cicli produttivi industriali, prendendo in considerazione i fattori più diversi che sono ad essi correlati, siamo giunti alla programmazione di miglioramenti genetici con lo studio dei fattori biologici che li presiedono ma non siamo ancora in grado di programmare la produttività delle colture da un punto di vista nutrizionale.

Le sperimentazioni di pieno campo si attuano in base alle acquisizioni scientifiche ed alle informazioni che forniscono fisiologi, biochimici, pedologi, chimici agrari e così via, ma ancora non riusciamo a programmare le rese per ettaro con razionalità di scelta sia di cultivar che di tecniche agronomiche, perchè non abbiamo ancora, caso per caso, conoscenza della grandezza dei fattori dei quali si deve tener conto per effettuare la programmazione stessa.

Le informazioni sono incomplete e/o inesatte e/o approssimative e non seguiamo schemi rigorosi di rilevamento, di acquisizione e di elaborazione dei dati della sperimentazione e/o della ricerca.

Se si poteva chiamare in causa, una volta, la difficoltà tecnica di operare su migliaia di campioni e di valori oggi il computer ha eliminato qualsiasi impedimento.

5.4. Banca dati

E' nostro convincimento che l'allestimento di una banca dati, rilevabili dalle più diverse località caratterizzate dalle più differenti situazioni di pieno campo, di ricerca, di sperimentazione, potrà rappresentare il materiale di base per le finalità individuate.

Le correlazioni che si andranno ad individuare per serie di suoli e serie di colture consentiranno di approntare una « *cartografia agrochimica* » che indichi:

- i fattori limitanti;
- le colture adatte all'ambiente pedo-climatico;

- le disponibilità di nutritivi per ciascuna di esse;
- le potenzialità produttive conseguenti a preordinate somministrazioni di concimi.

Vale ciò a dire che per l'utilizzazione del suolo i risultati delle analisi, sul suolo e sulla pianta, con metodiche concordemente adottate (modalità ed epoca del campionamento della rete), potranno essere utilizzati per una idonea cartografia.

Essi dovranno essere periodicamente aggiornati per evidenziare la variabilità dei parametri esaminati e per fissare i criteri di intervento nel tempo, in conseguenza degli effetti della chemicizzazione del suolo (depauperamento in alcuni costituenti ed arricchimento in altri, compreso i cosiddetti agenti inquinanti) sulle caratteristiche agropedologiche: compattamento, organicazione, aridificazione, superfosfatazione, liscivazione, acidificazione ecc.

Solamente con un programma di sistematica ricerca sperimentale, che preveda la rigorosa verifica della risposta produttiva ai diversi livelli del parametro nutrizionale, si può tendere a caratterizzare le possibilità agronomiche delle cultivar, degli ibridi, delle linee che i genetisti mettono a disposizione degli agricoltori.

5.5. *Collaborazione inter-Istituti, Atenei, Istituzioni etc.*

L'impegno operativo deve individuarsi nella cooperazione tra Istituti di ricerca, di sperimentazione, di programmazione sulla scorta degli esempi delle iniziative già verificatesi in Europa e negli Stati Uniti d'America.

Infatti a Wagenigen, in Olanda, è operante il Centro « *International Plant Sample Exchange Program* » (IPSEP) con sede presso il Dept. of Soil Science and Plant nutrition al quale fanno capo circa 100 laboratori di 40 nazioni. I partecipanti ogni due mesi ricevono sei campioni di piante essiccate per analizzarli con le loro metodiche e per i nutritivi ai quali sono interessati.

I dati analitici vengono elaborati e forniti ai membri per confrontare i risultati e le metodologie.

Un programma di assistenza Germania-Egitto è in atto dal 1980, finalizzato alla definizione dell'ottimale impiego di concimi per il conseguimento della massima produttività. L'avvio di tale programma è conseguito alla necessità di individuare metodi ufficiali di routine per l'analisi dei suoli e delle piante, compresa la standardizzazione del campionamento del materiale vegetale.

E' una istituzione europea il « *Comitato Inter-Istituti* » sulle analisi fogliari, costituito nel 1959 ad Abidijan nel corso del Colloquio Internazionale sulla nutrizione minerale delle piante.

Il Comitato riunisce partecipanti di molte nazioni europee: 12 per la Franca, 6 per il Belgio, 4 per l'Italia, 3 per la Spagna ed 1 rispettivamente per Grecia, Olanda, Polonia e Svizzera.

Le indagini, originariamente rivolte alla pianta, sia per i macro che per i microelementi, sono state estese anche ai suoli.

Le colture interessate sono sia erbacee che arboree: mais, riso, cotone, patata, medica, carciofo, barbabietola, arachide, tabacco, arancio, pesco, vite, olivo, banana, eucalipto, caffè, kiwi.

Si intende disporre di una banca di campioni vegetali e di metodiche analitiche per analisi di routine e per scopi di ricerca, diretti a fornire ad agronomi, fisiologi e nutrizionisti consigli sulla concimazione e sulla fitoterapia.

Le finalità sono molteplici:

- confrontare i metodi di lavoro;
- costituire una banca di campioni vegetali di riferimento e permanente, utilizzabile da parte dei laboratori membri;
- definizione di tecniche analitiche dopo esame di diverse metodiche di estrazione, mineralizzazione e di dosaggio;
- valutazioni statistiche dei risultati.

Con maggiore dettaglio i partecipanti studiano:

- omogeneità di campionamento;
- essiccamento dei campioni (cautela per perdita di B, S, N);
- mineralizzazione con HF, frazione alcalina;
- impiego di elettrodi specifici e di cromatografia ionica;
- ricerca di metodiche standard (dal campionamento, all'estrazione al dosaggio) per poter realizzare una banca dati ottenuti dai vari laboratori e dal materiale di diversa origine territoriale al fine di operare una attendibile elaborazione computerizzata.

Per quanto riguarda attività affini a quelle indicate, negli USA dal 1971 si collezionano campioni standard di tessuti vegetali disponibili per i ricercatori (Standard Reference Material - 1571) per i quali è messa a punto in particolare la tecnica di trattamento del campione prima di sottoporlo alle analisi di laboratorio (prelevamento, essiccamento, incenerimento, solubilizzazione).

Per concludere, conviene rivolgere attenzione all'impressionante incremento della popolazione mondiale e, quindi, dei relativi fabbisogni alimentari che hanno determinato aumento imprevedibile delle richieste di prodotti agricoli negli ultimi 30 anni.

La tabella che segue riporta cifre che non lasciano dubbi sull'incremento dell'uso dei fertilizzanti e della produttività in Italia, con esempio riferito a tre colture di pieno campo.

Ma la più profonda innovazione è indicata dal modificato rapporto tra gli elementi nutritivi, che mentre negli anni 50 privilegiava il fosforo, e più razionalmente da un punto di vista chimico-agrario, indica ormai un netto prevalere dell'azoto che, tutti sappiamo, se garantisce elevate quantità non depone certamente a favore della qualità del prodotto.

Ebbene, nella problematica quotidiana che suggerisce l'individuazione e la valutazione dei fattori che presiedono allo stato nutrizionale delle piante ed agli equilibri metabolici, questo aspetto merita di non essere trascurato.

Anno	Impiego di fertilizzanti			Rapporto tra i nutritivi			Produzione (Ton/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N:	P:	K	frumento	patata	barbabietola
1955	40	80	40	1:	2:	1	2.5	26	40
1985	120	120	100	1:	1:	0.8	3.6	26	75

BIBLIOGRAFIA

- (1) ADAMS F. - Ionic concentration and activities in soil solutions. *Soil Sci. Soc. Amer.* 35: 420, 1971.
- (2) BATES T.E. - Factors affecting critical nutrient concentration in plants and their evaluation: a review. *Soil Sci.* 112: 116, 1976.
- (3) BEAUFILS E.R. - Plant soil environment calibration (DRIS), 4th Int. Coll. on the Control Plant Nutrition, Gent, vol. 1, 21, 1976.
- (4) BUSH R. - Diss. FB-19 citato da Mengel: Factors of plant nutrient availability relevant to soil testing. *Plant and Soil* 64: 129, 1982.
- (5) CLAASSEN N., BARBER S.A. - Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant-root system. *Agron. J.* 68: 961, 1976.
- (6) CLAASSEN N. - Potassium availability: assessment of the significance of soil parameters by mathematical modelling. Congr. ISSS, Hamburg, Atti preliminari, 706, 1986.
- (7) CHOJNACKI A. - The evaluation of the nutritional status of oats by the DRIS method. Atti Colloquio Internazionale AIONP, Montpellier, 139, 1984.
- (8) CUSHMAN J.H. - Nutrient transport inside and outside the root rhizosphere generalized model. *Soil Sci.* 138: 164, 1984.
- (9) KIRKBY E.A. - Plant analysis and fertilization problems. Ed. Wehrmann, Hannover, 1974.
- (10) McLACHLAN K.D. - Leaf acid-phosphatase activity (LAPA) in the diagnosis of P-deficiency in wheat. Atti Convegno AIONP, Montpellier, 425, 1984.
- (11) MARANO B., BUONDONNO A. - Soil chemical potential and plant nutrient efficiency owing to oily sludges supply. I-K and P removal work. Atti Colloquio Internazionale AIONP, Montpellier, 1121, 1984.
- (12) MINGJI YIN *et al.* - The application of DRIS approach as a guide for determining the nutrient requirement of wheat. Atti Colloquio Intern. AIONP, Montpellier, 1435, 1984.
- (13) MORARD P. - Impact de l'analyse de tissue conducteurs sur l'optimisation de la nutrition des plantes cultivées. Atti Colloquio Internazionale AIONP, Montpellier, 1159, 1984.
- (14) NYE P.H. and TINKER P.B.H. - The concept of a root demand coefficient. *J. Appl. Ecol.* 6: 293, 1969.

- (15) NYE P. H., BREWSTER J. L. and BHAT K.K.S. - The possibility of predicting solute uptake and plant growth response from independently measured soil and plant characteristic. I. The theoretical basis of the experiments. *Plant and Soil* 42: 161, 1975.
- (16) PAGE M. B. and TALIBUDEEN O. - Critical K potentials for crops. II Potentials for wheat, maize, peas, beans and sugar beet. *J. Soil Sci.* 33: 771, 1982.
- (17) PRABHAKARAN NAIR K. P. and MENGEL K. - Importance of phosphate buffer power for P-uptake by rye. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 48: 92, 1984.
- (18) SEVILLA F. *et al.* - Superoxidase-dismutase activity (SODA) in the diagnosing of trace element deficiencies in citrus plants. *Atti del Coll. Intern. AIONP, Montpellier*, 625, 1984.
- (19) SHENG XIU LI - A study on soil N-mineralization potential as an index of soil N-availability. *Congresso I.S.S.S., Hamburg, Atti Preliminari*, 604, 1986.
- (20) TALIBUDEEN O. - The nutrient potential of the soil. *Soils and Fert.* 37: 41, 1974.
- (21) VISINTIN ROMANIN M. - Le necessità potassiche dei mais ibridi per le massime produzioni. *Analisi fogliare e calcolo degli indici DRIS. Annali Ist. Sper. Nutr. Piante*, XI pubbl. N° 9, 1982.
- (22) WALSH L. M. and BEATON J. D. - Soil testing and plant analysis. Ed. *Soil Sci. Soc. of America Inc. Cap.*, 16, 1973.
- (23) WALWORTH J. L., LETZSCH W. S. and SUMNER M. E. - Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 123, 1986.
- (24) WEBB R. A. - Using boundary line in the analysis of biological data. *J. Hort. Sci.* 47: 309, 1972.

Natura del doppio strato elettrico e variazione
della carica superficiale in particelle di terreno
aventi una distribuzione di carica positiva

ARINGHIERI R., PARDINI G.

E' ben noto che l'esistenza di una carica elettrica alla superficie di particelle colloidali costituisce il fattore essenziale da cui dipendono gran parte delle loro proprietà chimico fisiche; proprietà che rendono tali particelle tra le più attive dell'insieme dei costituenti del suolo. Tuttavia, è solo in tempi relativamente recenti che i principi base della chimica colloidale, quali le teorie del doppio strato elettrico, sono stati applicati allo studio dei suoli per meglio comprenderne e migliorarne gli aspetti che ne determinano la fertilità, sia fisica che chimica (5). In quest'ottica, si è posta particolare attenzione a quei costituenti del terreno capaci di variare la loro carica superficiale al variare del pH della fase liquida a contatto. Tra questi, i principali sono la sostanza organica e gli ossidi ed idrossidi di Fe, Al e Si. Suoli che contengono opportune quantità di tali componenti dovrebbero quindi comportarsi, dal punto di vista elettrochimico, in modo analogo. In questo contesto, il nostro interesse è stato principalmente rivolto alla cinetica delle reazioni responsabili della variazione della carica superficiale.

Alcune nostre precedenti indagini, condotte su un terreno avente una distribuzione superficiale di carica negativa (1, 2) e su alcune specie di ossidi di ferro (3, 4), hanno indicato che, in aggiunta al fenomeno della diffusione, la velocità del processo di protonazione e deprotonazione dipende dalla particolare struttura del doppio strato elettrico all'interfaccia solido-liquido del sistema; vale a dire, dalla particolare distribuzione di carica superficiale e dalla composizione ionica della soluzione in prossimità dell'interfaccia. A conferma di ciò si è ritenuto opportuno verificare tali osservazioni impiegando un particolare tipo di suolo che presentasse, a differenza del precedente, una distribuzione superficiale di carica positiva.

Le curve riportate in Figura 1 mostrano chiaramente la natura variabile della carica superficiale del terreno in esame, e la sua dipendenza dal potenziale superficiale e dalla concentrazione di elettrolita secondo la relazione:

$$\sigma = \frac{\epsilon \chi}{4 \pi} \varphi_0$$

dove:

- σ = carica elettrica superficiale
- ϵ = costante dielettrica
- $1/\chi$ = spessore del doppio strato elettrico
- φ_0 = potenziale superficiale

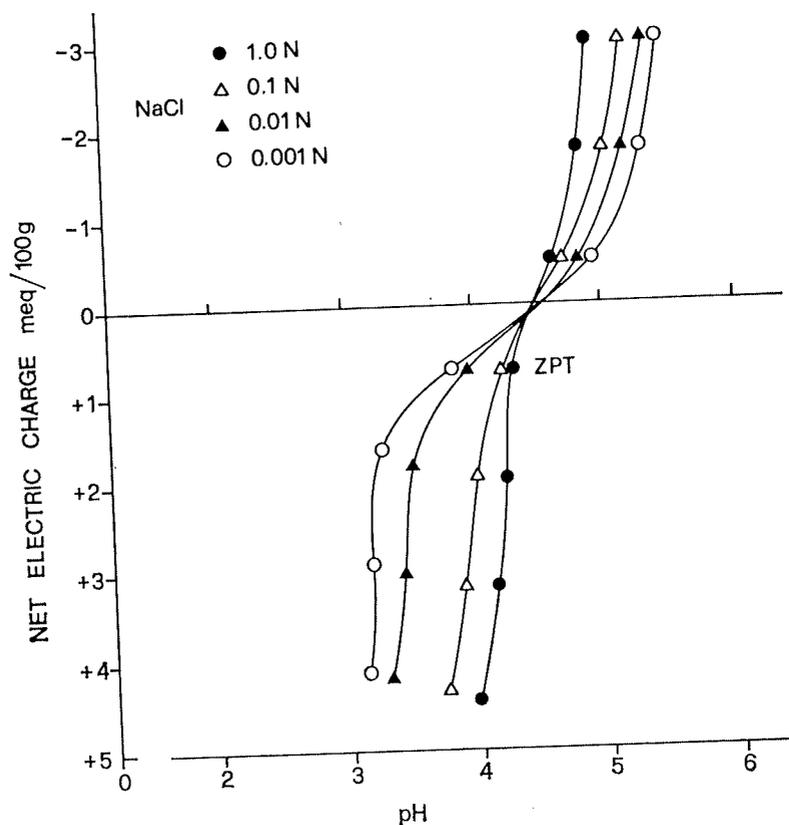


Figura 1 - Distribuzione della carica elettrica superficiale in funzione del pH e della concentrazione dell'elettrolita di supporto.

Sperimentalmente, le cinetiche di protonazione e deprotonazione furono condotte aggiungendo 2 g di terreno a 60 cc. di soluzione contenente quantità opportune sia di elettrolita di supporto che di HCl o NaOH 0,1 N. Il processo fu descritto in modo soddisfacente dall'equazione esponenziale del 1° ordine, anche se solo parzialmente a causa del fenomeno di diffusione. Ulteriori indicazioni furono ottenute calcolando la velocità di reazione al tempo zero, a differenti concentrazioni iniziali di acido o di base aggiunta.

I risultati ottenuti, oltre a confermare la dipendenza della costante di velocità dal fenomeno della diffusione (K diminuisce all'aumentare del rapporto tra attività iniziale di H⁺ od OH⁻ e quantità di substrato), indicano che in presenza di una distribuzione di carica positiva, la costante di velocità di protonazione aumenta (mentre quella di deprotonazione diminuisce) all'aumentare della concentrazione di elettrolita di supporto. Ciò contrariamente a quanto accade nel caso di una distribuzione di carica negativa. L'osservazione sperimentale è facilmente spiegabile se si pensa alla maggiore o minore azione elettrostatica che la superficie carica esercita nei confronti delle specie ioniche interagenti, alle diverse concentrazioni di elettrolita. E' stato osservato inoltre, che anche la diversa natura dell'elettrolita di supporto ha effetto, a causa delle diverse proprietà di polarizzabilità e idratazione degli ioni, sulla costante di velocità. In altre parole, la velocità di formazione della carica superficiale dipende fortemente dalla particolare struttura del doppio strato elettrico formato all'interfaccia tra la superficie carica e la soluzione dei controioni.

Tali risultati lasciano inoltre intravedere la possibilità di cogliere il punto di inversione del segno della carica superficiale, il cosiddetto « punto di carica zero », da parametri cinetici.

Ciò potrebbe essere di grande aiuto per la caratterizzazione elettrochimica di particelle di terreno, per le quali i metodi attualmente seguiti risultano, talvolta, di scarsa applicabilità.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ARINGHERI R., PARDINI G. - Interactions between OH ions and soil surfaces: a kinetic study. *Can. J. Soil Sci.*, 63: 741, 1983.
- (2) ARINGHERI R., PARDINI G. - Protonation of soil particle surfaces: kinetics. *Can. J. Soil Sci.*, 65: 677, 1985.
- (3) ARINGHERI R. - Variazione della carica superficiale a potenziale costante in ossidi di ferro naturali. *Atti V° Convegno SICA, Perugia, 27-28-29 settembre, 1985.*
- (4) ARINGHERI R. - Kinetics of proton desorption at the hematite (α -Fe₂O₃)/electrolyte solution interface. *Soil Sci.*, in press, 1987.
- (5) VAN RAIJ B., PEECH M. - Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the Tropics. *Soil Sci. Am. Proc.*, 36: 587, 1972.

Applicazione della Elettro-Ultrafiltrazione (EUF)
nella diagnosi di fertilità dei suoli

I - Riproducibilità di alcune determinazioni di fosforo

BUONDONNO A.

L'elettro-ultrafiltrazione (EUF) è un metodo elettrochimico di estrazione progressiva dei nutritivi dal suolo, che associa la tecnica della elettrodialisi a quella della filtrazione su membrana. Le specie ioniche presenti in una sospensione di suolo vengono mobilitate, per effetto di un campo elettrico generato da una corrente continua, verso i rispettivi elettrodi. Una depressione applicata alle membrane elettrodiche consente di filtrare continuamente la sospensione, spostando gli equilibri in soluzione, e di raccogliere separatamente gli eluati anodici e catodici. Di conseguenza, la matrice reagisce alle variazioni di concentrazione e tende a reintegrare le deplezioni dei nutritivi. Tale tendenza, dipendente dalla affinità relativa della matrice nei confronti dei diversi nutritivi, può essere controllata modificando opportunamente le condizioni operative: temperatura, voltaggio, corrente, velocità di eluizione, intervalli di estrazione.

In confronto agli altri metodi ufficiali di analisi dei suoli, l'EUF presenterebbe alcuni vantaggi:

- i - la concentrazione dei nutritivi nella sospensione dipende dalla facilità con cui essi vengono rimossi dalla matrice. Pertanto, scegliendo le opportune condizioni operative, è possibile suddividere il contenuto di nutritivi in frazioni a differente mobilità, riferibili a differenti livelli di disponibilità per le colture;
- ii - un ciclo di estrazioni della durata di 60' risulta sufficiente per una valutazione dettagliata del contenuto di macro- e micronutritivi, con notevole risparmio di tempo e reattivi;
- iii - la maggior parte dei reattivi impiegati nei metodi tradizionali vengono differenziati in relazione ai diversi nutritivi ed ai tipi di suolo, e possono

talvolta dar luogo a reazioni indesiderate (competizioni ioniche, idrolisi, dissoluzione o precipitazione). Invece, il reattivo adoperato in EUF è costituito, in tutti i casi, dall'acqua. Questo concorre a limitare i fenomeni di interferenza durante l'estrazione e pone le basi per un confronto omogeneo e generalizzabile, pur se convenzionale, dello stato di fertilità dei suoli.

Al fine di valutare l'applicabilità dell'EUF come metodo di routine nell'analisi dei suoli, è stata valutata la riproducibilità di alcune determinazioni di fosforo effettuate su campioni di tre suoli tipici dell'Italia meridionale: Inceptisuolo di origine vulcanica (IS); Terra Rossa (TR); Vertisuolo calcareo (VS). In Tabella 1 vengono riportati i valori medi delle quantità di fosforo

TABELLA - Fosforo estratto con metodi chimici (ppm).

	IS			TR			VS			Metodi CVm%
	\bar{x}	CVm%	L%	\bar{x}	CVm%	L%	\bar{x}	CVm%	L%	
P-H ₂ O	2.3	6.6	10.9	.3	2.5	7.5	.7	5.6	7.3	4.9
P-Olsen	31.8	3.4	5.7	27.6	3.5	5.1	37.5	1.0	1.5	2.6
P-HCl	65.7	1.1	1.4	32.5	2.2	2.4	28.7	2.4	4.5	1.9
P-organico	68.6	4.8	6.2	142.7	7.9	9.4	248.7	9.3	12.8	7.3
P-inorganico	715.9	4.3	7.3	449.4	2.3	3.5	1327.8	4.2	6.3	3.6
P-totale	781.4	4.1	6.9	583.1	2.5	3.6	1576.5	3.3	3.9	3.3
Suoli CVm%		4.1			3.5			4.3		4.0

\bar{x} : valore medio delle quantità estratte;

CVm%: valore medio del coefficiente di variazione;

L%: massima deviazione percentuale dalla media.

estratto con alcuni metodi chimici. Vengono inoltre riportati i valori dei Coefficienti di Variazione, espresso come media dei singoli valori relativi ad ogni determinazione (CVm%), ed il coefficiente di massima deviazione percentuale dalla media (L%).

La variabilità totale nell'interazione suoli x determinazioni è risultata contenuta nei limiti del 5%. Nel confronto tra i suoli, i valori più omogenei sono stati determinati per TR (CVm% = 3.5). Minore uniformità è stata accertata per IS (4.1) e per VS (4.3). Nel confronto tra metodi, i dati più riproducibili sono stati quelli relativi al P-HCl (CVm% = 1.9) e quelli relativi al P-Olsen (CVm% = 2.6), soprattutto per VS (CVm% = 1.0). La minore ripro-

ducibilità è stata invece accertata per i valori del P-solubile (CVm% = 4.9) e per quelli del P-organico (CVm% = 7.3). In particolare, la variabilità di questi ultimi è risultata crescente insieme con il tenore di C-organico dei campioni esaminati.

Le determinazioni in EUF sono state effettuate presso la « Bünthof Agricultural Research Station » di Hannover, secondo il seguente procedimento:

- i - EUF I : prima serie di estrazioni ad intervalli di 5 min, temperatura 20°C, corrente max 15mA, voltaggio max 200 V, per 30 min (sei estrazioni);
- ii - EUF II: seconda serie successiva di sei estrazioni, 80°C max 150mA, max 400V, fino a 60 minuti.

In Tabella 2 vengono riportate le quantità medie di fosforo determinate nelle singole estrazioni, ed i rispettivi valori medi di CVm% e di L%. La

TABELLA 2 - Fosforo estratto in EUF (ppm).

	IS			TR			VS			EUF CVm%
	\bar{x}	CVm%	L%	\bar{x}	CVm%	L%	\bar{x}	CVm%	L%	
EUF I 5'	4.5	5.2	6.2	1.1	9.2	12.3	2.3	6.3	8.4	6.9
I 10'	5.7	3.4	4.1	1.6	5.2	8.2	2.4	4.1	5.5	4.2
I 15'	5.1	2.8	3.1	1.7	4.3	5.3	2.7	2.4	3.1	3.2
I 20'	4.6	1.9	2.3	1.7	3.4	3.7	2.9	2.3	2.7	2.5
I 25'	4.2	2.4	3.1	1.5	2.7	3.7	2.9	1.3	1.8	2.1
I 30'	4.1	2.3	2.5	1.4	2.8	3.8	2.9	1.4	2.0	2.2
suoli (EUF I) CVm%		3.0			4.6			3.0		3.5
EUF II 35'	14.3	3.6	4.1	4.7	3.6	4.2	15.3	2.9	3.9	3.4
II 40'	15.7	2.8	3.7	5.5	2.1	2.2	15.6	1.9	2.9	2.3
II 45'	12.3	1.5	2.0	4.2	1.9	2.3	14.5	1.6	2.6	1.7
II 50'	9.9	2.1	2.7	3.3	1.3	1.2	13.9	1.4	1.6	1.6
II 55'	8.2	2.0	2.2	2.5	1.6	2.3	13.1	1.3	1.5	1.6
II 60'	7.1	2.1	2.2	2.0	1.6	2.4	13.1	1.6	2.2	1.8
suoli (EUF II) CVm%		2.4			2.0			1.8		2.1
suoli (EUF I + II) CVm%		2.7			3.3			2.4		2.8

\bar{x} : valore medio delle quantità estratte;

CVm%: valore medio del coefficiente di variazione;

L%: massima deviazione percentuale dalla media.

variabilità tra le determinazioni è risultata molto contenuta in EUF I (CVm% = 3.5), ed ancora minore in EUF II (2.1), verosimilmente in dipendenza delle maggiori quantità di fosforo estratte. La minore riproducibilità è stata accertata per i dati relativi alle prime estrazioni delle due serie, soprattutto per EUF I a 5' (CVm% = 6.9). Questo andrebbe attribuito alla brusca perturbazione iniziale dell'equilibrio termodinamico del sistema. In EUF II tale fenomeno sarebbe parzialmente mascherato, poichè le maggiori quantità estratte rendono più riproducibile il valore medio.

Nel confronto tra i suoli, i valori relativi ai campioni di Terra Rossa sono risultati i più variabili, anche a causa delle modeste quantità di fosforo estratte. In particolare, per i dati relativi alla prima estrazione in EUF (EUF I, 5'), è stata accertata la minore riproducibilità (CVm% = 9.2 ed L% = 12.3). La migliore riproducibilità è stata invece osservata per VS, soprattutto in EUF II (CVm% = 1.8), sia per le elevate quantità estratte, sia per la presenza del CaCO₃, che contribuirebbe a rendere l'estrazione più graduale ed uniforme.

La variabilità totale dell'interazione suoli x EUF è molto bassa (CVm% = 2.8), e nettamente inferiore all'analogo valore accertato per i metodi chimici (4.0).

I risultati acquisiti, in accordo con quanto riferito in letteratura, indicano che le determinazioni delle quantità di fosforo estratte con il metodo dell'EUF sono altamente riproducibili, e che possono quindi fornire, dal confronto con i metodi di routine, una stima significativa del livello di fertilità dei suoli esaminati.

BIBLIOGRAFIA

- (1) NÉMETH K. - The availability of nutrients in the soil as determined by electro-ultrafiltration (EUF). *Adv. Agron.* 31: 155, 1979.
- (2) NÉMETH K. and RECKE H. - Reproducibility of Ca, K, Na and P contents in the different EUF fractions. *Plant and Soil* 64: 25, 1982.
- (3) S.I.S.S. - Metodi normalizzati di analisi del suolo. pp. 100. Edagricole, Bologna, 1985.

Applicazione della Elettro-Ultrafiltrazione (EUF) per
l'estrazione frazionata del pool dei fosfati del suolo.
Indagine preliminare.

BUONDONNO A., FELLECA D.

Il metodo elettrochimico dell'Elettro-Ultrafiltrazione, proposto da Németh (3), è stato confrontato con metodi chimici al fine di caratterizzare le frazioni di fosforo estraibili dal suolo. I campioni analizzati provengono da tre suoli tipici dell'Italia Meridionale, con differenti caratteristiche chimiche, fisiche e pedologiche: Inceptisuolo (IS) di origine vulcanica, Terra Rossa (TR), Vertisuolo calcareo (VS) (Tabella 1). In base ai metodi chimici utilizzati, sono state

TABELLA 1 - Caratteristiche fisico-chimiche dei suoli (valori medi, g/100 g).

Suoli	Sab- bia	Limo	Argil- la	CaCO ₃	C-org	Totali				pH
						Al	Fe	Ca	Mg	
IS	80.0	11.0	9.0	—	1.84	3.70	4.30	0.53	0.45	7.2
TR	24.6	29.5	45.9	—	2.77	7.45	5.80	0.24	0.56	7.3
VS	29.2	29.1	41.7	20.8	3.72	4.50	4.20	8.10	0.90	7.8

distinte le seguenti frazioni: P-solubile in H₂O (20 e 80°C); P-« assimilabile » (Olsen); P-totale, P-inorganico e P-organico (Legg & Black); P-Ca,Mg (Donahue), per estrazione progressiva in HCl 0.1 N (Tabella 2).

TABELLA 2 - Fosforo (ppm) estratto con metodi chimici (valori medi).

Suoli	P-H ₂ O (20°)	P-H ₂ O (80°)	P-Olsen	P-Ca, Mg	P-HCl (6 estr.)	P- Orga- nico	P- Inorga- nico	P-Totale
IS	2.3	10.6	33.1	3.2	65.7	68.6	715.9	781.4
TR	0.3	1.6	28.9	1.3	32.5	142.7	449.4	583.1
VS	0.7	0.9	37.5	50.4	28.7	248.7	1327.8	1576.5

I suoli sono stati quindi analizzati con il metodo dell'EUF:

— EUF I: prima serie di sei estrazioni a bassa energia, per rimuovere le frazioni solubile e debolmente legata (d.d.p. max 200 V, corrente max 15 mA, temperatura 20°C, ad intervalli di 5' per 30 minuti);

— EUF II: seconda serie successiva di sei estrazioni ad alta energia, per rimuovere le frazioni di riserva (max 400 V, 150 mA, 80°C, da 30' a 60').

I diagrammi di estrazione EUF-P (Figura 1), sono nettamente distinti per i tre suoli. In EUF I, i valori più elevati si accertano per IS, che presenta anche un evidente picco a 10'. In EUF II, si nota una analogia di andamento tra IS e TR; in particolare, l'innalzamento del picco da 35' a 40' indica che le

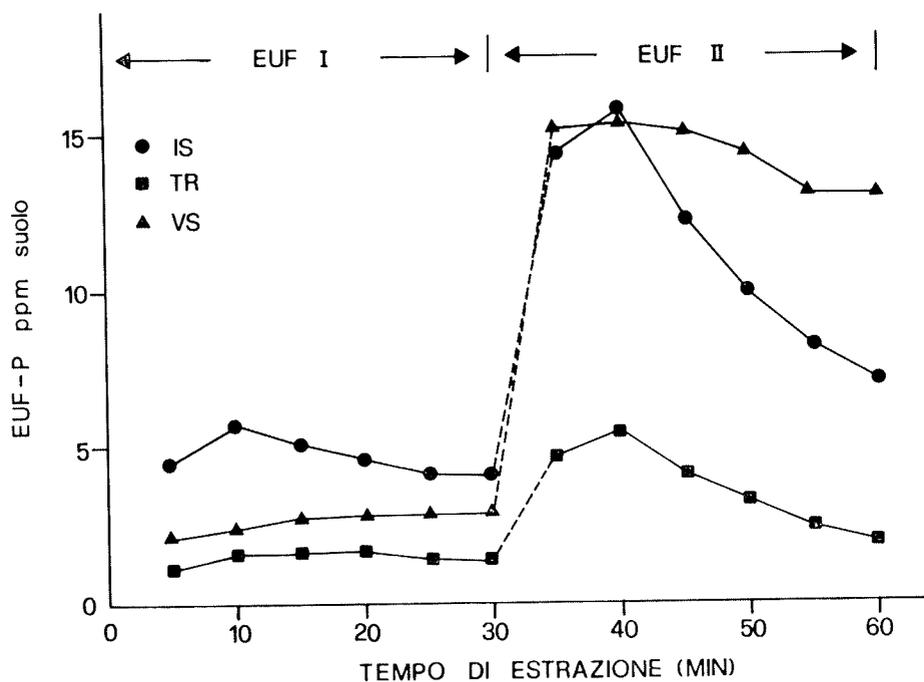


Figura 1 - Quantità di P nelle singole estrazioni.

rispettive frazioni di riserva (più elevate in IS) vengono lentamente mobilitate. Al contrario, l'abbondantissima riserva di VS viene resa immediatamente disponibile e gradualmente rilasciata. Tali differenze dipenderebbero dalle forme di fosforo maggiormente rappresentate nei suoli esaminati: in VS prevalgono le frazioni relativamente mobili delle forme di P-organico e di

P-Ca,Mg, mentre le frazioni delle forme minerali associate a colloidi amorfi (in IS) e a kaoliniti e minerali di Fe (in TR) verrebbero più difficilmente rilasciate.

Da quanto riferito in letteratura (1, 3, 4, 5, 6, 7), e dal confronto tra EUF e gli altri metodi chimici (Tabella 3), le frazioni di EUF-P sono state così suddivise (Figura 2):

- 1 - frazione solubile estratta nei primi 10' (EUF-P I, 0' - 10');
- 2 - frazione prontamente disponibile estratta nei successivi 20' (EUF-P I, 10' - 30');
- 3 - frazione di riserva a rapido rilascio (EUF-P II, 30' - 35');
- 4 - frazione di riserva poco mobile (EUF-P II, 35' - 60).

TABELLA 3 - Correlazioni EUF-P vs. P estratto con alcuni metodi chimici.

Suoli	X	Y	a	b	r	p *
IS, TR, VS	P-H ₂ O 80°C	EUF-P I (0'-10')	3.10	.63	.891	+++
IS	P-Org/C-Org %	EUF-P I (0'-30')	—	—	—	ns
TR	»	»	1.03	15.19	.913	+++
VS	»	»	10.52	6.82	.737	++
IS	P-Olsen	EUF-P I + II (0'-35')	2.98	1.10	.745	+
TR	»	»	-10.18	0.80	.937	+++
VS	»	»	-44.61	1.97	.978	+++
IS	P-HCl (6 estr.)	EUF-P I + II (0'-60')	75.07	.29	.817	++
TR	»	»	1.19	.91	.942	+++
VS	»	»	41.92	1.61	.973	+++

(*) Significatività di r: p < 0.05 (+); p < 0.01 (++) p < 0.001 (+++)

Le frazioni 2 e 3 rappresenterebbero essenzialmente il « pool labile dei fosfati », assimilabile dalle piante (2), costituito da fosforo a bassa e media affinità per la matrice, sia in forma minerale che organica. Nella frazione 4 potrebbero parzialmente confluire le forme ad elevata affinità (« pool non labile »). E' da rilevare che, per tutti i suoli, i valori di EUF-P totale sono sempre inferiori ai rispettivi valori di P-inorganico, e, tranne per IS, di P-organico.

Inoltre, per i campioni di quest'ultimo suolo, la correlazione P-org./C-org. vs. EUF-P I (0' - 30') non è risultata significativa (Tabella 3).

Questo indicherebbe che il contributo del P-organico al pool labile dipende anche dal tenore di S.O..

Le quantità complessive di EUF-P sono molto modeste per TR (31.2 ppm), elevate e praticamente uguali per IS (95.8 ppm) e VS (101.8 ppm). Tuttavia in VS, per l'elevato contenuto di CaCO₃ e di C-organico, prevalgono le frazioni di riserva. In IS, invece, sono relativamente più abbondanti le frazioni solubile e facilmente estraibile del pool labile.

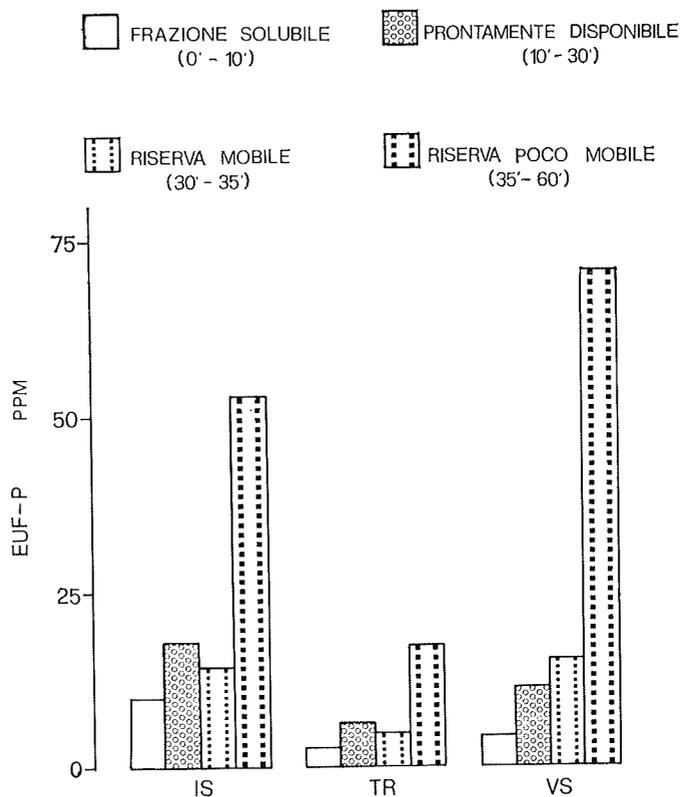


Figura 2 - Quantità di EUF-P in frazioni a differente disponibilità.

I risultati ottenuti in questa indagine preliminare indicano che:

- 1 - l'EUF è un metodo di estrazione poco aggressivo, che non rimuove quelle frazioni di fosforo che sono più fortemente trattenute e di scarso interesse per la nutrizione delle piante;

- 2 - le quantità di fosforo presenti nelle frazioni EUF-P dipendono essenzialmente dalla relativa labilità delle diverse forme, più che dalla loro natura, e consentono quindi una più dettagliata valutazione e differenziazione del pool disponibile.

BIBLIOGRAFIA

- (1) GRIMME H. and NÉMETH K. - The effect of P source on P desorption by electro-ultrafiltration (EUF) on two different soils. *Plant and Soil*, 64: 43, 1982.
- (2) MENGEL K. and KIRKBY E. A. - Principles of Plant Nutrition. 3rd Edition International Potash Institute, Bern/Switzerland, 1982.
- (3) NÉMETH K. - The availability of nutrients in the soil as determined by electro-ultrafiltration (EUF). *Adva. Agron.*, 31: 155, 1979.
- (4) NÉMETH K. - Electro-ultrafiltration of aqueous soil suspension with simultaneously varying temperature and voltage. *Plant and Soil*, 64: 7, 1982.
- (5) NÉMETH K. - Recent advances in EUF research (1980-1983). *Plant and Soil*, 83: 1, 1985.
- (6) NÉMETH K. and MAKDUM M. I. - Evaluation of nutrient dynamics in calcareous soils from Pakistan by electro-ultrafiltration (EUF). *Soil Sci. Pl. Nutr.*, 27: 159, 1981.
- (7) TAHA M. A., MALIK M. N., MAKDUM M. I. and CHAUDHRY F. I. - Preliminary investigations on available and potentially available phosphorus using electro-ultrafiltration (EUF). *Plant and Soil*, 64: 73, 1982.

Applicazione della Elettro-Ultrafiltrazione (EUF)
nella diagnosi di fertilità dei suoli.

II - Riproducibilità di alcune determinazioni di potassio

BUONDONNO A. - FELLECA D. - BUFO S. A. *

In una precedente indagine (1) è stata accertata l'elevata riproducibilità delle quantità di fosforo estratte con il metodo della Elettro-Ultrafiltrazione (EUF). La ricerca è stata proseguita confrontando la variabilità delle quantità di potassio estratte in EUF (EUF-K) con la variabilità osservata utilizzando metodi chimici, al fine di valutare la applicabilità dell'EUF come metodo di routine per la diagnosi di fertilità potassica.

I campioni analizzati provengono dagli stessi tipi di suolo precedentemente esaminati (1): Inceptisuolo di origine vulcanica (IS), Terra Rossa (TR), Vertisuolo calcareo (VS). I metodi chimici utilizzati sono descritti in Tabella 1, dove vengono riportati i valori medi delle quantità di potassio estratte ed i rispettivi valori del Coefficiente di Variazione medio (CVm%) e quelli della maggiore deviazione percentuale dalla media (L%). Le estrazioni in EUF sono state eseguite presso la « Bünthof Agricultural Research Station » di Hannover, secondo il procedimento già descritto (1). Ulteriori repliche sono state eseguite presso l'Istituto di Chimica Agraria dell'Università di Bari.

La variabilità totale nell'interazione suoli x metodi chimici è risultata molto contenuta, con un CVm pari al 2.5%. Tale valore decresce al 1.7% se vengono escluse le determinazioni del K-solubile, riproducibili mediamente al 6.2%, e con valori di L dell'ordine del 10%. Per tutti gli altri metodi, invece, il valore medio del CVm è risultato sempre inferiore al 2.5%. Una variabilità dipendente dai tipi di suolo si osserva per le determinazioni relative al K-HCl ed al K-NH₄OAc. Nel primo caso la variabilità è bassa in IS (CVm% = 0.8) ed in TR (CVm% = 1.5) mentre si eleva per VS (CVm% = 3.8, L% = 6.5), a causa di un non uniforme effetto tampone esercitato dal CaCO₃. Al contrario,

TABELLA 1 - Potassio estratto con metodi chimici (mg/100 g suolo).

	IS			TR			VS			Metodi CVm%
	\bar{x}	CVm%	L%	\bar{x}	CVm%	L%	\bar{x}	CVm%	L%	
K-H ₂ O (*)	6.3	5.9	11.1	5.4	8.3	10.8	8.5	4.5	9.2	6.2
K-CaCl ₂ (**)	50.4	1.7	3.1	37.0	1.2	1.8	34.7	1.1	1.5	1.3
K-HCl (**)	102.3	0.8	1.4	65.1	1.5	2.4	56.5	3.8	6.5	2.0
K-Mehlich (***)	156.0	1.7	2.7	73.9	1.7	2.6	66.6	2.2	2.5	1.9
K-NH ₄ OAc (*)	140.7	5.7	7.8	59.5	0.9	1.9	52.5	0.4	0.5	2.3
K-NH ₄ AC 80°C	208.5	1.0	1.5	100.2	1.1	1.4	93.7	0.7	1.0	0.9
Suoli CVm%		2.8			2.5			2.2		2.5

TABELLA 2 - Potassio estratto in EUF (mg/100 g suolo).

	IS			TR			VS			EUF CVm%
	\bar{x}	CVm%	L%	\bar{x}	CVm%	L%	\bar{x}	CVm%	L%	
EUF I 5'	5.9	5.1	5.2	3.6	4.9	5.1	5.3	4.4	5.1	4.8
I 10'	5.5	3.2	4.1	4.7	3.2	3.2	4.7	1.9	2.2	2.8
I 15'	4.3	2.8	3.0	4.5	2.2	2.9	4.8	1.3	1.4	2.1
I 20'	3.7	1.3	1.6	4.1	1.8	1.9	4.7	1.2	1.4	1.4
I 25'	3.3	1.7	2.6	3.7	1.7	2.2	4.1	1.7	2.3	1.7
I 30'	3.0	1.9	2.7	3.4	2.4	2.6	3.7	1.5	1.7	1.9
suoli (EUF I) CVm%		2.7			2.7			2.0		2.5
EUF II 35'	29.0	4.7	6.0	19.3	5.5	6.2	25.7	4.9	5.1	5.0
II 40'	25.2	2.0	2.4	13.0	2.4	3.0	14.8	2.8	3.1	2.4
II 45'	17.9	1.9	1.9	8.7	1.7	2.0	8.1	2.3	2.9	2.0
II 50'	15.1	1.3	1.3	6.2	1.1	1.3	5.8	2.0	2.4	1.5
II 55'	12.4	1.8	2.2	4.8	1.3	1.8	4.2	1.5	2.0	1.5
II 60'	10.1	1.8	2.2	4.0	2.0	2.2	3.7	1.4	2.0	1.7
suoli (EUF II) CVm%		2.3			2.3			2.5		2.4
suoli (EUF I + II) CVm%		2.5			2.5			2.3		2.4

\bar{x} : valore medio delle quantità estratte;

CVm%: valore medio del coefficiente di variazione;

L%: massima deviazione percentuale dalla media.

*: S.I.S.S. 1985.

** : 0.01 N, cumulativo di sei estrazioni.

***: Van Lierop e Sen Tran, 1985.

la variabilità del K-NH₄OAc, che è la minima in assoluto per VS (L% = 0.5) ed è ancora bassa in TR (L% = 1.9), raggiunge i valori più alti in IS (L% = 7.8), nonostante che la quantità media estratta da IS sia doppia di quelle estratte da TR e VS: 140.7, 59,5, 52,5 mg%, rispettivamente. Questo andrebbe messo in relazione alla prevalenza della frazione sabbiosa, nella quale sarebbero eterogeneamente distribuiti minerali primari, ricchi di K-nativo, a diverso grado di alterazione. Peraltro, il più drastico trattamento con NH₄OAc a 80°C abbassa notevolmente la variabilità per i campioni di IS (CVm% = 1.0), ed è risultato, nel confronto tra metodi, il più riproducibile. La variabilità tra i suoli, crescente nell'ordine VS<TR<IS, è da ritenersi più che soddisfacente (max CVm% 2.8 per IS).

In Tabella 2 vengono riportati i valori delle medie, dei CVm% e degli L% relativi alle quantità di potassio estratte in EUF. La variabilità totale nelle interazioni suoli x EUF è molto bassa, anche in dipendenza delle elevate quantità di EUF-K che, come riscontrabile in letteratura (2, 3, 4), consentono determinazioni più riproducibili. Infatti il CVm è risultato pari al 2.4% con un L massimo pari al 6.2% (estrazione EUF II a 35' per TR). La riproducibilità delle quantità estratte in EUF II assume lo stesso valore per IS e TR (CVm% = 2.3), ed è leggermente più elevata di quella osservata in EUF I (CVm% = 2.7 per ambedue i suoli). Al contrario, in VS la variabilità di EUF I è minore di quella di EUF II (CVm% = 2.0 e 2.5 rispettivamente). Per tutti i suoli i più elevati valori di CVm% ed L% si accertano per le prime determinazioni di ogni serie di estrazioni, come già precedentemente accertato in riferimento al fosforo (1). Inoltre, in IS e TR la variabilità è minima per le estrazioni intermedie di ambedue le serie, e tende ad elevarsi leggermente nelle estrazioni finali. La variabilità osservata per i metodi chimici è dello stesso ordine di grandezza di quella accertata per l'EUF, suggerendo che tale metodo può essere applicabile nell'analisi di routine per la diagnosi di fertilità potassica.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BUONDONNO A. - Applicazione della Elettro-Ultrafiltrazione (EUF) nella diagnosi di fertilità dei suoli. I - Riproducibilità di alcune determinazioni di fosforo. Convegno SISS-SICA « Fertilità del suolo e nutrizione delle piante » 6, 7, 8 Maggio, Sorrento, 1987.
- (2) NÉMETH K. and RECKE H. - Reproducibility of Ca, K, Na, and P contents in the different EUF fractions. *Plant and Soil* 64: 25, 1982.
- (3) SHEEHAN M. P. - Experiments on the reproducibility of results from EUF soil extracts with possible improvements resulting from these experiments. *Plant and Soil* 83: 85, 1985.
- (4) SIMAN G. - Test of the electroultrafiltration method applicability in soil analysis. Reproducibility of the method. *Plant and Soil* 64: 35, 1982.
- (5) S.I.S.S. - Metodi normalizzati di analisi del suolo. pp 100. Edagricole, Bologna, 1985.
- (6) VAN LIEROP W. and SEN TRAN T. - Comparative potassium levels removed from soils by electro-ultrafiltration and some chemical extractants. *Can. J. Soil Sci.* 65: 25, 1985.

Primi accertamenti sulle frazioni di potassio di alcuni suoli
dell'Italia meridionale determinate secondo il metodo
della Elettro-Ultrafiltrazione (EUF)

BUONDONNO A., FELLECA D., BUFO S.A. *, PIZZIGALLO M.D.R. *, TESTINI C. *

E' noto che il livello di fertilità potassica dei suoli è condizionato sia dalla quantità di potassio estraibile, sia dalla relativa facilità con cui esso viene desorbito dai siti a differente selettività dei costituenti organici e minerali del complesso di scambio (1, 3). I metodi chimici attualmente adottati consentono, generalmente, di valutare la frazione assimilabile del potassio solo in termini quantitativi.

Differentemente, il metodo elettrochimico della Elettro-Ultrafiltrazione (EUF) (6) consente di stimare la dotazione di nutritivi anche sotto l'aspetto dinamico. In tal senso, sono stati analizzati, tramite EUF, campioni di tre suoli tipici dell'Italia Meridionale: Inceptisuolo (IS) di origine vulcanica, Terra Rossa (TR), Vertisuolo (VS) calcareo (Tabella 1).

Durante la prima serie di sei estrazioni in EUF (EUF I), condotta a 20°C/ 200 V/ 15 mA, vengono estratte le frazioni solubili e facilmente scambiabile (5, 6, 7). Il rilascio di potassio da parte dei campioni esaminati è stato

TABELLA 1 - Caratteristiche fisico-chimiche dei suoli (valori medi g/100 g).

Suoli	Sabbia	Limo	Argil- la	CaCO ₃	pH (KCl)	CSC (meq)	Minerali $\varnothing < 2\mu$ *
IS	80.0	11.0	9.0	—	6.8	11.2	A, F, Px, Mi.
TR	32.3	29.5	38.2	—	7.2	25.7	I-Mi, K.
VS	45.8	24.0	30.2	18.8	7.4	27.7	Vs, K, I-Mi, (M).

(*) A = Amorfo; F = Feldspati; I = Illiti; K = Kaolinite; M = Montmorillonite; Mi = Miche; Px = Pirosseni; Vs = « swelling » Vermiculite.

graduale ed uniforme, e le quantità cumulative estratte dopo 30' sono risultate considerevoli: 25.7 (IS), 24.7 (TR), 27.3 (VS) mg/100 g (Figura 1).

La successiva serie di sei estrazioni (EUF II), condotta in condizioni più drastiche (80°C/ 400 V/ 150 mA), rimuove le frazioni di riserva (2, 4, 6). Il forte picco a 35' indica che i suoli posseggono cospicue riserve di potassio,

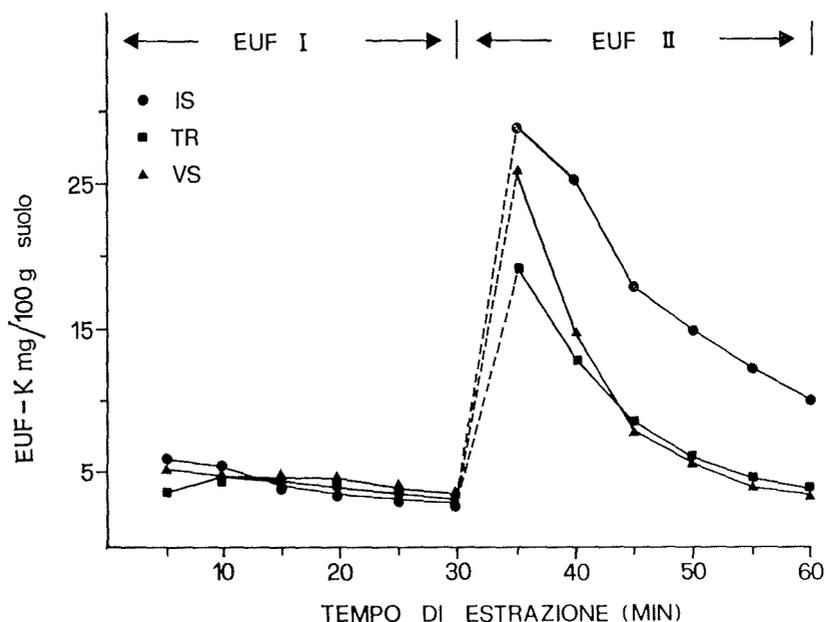


Figura 1 - Quantità di K nelle singole estrazioni.

rapidamente disponibili in TR e VS. In IS, invece, la caduta del picco a 35' è meno pronunciata, pur essendo i valori di EUF-K i più elevati in assoluto. Questo indicherebbe che una parte della riserva di potassio è poco accessibile, e più lentamente rilasciata.

I valori di EUF-K sono stati quindi confrontati con quelli ottenuti con altri metodi: H₂O, CaCl₂, NH₄OAc, HCl, Mehlich (Tabella 2). Le quantità

TABELLA 2 - Potassio (mg/100 g) estratto con metodi chimici (valori medi).

Suoli	K-H ₂ O (20°)	K-H ₂ O (80°)	K-CaCl ₂ (6 estr.)	K-HCl (6 estr.)	K-NH ₄ OAc (pH 7)	Mehlich (20°)
IS	6.3	12.8	50.4	102.3	140.7	155.8
TR	5.3	10.0	37.0	65.1	59.5	77.2
VS	8.5	16.4	44.7	56.5	52.5	66.6

estratte in EUF durante i primi 10 minuti (EUF-K, 0' - 10') sono simili a quelle estratte in H₂O a 80°C. Durante la seconda serie di estrazioni, le quantità rilasciate tra 35' e 40' (EUF-K II, 35' - 40') sono dello stesso ordine di grandezza di quelle estratte da CaCl₂. I valori di EUF II, 35' - 60', sono invece più prossimi a quelli determinati in HCl e, tranne che per IS, a quelli ottenuti per trattamento con NH₄OAc. Il reattivo di Mehlich, infine, ha estratto quantità di potassio paragonabili a quelle ottenute durante l'intero arco di estrazioni in EUF, da 0' a 60'.

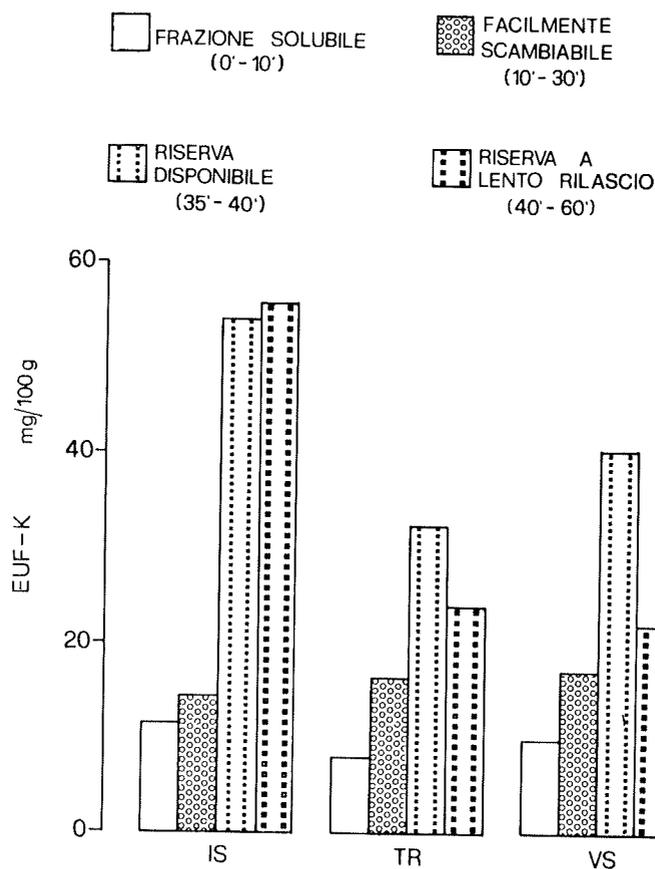


Figura 2 - Quantità di EUF-K in frazioni a differente disponibilità.

Da quanto riferito in letteratura, e dai risultati acquisiti, l'EUF-K dei suoli esaminati è stato suddiviso in quattro frazioni a differente mobilità:

1 - frazione solubile (EUF I, 0' - 10');

- 2 - frazione facilmente scambiabile (EUF I, 10' - 30'), adsorbita sui colloidi organici e su siti non selettivi (posizioni di superficie dei fillosilicati);
- 3 - frazione di riserva disponibile (EUF II, 35' - 40'), inizialmente non scambiabile, rimossa da posizioni di bordo e da siti a media affinità;
- 4 - frazione di riserva a lento rilascio (EUF II, 40' - 60'), costituita da potassio fortemente adsorbito e, presumibilmente, da parte del potassio fissato e reticolare.

Gli istogrammi riportati in Figura 2 consentono di confrontare in dettaglio i livelli di fertilità potassica dei suoli esaminati. La dotazione di EUF-K è in ogni caso molto elevata, sia nei termini della disponibilità attuale (frazioni 1 e 2), che di quella potenziale (frazione 3), soprattutto per l'Inceptisuolo.

Per questo stesso suolo, tuttavia, nonostante esso sia il più ricco di potassio, si è accertato anche il valore più elevato della frazione poco mobile (frazione 4). Tale affinità per il potassio, inaspettatamente alta, andrebbe attribuita alla matrice piroclastica, nella quale abbondano le forme di K nativo (miche, feldspati, pirosseni). Inoltre, i costituenti a scarso ordine cristallino — anche essi molto abbondanti — sarebbero sede di inusuali fenomeni di adsorbimento (1).

BIBLIOGRAFIA

- (1) GOULDING K.W.T. - Thermodynamics and potassium exchange in soils and clay minerals. *Adv. Agron.*, 36: 215, 1983.
- (2) GRIMME H. - The effect of field strength on the quantity of K desorbed from soils by electro-ultrafiltration (EUF). *Z. PflErnähr. Bodenk.*, 143: 98, 1980.
- (3) MENGEL K. and KIRKBY E. A. - Principles of plant nutrition. 3rd Edition, International Potash Inst., Bern/Switz., 1982
- (4) NÉMETH K. - Möglichkeiten zur Bestimmung maßgeblicher Faktoren der Bodenfruchtbarkeit mittels Electro-ultrafiltration (EUF). *Landw. Forsch* 26/I, 192, 1971.
- (5) NÉMETH K. - The determination of effective and potential availability of nutrients in the soil by electro-ultrafiltration. *Appl. Sci. and Dev., Inst. for Sci. Coop., Tübingen*, 8: 89, 1986.
- (6) NÉMETH K. - The availability of nutrients in the soil as determined by electro-ultrafiltration (EUF). *Adv. Agron.*, 31: 155, 1979.
- (7) SINCLAIR A. H. - A comparison of electro-ultrafiltration and quantity/intensity measurements of soil potassium with its uptake by rye-grass in Scottish soils. *Plant and Soil*, 64: 85, 1982.

Evaluation of various chemical extractants for the
assessment of available soil phosphorus

HAMDY A.

INTRODUCTION

In spite of the existence of quite a number of P-soil tests, which basically differ in the extractants used, none of the methods in use today is applicable to all soils. Thus, the problem of non-existence of a universal soil P test which will provide a quick and reliable index of available phosphorus in soils confronts or is a challenge to researchers.

Basically, the inability of a particular soil P test to be suitable for all the soils is due to the complex nature of soils with varied physico-chemical characteristics. The need for each region to evaluate the applicability of the available soil P test using representative soils of the region, so as to select the most reliable and quick one as an index to soil phosphorus availability for this region is of significance.

In the Southern part of Italy where the majority of the soils have pH values exceeding 7.0, besides the presence of CaCO_3 , their alkaline reactions lead to the unavailability of phosphorus added to soils. In other words, when phosphorus fertilizers are added to soils under the prevailing conditions, the P-fertilizers immediately undergo transformations with subsequent participation and recrystallization to forms less available to plants.

On the other hand, for setting up fertilization policies, it is of primary importance that fertilizer recommendations allow for the fertility of each nutrient. The knowledge about the existing or initially available phosphorus quantity in soils for phosphorus fertilizer recommendations is of significance. Since phosphorus content in plants indicates the amount of soil available nutrient, chemical soil tests can be evaluated when correlated with plant analysis for phosphorus. Thus, when the soil phosphorus chemically extracted is significantly correlated with the actual plant content, this extractant can be recognized as a reliable index of soil available phosphorus.

Therefore, this study was carried out for the evaluation of some selected laboratory techniques using different chemical extractants in order to select the most rapid, precise and simple one that provides a reliable index of the available phosphorus in the soils.

MATERIALS AND METHODS

Chemical extractants and procedures

To evaluate the suitability of some chemical extractants in determining the available soil phosphorus, thirty-one soil samples with different physical and chemical properties were collected from different locations in the Apulia region in Southern Italy (Figure 1). Some physical and chemical characteristics of the investigated soils are given in Table 1.

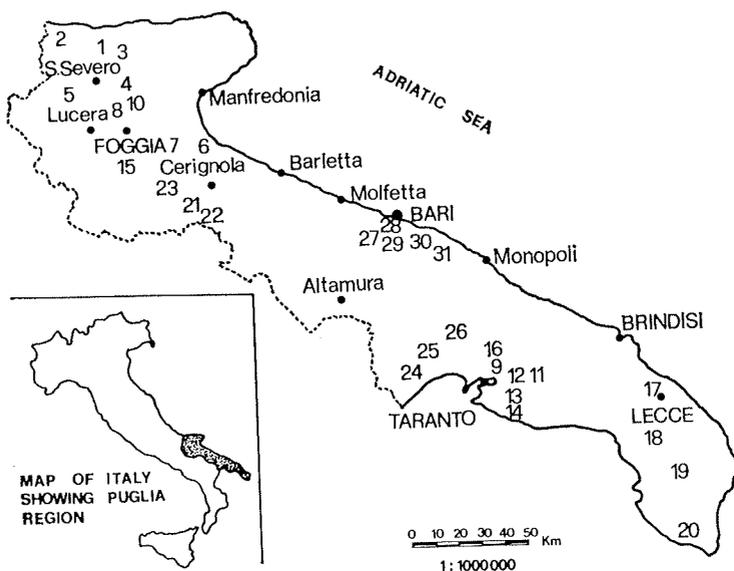


Figure 1 - Map of the Puglia Region showing soil locations.

The investigated soil samples were subject to the following laboratory extractions for available soil phosphorus.

- A — Extraction with distilled water (1) at 1:10 and 1:20 soil-water ratios.
- B — Extraction with 0.5M NaHCO₃ solution at pH 8.5 at 1:10 and 1:100 soil solution ratios (12).

TABLE 1 - Some physical and chemical properties of the investigated soils.

Soil No.	Soil Texture	pH	Organic Matter %	CaCO ₃	Mechanical Separates			
					Coarse Sand %	Fine Sand %	Silt %	Clay %
1	sandy clay	6.93	2.07	5.5	13.3	33.7	13.0	40.0
2	clay	8.10	2.50	20.5	2.8	35.2	10.0	52.0
3	sandy clay	7.50	2.33	5.0	6.9	41.1	6.0	46.0
4	clay	6.40	2.18	3.5	2.3	33.7	12.0	52.0
5	sandy clay loam	8.05	1.95	30.0	14.4	39.6	12.0	34.0
6	clay	8.00	1.89	11.5	6.7	29.3	12.0	52.0
7	clay	7.90	2.53	28.0	2.6	21.4	4.0	72.0
8	sand	8.08	1.45	27.0	79.8	12.2	0.0	8.0
9	clay	8.15	1.28	25.0	10.5	17.5	24.0	48.0
10	sandy clay	8.40	2.03	32.5	25.8	26.2	8.0	40.0
11	sandy clay	8.20	2.10	39.0	20.4	27.6	10.0	42.0
12	clay	7.68	2.04	15.0	4.2	29.8	9.0	57.0
13	clay	7.75	2.47	6.5	3.2	27.8	15.0	54.0
14	sandy clay	7.83	1.88	37.5	21.0	29.0	8.0	42.0
15	sandy clay	8.00	3.00	9.5	17.6	30.4	14.0	38.0
16	clay	8.32	1.79	41.0	2.7	25.3	24.0	48.0
17	sandy clay loam	7.90	2.40	9.0	21.8	40.2	6.0	32.0
18	clay	8.03	2.15	4.5	5.6	28.4	4.0	62.0
19	clay loam	8.10	2.08	15.5	11.3	32.7	22.0	34.0
20	sandy clay	7.35	2.20	5.5	4.3	41.7	10.0	44.0
21	sandy clay	6.78	3.34	7.0	14.9	29.1	12.0	44.0
22	sandy clay loam	7.85	1.10	19.0	21.2	44.8	12.0	22.0
23	sandy clay loam	8.35	1.48	13.0	26.8	37.2	10.0	26.0
24	sandy loam	7.63	2.69	6.0	60.8	17.2	2.0	20.0
25	sandy loam	6.65	1.42	3.5	56.2	21.8	4.0	18.0
26	sandy clay loam	8.03	2.22	4.5	29.8	36.2	8.0	26.0
27	sandy clay loam	7.70	2.43	42.0	25.2	42.8	4.0	28.0
28	sandy clay loam	7.70	2.51	36.5	25.0	35.0	6.0	34.0
29	sandy clay	7.75	2.46	50.0	29.0	21.0	14.0	36.0
30	sandy clay	7.70	2.55	40.0	21.8	26.2	14.0	38.0
31	clay	7.58	2.65	27.5	15.9	30.1	4.0	50.0

- C — Extraction with ammonium fluoride-containing acid solution as an extractant for rapidly acid-soluble and adsorbed phosphorus (0.03N NH_4F + 0.025N HCl — Bray 1 (3); 0.03N NH_4F + 0.1N HCl — Bray 2 (3); 0.03N NH_4F + 0.03N H_2SO_4 — (9) at 1:10 solution ratios.
- D — Extraction with weak acid solution (0.05N HCl + 0.025N H_2SO_4) at 1:4 soil solution ratio (the so-called North Carolina method) (10).
- E — Extraction by the use of a strongly basic anion exchange resin - Amberlite IRA-40 (4, 8).

Phosphorus extracted by different chemical extractants and procedures was determined by the molybdate blue method (6).

Bio-assay of plant available phosphorus

The thirty-one (31) samples which were analyzed for inorganic phosphorus by the several different chemical extractants were used in a pot experiment conducted in the greenhouse. Pots with a diameter of 26 cm were filled with 8 kg weighted quantities of the prepared soil samples in three replicates. Wheat variety Creso 2/R was used as a test crop. At seedling stage one week after germination each pot received 1.44 g of KNO_3 dissolved in water, this corresponded to 0.20 N and 0.56 g K for each pot. The moisture content was kept constant at 60% of the water saturation capacity of the soils during the cropping period and losses of water due to evapotranspiration were compensated by weight. At the heading stage of growth, the plants were harvested, oven dried at 79°C and the dry weight per pot was recorded.

0.2 g oven dry and finely ground plant samples were wet digested with a mixture of concentrated nitric, sulphuric and perchloric acid and phosphorus was colorimetrically determined by the molybdate blue method (6).

RESULTS AND CONCLUSIONS

The different amounts of phosphorus in the thirty-one soil samples as determined by using different extractants and also the phosphorus content and uptake by the wheat plants from these soils are indicated in Table 2.

From the table, it is quite clear that the soil test values for available P-determined by the various methods, varied considerably. The quantity of available - P extracted by the various methods and extractants was in the order 0.5 M NaHCO_3 at soil solution ratio 1:100 > 0.5M NaHCO_3 at soil solution ratio 1:20 > 0.5M NaHCO_3 at soil solution ratio 1:10 > 0.03 NH_4F + 0.1N HCl > 0.03N NH_4F + 0.03 N H_2SO_4 > 0.03N NH_4F + 0.025N HCl > Anion - exchange resin > H_2O at soil water ratio 1:20 > H_2O at soil ratio 1:10.

Concerning the parameters of soil phosphate status, it has been (14) suggested that the definition of soil P - status involves not only a capacity factor

TABLE 2 - Extractable phosphorus (ppm) in soils as determined by different extractants and total P - concentration and uptake by wheat.

Sample no.	Extractable P - ppm										P - Content in the wheat plants	
	Water		Olsen 0.5M NaHCO ₃ , pH 8.5			Bray 1 0.03N NH ₄ F + 0.025N HCl	Bray 2 0.03N NH ₄ F + 0.1N HCl	Modified Bray 0.03N NH ₄ F + 0.03N H ₂ SO ₄	North Carolina 0.05 NHCl + 0.025N H ₂ SO ₄	Resin Amberlite IRA-410		
	1:10	1:20	1:10	1:20	1:100	1:10	1:10	1:10	1:4	1:10	conc. ppm.	uptake mg/pot
1	14.86	22.28	70.00	89.14	125.72	45.71	40.00	61.43	22.28	32.0	1267.83	23.24
2	4.57	2.86	9.43	8.00	17.14	2.86	12.14	9.43	1.03	2.86	508.92	7.63
3	1.43	2.86	21.14	21.71	37.14	19.29	37.86	32.86	15.43	4.30	529.83	10.24
4	1.71	2.86	28.58	24.00	40.00	27.14	22.86	30.71	16.00	9.14	815.42	14.95
5	1.71	2.00	30.00	25.71	51.42	10.29	32.86	19.29	2.51	4.86	449.42	8.38
6	3.29	4.00	37.14	39.43	65.72	27.14	48.57	37.14	5.94	14.85	994.08	17.89
7	1.00	0.86	8.28	6.86	17.14	1.00	14.29	7.14	0.40	4.00	625.00	8.96
8	3.57	5.43	22.28	20.57	28.58	14.29	15.00	21.43	10.28	7.43	437.50	6.56
9	1.00	0.57	6.28	4.00	12.86	1.43	10.86	5.71	0.17	3.42	898.83	7.92
10	3.43	5.14	32.86	38.86	71.42	6.57	20.71	23.57	0.37	10.86	1107.17	20.66
11	0.86	0.28	5.14	4.00	10.00	1.71	8.29	5.43	0.11	3.42	639.83	2.56
12	2.43	2.85	21.14	22.29	45.72	13.57	24.29	18.57	0.69	15.43	1491.08	27.82
13	6.29	10.86	65.72	75.43	128.58	40.00	33.57	42.86	6.63	21.71	1437.50	31.14
14	2.86	3.14	37.14	40.00	68.58	0.71	26.43	15.00	0.91	9.14	1142.86	22.86
15	2.57	2.28	22.86	15.43	31.42	5.86	28.67	9.14	0.57	24.00	1169.63	20.27
16	1.71	2.57	45.72	42.86	65.72	2.14	1.00	1.71	1.71	5.14	1160.75	20.12
17	2.14	2.85	28.00	25.71	45.58	22.14	31.43	25.71	1.14	8.57	1428.63	17.62
18	2.71	3.72	84.28	37.71	68.58	21.43	32.86	37.14	9.14	18.30	1348.25	27.41
19	0.86	0.86	18.28	18.29	31.42	0.57	0.43	2.14	0.74	5.14	919.58	17.16
20	11.00	18.00	81.42	85.72	194.28	46.43	32.86	41.43	10.86	54.86	2857.50	49.52
21	2.29	3.43	21.72	21.14	28.58	18.57	28.57	26.43	7.43	24.00	970.17	17.78
22	1.57	0.86	7.14	2.86	11.42	3.43	13.57	5.14	0.97	4.00	907.83	6.35
23	2.71	1.43	7.14	5.71	20.00	7.14	10.71	8.43	0.29	5.14	669.58	7.56
24	4.71	7.14	32.86	34.86	57.14	41.43	41.43	41.43	13.72	14.86	1654.83	28.68
25	4.86	5.43	27.14	29.71	45.72	28.57	22.86	32.14	10.28	6.29	1065.42	17.40
26	10.86	14.00	54.28	68.57	111.42	45.71	38.57	50.00	16.57	32.00	2571.42	44.57
27	2.71	3.43	30.00	30.86	60.00	15.71	31.43	25.71	2.17	12.57	647.25	12.95
28	2.86	4.28	35.72	43.43	71.42	22.86	37.14	33.57	1.94	10.85	1026.75	21.90
29	3.14	4.28	45.72	42.86	82.86	12.14	35.00	26.43	1.14	11.42	1172.58	24.23
30	3.00	4.86	34.28	42.29	68.58	17.14	44.29	30.00	3.37	12.00	1327.33	17.26
31	1.80	1.72	24.00	25.14	35.72	10.00	28.57	18.57	1.09	5.70	988.00	9.54
Average	3.57	4.75	30.51	32.00	53.22	18.40	25.71	24.03	5.37	12.84		

which refers to the quantity of potentially available P, the fraction of soil phosphate from which the solution can be replenished, but also an intensity factor which in its simplest interpretation can be regarded as the concentration of P in the soil solution.

Correlation coefficients and regression equations between P - concentration in the plants, P - uptake by the plants and available phosphorus determined by different chemical extraction procedures are tabulated in Table 3.

Regarding the water soluble phosphate extracted with distilled water which represents the intensity factor, the average values recorded (Table 2) were the lowest with respect to the others. Also, the data indicate that by increasing the soil - water ratio from 1:10 to 1:20 the percent increase in the value of water soluble phosphate was 33%.

The obtained r - values at the two soil water ratios with both the P - concentration and uptake by the wheat plants were found to be significant at the 1% probability level. However, the r - values recorded for the soil water ratio 1:20 were greater than those for the 1:10 soil water ratio. This indicates that extracting the soils with water at the 1:20 soil-water ratio assesses more precisely the water soluble phosphorus content of the soils. This finding is in line with the work of Wild (1964) who found that the P - uptake by plants from solutions of about the same composition as in soils is correlated with the P concentration in the soil solution, using 0.01M CaCl₂ as an extractant.

The rate of P - uptake by plants is approximately proportional to the concentration of P in nutrient cultures. When plants are grown in soil, however, this relationship is neither well defined nor well understood. Therefore, P - concentration in the soil could not be taken as a general index of soil phosphate availability (2, 11). The most likely explanation for such insignificance of the contribution of soil P - concentration in the soil solution is that plant requirements of P during its growth are not only satisfied from the soil solution but also the solid phase or quantity of phosphate which may or may not be available to the plants during their growth period. Movement of roots in the soil, removal of P by adsorption, the complex pattern by which P in solution is renewed from the solid phase by the process of diffusion and mass flow, all contributes towards an ever-changing supply of P to the plants.

In this respect, it could be recalled that the measurement of P - concentration in the soil solution, although showed a highly significant correlation with both the P concentration and P-uptake could not be accepted alone as measure in the assessment of available soil P without considering the other parameters controlling P status in soils.

The capacity factor is a measure of the quantity of nutrient that will be released by the soil as the intensity is lowered around the roots (Olsen *et al.*, 1962). It consists largely or entirely of an existing pool of immediately or relatively easily available exchangeable phosphate which is usually measured by the bicarbonate extraction method. The choice of this chemical extractant (0.5M NaHCO₃) among others arises from the characteristics which guard

TABLE 3 - Regression equations and correlation coefficients between P - concentration and uptake in wheat plant and extracted soil P.

Extractants		Regression equation	Correlation coefficient (r)	Regression equation	Correlation coefficient (r)
Resin		$Y = - 5.85 + 0.016X$	0.8100 **	$Y = - 3.23 + 0.87X$	0.8318 **
0.05M NaHCO ₃	1:10	$Y = 3.52 + 0.024X$	0.7057 **	$Y = 4.57 + 1.41X$	0.8102 **
	1:20	$Y = - 0.68 + 0.030X$	0.7022 **	$Y = 0.82 + 1.69X$	0.8004 **
	1:100	$Y = - 7.02 + 0.057X$	0.7690 **	$Y = - 2.20 + 3.18X$	0.8490 **
Water	1:10	$Y = - 0.64 + 0.004X$	0.6410 **	$Y = - 0.03 + 0.20X$	0.6557 **
	1:20	$Y = - 2.13 + 0.006X$	0.6657 **	$Y = - 1.29 + 0.33X$	0.6988 **
0.03N NH ₄ F + 0.025N HCl		$Y = - 2.61 + 0.018X$	0.6606 **	$Y = - 0.41 + 0.96X$	0.7014 **
0.03N NH ₄ F + 0.1N HCl		$Y = 15.93 + 0.009X$	0.3908 *	$Y = 15.96 + 0.55X$	0.4653 **
0.03N NH ₄ F + 0.03N H ₂ SO ₄		$Y = 7.58 + 0.015X$	0.5312 **	$Y = 7.77 + 0.88X$	0.6272 **
0.05N HCl + 0.025N H ₂ SO ₄		$Y = 1.05 + 0.004X$	0.3404 n.s.	$Y = 1.06 + 0.23X$	0.4060 *

Significant at 0.05 level of probability *

Significant at 0.01 level of probability **

against the attacking of unavailable soil phosphorus. This extractant is usually a mild extractant with an intermediate pH and relatively inactive ions.

From Table 2, it is quite clear that by changing the soil-bicarbonate solution ratio from 1:10 to 1:20, the average values of the estimated phosphorus were nearly the same, with a very slight increase in the case of the higher ratio, amounting to only 5% more than that recorded with the lower ratio 1:10. On the other hand, by increasing the soil-solution ratio to 1:100, the average value of the extractable P was nearly 75% more than the values recorded with 1:10 and 1:20 soil solution ratios. This result evidently indicates that the amount of measurable available P in the soil depends not only on the extractant, but also on the soil solution ratio.

Regarding the r-values, Table 3 presented data, show that among the three different soil-sodium bicarbonate solution ratios, the highest degree of correlation was obtained with the highest soil-solution ratio 1:100. This result shows the superiority of the 1:100 soil bicarbonate solution ratio as compared to the other two bicarbonate solutions of ratios 1:10 and 1:20, in expressing the capacity factor. Such observations could lead to the conclusion that P-uptake by plants is a function of both the phosphorus concentration in the soil solution, i.e. the intensity factor and the existing pool of immediately or relatively available or exchangeable phosphorus, the capacity factor. Furthermore, the relative increase in the r-values when the capacity factor is compared with the intensity factor supports the idea that the soil available phosphorus and the supply to the plants is more influenced by the capacity factor rather than the intensity factor. This phenomenon, therefore, explains the unsatisfactory relationship between the intensity factor, used as a measure of the soil available phosphorus and the P-uptake by the plant. This unsatisfactory relationship was noticed by several workers including Bouldin, (1961) and Nye (1968).

Rapidly acid-soluble and adsorbed phosphorus has been extracted with NH_4F -acid-containing solutions. Three different extractants were used (Bray 1, 2 and modified Bray). The acid is responsible for the extraction of the acid soluble phosphorus, while the ammonium fluoride acts on the adsorbed phosphorus.

The quantities of phosphorus extracted by these ammonium fluoride acid solutions gave high degrees of significance when correlated with the P-concentration and its uptake by wheat plants.

The Bray 1 and Bray 2 extractants have the same concentration with respect to the ammonium fluoride which is responsible for the release of adsorbed phosphorus, but they differ in that the Bray 1 extracting solution is of a very dilute hydrochloric acid concentration (0.025N), whereas the Bray 2 extractant is characterized by a relatively high hydrochloric acid concentration (0.1N) which is 40 times greater than that of Bray 1.

Thus, it is suggested that, the different r-values noticed in this study with the two Bray extractants are attributed to the differences in the acid concentration of the two Bray extraction solutions. In addition, the relatively high

degree of correlation existing between the extracted soil phosphorus with Bray 1 solution and both the P-concentration and its uptake by plants as compared to those recorded with the Bray 2 extractant gives the Bray 1 extractant the priority among the NH_4F -acid solution used in assessing the readily acid soluble and adsorbed phosphorus in soils. The failure of the Bray 2 extractant to give r-values similar to those found with the Bray 1 could be explained on the assumption that the usefulness of an extraction procedure largely depends upon the avoidance of the attack on non-available phosphorus.

One of the methods, the North Carolina procedure (10), is popular in the parts of the United States, however, it has been seldom included in P correlation investigations (7). In this procedure the soil is extracted with a solution of 0.05N hydrochloric acid and 0.025N sulphuric acid.

As shown by Table 3, the extraction of soil phosphorus with the North Carolina method gave the lowest degree of correlation with both the P-concentration and its uptake by plants, when compared to the other extraction procedures employed in the present study.

Warren and Cooke (1962); Williams (1962); Nelson *et al.* (1963) and other workers used dilute acid extractants for assessing the available soil phosphorus in different soils. Most of the workers found that the weak acid-extraction of soil phosphorus were more promising for acid soils rather than for alkaline and calcareous soils. Das (1933), Olsen *et al.* (1954) and Saunders (1956) reported that acidic solutions are unsuitable extractants for calcareous soils but those soils are more reliably extracted with alkaline solutions. The soil pH has a definite effect on the suitability of dilute acid extractions such as the North Carolina method in extracting labile phosphorus. Very poor correlations were obtained between dilute acid-extractable phosphorus and labile P with soils whose pH under natural conditions is 7 or higher. This could be due to two things, namely (i) exhaustion of the dilute acid by the high cation exchange capacity or by the reaction of CaCO_3 with the acid, and (ii) extraction of plant unavailable Ca-P compounds.

Therefore, the use of dilute acid solution in extracting soil available phosphorus is not recommendable under alkaline calcareous soils. Generally, chemical extraction procedures are liable to interfere with soil colloidal chemical reactions. For a more precise and reliable measure, for assessing the available soil phosphorus, it is essential that no major changes are induced in the chemical constitution or composition of the soil by the applied experimental procedure. Thus, any method of extraction used in the assessment of the soil available phosphorus, must be devoid of chemical destruction of the soil properties. The principal non-destructive methods belong to three groups, based on the measurements of (a) the isotopic phosphate exchange (b) the equilibrium phosphate concentration, or (c) the quantity of phosphate removed by an anion-exchange resin.

In the present study, the anion-exchange resin method as described by Cooke and Hislop (1963), Hislop and Cooke (1968), was chosen as a non-

destructive method for assessing the soil available phosphorus, as well as the judgement of its efficiency relative to the other chemical extractants and procedures under investigation.

As shown in Table 3, the anion-exchange resin technique gave the highest degree of correlation. This supports the hypothesis that the rate of replenishment of the soil solution phosphate is of importance in determining the phosphorus uptake and that the phosphate concentration in the soil solution is of less importance.

Although isotopic exchange techniques E and L-values have been proved to be good measures in the assessment of the soil available phosphorus in exchangeable forms without any drastic alteration of the soil, yet practically, they are somewhat time-consuming and need special equipment and apparatus besides the use of radio-active materials. In the light of the aforementioned, the acceptance of the isotopic exchange techniques as a laboratory and routine soil test to assess the available soil phosphorus is questionable.

With regards to the chemical extraction procedures, the usual disadvantage is that the chemical reagents react with the soil components other than the phosphorus thus changing the nature of the soil. Since the quantity of phosphorus measured in the soil solution of the final soil system is not necessarily closely related to the quantity or concentration of the available phosphorus in the original and unaltered soil, the use of chemical extracting procedures for the assessment of the available soil phosphorus must be interpreted with caution.

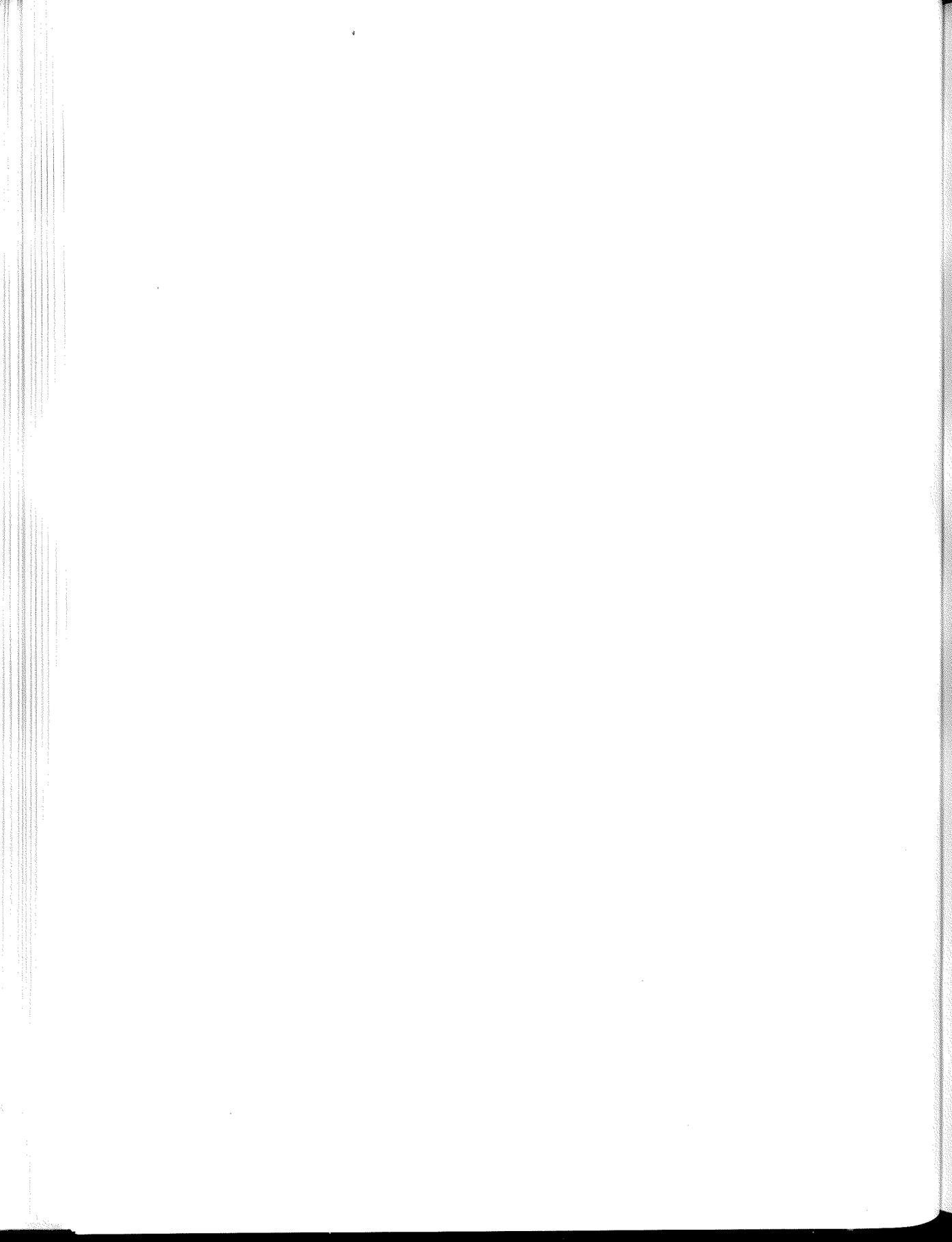
On the other hand, by the use of the anion-exchange resin technique the disadvantages and difficulties encountered with the isotopic exchange techniques and chemical extracting procedures may be lessened.

From the practical point of view, the anion-exchange technique is highly recommended because of its simplicity, rapidity and less expensiveness as compared to the isotopic exchange technique. The outlined advantages give the resin technique the priority over the other techniques to be applied as a quick and precise laboratory test for assessing soil available phosphorus in large scale advisory work.

REFERENCES

- (1) BINGHAM F.T. - Chemical soil tests for available phosphorus. Calif. Agric., 3 (8): 211, 1949.
- (2) BOULDIN D.R. - Mathematical description of diffusion process in the soil plant system. Soil Sci. Amer. Proc., 25: 476, 1961.
- (3) BRAY R.H. and KURTZ - Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci., 82: 39, 117, 1945.
- (4) COOKE I.J. and HISLOP J. - Use of anion exchange resin for the assessment of available soil phosphate. Soil Sci., 96: 308, 1963.
- (5) DAS S. - An improved method for determination of available phosphoric acid of soils. Soil Sci., 30: 33, 1933.

- (6) DICKMAN S.R. and BRAY R.H. - Colorimetric determination of phosphate. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.*, 12: 665, 1940.
- (7) GRIFFIN, G.F. and LORTON R.E. - Phosphorus availability on two soils as determined by several methods. *Agron. J.*, 62: 336, 1970.
- (8) HISLOP J. and COOKE I.J. - Anion exchange resin as a mean of assessing soil phosphorus with crop response including a proposed method. *Soil. Sci.*, 82: 117, 1956.
- (10) NELSON W.L., MEHLICH A. and WINTERS E. - The development, Evaluation and Use of soil tests for phosphorus availability. In W.H. Pierre and A.G. Norman (ed) *Soil and fertilizer phosphorus*. *Agronomy*, 4: 143, Am. Soc. of Agron., Madison, Wisc., 1953.
- (11) NYE P.H. - Processes in the root environment. *J. Soil Sci.*, 19: 205, 1968.
- (12) OLSEN R.A., RHODES M.B. and DREIER - Available phosphorus status of Nebraska soils in relation to series classification, time of sampling and methods of measurement. *Agron. J.*, 46: 175, 1954.
- (13) OLSEN S.R., KEMPER W.D., JACKSON R.D. - Phosphate diffusion to plant roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26: 222, 1962.
- (14) SCHOFIELD R.K. - Can a precise meaning be given to available soil phosphorus? *Soil Fert.*, 18: 373, 1955.
- (15) SAUNDERS D.H. - Determination of available phosphorus in tropical soils by extraction with sodium hydroxide. *Soil Sci.*, 82: 457, 1956.
- (16) WARREN R.G. and COOKE G.W. - Comparison between methods of measuring soluble phosphorus and potassium in soils used for fertilizer experiments on sugar beet. *J. Agric. Sci.*, 93: 269, 1962.
- (17) WILD A.C. - Soluble phosphate in soil and uptake by plants. *Nature*, 203 (4942): 326-327, 1964.
- (18) WILLIAMS E.G. - Chemical soil tests as an aid to increased productivity. *Trans. Intern. Soil Conf. New Zeland*, 820-834, 1962.



Modificazioni delle sostanze umiche da parte
di acidi organici della rizosfera

ALBUZIO A. e NARDI S.

La rizosfera è « il sito » dove avvengono attivi scambi di sostanze inorganiche ed organiche tra radici, microrganismi e colloidali del suolo. Il contributo delle radici consiste principalmente nel rilascio di composti organici e tra questi di acidi del ciclo di Krebs (1) che possono non solo modificare il pH dell'ambiente radicale ma anche competere con gli acidi umici nella chelazione di cationi metallici (3).

Precedenti studi (2) hanno accertato il decremento del livello di policondensazione ed il rilascio di cationi inorganici (Ca, Mg, Fe, Zn e Al) in frazioni umiche ad elevate dimensioni molecolari (> 10000 daltons) acidificate a pH 2-2.5 con alcuni degli acidi presenti negli essudati radicali (ossalico, malico, fumarico, ossalacetico e citrico). E' stato anche dimostrato che la successiva neutralizzazione con KOH tende a ripristinare il peso molecolare apparente d'origine ed in modo rimarchevole anche il contenuto di ioni metallici del materiale umico. Quando l'acidificazione è ottenuta con acido inorganico (HCl), le sostanze umiche mantengono le dimensioni molecolari iniziali (> 10000 daltons) ed il rilascio di ioni metallici è nettamente ridotto.

In questo studio una miscela di acidi, che riproduce le proporzioni di un essudato radicale (1), è stata aggiunta progressivamente fino a raggiungere pH 2 ad una soluzione umica ad elevato peso molecolare apparente. Sia la de-policondensazione che il rilascio di ioni metallici hanno assunto andamenti sigmoidali crescenti con l'acidificazione. Procedendo ad una graduale neutralizzazione con KOH, anche il ripristino delle dimensioni e quello del contenuto in ioni metallici hanno seguito un andamento di questo tipo ma decrescenti con l'aumentare del pH (Figura 1).

I due eventi appaiono coinvolti in un unico processo in gran parte reversibile che si instaura in un senso quando le sostanze umiche sono trattate con

alcuni degli acidi presenti negli essudati radicali ed in senso opposto quando esse vengono successivamente neutralizzate.

Si può desumere che gli essudati radicali sono in grado di esercitare una azione modulatrice sulla disponibilità di ioni inorganici e sul livello di polimerizzazione delle sostanze umiche nella rizosfera.

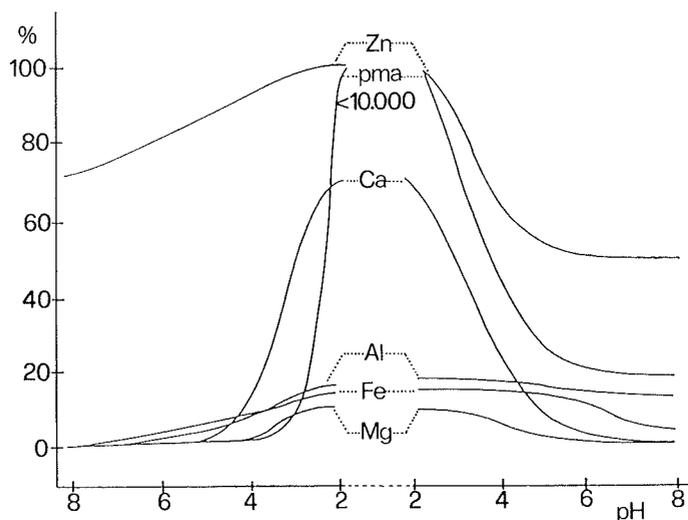


Figura 1 - Acidificazione e successiva neutralizzazione di sostanza umica ad elevato P.M.A. (> 10000): Rilascio di metalli e presenza di frazioni a basso P.M.A. (< 10000). Dati espressi in % dei contenuti nella sostanza originaria.

BIBLIOGRAFIA

- (1) KRAFCZYC I., TROLLENER G., BERIGNER N. - Soluble root exudates of maize: influence of potassium supply and Rhizosphere Microorganisms. *Soil Biol. Biochem.* 16: 315, 1984.
- (2) NARDI S., DELL'AGNOLA G., ALBUZIO A. - Variazione della complessità molecolare delle sostanze umiche per effetto dell'acidificazione con acidi organici. *Agrochimica* XXX 1-2: 148, 1986.
- (3) CRESSEY P. J., MONK G. R., POWELL H.K.J., TENNENT D.J. - Fulvic acids studies: Evidence for a polycarboxylate co-ordination mode at soil pH. *J. Soil Science* 34: 783, 1983.

**Applicazioni dell'analisi in fluorescenza alla
caratterizzazione chimico-strutturale e alla
differenziazione di sostanze umiche di diversa
complessità strutturale e di varia origine**

SENESI N., PROVENZANO M.R. e MIANO T.M.

INTRODUZIONE

E' noto che le sostanze umiche (SU) presentano il fenomeno della fluorescenza (1), dovuta all'emissione di energia sotto forma di radiazione luminosa, allorchè la molecola torna allo stato fondamentale dallo stato eccitato che aveva raggiunto per assorbimento di energia. Studi recenti (2, 3, 4) hanno dimostrato che gli spettri di fluorescenza sono in grado di fornire informazioni strutturali di un certo rilievo sulle SU. Anche se la natura chimica dei gruppi responsabili della fluorescenza rimane in buona parte ancora sconosciuta, è comunque accertato che composti umici diversi presentano spettri di fluorescenza differenziati sia in funzione della loro complessità molecolare che della loro origine. Data la attuale, limitata disponibilità complessiva di dati di fluorescenza e di studi comparativi su SU di varia natura e origine, è stato intrapreso presso il nostro Istituto un ampio studio in tal senso.

MATERIALI E METODI

Una serie di acidi umici AU e acidi fulvici (AF) isolati da terreni, fanghi urbani di depurazione, sottoprodotti agricoli e urbani vermicompostati (vermicompost), colture fungine del terreno, e un campione commerciale, sono stati analizzati in soluzione acquosa a concentrazione di 100 mg/l ed a pH = 8.0, in spettrofluorimetria di emissione, nell'intervallo di $\lambda = 380 - 550$ nm a una λ di eccitazione costante di 360 nm, e di eccitazione, nell'intervallo di $\lambda = 270 - 500$ nm a una λ di emissione costante di 520 nm.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Gli spettri di emissione presentano generalmente un solo massimo, spesso slargato verso le più alte e/o più basse λ , mentre gli spettri di eccitazione

risultano sempre più strutturati e differenziati dei precedenti. Nella Tabella 1 sono elencati i massimi di emissione e di eccitazione per tutti i campioni di AU e AF esaminati, mentre nelle Figure 1 e 2 sono presentati alcuni spettri rappresentativi.

Il confronto tra i risultati sperimentali e i dati della letteratura consente l'assegnazione delle principali bande di fluorescenza osservate ai rispettivi gruppi fluorofori delle SU.

La banda in eccitazione a $\lambda = 460-470$ nm, osservata soprattutto negli AU da terreni e che corrisponderebbe alla banda di emissione tra $\lambda = 480$ e

TABELLA 1 - Lunghezza d'onda dei massimi di fluorescenza in emissione ed in eccitazione per acidi umici e acidi fulvici di diversa natura e origine.

Tipo di SU	Origine della SU	Lunghezza d'onda max. fluorescenza				
		In emiss.		In eccitazione		
		P	Sp	P	S	Sp
AU, terr.	Terra rossa, Pugl.	505±5	475	450,465		390,350
AU, terr.	Terra rossa, Pugl.	505±5	470	450,465		390,340
AU, terr.	Terra bruna, Sard.	510		450,465		390,360
AU, terr.	Greenfield, Calif.	465±5	505	440	390	465,345
AU, terr.	Yolo, Calif.	495±5		445,465		390
AU, terr.	Chino, Calif.	510		465	450	390
AU, verm.	Letame misto, Spa.	460		390	440,455	
AU, verm.	Letame, Spa.	455±5	500	390	440,455	
AU, verm.	Letame bov., Spa.	445		460	390,440	
AU, verm.	Rifiut. urb., Spa.	440	500	385,340	440,460	360
AU, verm.	Fango depur., Spa.	455±5	505	390	440,455	355
AU, funghi	<i>A. glaucus</i>	475±5		390	350,285	335
AU, funghi	<i>E. echinulatum</i>	460		390	440	370,455
AU, funghi	<i>H. toruloidea</i>	505±5	460	390,440	500	
AU, funghi	<i>S. atra</i>	455	510	390	335,305	455
AU, funghi	<i>A. sydowi</i>	465	495	390,465	440	340
AF, terr.	Terra rossa, Pugl.	450±5		390,305	290,330	440,455
AF, terr.	Terra rossa, Pugl.	445±5		390,335	300,325	440,455
AF, terr.	Terra bruna, Sard.	450±5		390,335	300,315	440,455
AF, terr.	Podzol, Can.	465±5		390	450,465	360,340
AF, comm.	Contech, USA	500±5	470	465,450	390	
AF, fanghi	Rialto, Calif.	435		390,340	440,455	
AF, fanghi	Ontario, Calif.	435		390,340	440,455	

P = Principale; S = Secondaria; Sp = Spalle

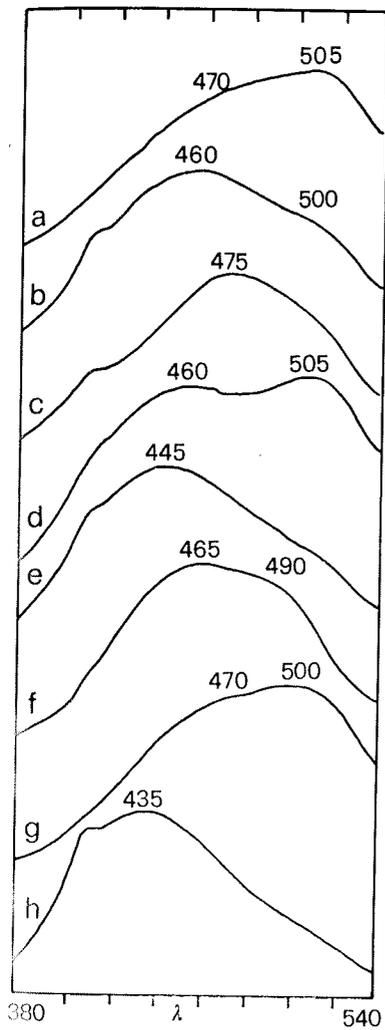


Figura 1

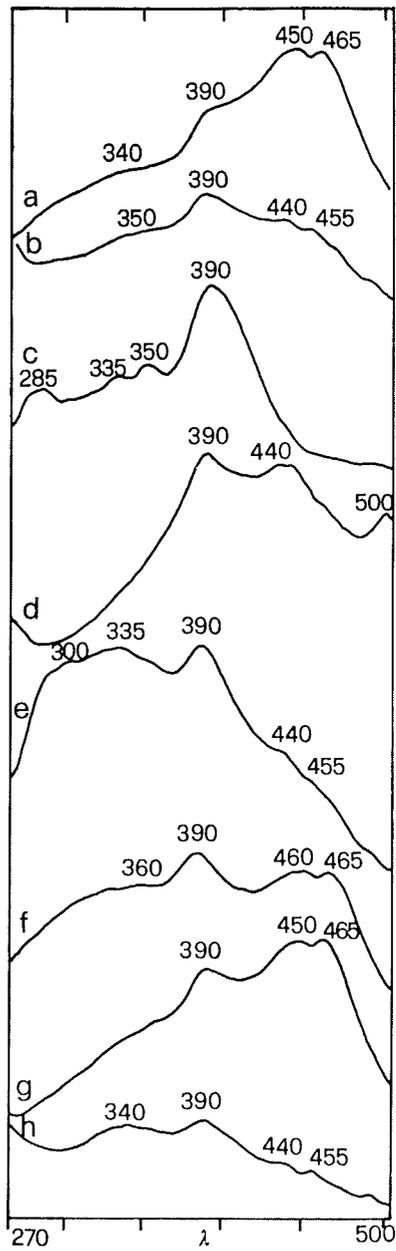


Figura 2

Spettri di fluorescenza in emissione (Figura 1) ed in eccitazione (Figura 2) degli AU: da terra rossa (a), da vermicompost di letame misto (b), di sintesi da *A. glaucus* (c) e da *H. toruloidea* (d); e degli AF: da terra rossa (e), da podzol (f), commerciale (g) e da fango di depurazione di Rialto (h).

510 nm, può essere attribuita a gruppi fluorofori rappresentati da nuclei aromatici sostituiti con almeno un gruppo funzionale elettron-donatore e/o da sistemi coniugati insaturi con elevato grado di risonanza (3). Il picco in eccitazione a $\lambda = 390$ nm, comune a tutte le SU esaminate ad eccezione degli AU da terreni, e corrispondente verosimilmente al picco in emissione tra $\lambda = 450$ e 470 nm, può essere assegnato al gruppo cromoforo fluorescente derivato della base di Schiff: $-N=C-C=N-$ (5), originatosi da reazioni di policondensazione tra gruppi aldeidici e amminici nel corso dei processi di umificazione. Infine, la banda in eccitazione alle λ più basse (tra 340 e 290 nm), particolarmente evidente negli spettri degli AF da terreni e da fanghi e di AU di origine fungina, corrispondente probabilmente alla banda in emissione a $\lambda = 440-450$ nm, può imputarsi a fluorofori costituiti da strutture fenoliche con il gruppo ossidrilico coniugato attraverso l'anello con un gruppo carbonile (3).

Sulla base dei risultati riferiti in Tabella 1 e delle precedenti considerazioni, si può osservare che in generale i picchi di fluorescenza alle λ più elevate, riscontrati soprattutto negli AU di terreni, sono associati a strutture aromatiche a più alto grado di polimerizzazione e condensazione, mentre le bande a λ più basse, caratteristiche degli AF da terreni e da fanghi, sono associate alla fluorescenza di elementi strutturali più semplici. Tale comportamento è particolarmente evidente nel caso di frazioni umiche e fulviche isolate dallo stesso terreno (Figure 1a, 1e e 2a, 2e). Si può rilevare inoltre come i massimi di fluorescenza degli AU da vermicompost e di sintesi fungina denotano un grado di condensazione aromatica e di evoluzione umica inferiore agli AU da terreni e più vicino agli AF.

In conclusione, gli spettri di fluorescenza rappresentano una ulteriore fonte originale di utili informazioni che, insieme a quelle che si possono trarre da altre tecniche analitiche, possono concorrere a chiarire una serie di problematiche legate alla caratterizzazione strutturale e funzionale e al livello di evoluzione delle SU nei sistemi naturali, artificiali e misti, con implicazioni relative sia alla fertilità che alla contaminazione del suolo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) SCHNITZER M., KHAN S.U. - Humic substances in the environment. Dekker, New York, pp. 327, 1972.
- (2) VISSER S.A. - Fluorescence phenomena of humic matter of aquatic origin and microbial cultures. In: Aquatic and terrestrial humic material (R.F. Christman and E.T. Gjessing, Eds.), Ann Arbor, Michigan, pp. 183-202, 1983.
- (3) GHOSH K., SCHNITZER M. - Fluorescence excitation spectra of humic substances. Can. J. Soil Sci., 60: 373, 1980.
- (4) BACHELIER G. - Etude spectrographique de la fluorescence des acides humiques et des acides fulviques de divers sols. Cah. O.R.S.T.O.M., Pedol., 18: 129, 1980-81.
- (5) LAANE R.W.P.M. - Comment on the structure of marine fulvic and humic acids. Marine Chem., 15: 85, 1984.

Apporti pelitici fluviali dell'Appennino al mare Adriatico
II - I Bacini di drenaggio del Marecchia
e del Metauro (Marche)

TOMADIN L. e FRANCHI R .

Lo studio delle sospensioni e/o dei sedimenti argillosi fluviali consente di definire la composizione dei materiali fini che vengono ereditati man mano dai terreni attraversati dalle acque, di contribuire alla conoscenza della dinamica fluviale, e di riconoscere le caratteristiche « finali » degli apporti argillosi che giungono alla foce.

In un quadro regionale di ricerche sedimentologiche vengono presentati i risultati relativi ai bacini marchigiani dei fiumi Marecchia e Metauro.

Tenuto conto della natura geologica dei terreni drenati, i fattori che giocano un ruolo importante nella sedimentazione pelitica fluviale sono:

- 1 - la variabile erodibilità dei terreni, che influisce sulla quantità di materiali argillosi trasportati dalle acque;
- 2 - l'andamento ipsometrico delle aste fluviali, che innesca particolari fenomeni idrodinamici legati alla taglia delle particelle argillose;
- 3 - l'influsso delle precipitazioni atmosferiche, che possono modificare i rapporti tra i componenti fini delle torbide che vengono convogliate al mare.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BRONDI A., ANSELMI B., FERRETTI O. - Studi sui parametri geologici rilevanti al fine della determinazione ambientale del territorio nazionale. Rapporto fra litologia delle terre emerse e composizione mineralogica della frazione argillosa dei sedimenti fluviali dei più importanti fiumi italiani (II Parte). Rend. Soc. It. Min. Petr., 38: 1299, 1982.

- (2) SELLI R. - Il bacino del Metauro. Descrizione geologica, risorse minerarie, idrogeologia. *Giorn. Geol.*, 24: 1, 1954.
- (3) TOMADIN L. - Ricerche sui sedimenti argillosi fluviali dal Brenta al Reno. *Giorn. Geol.*, 36: 159, 1969.
- (4) TOMADIN L., GALLIGNANI P., LANDUZZI V., OLIVIERI F. - Fluvial pelitic supplies from the Apennines to the Adriatic Sea. I-The rivers of the Abruzzo Region. *Miner. Petrogr. Acta*, 29-A: 277, 1986.

Analisi statistica multivariata di parametri fisico-chimici dei terreni alcalini

GENEVINI P.L. *, MOLLER F. **, ZACCHEO P. *, TANO F. ***

INTRODUZIONE

Nel presente lavoro si vuole proporre uno spettro di metodi statistici applicabili all'analisi routinaria di terreni coltivati, in modo da verificare se è possibile individuare:

- l'esistenza di popolazioni omogenee
- i parametri che le caratterizzano
- i principali fattori che le descrivono
- le relazioni tra i parametri

con lo scopo di:

- conservare l'informazione
- inserire ogni nuovo input nell'ambito di classi predeterminate
- individuare quali, tra i diversi parametri, meglio caratterizzano il quadro chimico-fisico del terreno
- aiutare l'agronomo nelle scelte delle tecniche colturali.

L'analisi è stata applicata in via propositiva ad una serie di 70 campioni di terreno caratterizzati da identico pH (8-8.1).

Sono stati presi in considerazione solo alcuni dei parametri chimico-fisici propri dell'analisi seriale di terreni coltivati.

Nella Figura 1 viene indicato, in termini schematici, il percorso logico-operativo seguito: le varie tappe vengono qui di seguito commentate e per ognuna sono indicati i principali risultati acquisiti.

Si ringrazia la Fabbrica Cooperativa Perfosfati di Cerea (VR) che ha fornito la matrice numerica.

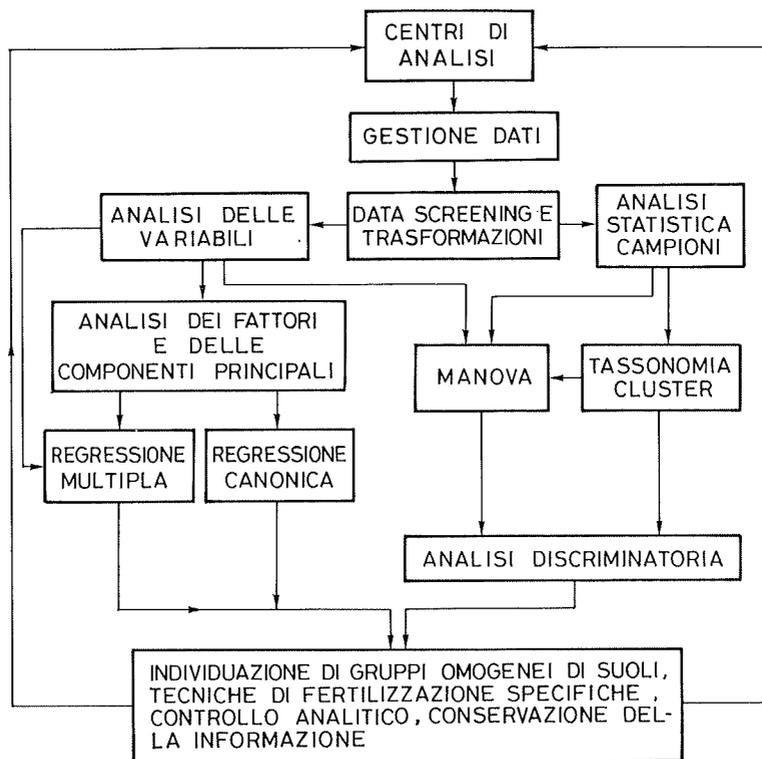


Figura 1 - Schema logico-operativo.

1. Data screening e trasformazioni

I dati possono essere descritti con le abituali statistiche: media, deviazione standard, escursione e asimmetria.

Resta la necessità di eliminare, ai fini delle successive elaborazioni, le situazioni estreme o, in genere, atipiche (outliers).

In ogni caso, siccome l'efficienza della quasi totalità dei metodi parametrici viene notevolmente aumentata se le distribuzioni delle variabili sono normali o, per lo meno, unimodali simmetriche con varianze omogenee, è spesso conveniente ricorrere a trasformazioni.

In particolare se le variabili sono espresse in termini percentuali non estremi la trasformazione indicata è $y = \arcsin \sqrt{x}$.

Per situazioni più estreme unilaterali (cioè $x < 0.5$ o $x > 0.5$) in cui la deviazione standard tende a diventare proporzionale alla media, la trasformazione indicata è $y = \log x$.

Per valori meno estremi si può ricorrere a $y = \sqrt{x}$.

Nell'applicazione pratica riportata come esempio, i parametri analizzati sono stati: scheletro (SC), sabbia (SA), limo (LI), argilla (AR), carbonio organico (CO), azoto totale (NT), fosforo totale (PT), fosforo assimilabile secondo Olsen (PA), potassio scambiabile (KS), magnesio scambiabile (MG), calcio scambiabile (CA) e calcare attivo (CT). I metodi analitici impiegati sono quelli descritti nel manuale 145 dell'Unichim.

Le trasformazioni normalizzanti utilizzate sono state:

$\arcsin \sqrt{x}$ per SC, SA, AR.

\sqrt{x} per LI, CO, NT, CA, CT.

$\log x$ per PA, KS, MG.

L'analisi statistica può ora procedere secondo due linee: da un lato vengono studiate le relazioni esistenti tra le variabili, nell'ambito di classi omogenee di campioni (2); dall'altro le variabili vengono usate per descrivere i campioni e raggrupparli (6).

2. *Analisi delle variabili*

I singoli campioni sono caratterizzati da p misurazioni che danno luogo alle variabili tra le quali possono sussistere interdipendenze che non sono evidenti ad un esame superficiale, per cui si può ricorrere ai metodi:

- analisi delle componenti principali e dei fattori
- regressione multipla
- regressione canonica

3. *Analisi delle componenti principali e dei fattori*

Con queste tecniche si persegue lo scopo di costruire nuove variabili dette componenti o fattori, in numero molto inferiore a quelle delle variabili, che non siano tra loro correlati e permettano quindi una più facile interpretazione della variabilità originale.

Le componenti sono normalmente funzione di tutte le variabili, ma è possibile selezionare alcune di queste che hanno maggior peso di altre.

L'analisi è stata compiuta sui due raggruppamenti più numerosi (si vedano i risultati della cluster analysis al punto 7) e può essere così riassunta, indicando per ogni fattore le variabili in ordine gerarchico di importanza.

Per il I raggruppamento si è ottenuto quanto segue:

	% var.	Parametri
I fattore	34	MG AR SA PA KS CO
II fattore	20	NT CA
III fattore	14	SC

Per il II raggruppamento:

	% var.	Parametri
I fattore	36	AR SA CT KS CA SC
II fattore	15	MG
III fattore	13	NT

Il fattore che spiega la maggior quota di variabilità comprende nel I cluster MG ed i principali parametri fisico-chimici; nel II cluster la componente fisica incide maggiormente nel caratterizzare il I fattore unitamente alle due forme di calcio. Il secondo fattore, indipendente rispetto al primo, coinvolge nel I cluster NT e CA, nel II principalmente MG.

In termini quantitativi i due cluster sono così caratterizzabili, limitatamente ai parametri sopra citati:

	I cluster		II cluster	
	m	s	m	s
SA %	76	5	54	7
LI %	14	3	19	3
AR %	10	4	27	9
SC %	20	7	19	11
CT %	6	3	9	4
CA mg/g	4.7	1.1	8.2	2.1
PA ppm	85	48	65	46
KS mg/g	0.26	0.1	0.21	0.1
CO mg/g	1	0.3	1.27	0.3
MG mg/g	0.27	0.1	0.35	0.1

Il I cluster raggruppa, in sostanza, i terreni più sciolti, con un tenore in potassio scambiabile più elevato e un minor contenuto in magnesio scambiabile. I terreni inclusi in tale gruppo sembrano pertanto essere influenzati dalle interconnessioni che il magnesio esplica con la quasi totalità degli altri parametri, probabilmente più manifesti in terreni poco strutturati. Da quanto sopra emerge la necessità, ai fini di un qualsiasi tipo di intervento agronomico, di meglio definire i rapporti tra il magnesio e gli altri parametri.

4. *Regressione multipla*

Le variabili che risultano interdipendenti possono essere « previste » in funzione delle altre, mediante modelli di regressione.

Come esempio vengono esposte le equazioni di regressione multipla, considerando variabili indipendenti i principali parametri della fertilità chimica.

$$\text{I gruppo: } \log \text{ MG} = -2.03\sqrt{\text{CT}} - 2.65 \arcsin\sqrt{\text{SA}} \div 0.01\sqrt{\text{CA}} + 0.035\sqrt{\text{NT}} + 8.5$$

$$\log \text{ PA} = \log \text{ KS} + 1.4 \arcsin\sqrt{\text{SC}} - 1.4$$

$$\log \text{ KS} = 0.5 \log \text{ PA} + 1.1 \sqrt{\text{CO}} + 2.3$$

$$\text{II gruppo: } \log \text{ MG} = -1.72\sqrt{\text{CT}} + 6.3$$

$$\log \text{ PA} = 0.83 \log \text{ KS} - 0.4$$

Nei modelli di regressione multipla occorre tuttavia tenere in dovuto conto che variazioni delle variabili indipendenti non possono essere considerate isolate, ma solo nel contesto della struttura di correlazione con le altre variabili.

5. *Regressione canonica*

Le componenti principali, in quanto sintesi delle variabili esistenti, possono essere utilizzate come regressori (variabili indipendenti) in nuovi modelli di regressione.

Tale procedura può essere applicata qualora si voglia identificare una relazione tra i fattori principali evidenziati e altri parametri quali, ad esempio, alcune caratteristiche pedologiche, la copertura vegetale, la classe di produzione etc.

6. *Analisi dei campioni*

Gli n campioni possono essere esaminati secondo il grado di similitudine tra essi, ottenendo classi omogenee di campioni.

Il principio che sottointende alla classificazione può essere di duplice natura: qualitativa e quantitativa.

Se di natura qualitativa (per esempio secondo la posizione geografica, l'altitudine, la distanza da corsi d'acqua, etc.) si procede direttamente con un'analisi della varianza multivariata vale a dire la MANOVA.

Se di natura quantitativa, cioè basata sulle distanze tra campioni, si procede con metodi di classificazione o Cluster Analysis.

7. *Cluster Analysis*

Stabilita una distanza su cui basare la classificazione, questo metodo fornisce classi di campioni più simili che vengono di norma rappresentate mediante un dendrogramma.

Mediante MANOVA è possibile valutare la significatività delle classi.

La cluster analysis, così come illustrato in Figura 2, ha evidenziato 5 gruppi di differente numerosità ed un dato estraneo al resto della popolazione. E' stato così possibile rilevare o un errore analitico o una reale estraneità del campione.

8. *Manova*

MANOVA rappresenta un'estensione del metodo di analisi della varianza a più dimensioni. Qui è applicato con lo scopo di verificare se le classi trovate

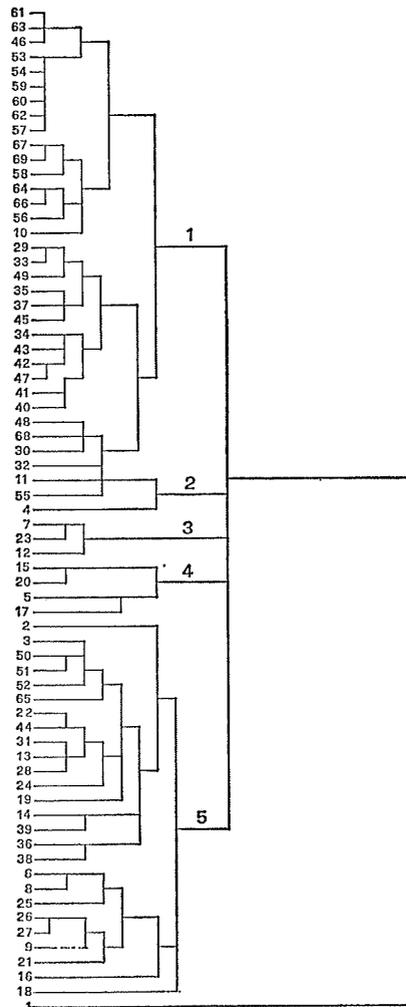


Figura 2 - Dendrogramma della cluster analysis.

si differenziano effettivamente, cioè in modo statisticamente significativo, o se si tratta di un gruppo omogeneo.

Se le classi sono distinte si può procedere, per ogni classe, alla loro descrizione mediante l'analisi delle variabili.

Per l'esempio riportato, è risultato un valore del test di significatività secondo Wilks pari a 0.01271 (***)

Le differenze tra i raggruppamenti individuati attraverso cluster analysis sono confermate come altamente significative.

9. Analisi discriminatoria

Una volta individuata l'esistenza di classi di campioni omogenee, può essere interessante determinare le funzioni di variabili che meglio permettono di attribuire nuovi campioni alle classi.

Queste funzioni sono dette discriminanti.

Le varianti che discriminano meglio i due raggruppamenti in esame sono rappresentate da SA, LI e, in misura minore, MG e KS.

Le due popolazioni risultano nettamente distinte ad eccezione di un unico campione a conferma della correttezza di aggregazione del processo di cluster (Figura 3).

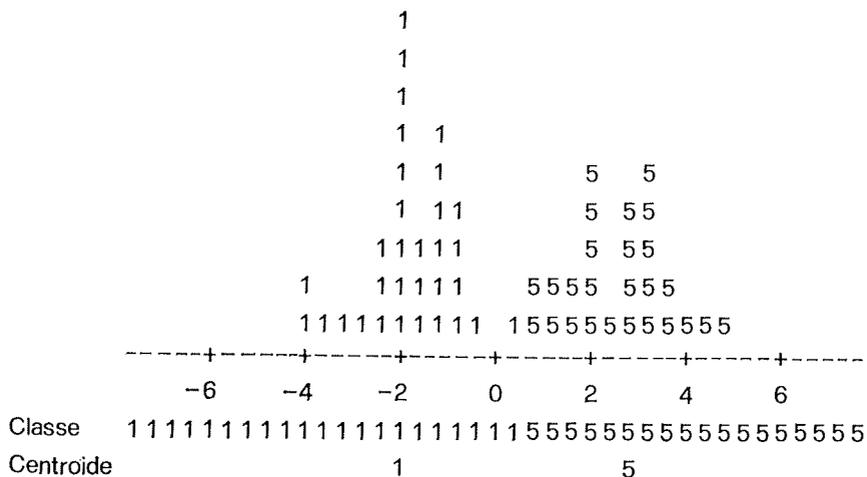


Figura 3 - Analisi discriminatoria.

CONCLUSIONI

Nell'ambito delle applicazioni pratiche di tale metodologia, si possono individuare essenzialmente due campi di applicazione: analisi territoriali e servizi di analisi dei suoli.

In particolare, per la gestione del territorio, il metodo consente di identificare aree sicuramente omogenee, di delimitare l'estensione delle stesse e di collocare qualsiasi nuovo campione in classi predeterminate. Da ciò può discendere una semplificazione del lavoro analitico relativo a nuovi campioni, noti i principali parametri che discriminano le popolazioni. L'utilità del metodo è evidente nelle indagini territoriali a livello regionale.

Nel campo chimico-agrario, nell'ambito di analisi routinarie di terreni, il metodo consente, oltre a qualsiasi tipo di controllo analitico, lo studio delle relazioni tra gli elementi nutritivi del terreno agrario e la natura della matrice litologica.

Vi è inoltre la possibilità di formulare delle concrete ipotesi di lavoro in merito agli equilibri tra gli elementi nutritivi e gli altri parametri che caratterizzano il terreno agrario in termini di potenzialità produttiva.

Tale iter può consentire di identificare le quote degli elementi disponibili per le colture nei vari gruppi, e quindi la capacità del terreno di sostenere nutritivamente le colture, nonché i rapporti pianta-natura del terreno.

Consente infine di delineare gli oggetti della ricerca agronomica applicata.

BIBLIOGRAFIA

- (1) MORRISON D. F. - Metodi di analisi statistica multivariata. Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1976.
- (2) NORUSIS M. J. - SPSS/PC+. SPSS Inc., 1986.

Distribuzione del fosforo in un terreno trattato
con un fango di depurazione

GENEVINI P. L., ZACCHEO P.

INTRODUZIONE

La valorizzazione agronomica dei fanghi di depurazione presuppone approfonditi studi sul reale potere nutritivo degli elementi in esso contenuti, nonché sulle trasformazioni cui soggiacciono nel terreno.

Poichè la scelta della dose di impiego dei fanghi è comunemente determinata dal contenuto in azoto, considerando la maggior richiesta in tale elemento da parte delle piante, parallelamente ad un contenuto in fosforo nei fanghi mediamente pari a quello dell'azoto, ne consegue un possibile arricchimento del terreno in fosforo, con potenziali rischi per l'ambiente (4). Questa eventualità è particolarmente probabile quando si utilizzano fanghi di depurazione che hanno subito trattamenti di condizionamento con polielettroliti che inducono la flocculazione del fosforo, in gran parte estraibile in acido citrico (5), e quindi in forma disponibile.

Il problema della sorte del fosforo veicolato dal fango, una volta introdotto nel sistema suolo-pianta, può essere investigato tramite un frazionamento sequenziale, che consente di individuare verso quali forme di immobilizzo o di solubilizzazione esso si diriga nel terreno.

La metodica di frazionamento più diffusa (1) consente di distinguere sei situazioni differenti: fosforo solubile, fosforo legato al ferro e all'alluminio in forma non occlusa, fosforo legato al calcio, fosforo fissato agli ossidi di ferro e occluso nei fosfati di alluminio. Numerose modifiche a tale metodo sono state successivamente introdotte (3, 6, 7, 10), allo scopo di superare alcuni problemi legati all'estrazione con fluoruro di ammonio, che inducendo la formazione di fluoruro di calcio, può causare una sovrastima del fosforo legato al ferro e all'alluminio in forma non occlusa.

In questo studio si è voluto indagare, mediante tale approccio, il comportamento del fosforo veicolato da un fango di depurazione anaerobio, una volta incorporato nel terreno.

MATERIALI E METODI

La sperimentazione è stata condotta approntando 12 vasi lisimetrici (0.41 mc) riempiti con un terreno franco cui è stato incorporato, con trattamenti in presemina per 4 anni, un fango di depurazione di acque miste civili ed industriali ottenuto per digestione anaerobica, avente le seguenti caratteristiche (dati sul secco): pH 7.1; S.O. 36,2%; acidi umici 1.32%; N. totale 1.4%; P₂O₅ totale 3.8%; P₂O₅ acido citrico 420 ppm; K₂O totale 0.1%.

I trattamenti sono stati: - tesi di controllo con fertilizzazione chimica con NPK in dose equivalente a 250-125-375 kg/ha (Testimone) - tesi con fango alla dose equivalente a 250 q di s.s. per anno (A) - tesi con fango alla dose equivalente a 500 q di s.s. per anno (B) - tesi con fango alla dose equivalente a 1000 q di s.s. per anno (C) - tesi con letame bovino alla dose equivalente a 250 q di s.s. per anno (Letame). Il letame aveva la seguente composizione (s.s.): pH 9.06; S.O. 72.37%; N totale 2.67%; P₂O₅ totale 1.4%; P₂O₅ acido citrico 2.43%; K₂O totale 2.17%.

Dopo 4 anni di trattamenti e di successive semine di *Lolium italicum*, si è provveduto al campionamento del terreno. Per ogni vaso sono stati prelevati due campioni di terreno, suddivisi in 5 subcampioni a seconda della profondità (0-15, 15-30, 30-45, 46-60, 60-65 cm). I campioni provenienti dalle quattro repliche di ciascun trattamento sono stati miscelati; le determinazioni analitiche sono state effettuate in quadruplo.

Per tutti gli strati campionati si sono effettuate le determinazioni del fosforo totale e assimilabile (metodo Olsen). Limitatamente ai primi due strati di terreno si è effettuato il frazionamento del fosforo secondo la metodica messa a punto da Olsen e Sommers (1982). Il fosforo estratto nelle varie frazioni è stato determinato con il metodo colorimetrico di Watanabe e Olsen (1965), e le varie frazioni sono state così denominate: P1:P solubile in N-NH₄Cl (P solubile); P2:P solubile in NaOH + citrato-bicarbonato (P-Fe,Al non occluso); P3:P solubile in HCl (P-Ca); P4:P organico residuo solubile in HCl dopo ossidazione; P5:P inorganico residuo dopo fusione alcalina.

La frazione di P legato a Fe e Al in forma occlusa è sempre risultata inferiore al limite di rilevabilità analitica.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Come indicano le Figure 1, 2 il fosforo apportato con i trattamenti rimane in gran parte localizzato nello strato di incorporazione ed in quello successivo (fino a 30 cm), causando in tal modo un incremento del tenore in

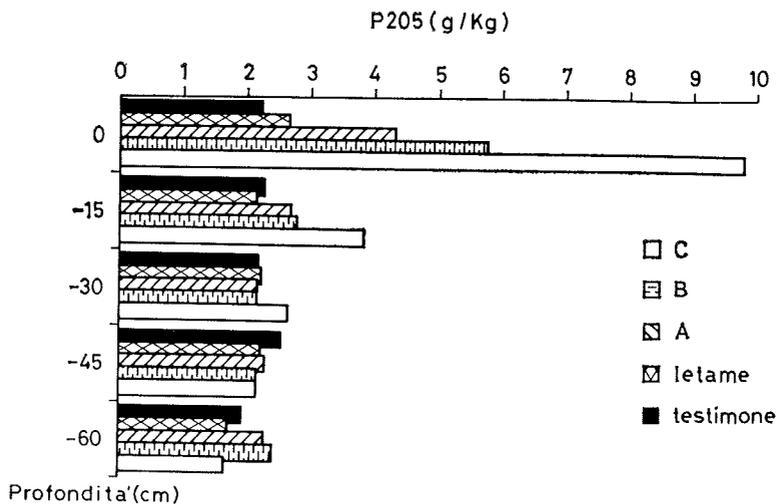


Figura 1 - Distribuzione del fosforo totale lungo il profilo.

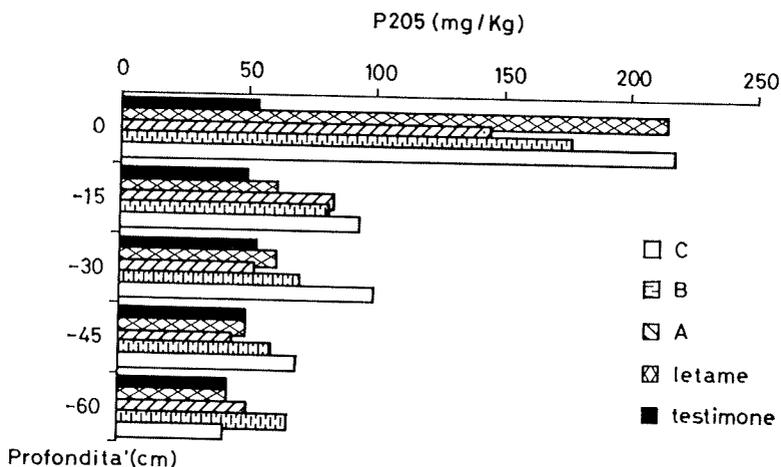


Figura 2 - Distribuzione del fosforo assimilabile lungo il profilo.

P₂₀₅ totale che per la dose maggiore giunge a valori 3.3 volte superiori al testimone. I dati mettono inoltre in risalto come la prima dose di fango, apportando la stessa quantità di sostanza secca del trattamento a letame, determini un incremento significativo nei livelli di fosforo totale rispetto a quest'ultimo.

L'aumento nel fosforo assimilabile delle tesi trattate con fango si protrae anche con la profondità, continuando a manifestarsi l'effetto positivo, per la dose maggiore, fino a 45 cm di profondità. Si potrebbe ipotizzare l'intervento del fosforo legato all'organico che, migrando in tale forma, si mantiene disponibile anche negli strati sottosuperficiali. Negli strati più profondi del vaso, non si osservano differenze tra i trattamenti; l'analisi delle acque di percolazione per quanto attiene al fosforo (Figura 3) confermano tale comportamento, che sembra addirittura, nel corso di un anno di campionamento, risultare in un leggero maggior trattenimento del fosforo da parte del terreno trattato con fanghi.

Le Figure 4, 5 riportano la ripartizione del fosforo ottenuta con l'impiego delle estrazioni sequenziali.

Per lo strato di incorporazione, si nota che i trattamenti e con fango e con letame inducono una maggior concentrazione di fosforo solubile, rispetto alla tesi a sola concimazione minerale, con incrementi più marcati per il letame; nello strato sottosuperficiale tali differenze si attenuano e, così come osservato con la estrazione in bicarbonato, la dose più elevata di fango è risultata l'unica in grado di elevare il tenore in fosforo solubile, sebbene fino a livelli nettamente inferiori a quelli del primo strato.

Analizzando le quote di ripartizione del fosforo tra le differenti forme, si nota che il fosforo solubile rappresenta per il letame il 15% del fosforo totale ritrovato, mentre per le tre dosi di fango solo il 3.3 - 3.8% del fosforo ritrovato è rappresentato da quello solubile.

Le quote di fosforo legato ad alluminio e ferro in forme non occluse sono influenzate positivamente dal trattamento con fango in entrambi gli strati, proporzionalmente alle dosi di impiego; tale forma risulta racchiudere la maggior parte del fosforo ritrovato nelle estrazioni dei terreni trattati con fango (dal 52 al 65%). Ad analoghi risultati sono pervenuti Soon e Bates (1982) i quali rilevano come usando fanghi trattati con calce circa il 50% del fosforo inorganico sia legato a Fe e Al, e Chang et al. (1983), che segnalano dopo 5 anni di trattamento con un fango anaerobio un aumento del fosforo legato a Fe e Al, fino al 60% del fosforo ritrovato.

Il fosforo legato al calcio aumenta sensibilmente sia nel primo che nel secondo strato dei terreni trattati con fango, parallelamente al maggior apporto di CaO indotto dal trattamento.

Il fosforo organico residuo (una piccola quantità risulta già solubilizzata durante l'estrazione con NaOH) risente del trattamento con le due dosi superiori di fango, soprattutto nel primo strato. La quota di ripartizione, per le tesi trattate, risulta oscillare dal 10 al 30% ed è sicuramente influenzata dal tipo di fango impiegato, nel quale solo il 10-30% del fosforo totale risulta essere in forma organica.

Nel secondo strato solo la seconda e terza dose di fango inducono un aumento rispetto al testimone, suggerendo una migrazione di questa forma di fosforo.

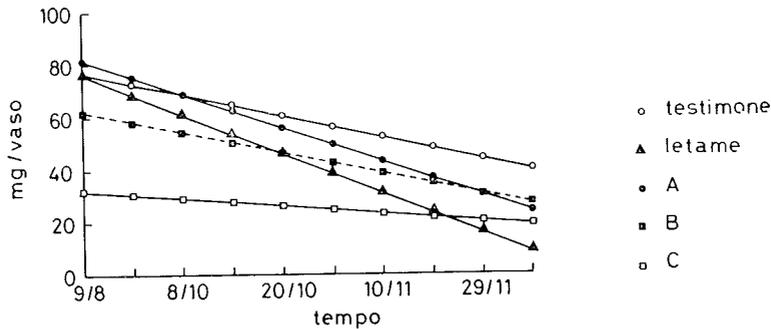


Figura 3 - Fosforo nelle acque di percolazione.

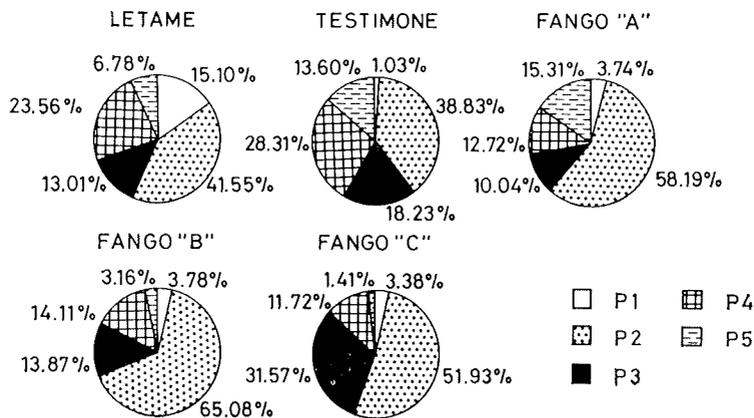


Figura 4 - Ripartizione del fosforo ottenuta con estrazioni sequenziali (I strato).

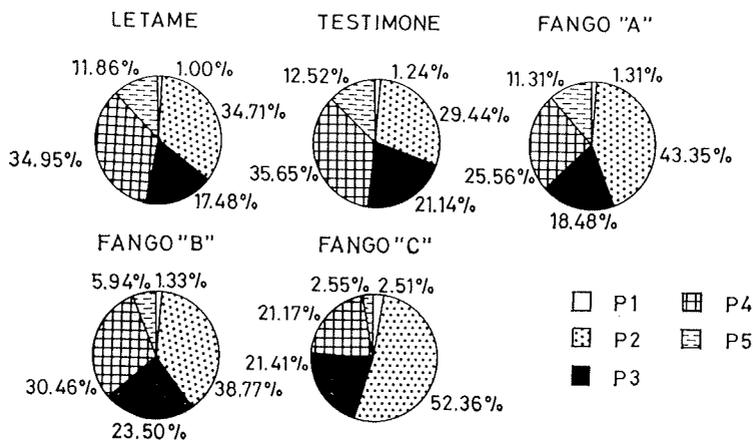


Figura 5 - Ripartizione del fosforo ottenuta con estrazioni sequenziali (II strato).

Il fosforo inorganico residuo mostra un aumento solo per la dose A, mentre per gli altri trattamenti la diminuzione è giustificabile con un aumento del fosforo nelle altre forme considerate.

L'applicazione ripetuta di un fango da metanazione condizionato con calce ad un terreno di medio impasto ha indotto un accumulo di fosforo totale negli strati superficiale e sottosuperficiale. Di tale fosforo solo una quota limitata, comparabile a quella che si libera in seguito ad una somministrazione di letame bovino pari a 250 q/ha di s.s., è presente in forma solubile, ed è in tale forma che si ritrova un leggero aumento negli strati più profondi.

Anche considerando la maggior facilità alla percolazione in una sperimentazione in vaso, è pertanto ipotizzabile una scarsa migrabilità del fosforo veicolato dal fango nei terreni agrari, e quindi un limitato rischio di inquinamento delle acque di falda.

Dopo tre anni di permanenza nel terreno, il fosforo sembra distribuirsi essenzialmente nelle frazioni P-Fe e P-Al in forma non occlusa; benchè si tratti di un fango condizionato con calce, pertanto, il fosforo tende a spostarsi verso forme di maggior disponibilità.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CHANG S. C., JACKSON M. L. - Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci* 84: 133, 1957.
- (2) CHANG A. C., PAGE A. L., SUTHERLAND F. H., GRGUREVIC E. - Fractionation of phosphorus in sludge-affected soils. *J. Envir. Qual.*, 12: 286, 1983.
- (3) FIFE C. V. - An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminium bound soil phosphate. 2. Preliminary studies on soils. *Soil Sci.* 87: 83, 1959.
- (4) GENEVINI P. L., VISMARA R., MEZZANOTTE V. - Utilizzo Agricolo dei Fanghi di Depurazione. *Ingegneria Ambientale*, Quaderno N. 5, pp. 134, 1986.
- (5) HANI H., GUPTA S. K., FURRER O. J. - Availability of phosphorus fractions in sewage sludge. In Hucker T.W.G., Catroux G.: « Phosphorus in Sewage Sludge and Animal Waste Slurries » D. Reidel Publ. Holland, 1981.
- (6) HIJLTJES A.H.M., LIJKLEMA L. - Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediment. *J. Environ. Qual.*, 9: 405, 1980.
- (7) OLSEN S. R., SOMMERS L. E. - Phosphorus in: A.L. Page et al. (ed) *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy* 9: 403. Am. Soc. of Agron., Madison, Wis, 1982.
- (8) SOON Y. K., BATES T. E. - Extractability and solubility of phosphate in soils amended with chemically treated sewage sludges. *Soil Sci.*, 2: 89, 1982.
- (9) WATANABE F. S., OLSEN S. R. - Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extract from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29: 677, 1965.
- (10) WILLIAMS J.D.H., SYERS J. K., WALKER T. W. - Fractionation of soil inorganic phosphorus by a modification of Chang and Jackson's procedure. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31: 736, 1967.

**Caratterizzazione chimica di acidi umici estratti da terreno
trattato con diverse dosi di fango**

ZACCHEO P. e GENEVINI P.L.

INTRODUZIONE

Il ruolo della sostanza organica nel mantenimento della fertilità di un terreno è strettamente dipendente dalle sue caratteristiche chimico-fisiche, che possono influenzare il suo comportamento nel suolo.

Lo studio delle caratteristiche della frazione umica della sostanza organica assume grande importanza parallelamente al sempre più diffuso impiego in agricoltura di sostanza organica di recupero, in primo luogo i fanghi di depurazione.

Con il presente lavoro si è voluto comparare gli acidi umici presenti in un terreno trattato con un fango di depurazione, con letame bovino e con soli concimi chimici, per quanto riguarda la loro composizione elementare e la caratterizzazione per gruppi funzionali.

MATERIALI E METODI

Origine degli acidi umici: terreni trattati per quattro anni con dosi crescenti di un fango misto urbano dopo metanazione (dosi pari a 250, 500, 1000 q/ha s.s.); terreni trattati con letame bovino in dose pari a 250 q/ha s.s.; terreno trattato di controllo.

Modalità di estrazione: secondo Schnitzer, con risospensione degli acidi umici liofilizzati in KOH 0.01 N e successiva dialisi.

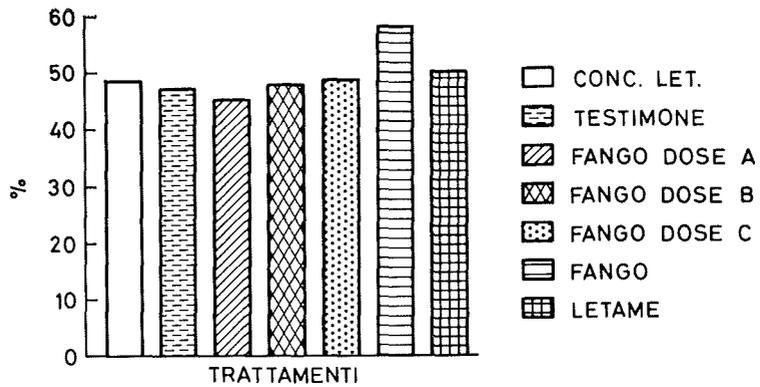
Caratterizzazione chimica:

analisi elementari con ANA 1500 Carlo Erba

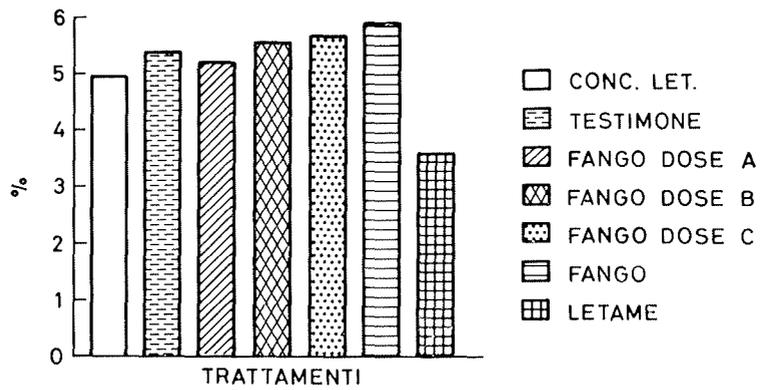
determinazione gruppi funzionali (sec. Schnitzer)

rapporto E4/E6 (sec. Schnitzer)

COMPOSIZIONE ELEMENTARE : CARBONIO



COMPOSIZIONE ELEMENTARE : AZOTO



COMPOSIZIONE ELEMENTARE : ZOLFO

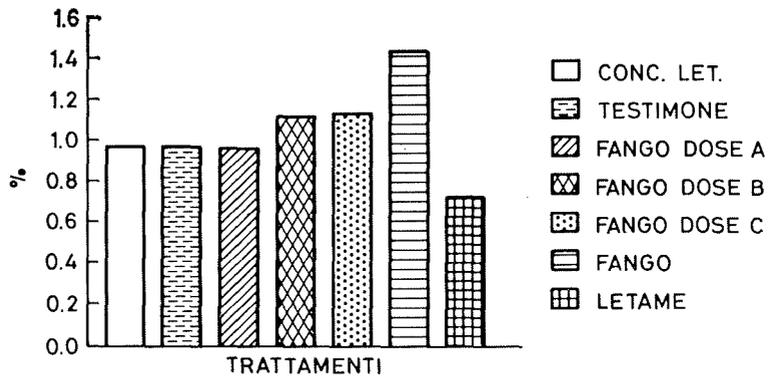
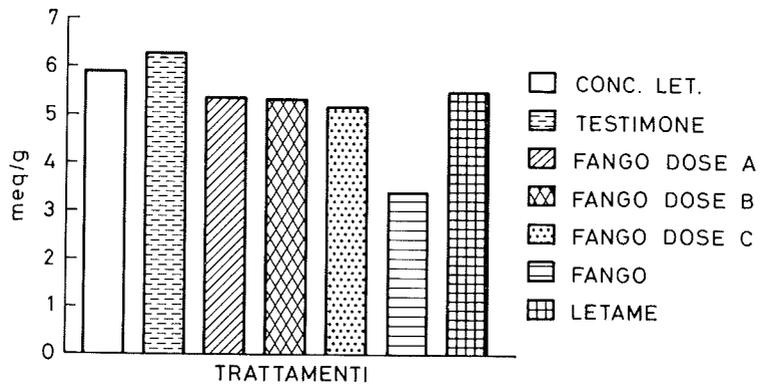
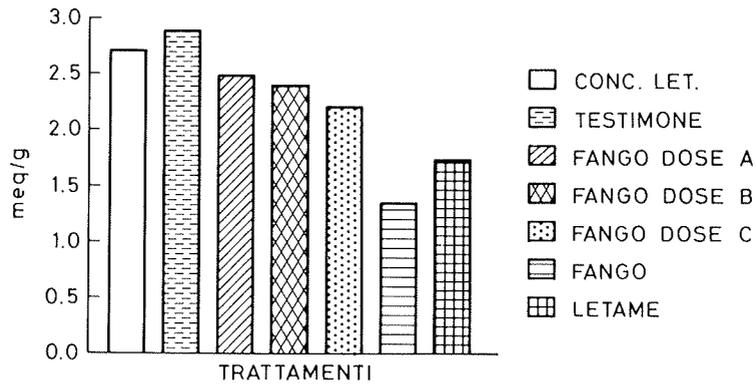


Figura 1 - Composizione percentuale in C, N, S.

ACIDITA' TOTALE



GRUPPI CARBOSSILICI



GRUPPI FENOLICI

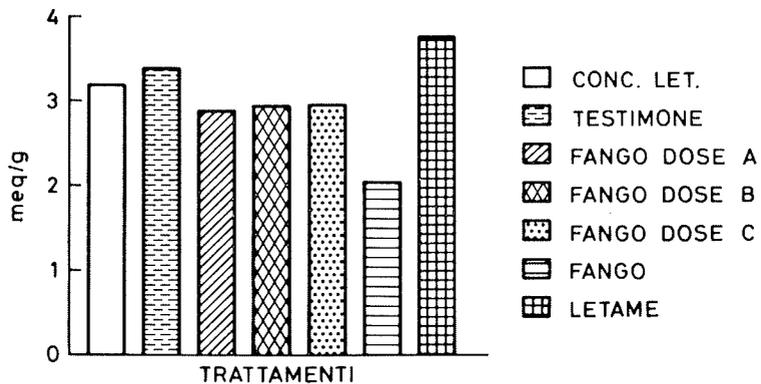
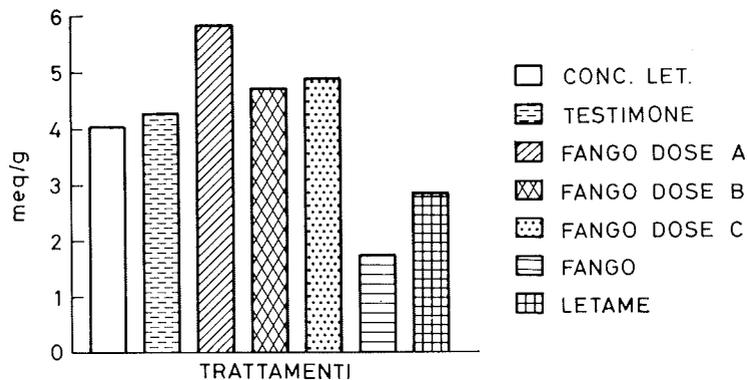


Figura 2 - Composizione in gruppi funzionali acidi e fenolici.

GRUPPI CARBONILICI



RAPPORTO E4/E6

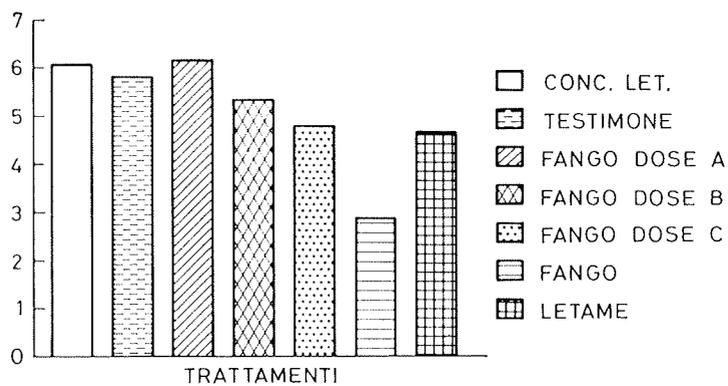


Figura 3 - Composizione in gruppi carbonilici e rapporto E₄/E₆.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Composizione elementare (Figura 1) — Il contenuto percentuale in C e N caratterizza tutti gli estratti quali acidi umici (HA). L'HA da fango si differenzia dagli altri per un maggior contenuto in C e N; l'HA da letame mostra, di contro, il minor contenuto percentuale in N. Tali differenze, peraltro, non hanno influenzato la composizione in C e N degli HA estratti dai terreni.

Gli HA da fango denunciano un contenuto percentuale elevato in S, e l'influenza sugli HA dei terreni si manifesta alle due dosi superiori di trattamento.

Caratterizzazione gruppi funzionali (Figura 2, 3a) — L'acidità totale è risultata nettamente superiore negli HA da letame rispetto a quelli da fango, e ciò spiega i risultati ottenuti per gli HA nel terreno.

Differenze più marcate, a sfavore del fango e dei terreni trattati con esso, si sono rilevate a carico dei gruppi carbossilici e fenolici, quest'ultimi limitatamente al fango tal quale.

Rapporto E_4/E_6 (Figura 3b) — L'HA da fango risulta avere un basso rapporto tra le assorbanze, rivelando un elevato grado di condensazione rispetto all'HA estratto da letame. La diminuzione nel rapporto riscontrata negli HA da terreni trattati con il fango è proporzionale con le dosi di impiego.

Esiste inoltre una proporzionalità inversa tra tale rapporto e l'acidità totale e i gruppi carbossilici; tale comportamento è congruo con quanto osservato.

Globalmente i risultati indicano che il fango in studio provoca la costituzione di una frazione umica del suolo lievemente inferiore qualitativamente, per la minor presenza di gruppi funzionali acidi.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BOYD S. A., SOMMERS L. E., NELSON D.W. - Changes in the humic acid fraction of soil resulting from sludge application. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 1179, 1980.
- (2) CHEN Y., SENESI N., SCHNITZER M. - Information provided on humic substances by E_4/E_6 ratios. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 352, 1977.
- (3) SCHNITZER M. - Organic Matter Characterization in: Page A:L. ed. *Methods of soil analysis*, ASA, Madison, USA, 1982.

Possibilità pratica di utilizzo di inibitori della nitrificazione nella realtà agricola della Valle Padana

SILVA S. *, FEDERICO GOLDBERG L. **

INTRODUZIONE

A conclusione di un quadriennio di esperienze, nel 1986 è stata ripetuta in pieno campo la sperimentazione su mais con gli inibitori di nitrificazione N-Serve e DCD (diciandiammide) alle dosi agronomiche di 31 k/ha e 24 kg/ha rispettivamente e a due livelli di concimazione: un livello NPK di 240-170-150 kg/ha che rappresenta l'apporto tradizionale e un livello dimezzato in tutti gli elementi nutritivi.

Nel corso della sperimentazione è stata seguita l'evoluzione nel tempo delle forme azotate minerali (Figure 1, 2) determinando ad intervalli regolari il contenuto dell'azoto ammoniacale e dell'azoto nitrico in campioni di terreno prelevati dallo strato superficiale di 0-20 cm e calcolando il tasso di nitrificazione nel tempo (Figura 3).

Sui campioni di terreno, parallelamente alle forme di azoto, sono state effettuate misure di pH, le cui variazioni riflettono la maggior velocità di nitrificazione rispetto alle tesi trattate con inibitore soprattutto in quelle interessate dalla dose intera di concimazione (Tabella 2).

RISULTATI E CONCLUSIONI

In ciascun livello di concimazione le rese produttive delle tesi con e senza inibitori sono tra loro indifferenziate (Tabella 1) mentre differenze produttive evidenti si rilevano tra i due livelli di concimazione.

Le tesi interessate dalla dose dimezzata di concime presentano produzioni di granella inferiori a quella della dose intera e, per le tesi omologhe trattate con inibitore, si osservano differenze più sensibili di quelle corrispondenti ai due controlli.

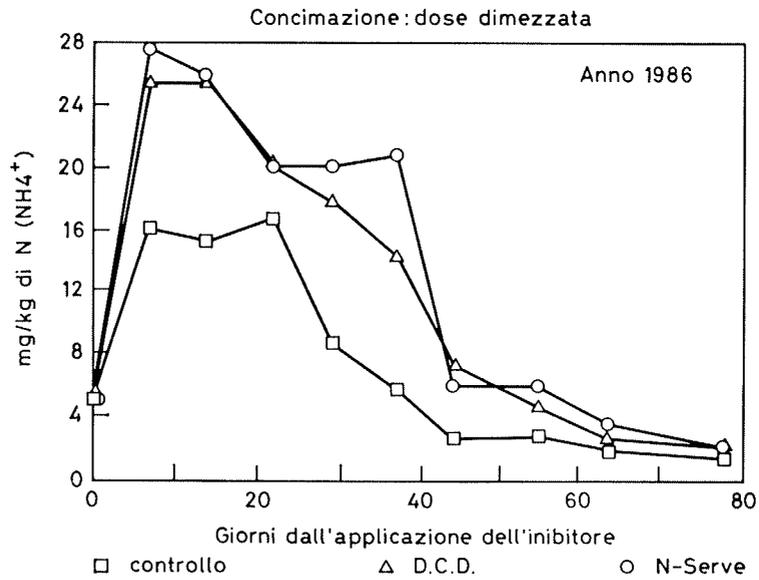
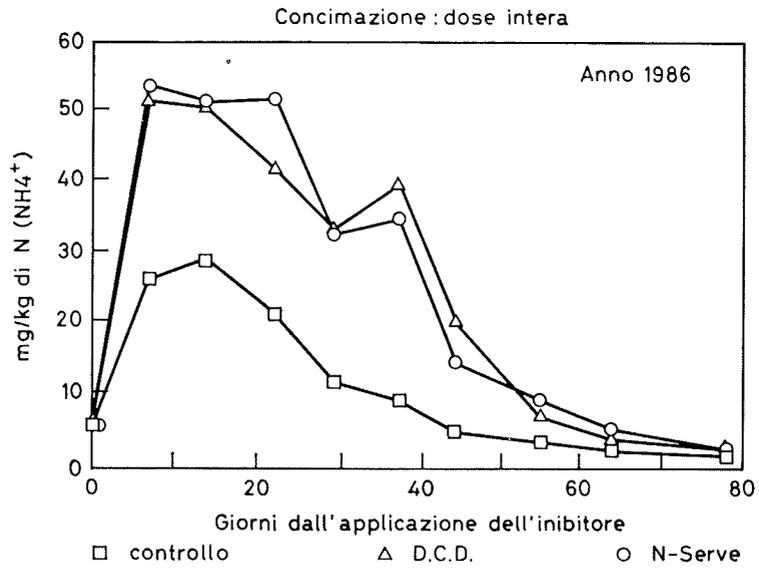


Figura 1 - Variazione del tenore di N (NH_4^+) nel suolo.

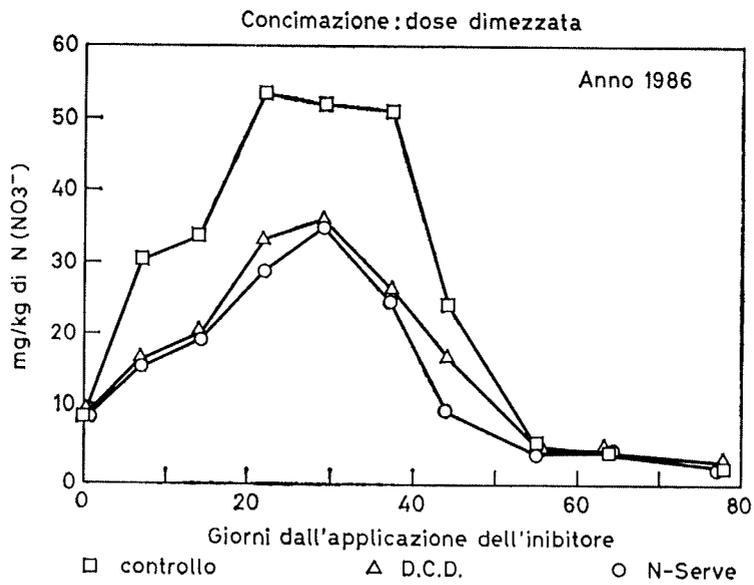
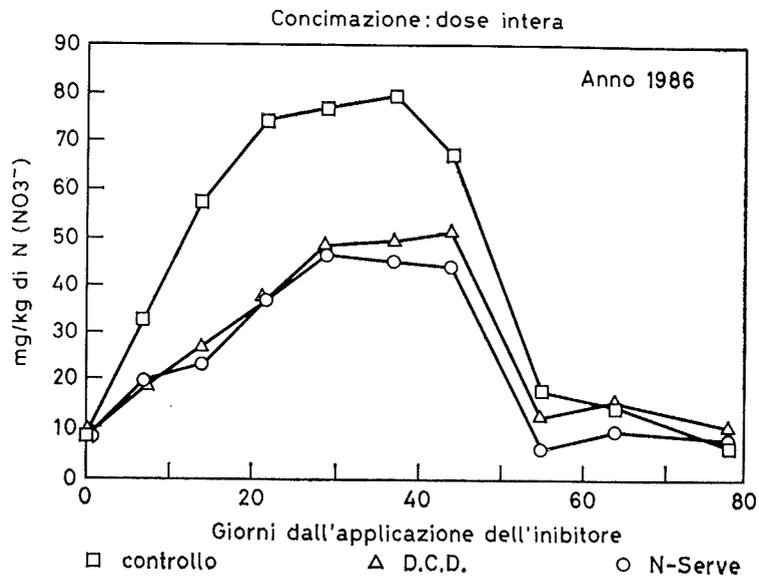


Figura 2 - Variazione del tenore di N (NO_3^-) nel suolo.

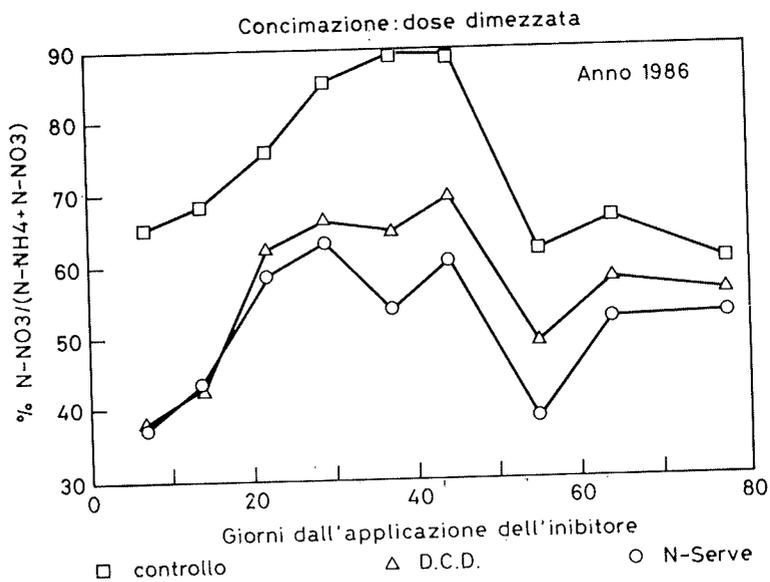
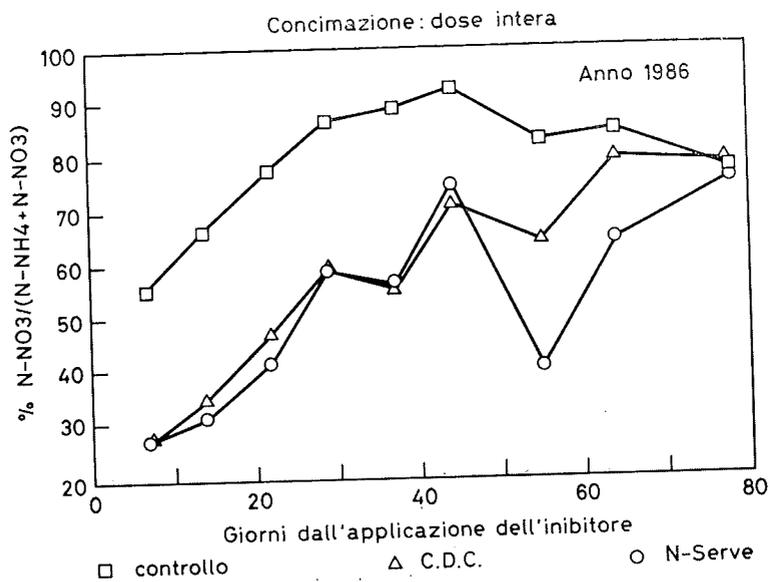


Figura 3 - Andamento del tasso di nitrificazione.

L'intervento di concimazione alla dose ridotta ha determinato una riduzione nella dotazione nutritiva azotata del suolo che si è riflessa anche in calo produttivo, indipendentemente dalla presenza dell'inibitore. Viceversa il livello più alto di concimazione, che ha fornito alla coltura una migliore disponibilità nutritiva, ha determinato un effetto positivo non solo sulla quantità di granella prodotta ma anche sul suo tenore azotato (Tabella 1).

TABELLA 1 - Produzioni di granella (q/ha) al 15,5% di umidità e contenuti medi percentuali di macroelementi - 1986.

Livello di concimazione: dose intera	Produzioni	N	P	K
Controllo	138,2	1,31	0,28	0,35
N-Serve	140,5	1,32	0,28	0,35
DCD	139,4 ns	1,33	0,27	0,34

Livello di concimazione: dose dimezzata	Produzioni	N	P	K
Controllo	131,1	1,20	0,28	0,35
N-Serve	129,6	1,21	0,29	0,35
DCD	128,5 ns	1,23	0,28	0,34

In ultima analisi il fattore concimazione risulta il solo a determinare differenze significative tra i dati produttivi e tra i tenori azotati della granella.

- E' confermata l'azione ritardante sulla nitrificazione dei prodotti N-Serve e DCD la cui azione, simile per intensità e durata, si esplica per 55-60 gg.;
- il periodo di tempo in cui si manifesta l'azione bloccante sulla microflora varia a seconda dell'annata agraria, verosimilmente in relazione all'andamento climatico;
- a livello suolo l'impiego degli inibitori riduce sensibilmente il rapporto tra azoto nitrico e azoto ammoniacale rispetto al controllo, ponendosi come mezzo reale di contenimento della contaminazione delle acque di falda e dei corpi idrici in generale;

TABELLA 2 - Valori medi di pH nei campioni di suolo prelevati nel periodo intercorso tra l'applicazione dell'urea con e senza inibitore e la raccolta - 1986.

Data di prelievo	13-5	20-5	27-5	4-6	11-6	19-6	26-6	7-7	16-7	30-7
Giorni dall'applicazione dell'urea	0	7	14	22	29	37	46	55	64	78
Livello di concimazione: dose intera										
Controllo	5.8	5.6 a	5.3 A	5.3 A	5.1 A	5.1 A	5.0 a	5.4 a	5.5	5.5
N-Serve	5.8	5.8 b	5.6 B	5.6 B	5.4 B	5.5 B	5.3 b	5.6 b	5.6	5.5
DCD	5.8	5.9 b	5.8 C	5.7 B	5.5 B	5.5 B	5.2 b	5.6 b	5.5	5.5
Livello di concimazione: dose dimezzata										
Controllo	5.8	5.6 a	5.3 A	5.3 A	5.2 A	5.2 A	5.3	5.7	5.6	5.6
N-Serve	5.8	5.8 b	5.7 B	5.5 B	5.5 B	5.6 B	5.4	5.8	5.7	5.7
DCD	5.8	5.8 b	5.7 B	5.6 B	5.5 B	5.5 B	5.5	5.7	5.7	5.7

I valori medi nella stessa colonna seguiti da lettere diverse, all'interno di ciascun livello di concimazione, sono statisticamente differenti: lettere maiuscole $P = 0,01$; lettere minuscole $P = 0,05$.

- nell'ambito di ciascuno dei due livelli di concimazione impiegati gli inibitori non influenzano le rese produttive che risultano indifferenziate rispetto ai corrispondenti controlli;
- l'apporto per due anni consecutivi di una quantità dimezzata di elementi nutritivi, in particolare di azoto, rispetto alla prassi locale ha determinato una riduzione della resa produttiva media in granella del 7% ;
- nell'ambiente agropedoclimatico lombardo, l'uso degli inibitori appare quindi come mezzo reale di contenimento delle perdite di azoto per dilavamento e/o denitrificazione ma non ha un effetto reale sulla resa produttiva. Costituisce quindi un notevole aggravio economico (dato il costo elevato dei due prodotti utilizzati) senza un riscontro diretto.

Si è ritenuto opportuno quindi saggiare mediante prove di laboratorio l'efficacia di un composto recentemente offerto dal mercato a costo relativamente modesto, un clorito modificato per trattamento con acqua ossigenata.

I primi risultati hanno dimostrato che tale composto, secondo le prescrizioni d'uso, ha una notevole azione inibitrice nei confronti della nitrificazione dell'azoto ammoniacale a partire dalla dose di 5 ppm di principio attivo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BORATYNSKI K., ZIETECKA M. - The effect of N-Serve on nitrification in soil and on the yields and chemical composition of plants. I Intensity of nitrification inhibition in relation at some properties, Polish J. Soil Sci. 15 (1): 75, 1982.
- (2) BORATYNSKI K., ZIETECKA M. - The effect of N-Serve on nitrification in soil and on the yields and chemical composition of plants. II The crop yields and the content of some mineral component in ryegrass, Polish J. Soil Sci. 15 (2): 145, 1982.
- (3) FEDERICO GOLDBERG L., SILVA S., FARINI A. - Gli inibitori della nitrificazione quale mezzo di protezione ambientale e di risparmio energetico. I Ann. Fac. Agr. U.C.S.C. 24: 183, 1984.
- (4) GASSER J.K.R. - Nitrification inhibitors - their occurrence, production and effect of their use on crop yields and composition, Soils Fert, 33: 547, 1970.
- (5) GUSTER R. - Field experiments on the nitrogen effect of cattle manure under supplementary application of dicyandiamide, Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 34: 83, 1982.
- (6) MALZER G. L., RANDELL G. W. - Influence of nitrification inhibitors, N source, and time of N application on yields and N utilization of corn, J. Fertil. Issues, 27: 117, 1985.
- (7) RODGERS G. A., PENNY A., HEWITT M. V. - Effects of nitrification inhibitors on uptake of mineralised nitrogen on yields of winter cereals grown on sandy soil after ploughing old grassland, J. Sci. Fd Agr., 36: 915, 1985.
- (8) SEQUI P., NANNIPIERI P. - Nitrification inhibitors and nutrient uptake by plant, « XVIII Colloquium of International Potash Institute Nutrient balance and fertilizer needs in temperate agriculture », Gardone Riviera, 1984.
- (9) SLANGEN J.H.C., KERHOFF P. - Nitrification inhibitors in agriculture and horticulture. A literature review, Fertil. Res., 5: 1, 1984.

Effetti di piogge acide simulate su alcuni parametri microbiologici e chimici del suolo

SORLINI C. *, GIGLIOTTI C. **, FEDERICO GOLDBERG L. **

INTRODUZIONE

Le conoscenze sinora acquisite circa l'impatto delle piogge acide sul sistema suolo/pianta riguardano un numero limitato di gruppi microbici (1-5), di attività biologiche (6-11), di parametri chimici (12-20) e i risultati acquisiti sono spesso contraddittori. Si è ritenuto opportuno quindi approfondire il problema.

MATERIALI E METODI

Sono stati utilizzati campioni di terreno prelevati da un appezzamento del milanese, coltivato per decenni a marcita, successivamente a risaia alternata a marcita e ospitante da circa un quarantennio colture orticole.

Trenta aliquote di 300 g ciascuna, setacciate a 4 mm e essiccate all'aria, erano poste in colonne di plastica (9x15) con fondo forato (1,2 mm) ricoperto all'interno da uno strato di lana di vetro e da un disco di carta da filtro, e sottoposte al trattamento con soluzioni acquose, aventi tre differenti valori di pH, preparate partendo da una soluzione madre costituita da H_2SO_4 e HNO_3 in un rapporto in g-equivalenti di 2,5:1 e opportunamente addizionata con una soluzione di NaOH fino a raggiungere il pH desiderato.

Più dettagliatamente 10 cilindri erano trattati con piogge a pH 4, 10 con piogge a pH 3.1 e altri 10, considerati come controllo, con piogge a pH 5.6. La « pioggia » veniva fatta gocciolare sui campioni di terreno da un serbatoio cilindrico il cui fondo, forato, era attraversato da fili di cotone che consentivano la caduta lenta e regolare delle gocce di acqua.

I campioni di suolo erano tenuti per tutta la durata dell'esperimento in camera termostata alla temperatura di 28°C.

Sono stati distribuiti settimanalmente per tutta la durata della prova 125 mm di soluzione per ogni campione.

Dopo 4, 10, 16 settimane venivano prelevati 3 cilindri campioni, per ognuno dei diversi valori di pH usati.

Il terreno estratto dai cilindri era fatto essiccare all'aria, setacciato a 2 mm e successivamente sottoposto all'analisi microbiologica e chimica.

Il controllo è stato effettuato oltre che con campioni non trattati anche con piogge aventi pH 5,6, convenzionalmente considerato come valore normale di acidità di una pioggia non inquinata, al fine di valutare gli effetti determinati dall'acidità separatamente da quelli determinati dagli elevati volumi di acqua distribuiti.

Analisi microbiologiche

I seguenti microrganismi erano valutati a 28°C sia in terreni colturali liquidi che agarizzati, inoculati con diluizioni successive in base dieci dei campioni.

Il conteggio nei terreni colturali liquidi veniva effettuato con il metodo del Most Probable Number, utilizzando le tavole statistiche di Mc Grady (21):

- Schizomiceti aerobi eterotrofi: Plate Count Agar Difco;
- Eumiceti: agar malto addizionato di ossitetraciclina (100 γ /ml);
- Batteri solfoossidanti: terreno agarizzato dell'American Type Culture Collection (22);
- Batteri ammonificanti: terreno liquido secondo Pochon (23);
- Batteri azotofissatori: terreno liquido secondo Pochon (23);
- Batteri nitrosanti: terreno liquido secondo Pochon (23);
- Batteri nitricanti: terreno liquido secondo Pochon (23);
- Batteri denitrificanti: terreno liquido secondo Pochon (23).

Ogni dato è stato riferito a 1 grammo di peso secco.

Analisi chimiche

I parametri chimici esaminati sono stati i seguenti:

- pH in acqua;
- pH in potassio cloruro;
- Capacità di scambio cationico (C.S.C.);

- Acidità complessiva;
- Acidità di scambio;
- Alluminio di scambio;
- P_2O_5 assimilabile.

Le determinazioni sono state eseguite secondo i metodi normalizzati di analisi del suolo della S.I.S.S. (24).

RISULTATI E CONCLUSIONI

Il trattamento con piogge acide non ha determinato variazioni significative delle cariche degli eumiceti, degli aerobi eterotrofi generici e dei batteri denitrificanti e degli ammonificanti, sia rispetto a campioni non trattati che a quelli trattati a pH 5.6. Per gli altri gruppi microbici le variazioni più sensibili sono state rilevate dopo il trattamento a pH 3.1 dopo 16 settimane: i batteri nitrosanti hanno subito un calo di circa 35 volte rispetto ai campioni non trattati e di circa 7 volte rispetto a quelli trattati con acque a pH 5.6 (Figura 1); i batteri solfossidanti sono calati di circa 10 volte rispetto ai campioni non trattati e di circa 30 volte rispetto ai campioni trattati a pH 5.6 (Figura 2). Infine variazioni significative delle cariche dei batteri azotofissatori sono state rilevate sia nei campioni che nei controlli trattati a pH 5.6 rispetto ai controlli non trattati (Figura 3).

I valori delle cariche microbiche, dopo trattamento con piogge simulate a pH 5.6, 4.0 e 3.1 per 4 - 10 - 16 settimane, rappresentano la media di 3 campioni analizzati separatamente, di cui è stato determinato l'intervallo fiduciale ($I = I.F.$ al 95%).

I risultati analitici relativi ai parametri chimici hanno evidenziato un abbassamento significativo dei valori di pH in acqua e in KCl in conseguenza del trattamento con la soluzione più acida (Figure 4, 5), trattamento che ha causato anche un significativo incremento dell'acidità di scambio (Figura 6). Il trattamento a pH 4 e in misura più accentuata quello a pH 3.1 hanno determinato un netto incremento dell'alluminio di scambio; evidenziatosi, sia pure in piccola misura, anche nei controlli (Figura 7). L'acidità complessiva ha avuto un andamento discontinuo (Figura 8).

I valori relativi alle analisi chimiche rappresentano la media di 3 campioni analizzati separatamente, sui quali è stata effettuata l'analisi della varianza e successivo test di Duncan.

Nelle condizioni sperimentali adottate i gruppi microbici più sensibili alle piogge acide sono risultati essere i batteri solfossidanti e nitrosanti il cui numero ha subito un calo netto dopo trattamento a pH 3.1 e 4.0. Le variazioni delle cariche dei batteri azotofissatori (aumento seguito da decremento e suc-

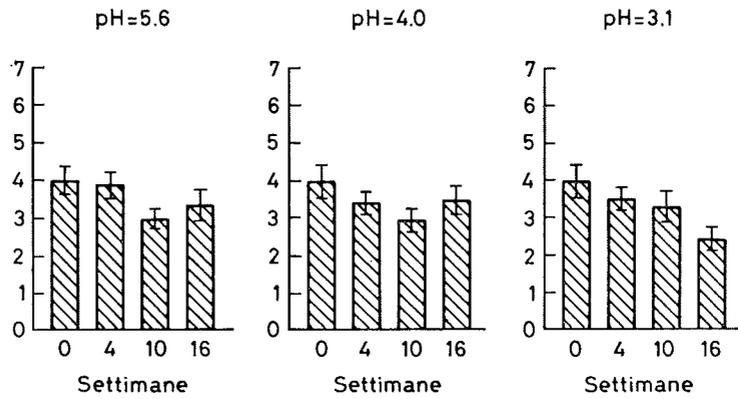


Figura 1 - Nitrosanti - Cariche microbiche espresse in log numero.

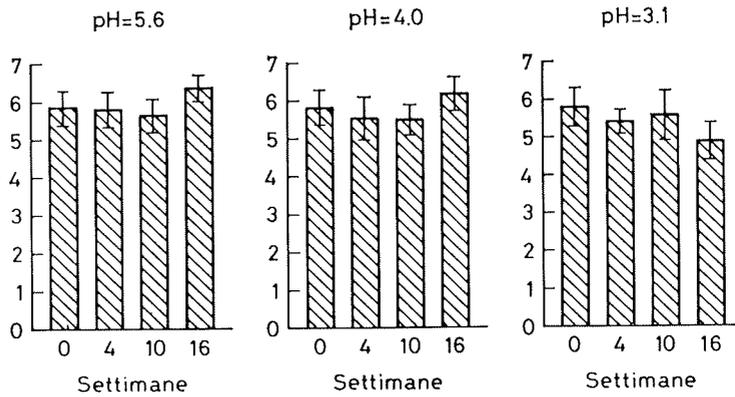


Figura 2 - Solfossidanti - Cariche microbiche espresse in log numero.

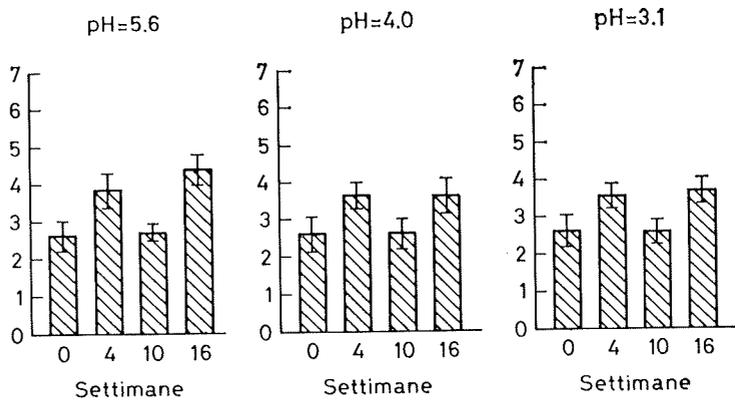


Figura 3 - Azotofissatori - Cariche microbiche espresse in log numero.

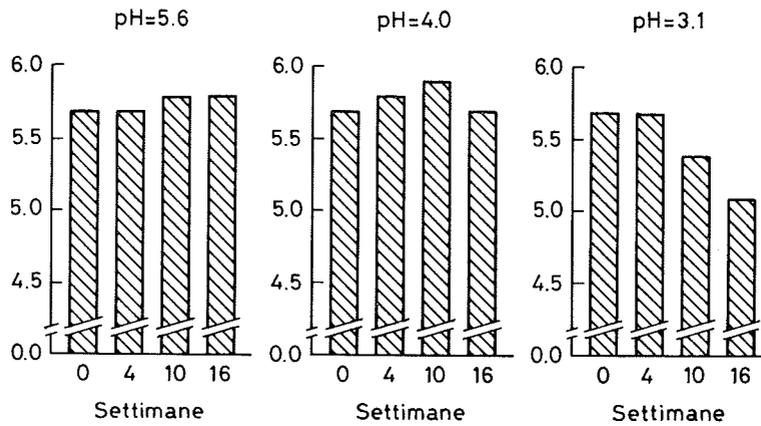


Figura 4 - pH in acqua.

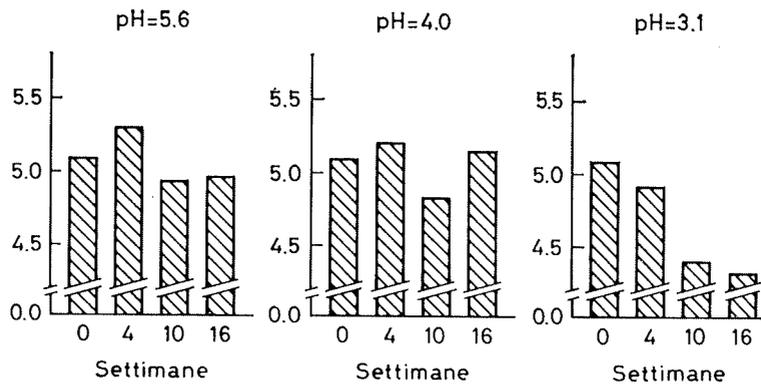


Figura 5 - pH in potassio cloruro.

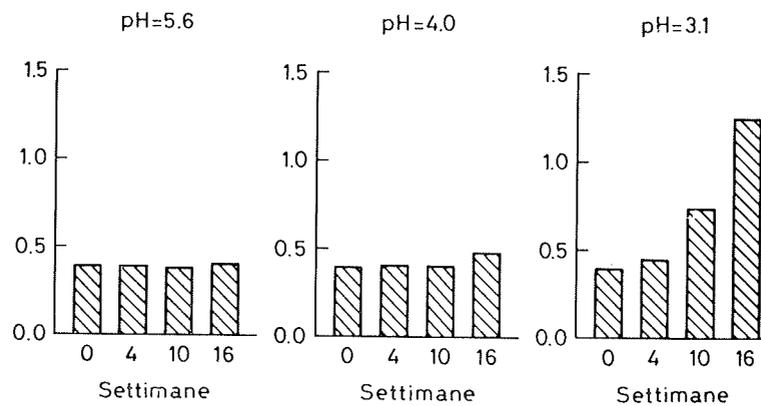


Figura 6 - Acidità di scambio espressa in meq/100 g.

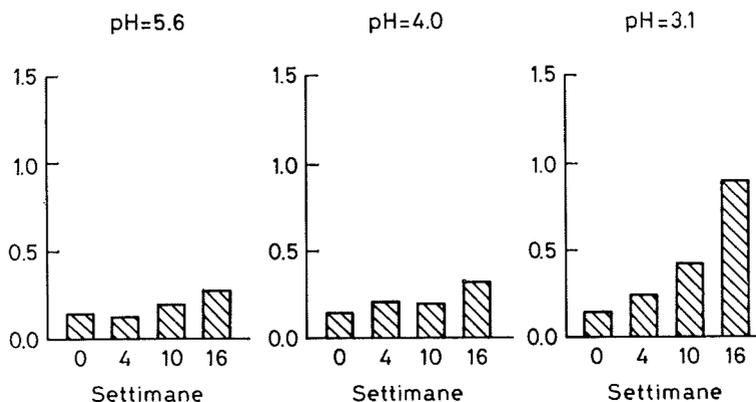


Figura 7 - Alluminio di scambio espresso in meq/100 g.

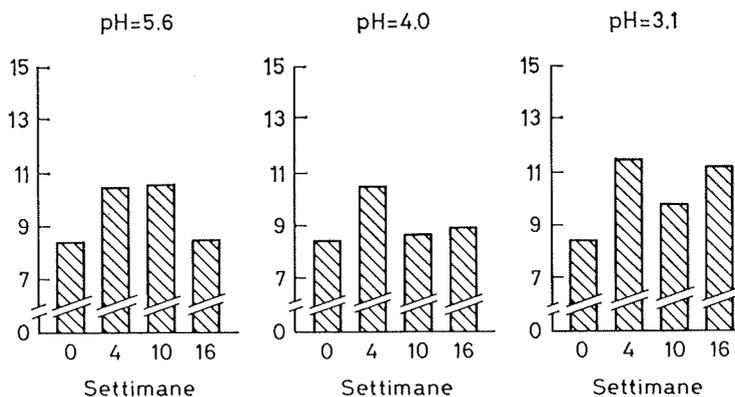


Figura 8 - Acidità complessiva espressa in meq/100 g.

cessivo incremento) riscontrate sia nei campioni trattati con piogge a pH 3.1 e 4.0 che nel controllo trattato con pioggia a pH 5.6 sono presumibilmente da imputarsi alle condizioni ambientali create dall'acqua e non all'acidità.

Variazioni significative in seguito a trattamento acido si sono rilevate anche in diversi parametri chimici: abbassamento del pH in acqua ed in KCl, incremento dell'acidità complessiva, incremento dell'alluminio di scambio. L'andamento discontinuo dell'acidità complessiva è presumibilmente da attribuire alla concomitanza tra apporto e dilavamento degli acidi veicolati dalle piogge simulate.

Anche se di carattere preliminare, le esperienze finora effettuate confermano le osservazioni di alcuni AA circa il grave impatto delle piogge acide

sulla fertilità chimica e microbiologica del suolo. Esse costituiscono quindi le premesse per ulteriori approfondite indagini intese a verificare, operando su più terreni, altre eventuali modificazioni dei parametri microbiologici (cariche e attività) maggiormente interessati ai cicli degli elementi nutritivi e, soprattutto, l'eventuale scomparsa di specie nell'ambito dei gruppi microbici ricercati. Da un punto di vista strettamente chimico oltre ai parametri già considerati saranno oggetto di studio il dilavamento degli elementi nutritivi e la mobilizzazione dei metalli pesanti.

BIBLIOGRAFIA

- (1) LANGKRAMER D., LETTL A. - Influence of industrial atmospheric pollution on soil biotic component of Norway Spruce stands. *Zbl. Mikrobiol.*, 137: 180, 1982.
- (2) LOHM V. - Effects of experimental acidification on soil organism populations and decomposition. *Proc. Int. Conf. ecol. impact acid precipit. Norway, 1980 SNSF project.*
- (3) BEWLEY R.J.F., PARKINSON D. - Effects of sulphur dioxide pollution on forest soil microorganisms. *Can. J. Microbiol.*, 30: 179, 1984.
- (4) FRANCIS A. J. - Acid rain effects on soil and aquatic microbial processes. *Experientia* vol. 42: 455, 1986.
- (5) BAATH E., LUNDGREN B., SODERSTROM B. - Fungal populations in podzolic soil experimentally acidified to simulate acid rain. *Microb. Ecol.*, 10: 197, 1983.
- (6) LETTL A., LANGKRAMER D., LOCHMAN V., and JACKS M. - Effect of industrial immissions with high sulphur dioxide content on Thiobacilli and oxidative activity of Spruce forest soil towards inorganic sulphur compounds. *Folia Microbiol.*, 26: 151, 1981.
- (7) ALEXANDER M. - Effects of acid precipitation on biochemical activities in soil. *Proc. Int. Conf. ecol. impact acid precip. Norway, 1980 SNSF project.*
- (8) WILL M. E., GRAETZ D. A., ROOF B. S. - Effect of simulated acid precipitation on soil microbial activity in a typical quartzsammment. *J. Environ. Qual.*, 15: 399, 1986.
- (9) FRANCIS A. J., OLSON D., BERNATSKY R. - Effect of acidity on microbial processes in a forest soil. *Proc. Int. Conf. ecol. impact acid precipitation Norway, 1980 SNSF project.*
- (10) NOVICK N. J., KLEIN T. M., ALEXANDER M. - Effect of simulated acid precipitation on nitrogen mineralization and nitrification in forest soils. *Water, Air and Soil Pollution*, 23: 317, 1984.
- (11) BROWN K. A. - Acid deposition: effects of sulphuric acid at pH 3 on chemical and biochemical properties of bracken litter. *Soil Biol. Biochem.*, 17: 31, 1985.
- (12) LAST F. T., LIKENS G. E., ULRICH B., WALLOE L. - Acid precipitation - progress and problems Conference summary. *Proc. Int. Conf. ecol. impact acid precip. Norway, 1980 SNSF project.*
- (13) HERRMANN R., BARON J. - Aluminum mobilization in acid stream environments, Great Smoky Mountains National Park, U.S.A. *Proc. Int. pa. conf. ecol. acid precip. Norway, 1980 SNSF project.*
- (14) FARRELL E. P., NILSSON I., TAMM C. O., WIKLANDER G. - Effects of acidification with sulphuric acid chemistry in a Scots pine forest. *Proc. Int. conf. ecol. acid precip. Norway, 1980 SNFS project.*
- (15) HAYNES R. - Laboratory study of soil acidification and leaching of nutrients from soil amended with various surface-incorporated acidifying agents. *Fertilizer Research*, 10: 165, 1986.
- (16) ARES J. - Identification of aluminium species in acid forest soil solutions on the basis of Al:F reaction kinetics: 1. reaction paths in pure solutions. *Soil Science*, 141: 399, 1986.
- (17) CHANG F., ALEXANDER M. - Effect of simulated acid precipitation on decomposition and leaching of organic carbon in forest soils. *Soil Science*, 138: 226, 1984.

- (18) JARVIS S. C. - Forms of aluminium in some acid permanent grassland soils. *J. Soil Science*, 37: 211, 1986.
- (19) STUANES A. O. - Effects of acid precipitation on soil and forest - 5. Release and loss of nutrients from a Norwegian forest soil due to artificial rain of varying acidity. *Proc. Int. conf. ecol. acid precip. Norway, 1980 SNSF project*.
- (20) MALMER N. - Acid precipitation: chemical change in the soil. *AMBIO*, 5: 231, 1976.
- (21) HARRIGAN W. C., McCANCE M. E. - *Laboratory methods in Food and Dairy Microbiology*. London. Academic Press, 1966.
- (22) CNR - ICR Normal - 9/12 - Microflora autotrofa ed eterotrofa: tecniche di isolamento in coltura pura. Roma, Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto Centrale di Restauro, 1982.
- (23) POCHON J., TARDIEUX P. - *Techniques d'analyse en microbiologie du sol*. St. Mandè. Ed de la Tourelle, 1962.
- (24) Società Italiana della Scienza del Suolo - *Metodi normalizzati di analisi del suolo*. Ed. Edagricole, 1985.

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI
E MICROBIOLOGICHE - SEZIONE MICROBIOLOGIA AGRARIA,
ALIMENTARE, ECOLOGICA - UNIVERSITA' DI MILANO *

ISTITUTO DI CHIMICA AGRARIA - UNIVERSITA' DI MILANO **

Effetti della nitrapirina (N-Serve) sull'attività e sulle cariche di alcuni gruppi batterici

ALLIEVI L. *, GIGLIOTTI C. **, FEDERICO GOLDBERG L. **

INTRODUZIONE

L'impiego di concimi minerali azotati in dosi scelte in funzione della massima resa produttiva delle colture ha portato ad una eccessiva presenza nel suolo coltivato di composti azotati inorganici, e prevalentemente di nitrati, derivanti in particolare dal processo di nitrificazione. Questo provoca perdite, soprattutto per dilavamento, che possono arrivare al 50% dell'azoto applicato (1) e che comportano anche problemi di inquinamento ed eutrofizzazione delle acque. Per limitare il fenomeno sono stati studiati e vengono impiegati degli inibitori di nitrificazione, il più efficace dei quali è risultata la 2-cloro-6-triclorometilpiridina (N-Serve). Tenendo presente la possibilità che tale sostanza interferisca anche con gli altri processi, alcuni Autori hanno preso in considerazione le principali attività biologiche che si svolgono nel terreno, quali la denitrificazione o in generale la nitrato-riduzione, l'ammonificazione, l'ureolisi, l'ossidazione dello zolfo, la metanogenesi, nonché l'attività respiratoria espressa come sviluppo di CO₂, studiandone le eventuali modificazioni in presenza di N-Serve a varie dosi. Tali ricerche sono state condotte prevalentemente mediante test d'incubazione, mentre più raramente sono state studiate le variazioni nelle cariche dei microrganismi responsabili del processo considerato. I risultati ottenuti sono relativamente contraddittori (1, 12). In particolare il processo di denitrificazione è risultato in molti casi inibito, ma altre volte non influenzato o perfino stimolato, senza una chiara relazione con le dosi di inibitore impiegate (13, 19).

In questa sede vengono riportati i primi risultati di un'indagine sugli effetti dell'aggiunta di N-Serve alla dose di 50 ppm (12 ppm come principio attivo in CH_2Cl_2), a carico di tre importanti processi biologici del terreno: attività totale (sviluppo di CO_2), nitrificazione, denitrificazione.

Lo studio è stato condotto valutando le alterazioni a carico sia delle attività considerate, stimate mediante test d'incubazione, che delle cariche dei microrganismi responsabili di tali attività (totale aerobi, nitrificanti, denitrificanti).

MATERIALI E METODI

Si è operato su un suolo franco sabbioso proveniente da un'azienda agricola del bresciano.

Per valutare l'influenza dell'inibitore sulle attività microbiologiche si è operato nel modo seguente:

- Nitrificazione: 20 g di suolo, secco all'aria e setacciato a 2 mm, sono stati posti in tubo da centrifuga, addizionati di 5 mg di N-NH_4 + acqua fino al 50% della capacità idrica massima, e messi ad incubare alla temperatura di 25°C. Nei giorni 6, 9, 14, 20 si è dosato l'azoto nitrico, estratto agitando per 30 minuti il campione addizionato con 50 ml di acqua deionizzata, con elettrodo specifico.
- Denitrificazione: 20 g di suolo, secco all'aria e setacciato a 2 mm, sono stati posti in tubo di Pankhurst addizionati di 5 ml di acqua in atmosfera di He /acetilene e preincubati a 25°C per 48 ore. Successivamente si è proceduto all'aggiunta di 5 ml di una soluzione contenente 2 mg di azoto nitrico come KNO_3 . La produzione di N_2O è stata determinata per via gascromatografica prelevando ad opportuni intervalli di tempo (1, 2, 3, 4, 8, 10 giorni) 0,5 ml del gas presente nei tubi posti ad incubare.
- Attività aerobica totale (respirazione): 60 g di suolo portato al 50% della capacità idrica massima sono stati posti in recipienti della capacità di 1 litro, chiusi ermeticamente. Incubazione a 25°C per 12 giorni; dosaggio della CO_2 prodotta mediante titolazione, con HCl in presenza di fenolftaleina, di una soluzione di NaOH 0,1 N posta in becker all'interno del contenitore.

Per ogni attività saggiata, i dati relativi ad ogni scadenza d'incubazione sono stati elaborati mediante analisi della varianza.

Per la rilevazione dell'influenza sulle cariche microbiche, piastre Petri da 15 cm contenenti aliquote di 40 g peso secco della terra, portata e mante-

nuta al 50% della capacità idrica massima, sono state incubate a 20°C per 15 giorni. I trattamenti sono stati saggiati secondo il seguente schema:

- 3 piastre trattate con 50 ppm di N-Serve (pari a 12 ppm di principio attivo in CH_2Cl_2);
- 3 piastre trattate con solo CH_2Cl_2 , in quantità pari a quello contenuto nelle precedenti;
- 3 piastre con terra non trattata.

A fine incubazione, separatamente per ogni piastra la terra è stata posta ad asciugare in luogo fresco e buio, raccolta in becker di vetro e conservata a 4°C fino al momento dell'analisi. Per ogni gruppo microbico considerato, le determinazioni di carica microbica sono state condotte come segue:

- Totale aerobi: allestimento di piastre con diluizioni successive in base 10 della terra in esame ed agar estratto di terra come terreno colturale (20); incubazione a 28°C per 7 gg; conteggio delle colonie cresciute.
- Nitrificanti: inoculazione di diluizioni successive della terra in provette contenenti terreno colturale all'ammonio (20); incubazione a 28°C per 40 gg; rilevazione di nitriti e/o nitrati per mezzo del reattivo alla difenilamina, per il calcolo del MPN di batteri.
- Denitrificanti: ci si è basati su un metodo da noi precedentemente messo a punto (in corso di pubblicazione) e su quanto già sperimentato da Gamble *et al.* (21); dalle colonie cresciute sulle piastre del totale aerobi (batteri aerobi ed anaerobi facoltativi) sono state allestite colture in tubi di Pankhurst contenenti un terreno colturale a base di estratto di terra (glucosio 10 g, KNO_3 2 g, $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ 1 g, estratto di terra (20) 1000 ml); incubazione a 28°C per 15 gg dopo sostituzione dell'atmosfera nei singoli tubi con He/acetilene 90:10 v/v; ricerca gascromatografica qualitativa del N_2O per stabilire se i ceppi costituenti le colonie saggate possedevano capacità denitrificante. Veniva così calcolata sia la percentuale di batteri denitrificanti che la loro carica, riferendosi alla conta in piastra di partenza.

I dati microbiologici sono stati elaborati mediante analisi della varianza e successivo test di Duncan.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Nelle Figure 1, 3, 5 sono riportate le curve relative alle attività saggate mediante i test d'incubazione. Le Figure 2, 4, 6 riportano le medie delle cariche microbiche rilevate nella terra a 15 gg dai trattamenti, accompagnate dai

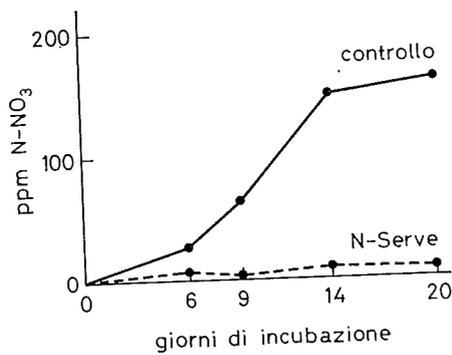


Figura 1 - Attività nitrificante

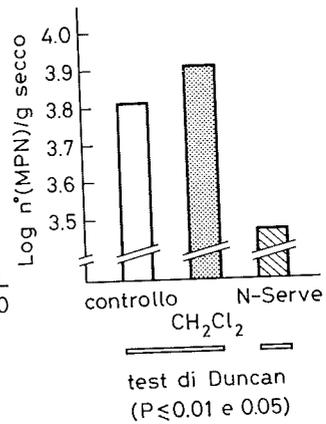


Figura 2 - Nitrificanti

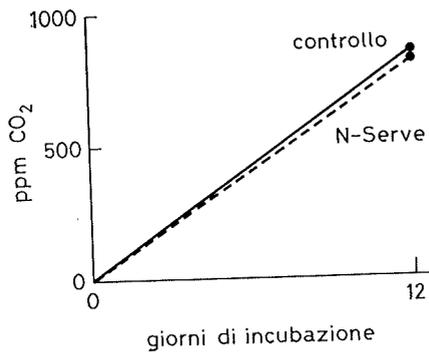


Figura 3 - Attività microbica totale

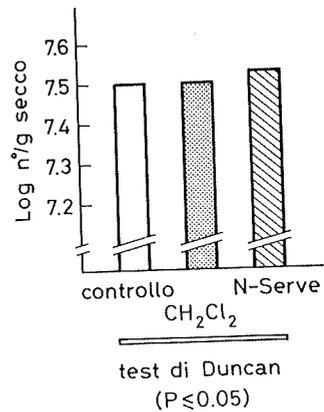


Figura 4 - Totale aerobi

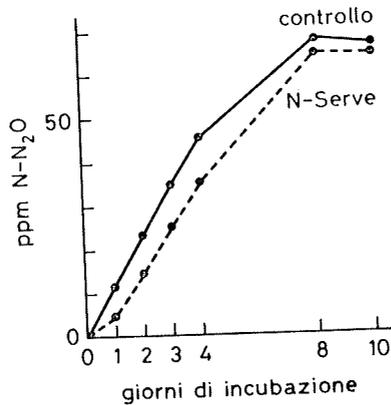


Figura 5 - Attività denitrificante

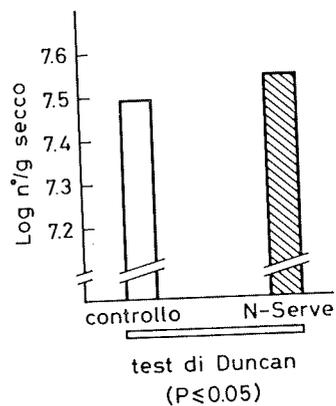


Figura 6 - Denitrificanti

risultati del test di Duncan. Ogni curva di attività può essere confrontata con la situazione delle cariche relative ai microrganismi in tale attività coinvolti.

E' da osservare innanzitutto come ad un atteso blocco, pressochè totale, della nitrificazione (Figura 1) dovuto all'alta dose di inibitore impiegata, corrisponda, almeno dopo soli 15 gg, una diminuzione delle cariche (Figura 2) che se pur altamente significativa all'analisi statistica è tuttavia ben lontana dal rappresentare una completa scomparsa dei batteri nitrificanti. Si è verificato infatti solo un dimezzamento del loro numero. Appare quindi confermato che il principio attivo del N-Serve agisce a livello dell'attività batterica piuttosto che con un effetto direttamente battericida (22); drastiche riduzioni nelle cariche potrebbero eventualmente verificarsi a più lungo termine come conseguenza del protrarsi di una situazione di sofferenza nella popolazione microbica colpita.

L'attività microbica eterotrofa totale, espressa come sviluppo di CO₂ (Figura 3), non mostra di essere sostanzialmente influenzata dal N-Serve: anche all'analisi statistica la differenza risulta non significativa. In conseguenza del trattamento con l'inibitore, si delinea un aumento della carica batterica eterotrofa (Figura 4) che sfiora la significatività statistica ($p \leq 0,05$). L'entità di tale aumento (da 32 a 34 milioni di batteri per g) è tuttavia irrilevante dal punto di vista pratico.

Per quanto riguarda l'attività denitrificante infine, le curve riportate in Figura 5 indicano un rallentamento iniziale del processo in presenza di N-Serve. Le differenze risultano statisticamente significative solo dal 1° al 4° giorno. Dopo il ritardo iniziale nel primo giorno di incubazione, il processo sembra proseguire inalterato rispetto al controllo, fino al raggiungimento di plafond simili. I dati microbiologici finora disponibili (Figura 6) sono solo indicativi essendo basati su un numero di rilevazioni troppo limitato, che permetterebbe di evidenziare solo differenze macroscopiche. Pur con tale limitazione, da questi dati non emerge un'azione del N-Serve sulla carica dei denitrificanti. L'effetto deprimente appare quindi esercitato nei confronti della loro attività e limitato alle prime fasi dopo l'applicazione.

In conclusione, i dati finora ottenuti indicano che l'impiego di N-Serve alla dose di 50 ppm, al di là di uno scontato effetto sulla attività nitrificante autotrofa, non esplica duraturi effetti sul complesso dell'attività microbica eterotrofa, responsabile della maggioranza dei processi biologici nel terreno. E' risultato tuttavia evidenziato un effetto deprimente sulla trasformazione di azoto nitrico in composti gassosi, limitato ad un breve periodo dopo il trattamento.

Questo può essere interpretato come un ulteriore effetto positivo dell'uso dell'inibitore studiato, in quanto può comportare una certa limitazione anche delle perdite d'azoto sotto forma di N₂.

BIBLIOGRAFIA

- (1) GOLDBERG FEDERICO L., FARINI A., VANDONI M. V. - Influenza degli inibitori di nitrificazione sulla mineralizzazione del carbonio e dell'azoto nel suolo. In: Indirizzi Biotecnologici in Microbiologia del Terreno, a cura di W. Balloni. Firenze, 1984.
- (2) CAMPBELL N.E.R., ALEEM M.I.H. - The effect of 2-chloro-6-(trichloromethyl) pyridine on the chemoautotrophic metabolism of nitrifying bacteria. I. Ammonia and hydroxylamine oxidation by *Nitrosomonas*. *Antonie van Leeuwenhoek*, 31: 124, 1965.
- (3) TU C.M. - Effects of Mocap, N-Serve, Telone, and Vorlex at two temperatures on populations and activities of microorganisms in soil. *Can. J. Plant Sci.*, 53: 401, 1973.
- (4) BUNDY L. G., BREMNER J. M. - Effect of nitrification inhibitors on transformations of urea nitrogen in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 6: 369, 1974.
- (5) COOPER J. E. - Inhibition of nitrification in soils treated with pig slurry. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 25: 176, 1980.
- (6) RODGERS G. A., ASHWORTH J., WALKER N. - Recovery of nitrifier populations from inhibition by nitrapyrin or CS₂. *Zentralbl. Bakteriol. Parasitenkd. Infektionskr. Hyg.*, II, 135: 477, 1980.
- (7) SALVAS P. L., TAYLOR B. F. - Blockage of methanogenesis in marine sediments by the nitrification inhibitor 2-chloro-6-(trichloromethyl)pyridine (nitrapyrin or N-Serve). *Curr. Microbiol.*, 4: 305, 1980.
- (8) BELSER L. W., SCHMIDT E. L. - Inhibitory effect of nitrapyrin on three genera of ammonia-oxidizing nitrifiers. *Appl. Environ. Microbiol.*, 41: 819, 1981.
- (9) MALHI S. S., NYBORG M. - Release of mineral N from soils: influence of inhibitors of nitrification. *Soil Biol. Biochem.*, 15: 581, 1983.
- (10) AULAKH M. S., RENNIE D. A. - Transformations of fall-applied nitrogen-15-labelled fertilizers. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 48: 1184, 1984.
- (11) TOPP E., KNOWLES R. - Effect of nitrapyrin [2-chloro-6-(trichloromethyl)pyridine] on the obligate methanotroph *Methylosinus trichosporium* OB3b. *Appl. Environ. Microbiol.*, 47: 258, 1984.
- (12) POWELL S. J., PROSSER J. I. - The effect of nitrapyrin and chloropicolinic acid on ammonium oxidation by *Nitrosomonas europaea*. *FEMS Microbiol. Lett.*, 28: 51, 1985.
- (13) MITSUI S., WATANABE I., HONMA M., HONDA S. - The effect of pesticides on the denitrification in paddy soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 10: 15, 1964.
- (14) HENNINGER N. M., BOLLAG J. M. - Effects of chemicals used as nitrification inhibitors on the denitrification process. *Can. J. Microbiol.*, 22: 668, 1976.
- (15) BREMNER J. M., BLACKMER A. M. - Nitrous oxide: emission from soils during nitrification of fertilizer nitrogen. *Science*, 199: 295, 1978.
- (16) NOTTON B. A., WATSON E. F., HEWITT E. J. - Effects of N-serve (2-chloro-6-(trichloromethyl)pyridine) formulations on nitrification and on loss of nitrate in sand culture experiments. *Plant and Soil*, 51: 1, 1979.
- (17) McELHANNON W. S., MILLS H. A. - Inhibition of denitrification by nitrapyrin with field-grown sweet corn. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 106: 673, 1981.
- (18) McELHANNON W. S., MILLS H. A. - Suppression of denitrification with nitrapyrin. *Hort Science*, 16: 530, 1981.
- (19) SILVA S., ZANETTI B., VENEZIANI G. P., GHILARDELLI A., FEDERICO GOLDBERG L., FARINI A., VANDONI M. V., GIGLIOTTI C. - Gli inibitori della nitrificazione quale mezzo di protezione ambientale e di risparmio energetico. II. *Annali Facoltà Agraria (Piacenza)*, 26: 91, 1986.
- (20) POCHON J., TARDIEUX P. - *Techniques d'analyse en microbiologie du sol*. Ed. de La Tourelle, St. Mandé, 1962.
- (21) GAMBLE T. N., BETLACH M. R., TIEDJE J. M. - Numerically dominant denitrifying bacteria from world soils. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33: 926, 1977.
- (22) RODGERS G. A., ASHWORTH J. - Bacteriostatic action of nitrification inhibitors. *Can. J. Microbiol.*, 28: 1093, 1982.

Porosità e struttura del terreno in relazione alle lavorazioni

PAGLIAI M., PEZZAROSSA B., LA MARCA M. e LUCAMANTE G.

Il mantenimento ed il miglioramento delle qualità fisiche del suolo tramite le pratiche colturali, aventi il fine di migliorare i rapporti suolo-acqua, suolo-aria e suolo-radici, è uno dei punti più qualificanti nella gestione del terreno. Le qualità fisiche del suolo sono strettamente dipendenti dallo stato di aggregazione, inteso come tipo e grado di stabilità strutturale.

Le misure della porosità danno informazioni assai importanti sullo stato strutturale del suolo e, di conseguenza, sulle varie proprietà fisiche importanti per la crescita delle piante. Seguendo il metodo micromorfometrico, basato sull'analisi dei pori su sezioni sottili (6x7 cm) preparate da campioni indisturbati di terreno, per mezzo di un analizzatore ottico-elettronico di immagine Quantimet 720 (2), si sono confrontati gli effetti delle lavorazioni tradizionali e delle lavorazioni ridotte su due tipi di terreno in ambienti pedologici diversi, e cioè: suoli bruni con caratteri vertici (Sicilia) e terreni argillosi sviluppati sulle argille marine del pliocene (Toscana).

Nei suoli bruni con caratteri vertici i risultati (Figura 1) indicano che la porosità totale era maggiore nelle parcelle interessate da aratura, ma che la proporzione dei pori compresi fra 30 e 500 micron di diametro, considerati i più importanti per la crescita delle radici, per i movimenti dell'acqua, per le attività biologiche e biochimiche (4) e per il mantenimento di buone condizioni strutturali (1, 3), era maggiore nelle parcelle interessate da minima lavorazione e non lavorazione. Questi terreni hanno una notevole potenzialità di rigenerazione strutturale, dovuta all'attività di rigonfiamento e crepacciamento, e presentano in superficie una notevole quantità di « self mulching » per cui si prestano bene all'operazione di semina diretta.

Nei terreni argillosi sviluppati sulle argille marine del Pliocene, si è riscontrata una significativa diminuzione di porosità solo nello strato al di sotto dei 5 cm nelle parcelle interessate da lavorazione minima (Tabella 1).

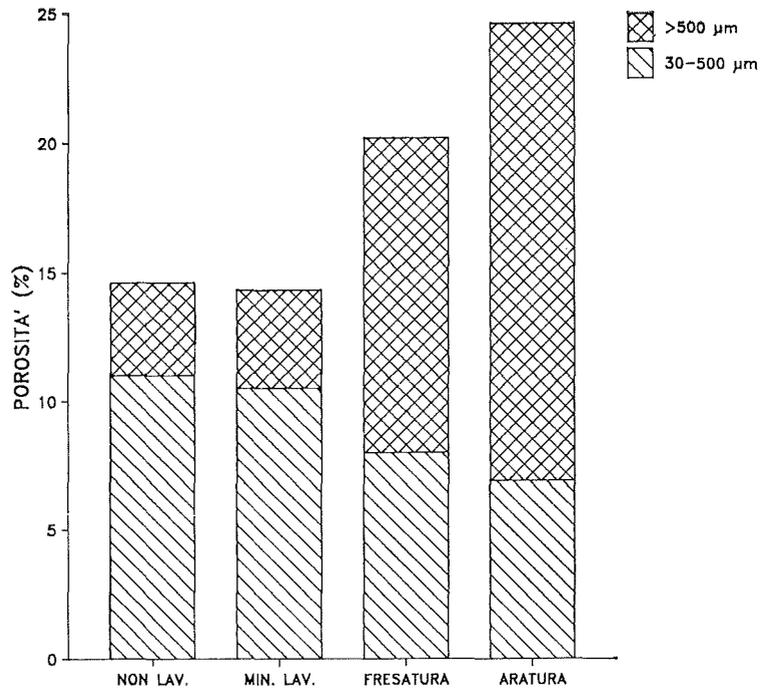


Figura 1 - Effetto di differenti tipi di lavorazioni sulla porosità e sulla distribuzione dimensionale dei pori.

TABELLA 1 - Effetto di due tipi di lavorazioni sulla porosità del terreno espressa come percentuale di area occupata dai pori per sezione sottile.

Lavorazioni	Profondità	
	0 - 5 cm	5 - 10 cm
Aratura	19,4 (± 1,7)	17,8 (± 1,5)
Lavorazione Minima	13,7 (± 1,4)	7,1 (± 1,5)

L'esame microscopico dei campioni di tali parcelle ha rivelato, al di sotto dei 5 cm, una struttura massima estremamente compatta in cui è possibile notare una forte riduzione dei pori allungati, che si presentavano per lo più isolati, non continui, e quindi praticamente nulli ai fini dei movimenti dell'acqua e

della crescita delle radici. Da ciò si può dedurre che questo tipo di terreni mal si adatta a lavorazioni ridotte, proprio perchè questa struttura, estremamente compatta, rappresenta un pessimo « habitat » per lo sviluppo delle colture.

BIBLIOGRAFIA

- (1) GREENLAND D.J. - Soil management and soil degradation. *J. Soil Sci.* 32: 301, 1981.
- (2) PAGLIAI M. - Caratterizzazione della porosità del terreno mediante l'analizzatore ottico-elettronico di immagine Quantimet 720. *Agrochimica*, 27: 113, 1983.
- (3) PAGLIAI M., LA MARCA M. e LUCAMANTE G. - Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. *Soil Sci.* 34: 391, 1983.
- (4) SEQUI P., CERCIGNANI G., DE NOBILI M. e PAGLIAI A. - A positive trend among two soil enzyme activities and a range of soil porosity under zero and conventional tillage. *Soil Biol. Biochem.*, 17: 255, 1984.

Persistente miglioramento della fertilità di un terreno a cinque anni dal trattamento con compost

MARCHESINI A. *, ALLIEVI L., FERRARI A.

INTRODUZIONE

Sono noti gli effetti positivi della fertilizzazione del terreno con sostanza organica, in contrapposizione ad un eccessivo uso esclusivo dei fertilizzanti minerali. Vari Autori hanno, anche in tempi recenti, studiato l'impiego del compost, una forma ottimale sotto cui la sostanza organica di scarto può essere impiegata a scopo fertilizzante. Sono stati riscontrati significativi incrementi delle produzioni vegetali (1 - 6), accompagnati da miglioramenti della fertilità naturale del terreno dal punto di vista fisico (5, 6, 7), chimico (9, 10) e microbiologico (8, 9, 11, 12). Le ricerche tuttavia ben raramente si sono spinte al di là di qualche anno dal trattamento, e generalmente hanno preso in considerazione compost ottenuti da residui urbani, a volte addizionati con fanghi di depurazione.

In questa sede riportiamo i risultati di una ricerca, proseguimento di altre riguardanti il medesimo compost (13), sugli effetti, a distanza di vari anni, dell'addizione al terreno di compost ottenuto da scarti mercatali dei Mercati Generali di Torino uniti a contenuti stomacali di bovini macellati (in rapporto di circa 9:1). A tal fine sono state determinate le produzioni di tre successive colture di girasole, e sono state effettuate analisi chimiche e microbiologiche sulla terra prima dell'ultima di dette colture.

MATERIALI E METODI

La sperimentazione è stata allestita presso l'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante (Torino). E' stata impiegata una terra sabbiosa posta

in vasi (circa 8 kg/vaso) tenuti in serra da novembre a marzo e portati all'esterno nel restante periodo.

Sono stati applicati, esclusivamente nel 1981, i seguenti trattamenti:

NPK: senza compost; 900 kg/ha di ammonio solfato + 800 di perfosfato + 400 di potassio solfato;

100 : trattamento con compost in dose equivalente a 100 q/ha, integrato con NPK minerale;

200 : 200 q/ha di compost, integrato con NPK minerale;

300 : 300 q/ha di compost, integrato con NPK minerale;

MAX: vasi riempiti con compost + circa 5% di terra per conferire una sufficiente struttura fisica;

0 : controllo (terra non trattata).

I trattamenti con dosi minori di compost sono stati integrati con fertilizzante minerale per pareggiare, nei confronti del trattamento NPK, le unità fertilizzanti a disposizione, ammettendo un'utilizzazione dei nutrienti del compost di circa 1/3 l'anno (14). Il compost impiegato viene prodotto in due stadi: in digestore rotante e successivamente in cumulo tenuto al coperto a temperatura ambiente, per un tempo complessivo di circa 5 mesi.

Sono state considerate tre successive colture di girasole, effettuate rispettivamente negli anni 1984, 1985 e 1986 dopo precedenti altre colture di cicoria e mais, determinandone le produzioni vegetali come sostanza secca totale della parte aerea.

Sono stati inoltre determinati i principali parametri chimici e microbiologici sulla terra campionata nel gennaio 1986, cioè prima dell'ultima coltura di girasole considerata. Per le determinazioni chimiche sono state seguite le metodiche della Società Italiana della Scienza del Suolo (15), di seguito riassunte. Carbonio organico: ossidazione mediante potassio bicromato; Sostanza organica: C organico x 1,72; Azoto totale: metodo Kjeldahl; Fosforo assimilabile: metodo Olsen; Potassio assimilabile: estrazione con ammonio acetato 1 N; pH: con pHmetro ad elettrodo su sospensione terra-acqua distillata 1:2,5.

La determinazione delle cariche microbiche è stata condotta con le consuete tecniche, che prevedono l'inoculo di diluizioni successive dei campioni in esame in piastre con terreno colturale agarizzato (Plate Count Agar per il Totale aerobi, Todd Hewitt Broth + 1,4% agar per il Totale anaerobi, Agar Maltò per gli Eumiceti) oppure in provette contenenti terreni colturali liquidi (secondo Pochon (16) per Azotofissatori aerobi Ammonificanti, Nitrosanti, Cellulosolitici aerobi ed anaerobi, secondo Augier (17) per gli Azotofissatori anaerobi). I Denitrificanti sono stati conteggiati impiegando una metodica recentemente messa a punto (18).

I dati di produzione vegetale e quelli microbiologici sono stati elaborati mediante analisi della varianza e successivo test di Duncan.

RISULTATI E CONCLUSIONI

L'elaborazione statistica dei dati il cui andamento è sintetizzato in Figura 1 conferma:

- il progressivo aumento della produzione vegetale in relazione alla dose di compost che era stata impiegata; considerando le differenze fra i vari trattamenti, manca la significatività statistica solo fra quelli NPK e 100 ($p \leq 0,05$);
- la generale diminuzione delle produzioni col passare degli anni, indizio di un progressivo esaurirsi delle riserve nutritive.

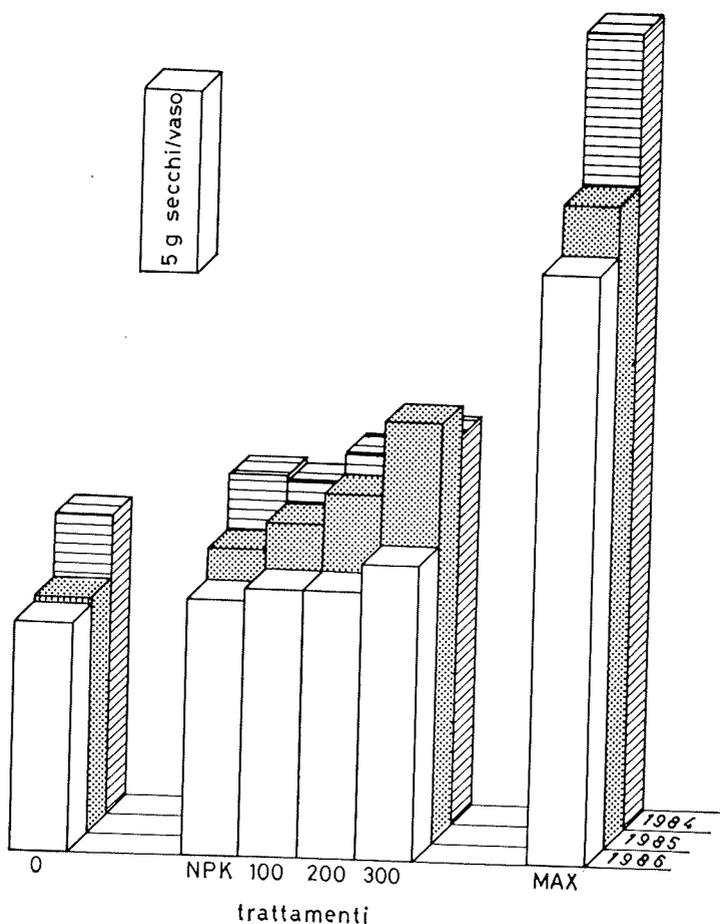


Figura 1 - Andamento delle produzioni vegetali negli anni, in relazione ai trattamenti effettuati nel 1981. (Per i simboli dei trattamenti vedere Materiali e Metodi).

L'effetto positivo è nettamente più marcato nel caso del trattamento massimale con compost (MAX); in tal caso d'altra parte la quantità di nutrienti potenzialmente disponibile era di gran lunga superiore rispetto agli altri trattamenti. Il trattamento NPK, nonostante il dosaggio relativamente alto, non pare aver più potuto esplicare effetti di rilievo dopo almeno tre anni dalla applicazione.

Riguardo i risultati delle analisi chimiche eseguite sulla terra, riportati in Figura 2, risulta molto evidente la maggiore ricchezza sia in sostanze organiche che nei principali nutrienti minerali in corrispondenza del trattamento MAX, seppure a distanza di cinque anni dallo stesso. Tale effetto positivo appare accennato anche con le dosi intermedie di compost, almeno per quanto riguarda Sostanza organica e Fosforo assimilabile. La fertilizzazione puramente minerale non appare più comportare, a distanza di anni, consistenti aumenti dei nutrienti in forma inorganica. La fertilizzazione organica

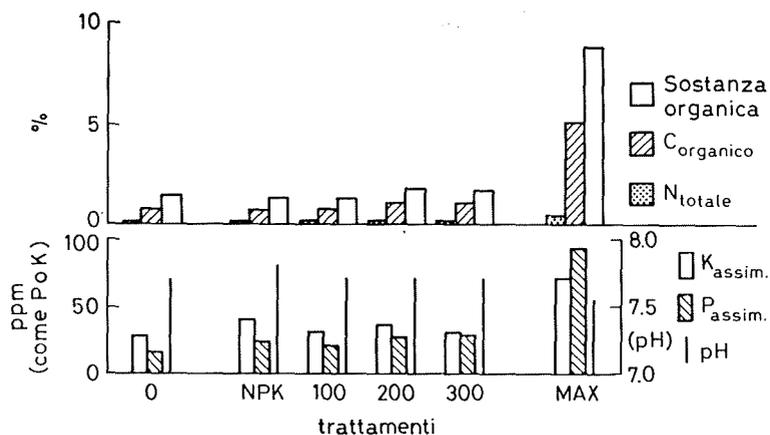


Figura 2 - Caratteristiche chimiche del terreno a cinque anni (1986) dai trattamenti. (Per i simboli dei trattamenti vedere Materiali e Metodi).

infine sembra aver ostacolato la progressiva alcalinizzazione del terreno ad opera dell'acqua di irrigazione ricca di carbonati.

Dall'esame dei dati microbiologici riportati in Tabella 1 appare come il trattamento massimale con compost abbia comportato, anche a distanza di vari anni, un aumento della microflora eterotrofa del terreno, responsabile della progressiva mineralizzazione della sostanza organica, mentre il gruppo dei nitrosanti autotrofi risulta ridotto come consistenza numerica. Con un esame diretto, è stata inoltre riscontrata la presenza di funghi micorrizici sulle radici nel caso dei trattamenti comprendenti compost.

TABELLA 1 - Cariche microbiche nel terreno a 5 anni (1986) dai trattamenti, espresse come Log n. (U.F.C. o MPN) / g secco. Per ogni gruppo, le lettere minuscole indicano le popolazioni statisticamente omogenee per $p \leq 0,05$, le maiuscole $\leq 0,01$. (Per i simboli dei trattamenti vedere Materiali e Metodi).

gruppo microbico	trattamento					
	0	NPK	100	200	300	MAX
Totale aerobi	6,56 ^a _A	6,59 ^a _A	6,66 ^a _A	6,63 ^a _A	6,58 ^a _A	6,93 ^b _B
Tot. anaerobi	5,68 ^a _A	5,67 ^a _A	5,81 ^a _A	5,77 ^a _A	5,75 ^a _A	6,25 ^b _B
Eumiceti	3,75 ^a _A	3,73 ^a _A	3,56 ^a _A	3,73 ^a _A	3,80 ^a _A	4,23 ^b _B
Azotofissatori aerobi	3,05 ^a _A	3,18 ^a _A	3,08 ^a _A	2,90 ^a _A	2,82 ^a _A	2,86 ^a _A
Azotofissatori anaerobi	2,80 ^{bc} _{AB}	2,64 ^{ab} _{AB}	2,49 ^a _A	2,61 ^{ab} _{AB}	2,76 ^{abc} _{AB}	2,99 ^c _B
Ammonificanti	6,01 ^a _A	6,32 ^a _A	6,24 ^a _A	6,45 ^a _A	6,30 ^a _A	6,67 ^a _A
Nitrosanti	3,69 ^{ab} _{AB}	4,26 ^{cd} _{BC}	4,58 ^d _C	3,96 ^{bc} _{ABC}	4,19 ^{bcd} _{BC}	3,30 ^a _A
Denitrificanti	6,04 ^a _A	6,17 ^a _A	6,05 ^a _A	5,96 ^a _A	6,27 ^a _A	6,93 ^b _B
Cellulosolitici aerobi	2,88 ^a _A	3,10 ^a _A	3,07 ^a _A	2,97 ^a _A	3,09 ^a _A	3,02 ^a _A
Cellulosolitici anaerobi	2,34 ^{ab} _{ABC}	1,94 ^a _A	2,36 ^{ab} _{ABC}	2,65 ^{bc} _{BC}	2,07 ^{aB} _A	2,85 ^c _B

Correlando tutti i dati raccolti si può affermare che il trattamento con un compost di sufficiente qualità si è risolto anche a distanza di vari anni in un persistente miglioramento dei vari fattori naturali di fertilità, a cui corrisponde un sicuro incremento della produzione vegetale. Un effetto di questo tipo è ovviamente apparso più evidente in corrispondenza di un trattamento con compost volutamente esagerato, ma è del tutto logico supporre una progressività d'effetto. La mancata evidenziazione di miglioramenti dal punto di vista microbiologico in relazione alle dosi minori di compost impiegate potrebbe essere spiegato sia con la variabilità di tipo statistico insita nelle metodiche impiegabili, sia ipotizzando miglioramenti più a livello qualitativo che quantitativo.

In conclusione, la ricerca condotta appare confermare come il compostaggio non solo costituisca un valido metodo di smaltimento di materiali organici di scarto, ma possa anche produrre un fertilizzante di utile impiego in agricoltura e dall'effetto protratto nel tempo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) WONG M. H., MOK C. M., CHU L. M. - Comparison of refuse compost and activated sludge for growing vegetables. *Agricultural Wastes*, 6: 65, 1983.
- (2) CHU L. M., WONG M. H. - Application of refuse compost: yield and metal uptake of three different food crops. *Conservation & Recycling*, 7: 221, 1984.
- (3) GANAPINI W. - Recenti acquisizioni in materia di compostaggio di residui organici di origine urbana. In: *Il Disinquinamento dell'Ambiente*, a cura di R. Pozzi, C. Sorlini, E. Vaghi. Franco Angeli, Milano, 1984.
- (4) TALASHILKAR S. C., VIMAL O. P. - From nutrient-poor compost to high-grade fertilizer. *BioCycle*, 25: 50, 1984.
- (5) WANG S. H., LOHR V. I., COFFEY D. L. - Spent mushroom compost as a soil amendment for vegetables. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 109: 698, 1984.
- (6) WONG M. H. - Effects of animal manure composts on tree (*Acacia confusa*) seedling growth. *Agricultural Wastes*, 13: 261, 1985.
- (7) GUIDI G., GIACCHETTI M. - Variazioni di alcune proprietà fisiche e chimiche del terreno. In: *Utilizzazione dei Fanghi e Compost in Agricoltura*, Collana del Progetto Finalizzato « Promozione della Qualità dell'Ambiente », CNR AR/2/20-27, Roma, p. 97, 1981.
- (8) PERA A., VALLINI G., SIRENO I., BIANCHIN M. L. DE BERTOLDI M. - Effect of organic matter on rhizosphere microorganisms and root development of Sorghum plants in two different soils. *Plant and Soil*, 74: 3, 1983.
- (9) BENEDETTI A., CAVALLARI L., NIGRO C. - On the humic balance of the soil. Note I. Effect of different organic materials. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante*, 11 (5): 1, 1981.
- (10) DARMODY R. G., FOSS J. E., MC INTOSH M., WOLF D. C. - Municipal sewage sludge compost-amended soils: some spatiotemporal treatment effects. *J. Environ. Qual.*, 12: 231, 1983.
- (11) DE BERTOLDI M., GIOVANNETTI M., PERA A., VALLINI G. - Impatto con la microflora del suolo. In: *Utilizzazione dei Fanghi e Compost in Agricoltura*, Collana del Progetto Finalizzato « Promozione della Qualità dell'Ambiente », CNR AR/2/20-27, Roma, p. 127, 1981.
- (12) MAHMOUD S.A.Z., ABR-EL-NASSER M., SAFWAT M.S.A., FARGHALY M. M. - Replacing organic matter in arid lands. *BioCycle*, 25: 43, 1984.
- (13) MARCHESINI A. - Studi sulla fertilizzazione organica dei terreni agrari. Impiego di compost di qualità ottenuto da scarti mercatali e rifiuti di macelli cittadini. *Atti della Società Agraria di Lombardia*, 118 (1): 17, 1984.
- (14) AMENOTTI A., PRATCLONGO U. - *Chimica Agraria* (vol. 2°). U. Hoepli, Milano, 1950.
- (15) SOCIETÀ ITALIANA DELLA SCIENZA DEL SUOLO - *Metodi Normalizzati di Analisi del Suolo*. Edagricole, Bologna, 100 pp., 1985.
- (16) POCHON J., TARDIEUX P. - *Techniques d'Analyse en Microbiologie du Sol*. Ed. de la Tourelle, StMandé-Paris, 111 pp, 1962.
- (17) AUGIER J. - A propos de la fixation biologique de l'azote atmospherique et de la numération des *Clostridium* fixateurs dans le sols. *Ann. Inst. Pasteur*, 92: 817, 1957.
- (18) ALLIEVI L., CATELANI D., FERRARI A., TRECCANI V. - A method for counting denitrifiers by N₂O detection. *J. Microbiol. Methods*, 7: 67, 1987.

Distribuzione degli enzimi in tre frazioni organiche del terreno a diverso peso molecolare

CECCANTI B., ALCANIZ J.M., COMELLAS L., PUIGBO A.

Gli enzimi extracellulari, associati alle sostanze umiche del terreno, rivestono un ruolo fondamentale per la « fertilità biochimica » in quanto rappresentano il punto di transizione fra le reazioni chimiche e microbiologiche.

L'attività e la persistenza di un enzima extracellulare nel terreno, dipendono dal tipo di « molecole umiche » a cui sono legati, dalle loro grandezze molecolari, dalle loro proprietà chimiche e fisiche. Così, i complessi umo-enzimatici ad alto peso molecolare, risultano più stabili alla temperatura e alle proteasi commerciali, dei complessi a basso peso molecolare (3, 4).

L'uso di pirofosfato neutro come soluzione estraente, della ultrafiltrazione controllata (contro pirofosfato) e, in successione, della gel cromatografia e

TABELLA 1 - Caratteristiche dei terreni.

Terreno N.	pH	C %	N %	C/N	CSC meq 100 g	Note
163	8.0	2.17	0.17	12.6	11.6	Suolo bruno
183	7.9	0.55	0.08	6.90	23.2	Paleosuolo
205	7.8	13.4	1.10	12.2	13.0	Torba eutrofica
226	5.45	9.32	0.61	15.3	54.6	Andosuolo
237	5.15	3.76	0.21	17.6	13.9	Suolo bruno acido
238	5.2	0.71	0.06	11.8	11.5	Suolo bruno acido tipico

Lavoro svolto nell'ambito del progetto bilaterale CNR-CSIC, n. 7 (Italia-Spagna), 1985-86.

isoelettrofocalizzazione, ha permesso l'isolamento dal terreno di complessi umo-enzimatici di diversa grandezza molecolare e con differenti proprietà fisiche, chimiche e biologiche (1, 2).

Nel presente lavoro si riportano le distribuzioni di quattro idrolasi, nei composti umici a diverso peso molecolare: ureasi, fosfatasi, e due proteasi, una idrolizzante piccoli substrati (BAA) e l'altra idrolizzante grossi substrati (Caseina).

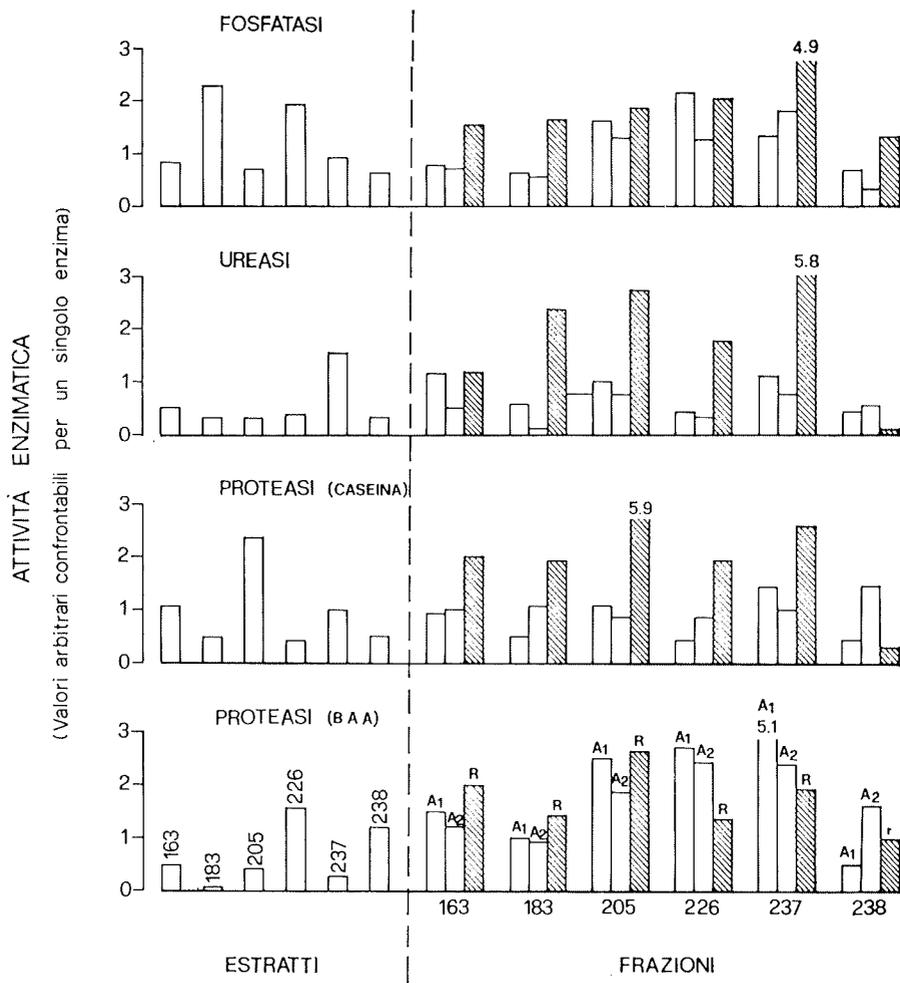


Figura 1 - Valori delle attività enzimatiche extracellulari specifiche (riferite al contenuto di carbonio) in estratti e relative frazioni umiche: A1 ($pm > 10^5$); A2 ($pm 10^4 - 10^5$); R ($pm < 10^4$).

Le sostanze umiche sono state estratte da sei terreni spagnoli con proprietà chimiche, biologiche e pedologiche molto differenti, (Tabella 1) e frazionate mediante ultrafiltrazione, in tre frazioni a diverso peso molecolare: A1 (> 100.000), A2 (> 10.000), R (< 10.000). L'attività ureasica fosfatase e proteasica (caseina) risultavano, con pochissime eccezioni, relativamente più alte nella frazione a peso molecolare apparente più piccolo (R < 10.000). La proteasi (BAA) invece risultava distribuita più omogeneamente nelle tre frazioni (Figura 1). Globalmente dopo frazionamento, venivano trovate nelle frazioni valori di attività superiori di 2-4 volte a quelli degli estratti di provenienza. Questo è un fenomeno ricorrente nelle enzimologia del suolo. Fra le tante ipotesi, le più attendibili sono: 1) una maggiore accessibilità dei substrati verso i siti attivi delle idrolasi solubilizzate dal terreno; 2) una maggiore concentrazione di siti attivi per unità di « volume molecolare » dei complessi umo-enzimatici, dovuta all'effetto disgregante del pirofosfato; 3) allontanamento di inibitori organici e inorganici durante l'ultrafiltrazione e la dialisi.

I risultati contribuiscono ad ampliare le conoscenze sul ruolo biochimico dell'humus nel terreno e sui meccanismi di immissione delle sostanze azotate nelle catene umiche.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CECCANTI B., NANNIPIERI P., CERVELLI S., SEQUI P. - Fractionation of humus-urease complexes, *Soil Biol Biochem.* 10: 39, 1978.
- (2) CECCANTI B., ALCANIZ J.M., GISPERT M., GASSIOT M. - Characterization of organic matter from two different soils by pyrolysis-gas chromatography and isoelectric focusing. *Soil Sci.* 142: 83, 1986.
- (3) NANNIPIERI P., CECCANTI B., CERVELLI S., SEQUI P. - Stability and kinetic properties of humus-urease complexes. *Soil Biol Biochem.* 10: 143, 1978.
- (4) NANNIPIERI P., CECCANTI B., BIANCHI D. - Characterization of humus-phosphatase complexes extracted from soil. (in stampa), 1987.

Influenza di atrazina, alachlor e metolachlor su alcune fosfatasi del suolo

PERUCCI P. * e SCARPONI L. **

E' stato studiato il comportamento della fosfomonoesterasi (PMasi, EC 3.1.3.1) e della fosfodiesterasi (PDasi, EC 3.1.4) del suolo in risposta a trattamento con atrazina [6-cloro-N-etil-N'-(1-metiletil)-1,3,5-triazina-2,4-diammina], alachlor [2-cloro-N-(2,6-dietilfenil)-N-(metossimetil) acetamide] e metolachlor [2-cloro-N-(2-etil-6-metilfenil)-N-(2-metossi-1-metiletil)acetamide]. L'indagine sulle due fosfatasi è stata condotta per un periodo di due mesi dopo il trattamento con i tre erbicidi a 2 ed a 20 ppm in un terreno sabbio-limoso-argilloso (pH = 8,0).

Dopo 60 giorni erano ancora presenti nel suolo il 34,2% di atrazina, l'8,5% di alachlor ed il 19,9% di metolachlor.

Entro i primi 10 giorni dal trattamento, l'atrazina ha attivato la PMasi, l'alachlor ed il metolachlor entrambe le fosfatasi. Nel periodo successivo l'atrazina ha inibito la PDasi, mentre l'alachlor ed il metolachlor non hanno esplicato alcuna interferenza.

I trattamenti non hanno alterato i valori di K_M ($4,22 \pm 0,09$ mM per la PMasi e $1,44 \pm 0,13$ mM per la PDasi), pertanto è possibile escludere interferenze sui fattori collegati a tale parametro (distribuzione isoenzimatica, adsorbimento enzimatico sui colloidali del suolo, affinità enzima-substrato, etc.). (1).

I trattamenti hanno invece provocato variazioni nei valori di V_{max} i quali sono risultati positivamente e significativamente correlati con i corrispondenti valori di attività fosfatase. Data la relazione diretta esistente tra V_{max} e concentrazione enzimatica, si deduce che la presenza di atrazina, alachlor e metolachlor determina variazioni nell'ammontare delle fosfatasi da cui conseguono le variazioni di attività fosfatase osservate (2, 3).

Pertanto si ipotizza che:

- a) l'attivazione iniziale è dovuta ad un effetto tossico degli erbicidi sui microrganismi che producono le fosfatasi con conseguente morte, lisi cellulare e rilascio di enzimi endocellulari;
- b) la successiva inibizione operata nella PDasi dell'atrazina, più persistente dell'alachlor e del metolachlor e suscettibile di degradazione in derivati dealchilati più tossici, è dovuta ad un impedimento dello sviluppo dei microrganismi che producono l'enzima suddetto.

BIBLIOGRAFIA

- (1) MAKBOUL H.E, OTTOW J.C.G. - Kinetic behaviour of alkaline phosphatase desorbed from different clay minerals. *Z. Pflanzenernaer Bodenkd*, 147: 497, 1984.
- (2) PERUCCI P., SCARPONI L. - Effect of different treatments with crop residues on soil phosphatase activity. *Biol. Fert. Soils*, 1: 111, 1985.
- (3) TABATABAI M.A., BREMNER J.M. - Michaelis constant of soil enzymes. *Soil Biol. Biochem.* 3: 317, 1971.

ISTITUTO DI CHIMICA AGRARIA E FORESTALE
UNIVERSITA' DELLA BASILICATA *
CONSORZIO DI BONIFICA DI SECONDO GRADO PER IL
CANALE EMILIANO ROMAGNOLO - BOLOGNA **

Fertilità chimica del suolo in funzione dell'irrigazione
e della concimazione letamica e minerale
in quattro tipi di rotazione

ROSSI N. *, LANZONI L. **

INTRODUZIONE

Questo studio sulla fertilità chimica del suolo in funzione dell'irrigazione e della concimazione letamica e minerale applicate a quattro successioni colturali (ottennale, quadriennale, mais continuo, frumento continuo) ha avuto lo scopo di stabilire quanto fondamento abbia la preoccupazione che alcune delle variabili suddette siano causa di peggioramento nel tempo della fertilità stessa. In particolare si teme, per esempio, che la irrigazione, specie quando praticata su terreni argillosi-limosi, possa deprimere nel tempo la fertilità e quindi diminuire la produzione delle colture, specie di quelle che di norma non vengono irrigate. Analoghi timori sussistono in merito alla sostituzione della concimazione letamica con quella minerale nonché alla introduzione di successioni colturali particolari come la monocoltura al posto di rotazioni tradizionali.

Per fugare le suddette perplessità in merito al deterioramento della fertilità chimica del suolo che queste trasformazioni potrebbero causare, sono stati analizzati chimicamente (pH, calcare totale, sostanza organica, N totale, P assimilabile, K scambiabile) i campioni di terreno prelevati nel 1974 e nel 1982 dalle singole parcelle elementari della prova oggetto della presente ricerca.

MATERIALI E METODI

La prova, iniziata nel 1966 e seguita fino al 1982, è stata effettuata presso il Centro sperimentale di Gandazzolo del Canale Emiliano Romagnolo sito nel comune di Baricella (Bologna) (Tabella 1).

TABELLA 1 - Caratteristiche fisico-chimiche del terreno del Centro sperimentale di Gandazzolo e valori climatici medi (dal 1967 al 1982) della località sede della prova.

TERRENO		C L I M A					
		Periodo	Dicembre Gennaio Febbraio	Marzo Aprile Maggio	Giugno Luglio Agosto	Settembre Ottobre Novembre	Anno
Granulometria (%)	S = 15 L = 38 A = 47						
Reazione (pH)	7,8						
Calcare totale (%)	12	Precipitazioni (mm)	165	174	166	201	706
Sostanza organica (%)	1,85	Temperatura minima (°C)	-1,3	5,4	14,4	7,6	6,5
C.S.C. (moli · kg ⁻¹)	0,27	Temperatura massima (°C)	5,1	16,9	26,9	17,1	16,5

Schema sperimentale

La prova è stata impiantata su due blocchi su ciascuno dei quali figuravano le parcelle intere di tutte le annate delle quattro successioni colturali della prova: una rotazione ottennale, una rotazione quadriennale, una coltura continua di mais e una coltura continua di frumento. La rotazione ottennale comprendeva: mais, frumento, barbabietola da zucchero, medica per tre anni, frumento; la rotazione quadriennale: mais, frumento, barbabietola da zucchero, frumento.

Lo schema sperimentale a parcelle suddivise risultava come segue:

Parcelle intere, per le 4 successioni colturali — Ottennale, Quadriennale, Mais continuo, Frumento continuo.

Sub-parcelle, per le 2 tesi di irrigazione — Non Irrigato, Irrigato.

Sub-sub-parcelle, per le 2 tesi di letamazione — Non Letamato, Letamato (80 ton di letame ha⁻¹ nel rinnovo della ottennale, 40 ton di letame ha⁻¹ nel rinnovo della quadriennale, 40 ton di letame ha⁻¹ ad anni alterni nelle colture continue).

Sub-sub-sub-parcelle (dimensioni al netto della superficie di bordo = m 5x4), per le 4 tesi di concimazione minerale azotata — Dosi in kg di N ha⁻¹ differenziate per coltura:

C o l t u r a	T e s i			
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃
Barbabetola da zucchero				
Erbaio intercalare	0	60	120	180
Fruento	0	80	160	240
Mais	0	120	240	360

La concimazione minerale fosfatica è stata di 100 kg di P₂O₅ ha⁻¹ anno⁻¹ per tutte le colture ad eccezione della medica che ha ricevuto la dose di 100 kg di P₂O₅ ha⁻¹ solo all'inizio dell'impianto.

Gli interventi irrigui sono stati eseguiti in base alle indicazioni resistometriche dell'apparecchio di Bouyoucos, allorchè nelle parcelle corrispondenti alla tesi di concimazione azotata N₂ l'acqua disponibile raggiungeva il valore del 40% della capacità di campo.

Prelievo dei campioni ed analisi chimiche effettuate

I prelievi dei campioni di terreno da sottoporre alle analisi sono stati effettuati allo scadere dello ottavo (1974) e del sedicesimo anno (1982) di conduzione della prova onde far coincidere l'epoca dei prelievi con la conclusione di ciascun ciclo della rotazione ottennale. Il numero dei campioni prelevati ammontava a 504 per ciascuno dei due anni durante i quali sono stati eseguiti i prelievi, per un totale di 1008 campioni. Le analisi chimiche dei campioni prelevati sono state effettuate nel modo seguente: 1) pH, per via potenziometrica sull'estratto acquoso 1:2,5; 2) Calcare totale, con il calcimento De Astis; 3) Sostanza organica, per ossidazione con bicromato e successiva titolazione dell'eccesso di ossidante con sale di Mohr (1); 4) N totale, per distillazione dell'NH₃ del mineralizzato con acido fenol-solfonico e selenio; 5) P assimilabile, estrazione con acido acetico 0,16 N e acetato sodico 0,24 N a pH 4,8 in presenza di NH₄-molibdato e successiva determinazione del P per via colorimetrica (2); 6) K scambiabile, estrazione con NH₄-acetato 1 N e determinazione del K per spettrofotometria alla fiamma in assorbimento atomico.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Successione colturale

Le quattro rotazioni poste a confronto, considerate nel loro complesso e non a livello delle singole colture, in genere non hanno modificato i valori dei

parametri della fertilità chimica del suolo presi in esame (Tabella 2). Solo i valori del P assimilabile e quelli del K scambiabile sono risultati leggermente incrementati nel caso della rotazione quadriennale rispetto alle altre rotazioni; questi due stessi parametri non sono stati comunque modificati, rispetto alle altre rotazioni, né dalla coltura continua del mais né da quella continua del frumento.

TABELLA 2 - Influenza della rotazione e della annata sui valori dei parametri della fertilità chimica del terreno presi in esame.

Tesi	Reazione (pH)		Calcare totale (CaCO ₃ , %)		Sostanza organica (%)	
	1974	1982	1974	1982	1974	1982
Ottennale	7,89	7,83	12,6	13,2	1,86	1,80
Quadriennale	7,85	7,82	12,5	13,0	1,82	1,80
Mais cont.	7,85	7,83	12,5	13,7	1,83	1,88
Frumento cont.	7,79	7,83	13,4	13,5	2,02	1,99

Tesi	Azoto totale (N‰)		Fosforo assimilabile (P ₂ O ₅ , ppm)		Potassio scambiabile (K ₂ O, ppm)	
	1974	1982	1974	1982	1974	1982
Ottennale	1,39	1,48	98	142	248	299
Quadriennale	1,37	1,50	114	162	281	350
Mais cont.	1,45	1,49	97	155	277	368
Frumento cont.	1,48	1,55	98	156	274	355

I dati analitici relativi all'annata 1982 in molti casi diversificano considerevolmente da quelli di otto anni prima (1974). E' il caso per esempio del calcare totale che, ad eccezione della rotazione frumento in continuo, ha subito incrementi del 4-10% rispetto al valore iniziale. Questo incremento può trovare spiegazione nel fatto che durante gli anni della prova, le arature sono andate leggermente approfondendosi, il che può avere portato in superficie terreno del sottosuolo avente in genere un tenore di carbonati leggermente superiore a quello dello strato superficiale. Per la coltura del frumento in continuo questo approfondimento delle arature non si è avuto. Anche il contenuto dei tre elementi della fertilità esaminati sono aumentati in media dal 1974 al 1982; l'N totale del 7% il P assimilabile del 47% e il K scambiabile del 24%. Questi notevoli incrementi del P assimilabile e del K scambiabile non sono di facile

interpretazione. Per entrambi si può postulare una influenza delle condizioni di umidità del terreno al momento del prelevamento dei campioni. Detti campioni infatti pur essendo stati prelevati in entrambe le annate a fine coltura e quindi nello stesso periodo dell'anno, presentavano al momento del prelevamento, quelli della annata 1982 un contenuto di umidità molto maggiore di quelli prelevati nel 1974. I campioni di terreno che sono stati prelevati con un elevato contenuto di umidità hanno portato dopo l'essiccamento all'aria ad un materiale zoloso particolarmente duro. Quest'ultimo durante la macinazione portava a materiale polverulento fine in netto contrasto con quello grumoso ottenuto dai campioni prelevati in condizioni di minore umidità. La maggiore area superficiale del materiale polverulento fine può avere portato ad un maggiore rilascio degli elementi durante l'estrazione. Infine nel caso del P si può anche ritenere che il costante apporto di 100 kg di P_2O_5 per ettaro e per anno sia stato sempre superiore alle asportazioni da parte delle varie colture.

Irrigazione

Le variazioni dei valori dei parametri della fertilità chimica presi in esame dovuti al trattamento irrigazione rispetto alla non irrigazione sono risultati in genere molto piccoli (Tabella 3). L'abbassamento del tenore in P assimilabile

TABELLA 3 - Influenza della irrigazione e della annata sui valori dei parametri della fertilità chimica del terreno presi in esame.

Tesi	Reazione (pH)		Calcare totale ($CaCO_3$ %)		Sostanza organica (%)	
	1974	1982	1974	1982	1974	1982
Non irrigato	7,87	7,82	12,6	13,3	1,84	1,83
Irrigato	7,84	7,83	12,6	13,2	1,87	1,85
D.M.S. a P = 0,05	0,06	0,01	0,2	0,2	0,04	0,08

Tesi	Azoto totale (N%)		Fosforo assimilabile (P_2O_5 , ppm)		Potassio scambiabile (K_2O , ppm)	
	1974	1982	1974	1982	1974	1982
Non irrigato	1,39	1,48	106	152	273	334
Irrigato	1,41	1,50	99	147	250	312
D.M.S. a P = 0,05	0,03	0,05	7	7	12	26

ed in K scambiabile della tesi irrigazione rispetto alla non irrigazione ha raggiunto di stretta misura la significanza statistica a $P = 0,05$ nel 1974 ma non nel 1982. Tutti gli altri parametri non sono stati modificati in modo significativo dal trattamento irrigazione.

I dati dell'annata 1982 rispetto a quelli del 1974 relativi alla reazione ed alla sostanza organica non hanno subito variazioni degne di nota; viceversa i dati relativi al calcare ed all'azoto totale sono aumentati approssimativamente del 5% rispetto ai valori iniziali, quelli del P assimilabile del 45% e quelli del K scambiabile del 23%.

Letamazione

La letamazione rispetto alla non letamazione non ha modificato i valori del pH e del calcare totale; al contrario gli altri quattro parametri analizzati (sostanza organica, N totale, P assimilabile, K scambiabile) sono stati incrementati in modo statisticamente significativo (Tabella 4). Tuttavia, ancora una volta, anche il trattamento letamazione, nei confronti della non letamazione, ha modificato i valori dei parametri suddetti in modo meno incisivo rispetto alle modificazioni causate dall'annata. I valori dell'annata 1982 hanno superato quelli dell'annata 1974 del 5-8% per quanto riguarda calcare totale e N totale, del 43-49% nel caso P assimilabile e del 22-25% nel caso K scambiabile.

TABELLA 4 - Influenza della letamazione e della annata sui valori dei parametri della fertilità chimica del terreno presi in esame.

Tesi	Reazione (pH)		Calcare totale (CaCO ₃ , %)		Sostanza organica (%)	
	1974	1982	1974	1982	1974	1982
Non letamato	7,84	7,83	12,7	13,4	1,82	1,78
Letamato	7,87	7,82	12,5	13,2	1,82	1,90
D.M.S. a $P = 0,05$	0,07	0,01	0,2	0,2	0,03	0,05

Tesi	Azoto totale (N‰)		Fosforo assimilabile (P ₂ O ₅ , ppm)		Potassio scambiabile (K ₂ O, ppm)	
	1974	1982	1974	1982	1974	1982
Non letamato	1,38	1,45	94	134	249	305
Letamato	1,42	1,53	111	165	274	342
D.M.S. a $P = 0,05$	0,02	0,03	5	6	7	18

Concimazione azotata

I vari trattamenti di concimazione azotata hanno provocato variazioni dei valori dei parametri chimici analizzati che in alcuni casi raggiungono la significanza statistica a $P = 0,05$; ciò nonostante dette variazioni sono in genere di così lieve entità per cui esse non hanno alcun significato pratico (Tabella 5);

TABELLA 5 - Influenza della concimazione azotata e della annata sui valori dei parametri della fertilità chimica del terreno presi in esame.

Tesi	Reazione (pH)		Calcare totale (CaCO ₃ %)		Sostanza organica (%)	
	1974	1982	1974	1982	1974	1982
N ₀	7,88	7,83	12,6	13,3	1,84	1,79
N ₁	7,88	7,82	12,6	13,2	1,86	1,85
N ₂	7,79	7,83	12,6	13,4	1,87	1,85
N ₃	7,86	7,82	12,6	13,2	1,86	1,86
D.M.S. a P = 0,05	0,09	0,01	0,2	0,2	0,03	0,07

Tesi	Azoto totale (N‰)		Fosforo assimilabile (P ₂ O ₅ , ppm)		Potassio scambiabile (K ₂ O, ppm)	
	1974	1982	1974	1982	1974	1982
N ₀	1,39	1,53	151	154	269	333
N ₁	1,40	1,48	104	155	259	328
N ₂	1,40	1,50	103	144	261	316
N ₃	1,40	1,50	103	145	257	317
D.M.S. a P = 0,05	0,02	0,04	5	7	7	21

viceversa, i valori del 1982 rispetto a quelli del 1974 sono risultati in genere superiori del 5-6% nel caso del calcare totale, del 6-10% nel caso dell'N totale, del 40-52% nel caso del P assimilabile, e del 21-27% nel caso del K scambiabile.

Sulla base dei risultati sperimentali ottenuti in questa ricerca, si può affermare che i vari trattamenti messi a confronto ad eccezione della letamazione, non hanno, in generale, modificato in modo statisticamente significativo i valori dei parametri indicatori della fertilità chimica del suolo. Anche gli incrementi in sostanza organica, in N totale, in P assimilabile e in K scambiabile, dovuti alla letamazione, sono stati comunque di non grande entità anche se statisticamente significativi. Questi risultati sono in accordo con quelli di

Toderi et al. (3) che in prove analoghe effettuate su terreni di medio impasto, trovarono che fra i vari trattamenti in genere solo la letamazione aveva effetti evidenti.

Indipendentemente dai vari trattamenti, i valori di alcuni dei parametri della fertilità chimica presi in esame sono stati modificati in modo piuttosto considerevole nel corso della durata della prova. I dati relativi al calcare totale, all'N totale, ed in particolare al P assimilabile ed al K scambiabile sono aumentati in media, nel 1982 rispetto al 1974, rispettivamente del 5%, del 7% del 51% e del 27%. Circa le ragioni di questi incrementi viene invocato nel caso del calcare totale, il leggero approfondimento della arature durante il corso della prova, e per il P assimilabile e per il K scambiabile, il diverso grado di umidità dei campioni di terreno al momento del prelevamento degli stessi. Per il P assimilabile, inoltre, si può ritenere che l'accumulo possa essere dovuto al fatto che gli apporti di 100 kg di P_2O_5 per ettaro e per anno effettuati con la concimazione minerale siano stati già da soli costantemente superiori alle asportazioni di fosforo da parte delle colture.

In conclusione, i risultati di questo lavoro indicano che, nelle condizioni sperimentali della prova, l'introduzione delle pratiche agricole prese in esame non sono in linea di massima causa di particolare deterioramento della fertilità chimica del terreno.

BIBLIOGRAFIA

- (1) LOTTI G. - La determinazione della sostanza organica nel terreno agrario. Ann. Fac. Agr. di Pisa, n. s., XVII, 1956.
- (2) FERRARI C., LUGO P. - Sulla valutazione della fertilità chimica del terreno. Nota I: nuovo metodo chimico di determinazione dei fosfati del terreno più prontamente solubili. Ann. Sper. Agr., n.s. VII, 1-2: 369, 1953.
- (3) TODERI G., GIORDANI G., CATIZONE P. - The effect of crop rotation and fertilization on some components of soil fertility. In F. Lanza (ed.) Evolution du niveau de fertilité des sols dans différents systèmes de culture - Critères pour mesurer cette fertilité. Seminario CEE-Agrimed, Bari, 1982.

Adsorbimento di ioni fosfato in presenza di
ioni ossalato su ossido di alluminio

VIOLANTE A. - COLOMBO C. - SCOGNAMIGLIO A. - CRISCIONE G.

L'adsorbimento di ioni fosfato da parte di minerali argillosi a carica variabile, quali allofane, imogolite, ossidi di alluminio, ferro e manganese è funzione del pH, della natura e cristallinità dei minerali, della presenza di acidi fulvici, umici e di anioni inorganici ed organici a basso peso molecolare (2, 3, 4, 6, 7, 10).

Aminoacidi, acidi mono, di e tricarbossilici, carboidrati, nucleotidi vengono continuamente rilasciati dalle piante come essudati radicali, sono prodotti dai microrganismi del suolo o si formano attraverso la decomposizione di tessuti vegetali ed animali (8, 9). La natura degli acidi organici presenti nei suoli dipende dal tipo di vegetazione, dal pH, dalla temperatura e dalla utilizzazione da parte di batteri eterotrofi e funghi, che ne influenzano anche la disponibilità (9).

Particolare importanza tra questi composti rivestono gli acidi bicarbossilici e poliossidicarbossilici (quali acido ossalico, citrico, tartarico, malico e maleico) sia per essere particolarmente abbondanti nei suoli e sia perché possono essere facilmente adsorbiti sulle superfici degli ossidi (1, 11, 6).

Pochi studi sono stati tuttavia condotti sull'adsorbimento di ioni fosfato in presenza di leganti organici ed inoltre scarsissime sono le informazioni sull'adsorbimento di biomolecole su minerali argillosi a carica variabile.

E' sembrato interessante prendere in esame l'acido ossalico come legante competitivo degli ioni fosfato per le elevate quantità di questo anione organico riscontrate in suoli coltivati e più ancora in quelli forestali.

In questa nota vengono riportati alcuni risultati di uno studio sull'adsorbimento di ioni fosfato in presenza di ioni ossalato su ossido di alluminio amorfo in funzione del pH (tra 3.0 e 9.0) e della modalità di aggiunta degli ioni fosfato ed ossalato.

MATERIALI E METODI

Preparazione dell'ossido idrato di alluminio amorfo

Una soluzione 0.1 N di AlCl_3 (250 ml) è stata neutralizzata aggiungendo lentamente (1 ml/min.) NaOH 0.1 M fino a pH 8.0. La sospensione così ottenuta è stata immediatamente centrifugata, lavata, congelata e quindi liofilizzata. Si sono ottenuti circa quattro grammi di ossido di alluminio che è risultato amorfo ai raggi X, all'analisi all'infrarosso ed all'osservazione al microscopio elettronico (Figura 1).

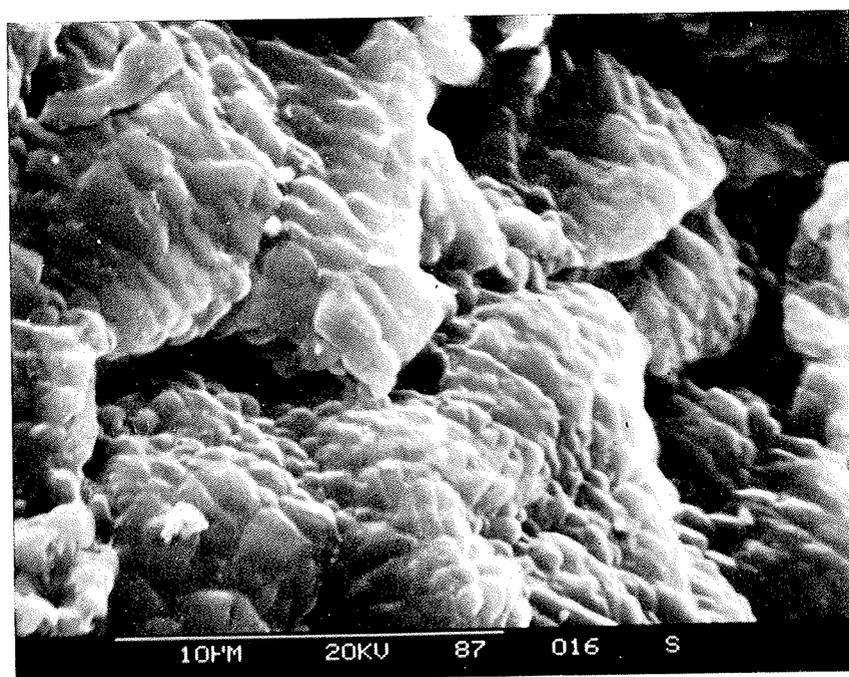


Figura 1 - Micrografia a scansione dell'ossido idrato di Al di sintesi (X 5000).

Prove di adsorbimento di fosfato ed ossalato su ossido di alluminio

A 50 mg di ossido di alluminio previamente essiccati su P_2O_5 , sono stati aggiunti 47 ml di KCl 0.02 M. Alle sospensioni, tenute ad agitare per circa 2 ore, sono state aggiunte opportune quantità di NaOH o di HCl 0.01 M in modo da ottenere valori di pH compresi tra 3.0 e 9.0. Dopo aggiunta di 1 ml di soluzione di KH_2PO_4 o di acido ossalico 0.05 M le sospensioni sono state tenute ad agitare per 4 giorni in camera termostata a 10°C . Il pH dei singoli campioni è stato determinato giornalmente e riportato ai valori iniziali con HCl e NaOH. Alla fine dei 4 giorni di reazione le sospensioni sono

state portate a 50 ml per aggiunta di KCl 0.02 M ed il pH finale è stato accuratamente determinato.

Le sospensioni sono state centrifugate a 15.000 giri e nel surnatante sono stati determinati gli ioni ossalato e fosfato per cromatografia ionica usando un cromatografo Dionex (Mod. 2000I/S4).

Le prove di adsorbimento di ioni fosfato (P) in presenza di ioni ossalato (OXA) sono state condotte con tre modalità di aggiunta in modo da simulare tutte le possibili condizioni che possono verificarsi nel suolo:

- a) P/OXA: 1 ml di KH_2PO_4 0.05 M è stato aggiunto alle sospensioni di ossidi e dopo 2 giorni è stato aggiunto 1 ml di acido ossalico 0.05 M;
- b) OXA/P: 1 ml di acido ossalico 0.05 M è stato aggiunto alle sospensioni di ossido e dopo 2 giorni è stato aggiunto 1 ml di KH_2PO_4 0.05 M;
- c) P+OXA: 2 ml di una soluzione 0.025 M di acido ossalico e KH_2PO_4 sono stati aggiunti alle singole sospensioni di ossido.

Tutti i campioni sono stati tenuti a reagire per complessivi 4 giorni a 10°C.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Adsorbimento di ioni fosfato ed ossalato su ossido di alluminio

La Figura 2 riporta l'adsorbimento di ioni fosfato ed ossalato su ossido di Al amorfo in funzione del pH. E' stato accertato che elevate quantità di ioni fosfato sono adsorbite a valori di pH acidi (820 $\mu\text{moli/g}$ a pH 4.0) mentre all'aumentare del pH si ha una sensibile e progressiva riduzione del fosfato adsorbito.

Gli ossidi idrati di alluminio (come tutti i minerali a carica variabile) presentano sulle loro superfici gruppi acidi $-\text{OH}_2$ (acqua gruppi) e gruppi basici $-\text{OH}$ (idrossi gruppi). I primi predominano a valori di pH inferiori al punto isoelettrico dell'ossido (pH 8.5 - 9.0) e i secondi a valori di pH superiori.

A pH acidi le superfici dell'ossido risultano più positive ed adsorbono più facilmente gli ioni fosfato mentre all'aumentare del pH diventano sempre più negative sfavorendone la fissazione. Tuttavia gli ioni fosfato avendo una forte affinità per l'alluminio risultano adsorbiti in quantità relativamente elevate persino a pH fortemente alcalini (350 $\mu\text{moli/g}$ a pH 9.0).

Lo spettro IR del campione tenuto a pH 3.40 in presenza di fosfato (Figura 3b) mostra una banda a 1120 cm^{-1} , non presente sull'ossido (Figura 3a) caratteristica dei legami $\text{P}=\text{O}$. Tale banda tende a diminuire nei campioni tenuti a pH più elevati (dati non mostrati) a causa di una sempre minore quantità di ioni fosfato adsorbiti (Figura 2).

L'adsorbimento di ioni ossalato su ossidi di alluminio in funzione del pH ha mostrato un andamento completamente diverso da quello osservato per il fosfato. E' stato infatti riscontrato un massimo di adsorbimento nell'intervallo di pH tra 5.0 e 7.0 (fino a circa 750 $\mu\text{moli/g}$).

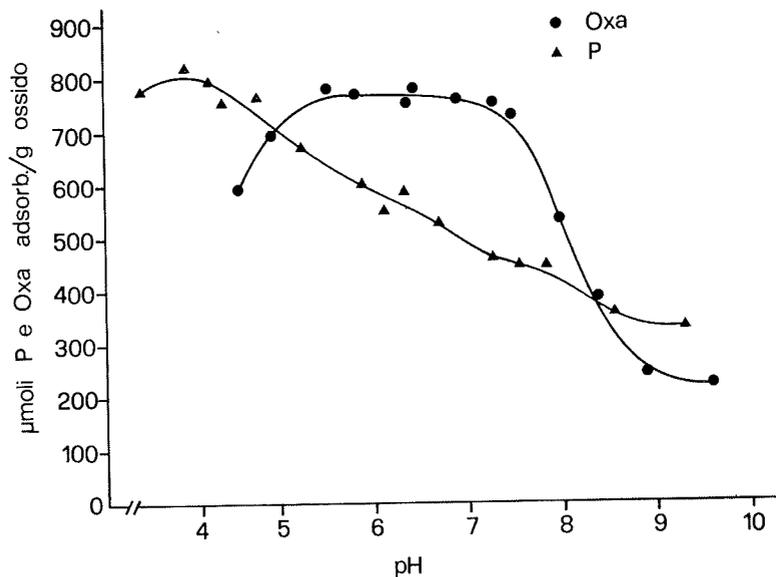


Figura 2 - Adsorbimento di ioni fosfato (P) ed ossalato (OXA) su ossido di alluminio in funzione del pH.

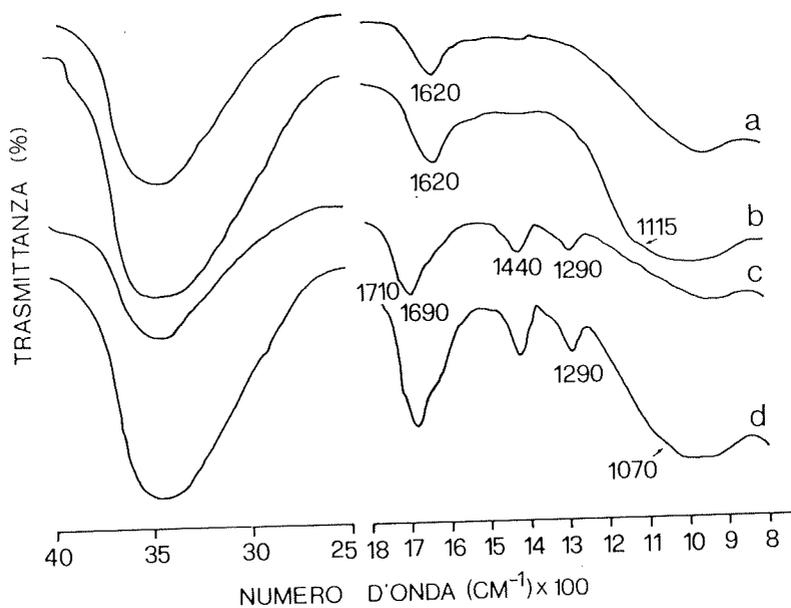


Figura 3 - Spettri IR dell'ossido di alluminio prima (a) e dopo adsorbimento di: (b) ioni fosfato (pH = 3.40), (c) ioni ossalato (pH = 5.00) e (d) ioni ossalato + fosfato (OXA + P) (pH = 5.00).

Il minor adsorbimento a $\text{pH} < 5$ è da attribuire sia ad un maggiore effetto solubilizzante degli ioni ossalato (è stato infatti accertato un aumento di ioni alluminio in soluzione a valori di pH molto acidi) sia a maggiore quantità di specie indissociate COOH-COOH o parzialmente dissociate COOH-COO^- (l'acido ossalico ha pK_2 4.26) che possono avere minor tendenza ad essere adsorbite sulle superfici positive dell'ossido.

A pH maggiori di 7.0 è stato accertato un sensibilissimo decremento dell'ossalato adsorbito (da $760 \mu\text{moli/g}$ a pH 7.0 a $230 \mu\text{moli/g}$ a pH 9.0).

Lo spettro IR del campione tenuto a pH 5.0 in presenza di ioni ossalato mostra bande a circa 1700 , 1400 e 1300 cm^{-1} che caratterizzano i gruppi carbossilici e carbossilato degli ioni organici adsorbiti sulle superfici dell'ossido (Figura 3c). Nei campioni tenuti a reagire a $\text{pH} > 8.0$, le bande caratteristiche degli ioni ossalato sono apparse appena visibili (dati non mostrati). Ciò evidenzia che a pH alcalini le quantità di ioni ossalato adsorbite diminuiscono sensibilmente.

Adsorbimento di ioni fosfato in presenza di ioni ossalato

La Figura 4 riporta l'adsorbimento di ioni fosfato in presenza di ioni ossalato su ossido di alluminio in funzione della modalità di aggiunta dei due anioni nell'intervallo di pH tra 3.0 e 9.0.

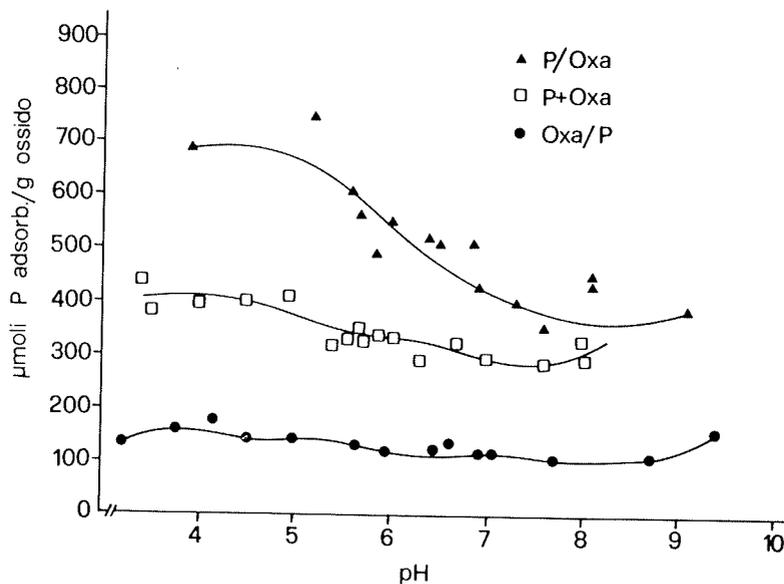


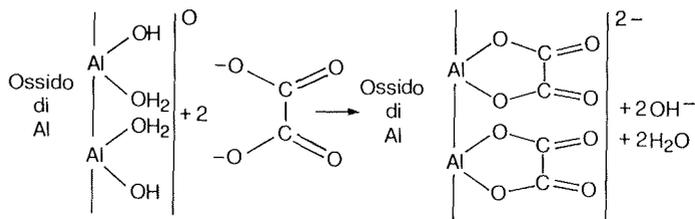
Figura 4 - Adsorbimento di ioni fosfato in presenza di ioni ossalato in funzione della modalità di aggiunta dei due anioni: P/OXA = fosfato aggiunto prima dell'ossalato; P + OXA = fosfato ed ossalato aggiunti contemporaneamente; OXA/P = ossalato aggiunto prima del fosfato.

Le fissazioni di ioni fosfato ed ossalato sulle superfici dell'ossido è confermata dagli spettri IR dei campioni tenuti a reagire a diversi pH. In Figura 3d viene riportato lo spettro dell'ossido tenuto in contatto con ioni fosfato ed ossalato (P + OXA) aggiunti contemporaneamente a pH = 5.0. Appaiono chiaramente le bande a 1710, 1690, 1440 e 1290 cm^{-1} caratteristiche degli ioni ossalato e le bande a 1070 cm^{-1} degli ioni fosfato.

E' stato dimostrato che una più elevata quantità di fosfato viene adsorbita allorché questo anione viene aggiunto all'ossido prima dell'ossalato (P/OXA). Viceversa quando i due anioni vengono aggiunti contemporaneamente (P + OXA) si ha una sensibile riduzione del fosfato adsorbito. Questo decremento risulta ancora più evidente quando il fosfato è aggiunto dopo l'ossalato (OXA/P). A pH 4.0 sono risultati adsorbiti 680 $\mu\text{moli/g}$ di fosfato quando l'anione inorganico è stato aggiunto per primo (P/OXA) e rispettivamente 400 e 180 $\mu\text{moli/g}$ di fosfato quando i due anioni sono stati aggiunti contemporaneamente (P + OXA) e quando l'anione organico è stato aggiunto prima (OXA/P).

E' importante notare come all'aumentare del pH queste differenze tendono ad attenuarsi, probabilmente per una sempre minor efficienza degli ioni ossalato nell'inibire la fissazione degli ioni fosfato.

Il sensibile decremento di fosfato adsorbito quando gli ioni ossalato sono aggiunti prima all'ossido, può essere dovuto non soltanto alla presenza di leganti organici già fissati sulle superfici esterne ma anche, e soprattutto all'aumento delle cariche negative che si formerebbero quando gli anioni ossalato sostituiscono gruppi $-\text{OH}_2$, come riportato nel seguente schema:



L'efficienza degli ioni ossalato nell'inibire la fissazione degli ioni fosfato può essere espressa in percento:

$$\text{Efficienza \%} = \frac{100 \text{ P ads. in assenza OXA} - \text{P ads. in presenza OXA}}{\text{P ads. in assenza OXA}}$$

E' stato accertato che l'efficienza è bassa (< 15%) quando il fosfato è aggiunto prima dell'ossalato, aumenta quando gli ioni fosfato ed ossalato sono

aggiunti contemporaneamente (< 50%) e raggiunge valori massimi quando l'ossalato precede il fosfato (> 70%).

L'efficienza degli ioni ossalato risulta più elevata a valori di pH acidi che a valori di pH alcalini. Ad esempio nel caso in cui i due anioni sono aggiunti contemporaneamente (P + OXA) l'efficienza è del 50% a pH 4.0, del 40% a pH 6.0 e del 10% a pH 8.0. Nel caso in cui l'ossalato precede il fosfato si passa da un valore di efficienza del 77% a pH 4.0, del 78% a pH 6.0 e del 72% a pH 8.0.

Sembra quindi logico concludere che le biomolecole rilasciate dagli essudati radicali e dalla flora microbica esercitano un ruolo fondamentale sulla nutrizione minerale rendendo più facilmente disponibili per le piante gli ioni fosfato che altrimenti resterebbero fissati sulle superfici dei colloidi del suolo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BOWDEN J. W., NAGARAJAH S., BORROW N. J., POSNER A. M., QUIRK J. P. - Describing the adsorption of phosphate, citrate and selenite on a variable charge mineral surface. *Aust J. Soil Res.* 18: 49, 1980.
- (2) EARL K. D., SYERS J. K., Mc LAUGHLIN J. R. - Origin of the effects of citrate, tartrate and acetate on phosphate sorption by soils and synthetic gels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 674, 1979.
- (3) HAYNES R. J. - Limes and phosphate in the soil plant system. *Advances in Agronomy* 37: 249, 1984.
- (4) HSU P. H. - Precipitation of phosphate from solution using aluminum salts. *Water Res.* 9: 1155, 1975.
- (5) HSU P. H. - Aluminum hydroxides and oxyhydroxides Minerals in Soil Environments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison Wis. 99, 1977.
- (6) HUANG P. M., VIOLANTE A. - Influence of organic acids on crystallization and surface properties of precipitation products of Aluminum. *Interactions of Soil Minerals with Natural and Microbes*, SSSA Spec. Pub. No. 17: 159, 1986.
- (7) PARFITT R. L. - Anion adsorption by soils and soil materials. *Advances in Agronomy* 30: 1, 1978.
- (8) ROVIRA A. D. e Mc DOUGALL B. M. - Microbiology and biochemical aspects of the rhizosphere. *Soil Biochem.* 1: 417, 1967.
- (9) STEVENSON F. J. - Organic acid in soil p. 119. In A.D. Mc Laren and G.A. Peterson (eds). *Soil Biochemistry* Marcel Beker Inc., N.Y., 1967.
- (10) STRUTHERS P. H., SIELING D. H. - Effects of organic anions on phosphate precipitation by Fe and Al as influenced by pH. *Soil Sci.* 69: 205, 1950.
- (11) VIOLANTE A., VIOLANTE P. - Influence of pH, concentration and chelating power of organic anions the synthesis of aluminum hydroxides and oxyhydroxides. *Clays and Clay Minerals.* 28: 425, 1980.

Proprietà di superficie dei prodotti idrolitici dell'alluminio: influenza dell'acido tartarico

VIOLANTE A. - VIOLANTE P.

INTRODUZIONE

I caratteri mineralogici e di cristallinità dei prodotti di precipitazione dell'alluminio sono influenzati dal pH, dalla presenza di minerali argillosi e di leganti organici ed inorganici (1, 3, 4).

In assenza di leganti gli idrossidi di alluminio inizialmente amorfi, cristallizzano in tempi relativamente brevi, formando gibbsite, bayerite e/o nordstrandite. In presenza di leganti, invece, il processo di cristallizzazione dei polimorfi dell' $\text{Al}(\text{OH})_3$ può essere sensibilmente ritardato o completamente inibito con conseguente formazione di prodotti di precipitazione criptocristallini o noncristallini (3, 4).

Gli ossidi idrati di alluminio a scarso ordine cristallino sono caratterizzati da elevata reattività nei confronti di nutritivi, pesticidi ed erbicidi.

Acidi organici a basso peso molecolare sono rilasciati dalle radici delle piante o prodotti da batteri e funghi (2).

L'acido tartarico, legante organico tra i più efficaci nell'inibire le reazioni idrolitiche dell'alluminio, si accerta presente negli essudati radicali di molti cereali (1, 3, 4).

Scopo di questa indagine è stata la definizione dell'influenza del pH e della concentrazione di acido tartarico sulla composizione chimica, sulla morfologia e sulle proprietà di superficie di ossidi idrati di alluminio a scarso ordine cristallino.

MATERIALI E METODI

I prodotti di precipitazione dell'alluminio sono stati ottenuti aggiungendo, fino a pH 8.0, NaOH 0.05 M a soluzioni $2 \cdot 10^{-3}$ M di AlCl_3 in presenza

o in assenza di acido tartarico in concentrazioni tali da realizzare valori del rapporto molare acido tartarico/Al (R) pari 0.025, 0,05, 0.1 e 0.25.

Sono stati anche preparati campioni caratterizzati da rapporto molare acido tartarico/Al uguale a 0.1 e da pH iniziale pari a 4.7, 5.4, 6.0, 10.0.

Le sospensioni, invecchiate 30 giorni, sono state filtrate su filtri Millipore con diametro dei pori minore di 0.025 μm .

I precipitati raccolti sono stati lavati con H_2O deionizzata, essiccati all'aria e setacciati a 60 mesh.

L'alluminio presente in ciascun campione è stato determinato per spettrofotometria A.A. dopo solubilizzazione del materiale ed ossidazione dei leganti organici con HNO_3 e H_2SO_4 .

Il carbonio organico coprecipitato è stato ossidato a CO_2 per combustione e determinato per via gas cromatografica.

I campioni sono stati caratterizzati con l'impiego della diffrattometria ai raggi X, dell'analisi termodifferenziale (DTA) e della microscopia elettronica a scansione (SEM).

L'area superficiale è stata determinata per adsorbimento di etilenglicolmonoetere (EGME).

RISULTATI E CONCLUSIONI

Composizione chimica e mineralogica dei campioni

Nei precipitati ottenuti a pH 8.0, in presenza di quantità crescenti di acido tartarico, il contenuto di alluminio, espresso come Al_2O_3 , è diminuito all'aumentare del rapporto molare legante/Al risultando pari a 68.2% per $R = 0$, 60.5% per $R = 0.1$ e 51.3% per $R = 0.25$. Viceversa, il contenuto di carbonio organico è aumentato, all'aumentare di R, dal 3.30% ($R = 0.025$) al 9.35% ($R = 0.25$) (Tabella 1).

TABELLA 1 - Contenuto di alluminio e di carbonio organico di prodotti di precipitazione ottenuti a pH 8.0 e a diversi rapporti molari acido tartarico/Al (R).

R	% Al_2O_3	% C
0	68.2	—
0.025	66.2	3.30
0.050	67.7	3.40
0.10	60.5	4.50
0.25	51.3	9.35

I campioni preparati allo stesso valore del rapporto molare acido tartarico/Al ($R = 0.1$) ma a pH iniziali diversi sono risultati caratterizzati da contenuto di Al_2O_3 tanto più elevato e di carbonio organico tanto più basso quanto maggiore il grado di reazione del sistema. Per il prodotto di precipitazione ottenuto a pH 4.7 è stato accertato, infatti, contenuto di Al_2O_3 e di carbonio organico pari, rispettivamente, al 49.0 e al 9.0%, mentre nel materiale sintetizzato a pH 10.0 sono state determinate quantità di Al_2O_3 del 60.4% e di carbonio organico del 2.5% (Tabella 2).

TABELLA 2 - Contenuto di alluminio, carbonio organico e area superficiale di prodotti di precipitazione ottenuti a rapporto acido tartarico/Al = 0.1 e a diversi pH iniziali.

pH	% Al_2O_3	% C
4.74	49.0	9.00
5.40	54.2	6.25
6.0	58.4	5.10
8.0	60.5	4.50
10.0	60.4	2.50

L'indagine diffrattometrica ha messo in evidenza che i prodotti di precipitazione dell'alluminio preparati in presenza di acido tartarico risultano completamente amorfi o caratterizzati da scarso ordine cristallino (Figura 1).

In particolare, per i materiali ottenuti a $pH < 6.0$ ($R = 0.1$) si sono ottenuti diffrattogrammi quasi completamente piatti (Figura 1a). Per gli altri campioni è stato possibile evidenziare, ad angoli diversi, effetti di diffrazione molto slargati di difficile attribuzione (Figura 1b-1d). Nei diffrattogrammi dei prodotti di precipitazione dell'alluminio preparati in assenza di anione organico sono risultati presenti due picchi a 4.72 e 4.33 Å caratteristici della bayerite (Figura 1e). I tipici cristalli piramidali di questo polimorfo di $Al(OH)_3$ sono stati osservati al microscopio elettronico (Figura 2A).

L'analisi termodifferenziale ha evidenziato in alcuni campioni ($R = 0.1$) picchi esotermici a 420-470, 740 e 840-880°C (Figura 3).

I picchi a 420-470°C sono risultati più intensi all'aumentare del rapporto molare acido tartarico/Al (Figura 3a, 3c), mentre quelli a 740 e 840-880°C sono apparsi evidenti solo nei campioni contenenti più elevate quantità di anioni organici coprecipitati (Figura 3b, 3c).

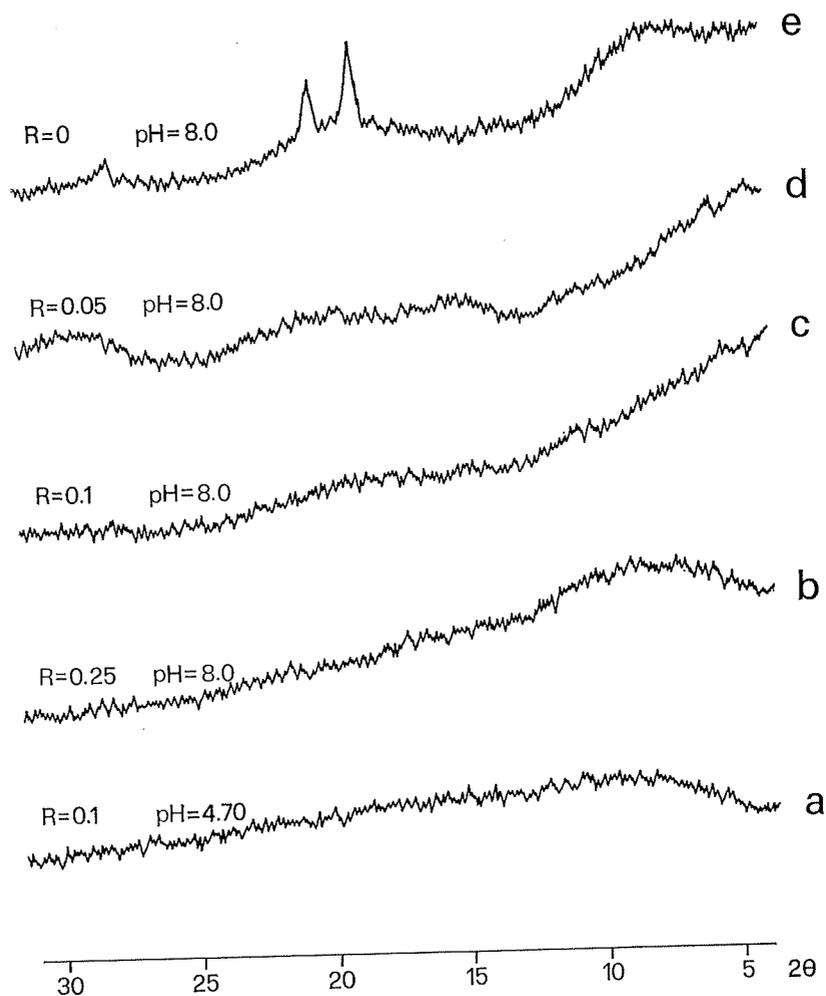
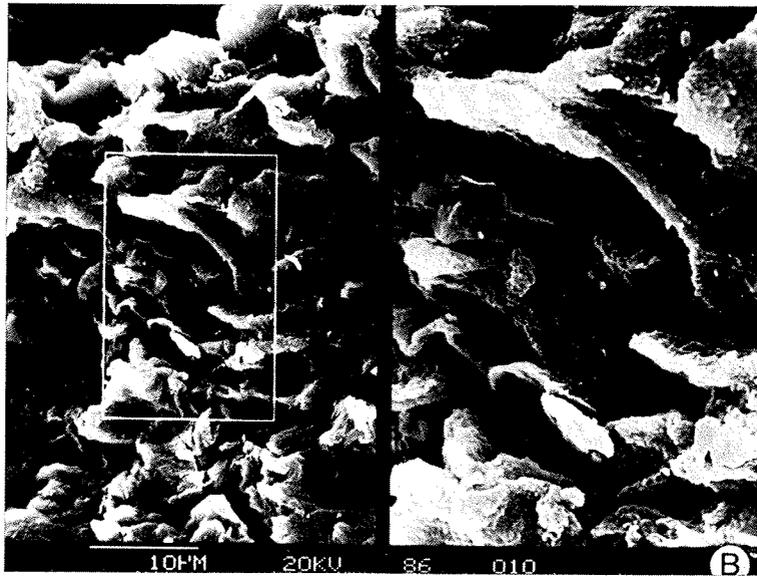
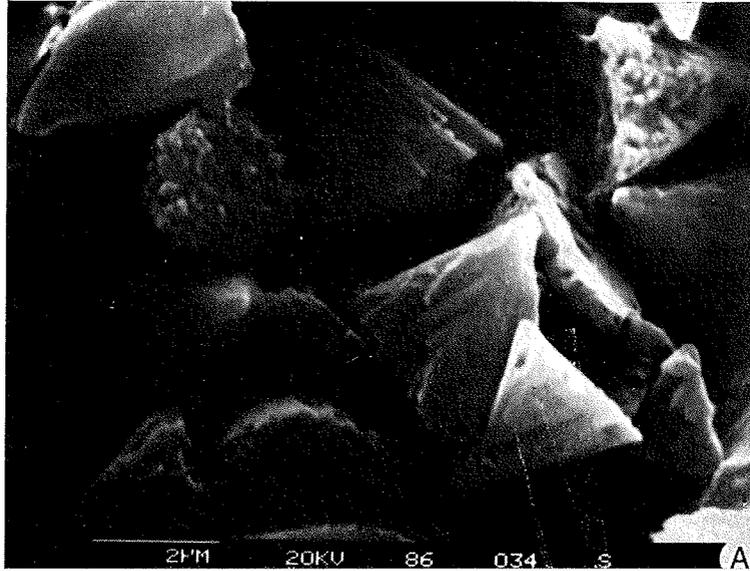


Figura 1 - Diffratogrammi di prodotti di precipitazione dell'Al formati a pH e a rapporti acido tartarico/Al (R) diversi: (a) pH = 4.70, R = 0.1; (b) pH = 8.0, R = 0.25; (c) pH = 8.0, R = 0.1; (d) pH = 8.0, R = 0.05; (e) pH = 8.0, ed in assenza di acido tartarico (R = 0).

Influenza dell'acido tartarico coprecipitato e del pH sull'area superficiale dei prodotti di precipitazione dell'alluminio.

Si riporta nella Figura 4 la schematizzazione delle relazioni esistenti tra area superficiale accertata per i prodotti di precipitazione dell'alluminio ottenuti a pH 8.0 in assenza ed in presenza di acido tartarico, valori del rapporto legante organico/Al e contenuto percentuale di carbonio organico coprecipitato.



rap-
8.0,
d in

iale

tra
nio
rap-
nico

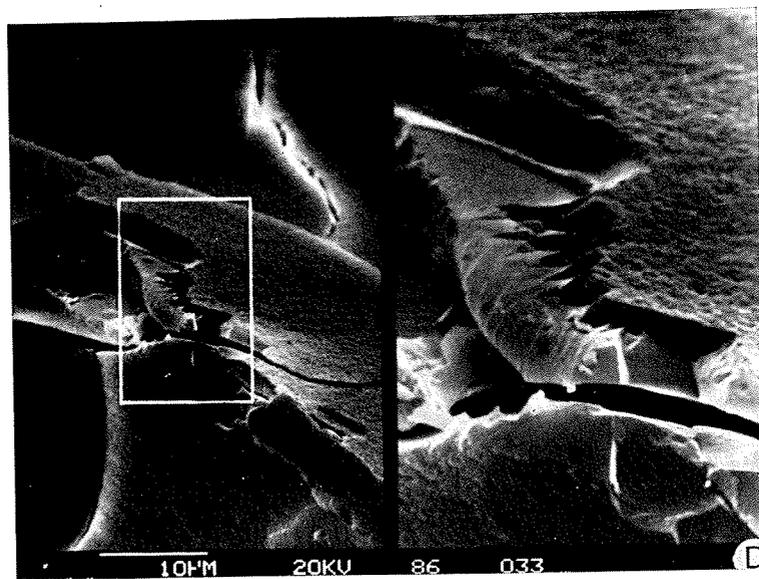
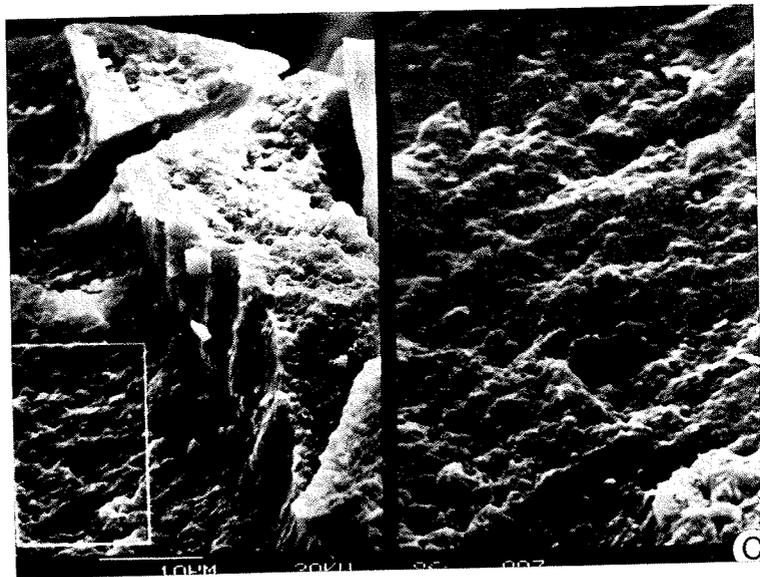


Figura 2 - Micrografie al microscopio elettronico a scansione di prodotti di precipitazione dell'Al ottenuti a pH 8.0 in assenza (A) o in presenza di acido tartarico a $R = 0.025$ (B); $R = 0.10$ (C) e $R = 0.25$ (D).

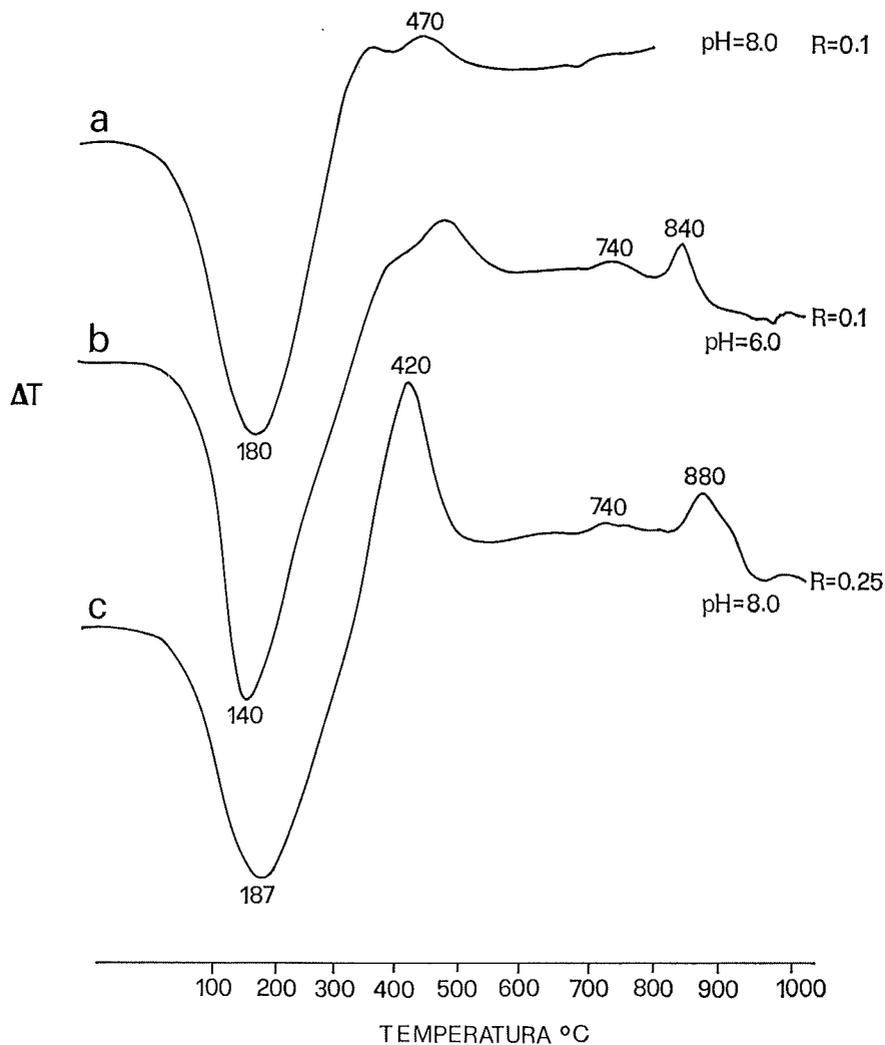


Figura 3 - Curve termodifferenziali di prodotti di precipitazione dell'Al formati in presenza di acido tartarico a: (a) pH = 8.0 e R = 0.1; (b) pH = 6.0 e R = 0.1; (c) pH = 8.0 e R = 0.25.

Per il materiale preparato in assenza di acido tartarico è stata accertata area superficiale pari a 220 m²/g. La presenza nel sistema di limitata concentrazione di anione organico (R = 0.025) induce coprecipitazione di carbonio organico in quantità pari a 3.30% e incremento dell'area superficiale (610 m²/g).

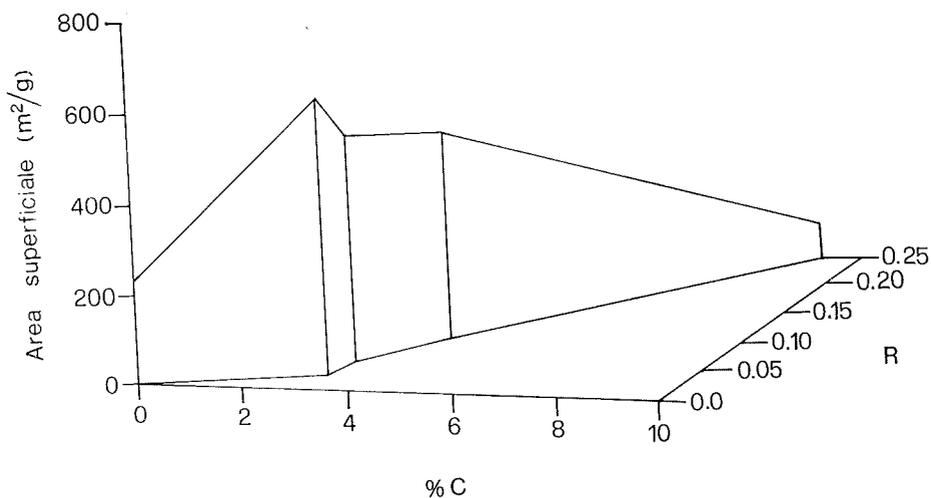


Figura 4 - Schematizzazione delle relazioni esistenti tra area superficiale, % di carbonio organico coprecipitato e rapporti iniziali legante/Al di prodotti di precipitazione dell'Al ottenuti a pH 8.0.

All'osservazione al microscopio elettronico si evidenziano superfici poco compatte, caratterizzate da elevata porosità (Figura 2B).

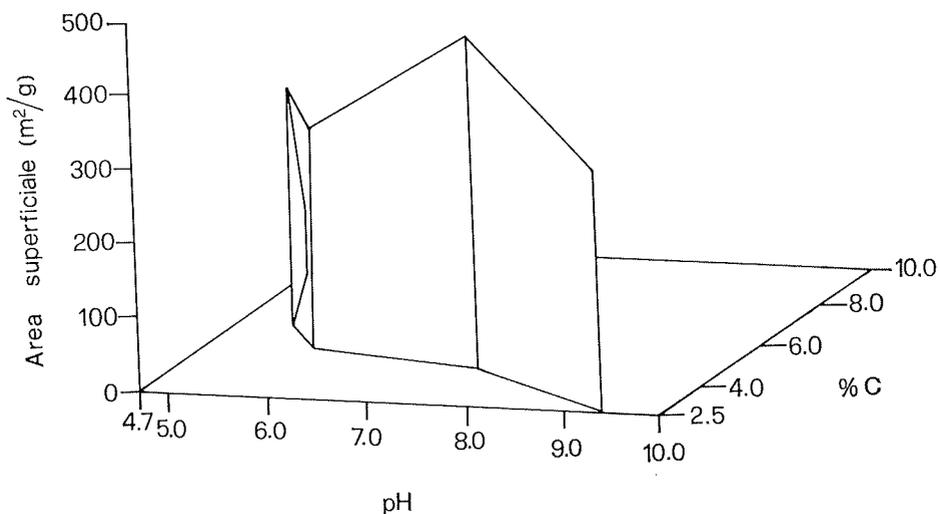


Figura 5 - Schematizzazione delle relazioni esistenti tra area superficiale, % di carbonio organico coprecipitato e pH di prodotti di precipitazione dell'Al ottenuti a rapporto acido tartarico/Al = 0.1.

In presenza di quantità crescenti di acido tartarico ($R > 0.025$) si accerta incremento della quantità di carbonio organico coprecipitato ma sensibile diminuzione dell'area superficiale.

Per quantità di carbonio organico pari al 9.35% l'area superficiale del materiale si riduce a $80 \text{ m}^2/\text{g}$. Al microscopio elettronico le superfici dei prodotti caratterizzati da quantità sempre più elevate di carbonio organico coprecipitato appaiono, corrispondentemente, sempre più omogenee e compatte (Figura 2C, 2A).

Nella Figura 5 viene rappresentata graficamente la relazione tra area superficiale accertata per i prodotti di precipitazione dell'alluminio, ottenuti a valore del rapporto legante organico/Al pari a 0.1, contenuto di carbonio coprecipitato e grado di reazione espresso da pH variabile da 4.7 a 8.0. Appare evidente che l'area superficiale aumenta in generale al diminuire della concentrazione idrogenionica, passando da $68 \text{ m}^2/\text{g}$ misurati a pH 4.7 a $450 \text{ m}^2/\text{g}$ a pH 8.0. Per i valori crescenti del pH diminuisce, infatti, il contenuto di carbonio organico coprecipitato.

I risultati ottenuti sembrano indicare che la quantità di legante organico presente nel sistema definisce i caratteri fisici dei prodotti idrolitici dell'alluminio. In particolare:

- basso contenuto di anione organico, provocando azione di disturbo nella formazione dell'edificio cristallino degli ossidi idrati di alluminio, induce aumento dell'area superficiale del materiale precipitato;
- concentrazione di legante superiore ad un certo valore limite, portando a coprecipitazione di quantità crescenti di carbonio organico, provoca sensibile effetto cementante. Gli ioni tartrato, adsorbiti sulle superfici esterne degli ossidi, agirebbero da ponte tra ioni alluminio di particelle diverse provocando intensa aggregazione e compattazione;
- la quantità di carbonio organico coprecipitato risulta, a pH costante, direttamente proporzionale al valore del rapporto legante organico/Al, e a pH variabile, inversamente proporzionale alla concentrazione ossidrilionica.

BIBLIOGRAFIA

- (1) HUANG P.M., VIOLANTE A. - Influence of organic acids on crystallization and surface properties of precipitation products of aluminum. SSSA Special Publication Number 17, Cap. 6, 159, 1986.
- (2) STEVENSON F.J. - Organic acid in soil p. 119-146. In MacLaren and Peterson (Ed). Soil biochemistry. vol. 1. Marcel Dekker. New York, 1967.
- (3) VIOLANTE A., VIOLANTE P. - Influence of pH, concentration and chelating power of organic anions on the synthesis of aluminum hydroxides and oxyhydroxides. Clays Clay Miner., 28: 425, 1980.
- (5) VIOLANTE A., HUANG P.M. - Influence of inorganic and organic ligands on the formation of aluminum hydroxides and oxyhydroxides. Clays Clay Miner., 33: 181, 1985.

Bonifica di un'azienda caratterizzata da terreni
salini, alcalini e salino-alcalini (1)

Nota I

CALIANDRO A., CUCCI G., DE CARO A. (2)

INTRODUZIONE

Lungo le coste italiane le pianure alluvionali spesso sono caratterizzate da terreni anomali: salini, alcalini e salino-alcalini, con valori della conducibilità elettrica dell'estratto saturo a volte incompatibili con un gran numero di piante di interesse agrario ($EC > 15 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$).

In molte zone la presenza di queste anomalie è dovuta a mancanza di un efficiente drenaggio o a precipitazioni insufficienti a lisciviare i sali degli strati superficiali maggiormente interessati dagli apparati radicali. Quest'ultima situazione è particolarmente riscontrabile in ambienti caldo-aridi, come quelli dell'Italia meridionale, in presenza di falda superficiale, dove durante il periodo siccitoso l'elevata domanda evapotraspirativa dell'ambiente determina un notevole flusso di acqua e di soluti dalla falda agli strati più superficiali del terreno, in cui i soluti tendono ad accumularsi mentre l'acqua evapora.

Una situazione del genere si riscontra, spesso in forma molto evidente, in Calabria, nella piana di Sibari, lungo la costa ionica occidentale in prossimità della foce del fiume Crati.

Il risanamento di questi terreni è praticabile essenzialmente attraverso interventi miranti ad allontanare i sali in eccesso, nel caso di terreni salini, e/o dell'eccesso di sodio nel caso di terreni salino-alcalini o alcalini. Tali

(1) Ricerca eseguita dall'Istituto di Agronomia generale e Coltivazioni erbacee della Facoltà di Agraria di Bari.

(2) Gli Autori, riportati in ordine alfabetico, sono rispettivamente Prof. ordinario di Agronomia, Ricercatrice confermata presso l'Istituto di Agronomia dell'Università di Bari, e prof. ordinario di Agronomia montana presso l'Istituto di Agronomia dell'Università della Basilicata.

interventi riguardano: dilavamento dei sali, apprestamento di una efficiente rete scolante, uso di correttivi, adozione di appropriate tecniche colturali.

L'Istituto di Agronomia dell'Università di Bari, tra il 1975 ed il 1978, ha condotto uno studio di questo tipo sui terreni dell'azienda « Casa Bianca », sita nella piana di Sibari in agro di Cassano Jonio (CS), per individuare gli interventi agronomici più idonei al loro risanamento.

L'azienda oggetto di studio, ubicata in prossimità della foce del fiume Crati, è dell'estensione di circa 450 ha ed è caratterizzata da terreni profondi di origine alluvionale, degradanti verso il mare, con pendenza media variabile tra l'1 e l'1,5%, in parte coltivata a riso ed in parte non coltivata da diversi decenni e ricoperta da vegetazione spontanea costituita in prevalenza da tamerici, essenza tipica di terreni salini o salino-alcalmi.

Precedenti studi effettuati a poca distanza dall'azienda, l'aspetto generale dei terreni, la situazione idrologica ed il tipo di vegetazione spontanea indicano che trattasi di terreni anomali ed asfittici.

MATERIALI E METODI

Al fine di ottenere indicazioni utili per la scelta degli interventi agronomici più appropriati per bonificare e mettere a coltura l'azienda, nel 1975 si è cominciato con il prelevare campioni di terreno, dalla superficie a 210 cm di profondità, effettuando in totale 30 carotaggi con maglia quadrata a lati di circa 350 m (Figura 1).

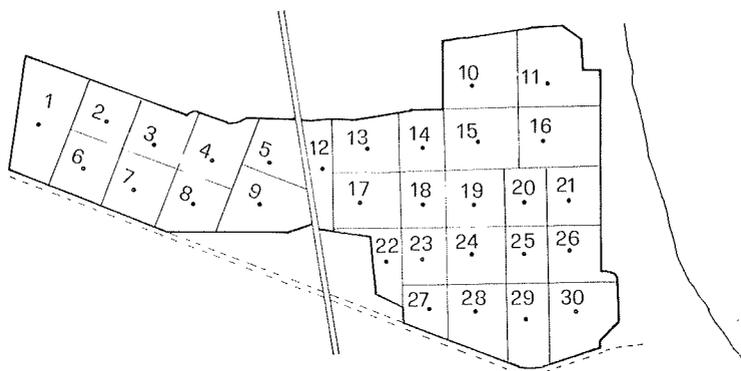


Figura 1 - Planimetria dell'azienda esaminata con i punti di prelievo dei campioni di prima della bonifica.

Le carote di terreno subito dopo il prelievo sono state sezionate in sette parti uguali ed essiccate all'aria. Successivamente su di esse sono state effettuate le seguenti determinazioni: granulometria, capacità di scambio cationico, percentuale di sodio scambiabile e sull'estratto saturo: conducibilità elettrica,

pH e concentrazione in Na, Ca, Mg. Limitatamente alla sezione di carota più superficiale è stato determinato il fabbisogno in gesso e rapportato allo strato superficiale profondo 40 cm; per quest'ultimo strato tale fabbisogno è variato fra 5,0 e 15,0 t/ha.

Nel 1978, due anni dopo la sistemazione superficiale, che sarà descritta successivamente, e la messa a coltura dell'azienda, da ciascuna unità colturale è stato prelevato un campione medio di terreno dalla superficie a 40 cm di profondità, derivante da 5 campioni prelevati lungo le due diagonali. Sull'estratto saturo di ciascun campione così prelevato ed essiccato all'aria sono stati determinati: il pH e la conducibilità elettrica.

I risultati delle determinazioni effettuate sul terreno prima e dopo gli interventi di bonifica sono riportati nelle Figure da 2 a 7.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Le determinazioni granulometriche hanno permesso di evidenziare che i terreni dell'azienda oggetto di studio sono prevalentemente di tipo argilloso-limoso negli strati più superficiali, ma tendenti a divenire sempre più argillosi con l'aumentare della profondità, ad eccezione di alcune aree limitate, in prossimità della costa dove, al di sotto di un primo strato superficiale di circa 50-60 cm, s'incontra uno strato di sabbia alquanto profondo. Le caratteristiche granulometriche medie lungo il profilo dei terreni più rappresentativi sono riportati nella Figura 2.

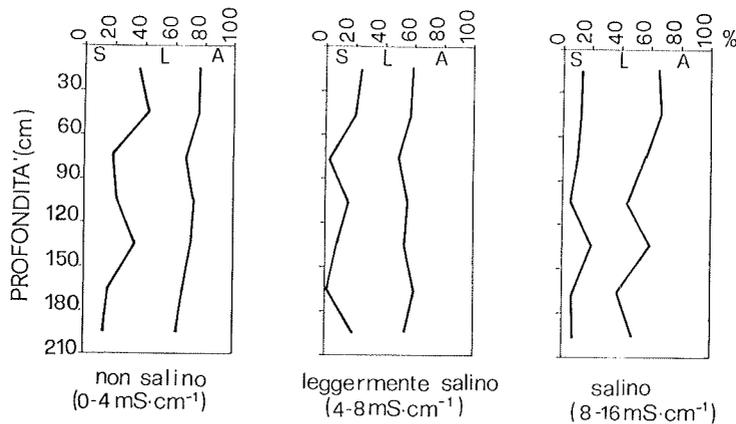


Figura 2 - Composizione granulometrica lungo il profilo dei tre terreni più rappresentativi dell'azienda « Casa Bianca ».

Le determinazioni chimiche effettuate su campioni prelevati prima della trasformazione hanno evidenziato che per gli strati superficiali del terreno (0-30) e 31-60 cm) la percentuale di sodio scambiabile, il pH e la conducibilità

elettrica dell'estratto saturo variano rispettivamente da un minimo ad un massimo di 1,31-50,56%, 7,6-9,0 e 0,68-16,1 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Più in particolare, il 22-65 e 13% della superficie aziendale è caratterizzata da valori di pH, rispettivamente, inferiori a 8,0; compresi tra 8,0 e 8,5 e superiori a 8,5 (Figura 3); il 57 - 27 e 16% dei terreni dell'azienda presenta valori di conducibilità elettrica dell'estratto saturo, rispettivamente, inferiori a 4,0, compresi tra 4,0 e 8,0 e superiori a 8,0 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Figura 4); il 25,8 - 67,7 e 6,5% dei terreni, infine, è

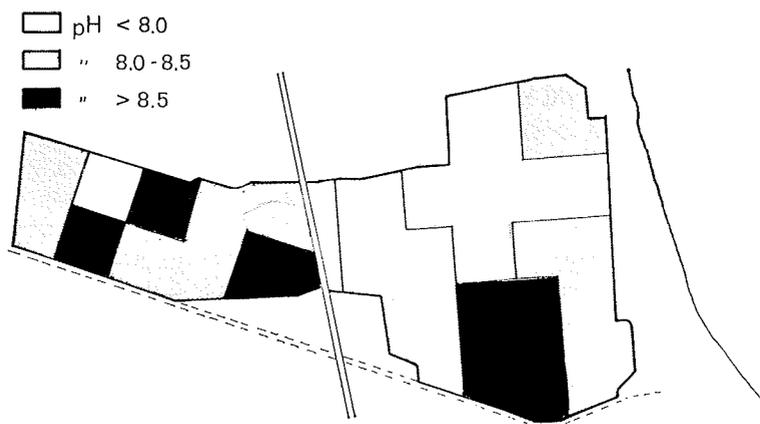


Figura 3 - Aree a diverso valore di pH dello strato superficiale di terreno profondo 40 cm, determinato sull'estratto saturo prima della bonifica.

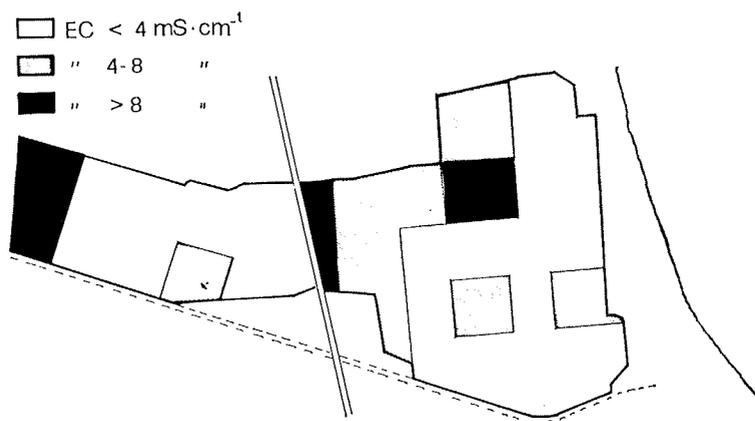


Figura 4 - Aree a diverso valore di conducibilità elettrica dello strato superficiale di terreno profondo 40 cm, determinato sull'estratto saturo prima della bonifica.

caratterizzato da valori percentuali di sodio scambiabile inferiori al 15%, compresi tra il 15 ed il 30% e superiori al 30%, rispettivamente (Figura 5).

La capacità di scambio cationico in media è risultata pari a 37,2 meq/100 g di terreno.

Le determinazioni effettuate sull'estratto saturo dei campioni di terreno prelevati due anni dopo gli interventi di bonifica evidenziano che nello strato superficiale profondo 40 cm i valori del pH sono risultati inferiori a 8,0, compresi tra 8,0 e 8,5 e superiori a 8,5, rispettivamente, per il 16,8, il 66,6 ed il 16,6% della superficie (Figura 6); i valori di conducibilità elettrica, invece,

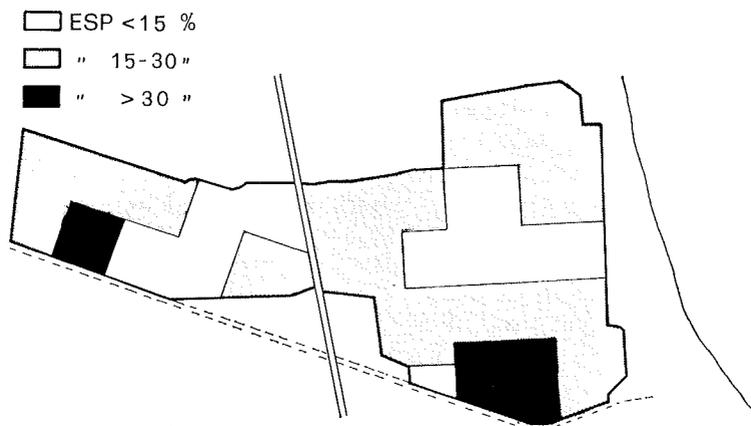


Figura 5 - Arce a diversa percentuale di sodio scambiabile dello strato superficiale di terreno profondo 40 cm, determinato prima della bonifica.

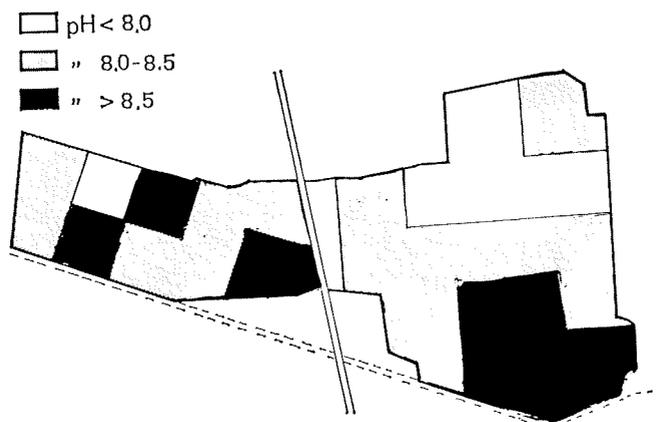


Figura 6 - Arce a diverso valore di pH dello strato superficiale di terreno profondo 40 cm, determinato sull'estratto saturo, 2 anni dopo la bonifica.

sono risultati inferiori a $4 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, compresi tra $4,0$ e $8,0 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ e superiori a $8,0 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, rispettivamente, per il 64,7, il 27,3 e l'8% della superficie aziendale (Figura 7).

La scarsa permeabilità dei terreni e la limitata cadente idraulica determinano, almeno nella stagione delle piogge, eccessi idrici tali che la messa a coltura dell'azienda non poteva prescindere da una razionale sistemazione idraulica dei terreni. A tal fine, dopo l'individuazione delle colture erbacee a ciclo autunno-invernale, più adatte alle caratteristiche dei terreni (cereali e barbabietola da zucchero), tenendo conto delle esigenze di meccanizzazione delle operazioni colturali è stato ritenuto valido adottare la sistemazione a larga o alla ferrarese. Il dimensionamento delle unità colturali è scaturito da considerazioni sia di tipo economico (tempi morti delle macchine; costi di manutenzione della rete scolante; tare aziendali, ecc.) che di tipo agronomico strettamente legate alle caratteristiche dei terreni.

Pertanto, nel 1976 l'azienda è stata suddivisa in unità colturali baulate: larghe 100 m, lunghe 350 m, con freccia di 50-60 cm, quindi con pendenza media trasversale all'asse longitudinale pari all'1-1,2%, delimitate da scoline profonde 80 cm e realizzate con scarpa 1:0.5.

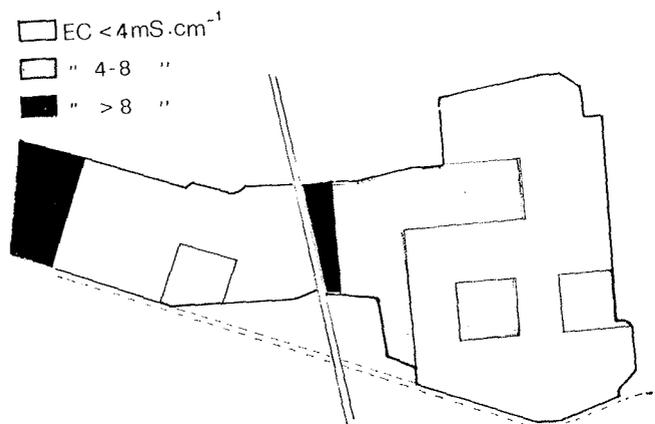


Figura 7 - Aree a diverso valore di conducibilità elettrica dello strato superficiale di terreno profondo 40 cm, determinato sull'estratto saturo due anni dopo la bonifica.

La profondità di 80 cm per le scoline è stata adottata in previsione di una loro utilizzazione anche per il controllo di una eventuale falda pensile temporanea. In tale circostanza si sarebbe fatto ricorso ad un drenaggio sotterraneo realizzato con aratro talpa in senso normale all'asse delle scoline che funzionerebbero da collettori dei dreni.

La sistemazione idraulica dell'azienda è stata completata con collettori, ad andamento normale alle scoline, che si riversano in fossi di bonifica.

Completata la sistemazione, nell'autunno del 1976 l'azienda è stata messa a coltura previa somministrazione di gesso in quantità pari a 2,5 t/ha al momento della preparazione del letto di semina. Le colture praticate sono state orzo, nelle zone maggiormente affette da problemi di salinità e alcalinità, frumento duro e tenero e barbabietola da zucchero a semina autunnale.

L'applicazione di solfato di calcio è stata suggerita anche per gli anni successivi fino al raggiungimento delle quantità determinate in laboratorio per le diverse aree.

Una delle perplessità avute in fase di progettazione della sistemazione dei terreni ha riguardato la larghezza delle unità colturali, pari a 100 m, che si discosta notevolmente da quella che attualmente viene adottata nelle zone di bonifica (40-50 m). Tuttavia, nel complesso non sono stati osservati fenomeni di ristagni di acqua attribuibili all'eccessiva larghezza delle unità colturali, per cui si può dire che, almeno in ambienti simili a quello della pianura di Sibari, caratterizzato da piovosità concentrata nel periodo autunno-invernale, con possibilità di eventi piovosi superiori ai 100 mm, la regimazione di acque zenitali in eccesso è possibile anche con unità colturali larghe 100 m.

Nell'eventualità di formazione di falda superficiale, in alcuni appezzamenti è stato realizzato anche il drenaggio sotterraneo con aratro talpa, con cunicoli profondi 50-60 cm, distanziati tra loro 2 m ed orientati in senso normale all'asse delle scoline. Tale sistema di drenaggio, però, non si è mai attivato non essendosi costituita negli anni di osservazione una falda superficiale.

I risultati produttivi conseguiti dalle colture praticate sono stati alquanto soddisfacenti in relazione alle caratteristiche dei terreni ed all'andamento climatico, mostrando anche una certa tendenza ad un loro miglioramento nel tempo.

Confrontando i valori di conducibilità elettrica e del pH dell'estratto saturo determinati su campioni di terreno prelevato prima e due anni dopo la messa a coltura dell'azienda, nello strato superficiale di terreno profondo 40 cm è stato osservato un notevole abbassamento della conducibilità elettrica, in media del 41%, ed un leggero aumento, invece, del pH, in media dell'1,2%.

Da queste prime osservazioni si può quindi concludere che gli interventi di bonifica attuati si sono dimostrati validi sia per quanto riguarda la regimazione delle acque in eccesso che la lisciviazione dei sali. Tuttavia per un ulteriore approfondimento su questo aspetto, per i due terreni più rappresentativi (alcalino e salino-alcalino), è stato eseguito uno studio in laboratorio su colonne, i cui risultati saranno oggetto di una seconda nota.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BIGGAR S.W., NIELSEN D.R. - Miscible displacement and leaching phenomenon in irrigation of agricultural lands. *American Society of Agronomy, Agronomy*, 11: 254, 1967.
- (2) HANCE F.E. and STEWART G.R. - Replaceable bases in the soils of central Hawaii. *Planters' Rec*, 31: 342, 1927, citato da SMITH H.V., BUCHNER F.T., WICKSTROM G.A. - Effect of exchangeable magnesium on the technical and physical properties of some Arizona soils. *Soil Sci.*, 68: 451, 1949.
- (3) GIOFFE J.S. and ZIMMERMAN M. - Sodium, calcium and magnesium ratios in the exchange complex. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 9: 51, 1945. Abstr. in *Chem. Abs.* 40: 1258, 1946.
- (4) KAMPHORST A., BOLT G.H. - Saline and sodic soils - in *Soils Chemistry A. Basic Elements*. E.S.P.C. Oxford, 171, 1976.
- (5) MARTIN J.P. and RICHARD S.J. - Influence of exchangeable hydrogen and calcium and of sodium, potassium and ammonium at different hydrogen levels on certain physical properties of soils. *Soil Soc. Amer. Proc.*, 23: 335, 1959.
- (6) PATRUNO A., CAVAZZA L., DE CARO A. - Ricerche sulla possibilità di correzione di un terreno salino ricco in magnesio. *Riv. di Agronomia*, III, 4: 143, 1969.
- (7) RICHARDS L.A. - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dept. Agr. Handbook n. 60, 1954, Washington.
- (8) SHAVRYGIN P.I. - The influence of adsorbed magnesium on the physical properties of the soil. *Pedology U.S.S.R.* 30: 157, 1935. Abstract in *Chem. Abs.* 30: 1486, 1936.

Lisciviazione dei soluti da terreni salino-alcalini ed
alcalini effettuata su colonne in laboratori (1)

Nota II

CUCCI G., DE CARO A., CASTRIGNANO' A., CALIANDRO A. (2)

La correzione dei terreni anomali (salini, salino-alcalini ed alcalini), come è noto, si basa essenzialmente sulla lisciviazione dei soluti in eccesso che può essere favorita con l'irrigazione, con adeguato sistema di drenaggio e, in situazioni di limitata permeabilità del terreno, per la presenza di elementi disperdenti dei colloidi, come il Na, con l'applicazione di sostanze correttive, idonee a migliorare la struttura del terreno ed a favorire l'allontanamento del Na dal complesso di scambio.

Il tipo e la quantità di correttivo da usare sono aspetti determinanti per la correzione dei terreni anomali; a tale riguardo indicazioni utili possono derivare da analisi di laboratorio.

L'Istituto di Agronomia e Coltivazioni erbacee dell'Università di Bari, nell'ambito di uno studio, riportato in una prima nota, sulla bonifica dell'azienda agricola « Casa Bianca » sita nella piana di Sibari, in prossimità della foce del fiume Crati, caratterizzata da terreni salini, salino-alcalini ed alcalini, ad elevato contenuto di Mg, ha approfondito l'evoluzione delle proprietà chimiche e fisiche durante il processo di lisciviazione di un terreno alcalino e di uno salino-alcalino, rappresentativi della detta azienda, operando su colonne e con tipi e quantità diverse di correttivi, i cui risultati saranno qui di seguito esposti.

(1) Ricerca eseguita presso l'Istituto di Agronomia generale e Coltivazioni erbacee della Facoltà di Agraria di Bari.

(2) Gli Autori, rispettivamente Ricercatrice confermata presso l'Istituto di Agronomia e Coltivazioni erbacee dell'Università di Bari, Prof. straordinario di Agronomia montana presso l'Istituto di Agronomia dell'Università della Basilicata, Collaboratrice esterna e Prof. Ordinario di Agronomia presso l'Istituto di Agronomia di Bari, hanno contribuito al lavoro nell'ambito delle proprie competenze.

MATERIALI E METODI

Sono stati presi in considerazione un terreno alcalino ed uno salino-alcalino, a granulometria argilloso-limosa, caratterizzati da EC, ESP e pH, determinati sull'estratto saturo, rispettivamente pari a 3,10 mS/cm - 17,1% - 8,5 e 17,68 mS/cm - 28,1% - 8,1.

Lo studio è stato condotto su colonne cilindriche componibili, realizzate in plexiglas, del diametro di 11,8 cm e dell'altezza di 60 cm (Figura 1). In totale

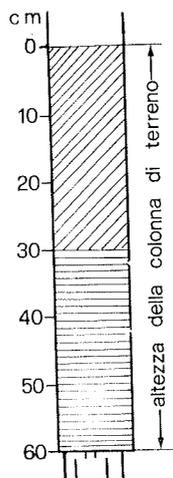


Figura 1 - Schema delle colonne di terreno preparate per lo studio sulla lisciviazione dei soluti.

sono state usate 10 colonne: 5 per ogni tipo di terreno. Ciascuna colonna è stata caricata il più uniformemente possibile con 6,850 kg di terreno essiccato all'aria, realizzando una massa volumica apparente pari a 1,05 kg/dm³. Dopo aver caricato le colonne il terreno è stato umettato per ascensum, impiegando una quantità di acqua distillata pari al 30% del peso secco del terreno usato. Successivamente, ciascuna colonna è stata sottoposta a 3 distinti cicli di lisciviazione opportunamente distanziati tra di loro in modo da consentire una certa redistribuzione dei soluti lungo il profilo, favorita da perdita di acqua per evaporazione dalla superficie, simulando, entro certi limiti, quanto si verifica in campo.

Nei primi due cicli di lisciviazione è stata usata acqua distillata, mentre nel terzo ciclo acqua di pozzo, prelevata dalla zona di origine dei terreni, le cui caratteristiche sono riportate nella Tabella 1.

La quantità di acqua usata complessivamente nei primi due cicli di drenaggio è stata pari alla pioggia che in media cade in un anno nella zona di

TABELLA 1 - Caratteristiche qualitative dell'acqua di pozzo.

Conducibilità elettrica mS/cm	0,95
pH	7,16
Na ⁺ (meq/l)	3,30
K ⁺ (meq/l)	0,31
Ca ⁺⁺ (meq/l)	4,6
Mg ⁺⁺ (meq/l)	2,0
Cl ⁻ (meq/l)	0,56
CO ₃ ⁻⁻ (meq/l)	0
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	7,4
SO ₄ ⁻⁻ (meq/l)	1,6

Sibari (588 mm - media trentennale della stazione meteorologica di Schiavonea).

Durante il 3° ciclo di drenaggio, invece, è stata usata una quantità di acqua corrispondente a 294 mm di pioggia.

Per ciascun tipo di terreno sono stati posti a confronto 5 diversi trattamenti:

- 1) controllo senza aggiunta di correttivi;
- 2) aggiunta di solfato di calcio in quantità pari al fabbisogno determinato in laboratorio;
- 3) aggiunta di solfato di calcio in quantità pari al fabbisogno determinato in laboratorio, ma considerando il Mg dannoso per le proprietà fisiche del terreno;
- 4) aggiunta di solfato ferroso in quantità pari a quella del solfato di calcio del trattamento n. 2;
- 5) aggiunta di solfato ferroso in quantità pari a quella del solfato di calcio del trattamento n. 3;

Il fabbisogno in gesso, quindi in solfato ferroso, determinato in laboratorio è stato pari a 1,84 e 2,8 meq/100 g di terreno per quello salino-alcalino e 4,8 e 8,8 meq/100 g di terreno per l'alcalino, rispettivamente non considerando e considerando il Mg come elemento dannoso per le proprietà fisiche del terreno. Le quantità dei correttivi aggiunte a ciascuna colonna sono state calcolate per uno strato di terreno profondo 45 cm ed incorporate unifor-

memente nello strato superficiale profondo 30 cm durante il caricamento, ad eccezione del terreno salino-alcantino trattato con la dose minima di correttivi (1.84 meq/100 g di terreno) a cui questi ultimi sono stati aggiunti dopo il primo ciclo di lisciviazione.

All'inizio di ogni ciclo di lisciviazione il terreno è stato saturato sempre dall'estremità superiore delle colonne, ad eccezione delle colonne caricate con terreno salino-alcantino a cui è stata aggiunta la dose minima di correttivi, le quali, in corrispondenza del secondo ciclo di lisciviazione, sono state saturate apportando acqua dall'estremità inferiore.

L'acqua drenata dalle singole colonne è stata raccolta in frazioni separate del volume di circa 500 cc.

Al termine dei 3 cicli di lisciviazione le 10 colonne sono state disfatte mantenendo distinto il terreno della metà superiore da quello della metà inferiore e, quindi, sull'estratto saturo delle singole frazioni di terreno e dell'acqua drenata prima menzionata sono stati determinati la conducibilità elettrica, il pH, i cationi (Na^+ , K^+ , Ca^{++} e Mg^{++}) e gli anioni (Cl^- , CO_3^{--} , HCO_3^- , SO_4^{--}).

Ai valori cumulati del sodio e dell'insieme dei cationi e degli anioni lisciviati dai due tipi di terreno, ad eccezione dei valori relativi al terreno alcantino non trattato ed a quello salino-alcantino trattato con la dose minima dei due correttivi, sono state adattate curve iperboliche del tipo:

$$Y = P_1 P_2 (X - P_3) / (P_1 + P_2 (X - P_3))$$

ove:

Y = quantità cumulata di ioni lisciviati in meq/100 g di terreno;

X = quantità totale di acqua drenata, espressa come rapporto fra il volume di acqua drenata e la piovosità;

P_1 = valore asintotico di Y per $X \rightarrow \infty$;

P_2 = presenza del tratto iniziale ascendente della curva ($\frac{dY}{dX}$ per $X \rightarrow 0$);

P_3 = parametro adimensionale che indica l'intercetta delle curve con l'asse delle X. A valori negativi di P corrispondono valori positivi delle intercette con l'asse delle Y che starebbero ad indicare rimozione di soluti dal terreno fin dall'inizio del drenaggio.

Ai valori cumulati degli ioni lisciviati dal terreno alcantino non trattato con correttivi si è adattata meglio una retta di regressione non considerando, però, il primo valore essendo risultato notevolmente basso rispetto agli altri.

I risultati più significativi ottenuti sono riportati nelle Tabelle 2 e 3 e rappresentati nelle Figure da 2 a 7. Non sono riportati i dati relativi agli anioni lisciviati in quanto perfettamente concordanti con quelli dei cationi.

TABELLA 2 - Valori dei parametri delle curve di regressione riportate nelle Figure 4-5, loro limiti fiduciali ed errore standard approssimato.

Trattamenti	Parametri	P ₁		P ₂		P ₃		errore standard
		Val.	e.s.	Val.	e.s.	Val.	e.s.	
Valore cumulato di Na (meq/g100 g t.)								
Controllo		16.63072	0.6512	42.39893	4.0052	0.04220	0.0116	0.35630
CaSO ₄ , 4,8 meq/100 g t.		18.14786	0.1290	284.34350	26.1990	0.02363	0.0083	0.16474
FeSO ₄ , 4,8 meq/100 g t.		17.85530	0.1390	275.82422	22.1160	0.03394	0.0032	0.20600
Valore cumulato di Na+K+Ca+Mg (meq/100 g t.)								
Controllo		22.25800	0.8450	67.04200	6.8680	0.04400	0.0110	0.53500
CaSO ₄ , 4,8 meq/100 g t.		24.47600	0.1810	415.20400	42.4910	0.02500	0.0089	0.23600
FeSO ₄ , 4,8 meq/100 g t.		24.92200	0.1890	422.19500	35.8630	0.03100	0.0036	0.28200

TABELLA 3 - Valori dei parametri delle curve di regressione riportate nelle Figure 6-7, loro limiti fiduciali ed errore standard approssimato.

Trattamenti	Parametri	P ₁		P ₂		P ₃		errore standard
		Val.	e.s.	Val.	e.s.	Val.	e.s.	
Valore cumulato di Na (meq/100 g t.)								
Controllo		0.73016	0.0242	1.84426	0.0370	—	—	0.04210
CaSO ₄ , 2,8 meq/100 g t.		4.81662	0.1070	16.58665	1.3960	- 0.00846	0.0125	0.07361
CaSO ₄ , 8,8 meq/100 g t.		6.80237	0.2530	10.31539	0.8300	- 0.05729	0.0196	0.07359
FeSO ₄ , 2,8 meq/100 g t.		5.20199	0.0911	16.06397	1.0020	- 0.00822	0.0103	0.05571
FeSO ₄ , 8,8 meq/100 g t.		6.09857	0.1601	15.05960	1.1770	- 0.00600	0.0139	0.07716
Valore cumulato di Na+K+Ca+Mg (meq/100 g t.)								
Controllo		1.27300	0.0270	2.29200	0.0414	—	—	0.04700
CaSO ₄ , 2,8 meq/100 g t.		6.96200	0.1350	27.83200	2.2560	- 0.00530	0.0111	0.10300
CaSO ₄ , 8,8 meq/100 g t.		9.50100	0.3510	17.45400	1.6840	- 0.07420	0.0235	0.11800
FeSO ₄ , 2,8 meq/100 g t.		6.95200	0.1010	27.01400	1.6560	- 0.00470	0.0091	0.07290
FeSO ₄ , 8,8 meq/100 g t.		8.93000	0.3680	20.51900	2.4600	- 0.02400	0.0235	0.16200

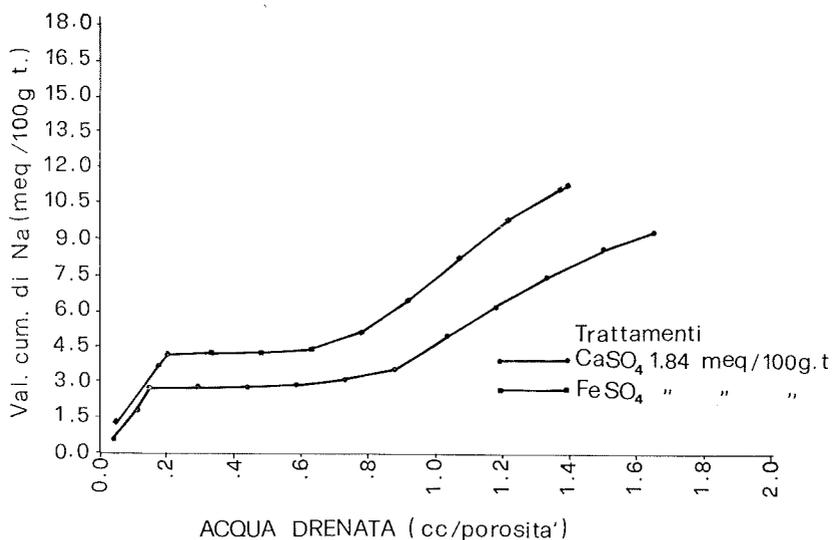


Figura 2 - Influenza di 2 diversi trattamenti di un terreno salino alcalino sull'andamento della quantità cumulata di sodio lisciviato in funzione dell'acqua drenata.

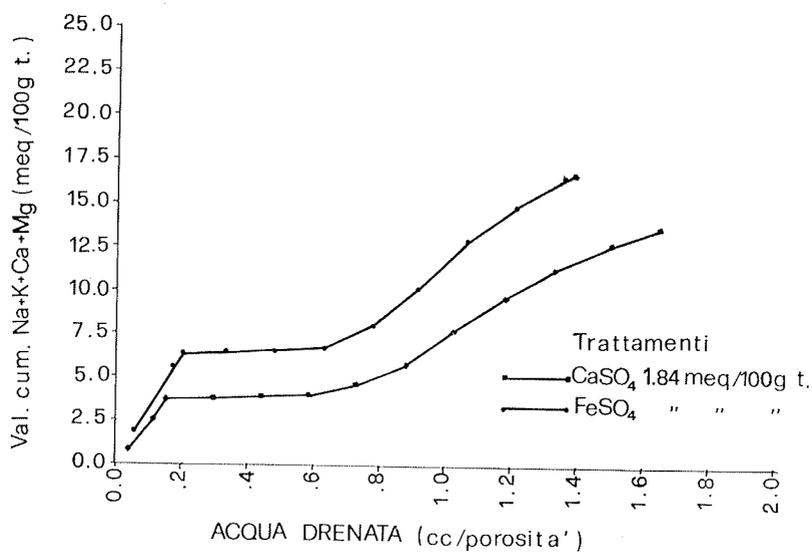


Figura 3 - Influenza di 2 diversi trattamenti di un terreno salino-alcalino sull'andamento della quantità cumulata di cationi lisciviati in funzione dell'acqua drenata.

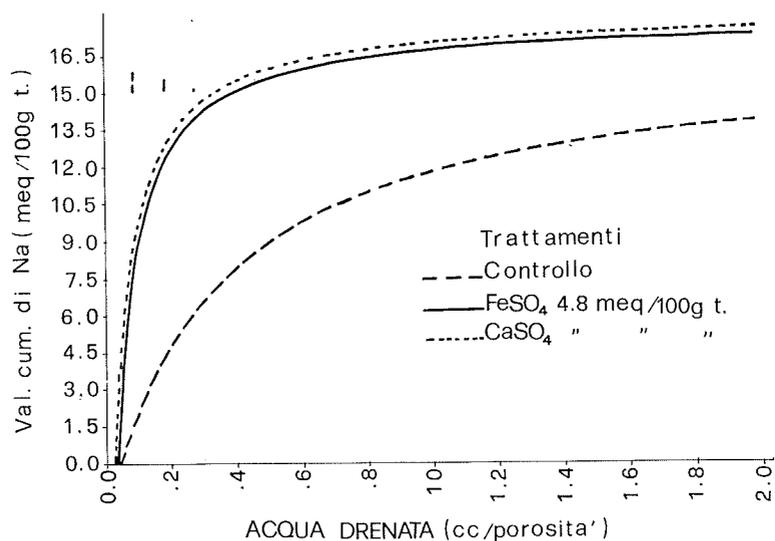


Figura 4 - Influenza di 3 diversi trattamenti di un terreno salino-alcalino sull'andamento della quantità cumulata di sodio lisciviato in funzione dell'acqua drenata. (I tratti verticali indicano gli errori standard approssimati).

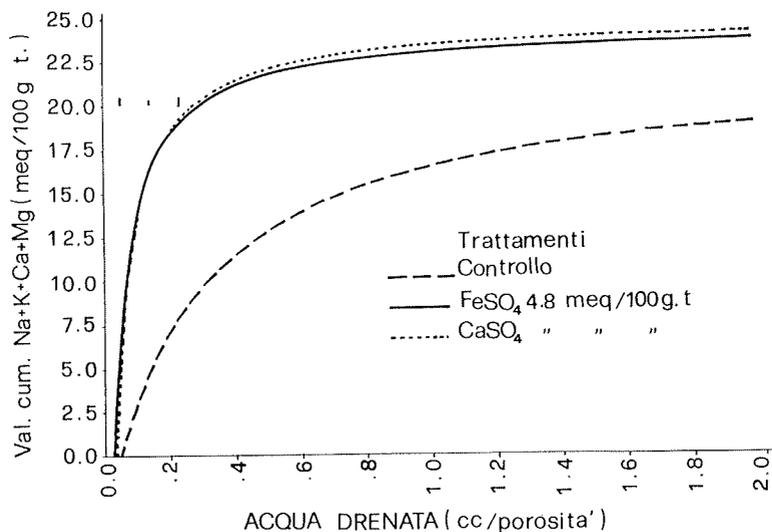


Figura 5 - Influenza di 3 diversi trattamenti di un terreno salino-alcalino sull'andamento della quantità cumulata di cationi lisciviati in funzione dell'acqua drenata. (I tratti verticali indicano gli errori standard approssimati).

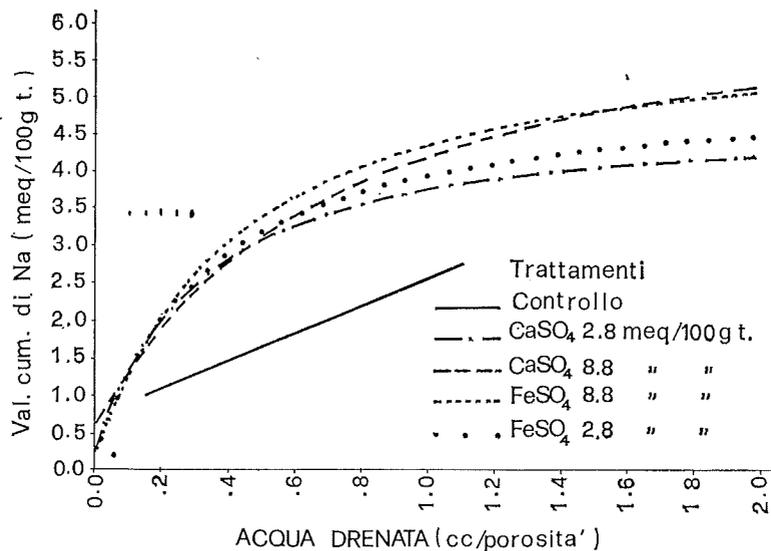


Figura 6 - Influenza di 5 diversi trattamenti di un terreno alcalino sull'andamento della quantità cumulata di sodio lisciviato in funzione dell'acqua drenata. (I tratti verticali indicano gli errori standard approssimati).

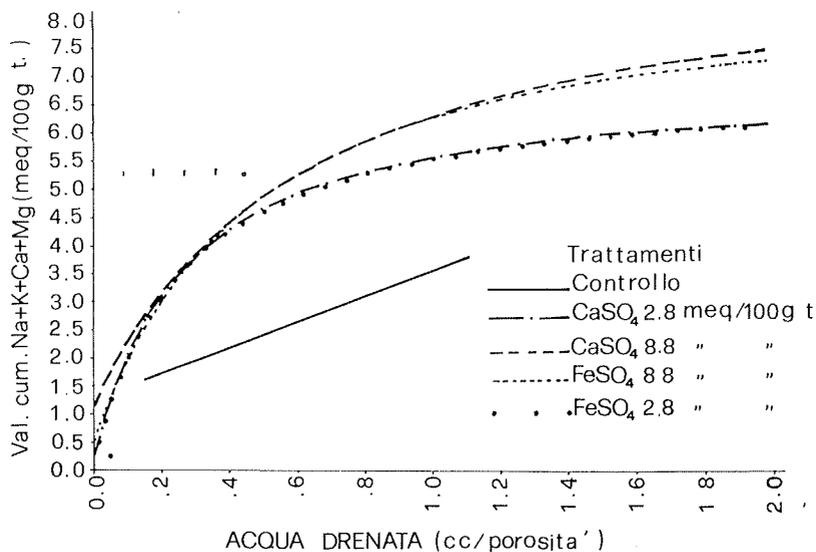


Figura 7 - Influenza di 5 diversi trattamenti di un terreno alcalino sull'andamento della quantità cumulata di cationi lisciviati in funzione dell'acqua drenata. (I tratti verticali indicano gli errori standard approssimati).

RISULTATI E CONCLUSIONI

Durante i tre cicli di lisciviazione, pur avendo applicato una uguale quantità di acqua in tutte le colonne (in totale 882 mm), la quantità totale di drenato è stata diversa sia tra i due terreni (in media 156,7 e 167,6% della porosità, rispettivamente per il terreno alcalino e per quello salino-alcalino) che tra i differenti trattamenti correttivi. Per entrambi i tipi di terreno quello non trattato ha dato luogo al minore quantitativo totale di drenato, che è risultato pari al 106,7 ed al 157,6% della porosità contro valori medi del terreno trattato con correttivi, pari al 169,2 ed al 188,2% della porosità, rispettivamente per il terreno alcalino e per quello salino-alcalino.

Questi risultati evidenziano che passando dal terreno alcalino a quello salino-alcalino e dal controllo non trattato ai terreni trattati con correttivi la capacità di trattenuta idrica decresce; molto verosimilmente, a causa di una migliore struttura del terreno, passando da una situazione all'altra.

Dopo i tre cicli di lisciviazione, con un drenato medio pari a circa il 160% della porosità del terreno, i valori di conducibilità elettrica dell'estratto saturo, di ESP e di pH hanno subito una riduzione, rispettivamente del 45,5 - 69,6 e 8,2% per il terreno alcalino; del 90,0 - 72,7 e 13,7% per il terreno salino-alcalino.

In ogni caso, per il terreno salino-alcalino, quando il correttivo è stato applicato dopo il primo ciclo di drenaggio e la saturazione precedente il secondo ciclo di drenaggio è stata effettuata dal basso, la minore lisciviazione dei soluti è da attribuire allo spostamento dei soluti verso l'estremità superiore della colonna durante la saturazione dal basso, così come si evince dall'andamento delle quantità cumulate dei cationi e degli anioni lisciviati in funzione del drenato, riportato nelle Figure 2-3.

Da queste ultime, infatti, si osserva che durante il secondo ciclo di drenaggio in un primo momento si è verificato uno spostamento dei soluti dalla superficie alla base delle colonne (tratto orizzontale delle spezzate) e solo in un secondo momento, dopo un drenato pari a circa il 50% della porosità del terreno, è stata osservata lisciviazione dei soluti (inizio del secondo tratto ascendente delle spezzate).

Per i terreni a cui i correttivi sono stati applicati durante il caricamento delle colonne e che sono stati saturati sempre dall'alto, l'esame delle curve relative all'andamento delle quantità cumulate degli ioni lisciviati in relazione alla quantità di acqua drenata, i cui limiti fiduciali ed i parametri del modello adottati sono riportati nelle Tabelle 2 e 3, consente di formulare le seguenti considerazioni: a) per il terreno salino-alcalino le quantità di ioni lisciviati senza l'applicazione di correttivi sono risultate nettamente inferiori a quelle registrate con l'applicazione di 4,8 meq/100 g di terreno di $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o di $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, con effetto di questi ultimi quasi identici. Degli ioni lisciviati circa l'85% è stato rimosso con una quantità di acqua di drenaggio pari a circa l'80 ed il 40% della porosità del terreno, rispettivamente, senza e con

correttivi (Figure 4 - 5); b) la lisciviazione dei cationi e degli anioni dal terreno alcalino non corretto, se si esclude la quantità estremamente limitata lisciviata con la prima frazione di drenato, si è verificata con andamento decisamente lineare (Figure 6 - 7); c) per il terreno alcalino il $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ed il $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ hanno favorito la lisciviazione del sodio e degli altri cationi e degli anioni; le quantità di ioni lisciviati in funzione della dose di correttivo applicata (2,8 e 8,8 meq/100 g di terreno) non si sono differenziate fino a quando l'acqua drenata non è stata pari a circa il 50% della porosità del terreno; successivamente, invece, la quantità di ioni lisciviati è aumentata all'aumentare della quantità di correttivo applicata. A parità di dose le differenze tra i due correttivi sono risultate di lieve entità (Figure 6 - 7).

I risultati ottenuti evidenziano che la quantità di acqua drenata da colonne di terreno alte 60 cm è maggiore per il terreno salino-alcalino rispetto a quello alcalino e per entrambi aumenta con l'applicazione di $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o di $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, particolarmente quando la dose applicata è stata determinata considerando il Mg come elemento non utile ai fini delle proprietà fisiche del terreno.

La lisciviazione dei soluti, in particolare del Na, si è verificata più facilmente nel terreno salino-alcalino rispetto a quello alcalino ed in ogni caso con l'applicazione di correttivi. Quando la quantità di questi ultimi è stata determinata considerando il Mg come elemento non favorevole alle proprietà fisiche del terreno, l'85% degli ioni lisciviati è stato rimosso con una quantità di acqua di drenaggio pari a circa il 50 ed il 100% della porosità del terreno, rispettivamente per il terreno salino-alcalino ed alcalino.

La saturazione del terreno salino-alcalino dal basso prima del secondo ciclo di lisciviazione ha determinato uno spostamento dei soluti verso la superficie delle colonne ed a parità di acqua applicata e drenata la quantità di soluti lisciviati è risultata nettamente inferiore a quella registrata per le colonne saturate sempre dalla superficie. Ciò metterebbe in evidenza l'effetto negativo di una falda poco profonda sulla lisciviazione dei soluti dagli strati superficiali del terreno.

BIBLIOGRAFIA

Vedere « Bonifica di un'azienda caratterizzata da terreni salini, alcalini e salino-alcalini ». Nota I.

La solubilità del P in un terreno che per 9 anni
consecutivi è stato concimato con 3 diversi
livelli fertilizzanti (1)

DE CARO A., CORDELLA S., CASTRIGNANO' A. (2)

INTRODUZIONE

In seguito ad elevate e ripetute concimazioni, in molti terreni agrari è stata ormai raggiunta una dotazione fosforica tale da stimolare, anche in considerazione del continuo lievitare dei prezzi dei concimi, l'interesse degli studiosi a valutare la capacità di questi terreni a fornire fosforo alle piante in maniera più o meno soddisfacente senza l'ausilio di ulteriori somministrazioni fosforiche.

E' noto che le esigenze fosforiche delle piante vengono soddisfatte principalmente grazie al movimento del P nel terreno per diffusione (1), processo strettamente dipendente dal gradiente di concentrazione che si genera tra suolo e superficie radicale. Il gradiente di concentrazione è, a sua volta, funzione sia della intensità con la quale il terreno riesce a mandare P in soluzione, che della capacità dello stesso di mantenere la quantità di P in soluzione più o meno costante, e comunque sempre a livelli non limitanti, durante l'intero ciclo culturale della pianta (10, 6).

I diversi tipi di terreno sono caratterizzati da differenti capacità a fornire P alle piante: i terreni argillosi, infatti, grazie al loro maggiore potere tampone, mandano P in soluzione più intensamente dei terreni sabbiosi.

(1) Ricerca eseguita, con il contributo del M.P.I. 60%, presso l'Istituto di Agronomia generale e Coltivazioni erbacee dell'Università di Bari.

(2) Gli Autori, rispettivamente Prof. straordinario di Agronomia montana presso l'Istituto di Agronomia dell'Università della Basilicata, assistente tecnico presso l'Istituto di Agronomia dell'Università di Bari e collaboratrice esterna, hanno contribuito alla ricerca nell'ambito delle proprie competenze.

Tuttavia, i primi, per raggiungere buoni livelli di intensità, necessitano di somministrazioni fosfatiche nettamente superiori a quelle richieste dai terreni sabbiosi che sono, pertanto, più sensibili alle concimazioni fosforiche e manifestano più rapide variazioni di concentrazione di P solubile (10, 5, 9).

In questa nota si riportano i risultati di uno studio condotto presso l'Istituto di Agronomia generale e Coltivazioni erbacee dell'Università di Bari, allo scopo di valutare la capacità di un terreno, concimato con 3 diversi livelli di fertilizzanti e coltivato a frumento in monosuccessione con mais intercalare per 9 anni consecutivi, di rifornire di P la soluzione circolante.

MATERIALI E METODI

Lo studio è stato condotto su campioni di terreno prelevati nell'azienda sperimentale « E. Pantanelli » dell'Università di Bari — in agro di Policoro (MT), da parcelle, di una ricerca tuttora in atto, che per 9 anni consecutivi (dal 1972-73) sono state coltivate a frumento+mais intercalare in monosuccessione e concimate con 3 diversi livelli di fertilizzanti ($N_0P_0K_0$ - $N_1P_1K_1$ - $N_2P_2K_2$) (*).

Da ciascun campione successivamente sono stati prelevati 4 subcampioni (di 4 g ciascuno) da utilizzare per la valutazione del P solubile attraverso il metodo delle estrazioni ripetute, con ritmo giornaliero ed ogni 2-4 e 8 giorni, usando una soluzione 0,01M di $CaCl_2$.

Dal 6 settembre 1982 all'8 ottobre 1983 i campioni sono stati, quindi, agitati giornalmente (tranne che nei giorni festivi) e, a seconda delle tesi a confronto (ogni giorno ed ogni 2-4-8 giorni), è stata separata la soluzione supernatante previa centrifugazione della sospensione per 3 minuti a circa 2000 g min^{-1} .

Il contenuto in P delle soluzioni supernatanti è stato sempre determinato con il metodo della concentrazione dell'acido molibdo-fosforico in ottanolo (7).

Le principali caratteristiche dei terreni su cui si è operato sono riportate nella Tabella 1. Le quantità di P totale ed assimilabile ancora esistenti nei campioni di terreno alla fine dei cicli di estrazione e le relative percentuali di P estratto rispetto a quello contenuto inizialmente sono, invece, riportate nella Tabella 2.

I dati ottenuti sono stati sottoposti ad analisi della varianza, secondo uno schema fattoriale a split-plot ed il confronto tra le tesi risultate significative è stato eseguito con il test multiplo di Student-Newman-Keuls.

(*) $N_0P_0K_0$ = controllo non concimato.

$N_1P_1K_1$ = 50-75-100 + 100-150-100 kg/ha di $N-P_2O_5-K_2O$ rispettivamente per il frumento ed il mais intercalare.

$N_2P_2K_2$ = 100-150-200 + 200-300-200 kg/ha di $N-P_2O_5-K_2O$ rispettivamente per il frumento ed il mais intercalare.

TABELLA 1 - Caratteristiche del terreno.

Caratteristiche chimiche		Livelli di concimazione		
		N ₀ P ₀ K ₀	N ₁ P ₁ K ₁	N ₂ P ₂ K ₂
Azoto totale	((%) (metodo Kjeldhal)	1,67	1,63	1,66
P totale	(ppm) (metodo Ferrari)	740	801	871
P inorganico	(ppm) (metodo HCl)	615	690	736
P organico	(ppm)	125	111	135
P assimilabile	(ppm) (metodo Olsen)	20,4	34,5	53,1
K scambiabile	(ppm) (metodo acetato amm.)	187	227	254
Sostanza organica	(%) (metodo Walkley-Black)	3,66	3,53	3,63
Calcare totale	(%) (metodo grav. perd. CO ₂)	7,00	7,00	7,00
Calcare attivo	(%) (metodo ossalato amm.)	5,20	6,24	5,20
Reazione	(pH in acqua)	7,72	7,76	7,84
Salinità	(‰)	1,11	1,18	1,27
Capacità di scambio cationico	(meq/100 g t.)	22,56	22,04	22,40
Acidità di scambio	(meq/100 g di terreno)	1,25	1,25	1,25
Composizione granulometrica				
Sabbia grossa	2 > Ø > 0,2 mm (%)	0,58		
Sabbia fina	0,2 > Ø > 0,02 mm (%)	39,20		
Limo	0,02 > Ø > 0,002 mm (%)	37,40		
Argilla	Ø > 0,002 mm (%)	22,82		
Costanti idrologiche				
Capacità di campo	(determinato in campo) (% peso secco)	39,4		
Punto di appassimento	(-1,5 MPa) (% peso secco)	14,9		

Per rendere comparabili i risultati ottenuti con le diverse frequenze di estrazione si è reso necessario considerare in tutti i casi un uguale numero di dati pari a quello ottenuto con il ritmo di 8 giorni.

Per poter studiare, invece, l'andamento della concentrazione del P solubile nel tempo è stata effettuata una regressione non lineare dell'intero insieme di dati relativi a ciascun livello di concimazione e di ritmo di estrazione a partire, però, da quelli ottenuti dopo il 40° giorno dall'inizio delle estrazioni.

TABELLA 2 - Quantità di fosforo totale ed assimilabile rimaste nel terreno alla fine del periodo di estrazione e relative percentuali estratte rispetto ai valori iniziali.

Ritmo di estrazione (*)	N ₀ P ₀ K ₀	N ₁ P ₁ K ₁	N ₂ P ₂ K ₂
P totale residuo (ppm)			
1° giorno	594	655	685
4° giorno	637	684	725
8° giorno	657	695	737
P totale estratto (% di quello iniziale)			
1° giorno	19,73	18,23	21,35
4° giorno	13,92	14,61	16,76
8° giorno	11,22	13,23	15,38
P assimilabile (Olsen) residuo dopo le estrazioni (ppm)			
1° giorno	19,10	22,60	27,95
4° giorno	19,85	25,30	38,90
8° giorno	20,20	28,80	43,90
P assimilabile (Olsen) (% di quello iniziale)			
1° giorno	6,37	34,49	47,36
4° giorno	2,70	26,67	26,74
8° giorno	0,98	16,52	17,33

(*) Mancano i risultati relativi al ritmo di estrazione ogni 2 gg. in quanto il 27/7/83 un guasto alla centrifuga provocò la rottura dei provettoni e la perdita dei campioni di terreno.

Tale scelta è stata dettata dal fatto che i dati del periodo iniziale erano caratterizzati da una estrema variabilità e non rivelavano alcuna tendenza.

La funzione di regressione prescelta che meglio si è adattata ai dati sperimentali è stata di tipo esponenziale:

$$y = A e^{-bx} + C$$

dove:

y = concentrazione fosforica della soluzione (ppm);

x = variabile temporale (d);

TABELLA 3 - Valori dei parametri delle curve di regressione riportate nelle Figure (A, B, C, B), loro limiti fiduciali ed errore standard approssimato del modello.

Livelli fertilizzanti	Parametri delle curve		A		B		C		errore standard
	val.	e.s.	val.	e.s.	val.	e.s.	val.	e.s.	
Estrazione a ritmo giornaliero									
0	.7686	.0490	.0097	.0010	.1358	.0125	.0896		
1	1.7287	.1480	.0152	.0012	.1868	.0109	.1339		
2	1.7295	.1420	.0151	.0011	.1965	.0101	.1257		
Estrazione ogni 2 giorni									
0	.6219	.0410	.0094	.0016	.1236	.0250	.0879		
1	.7858	.0510	.0096	.0015	.1537	.0290	.1045		
2	3.3609	.2610	.0185	.0015	.2364	.0260	.2164		
Estrazione ogni 4 giorni									
0	.3887	.0226	.0023	.0003	0	0	.1262		
1	.7414	.0955	.0097	.0024	.1886	.0340	.1387		
2	2.2402	.2190	.0120	.0017	.2638	.0470	.2460		
Estrazione ogni 8 giorni									
0	.6535	.1220	.0089	.0032	.1304	.0460	.1232		
1	.8853	.0660	.0067	.0016	.0979	.0577	.0987		
2	1.8260	.0980	.0053	.0004	0	0	.2229		

A-B-C = parametri positivi cui può essere data una semplice interpretazione fisica, in quanto: A è legato al massimo valore di y riscontrato nella fase iniziale ($A = y_{\max} - C$); B è una misura della pendenza media del grafico nel tratto discendente, ed è tale che $x = 1/B$ determina l'istante in cui la variabile y è pari a circa 1/3 del suo valore massimo; C rappresenta, infine, il valore asintotico a cui tende la y dopo un tempo sufficientemente lungo.

Nelle Figure 2 (A-B-C-D) sono riportate le curve di regressione, mentre nella Tabella 3 sono riportati i valori dei parametri, i relativi limiti fiduciali e l'errore approssimato del modello.

RISULTATI E CONCLUSIONI

La concentrazione fosforica nella soluzione supernatante, in media, è aumentata da 0,34 ppm del controllo non concimato a 0,48 e 1,05 ppm delle tesi concimate con le dosi rispettivamente intermedia e più elevata di P, ed è risultata più bassa (0,53 e 0,60 ppm) con le frequenze di estrazione di 8 giorni e giornaliero e più elevata (0,64 e 0,73 ppm) con le estrazioni ogni 4 e 2 giorni, dimostrandosi, queste ultime frequenze, più favorevoli al processo di solubilizzazione del fosforo (significatività allo 0,01P). Molto verosimilmente l'intervallo di tempo di un giorno è molto breve per consentire una maggiore solubilizzazione di fosforo, mentre quello di 8 giorni è eccessivamente lungo, tale da consentire processi di retrogradazione del fosforo (Figura 1).

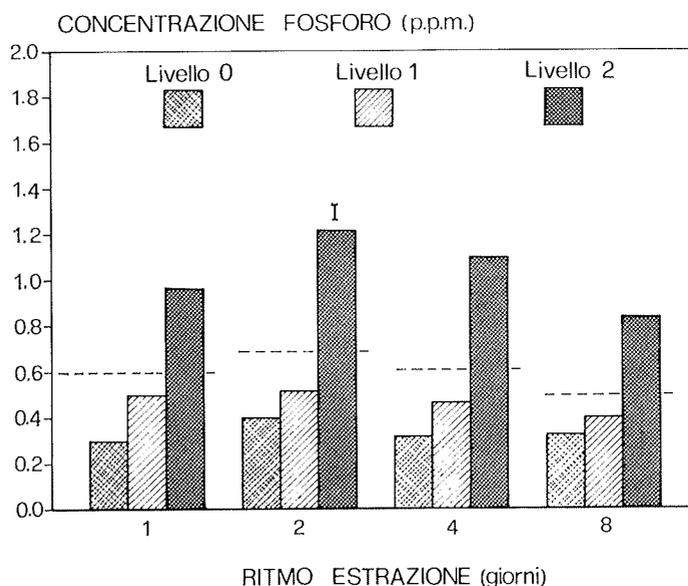


Figura 1 - Variazione della concentrazione media del fosforo nella soluzione estratte in relazione ai 3 livelli di concimazione ed alla frequenza delle estrazioni. (I tratti orizzontali (---) indicano i valori di concentrazione media per ciascun ritmo di estrazione; il tratto verticale, invece, indica la minima differenza significativa ($P = 0,01$).

Nelle soluzioni supernatanti le concentrazioni più elevate in fosforo sono state registrate con le frequenze di estrazione di 2 giorni per il terreno non concimato (0,41 ppm contro 0,33 e 0,30 ppm rispettivamente con estrazione ogni 4 e 8 giorni e giornaliero), con le frequenze giornaliera e di due giorni per il terreno concimato con la dose intermedia di fosforo (0,51 e 0,53 ppm

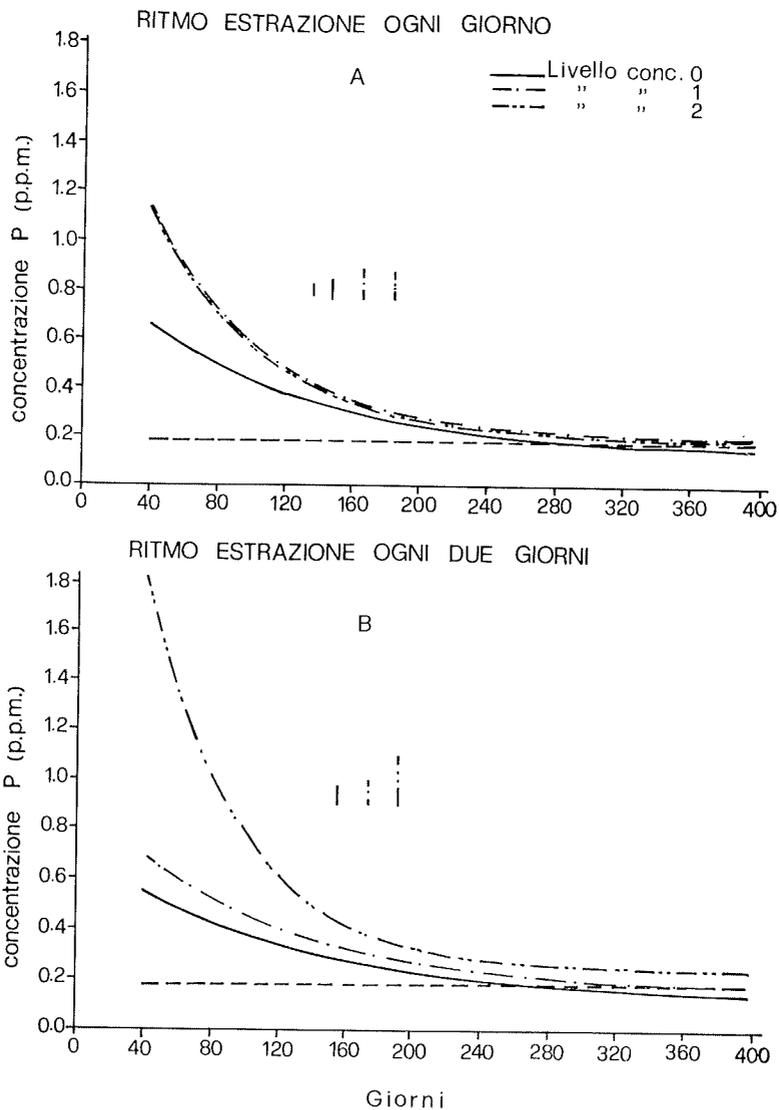


Figura 2AB - Andamento temporale della concentrazione fosfatica per i diversi livelli di concimazione a parità di ritmo di estrazione.
 La linea orizzontale (— — —) indica il valore limite della concentrazione fosforica - 0,18 ppm secondo Beckwitt; i tratti verticali, invece, indicano, con simbologia uguale a quella riportata per i diversi livelli fertilizzanti gli errori standard approssimati.

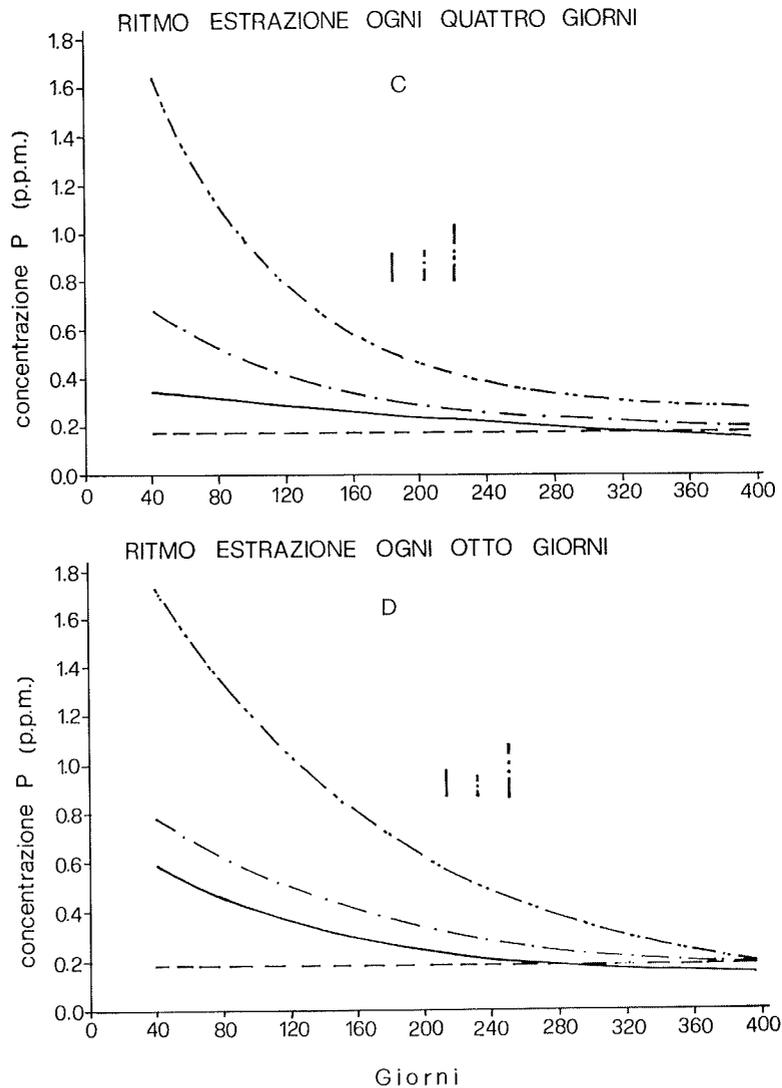


Figura 2CD - Andamento temporale della concentrazione fosforica per i diversi livelli di concimazione a parità di ritmo di estrazione.
 La linea orizzontale (—) indica il valore limite della concentrazione fosforica - 0,18 ppm secondo Beckwitt; i tratti verticali, invece, indicano, con simbologia uguale a quella riportata per i diversi livelli fertilizzanti gli errori standard approssimati.

contro 0,47 e 0,40 ppm con le estrazioni ogni 4 e 8 giorni) e con le frequenze di 2 e 4 giorni per il terreno concimato con la dose più elevata di fosforo (1,25 e 1,12 ppm contro 0,98 e 0,85 ppm con le estrazioni giornaliera e di 8 giorni) (significativa l'interazione livelli di concimazione per frequenza di estrazione Figura 1).

Questi risultati evidenziano che aumentando la concimazione fosfatica aumenta il contenuto in fosforo del terreno con formazione di composti a solubilità maggiore. Infatti la quantità totale di fosforo estraibile in media cresce all'aumentare della concimazione fosfatica ed all'aumentare di questa ultima la concentrazione in fosforo della soluzione supernatante risulta maggiore riducendo i tempi di estrazione (da 4 e 8 giorni a 1 e 2 giorni) (Figura 1).

La concentrazione in fosforo delle soluzioni supernatanti, in generale, indipendentemente dalla frequenza di estrazione e dalla concimazione fosforica applicata al terreno, decresce con andamento esponenziale all'aumentare del numero di estrazioni (Figura 2). Più in particolare, prendendo in considerazione tali andamenti per singola frequenza di estrazione i valori più bassi di concentrazione di fosforo nelle soluzioni supernatanti sono stati osservati per il controllo non concimato con l'estrazione giornaliera (Figura 2A); per il controllo non concimato e per il terreno concimato con la dose intermedia di fosforo con gli altri ritmi di estrazione confrontati (2-4-8 giorni) (Figure 2B-C-D), con differenze nel tempo tra i due terreni meno concimati e quello concimato più abbondantemente crescenti passando dalla frequenza di estrazione di due giorni (Figura 2B) a quella di 4 e 8 giorni (Figure 2C e 2D).

L'andamento di queste curve mostra, inoltre, che la concentrazione in fosforo della soluzione supernatante raggiunge il valore limite (0,18 ppm) al di sotto del quale, secondo Beckwitt (2), la maggior parte delle colture non manifesta il massimo accrescimento, dopo circa 300 giorni nel caso del terreno non concimato, dopo circa 400 giorni per il terreno concimato con la dose intermedia di fosforo ed oltre tale periodo per il terreno concimato più abbondantemente.

Considerando solo il ritmo di estrazione giornaliero, maggiormente assimilabile a quanto accade in campo con la coltura in atto, si osserva che in ogni caso la quantità totale di fosforo solubile estratta è notevolmente superiore alla quantità di fosforo assimilabile determinata con il metodo Olsen che, secondo Bowman-Olsen-Watanabe (3), rappresenterebbe la quantità utilizzabile dalle piante prima di iniziare a manifestare sintomi di carenza.

Con il metodo Olsen, infatti, le quantità di fosforo assimilabile determinate sono risultate pari a 20,4 - 34,5 e 53,1 ppm, mentre con 319 estrazioni giornaliere la quantità totale di fosforo solubile estratto con CaCl_2 0,01M è stata pari a 87,1 - 113,3 e 137,8 ppm, con concentrazione media della soluzione estratta pari a 0,273 - 0,355 e 0,432 ppm, rispettivamente per il terreno non concimato e concimato con le dosi intermedia e più elevate di fosforo. Dopo tali estrazioni, per i tre tipi di terreno esaminati, la quantità di fosforo assimi-

labile determinata con il metodo Olsen si è ridotta, rispettivamente, del 6,4 - 34,5 e 47,4%, essendo passata da 20,4 a 19,1 ppm, da 34,5 a 22,6 e da 53,1 a 28,0 ppm.

Questo evidenzerebbe che nel terreno la dotazione in fosforo utilizzabile dalla coltura non è rappresentata solo da quella assimilabile ma anche da sali insolubili che vanno in soluzione man mano che la soluzione circolante si impoverisce.

Dai risultati ottenuti, si evidenzia che il terreno esaminato è caratterizzato da un'ottima capacità di risolubilizzazione del fosforo e da una buona dotazione di quest'ultimo, particolarmente quello concimato ripetutamente.

Tenendo conto delle quantità di fosforo solubile estratte tali terreni potrebbero fornire risultati produttivi soddisfacenti per parecchi anni ancora, senza far ricorso a concimazione fosfatica. D'altra parte, i risultati sperimentali ottenuti per un quattordicennio in campo non hanno evidenziato differenze significative tra le produzioni di granello di frumento e di mais in coltura intercalare ottenute in parcelle non concimate e parcelle concimate con fosforo.

Tuttavia, anche se queste ultime considerazioni meriterebbero ulteriori approfondimenti in campo, non è escluso che operando con colture caratterizzate da più intenso ritmo di asportazione di fosforo, rispetto al frumento ed al mais in coltura intercalare, sarebbe necessario fare ricorso alla concimazione fosfatica.

I risultati ottenuti con la tecnica delle estrazioni ripetute del fosforo a mezzo di una soluzione 0,01M di CaCl_2 , consentono di formulare alcune considerazioni conclusive anche d'interesse pratico.

Concimazioni fosfatiche con dosi superiori alle asportazioni delle colture determinano incrementi del contenuto in fosforo totale ed assimilabile del terreno ed un progressivo aumento di composti di facile risolubilizzazione che favoriscono il ripristino di P solubile nella soluzione circolante, aumentandone anche la concentrazione.

La quantità di fosforo solubile determinata con la tecnica delle estrazioni ripetute con ritmo giornaliero, situazione assimilabile a quella di campo con coltura in atto, è notevolmente superiore alla quantità di fosforo assimilabile determinata con il metodo Olsen. Ciò evidenzerebbe che nel terreno la dotazione in fosforo disponibile dalla pianta non è rappresentata solo dalla frazione assimilabile ma anche da composti a facile risolubilizzazione facenti parte del fosforo totale.

Sulla base delle quantità di fosforo solubile determinate con la tecnica delle estrazioni ripetute i terreni esaminati potrebbero fornire risultati produttivi soddisfacenti senza far ricorso alla concimazione fosfatica per un congruo numero di anni crescente passando dal terreno meno ricco a quello più ricco in fosforo

BIBLIOGRAFIA

- (1) BARBER S. A., WALKER J. M., VASEY E. H. - Mechanism for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root. *J. Agric. Food Chem.* 11: 204, 1963.
- (2) BECKWITH R. S. - In the role of phosphorus in agriculture, 1965.
- (3) BOWMAN R. A., OLSEN S. R., WATANABE F. S. - Greenhouse evaluation of residual phosphate by four phosphorus methods in neutral and calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 451, 1978.
- (4) FINK A. - Fertilizers and fertilization. Verlag Chemie - Weinheim - Deerfield Beach - Florida - Basel, 1982.
- (5) FOX R. L., KAMPRATH E. J. - Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 902, 1970.
- (6) GUNARY D., SUTTON C. D. - Soil factors affecting plant uptake of phosphate. *J. Soil Sci.* 18: 167, 1967.
- (7) HILYAR K. R., BROWN A. L. - Octan-I-ol extraction of molybdophosphoric acid in the colorimetric determination of orthophosphate. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 40: 43, 1976.
- (8) KHASAWNEH F. E., SAMPLE E. C., KAMPRATH E. J. - The role of phosphorus in agriculture. *Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, U.S.A., 1980.*
- (9) NOVALS R., KAMPRATH E. I. - Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 931, 1978.
- (10) OLSEN S. R., WATANABE F. S. - Diffusion of phosphorus as related to soil texture and plant uptake. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 648, 1963.

Determinazione del selenio solubile in suoli di vigneto

NATALI P., TREVISAN M., DEL RE A.A.M.

In campioni di suolo di vigneti italiani è stato determinato il contenuto in selenio solubile in acqua mediante Assorbimento Atomico con la tecnica della generazione degli idruri. Il limite di rivelazione strumentale è 40 ng corrispondenti a 2,5 ppb nel terreno.

Il campione è stato mineralizzato in un apparecchio a palloni di quarzo rotanti con il quale si riducono le perdite per volatilizzazione, si impiegano minori quantità di acidi e si diminuiscono i tempi di lavoro. Il Se VI è stato ridotto a Se IV con 5ml di HCl 4,8 M a 80°C per 30 min. Il recupero medio è stato del 91% \pm 9%.

Il contenuto di selenio trovato per due differenti profondità di campionamento (superficiali: 0-30 cm; profondo: 30-60 cm) è compreso rispettivamente tra 1-16 ppb e 2-18 ppb.

La concentrazione di selenio solubile è risultata dipendente dalla zona di prelievo, indipendente dalla profondità di campionamento e debolmente correlata con il valore del pH del suolo e con il contenuto di fosforo e potassio assimilabili.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BISBERG B. - Studies on selenium in plants and soils. Ris. Report n. 200, 1972.
- (2) CARY E. E., GISSEL-NIELSEN G. - Effect of fertilizer anions on the solubility of native and applied selenium in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 37: 590, 1973.
- (3) CARY E. E., WIECZOREK G. A., ALLAWAY W. H. - Reactions of selenite-selenium added to soil that produce low-selenium forages. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 31: 21, 1967.
- (4) CURTO O. - U.C.S.C., Piacenza. Tesi di laurea: Applicazione alla ricerca agronomica di alcune tecniche di analisi multivariata con il supporto dell'elaboratore elettronico, 1983.
- (5) FINE L. O. - Selenium. In: Black C.A. (Ed.). Methods of soil analysis, part 2. Am. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wis., 1117, 1965.

- (6) GEERING H. R., CARY E. E., JONES L.H.P., ALLAWAY W.H. - Solubility and redox criteria for the possible forms of selenium in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32: 35, 1968.
- (7) LOTTI G., GALOPPINI C., LO MORO A. - *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem. Serie A*, LXXVII, 491, 1966.
- (8) ROSENFELD J., BEATH O. A. - *Selenium: geobotany, biochemistry, toxicity and nutrition*. Acc. Press, New York, 1964.
- (9) THOMPSON K. C., THOMERSON D. R. - Atomic-absorption studies on the determination of Antimony, Arsenic, Bismuth, Germanium, Lead, Selenium, Tellurium and Tin by utilising the generation of covalent Hydrides. *Analyst*, 99: 595, 1974.

Dipendenza tra indici di stabilità strutturale e
parametri organici e inorganici del terreno:
uno studio statistico

CURTO O., SILVA S., DEL RE A.A.M.

Primo scopo del lavoro è determinare in che misura alcuni indici empirici di stabilità strutturale del terreno dipendono dai parametri organici (sostanza organica e frazioni umiche) ed inorganici (tessitura, superficie specifica, C.S.C., ossidi di Fe, Al, Si, carbonati, e pH). Secondo scopo è proporre un indice di stabilità ricavabile dai parametri fisico-chimici del terreno, nel caso in cui sia risultato un elevato grado di dipendenza.

Su 20 terreni diversi sono state eseguite le analisi citate e sono stati misurati l'indice di stabilità strutturale secondo Malquori e Cecconi (ISS), un indice tipo Malquori e Cecconi modificato (ISD): invece del parametro $b - \%$ di terreno disgregato dopo 60 minuti di agitazione - si usa la quantità massima disgregabile s e un indice di stabilità radiochimico (ISR) secondo Silva. I dati sono stati analizzati con la regressione sulle componenti principali e con la correlazione canonica.

Dalla regressione degli indici di stabilità sulle componenti principali estratte dalle variabili fisico-chimiche, risulta una dipendenza elevata, soprattutto per l'indice modificato e per l'indice radiochimico. La struttura della dipendenza è quasi uguale per tutti gli indici. Ciò ci induce a pensare che la stabilità strutturale dipenda dai caratteri fisico-chimici del terreno. Particolare importanza hanno sostanza organica, frazioni umiche, pH, C.S.C., Fe_2O_3 , $CaCO_3$ e in misura minore tessitura.

Data la forte dipendenza è stato costruito un nuovo indice di stabilità, come funzione dei parametri fisico-chimici del terreno. Il nuovo indice assume valori simili a quelli degli indici di Malquori e Cecconi con i quali è ben correlato ($r = 0.85$ con ISM, $r = 0.93$ con ISD). Il nuovo indice è stato ottenuto stimando con l'analisi della correlazione canonica i parametri - a e b o s - che

servono per il calcolo dell'indice di stabilità. Da questi è stato calcolato il nuovo indice, che, a differenza di quelli empirici, non dipende dalla storia recente del terreno (eventi colturali e climatici). Per terreni a struttura poco stabile l'incidenza di tali eventi può essere relativamente grande.

BIBLIOGRAFIA

- (1) COOLEY W.W., LOHNES P.R. - Multivariate data analysis, John Wiley Sons., New York, 1971.
- (2) CURTO O. - Applicazione alla ricerca agronomica di alcune tecniche di analisi multivariata con il supporto dell'elaboratore elettronico, Tesi, Fac. Agraria Università Cattolica S. Cuore, 1984, 2: 1979.
- (3) DEXTER A.R., RADKER J.K., HEWITT J.K. - Structure of a tilled soil as influenced by tillage, wheat cropping, and rainfall, Soil Science Society of America Journal, 47: 570, 1983.
- (4) DEXTER A.R. - A statistical measure of the structure of tilled soil, Journal of Agricultural Engineering Research, 22: 1, 1977.
- (5) MALQUORI A., CECONI S. - Determinazione seriale dell'indice di struttura del terreno, Agrochimica, 2: 6, 1962.
- (6) MASSY W.F. - Principal components regression in exploratory research, Journal of American Statistical Association, 60, 1965.
- (7) SILVA A., ZANETTI B., DEL RE A. - Confronto fra indici di stabilità strutturale dei suoli in relazione alla sostanza organica, Agrochimica, 26: 167, 1982.
- (8) S.I.S.S. (Società italiana di scienza del suolo). Metodi normalizzati di analisi del suolo, Tipolitografia « Gino Capponi », Firenze, 1976.

Attività di polifenolossidasi associate ad acidi umici

RUGGIERO P. e RADOONA V. M.

La trasformazione nel terreno di substrati fenolici ed ammine aromatiche, attraverso reazioni di degradazione, polimerizzazione, sintesi, accoppiamento ossidativo, avviene ad opera delle polifenolossidasi (PFO), un gruppo di enzimi, di origine prevalentemente fungina, al quale, pertanto, viene riconosciuto un ruolo essenziale sia nel metabolismo delle sostanze umiche, che nelle reazioni di detossificazione dell'ambiente (1). Tuttavia, gli enzimi extracellulari del terreno operano in un ambiente in cui l'interazione con i colloidi argillosi ed umici a formare complessi colloide-enzima è un evento altamente probabile (2, 3). Nello studio, pertanto, delle proprietà e degli effetti procurati dalle attività enzimatiche del terreno, appare più verosimile il ricorso a complessi colloide-enzima modello, presumibilmente simili a quelli naturalmente presenti nel terreno. Di seguito, vengono illustrati i risultati preliminari ottenuti da una ricerca sui complessi humus-tirosinasi ottenuti da acidi umici (AU) naturali e tirosinasi commerciale da fungo, enzima appartenente al gruppo delle PFO. In particolare, lo studio è stato rivolto agli effetti esercitati dagli AU sull'attività enzimatica, alla natura dell'associazione humus-tirosinasi, ad alcune proprietà cinetiche e chimico-fisiche dei complessi.

L'effetto dell'AU sulla attività tirosinasi è stato analizzato incubando a pH 7.0 la stessa quantità di enzima con quantità crescenti di AU. A rapporti AU: tirosinasi compresi fra 0,25 e 5,0 (p:p), si è osservata una lieve e crescente inibizione dell'attività enzimatica (Figura 1). L'attività tirosinasi è stata determinata polarograficamente misurando il consumo di ossigeno durante la reazione enzimatica, utilizzando catecolo come substrato. L'aumento della concentrazione di AU riduceva l'attività dell'enzima sino al 14,0%. L'inibizione è probabilmente dovuta alla associazione dell'AU con la tirosinasi, piuttosto con il substrato.

Infatti, dai sistemi solubili preparati, sono stati isolati, mediante flocculazione con CaCl_2 complessi insolubili AU-tirosinasi. I precipitati sono stati recuperati e ripetutamente lavati con tampone acetato (calcico) pH 4,5 sino a

quando le acque di lavaggio non presentavano alcuna attività. I precipitati insolubili ottenuti presentavano attività enzimatica. Tale risultato e la rimozione mediante i lavaggi dell'enzima libero e della frazione di esso adsorbita, ma non legata, alla matrice umica, indicavano che la tirosinasi era stabilmente legata al polimero umico. Le unità totali di tirosinasi complessate dagli AU dipendevano dalla concentrazione dell'AU, oltre che dal pH del sistema e dal punto isoelettrico dell'enzima. Nelle condizioni sperimentali adottate, l'AU

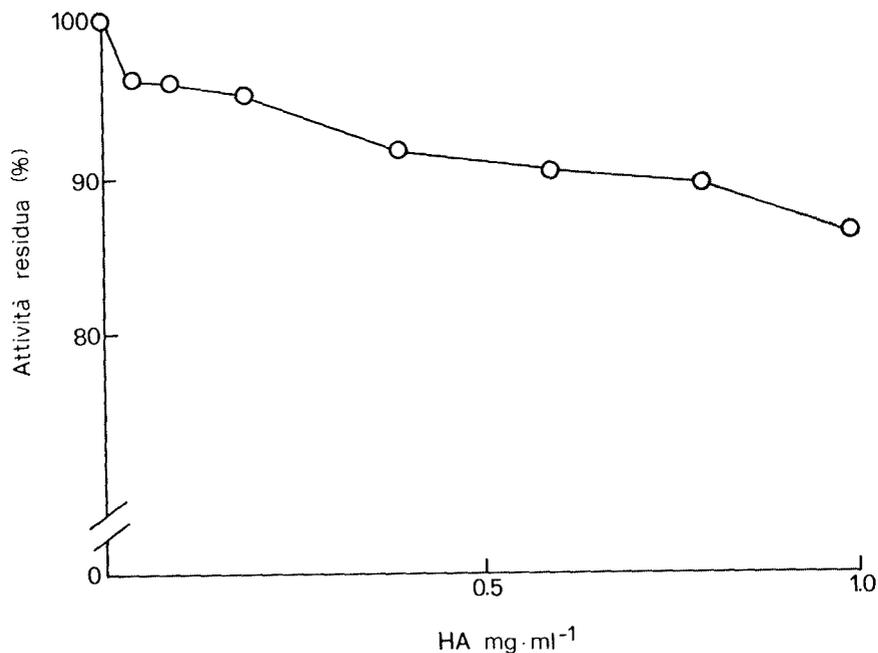


Figura 1 - Effetto degli acidi umici sulla attività tirosinasi. Concentrazione dell'enzima: 0,2 mg/ml; substrato: catecolo 6 mM.

legava dal 32 al 76% dell'enzima aggiunto (Figura 2). L'esame comparativo degli spettri IR della tirosinasi, dell'AU e dei complessi humus-enzima, dimostra che l'interazione fra enzima e AU coinvolge legami di natura chimica anche se fenomeni di intrappolamento fisico non sono da escludere. Il modello di complesso AU-tirosinasi qui proposto presenta alcune proprietà analoghe a quelle dell'enzima libero, altre invece risultano diverse. La specificità del complesso verso diversi substrati fenolici appare simile a quella dell'enzima libero, mentre la costante di Michaelis e la stabilità alla proteolisi ed alla temperatura sono diverse (Tabella 1).

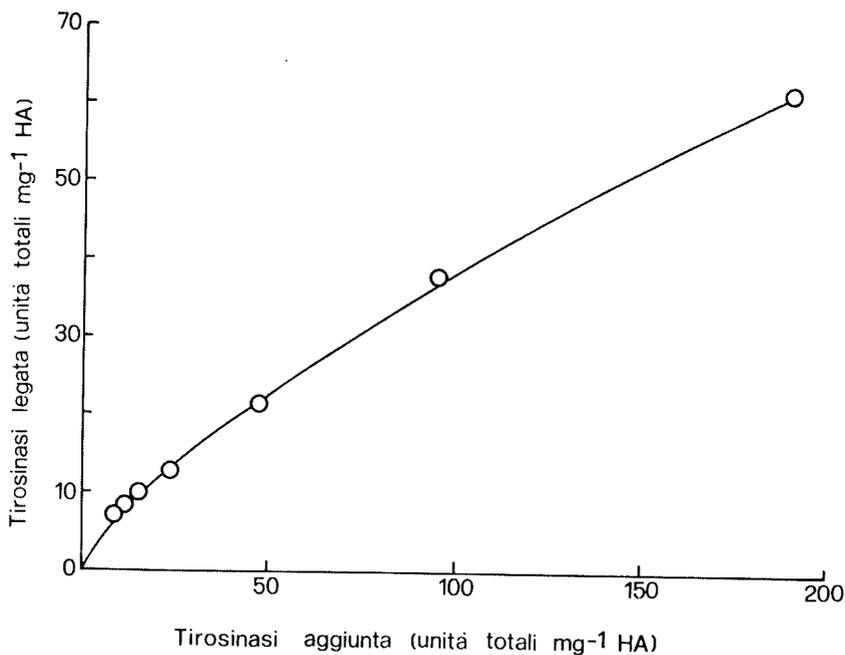


Figura 2 - Isoterma di legame della tirosinasi su acidi umici. Unità totali espresse in micromoli O₂ consumate per minuto.

TABELLA 1 - Confronto fra alcune proprietà della tirosinasi libera e complessata dagli acidi umici.

	Libera	Complessata
K _M ^a (mM)	0,58	0,88
Stabilità alla proteolisi ^b	47	39
Stabilità termica ^c		
a 37°C	96	56
a 45°C	29	6
a 55°C	12	0

^a La cinetica è stata condotta a pH 4,5.

^b Attività percentuale rimasta dopo 24 h di incubazione con proteasi.

^c Attività percentuale rimasta dopo riscaldamento per 2 h alla temperatura indicata.

La tirosinasi complessata dall'AU mostra una affinità per il catecolo leggermente più alta di quella dell'enzima libero ed è meno stabile alla temperatura ed apparentemente più sensibile alla proteolisi dell'enzima libero. Alla luce dei risultati ottenuti sembra poco probabile che l'interazione con l'AU coinvolga il sito attivo dell'enzima, mentre appaiono più verosimili variazioni conformazionali della struttura enzimatica. Concludendo, si può ritenere che gli enzimi legati agli AU rappresentino un modello più reale delle complesse interazioni fra colloid, enzimi e substrati e che l'effetto del microambiente sulle attività enzimatiche del terreno debba essere attentamente valutato allorché si studia il ruolo degli enzimi nei cicli biologici e nella fertilità.

BIBLIOGRAFIA

- (1) SJOBLAD R. D., BOLLAG J. M. - Oxidative coupling of aromatic compounds by enzymes from soil microorganisms. In *Soil Biochemistry*, Vol. 5 (Paul e Ladd eds.), Dekker, New York, 113, 1981.
- (2) BURNS R. G. - Enzyme activity in soil: location and possible role in microbial ecology. *Soil Biol Biochem.*, 14: 423, 1982.
- (3) STOTZKY G., BURNS R. G. - The soil environment: clay-humus-microbe interactions. In *Experimental Microbial Ecology* (Burns and Slater eds.), Blackwell, London, 105, 1982.

Degradazione del fluazifop-butyl nel suolo e nell'acqua

NÈGRE M. - GENNARI M. - CIGNETTI AI.

INTRODUZIONE

Il fluazifop-butyl (butyl 2-4-(5-trifluoromethyl-2-piridyloxy) phenoxy propionate) è un erbicida usato per il controllo in postemergenza delle infestanti graminacee (1). Esso viene rapidamente assorbito dalle foglie e traslocato nella pianta dove subisce una rapida idrolisi (2). L'acido carbossilico derivato (fluazifop), viene accumulato nelle regioni meristematiche dove esplica la sua azione tossica in qualità di inibitore della sintesi dell'ATP (3, 4). Anche nel suolo il fluazifop-butyl è rapidamente idrolizzato a fluazifop. Bewich 1986 (5), ha riportato un tempo di semivita inferiore a due ore per il fluazifop-butyl nel suolo.

La presente indagine è stata condotta allo scopo di chiarire i seguenti punti:

- a) idrolisi dell'erbicida in acqua;
- b) effetto del contenuto idrico del suolo sulla velocità di degradazione del composto;
- c) contributo della microflora del suolo sulla degradazione.

METODI

Idrolisi in acqua

Soluzioni tampone sterili (pH 4,7 e 9), sono state contaminate con il fluazifop-butyl (1,2 e 2,5 mg litro⁻¹) ed incubate al buio a 25°C.

Degradazione nel suolo

Il suolo (pH = 5,2; S.O. = 1,7%; argilla = 8%), è stato prelevato alla profondità di cm 0-25, portato al 10% di umidità, setacciato a mm 2 e conservato a temperatura ambiente in sacchi di PVC neri.

I campioni, rappresentati da g 100 di suolo contaminato con mg 1 di fluazifop-butyl, sono stati umidificati al 20, 35 e 50% della saturazione ed incubati in sistemi degradativi di tipo chiuso (6, 7) al buio, a 25°C.

Per determinare il ruolo della microflora nella degradazione dell'erbicida, una serie di campioni di suolo è stata sterilizzata con ossido di etilene secondo le modalità descritte da Gennari *et al.* 1987 (8).

La determinazione del fluazifop-butyl e del fluazifop nell'acqua e nel suolo è stata effettuata secondo la metodica per HPLC riportata da Nègre *et al.* 1987 (9).

RISULTATI E DISCUSSIONE

L'idrolisi del fluazifop-butyl in acqua sterile (Figura 1) ha portato alla formazione di fluazifop in quantità stechiometriche. A pH 4 e 7 la reazione è risultata troppo lenta da consentire un trattamento cinetico dei dati mentre a pH 9 essa ha seguito una cinetica di pseudo primo ordine ($t_{1/2} = 2,5$ gg). Il fluazifop formatosi si è degradato in nessuna condizione di pH.

Il fluazifop-butyl si è degradato sia in suolo sterile sia in suolo non sterile (50% umidità; $t_{1/2} = 3$ gg e meno di 1 g rispettivamente). In suolo sterile la cinetica di degradazione è stata di primo ordine ($r^2 = 0,99$) mentre in suolo non sterile non è risultata descrivibile con un modello semplice. In suolo sterile, il recupero (espresso come fluazifop-butyl + fluazifop) è stato pari al $101,4\% \pm 0,9$ per i primi 7 gg della prova quindi è diminuito lentamente: dopo 99 gg l'84% del prodotto applicato era ancora estratto come fluazifop (Tabella 1). Nel suolo non sterile, l'acido formatosi si è subito degradato ed il recupero è stato inferiore al 100% già dopo un giorno dall'inizio della prova. Questi risultati fanno ritenere che la flora microbica contribuisca alla degradazione dell'erbicida e del suo derivato acido.

La velocità di degradazione del fluazifop-butyl è risultata indipendente dal contenuto idrico del suolo quando questo era compreso tra il 50% ed il 35% della saturazione. La riduzione dell'umidità al 20% della saturazione ha portato ad un rallentamento della reazione di idrolisi solo nei primi 3 gg dall'inizio della prova. Nel suolo secco il prodotto si è rilevato più persistente: il 40% della dose applicata era ancora presente dopo 21 gg di incubazione. La degradazione del fluazifop-butyl nel suolo umido non si è rivelata descrivibile con un'equazione cinetica semplice mentre nel suolo secco la cinetica è risultata di ordine 0 ($r^2 = 0,98$; $t_{1/2} = 17$ gg). L'umidità del suolo sembra influenzare maggiormente la velocità di degradazione del fluazifop. Il recupero (espresso come fluazifop-butyl + fluazifop), è stato maggiore nel suolo al 20% di umidità rispetto a quelli con contenuto idrico superiore e, nel suolo secco, è sceso al di sotto del 100% dopo 3 gg dall'applicazione dell'estere. Ciò può trovare spiegazione nella riduzione dell'attività microbica che si osserva a bassi regimi idrici del suolo (10) la quale può influenzare notevolmente la velocità di degradazione dei fitofarmaci (11).

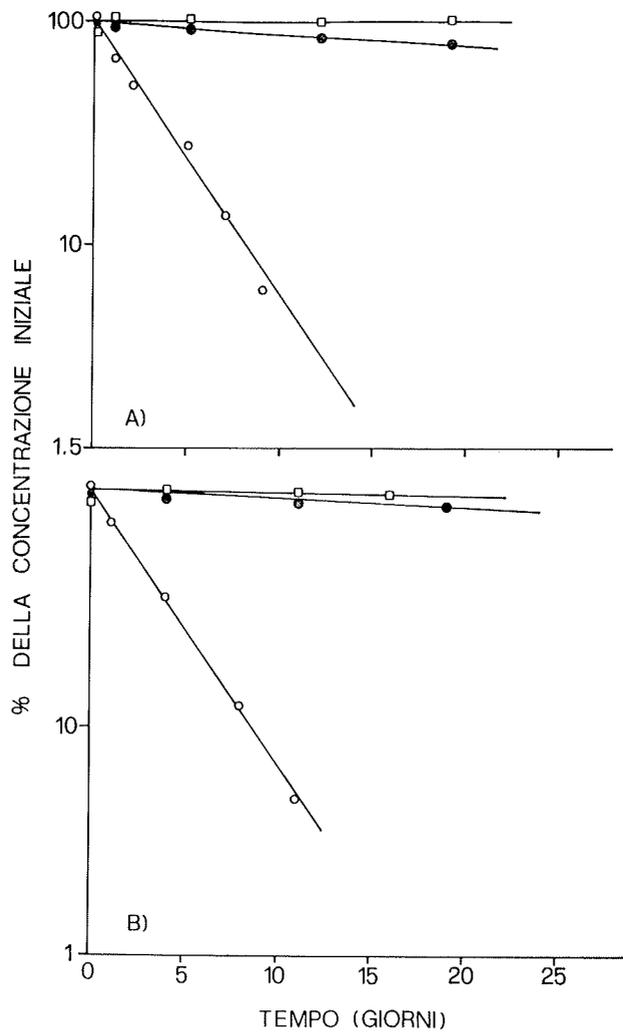


Figura 1 - Idrolisi del fluzifop-butyl a pH 9 (○), pH 7 (●) e pH 4 (□). Concentrazione iniziale: 1,3 mg litro⁻¹ (A) e 2,5 mg litro⁻¹ (B); media di tre replicazioni; Deviazione standard < 6%.

TABELLA 1 - Idrolisi del fluazifop-butyl nel suolo in diverse condizioni di umidità e in suolo sterile. Media di tre replicazioni.

Tempo (gg)	non sterile								
	Suolo secco			20% saturazione			35% saturazione		
	FB	F	FB+F	FB	F	FB+F	FB	F	FB+F
0	100	0		100	0		100	0	
1	97.9±5.1	2.1±0.3	100.1±4.9	47.1±5.7	48.0±5.6	95.1±2.1	22.2±3.4	62.3±2.4	84.5±3.9
3	91.8±2.7	10.3±1.1	102.1±1.7	14.2±0.8	76.1±1.0	90.3±1.5	8.5±0.6	67.8±3.1	76.3±2.5
7	80.0±5.9	18.9±2.1	98.9±4.9	3.3±1	84.5±2.3	87.7±1.2	3.5±0.9	66.7±2.2	70.2±1.4
21	39.5±1.9	51.5±2.0	91.4±2.6	<1	76.1±2	76.1±2	1 0	47.7±3.5	48.7±3.5
42	C	C		C	C		C	C	
99	C	C		C	C		C	C	

Tempo (gg)	non sterile			sterile		
	50% saturazione			50% saturazione		
	FB	F	FB+F	FB	F	FB+F
0	100	0		100	0	
1	24.9±3.2	65.5±1.7	90.5±1.4	74.8 ±1.7	26.6±0.4	101.4±1.7
3	10.6±2.3	73.0±1.6	82.0±1.3	49.8 ±1.7	50.8±1.4	100.6±3.0
7	3.3±0.3	64.0±1.1	66.7±1.0	20.5 ±7.3	81.9±8.6	102.4±1.6
21	<1	46.1±0	46.1±0	1.4 ±0.1	93.9±0.8	95.2±1.1
42	C	C		<1	92.6±1.1	92.6±1.1
99	C	C		<1	84.4±1.4	84.4±1.4

FB = Fluazifop-butyl
 F = Fluazifop
 C = Non determinato

BIBLIOGRAFIA

- (1) PALMIERI R., GIACCHÉ E., BALDRATI C., MALIZIA R. MARAZZATO G., - Fluazifop-butyl (= PP 009), nuovo graminicida specifico, nel diserbo di postemergenza della barbabietola da zucchero. *Atti delle Giornate Fitopatologiche San Remo. Italy, marzo 1982* 1: 311.
- (2) HENDLEY P., DICKS J.W., MONACO T.J., SLYFIELD S.M., TUMMON O.J., BARRETT J.C. - Translocation and metabolism of pyridinyloxyphenoxypropionate herbicides in rhizomatous quackgrass. *Weed Sci.* 33: 11, 1985.
- (3) HORELLOU A., PAINPARAY G. MORAND P. - Qu' est-ce que le fluazifop-butyl. *Def. Veg.* 36: 251, 1982.
- (4) CARR J.E. - The uptake, translocation and metabolism of fluazifop-butyl. *Pestic. Sci.* 17: 58, 1986.
- (5) BEWICK D.W. - Stereochemistry of fluazifop-butyl transformation in soil. *Pestic. Sci.* 17: 349, 1986.
- (6) LASKOWSKY D. A., SWANN R. L., MAC CALL P. J., BIDLACK H. D. - Soil degradation studies. *Residue Reviews* 85: 139, 1983.
- (7) GENNARI M., CIGNETTI A. - Evaluation of a laboratory method to determine the behaviour of pesticides in soil. Abstracts of paper for the Sixth International Congress of Pesticides Chemistry, Ottawa, Canada, August 1986, 6B-20.
- (8) GENNARI M., NÈGRE M., AMBROSOLI R. - Effects of ethylene oxide on soil microbial content and some soil chemical characteristics. *Plant and soil*, 102: 19, 1987.
- (9) NÈGRE M., GENNARI M., CIGNETTI A. - High performance liquid chromatographic determination of fluazifop-butyl and fluazifop in soil and water. *J. Chrom.* 387: 541, 1987.
- (10) BIRCK H.F. - The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and soil* 10: 9, 1958.
- (11) HILL I.R., ARNOLD D.J. - Transformation of pesticides in the environment: the experimental approach. *Pesticide Microbiology* (I.R. Hill and S.J.L. Wright Eds.) England 1978, 203.

La biomassa del suolo come indice di attività biologica
nella valutazione della fertilità dei terreni
del Comprensorio Basso Piave

NUTI M. * - PERUCH U. * - GIUPPONI C. ** - PINTON R. *** - MAGGIONI A. ***

Sono stati analizzati i principali parametri fisico-chimici e biologici di alcuni terreni del Comprensorio Basso Piave (Venezia) al fine di fornire una valutazione della fertilità dell'area in rapporto alla sua gestione agronomica. Per i parametri biologici è stata effettuata la stima della biomassa secondo il metodo di Jenkinson e Ladd (1, 2) attraverso la determinazione del carbonio previa fumigazione o meno dei campioni con CHCl_3 . E' stata altresì valutata la carica microbica attraverso il conteggio delle cellule vitali dei principali gruppi fisio-tassonomici. Le determinazioni dei parametri fisico-chimici sono state effettuate secondo i metodi SISS in parte modificati (3).

I terreni del Comprensorio (in prevalenza Eutric Calcaric Fluvisols) pur con una certa variabilità sono mediamente argillosi, sub-alcalini con dotazioni medio-alte di carbonati totali e disponibilità nutrizionali medie o medio-alte, con isolati lievi problemi di salinità da NaCl.

Livelli medi di sostanza organica contengono aliquote di acidi umici estraibili tra 1/6 e 1/3, rispetto alla s.o. Il C/N medio si colloca intorno a 8-10. La carica microbica standard è di 10^7 CFU per g di terreno p.s., con pari consistenza di batteri aerobi ed anaerobi, e minor presenza di microfunghi ed attinomiceti. La biomassa del suolo si attesta su $1.500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ come valore medio, ma con ampia variabilità tra i valori minimi ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e massimi (oltre $3000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

I valori della biomassa non risultano correlati con la sostanza organica, nè con i dati relativi alla carica microbica standard, nè alla carica di singoli

gruppi fisio-tassonomici, mentre alcune relazioni o linee di tendenza sono state individuate tra la biomassa e altri parametri pedologici o agronomici.

Tra queste sono statisticamente significative le differenze tra i valori di biomassa nelle diverse unità pedologiche; importanti, pur non raggiungendo la significatività statistica, le tendenze emerse in relazione alle diverse classi granulometriche ed in funzione dell'interramento dei residui colturali.

La determinazione della biomassa del suolo come indicatore di attività biologica nel terreno sembra costituire un valido strumento di valutazione nel contesto della stima globale della fertilità.

BIBLIOGRAFIA

- (1) JENKINSON D. S. e LADD J. N. - Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In E.A. Paul e J.N. Ladd (Eds.). Soil biochemistry, Marcel Dekker, New York, 5: 415, 1981.
- (2) NANNIPIERI P. - Microbial biomass and activity measurements in soil: ecological significance. In M.J. Klug e C.A. Reddy (Eds.). Current perspectives in microbial ecology, Am. Soc. Microbiology, Washington, D.C., p. 515, 1984.
- (3) MAGGIONI A., VARANINI Z., PINTON R., GIULIVO C., e OLIVIERI A.M. - Stato nutrizionale dei vigneti a DOC dei Colli Eugani, la Garangola ed., Padova, 1985.

Parametri chimici e biologici dei terreni nella
caratterizzazione territoriale per la gestione
delle risorse agricole

GIARDINI L. * - GIUPPONI C. * - MAGGIONI A. ** - NUTI M. *** - PERUCH U. ***

552 terreni coltivati di 6 Comuni (circa 13.000 ha) del Mandamento di Montagnana (Pd) sono stati analizzati secondo i metodi SISS in parte modificati (1) determinandone i parametri chimici e chimico-fisici e misurando, come indici di attività biologica, la carica microbica standard e l'attività respiratoria. I terreni sono classificabili prevalentemente come medio-argilloso e medio-sabbiosi, con pH subalcalino per la presenza di calcare (circa 15%). Le dotazioni nutrizionali accertate sono da medie a medio-alte per quasi tutti gli elementi tranne l'azoto, che in molti casi non raggiunge l'1 per mille. E' importante notare che molti parametri (N, K, Mg, Ca, Fe, e Mg/K) sono fortemente influenzati dalla granulometria con valori in sensibile diminuzione nei gruppi a tessitura più grossolana.

Per ciascun Comune e per l'insieme dei dati disponibili sono state studiate le correlazioni tra tutte le variabili prese in esame. Ciò rende possibile l'analisi delle relazioni tra i parametri e, quando necessario, eventuali ulteriori approfondimenti. La quantità di sostanza organica è correlata significativamente con N, K, Mg, Ca, Fe, e CSC. Per quanto riguarda i parametri relativi al numero ed all'attività respiratoria dopo 72 ore di incubazione (AR_{72}) dei microorganismi, la conta microbica distingue in modo chiaro soltanto i terreni sabbiosi dagli altri gruppi granulometrici, mentre l' AR_{72} varia più regolarmente in funzione della tessitura ed è significativamente correlata con la sostanza organica.

Un ulteriore approfondimento è stato condotto utilizzando la regressione multipla al fine di stabilire i valori di riferimento sulla base dei quali giudicare le singole situazioni di attività biologica. E' infatti importante individuare e studiare i casi caratterizzati da bassa attività respiratoria in rapporto alla sostanza organica ed alle altre variabili (argilla e CSC) incluse nel modello di regressione che, applicato ai 196 casi del Comune di Montagnana, consente di spiegare il 55% della variabilità dei valori di AR₇₂.

La regressione proposta può essere rappresentata dalla funzione

$$AR_{72} = 7,13 + 3,11 \text{ S.O.} + 0,25 \text{ Argilla} + 0,26 \text{ C.S.C.}$$

Il confronto fra i valori di attività respiratoria accertati ed i corrispondenti valori interpolati ha permesso di individuare la percentuale di campioni con attività respiratoria anormalmente bassa.

Questi casi saranno oggetto di studio per l'accertamento delle cause che pesantemente limitano l'attività biologica.

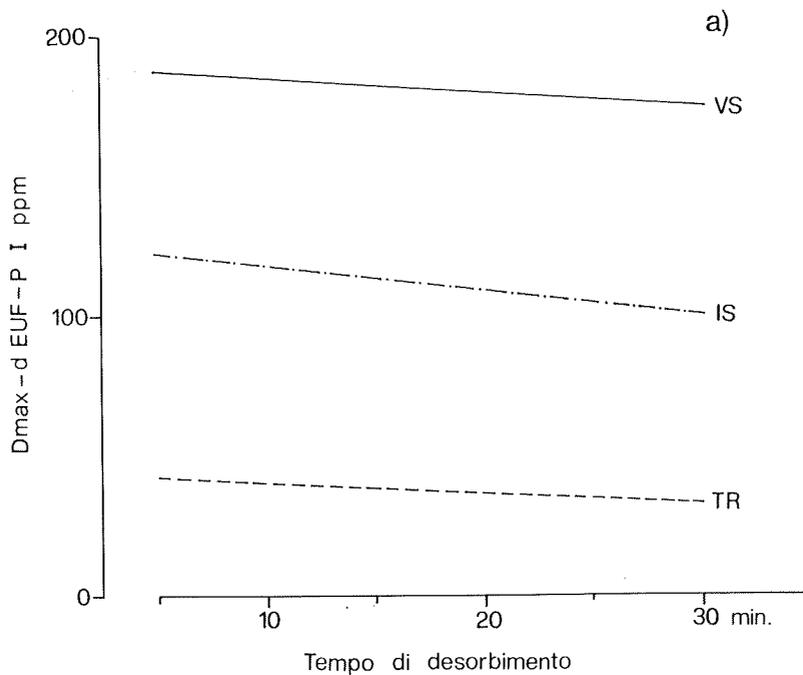
BIBLIOGRAFIA

- (1) MAGGIONI A., VARANINI Z., PINTON R., GIULIVO C. e OLIVIERI A. M. - Stato nutrizionale dei vigneti a DOC dei Colli Euganei, La Garangola ed., Padova, 1985.

Cinetica di desorbimento del fosforo determinata in EUF su suoli tipici dell'Italia Meridionale

BUFO S.A. * - BUONDONNO A. ** - PIZZIGALLO M.D.R. * - TESTINI C. *

Lo studio cinetico dei processi di desorbimento assume particolare importanza per quegli elementi nutritivi come il fosforo, la cui concentrazione nella fase liquida del suolo, risultando sempre piuttosto bassa, è ritenuta



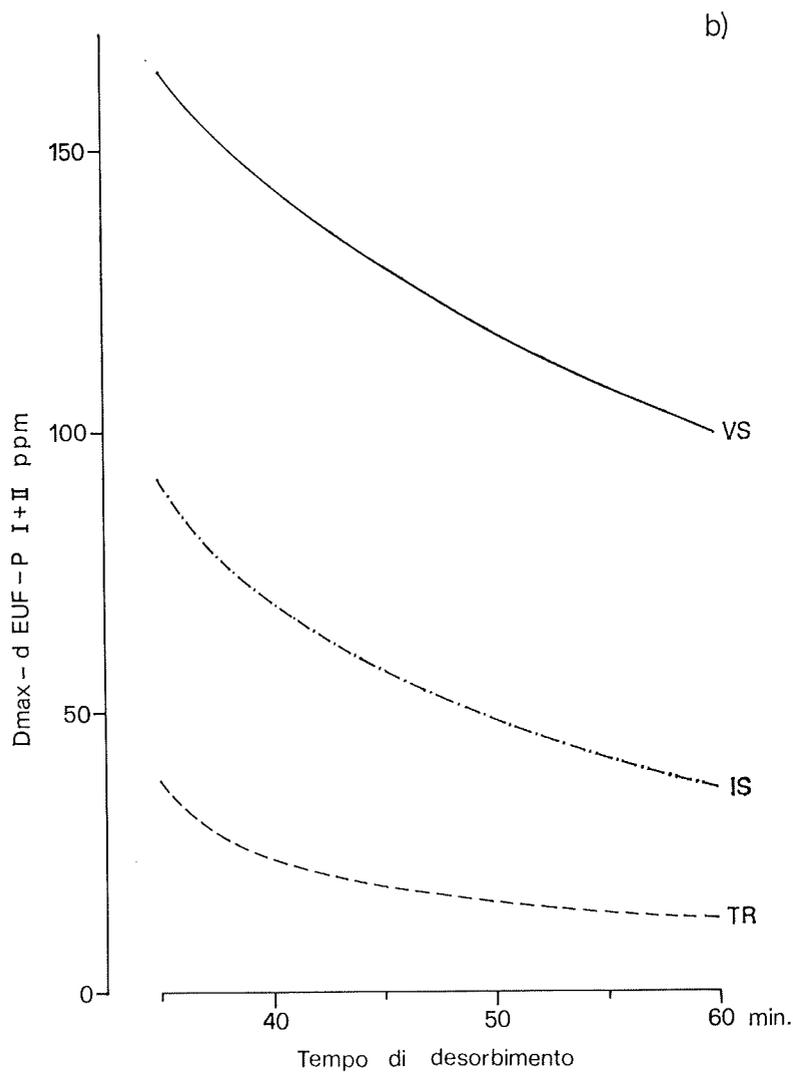


Figura 1 - Isotherme di desorbimento. D_{max} = quantità massima desorbibile; d_{EUF} = quantità desorbita al tempo t ; $D_{max} - d_{EUF}$ = quantità teorica residua; a = EUF I; b = EUF II.

critica per la nutrizione delle piante. A tal fine sono state effettuate estrazioni EUF nelle seguenti condizioni operative: 20 °C, 200V max, 15mA max per 30' con prelievi ogni 5 minuti (EUF I); 80°C, 400V max, 150 mA max per altri 30' con lo stesso intervallo di prelievo (EUF II).

L'indagine è stata condotta su terreni (0-25 cm) tipici dell'Italia meridionale, raggruppati in tre ordini tassonomici: - IS = Inceptisol (terreni sabbiosi, vulcanici su tufo giallo della Campania); - TR = Alfisol, tipica « terra rossa » (terreni da sabbioso-argillosi ad argillosi della Puglia); - VS = Vertisol (terreni calcarei da sabbioso-limosi a sabbioso-argillosi dell'Appennino meridionale).

Il desorbimento del P durante il primo frazionamento (EUF I) può essere descritto da equazioni cinetiche di ordine zero, del tipo $D_{\max} - d = A - Kt$, così come accertato per il potassio in un precedente lavoro (1). L'intercetta A tende a zero al diminuire della frazione che passa nella fase liquida per pronta dissoluzione e non per desorbimento dovuto al campo elettrico applicato. Analogamente il desorbimento del nutritivo durante il secondo frazionamento (EUF II) può essere descritto da equazioni del secondo ordine, del tipo $D_{\max} - d = D_{\max} t_{0,5} / t + t_{0,5}$ dove $t_{0,5}$ è il tempo di dimezzamento. La Figura 1a mostra una dotazione di fosforo desorbibile in VS più alta rispetto a TR ed IS, mentre le pendenze delle rette sono confrontabili. La cinetica di desorbimento è in tutti i casi indipendente dalla dotazione iniziale, cioè durante l'estrazione EUF I vengono rilasciati, lentamente e con velocità costante, fosfati non occlusi (pool labile) (2).

La Figura 1b mostra invece che il processo di desorbimento nelle condizioni più drastiche di EUF II, dipende dal tempo.

Tale dipendenza è più evidente per IS e TR ($t_{0,5}$ compreso tra 40 e 45 min.) che non per VS, il cui tempo di dimezzamento è superiore al tempo complessivo utilizzato per l'estrazione. La derivata prima della funzione di desorbimento (velocità di desorbimento) mostra un più rapido rilascio da parte di IS in valore assoluto, ma più consistente per VS in termini percentuali. Questo risultato viene reso più evidente con la derivata seconda (potere tampone), il cui andamento mostra bene come il terreno meno dotato in P (TR) ceda l'elemento in piccole quantità a velocità quasi costante; il terreno più ricco di P labile (IS) lo cede rapidamente all'inizio, diventandone avaro successivamente; mentre il terreno calcareo (VS), il più dotato, rilascia con velocità confrontabile con quella del più povero TR, anche se in quantità notevolmente più elevate.

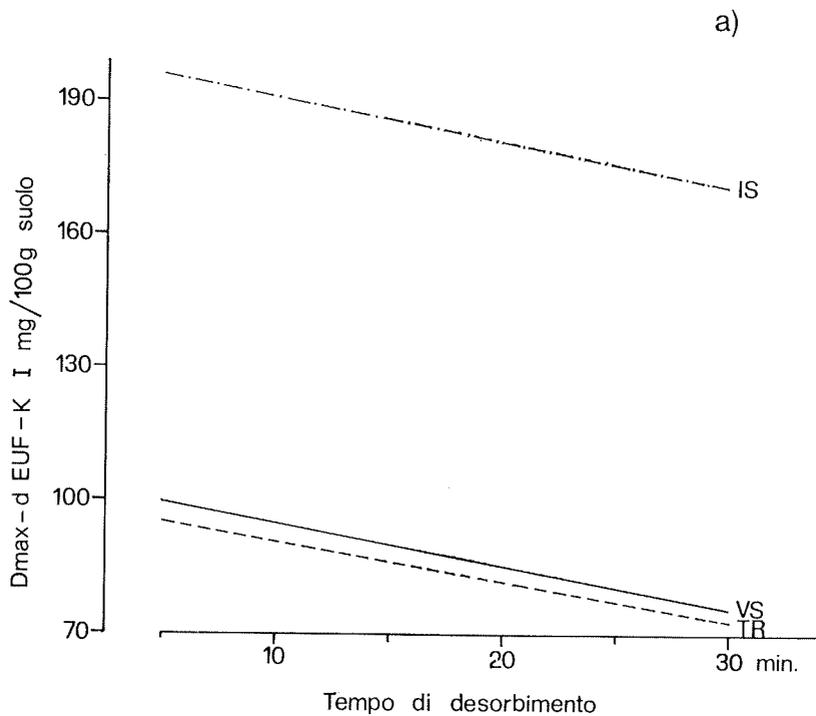
BIBLIOGRAFIA

- (1) BUFO S.A., BUONDONNO A., PIZZIGALLO M.D.R., TESTINI C. - Cinetica di desorbimento del K determinata in EUF su tre suoli meridionali. Convegno su: « Fertilità del suolo e nutrizione delle piante », Sorrento, 6-8 maggio, 1987.
- (2) GRIMME H. and NÉMETH K. - The effect of P source on P desorption by electro-ultrafiltration (EUF) on two different soils. *Plant and Soil*, 64: 43, 1982.

Cinetica di desorbimento del K determinata in EUF su tre suoli meridionali

BUFO S.A. * - BUONDONNO A. ** - PIZZIGALLO M.D.R. * - TESTINI C. *

In una precedente indagine (1) sono state determinate le frazioni di K estratte con la tecnica dell'Elettro-Ultrafiltrazione ed è stato interpretato il loro significato in termini di disponibilità del nutritivo, in suoli caratteristici



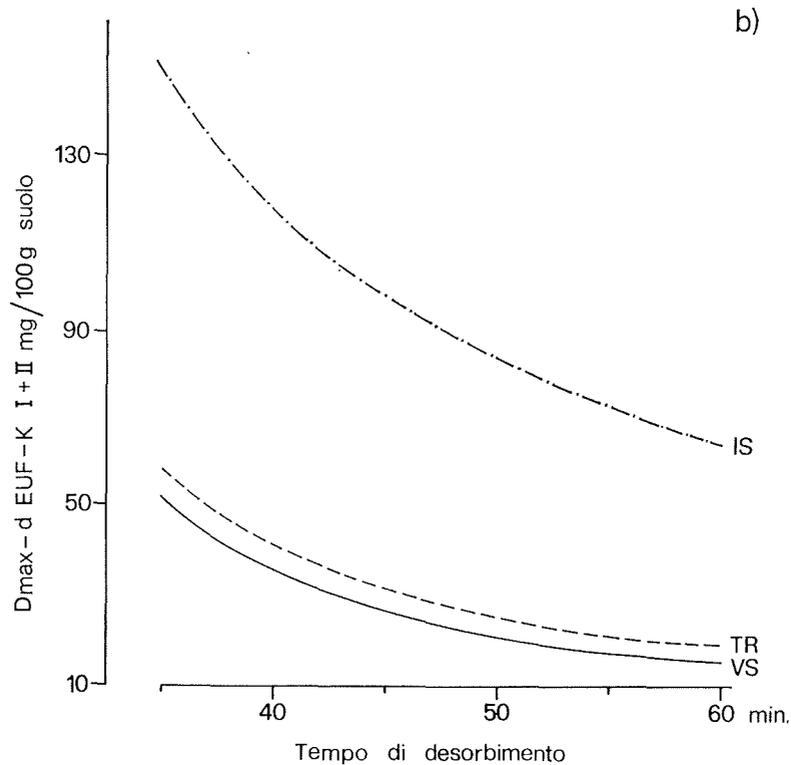


Figura 1 - Isotherme di desorbimento. D_{max} = quantità massima desorbibile calcolata dall'estensione dell'equazione cinetica proposta da Grimme (2,3); d EUF = quantità cumulativa desorbita al tempo t ; $D_{max} - d$ EUF = quantità teorica residua; a) = EUF I; b) = EUF II.

dell'Italia meridionale: IS = Inceptisol; TR = Alfisol (Terra Rossa); VS = Vertisol. Il metodo può fornire informazioni anche sulla velocità con la quale le frazioni suddette sono desorbite. Infatti, durante l'estrazione, l'equilibrio tra le specie ioniche in soluzione e quelle adsorbite sul complesso di scambio viene continuamente perturbato dal campo applicato e pertanto è possibile valutare sia i parametri cinetici del processo di rilascio sia la capacità del suolo di reagire alla perturbazione (potere tampone). Del resto il metodo vuole simulare il comportamento reale del suolo, nel quale la velocità di rilascio dei nutrienti è influenzata da diversi fattori che perturbano l'equilibrio.

Nelle Figure 1a e 1b sono riportate le isoterme di desorbimento relative ai tre suoli per la I estrazione (a) ed i valori cumulati della I + II estrazione (b), entrambe effettuate nelle condizioni riportate in (1).

L'andamento è lineare per EUF I ed il desorbimento segue una cinetica di ordine zero. IS, pur avendo più ricca dotazione in K, mostra una pendenza molto vicina a quelle di TR e VS.

La forza estrattiva durante EUF I è modesta, pertanto la funzione decresce lentamente con legge costante, indipendentemente dalla quantità potenzialmente desorbibile e dipendente esclusivamente dall'energia applicata.

In EUF II la maggior quantità di nutriente viene estratta durante i primi 5 minuti, successivamente le quantità desorbite diminuiscono più o meno velocemente a seconda della natura del terreno. Queste rappresentano le frazioni di K maggiormente trattenute nel suolo e la cinetica di rilascio è del secondo ordine. La derivata prima della funzione di desorbimento (velocità di desorbimento) fornisce una valutazione della capacità del suolo di rendere disponibile il nutritivo.

La derivata seconda rende conto della variazione di tale capacità nel tempo (potere tampone). Dall'analisi degli andamenti delle funzioni suddette risulta evidente come, sebbene le riserve di K in IS siano più elevate rispetto sia al TR che a VS, in tutti i suoli il potere tampone diminuisce del 50% nei primi 5-10 min..

BIBLIOGRAFIA

- (1) BUONDONNO A., FELLECA D., BUFO S.A., PIZZIGALLO M.D.R., TESTINI C. - Preliminary investigation on K fractions from some soils of southern Italy. Comparative study between electro-ultrafiltration and some conventional methods. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.*, 19 (3): 239, 1988.
- (2) GRIMME H. - The use of rate equation for a quantitative description from soils in an external electric field (electro-ultrafiltration). *Z. Pflanz. Bodenk.* 142: 57, 1979.
- (3) GRIMME H. - K description in an external field as related to clay contents. *Plant and Soil*, 64: 49, 1982.

Meccanismo di adsorbimento di Cadmio su imogolite sintetica

BASILE G. - PALMIERI G. - PALMIERI F. - VIOLANTE P.

INTRODUZIONE

La produzione ed il consumo di cadmio sono in continua espansione. Numerosi processi industriali e molteplici pratiche agricole incrementano con continuità la quantità di questo metallo nell'aria e nell'acqua. Aumenti cospicui nei suoli coltivati possono derivare, oltre che dalle deposizioni atmosferiche e dall'impiego di fertilizzanti fosfatici (1), anche dalla somministrazione di fanghi di depurazione di acque reflue.

L'accertamento che cationi metallici tendono ad essere adsorbiti specificamente sulle superfici di ossidi e di ossidrossidi (7, 8, 2) suggerisce che queste entità mineralogiche giocano ruolo determinante nella definizione di fenomeni di inquinamento e di carenza di micronutrienti. Allo stesso modo potrebbero agire alluminosilicati caratterizzati da specifica struttura cristallina e da estesa area superficiale.

Si riferiscono i risultati di indagine condotta per l'accertamento dell'adsorbimento di Cd su imogolite, alluminosilicato quasi sempre presente nella composizione mineralogica dei suoli vulcanici (5, 9).

L'utilizzazione di imogolite di sintesi ha consentito di eliminare le interferenze di costituenti allofanici e allofane-simili e di sostanze umiche che normalmente coesistono con questo minerale negli andisuoli.

MATERIALI E METODI

La sintesi dell'imogolite è stata realizzata con il metodo descritto da Farmer e coll. (1977). La purezza del prodotto è stata accertata con l'impiego della diffrattometria a raggi X, della microscopia elettronica e della spettroscopia I.R. (Figure 1, 2, 3).

L'adsorbimento del Cd su imogolite è stato definito addizionando in tubi da centrifuga di polipropilene a 20 mg di alluminosilicato di sintesi 20 ml di

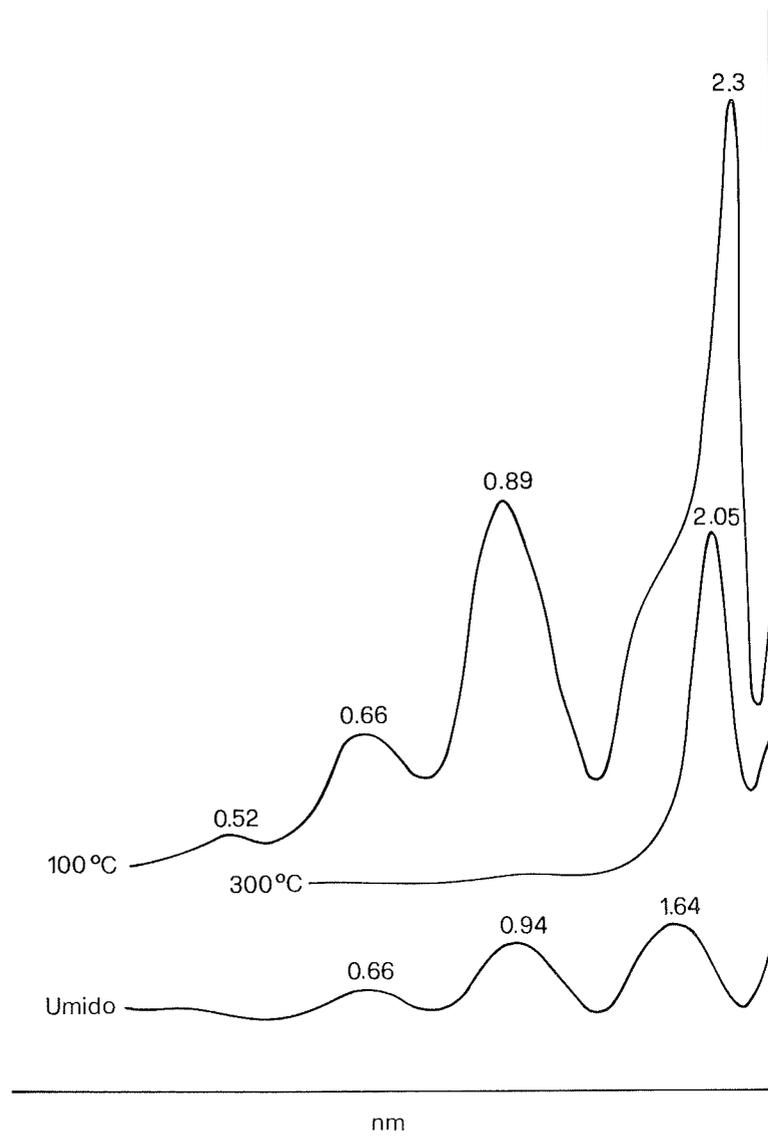


Figura 1 - Diffratogramma ai raggi X di film di imogolite sintetica orientato, allo stato umido, essiccato in stufa a 100°C e riscaldato a 300°C.

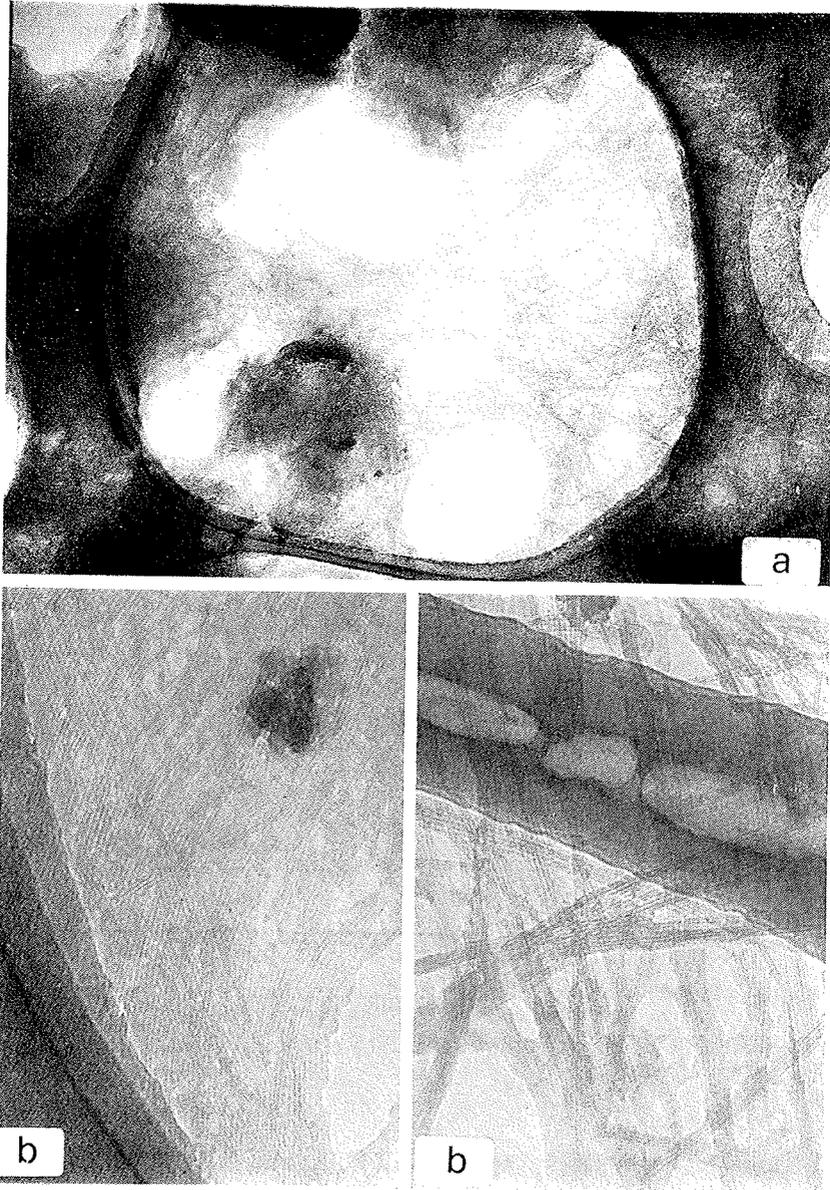


Figura 2 - a) micrografia di imogolite naturale ($\times 1.3 \cdot 10^5$).
b) micrografia di imogolite sintetica ($\times 2.6 \cdot 10^5$).

soluzione 0.05N di $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. I tubi sono stati agitati per 24 ore per consentire la saturazione dei siti di scambio e centrifugati per allontanare la fase acquosa. I campioni sono stati sospesi nuovamente in soluzione di nitrato di calcio contenente Cd in quantità tali da realizzare concentrazioni comprese tra 0.05 e 0.60 $\mu\text{m}/\text{l}$. Le sospensioni sono state portate a valori di pH predeter-

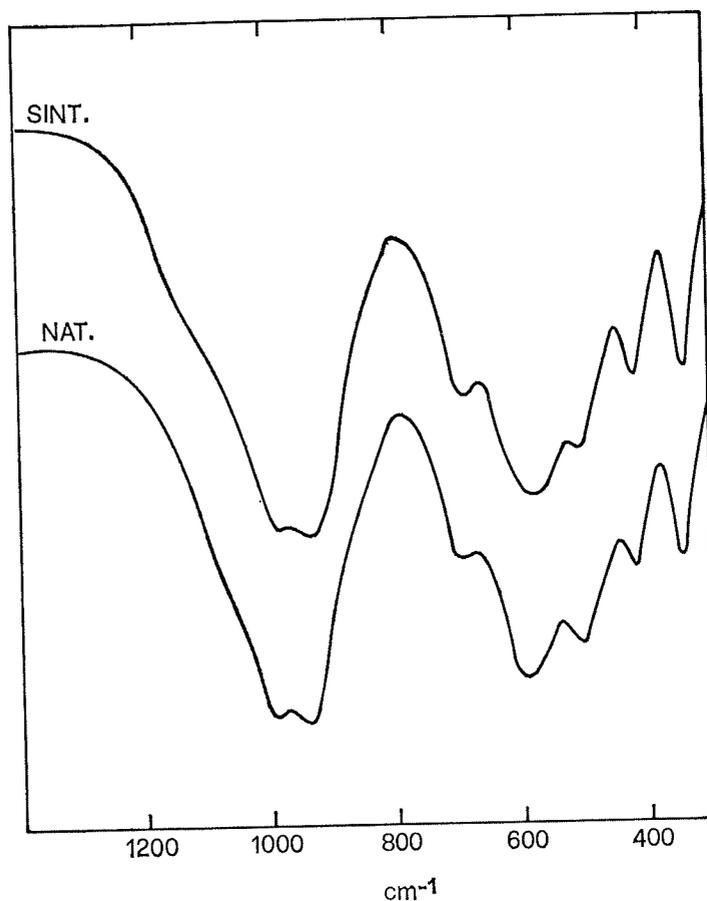


Figura 3 - Spettri IR di imogolite sintetica (Sint.) e naturale (Nat.) con banda caratteristica a 342 cm^{-1} .

minati tra 6.4 e 7.5 mediante aggiunta di soluzione 0.1M di HNO_3 o di soluzione satura di $\text{Ca}(\text{OH})_2$, annotando il volume complessivo e sottoposte ad agitazione per un ulteriore periodo di 24 ore. Della variazione del volume, non superiore al 5% del volume iniziale di 20 ml, si è tenuto conto nel calcolo della concentrazione del metallo. Il contenuto di Cd nella soluzione

separata per centrifugazione è stato determinato con l'impiego della spettrofotometria AA senza fiamma, utilizzando apparecchiatura Perkin-Elmer 306, HGA74, fornita di correttore di fondo al deuterio.

Le quantità di Cd adsorbite dall'imogolite ai diversi valori di pH sono state calcolate come differenza tra la concentrazione iniziale e quella accertata nella soluzione allo equilibrio.

L'errore analitico è stato stimato inferiore al 3%.

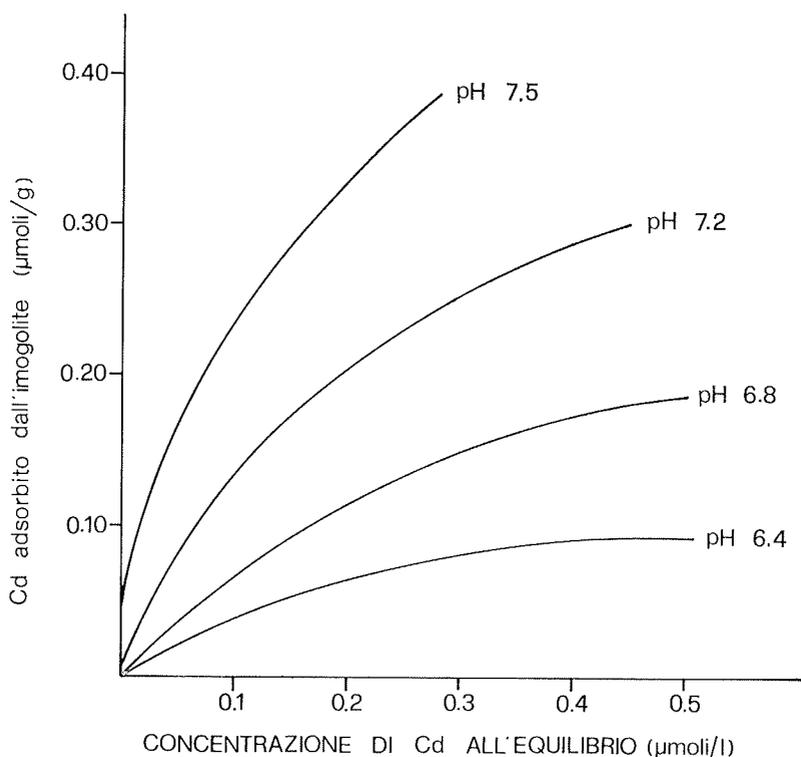


Figura 4 - Isotherme di adsorbimento del Cd su imogolite sintetica determinate in soluzione 0.05 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ alla temperatura di 20°C a differenti pH.

RISULTATI E CONCLUSIONI

I risultati ottenuti sono sintetizzati nella Figura 4 in cui vengono riportate, ai diversi valori di pH, le quantità di Cd adsorbite dall'imogolite ($\mu\text{moli/g}$) in funzione della concentrazione del Cd nella soluzione all'equilibrio. Ai valori di pH 6.4, 6.8, 7.2 e 7.5 sono state adsorbite dall'imogolite quantità di Cd pari, rispettivamente, a 0.08, 0.15, 0.25 e 0.40 ($\mu\text{moli/g}$).

I siti di adsorbimento vanno considerati in rapporto alla particolare morfologia della imogolite (Figura 5).

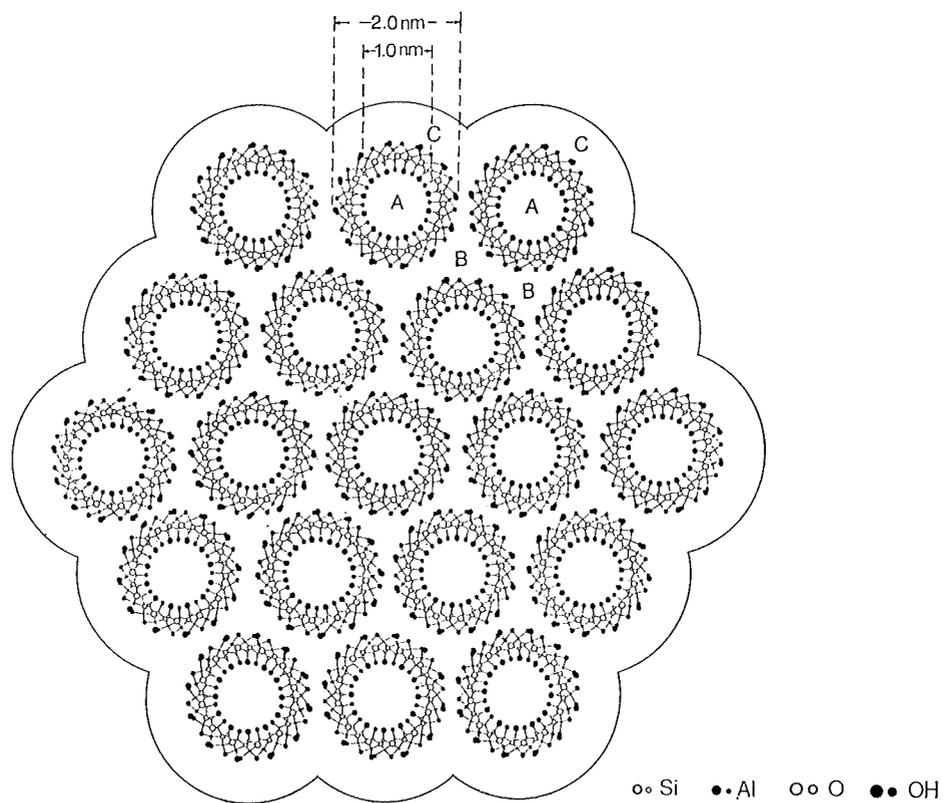


Figura 5 - Modello tubolare dell'imogolite: A) pori intratubo; B) pori intertubo; C) pori interfascio.

Il minerale presenta una porosità da pori intratubi (6) pari a 0.10 cc/g ed una porosità da pori intratubi più pori intertubi pari a 0.145 cc/g e diametro interno ed esterno rispettivamente di 1.0 e 2.0 nm.

Lo spazio intertubi, caratterizzato da massimo di diffrazione a 2.3 nm, che secondo Egashira e Aomine (1974) appare accessibile a molecole organiche polari, è probabilmente il sito di adsorbimento del catione Cd.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BASILE G., SCIALDONE R. - L'accumulo nel terreno di Cd proveniente da fosfati minerali. *Ann. Fac. Agr. Univ. Napoli, Serie IV, XII Sem.*, 197, 1978.
- (2) CLACK C.J., MC BRIDE M.B. - Cation and anion: retention by natural and synthetic allophane and imogolite. *Clay & Clay Minerals* 32: 291, 1984.
- (3) EGASHIRA K., AOMINE S. - Effect of drying and heating on the surface area of allophane and imogolite. *Clay Sci.* 4: 231, 1974.
- (4) FARMER V. C., FRASER A. R., TAIT J. M. - Synthesis of imogolite: A tubular aluminum silicate polymer. *J. Chem. Soc. Chem. Comm.* 462, 1977.
- (5) FARMER V. C., FRASER A. R., TAIT J. M., PALMIERI F., VIOLANTE P., NAKAI M., YOSHINAGA N. - Imogolite and protoimogolite in an Italian soil developed on volcanic ash. *Clay Minerals* 13: 271, 1978.
- (6) FARMER V. C., ADAMS M. J., FRASER A. R. and PALMIERI F. - Synthetic imogolite: properties, synthesis and possible application. *Clay Minerals* 18: 459, 1983.
- (7) FORBES E. A. - Cobalt, copper and zinc, in yellowbrown pumice soils under grazed permanent pastures. *N.Z.J. Agric. Res.* 19: 153, 1976.
- (8) MCKENZIE R. M. - The adsorption of lead and other heavy metals on oxides of manganese and iron. *Aust. J. Soil Res.* 18: 61, 1980.
- (9) VIOLANTE P., PALMIERI F. e VIOLANTE A. - L'imogolite in alcuni suoli vulcanici italiani. *Geol. App. ed Idrol.* XII, 325, 1977.

Fertilità del terreno e produzioni vegetali in relazione
a differenti ordinamenti colturali e interventi agronomici

LANZA F.

Il progetto speciale « Ordinamenti colturali », promosso e finanziato dal M.A.F. e coordinato dal prof. F. Lanza, è iniziato con l'annata 1985-86 con un primo ciclo di sviluppo quinquennale, 7 dispositivi sperimentali, dislocati in Veneto, Lombardia, Emilia, Lazio e Puglia, 18 unità operative, 9 Istituti sperimentali e 1 Centro universitario coinvolti.

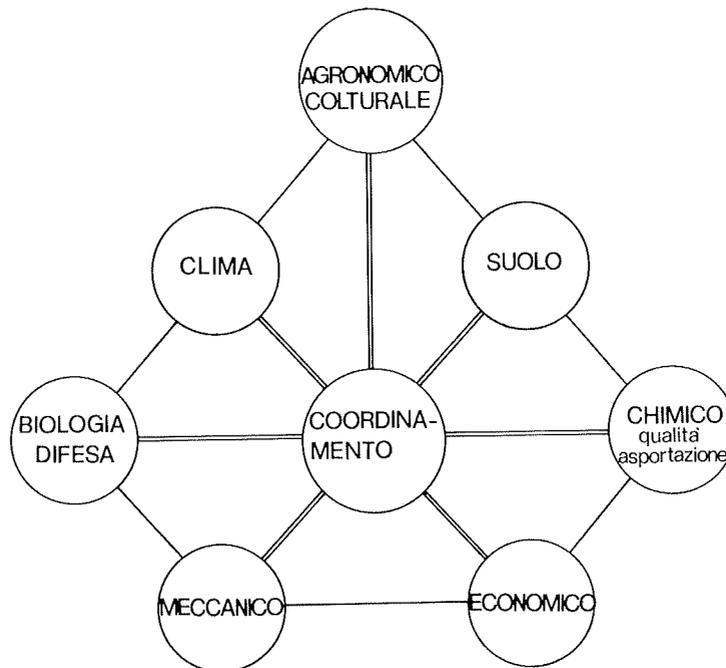


Figura 1 - Schema di relazioni tra i settori.

Questo « Progetto », con obiettivi prevalentemente conoscitivi e interdisciplinari, si propone di studiare le influenze e gli effetti reciproci di alcuni avvicendamenti cerealicolo-industriali e foraggeri e alcune monosuccessioni, con e senza un'intensificazione colturale - costituita da doppi raccolti annuali, con semina (estiva) di colture intercalari, e da interventi agronomici con 2

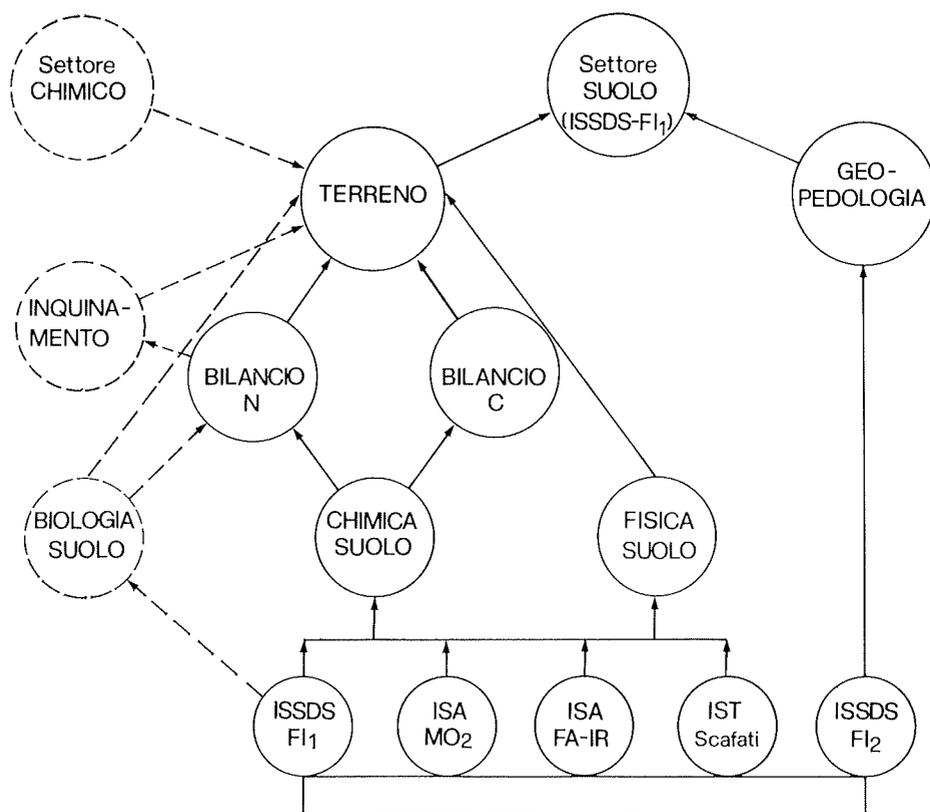


Figura 2 - Schema di relazioni nel settore suolo.

Legenda: ISSDS-FI = Istituto Sperimentale Studio e Difesa Suolo - Firenze; ISA-MO = Istituto Sperimentale Agronomico - Sez. di Modena; ISA-FA/IR = Istituto Sperimentale Agronomico - Sez. centrali di Fertilità agronomica e di Irrigazione; IST-Scafati = Istituto Sperimentale Tabacco - Scafati.

(alti e bassi) livelli di nutrienti, irrigazione, diserbanti e antiparassitari, modalità di lavorazione del terreno e interrimento o meno dei residui colturali -. Vengono effettuati rilievi per singoli settori disciplinari (colturale, agroclimatico, geopedologico, terreno agrario, qualità dei prodotti e dei residui, fitopatologico, nematologico, meccanico-agrario ed economico-agrario) e valutati una serie conseguente di bilanci (produttivo, idrologico, energetico, radioattivo,

economico e di fertilità del suolo). Le colture in esame sono per il momento 15 - frumento tenero e duro, orzo, mais, sorgo, barbabietola da zucchero, girasole, soia, tabacco, finocchio, prato permanente e avvicendato, erbai di loiessa, mais e orzo tranciati-combinate in differenti rotazioni o solo in monosuccessione.

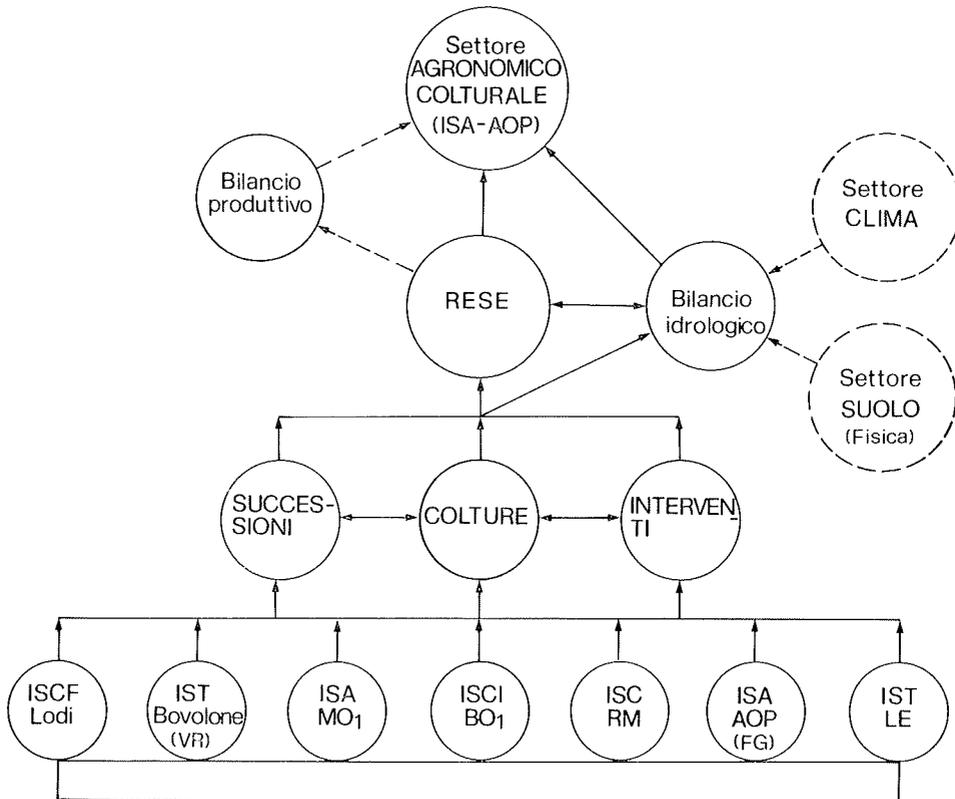


Figura 3 - Schema di relazioni nel settore agronomico-culturale.

Legenda: ISCI = Istituto Sperimentale Colture Industriali - Bologna; ISCF = Istituto Sperimentale Colture Foraggere - Lodi; ISC = Istituto Sperimentale Cerealicoltura - Roma; IST-Bov. = Istituto Sperimentale Tabacco - Sez. di Bovolone (VR); IST-LE Istituto Sperimentale Tabacco - Sez. di Lecce; ISA-AOP = Istituto Sperimentale Agronomico - Sez. centrale di Agrotecnica degli ordinamenti produttivi.

Per valutare, tra l'altro, l'influenza della successione delle colture e degli interventi agronomici - oltre che sulle rese (Figura 3), la qualità dei prodotti e il bilancio dei nutrienti (Figura 4), ecc. -, sull'evoluzione, in particolare, della fertilità del suolo (Figura 2) anche attraverso l'esame del flusso dell'N e del C, sono studiati gli effetti principali e le interazioni reciproche dei fattori « clima », « terreno », « coltura » e « livelli di intervento » (Figura 1) sulle

variazioni dei parametri chimici (varie forme di S.O. e N, P, K, ecc.), fisici (stabilità della struttura, conducibilità e regime idrico, movimenti dei soluti, etc.) e biologici (modificazioni della biomassa, microflora del suolo, azotofissazione, perdite e guadagni di N, etc.) dei terreni sedi delle prove e sulle variazioni dei contenuti in elementi minerali delle diverse colture per il calcolo del bilancio dei nutrienti e la valutazione commerciale dei vari prodotti.

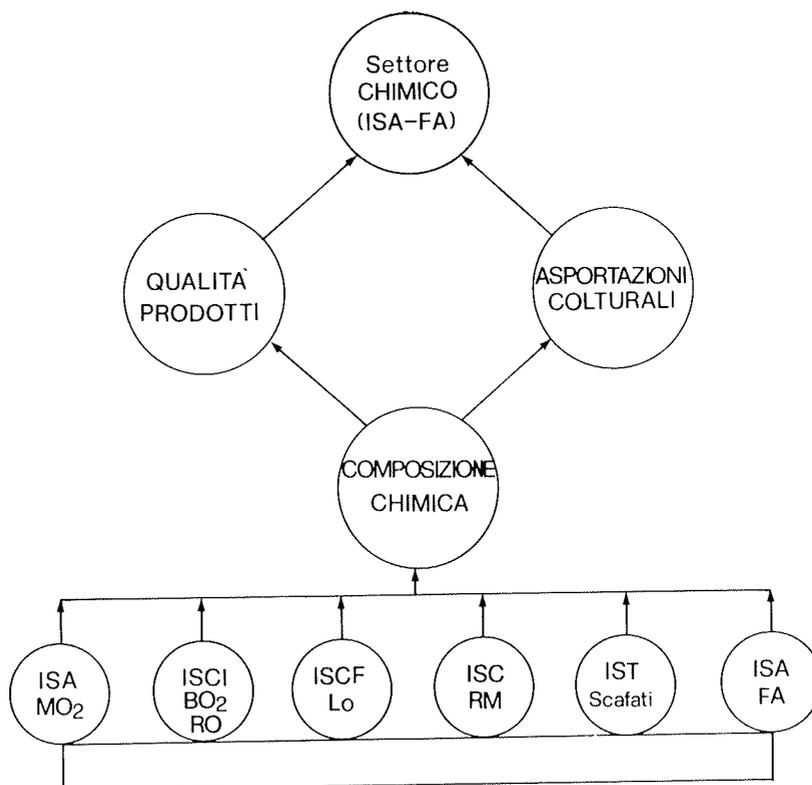


Figura 4 - Schema di relazioni nel settore chimico.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CAVAZZA L. - Il problema dell'avvicendamento delle colture nella moderna agricoltura. Rivista di Agronomia, VIII, 1, 1974.
- (2) LANZA F. - Risultati e prospettive di alcuni modelli di ordinamenti erbacee. Avvicendamenti e specializzazioni culturali. Ibidem, VI, 3, 1972.
- (3) TODERI G. - Bibliografia sull'avvicendamento delle colture. Rivista di Agronomia IX, 4, 1975.
- (4) AA. VV. - Méthodologie d'étude des système de culture. Séminaire C.E.E. - I.N.R.A., Toulouse, 7-9 mai, 1980.
- (5) AA. VV. - Evolution du niveau de fertilité des sols dans différents systèmes de culture. Criterès pour mesurer cette fertilité. Séminaire C.E.E. - I.S.A., Bari, 28-30 septembre, 1981. Editeur F. Lanza, Bari, 1982.

Criteri di valutazione dell'evoluzione del livello di fertilità
del terreno agrario in differenti sistemi culturali

LANZA F.

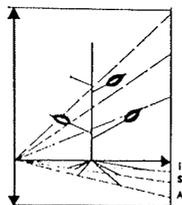
Vengono riassunti in 2 schemi (I e II) le parti essenziali e pertinenti delle 29 comunicazioni, proposte di lavoro e conclusioni del Seminario C.E.E., organizzato dall'Istituto Sperimentale Agronomico a Bari il 28-30 settembre 1981 sull'argomento del titolo (Figure 1 e 2).

COMMUNAUTE ECONOMIQUE EUROPEENNE

EVOLUTION DU NIVEAU DE FERTILITE
DES SOLS DANS DIFFERENTS SYSTEMES DE
CULTURE - CRITERES POUR MESURER
CETTE FERTILITE

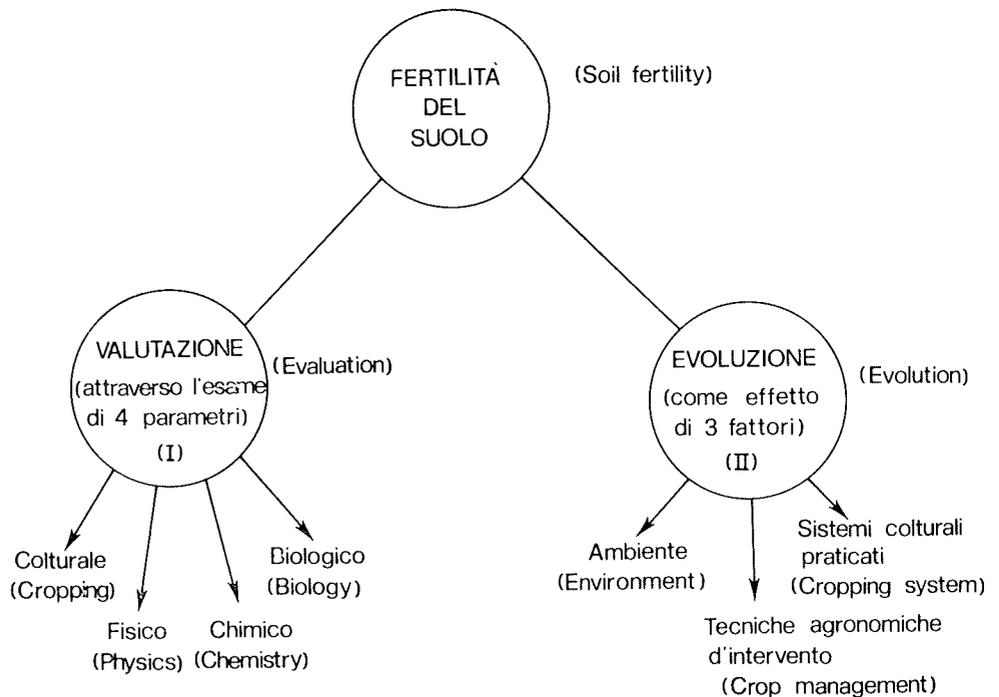
*Comptes-rendus du CEE Séminaire organisé par CCE
et Istituto Sperimentale Agronomico, Bari et tenu à
Bari, Italie, les 28-30 septembre 1981 sous le patro-
nage de la Commission des Communautés Européennes
- Direction générale de l'Agriculture - Coordination de
la Recherche Agronomique (VI-F.4)*

*groupe "Agriculture Méditerranéenne" (Agrimed)
sous-groupe "Grandes Cultures-système de culture"*



EDITEUR F. LANZA
ISTITUTO SPERIMENTALE AGRONOMICO - BARI
BARI, 1982

L'interdisciplinarietà degli argomenti trattati nel Seminario sono tuttora di viva attualità e portano un contributo ai problemi della fertilità del suolo.



I Valutazione dell'evoluzione della fertilità del suolo attraverso l'esame di 4 parametri:

- | | |
|--------------|--------------|
| a) colturale | c) chimico |
| b) fisico | d) biologico |

(previa armonizzazione dei metodi e criteri di rilevazione)

(a) Colture « test » come possibile metodo (*relativo*) di valutazione e « taratura » agronomica per valutare le differenti soglie di disponibilità dei nutrienti.

(b) Stabilità strutturale (cementati e aggreganti, tasso di aggregati stabili al benzene); attitudine alla fessurazione e sensibilità al compattamento del terreno; « qualità » del letto di semina; capacità idrica del terreno; interazione K scambiabile-tessitura del suolo.

(c) Controllo critico di validità analitica per il K_2O scambiabile e la P_2O_5 assimilabile; correlazioni tra le diverse forme di K nel terreno; determinazioni enzimatiche (fosfatasi, deidrogenasi, ecc.) per valutare la disponibilità di alcuni nutrienti; flusso e bilancio dell'N e del C (come C_{14} e N_{15}); S.O. come condizionatrice della stabilità strutturale e come criterio (il suo tasso) per valutare la fertilità del suolo.

(d) Fissazione biologica dell'N e denitrificazione; stanchezza del suolo.

II Evoluzione della fertilità del suolo come effetto di 3 fattori:

- e) ambiente (suolo e clima)
- f) tecniche agronomiche d'intervento (concimazione, irrigazione, modalità di lavorazione del terreno, interrimento o meno dei residui colturali)
- g) sistemi colturali praticati (monosuccessioni e rotazioni diverse)
(interazioni di a · b · c · fertilità del suolo · produzione agraria)

BIBLIOGRAFIA

- (1) AA. VV. - Evolution du niveau de fertilité des sols dans différents systèmes de culture. Critères pour mesurer cette fertilité.
- (2) C.R. du C.E.E. - Séminaire organisé par C.C.E et Istituto Sperimentale Agronomico à Bari le 28-30 septembre 1981.
- (3) Editeur F. LANZA - I.S.A., Bari, 1982.

(e) Nel Mezzogiorno: aridità estiva e temperature elevate condizionano le rese e distruggono la S.O. neoformata; frequenza di litosuoli e quindi bassa c.i.c.; fase salina ± accentuata sui litorali; dotazioni rispettivamente sufficienti ed elevate di P e K totali ma loro quote solubili e utilizzabili dalle piante piuttosto carenti.

(f) Letamazione, concimazione azotata e interrimento dei residui colturali per accrescere lo stock di S.O. (impoverito dalla coltivazione); semina diretta (vs. aratura) e bruciatura delle stoppie (vs. interrimento) per migliorare la stabilità degli aggregati.

(g) Scelta di ordinamenti colturali con foraggiere e leguminose per accrescere la fertilità del suolo e diminuire i costi di produzione (quantità di lavori necessari per realizzare un buon letto di semina).

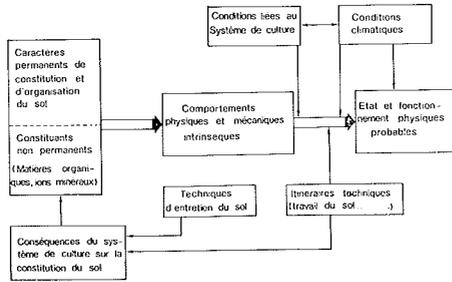


Figure 1 - Représentation schématique des interactions milieu-système de culture, sur la fertilité physique des sols.
(da G. Monnier *et al.*)

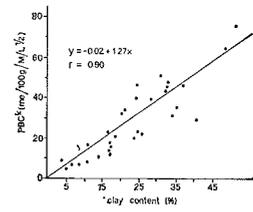


Figure 2 - Relationship between the K-potential buffer capacity of soils (PBC^k) and their clay content.

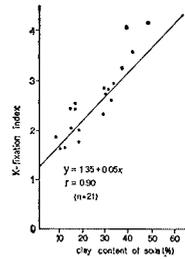


Figure 3 - Correlation between the clay content of soils and the quantity of K_2O required to increase the exchangeable K of soils by 1 mg $K_2O/100$ g soil (Index of K-fixation).
(da A.D. Simonis)

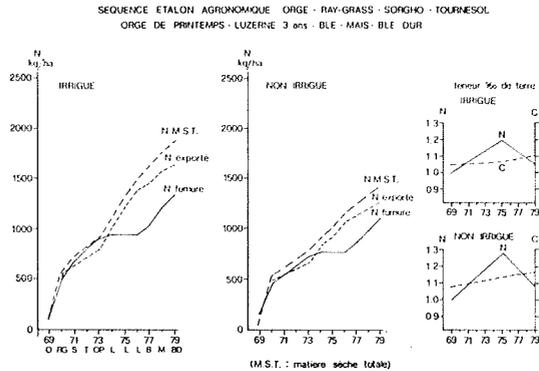


Figure 3 - Bilans d'azote et teneurs du sol en C et N.
(da J-R. Marty *et al.*)

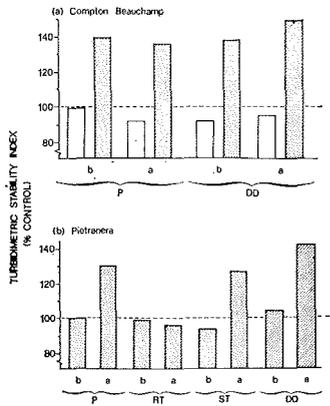


Figure 2 - Results from turbidimetric analyses of aggregates after shaking in deionized water. (da B.S. Locascio and M.J. Goss)

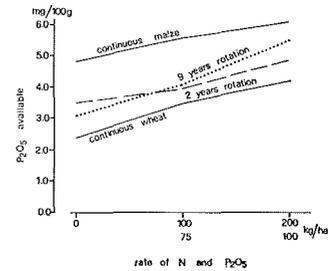


Figure 3 - Influence of mineral fertilizations and crop rotations on the soil content of P₂O₅ available over the nine year period (1972-1980). (da G. Toderi et al.)

TABLEAU 2 - Evolution des teneurs en carbone organique d'un sol soumis à des politiques différentes de fertilisation azotée et de restitution humique.

Mat. Org.	Sans restitution des pailles				Avec restitution des pailles			
	0	600	1200	1800	0	600	1200	1800
Fertilisation azotée (NH ₄ NO ₃ : N kg/ha)	0	600	1200	1800	0	600	1200	1800
<i>Niveau 0-25 cm</i>								
C org. ‰ 1966	8,6	7,7	7,9	8,1	8,4	8,9	8,7	8,7
1976	7,1	7,1	6,9	7,2	7,1	7,5	7,5	8,0
Variation relative %	-17,1	-7,8	-12,7	-11,1	-15,5	-15,7	-13,8	-8,0
<i>Niveau 25-35 cm</i>								
C org. ‰ 1966	4,4	4,3	3,5	4,1	3,5	4,1	4,1	3,6
1976	4,6	5,1	4,4	5,3	4,6	5,2	4,9	4,8
Variation relative %	+4,5	+18,6	+25,7	+29,3	+31,4	+26,8	+19,5	+33,3
<i>Niveau 35-55 cm</i>								
C org. ‰ 1966	3,1	3,3	2,9	2,7	3,0	2,9	2,8	2,7
1976	3,0	3,0	2,9	3,0	2,7	2,7	3,0	3,0
Variation relative %	-3,2	-9,1	-0	+11,1	-10,0	-6,9	+7,1	+11,1

da B. Pujol et J. Decau)

Influenza di sistemi colturali diversi su alcuni
parametri della fertilità del suolo in un quinquennio
di prove condotte nel Tavoliere Pugliese

CONVERTINI G. - FERRI D. - PERNIOLA M.

INTRODUZIONE

Una adeguata descrizione della fertilità del suolo deve tener conto dell'origine pedologica, delle condizioni climatiche, delle piante coltivate, delle tecniche d'intervento, del sistema colturale e della produttività del terreno. Ma bisogna anche distinguere nel parlare di fertilità del suolo, tra fertilità e criteri per determinarla, tra valori analitici e livelli produttivi, tra fertilità attuale e potenziale (criteri che determinano l'evoluzione della fertilità), tra esigenze di abitabilità e di nutrizione delle piante.

I vari interventi agronomici (fertilizzazione, irrigazione, avvicendamenti colturali, lavorazioni, interrimento dei residui colturali, ecc.), apportano nel tempo delle modificazioni al lento evolversi della fertilità del suolo.

Lo scopo del nostro lavoro era quello di studiare il lento evolversi della fertilità del suolo in funzione di interventi agronomici diversi, con particolare riferimento alla dinamica della sostanza organica e di alcuni suoi parametri chimici.

Il protocollo sperimentale mirava ad individuare l'influenza della monocoltura di frumento duro su alcuni parametri chimici del suolo in confronto a successioni colturali con colture da rinnovo quali bietola e girasole.

Questo studio è stato condotto nell'azienda sperimentale dell'I.S.A. a Foggia nell'ambito di ricerche agronomiche a medio termine sugli ordinamenti colturali in corso presso l'I.S.A.

La monocoltura di frumento è messa a confronto con frumento coltivato in rotazioni cerealicolo-industriali del tipo « bietola-frumento + soia o mais

(*) Lavoro eseguito con un contributo del CNR nell'ambito del P.F.IPRA sottoprogetto 1.1.5.

intercalare-frumento » e « girasole-frumento + soia o mais intercalare-frumento », replicate nel tempo e nello spazio su parcelle contigue (vedi schema A).

Abbiamo preso in considerazione soltanto il frumento coltivato dopo bietola e dopo girasole (prima della coltura intercalare) per poterlo confrontare — in termini di verifica sui parametri chimici del suolo — nell'ambito di due rotazioni (B e G) e di una monosuccessione (M).

Sui campioni parcellari di terreno, prelevati periodicamente, si sono determinati i tenori in azoto totale (Kjeldahl), sostanza organica (Walkley e Black), estrazione di acidi umici e determinazione di E4/E6 (3), azoto degli acidi umici (Kjeldahl), polisaccaridi (1) e fenoli (4).

In questa sede vengono riferiti soltanto i risultati relativi ai prelievi di terreno nelle parcelle di frumento dopo bietola e girasole ma prima delle colture intercalari negli anni 82, 83, 84 (primo ciclo triennale completo intercalari e secondo frumento) negli anni 85 ed 86, allo scopo di verificare solo l'influenza delle due diverse colture da rinnovo.

In altre sedi saranno riferiti sia i risultati agronomico-colturali che quelli chimici su terreno e pianta relativi allo studio globale (dopo tre cicli triennali).

L'elaborazione statistica è stata fatta mediante lo studio delle correlazioni lineari multiple dei parametri chimici del suolo con la temperatura e la piovosità.

RISULTATI E CONCLUSIONI

In Figura 1 è riportato l'andamento medio nel tempo del tenore in N contenuto nel terreno sottoposto alle diverse successioni colturali (B = frumento dopo bietola, G = frumento dopo girasole, M = monosuccessione di frumento duro).

Come si può rilevare, il contenuto più alto è quello relativo al terreno di B: si hanno delle oscillazioni negli anni con un incremento complessivo nel tempo.

Anche per i terreni di G ed M si hanno oscillazioni nel tempo con notevole incremento del tenore in N soprattutto nel primo anno sia per il girasole che per la monocultura.

In Figura 2 si può osservare come le fluttuazioni che si hanno nel tempo per la sostanza organica sono opposte tra la monocultura e le due rotazioni che per questo parametro si comportano allo stesso modo pur essendo i valori di B sempre superiori a quelli di G.

Le variazioni annuali non permettono di evidenziare significativi cambiamenti del valore medio poliennale, almeno nell'arco dei cinque anni finora esaminati.

Per il rapporto E4/E6, relativo ai gruppi funzionali degli acidi umici (2), si hanno sempre valori più elevati di M rispetto a B e G, con alti e bassi

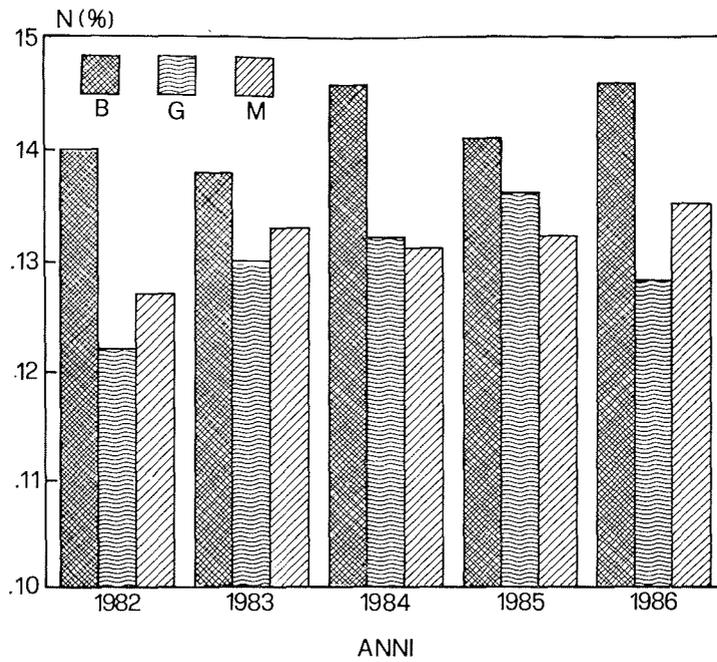


Figura 1 - Andamento del tenore medio in N del suolo in diversi sistemi culturali.

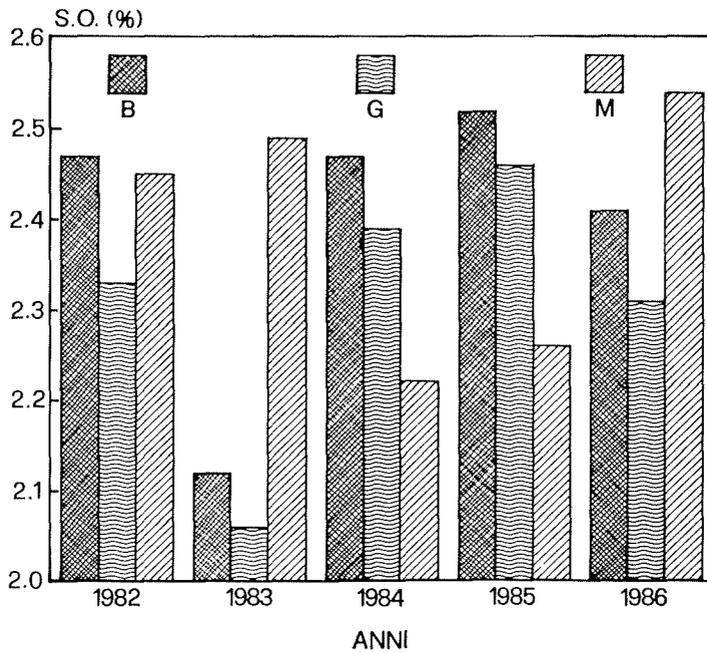


Figura 2 - Variazioni interannuali del contenuto in sostanza organica del suolo.

annuali, più marcati con la monosuccessione, ed una generale tendenza allo aumento complessivo. Nelle condizioni di B e G il rapporto E4/E6 oscilla intorno ad un valore compreso tra 5,7 e 6 circa (Figura 3).

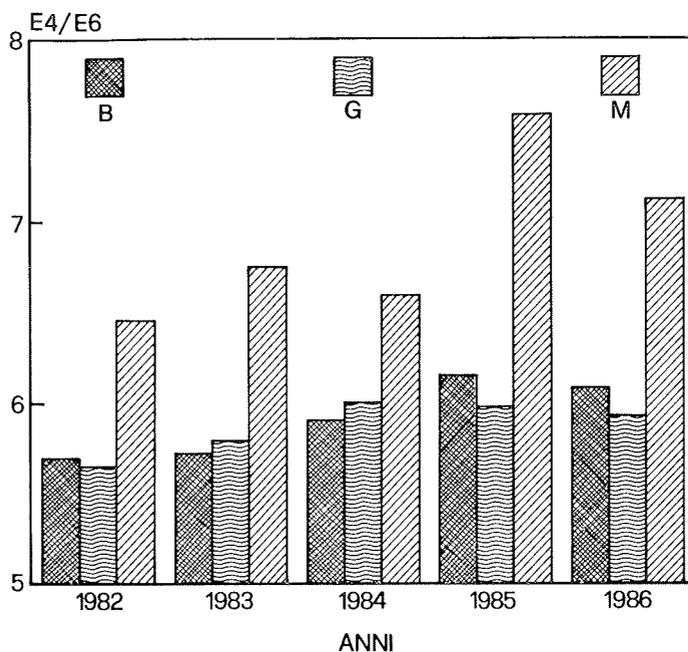


Figura 3 - Influenza dei sistemi colturali sul rapporto E4/E6 nel periodo di prova.

Per l'azoto degli acidi umici (Figura 4) le due rotazioni B e G danno valori quasi paralleli tra loro e più alti rispetto alla monosuccessione (M) fino al terzo anno, quando apparentemente si ha una inversione. L'andamento generale sembra indicare che con le rotazioni si stabilizza sin dall'inizio un alto contenuto in azoto degli acidi umici, mentre con la M si parte da un valore molto più basso ma si va incontro ad un notevole incremento nel tempo di questo parametro; valore che però rientra sempre tra quelli generalmente riscontrati anche da altri autori (5).

Per i polisaccaridi (Figura 5) si rileva una variabilità molto grande che non permette di formulare giudizi sufficientemente fondati, eccetto forse la segnalazione dell'andamento nettamente crescente del G.

Per le sostanze fenoliche totali (Figura 6) si nota che B e G tendono entrambi all'aumento nel tempo, ma la B con minori fluttuazioni e senza mai decrescere; per la M, invece, si ha un'ampia diminuzione dal 1982 al 1984 ed un successivo ampio incremento nel 1985 e 1986.

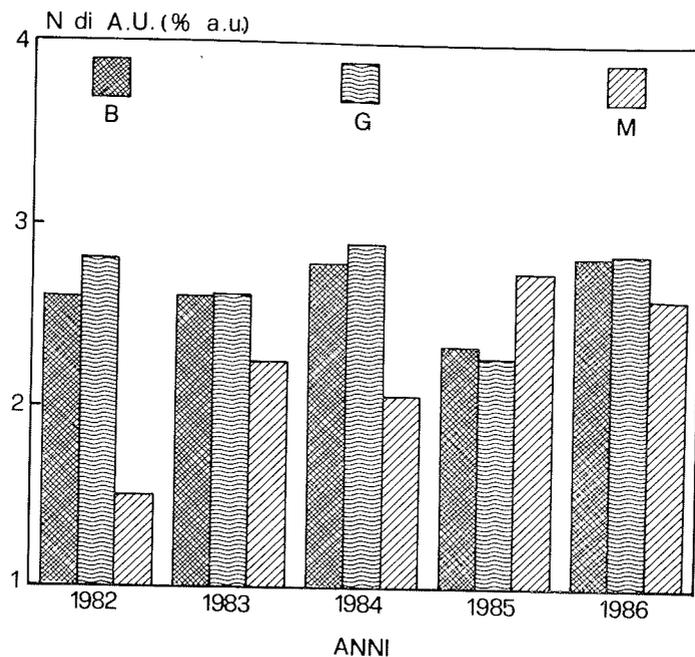


Figura 4 - Andamento nel tempo del tenore medio di N degli acidi umici in diversi sistemi colturali.

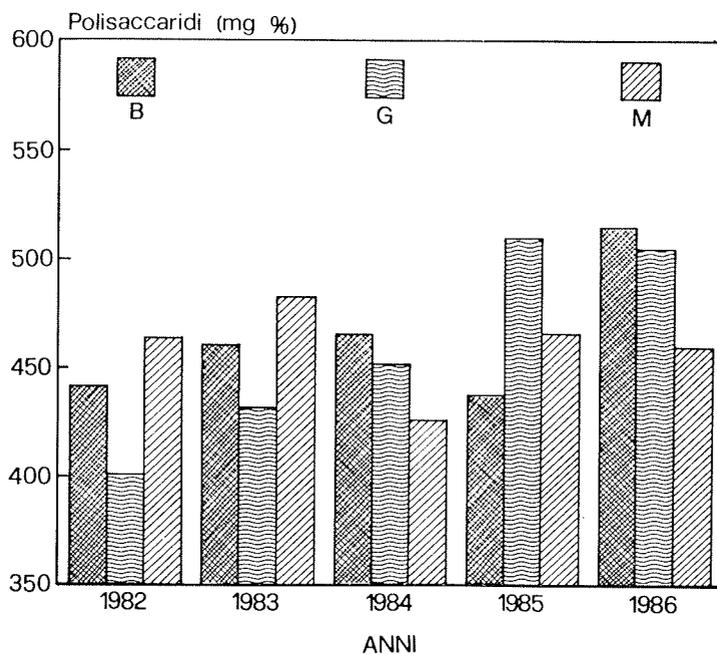


Figura 5 - Tenore in polisaccaridi del suolo in diversi sistemi colturali nel quinquennio.

Per tentare di spiegare le variazioni temporali finora esaminate, si sono correlati i suddetti parametri in studio con l'andamento climatico del periodo preso in esame (Tabella 1). Si può rilevare come le condizioni climatiche influiscono su tali parametri della fertilità del suolo.

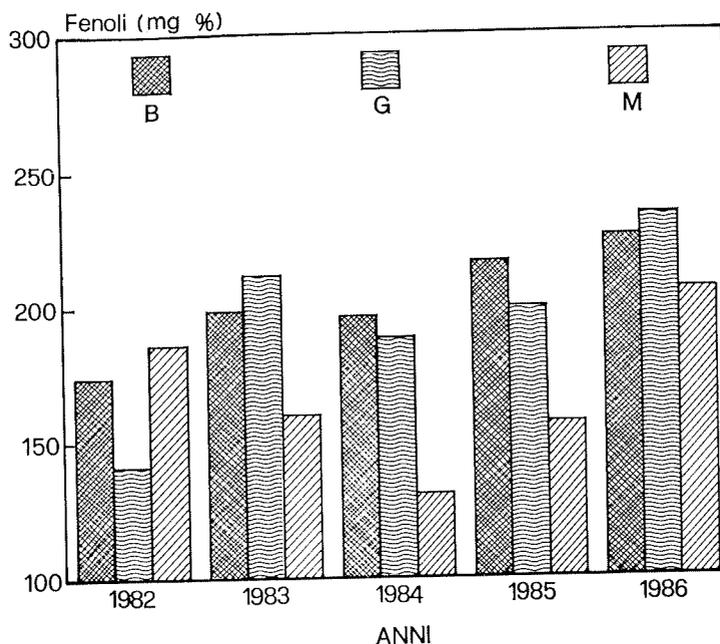


Figura 6 - Andamento delle sostanze fenoliche del suolo nei cinque anni.

Abbiamo correlato i parametri chimici con la T°C minima e con la piovosità ed abbiamo ottenuto, quando i precedenti colturali sono B e G, una correlazione lineare multipla altamente significativa per azoto ($R^2 = 0,61$ e $0,60$), E4/E6 ($R^2 = 0,73$ e $0,93$), S.O. ($R^2 = 0,83$ e $0,84$) del suolo; per i polisaccaridi si ha una correlazione significativa solo quando il precedente colturale è G ($R^2 = 0,56$) e con la M ($R^2 = 0,55$); per i fenoli si ha una correlazione significativa solo con la M ($R^2 = 0,49$) e non appaiono correlazioni per l'N degli acidi umici.

Se invece correliamo tali parametri chimici con la T°C massima e con la piovosità, otteniamo, nelle condizioni colturali di G e di M, una correlazione altamente significativa ($R^2 = 0,92$ e $0,77$), per l'N; per il rapporto E4/E6 ed i fenoli correlazioni altamente significative in B, G ed M (rispettivamente $R^2 = 0,74$; $0,94$; $0,83$ e $R^2 = 0,89$; $0,80$ e $0,59$); per l'N degli acidi umici una correlazione altamente significativa solo in M ($R^2 = 0,98$); per i polisaccaridi

TABELLA I - Equazioni che correlano i parametri chimici del suolo, temperatura e piovosità e coefficienti di determinazione (R^2).

Correlazione tra T°C minima e pioggia (mm)		Coefficiente di determinazione (R^2)	Correlazione tra T°C massima e pioggia (mm)		Coefficiente di determinazione (R^2)
<i>AZOTO</i>			<i>AZOTO</i>		
Bietola	$Y = 0.04587 + 0.0075 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.000033 \text{ mm}$	0.6127 **	$Y = 0.103 + 0.001 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.000037 \text{ mm}$		0.3324
Girasole	$Y = 0.06455 + 0.003837 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.000051 \text{ mm}$	0.5985 **	$Y = -0.0423 + 0.0061 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.000086 \text{ mm}$		0.9202 **
Monocoltura	$Y = 0.13122 - 0.00082 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.0000197 \text{ mm}$	0.2692	$Y = 0.0209 + 0.00414 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.000045 \text{ mm}$		0.7665 **
<i>SOSTANZA ORGANICA</i>			<i>SOSTANZA ORGANICA</i>		
Bietola	$Y = -2.87 + 0.473 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.00029 \text{ mm}$	0.8298 **	$Y = 2.631 - 0.0123 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.000071 \text{ mm}$		0.0064
Girasole	$Y = -2.71 + 0.439 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.00055 \text{ mm}$	0.8399 **	$Y = 1.784 + 0.0134 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.000498 \text{ mm}$		0.0474
Monocoltura	$Y = 4.215 - 0.120 \text{ T}^\circ\text{C} - 0.0011 \text{ mm}$	0.3914	$Y = 0.941 + 0.080 \text{ T}^\circ\text{C} - 0.000586 \text{ mm}$		0.4091
<i>E_i/E_o</i>			<i>E_i/E_o</i>		
Bietola	$Y = 0.0264 + 0.4822 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.00139 \text{ mm}$	0.7272 **	$Y = -1.751 + 0.2902 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.00295 \text{ mm}$		0.7412 **
Girasole	$Y = 3.2925 + 0.1589 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.0018 \text{ mm}$	0.9299 **	$Y = 2.6749 + 0.09695 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.002326 \text{ mm}$		0.9395 **
Monocoltura	$Y = -1.9028 + 0.750 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.00141 \text{ mm}$	0.2912	$Y = -12.867 + 0.7876 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.0058 \text{ mm}$		0.8270 **
<i>AZOTO degli ACIDI UMICI</i>			<i>AZOTO degli ACIDI UMICI</i>		
Bietola	$Y = 3.1798 - 0.08457 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.000798 \text{ mm}$	0.1199	$Y = 5.151 - 0.1189 \text{ T}^\circ\text{C} - 0.00012 \text{ mm}$		0.1995
Girasole	$Y = 3.7524 - 0.1084 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.00026 \text{ mm}$	0.0235	$Y = 9.670 - 0.2914 \text{ T}^\circ\text{C} - 0.00143 \text{ mm}$		0.3403
Monocoltura	$Y = 4.033 + 0.4378 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.032 \text{ mm}$	0.3004	$Y = -19.511 + 0.8317 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.00797 \text{ mm}$		0.9866 **
<i>POLISACCARIDI</i>			<i>POLISACCARIDI</i>		
Bietola	$Y = 285.658 + 10.8157 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.1291 \text{ mm}$	0.1110	$Y = -98.893 + 20.637 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.24777 \text{ mm}$		0.2204
Girasole	$Y = -652.148 + 88.441 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.321 \text{ mm}$	0.5650 *	$Y = -1488.19 + 74.129 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.7318 \text{ mm}$		0.8969 **
Monocoltura	$Y = 806.74 - 23.945 \text{ T}^\circ\text{C} - 0.18329 \text{ mm}$	0.5466 *	$Y = 54.240 + 20.051 \text{ T}^\circ\text{C} - 0.05728 \text{ mm}$		0.6703 **
<i>FENOLI</i>			<i>FENOLI</i>		
Bietola	$Y = -125.325 + 24.261 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.1357 \text{ mm}$	0.3747	$Y = -258.38 + 19.511 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.09544 \text{ mm}$		0.8929 **
Girasole	$Y = 147.498 - 6.0992 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.2393 \text{ mm}$	0.2894	$Y = -1087.94 + 47.899 \text{ T}^\circ\text{C} + 0.52438 \text{ mm}$		0.7987 **
Monocoltura	$Y = -48.866 + 29.7894 \text{ T}^\circ\text{C} - 0.2235 \text{ mm}$	0.4873 *	$Y = -341.96 + 25.439 \text{ T}^\circ\text{C} - 0.0823 \text{ mm}$		0.5953 **

una correlazione altamente significativa in G ed M ($R^2 = 0,90$ e $0,67$), mentre non appaiono correlazioni per la sostanza organica.

I risultati di questa prova dicono che quando si confrontano tre successioni colturali diverse, quali una monosuccessione di frumento duro (M) e due rotazioni triennali con rinnovo di bietola (B) o girasole (G) seguite da due annate di frumento duro, si hanno variazioni delle caratteristiche dei terreni dovute sia all'influenza dell'ordinamento colturale che alle condizioni climatiche.

Le successioni colturali B e G hanno influenzato diversamente i parametri della fertilità in studio, con una evoluzione positiva per l'N, forse i polisaccaridi ed i fenoli del suolo in entrambe le rotazioni ed un incremento soltanto dell'N degli acidi umici nella M.

L'incremento di N totale dipende probabilmente dal fatto che la decomposizione che avviene nel terreno riduce la quantità di S.O. totale ma porta ad un arricchimento in altri parametri, specialmente azoto (6).

Per quanto riguarda, invece, la sostanza organica che pure oscilla nel tempo, si ha sempre alla fine un equilibrio probabilmente perché la quantità di humus che si decompone annualmente è approssimativamente uguale alla quantità di quello che si riforma nell'anno (6).

Le condizioni climatiche influiscono su tutti i parametri considerati, anche se in modo diverso: sono correlati con la T°C minima e la piovosità l'N, la S.O., il rapporto E4/E6 per le due rotazioni B e G, i polisaccaridi per G ed M ed i fenoli per M (nessuna correlazione si manifesta per l'N degli acidi umici); sono correlati con la T°C massima e la piovosità, invece, l'N ed i polisaccaridi per G ed M, l'N degli acidi umici per M, i fenoli ed il rapporto E4/E6 per B, G ed M (nessuna correlazione si manifesta per la sostanza organica).

BIBLIOGRAFIA

- (1) BRINK R. H., DUBACH P., LYNCH D. L. - Measurement of carbohydrates in soil hydrolysates with anthrone. *Soil Sci.* 89: 157, 1960.
- (2) CHEN Y., SENESI N., SCHNITZER M. - Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 41: 352, 1977.
- (3) KONONOVA M. M. - Soil organic matter: its nature, its role in soil formation and in soil fertility. 2nd. Eng. Ed. Pergamon Press, Oxford, 1966.
- (4) MORITA H. - Total phenolic content in the pyrophosphates extracts of two peat soil profiles. *Can. J. Soil Sci.* 60: 291, 1980.
- (5) SEQUI P., GUIDI G. - Sostanza organica del terreno. *Italia Agricola* 3: 80, 1975.
- (6) THOMPSON L. M., TROEH F. R. - Soils and soil fertility. 3rd Ed. McGraw-Hill Book Company, 1973.

Retrogradazione del fosforo nel suolo

FACCO S. - FALESCHINI F.

Con lo scopo di valutare il grado di insolubilizzazione del fosforo apportato al suolo con i concimi minerali, si è definita una relazione matematico-empirica del fenomeno in funzione delle caratteristiche chimico-fisiche, normalmente determinate nei laboratori di analisi agronomiche dell'Agrimont (1).

Sono stati presi in considerazione 78 campioni di suoli a reazione alcalina, provenienti da differenti aree del territorio nazionale, con dotazione di P assimilabile (2) compresa fra 1 e 120 ppm. I campioni, suddivisi in 4 aliquote, sono stati trattati con quantità diverse di KH_2PO_4 (0, 11, 22, 33 ppm come P) e quindi si è estratto il P assimilabile. Su alcuni l'estrazione è stata effettuata a diversi intervalli di tempo (1, 4, 8, 16 e 32 giorni) per verificarne l'eventuale influenza sull'insolubilizzazione del P. I coefficienti angolari delle rette di correlazione tra P estratto (ppm) e P aggiunto (ppm) non hanno mostrato significative differenze (Tabella 1): infatti la variabilità di tali dati cade nel-

TABELLA 1 - Variabilità di m in funzione del tempo di incubazione.

camp.	Coefficiente angolare (m) rette Pestr/Pagg					Valore medio	Deviazione standard	CV (%)
	giorni							
	1	4	8	16	32			
A	0.34	0.30	0.33	0.27	0.27	0.30	0.03	11
B	0.23	0.27	0.20	0.28	0.24	0.25	0.03	13

l'intervallo di errore delle prove di ripetibilità (10-13%). Si è pertanto deciso di effettuare tutte le estrazioni dopo 24 h di contatto tra suolo e soluzioni fosforiche.

E' stata, quindi, eseguita una regressione multipla lineare utilizzando come variabili indipendenti i dati analitici dei 78 camponi (Tabella 2) e come variabile dipendente il coefficiente angolare (m) delle rispettive rette di corre-

TABELLA 2 - Caratteristiche analitiche dei suoli esaminati (n° campioni = 78).

Parametro analitico	Unità misura	Valore medio	Deviazione standard	CV (%)	Range		
					min	-	max
pH		7.87	0.26	3.3	7.1	-	8.8
Limo	(%)	19.8	7.6	38.4	4	-	33
Argilla	(%)	34.0	15.9	46.8	4	-	71
Carb. tot.	(%)	20.4	20.4	100.0	0.6	-	77
Calc. att.	(%)	3.53	3.14	89.0	0.4	-	17.8
Sost. org.	(%)	2.09	1.13	54,1	0.12	-	7.02
N totale	(%)	0.13	0.06	46.2	0.01	-	0.32
K scamb.	ppm	211	255	120.9	76	-	2120
Mg scamb.	ppm	356	229	64.3	84	-	1270
Ca scamb.	ppm	4543	2149	47.3	1050	-	11600
Fe ass.	ppm	24.0	13.1	54.5	2.9	-	81
Mn ass.	ppm	9.7	6.6	68.3	2	-	31.6
Zn ass.	ppm	3.1	10.6	339.0	0.2	-	90
Cu ass.	ppm	5.7	8.6	150.0	0.2	-	60
B ass.	ppm	0.33	0.3	92.6	0.09	-	2.35
CSC	(meq/100g)	26.2	11.8	44.9	4.8	-	59.5
m		0.36	0.11	30.5	0.19	-	0.69
GI%		64	19.6	30.5	31	-	81

Carbonato totale = Carbonati totali come CaCO₃

Calcare attivo = Calcare attivo come CaCO₃

lazione « P estratto/P aggiunto ». Il valore di « m », che può variare da 0 a 1, è direttamente proporzionale alla capacità del suolo a rendere disponibile il fosforo aggiunto (3, 4).

Il programma utilizzato ha selezionato le variabili più significative (P = 0.05) ed ha fornito la seguente relazione :

$$GI\% = 45.90 + 0.44 \cdot \% \text{ Limo} + 0.28 \cdot \% \text{ Argilla}$$

dove $GI\% = (1-m) \cdot 100$, % Limo è la frazione granulometrica compresa fra 0.02 e 0.002 mm di diametro e % Argilla è quella inferiore a 0.002 mm. Tale formula è valida nell'intervallo $10 \leq \% (\text{Limo} + \text{Argilla}) \leq 90$. I parametri della funzione di regressione sono riportati in Tabella 3.

TABELLA 3 - Parametri della funzione di regressione (n° campioni = 78).

Variabile	Errore standard	Costante	Coefficienti di correlazione multipla	Coefficiente di Fisher	Livello di probabilità calcolato (%)
m	0.091	0.541	0.57	17.68	99.99

Variabile	Coefficiente	Coefficiente dell'errore standard	« T » di Student calcolato	Livello di probabilità calcolato (%)
Limo	- 0.0044	0.0014	- 3.17	99.78
Argilla	- 0.0028	0.0007	- 4.26	99.99

La relazione ottenuta può essere utile per valutare la capacità di un suolo a fissare il fosforo aggiunto: per tale motivo può costituire un ulteriore dato informativo oltre a quelli già forniti dai bollettini di analisi dei terreni.

BIBLIOGRAFIA

- (1) UNICHIM - Analisi dei terreni agrari - Parte I - Metodi manuali. Manuale n. 145, 1985.
- (2) OLSEN S. R., COLE C. U., WATANABE F. S., DEAN L. A. - Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. of Agric. Circ. 939, 1954.
- (3) The Role of Phosphorus in Agriculture. - Proceedings of Symposium 1-3 June 1976. National Fertilizer Development Center, TVA, Muscle Shoals, Alabama, 1980.
- (4) Le phosphore dans les sols intertropicaux: appréciation des niveaux de carence et des besoins en phosphore. Institut Mondial du Phosphate - FAO, 1980.

Idrolisi dell'urea nel suolo

FRANZIN F. - PUOSI G. - ZAMBORLINI M.

Su alcuni suoli alcalini (Tabella 1) è stata rilevata l'attività ureasica a 37°C a diverse concentrazioni iniziali di azoto ureico (500 - 1000 - 2000 ppm)

TABELLA 1 - Caratteristiche chimiche e fisiche dei suoli.

Parametro analitico	Unità di misura	Campioni				
		1	2	3	4	5
pH	—	7.8	7.9	7.7	7.8	7.7
Sost. org.	(%)	2.1	2.2	3.4	1.4	2.5
N totale	(%)	1.0	1.1	1.5	0.7	1.5
Carb. tot.	(%)	45.7	23.1	44.5	58.1	25.2
Calc. att.	(%)	3.0	9.0	11.5	6.9	1.3
CEC	(meq/100g)	23.3	30.9	30.9	9.7	18.8
Scheletro	(%)	0.5	0.5	0.5	0.5	30.0
Sabbia	(%)	28.9	30.9	24.9	48.9	68.6
Limo	(%)	39.3	23.3	33.3	37.3	20.0
Argilla	(%)	31.8	45.8	41.8	13.8	11.4
Umidità a pF						
2.5	% secco	28.5	34.1	36.4	24.8	24.5
2.7	»	24.7	29.0	23.3	22.2	20.4
4.2	»	12.5	17.6	17.8	5.4	8.7

Lavoro eseguito con un contributo del C.N.R. nell'ambito del P.F. IPRA - Sottoprogetto 1

secondo il metodo convenzionale di Zantua e Bremner. Essa è risultata (Tabella 2) compresa tra 16,1 e 61,5 microgrammi di azoto ureico idrolizzati da 1 grammo di terreno in 1 ora ($\mu\text{g}/\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$).

Negli stessi suoli è stata valutata la velocità di idrolisi dell'urea in funzione della temperatura (0-25°C) e della concentrazione iniziale di azoto ureico (500 - 2000 ppm).

TABELLA 2 - Attività ureasica ($\mu\text{g}/\text{g}\cdot\text{h}$) a diverse concentrazioni di azoto ureico: valore medio a 37°C e deviazione standard.

Substrato	Concentrazione iniziale N-ureico (ppm)		
	500	1000	2000
Suolo 1	24.3 ± 1.7	25.5 ± 1.7	26.6 ± 5.4
Suolo 2	19.9 ± 1.3	20.6 ± 2.5	22.0 ± 7.1
Suolo 3	24.7 ± 2.1	26.4 ± 2.6	28.9 ± 6.5
Suolo 4	16.1 ± 1.6	18.0 ± 1.8	25.1 ± 7.9
Suolo 5	37.0 ± 3.7	42.1 ± 3.2	61.5 ± 5.8

I risultati hanno permesso di esprimere, per ogni suolo, le equazioni che spiegano il fenomeno (Tabella 3) e di rilevare che la velocità di idrolisi è apprezzabile anche a basse temperature. In particolare, 500 ppm di azoto

TABELLA 3 - Velocità d'idrolisi nei diversi suoli y_i ($\mu\text{g}/\text{g}\cdot\text{h}$) in funzione della temperatura t (°C) e della concentrazione c (ppm).

Substrato	$y_i = f(\text{temperatura, concentrazione})$	Variabilità spiegata (%)
Suolo 1	$y_1 = 4.3298 + 0.012978 t^2 + 0.00006479 t \cdot c$	97.2
Suolo 2	$y_2 = 3.3575 + 0.010547 t^2 + 0.00004552 t \cdot c$	94.4
Suolo 3	$y_3 = 6.7560 + 0.011336 t^2 + 0.00011336 t \cdot c$	94.1
Suolo 4	$y_4 = 2.5329 + 0.006003 t^2 + 0.00018948 t \cdot c$	95.9
Suolo 5	$y_5 = 8.0157 + 0.013727 t^2 + 0.00040828 t \cdot c$	96.0

ureico vengono idrolizzati a 0°C con velocità variabile tra 2,5 e $81\mu\text{m}/\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (Tabella 4).

TABELLA 4 - Velocità di idrolisi dell'urea in funzione della temperatura: valore minimo e massimo per i diversi terreni, alle concentrazioni di 500, 1000 e 2000 ppm di N-ureico iniziale.

Concentrazione iniziale N-ureico	500		1000		2000	
	µg N-ureico idrolizzati/ g suolo·h					
Temp.	min	max	min	max	min	max
0°C	2.5	8.0	2.5	8.0	2.5	8.0
5°C	3.2	9.4	3.6	10.4	4.1	12.4
10°C	4.1	11.4	4.9	13.5	5.3	17.5
15°C	5.3	14.2	6.4	17.2	7.1	23.3
25°C	8.6	21.7	11.0	26.8	12.2	37.0

Tale risultato permette di stimare che a 0°C sono necessari da 2,6 e 8,2 giorni per trasformare 125 kg/ha di azoto ureico distribuito uniformemente su uno strato di 2 cm.

Si ritiene quindi che sia ridotta la possibilità di dilavamento del fertilizzante in quanto i tempi di trasformazione della forma ureica, solubile, in quella ammoniacale, adsorbibile dai colloidali del suolo, sono sufficientemente brevi anche a basse temperature.

BIBLIOGRAFIA

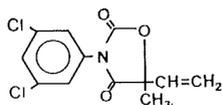
- (1) BREMNER J.M. and MULVANEY R.L. - Urease activity in Soils - Academic press - London, 149, 1978.
- (2) ZANTUA M.I., DUMENIL L.C. and BREMNER J.M. - Relationships between Soil Urease Activity and other Soil Properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 350, 1977.
- (3) ZANTUA M.I. and BREMNER J.M. - Stability of urease activity in soils Biochem 9: 135, 1977a.
- (4) ZANTUA M.I. and BREMNER J.M. - Factors affecting urease activity in soils. Soil Enzymes, 167, 1977b.
- (5) ZANTUA M.I. and BREMNER J.M. - Comparison of Method of assaying urease activity in Soils. Soil Biol. Biochem. 7: 291, 1975.
- (6) DOUGLAS L.A. and BREMNER J.M. - Extraction and colorimetric determination of urea in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 859, 1970.
- (7) VINOD KUMAR and WAJENET R.J. - Urease activity and kinetics of urea transformation in soils. Soil Science 137: 263, 1984.
- (8) UNICHIM - Analisi dei terreni agrari, Parte I - Metodi manuali, Manuale n. 145, 1985.

Degradazione dei pesticidi nel suolo. I - Il fungicida
 Vinclozolin in presenza di substrati solidi

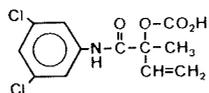
MOLINARI G.P. - DEL RE A.A.M.

Il Vinclozolin [3-(3',5'-diclorofenil)-5-etenil-5-metiloxazolidin-2,4-dione] è un fungicida ampiamente utilizzato in viticoltura e che può restare come residuo sulle uve. Diversi autori ne hanno studiato la velocità di degradazione su vegetali, suolo, solventi organici apolari in presenza di substrati solidi, etc. (1, 2, 3 4). In questa nota sono illustrati i risultati quali-quantitativi di una ricerca sulla degradazione del Vinclozolin in soluzioni idroalcoliche (etanoliche e metanoliche) acide e basiche, in presenza ed in assenza di substrati solidi (ossido di alluminio, bentonite, caolino, gel di silice e zeolite).

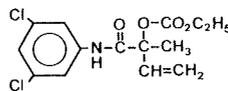
Quattro nuovi prodotti di degradazione sono stati separati e, dopo purificazione, caratterizzati mediante spettrometria 1-H e 13-C NMR.



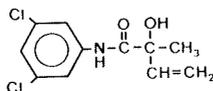
VINCLOZOLIN



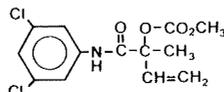
Degradato "A"



Degradato "C"



Degradato "B"



Degradato "M"

Le strutture ottenute mostrano che la degradazione avviene per apertura dell'anello oxazolidinico (degradato « A »: acido O-(N-(3',5'-diclorofenil)-2-metil-3-butenamid-2-il) carbonico) e successiva decarbossilazione (degradato « B »: N-(3',5'-diclorofenil)-2-idrossi-2-metil-3-butenamide) o esterificazione (degradato « C »: estere etilico dell'acido O-(N-(3',5'-diclorofenil)-2-metil-3-butenamid-2-il) carbonico e degradato « M »: estere metilico dell'acido O-(N-(3',5'-diclorofenil)-2-metil-3-butenamid-2-il) carbonico). La velocità di degradazione ed il tipo di prodotto formato dipendono sia dal substrato solido presente che dal contenuto in acqua della miscela di reazione. In sistemi anidri o a bassi contenuti di acqua (0,5-5%) la velocità di degradazione è bassa e sono alte le rese di conversione negli esteri « C » o « M ». Alti contenuti acquosi portano ad un aumento della velocità di degradazione con formazione predominante del degrato « B ». Fra i substrati la bentonite, nel mezzo di reazione idroalcolico, mostra la più alta velocità di scomparsa del Vinclozolin, mentre l'ossido di alluminio ed il coalino la più bassa.

B I B L I O G R A F I A

- (1) CLARK T. - The stability of Vinclozolin in the presence of ethanol, methanol and water. *Chemosphere*, 12 (9/10): 1363, 1983.
- (2) LOKKE H. - Investigation of loss Chlorthalonil, Dichlofluanid, Tolyfluanid and Vinclozolin by column chromatographic clean-up on silver-loaded alumina ni a gaschromatographic multiresidue procedure. *J. of Chromatog.*, 179: 259, 1979.
- (3) MOLINARI G. P., DEL RE A., FONTANA P. - Degradazione del Vinclozolin in sistemi modello. *Ann. Fac. Agr. (Piacenza) U.C.S.C.*, 18: 193, 1978.
- (4) SELVA A., GRIFFINI A., MARCHINI G., MOLINARI G. P., DEL RE A. - Spettri di massa dei prodotti di degradazione chimica del Vinclozolin. *Atti Simp. Chim. Antiparassitari Piacenza* 2: 98, 1981.

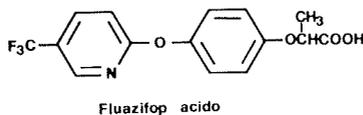
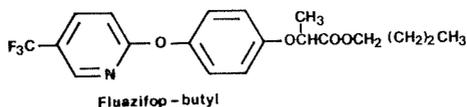
Degradazione dei pesticidi nel suolo. II - L'erbicida
 Fluazifop butyl in soluzione ed in presenza
 di substrati solidi

MOLINARI G.P. - FONTANA E. - RAGOZZA L.

Nelle normali condizioni di impiego il diserbante Fluazifop butyl [(RS)-2-[(5-trifluorometil-2-piridilossi)fenossi] propanoato di butile] può giungere a contatto del suolo durante la distribuzione o a seguito del dilavamento delle piante. Da studi precedenti fatti con prodotto marcato ^{14}C risulta che il Fluazifop butyl si degrada velocemente all'acido corrispondente Fluazifop [acido (RS)-2-[4-(5-trifluorometil-2-piridilossi)fenossi] propanoico] sia nei vegetali (1) che nel suolo (2).

In questa ricerca lo studio della cinetica di degradazione del Fluazifop butyl e del suo prodotto di degradazione Fluazifop è stato condotto in fase acquosa o idroalcolica, acida o basica, in presenza o meno di substrati solidi quali: ossido di alluminio, zeolite, caolino, gel di silice, terreno. Durante la ricerca sono stati fatti controlli analitici a 3 ore ed a 3, 11, 30, 49 giorni.

La determinazione del Fluazifop butyl e del Fluazifop è stata fatta mediante cromatografia liquida HPLC (3).



Dalle prove in acqua ed in miscela acqua-metanolo (1:1, v/v) è emerso che per il tempo indagato la diversa solubilità nei due mezzi di reazione del Fluazifop butyl e dell'acido che si forma, non influenza la stabilità del Fluazifop butyl.

In acido solforico al 10%, acquoso o idroalcolico, avviene una rapida degradazione per idrolisi con formazione dell'acido e di due prodotti di struttura attualmente non nota.

In NaOH al 10% in acqua ed in acqua-metanolo si osservano quantità, molto piccole e costanti nel tempo, di Fluazifop butyl e di Fluazifop acido, mentre compaiono due nuove sostanze di caratteristiche strutturali attualmente non determinate.

Nella prova con substrati solidi l'ossido di alluminio è risultato ininfluente sulla velocità di idrolisi ad acido.

La silice ed il caolino hanno mostrato attività idrolitica modesta (< del 15% del Fluazifop butyl in 11 giorni), mentre zeolite e terreno portano alla formazione di quantità crescenti nel tempo di Fluazifop acido (rispettivamente 10 e 20% in 3 giorni, 20 e 50% in 11 giorni, > 90% in 30 giorni).

BIBLIOGRAFIA

- (1) ATREYA N. C. - Strategies for the determination of residues of fluazifop butyl and its metabolites in plants. Poster communication in the fifth International Congress of Pesticides Chemistry (IUPAC). Kyoto, VIIc-13, 1982.
- (2) ARNOLD D. J., POOLE N. J., HAGA T. - Fluazifop butyl degradation in soil and effects on soil microorganisms. Poster communication in the fifth International Congress of Pesticides Chemistry (IUPAC). Kyoto, Vc-20, 1982.
- (3) MOLINARI G. P., FONTANA E., FONTANA P., DEL RE A. - Poster al 7° Intern. Symp. on Environ. Biogeochem. Roma, 1983.

Azione catalitica dei colloidali del suolo sull'idrolisi
del Fluazifop-butyl

PATUMI M. - VISCHETTI C. - BUSINELLI M.

Il Fluazifop-butyl, (RS)-2 [4-(5-trifluoro-methyl-2-pyridyloxy) phenoxy] propionate, è un erbicida che sta assumendo sempre maggiore importanza nel controllo delle graminacee infestanti. E' noto dalla letteratura (1) che nel terreno il Fluazifop-butyl è soggetto ad una rapida idrolisi tanto che nei terreni ben aereati ed umidi il suo periodo di mezza vita è inferiore ai tre giorni (2). Il suo prodotto di idrolisi, il Fluazifop, (RS)-2-[4-(5-trifluoro-methyl-2-pyridyloxy) phenoxy] propionic acid, viene ulteriormente degradato in altri prodotti non ancora noti.

Lo scopo della presente ricerca, che è tutt'ora in fase di esecuzione, è quello di verificare quali componenti del terreno favoriscano l'idrolisi del Fluazifop-butyl.

Alle scopo si sono impiantate prove di adsorbimento mettendo in contatto l'illite, che è l'argilla più rappresentata in molti terreni italiani, e gli acidi umici estratti da un terreno di medio impasto argilloso (Vertic Eutrochrept), con una soluzione acquosa contenente 0,64 ppm di Fluazifop-butyl. Le miscele sono state mantenute in agitazione al buio a 25°C per 21 giorni. A vari intervalli di tempo le miscele sono state centrifugate e si è proceduto alla determinazione della quantità di Fluazifop-butyl e Flazifop sia nella soluzione (estraente CH₂Cl₂ dopo acidificazione), sia nei colloidali (metanolo: HCl 1 N nel rapporto 9:1) mediante HPLC.

Dai risultati ottenuti si può rilevare che entrambi i colloidali mostrano una elevata capacità adsorbente per il Fluazifop-butyl ed una capacità adsorbente trascurabile per il Fluazifop che, man mano che si forma, si ripartisce quasi interamente nella soluzione acquosa. Dalla maggiore velocità di idrolisi rispet-

to a quella in acqua si può dedurre che entrambi i colloidi agiscono da catalizzatori.

L'illite soprattutto è particolarmente attiva nel favorire l'idrolisi dell'estere nel corrispondente acido.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ARNOLD D. J., POOLE N. J., HAGA T. - Abstracts of papers for the Fifth International Congress of Pesticide Chemistry. Kyoto, Japan, September Vc-20, 1982.
- (2) BEWICK D. W. - Stereochemistry of Fluazifop-butyl Transformation in Soil, Pestic. Sci. 17: 349, 1986.

Taratura di metodi analitici impiegati per la determinazione
del fosforo e del potassio nel terreno: primi risultati

CITELLI M. - COLOMBARI G. - DUGONI F. - GALASSI L. - MARINI G.
MAZZALI E. - VENERI E.

INTRODUZIONE

I metodi chimici impiegati per la determinazione del fosforo assimilabile e del potassio scambiabile cercano di simulare l'azione degli apparati radicali ma non sempre, e per molte ragioni, riescono nell'intento.

Diventa allora indispensabile, ai fini interpretativi del dato analitico, procedere a delle « tarature agronomiche ».

Per questo motivo nel 1983 è stato avviato un programma di ricerca pluriennale avente lo scopo di tarare i metodi analitici più impiegati per la determinazione del fosforo (Olsen) e del potassio (estrazione con acetato d'ammonio): la coltura presa in considerazione è stata il mais.

MATERIALI E METODI

Le prove sono state impostate su un suolo classificato, secondo la soil taxonomy, calcixerollic xerocept di famiglia fine-loamy.

Le sue caratteristiche fisico-chimiche si possono esaminare nella Tabella 1, che riporta i dati analitici.

Si tratta di un suolo profondo a tessitura tendenzialmente franca.

Il pH è subalcalino ed il contenuto in calcare totale elevato fin dalla superficie: esso aumenta fortemente in profondità.

Il calcare attivo tuttavia non presenta valori preoccupanti per le colture erbacee più coltivate in zona e la dotazione in sostanza organica è normale.

Anche il drenaggio è normale e si rileva la presenza di una falda estiva entro il suolo, in un secondo substrato più sabbioso.

In base alle analisi effettuate all'inizio del programma (1983) gli appezzamenti in cui sono state ubicate le prove sono risultati molto ricchi in fosforo, 60 ppm, e normalmente dotati di potassio e sostanza organica, rispettivamente 160 ppm di K₂O scambiabile e 1,6% di S.O..

TABELLA 1 - Caratteristiche chimiche e fisico-chimiche del suolo.

Profondità cm	Sabbia %	Limo %	Argilla %	pH	Calcare Totale %	S.O. %
0 - 50	40	38	22	7,9	11	1,8
50 - 60	38	40	22	7,9	11	1,2
60 - 75	32	44	24	8,1	29	1,0
75 - 100	32	54	14	8,2	39	0,3
100 - 130	62	28	10	8,3	32	0,1
130 - 150	48	42	10	8,3	31	0,1

Sono stati eseguiti due campi: uno per la prova del fosforo e l'altro per la prova del potassio.

Per ogni tesi è stato previsto l'impiego di due ibridi: Roberta (classe 500) e First (classe 600). Si è impiegato uno schema sperimentale a parcelle suddivise con 6 ripetizioni.

Nella parcella si trova la tesi in prova e nella sub-parcella l'ibrido.

L'impostazione sperimentale prevede sei trattamenti di concimazione: 0 - 50 - 100 - 150 - 200 - 250 kg/ha di P₂O₅ per la prova fosforo e 0 - 80 - 160 - 240 - 320 - 400 kg di K₂O per la prova potassio.

Si è eseguita la raccolta della pianta intera allo stato di maturazione cerosa.

In ogni parcella sono stati prelevati campioni di terreno prima e dopo la coltura.

Ogni campione è ottenuto da 4 sottocampioni prelevati in punti diversi fino alla profondità di 40 cm.

Sul campione di terreno è stato determinato il fosforo assimilabile, il potassio scambiabile e la sostanza organica.

Alla raccolta per ogni parcella è stata rilevata la produzione, la % di sostanza secca ed il contenuto di fosforo e potassio totale.

La prova è stata ripetuta per 4 anni sullo stesso terreno ed è prevista la continuazione.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Prova fosforo

Le rese, espresse in q/ha di sostanza secca, ottenute nei diversi anni come media dei due ibridi in prova per le diverse tesi non mostrano differenze apprezzabili e pertanto si può ritenere che i livelli di fosforo assimilabile del terreno siano tali da soddisfare i bisogni della pianta.

Non si sono riscontrate interazioni tra dosi di fosforo e genotipo.

Anche la percentuale di sostanza secca alla raccolta non è influenzata dai livelli di fosforo

Relativamente all'andamento delle dotazioni fosfatiche del terreno si possono fare le seguenti considerazioni:

- in ciascun anno di prova il contenuto di P_2O_5 assimilabile aumenta all'aumentare della quantità di elemento apportato;
- il testimone non concimato evidenzia una diminuzione della dotazione fosfatica pari a circa 6-7 ppm/anno;
- negli anni l'andamento della P_2O_5 assimilabile tende a diminuire non solo in corrispondenza delle tesi a bassa concimazione 0 - 50 - 100 - kg/ha di P_2O_5 ma anche in quelle con i maggiori apporti.

Quest'ultimo dato può forse essere spiegato considerando i possibili fenomeni di retrogradazione del fosforo ad opera del calcare attivo (presente in quantità normale nel terreno in studio); le annuali lavorazioni del terreno infatti migliorando il contatto fra il fosforo e le particelle terrose faciliterebbero i fenomeni di retrogradazione. Per quanto riguarda le asportazioni, le variazioni osservate sono minime e ciò dimostra ulteriormente che all'aumentare della concimazione fosfatica una volta raggiunta la soglia di sufficienza, il valore del fosforo nella pianta rimane costante.

Le asportazioni di elemento riportate in letteratura sono confermate.

Prova potassio

Dalle produzioni, espresse in q/ha di sostanza secca, ottenute nei diversi anni risulta che le parcelle testimoni hanno ottenuto sempre le produzioni inferiori, ma mentre negli anni '83 - '84 - '85 non si riscontravano visivamente delle differenze, nel 1986 queste erano particolarmente evidenti; infatti si poteva osservare uno sviluppo vegetativo più ridotto ed un ritardo di 3-4 giorni nella emissione dell'infiorescenza maschile. Nel 1986 inoltre si sono avuti comportamenti diversi fra i due ibridi (Tabella 2):

- in Roberta la massima resa si ottiene con 160 unità di potassio e dosi elevate sembrano provocare una depressione;

TABELLA 2 - Produzione in q/ha s.s. e percentuale di s.s. alla raccolta per ciascun genotipo (anno 1986).

K ₂ O kg/ha	Roberta		First		Medie	
	q/ha s.s.	% s.s.	q/ha s.s.	% s.s.	q/ha s.s.	% s.s.
0	220,7	49,2	170,0	51,6	195,3	50,4
80	222,2	41,3	213,8	48,7	218,0	45,0
160	243,6	39,9	227,5	47,0	235,5	43,3
240	233,8	38,7	219,4	44,4	226,6	41,5
320	237,6	38,9	233,5	43,4	235,5	41,1
400	228,5	35,4	240,0	45,2	234,2	40,3
Medie	231,0	40,5	217,3	46,7	224,2	43,6

- in First si riscontra una risposta crescente all'aumentare della concimazione potassica. La differenza di produzione è veramente consistente passando dal testimone (zero concimazione potassica) alla tesi con 80 unità;
- la percentuale di s.s. alla raccolta, decrescente all'aumentare della concimazione potassica, indicherebbe la capacità del potassio di mantenere più a lungo vitali gli organi della pianta. Gli andamenti di questo carattere in funzione delle dosi di K sono decrescenti in entrambi gli ibridi ma le differenze sono più vistose in Roberta (0 = 49,2%; 400 = 35,4% = 13,8 in Roberta, contro = 6,4 in First).

La spiegazione di quanto osservato potrebbe essere ricercata nel fatto che il potassio svolge un ruolo importante nei processi di traspirazione e che le tesi con nullo o ridotto apporto di potassio, non sono più in grado di sopperire alle necessità della pianta. La dotazione di potassio del terreno per le singole tesi e nei diversi anni è riportata in Tabella 3.

L'andamento del potassio scambiabile nel breve periodo (2-3 anni), sembra essere influenzato anche da fattori indipendenti dalla concimazione quali le variazioni climatiche, le precipitazioni etc.; questo fatto può spiegare perché, nel 1984, tutte le diverse tesi mostrino valori sensibilmente inferiori a quelli dell'anno precedente nonostante gli apporti di potassio ricevuti. Limitatamente a ciascuna annata invece, all'aumentare dei quantitativi distribuiti, la dotazione potassica cresce parallelamente. Le parcelle non concimate evidenziano

TABELLA 3 - Dotazione potassica media delle singole tesi nei diversi anni.

N.	K ₂ O kg/ha	K ₂ O scambiabili		p p m	
		1983	1984	1985	1986
1	0	158	146	140	132
2	80	155	149	156	140
3	160	175	161	152	156
4	240	176	166	167	158
5	320	191	179	197	185
6	400	221	191	204	191
	Media	180	165	170	160

mediamente un calo di 8-9 ppm/anno e, molto probabilmente, dati i risultati produttivi del 1986, le 140 ppm di K₂O scambiabile rappresentano un valore « soglia » al di sotto del quale nel suolo studiato le rese si riducono in modo significativo.

**Effetti dell'ammendamento con fanghi urbani di depurazione
sulle proprietà strutturali, chimiche e chimico-fisiche
degli acidi umici del terreno**

SENESI N. * - SPOSITO G. ** - MIANO T.M. *

INTRODUZIONE

Nel 1982 la produzione di fanghi e liquami urbani è stata valutata in oltre 5 milioni e mezzo di ton/anno di materiale secco nei Paesi della CEE e in 4 milioni e mezzo ton/anno negli U.S.A.. Le proiezioni per il successivo decennio (fino al 1992) lasciavano prevedere almeno un raddoppio di tali produzioni. La principale riutilizzazione di tali materiali, dopo opportuni trattamenti di depurazione, avviene nel settore agricolo, come ammendanti e concimi del terreno. Una delle maggiori preoccupazioni che desta tale uso è la elevata concentrazione di ioni metallici dei fanghi di depurazione, che spesso eccede di oltre due ordini di grandezza quelle comunemente riscontrate nei suoli.

Tra le varie forme metalliche presenti nei fanghi, particolare interesse rivestono quelle associate alla loro frazione umica (1, 2), considerate tra le più attive chimicamente e biologicamente. L'obiettivo principale di questa ricerca è stato pertanto di tentare una valutazione delle eventuali modificazioni provocate e/o provocabili dall'ammendamento con fanghi pretrattati sulle proprietà strutturali, chimiche e chimico-fisiche dell'acido umico del suolo.

MATERIALI E METODI

A questo scopo, sono stati presi in esame gli acidi umici (AU) isolati secondo la metodica proposta dall'I.H.S.S. da n. 13 campioni di terreno da parcelle coltivate annualmente a orzo dal 1976 al 1982, e ammendate sin dal 1976 con fanghi di depurazione anaerobica, alle dosi di 0 (controllo), 22,5, 45 e

90 t/ha/anno. I prelievi sono stati effettuati negli anni dal 1979 al 1982 e quindi a distanza di 4, 5, 6 e 7 anni dall'inizio delle prove di ammendamento.

I campioni di AU isolati sono stati analizzati: per la loro composizione elementare (C, H, N, S, O) e dei gruppi funzionali acidi (carbossile, ossidrilico fenolico e acidità totale); per i loro contenuti totali di rame, ferro, manganese e vanadio tramite spettroscopia di emissione I.C.A.P.; per le loro funzionalità organiche in spettroscopia all'infrarosso (IR); per la caratterizzazione dei radicali liberi e delle forme umo-metalliche tramite spettroscopia di risonanza elettronica di spin (ESR).

RISULTATI E CONCLUSIONI

L'esame comparativo dei dati presentati in Tabella 1 e degli spettri IR indica variazioni limitate nella composizione elementare e dei gruppi funzionali

TABELLA 1 - Caratteristiche analitiche dell'acido umico estratto dal terreno non ammendato (controllo) e intervalli delle stesse per gli acidi umici estratti dai terreni ammendati con le tre diverse dosi nell'arco dei 6 anni.

Grandezza misurata	Controllo	22,5 t/ha/anno	45 t/ha/anno	90 t/ha/anno
Carbonio, %	54,9	51,6 - 54,3	52,2 - 53,5	51,9 - 53,7
Idrogeno, %	5,5	5,2 - 5,4	5,4 - 5,6	5,4 - 5,6
Azoto, %	5,7	5,7 - 6,0	5,7 - 5,9	6,2 - 6,3
Ossigeno, %	33,3	33,5 - 36,5	34,3 - 35,0	32,8 - 34,8
Carbossile, (mcq/g)	2,3	2,1 - 2,4	2,3 - 2,5	2,1 - 2,3
OR fenolico, (mcq/g)	1,4	1,1 - 2,0	1,8 - 2,2	1,5 - 2,8
Acidità tot. (mcq/g)	3,7	3,8 - 4,6	4,1 - 4,7	3,8 - 5,0
Conc. radicali (spins/g.10 ¹⁶)	10,5	5,3 - 6,1	4,2 - 7,0	4,5 - 5,6
Ampiezza riga, (Gauss)	7,1	6,9 - 7,2	6,9 - 7,5	7,2 - 7,5
Fattore spetttr. (valore-g)	2,0047	2,0042 - 2,0043	2,0040 - 2,0043	2,0038 - 2,0040

acidi e l'assenza di modificazioni strutturali e funzionali di rilievo negli AU dei terreni ammendati con varie dosi di fanghi, rispetto all'AU isolato dallo stesso terreno non ammendato. L'unica variazione di rilievo è rappresentata dal quasi dimezzamento delle concentrazioni di radicali liberi umici in seguito

all'ammendamento, che fa presupporre un calo delle attività foto - e biochimiche ad essi comunemente imputate.

I dati in Tabella 2 indicano un aumento dei contenuti totali di ferro e soprattutto di rame e una diminuzione di manganese e vanadio negli AU dei terreni ammendati, rispetto all'AU di controllo. La progressione dell'accumulo

TABELLA 2 - Contenuti totali (in $\mu\text{g/g}$) di rame, ferro, manganese e vanadio nell'acido umico estratto dal terreno non ammendato (controllo) e negli acidi umici estratti dai terreni ammendati (intervalli minimo-massimo).

Acido umico Metallo	Controllo	22,5 t/ha/anno	45 t/ha/anno	90 t/ha/anno
Rame	2212	5036 - 6416	5195 - 7378	7355 - 8125
Rame *	23	53 - 93	85 - 197	159 - 293
Ferro	7293	8174 - 9423	9098 - 9783	8232 - 8975
Manganese	46	17 - 43	34 - 41	15 - 29
Vanadio	650	464 - 572	339 - 528	154 - 384

(*) Quantità totale di rame nei campioni di terreno ammendati (mg/kg).

del rame negli AU appare molto più moderata che non nei corrispondenti terreni, all'aumentare delle dosi di fango apportate. Nel caso di ferro si nota un incremento limitato già nell'AU corrispondente alle dosi più basse, che si mantiene poi sostanzialmente costante alle dosi più elevate. Ciò suggerisce pertanto un relativamente rapido raggiungimento di uno stato di quasi-saturazione in rame e ferro della frazione umica del suolo, con un parziale, crescente impoverimento in manganese e vanadio.

Gli spettri ESR (Figura 1) indicano l'esistenza di radicali liberi umici e complessi umo-rameici, umo-ferrici e umo-vanadile di differenti e ben definite caratteristiche geometriche e chimiche, simili in tutti gli AU esaminati (dal terreno non ammendato e dai terreni ammendati con dosi variabili di fanghi). L'analisi dei parametri ESR, oltre a consentire la caratterizzazione dei radicali liberi umici (risonanza A) (Tabella 1), permette di individuare: a) l'esistenza di tre forme di complessi « interni » umo-ferrici (risonanze B, B', B''), tra cui prevale la forma di ioni ferrici ad alto spin coordinato tetraedricamente e/o ottaedricamente a gruppi funzionali umici di varia natura in complessi a simmetria rombica (risonanza B); b) la presenza di complessi « interni » a simmetria assiale dello ione rameico legato a 3 legandi ossigenati ed 1 azotato dell'AU, in coordinazione quadrato-planare equatoriale in un ottaedro distorto; e infine c) la presenza di complessi « interni » a simmetria assiale dello ione vanadile

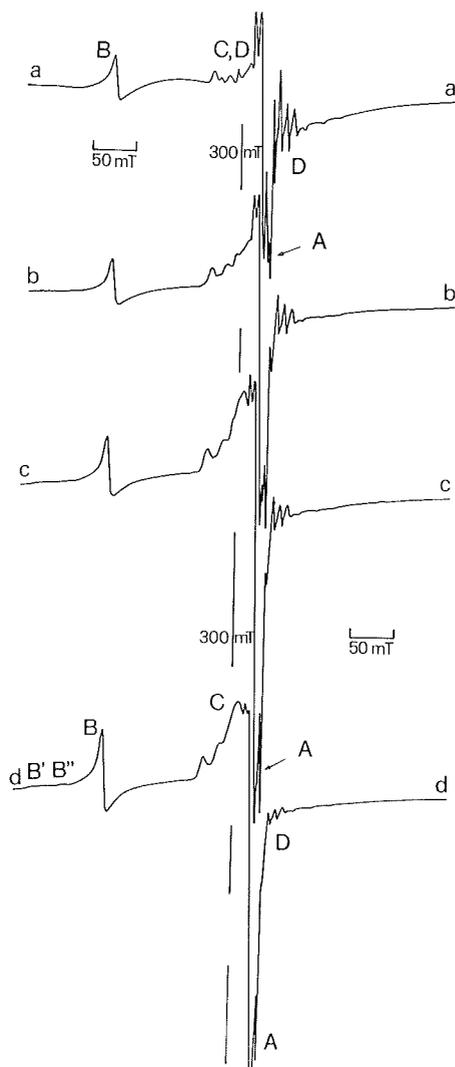


Figura 1 - Spettri ESR dell'acido umico di controllo da terreno non ammendato (a), e degli acidi umici ammendati per sei anni (prelievo 1982) con 22,5 (b), 45 (c) e 90 (d) t/ha/anno di fanghi.

con 4 legandi ossigenati costituiti probabilmente da gruppi carbossilici umici ed in parte da acqua, nel piano equatoriale (1-6).

Tutti gli AU esaminati sono poi caratterizzati da una elevata capacità di adsorbimento/ritenzione residua nei confronti degli ioni ferrico, rameico e manganeseo, con formazione di complessi umo-metallici con caratteristiche geometriche e chimiche simili a quelli originariamente presenti negli AU e già discussi, ma di diversa stabilità nei confronti dell'intenso dilavamento con acqua e dello scambio protonico con acidi forti.

BIBLIOGRAFIA

- 1) SENESI N., SPOSITO G. - Residual copper (II) complexes in purified soil and sewage sludge fulvic acids: Electron spin resonance study. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1247, 1984.
- 2) SENESI N., BOCIAN D. F., SPOSITO G. - Electron spin resonance investigation of copper (II) complexation by fulvic acid extracted from sewage sludge. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 119, 1985.
- 3) SENESI N., BOCIAN D. F., SPOSITO G. - Electron spin resonance investigation of copper (II) complexation by soil fulvic acid. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 114, 1985.
- 4) SENESI N., SPOSITO G., MARTIN J. P. - Copper (II) and iron (III) complexation by soil humic acids: An IR and ESR study. *Sci. Total Environ.* 55: 351, 1986.
- 5) SENESI N., SPOSITO G., MARTIN J. P. - Complexation of some transition metal ions in soil humic acids: An ESR study. *Proc. Int. Conf. Heavy Metals in the Environment*, 2: 478, 1985.
- 6) SENESI N., SPOSITO G., MARTIN J. P. - Copper (II) and iron (III) complexation by humic acid-like polymers (melanins) from soil fungi. *Sci. Total Environ.* 62: 241, 1987.

Osservazioni sul calcare attivo

PATRUNO A. e CAVAZZA L.

Che l'azione clorosante del calcare del terreno non sia funzione univoca del contenuto relativo di questo, è nozione antica di decenni. L'attenzione maggiore a questo problema è stata data dai chimici agrari francesi (5) in relazione ai problemi della viticoltura. In generale si suole considerare « calcare attivo » quella parte del calcare presente nel terreno in uno stato tale da permettergli di reagire chimicamente con prontezza sufficiente a determinare clorosi ferrica nelle piante sensibili. Per lo più lo si assimila alla frazione più fine del calcare (particelle di $\varnothing < 20 \mu\text{m}$ sec. Drouineau). Nel 1942 Drouineau propose un metodo, modificato poi da Gehu-Frank, fondato sulla reazione del calcare (attivo) con l'ossalato ammonico e la titolazione di questo con permanganato potassico in soluzione acida. Ulteriori ricerche francesi introdussero altre determinazioni al fine di valutare il potere clorosante dei terreni (6). La letteratura anglosassone ignora completamente la determinazione del calcare attivo (1); i « metodi normalizzati di analisi del suolo » della S.I.S.S. adottano il metodo Drouineau.

E' noto che il metodo Drouineau dà risultati che possono risultare alterati dalla presenza di abbondante materia organica, o di quantità importanti di ioni calcio e magnesio non derivanti dai carbonati; queste ultime interferenze sono generalmente ignorate. Molti certificati di analisi ottenuti, per esempio in Emilia-Romagna denunciano, tuttavia, l'assurdo apparente risultato di un contenuto « calcare attivo » maggiore del « calcare totale » e si ha motivo di ritenere che ciò debba essere pressoché normale nei terreni gessosi (*). Si ritiene perciò, utile riportare alcuni risultati ottenuti in un esperimento in cui si

(*) Si può calcolare che, assumendo come ordine di grandezza della solubilità del solfato di calcio quello in acqua pura, il metodo Drouineau ne permette l'estrazione, nei 250 ml della soluzione di ossalato ammonico, di una quantità pari almeno al 3,6% circa dei 10 g del terreno in esame, se questo contiene più del 5% del solfato di calcio.

cercava di studiare le possibilità di impiego agronomico del solfato ferroso del commercio.

In un suolo alluvionale (Entisuolo) medio-argilloso del comune di Ravenna col 25,1% di carbonati come calcare totale e l'11,25% di calcare attivo secondo il metodo Drouineau, si erano interrati, nei 5 cm superficiali del suolo, in parcelle distinte, (a) solfato ferroso eptaidrato (5 e 10 t/ha) insieme a solfato ammonico (125 kg/ha); (b) una soluzione acida, per acido solforico, di solfato ferrico (3,58t/ha) insieme alla stessa quantità di solfato ammonico ed equivalente, come ferro, alle 5 t/ha di solfato ferroso; (c) solfato ferrico + solfato ferrico ammonico, entrambi in soluzione acida (rispettivamente 1,79 t/ha e 4,32 t/ha, quantità calcolate in maniera da corrispondere, come ferro, alle 5 t/ha di solfato ferroso e, come azoto, a 125 kg/ha di solfato ammonico).

I risultati sulle proprietà fisiche del terreno sono riportati altrove (3). Nelle Figure 1 e 2 sono riportati i valori del calcare totale e del « calcare attivo »

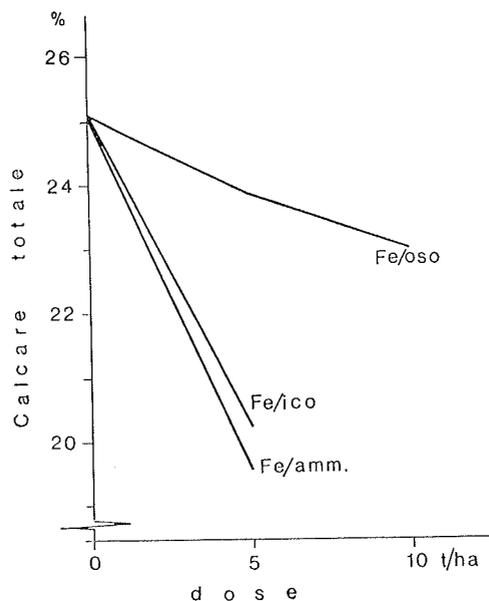


Figura 1 - Influenza del trattamento di un terreno calcareo con sali di ferro sul contenuto in calcare totale. Fe/oso = solfato ferroso eptaidrato; Fe/ico = solfato ferrico in soluzione acida (dosi espresse in quantità equivalenti a quelle del Fe/oso); Fe/amm. = solfato ferrico ammonico in soluzione acida (dosi come prima). Solfato ammonico aggiunto sino ad eguagliare gli apporti.

(metodo Drouineau) determinati su campioni prelevati in campo entro lo strato trattato, quando la coltura della bietola era alla 4^a foglia.

Dalla Figura 1 emerge evidente la diminuzione del calcare totale conseguente ai trattamenti applicati (componente lineare per il solfato ferroso, e

differenze tra correttivi, significative allo 0,01P). Un semplice calcolo stechiometrico mostra la compatibilità della diminuzione di calcare riscontrata in seguito alle applicazioni di solfato ferroso, coll'errore sperimentale calcolato mediante analisi della varianza dei dati. Per quanto riguarda gli altri due composti ferrici ci si deve attendere una diminuzione maggiore, ma quella osservata supera le previsioni, il che appare però giustificato dall'acido solforico del quale erano addizionate le soluzioni.

Ciò che apparentemente stupisce è che in Figura 2 il « calcare attivo », cioè proprio quella frazione a carico della quale il processo prima considerato sarebbe dovuto verificarsi, cresce invece di diminuire e ciò ancora di più

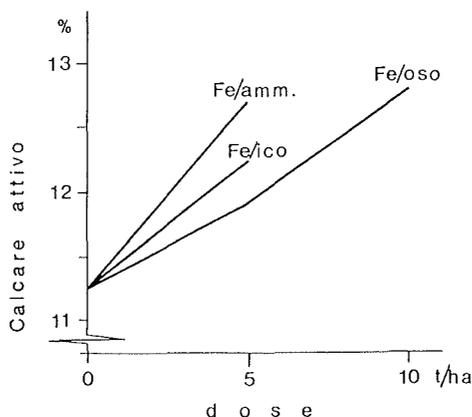


Figura 2 - Influenza dei trattamenti come in Figura 1 sul « calcare attivo » (metodo Drouineau).

quando si passa dal solfato ferroso ai composti ferrici; l'aumento di questo che chiameremo « calcare attivo apparente » è quasi doppio della quantità di calcare totale scomparso. Se si considera che il calcare attaccato da questi prodotti si trasforma in solfato di calcio e che, sotto questa forma, il calcio contribuisce a costituire il « calcare attivo apparente » determinato col metodo Drouineau, ci si può attendere che il calcare attivo così determinato resti pressoché inalterato dopo i trattamenti, ma non che cresca con questi.

Quest'ultima constatazione induce, p.es., a formulare l'ipotesi che i composti applicati abbiano agito localmente, a livello micro, attaccando calcare in uno stato che, col concetto corrente, non sarebbe considerato attivo, trasformandolo in solfato; ne conseguirebbe un aumento di solfato di calcio superiore alla diminuzione dell'iniziale « calcare attivo vero », in accordo coi risultati presentati nella Figura 2. Certo ne risulta molto discutibile l'adozione generalizzata del metodo Drouineau.

Che i processi svolgentisi nel terreno in seguito al trattamento con solfato ferroso siano molto complicati e lo siano tanto sotto l'aspetto chimico, quanto per le implicazioni di carattere fisico, è confermato dai dati della Figura 3, riferentisi ad un esperimento di laboratorio effettuato con lo stesso terreno considerato. Il solfato ferroso in forma cristallina era stato aggiunto (in bicchieri, mescolandolo a 100 g di terreno setacciato a 0,6 mm e portandolo all'umidità del 66,5% circa in p.s.) in dosi crescenti sino a valori superiori a quello (circa 72% d $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) sufficiente a reagire con tutto il carbonato di calcio del terreno stesso (circa 26%). Il pH del terreno è stato quindi misurato (in acqua con rapporti acqua/terreno secco di 1:2,5) a determinati intervalli di tempo.

Dalla figura 3 è evidente che, a relativamente piccole dosi di solfato ferroso (5% in peso), ma già maggiori delle più comuni seppure infrequenti applicazioni agronomiche, per esempio ai vigneti, il pH si abbassa bruscamente un poco (per esempio di 0,4 unità dopo circa 2 minuti dall'applicazione al ter-

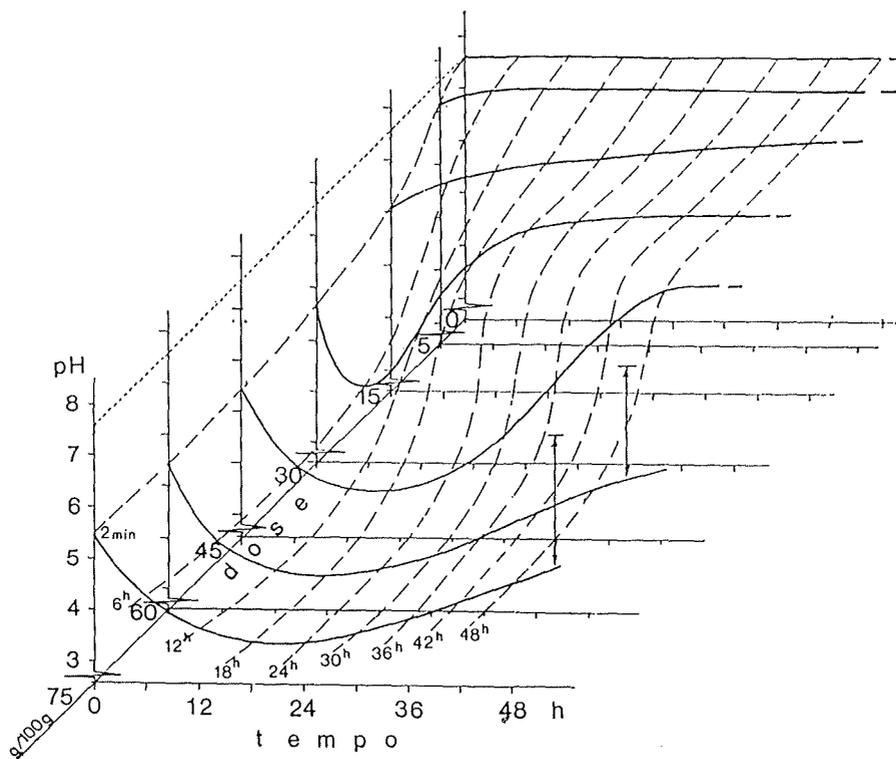


Figura 3 - Variazione nel tempo del pH a partire dal momento del trattamento di terreno calcareo con solfato ferroso eptaidrato, in dosi diverse. Prova di laboratorio.

reno (**) e poi gradualmente aumenta per tornare asintoticamente, ma in pratica in una decina di ore, al valore iniziale; è quanto ci si aspetta, almeno qualitativamente, in base alle note leggi che governano il processo di reazione col « calcare attivo ».

La velocità con cui il pH torna al valore iniziale, verosimilmente dipende, oltre che dall'umidità del terreno, dall'uniformità raggiunta nel rimescolamento del materiale terroso con i cristalli di solfato ferroso e dalle interferenze di carattere chimico di numerosi altri componenti del terreno, dalla temperatura, ecc., anche e grandemente dal grado di dispersione del calcare nel terreno e perciò dalla distribuzione di frequenza dei diametri dei suoi granuli.

Se però si aumenta la dose oltre il 15% (è in pratica quanto avviene localmente in certe applicazioni massicce di solfato ferroso in floricoltura, p.es. su garofani in terreni calcarei o in sacche di solfato ferroso mal rimescolato al terreno nelle applicazioni di pieno campo, p.es. con la distribuzione in solco), si nota sorprendentemente che il pH, dopo il primo brusco abbassamento iniziale, continua gradualmente a decrescere per un tempo tanto più lungo quanto più grande è la dose (sino a circa 22 ore con la dose di ben 75 g di solfato ferroso per 100 g di terreno; v. Figura 4), per poi riprendere a

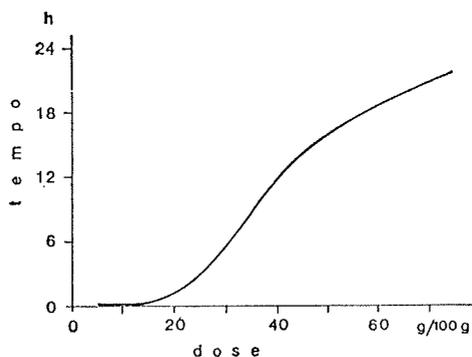


Figura 4 - Tempo dopo il trattamento, al quale il pH raggiunge il valore minimo nell'esperimento di cui alla Figura 3.

crescere gradualmente e tendere ad un valore che, per le dosi di solfato ferroso inferiori ai 60 g/g 100 di terreno, valore non molto inferiore alla dose calcolata di neutralizzazione, è quello del pH del terreno non trattato. Il pH non mostra di tendere sicuramente al valore iniziale, o perlomeno vi tende

(**) Si noti che si tratta del pH misurato dopo aver aggiunto l'acqua per estrarne la soluzione; non è quindi necessariamente quello della soluzione del terreno preesistente alla misura.

molto lentamente, per trattamenti con dose più elevata; (dopo 48 h il pH è ancora di 2,2 o di 2,6 unità inferiore al valore iniziale). Orbene, mentre è di intuibile comprensione la risalita del pH, non altrettanto lo è l'iniziale graduale abbassamento. Interpretazione plausibile sembra quella che al brusco abbassamento del pH dovuto all'immissione nel terreno di dosi elevate di solfato ferroso, segua un periodo di graduale ossidazione dello ione ferroso a ferrico, i cui sali, per idrolisi, danno un pH più basso dei corrispondenti sali ferrosi. Le curve della Figura 3 risentirebbero, perciò, prevalentemente di due processi distinti: (a) uno di neutralizzazione da parte del calcare, che avrebbe velocità decrescente non solo e non tanto per le leggi della cinetica delle reazioni chimiche, quanto per il diametro via via più grande delle particelle calcaree alla cui superficie avviene la reazione (questa variazione della velocità di reazione dipenderebbe molto dalla distribuzione di frequenza di granuli di calcare caratteristici di quel dato terreno); e (b) un processo di ossidazione dello ione ferroso, verosimilmente dipendente molto dalla velocità di afflusso dell'ossigeno attraverso i pori del terreno e perciò pure dipendente, in senso opposto al processo precedente, dall'umidità del terreno.

La complessità dell'insieme di questi e delle tante altre trasformazioni chimiche coinvolte in trattamenti di questo genere impedisce per ora di confermare quantitativamente e su base teorica le ipotesi ora avanzate. Ne risulta tuttavia evidente la possibilità che per un certo numero di ore il terreno trattato con composti ferrosi possa andare incontro a temporanei eccessivi abbassamenti di pH e processi correlati che, se sono presenti piante in coltura, possono determinarvi importanti stress fisiologici.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ALLISON L. E. e MOODIE C. B. - Carbonate. In: BLACK C. A., 1965 - Methods of soil analysis. Part 2, 1379-1396. Am. Soc. Agr., Inc. Pub., Madison Wisc., USA, 1965.
- (2) BROWN J. C. - Iron chlorosis in plants. Adv. in Agron., 13: 329 Acad. Press, New York, 1961.
- (3) CAVAZZA L., PATRUNO A. - Influenza di trattamenti correttivi della struttura e della concimazione fosfatica sulla conducibilità idrica in terreno saturo: In: Dinamica dell'acqua nel terreno e bilancio idrologico nei bacini agroforestali, Regione Veneto. Padova, 47: 1987.
- (4) DROUINEAU G. - Dosage rapide du calcaire actif des sols. Ann. Agron., 12: 441, 1942.
- (5) HOUDAILLE F. e SEMICHON L. - Etude de l'état physique du calcaire considéré comme cause déterminante de la chlorose. Ann. Ecole Nat. Agr. Montpellier, 8: 243, 1894. Cit. da Juste et al.
- (6) JUSTE C. e POUGET R. - Appréciation du pouvoir chlorosant des sols par un nouvel indice faisant intervenir le calcaire actif et le fer facilement extractible. Application au choix des porte-greffes de la vigne. C.R. Acad. Agric. France, 58: 352, 1972.
- (7) SOCIETÀ ITALIANA DI SCIENZE DEL SUOLO - Metodi normalizzati di analisi del suolo, 1985. pag. 29, Edagricole, Bologna.

Carta pedologica e fertilità dei suoli:
un esempio nella pianura bresciana

GROSSI G. - RASIO R. - SCALONE N. - ZANONI R.

Il rilevamento pedologico condotto in un'area della pianura bresciana a forte vocazione agricola, ma molto carente riguardo alle conoscenze qualitative e quantitative delle risorse territoriali, ha consentito di acquisire un notevole volume di dati e di informazioni, organizzate e sintetizzate da una carta dei suoli.

Il documento cartografico prodotto, di cui si riporta un esempio ristretto ad un'area campione, è frutto di un lavoro di semi-dettaglio, redatto in scala 1:25000, al fine di produrre una cartografia dei suoli lombardi in scala 1:50000.

Con questo si vuole porre l'accento sul fatto che le interpretazioni, pur necessarie, che si vanno ad impostare sulla carta pedologica prodotta, poggiano su una base conoscitiva di intensità funzionale agli obiettivi cartografici della scala di semi-dettaglio.

La necessità di correlare gli studi pedologici con i parametri agronomici più strettamente concorrenti a determinare la fertilità dei suoli, sta alla base della classificazione detta « FCC » (Fertility Capability Classification) (3, 4). Tale metodologia, anche di recente (5), è stata definita come un « tentativo per quantificare limitazioni pedologiche non necessariamente riflesse dalle proprietà selezionate per definire classi di uno schema tassonomico ».

Il metodo utilizzato in tale lavoro segue le indicazioni fornite da studi simili realizzati in questi anni nel nostro paese (1, 2). I parametri utilizzati, e riportati in legenda, si limitano a quelli desumibili dalle analisi effettuate per la realizzazione della carta pedologica della Lombardia, e sono del resto in armonia con un lavoro alla media scala. Si è tentato, inoltre, di organizzare le informazioni in una legenda sperimentale ed in una cartografia « derivata », onde mostrare la distribuzione territoriale dei parametri considerati. Fra questi, il tipo tessiturale (colore) e la percentuale in ghiaia (simbolo), hanno costituito l'ossatura di riferimento delle unità cartografate, rimandando alla

legenda per una più precisa comprensione degli altri fattori limitanti considerati. Come si può notare, la maggior parte dei suoli rilevati presenta un tipo tessiturale franco e reazione basica, ma si differenziano per caratteri di idromorfia, contenuto in potassio scambiabile e tenore in sostanza organica. Alcuni suoli del tipo tessiturale franco in superficie presentano uno strato argilloso sottostante (orizzonte argillico di famiglie fini dei Calcic Haploxeralfs), sono basici, hanno basse riserve di potassio e di sostanza organica. Infine, alcuni suoli ben caratterizzati dal punto di vista pedologico (Typic Xeropsammets) presentano una tessitura sabbiosa, sono basici, hanno una bassa capacità di scambio.

Da un primo esame del risultato del lavoro e della metodologia adottata, si può affermare che per gli scopi di una cartografia di semi-dettaglio, la fase di acquisizione dei dati in campagna ed in laboratorio è adeguata alla possibilità di utilizzare tali informazioni per produrre strumenti applicativi al problema della fertilità dei suoli. Cionondimeno, l'elaborazione cartografica e la sua utilità a fini agronomici, possono essere senz'altro migliorate ampliando le classi di suddivisione dei singoli parametri considerati, nonché aggiungendo altre caratteristiche che, pur a questa scala, possono essere rilevate.

E' auspicabile, pertanto, che tali studi vengano estesi a vasti territori, onde verificare l'attendibilità delle classificazioni proposte e la loro rispondenza ad un effettivo miglioramento dell'approccio agronomico alla gestione dei suoli.

Allo stesso tempo è importante procedere ad una valutazione secondo la FCC per indagini alla grande e piccola scala cartografica, onde dosare al meglio gli sforzi in funzione degli scopi operativi che, ai diversi livelli di intervento, si verranno via via proponendo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ARDUINO E. - Una classificazione dei suoli basata sulle caratteristiche chimico-fisiche dello strato superficiale: il Fertility Capability Soil Classification System (FCC), Atti Convegno S.I.S.S., Palermo 12-15 ottobre, 1982.
- (2) ARDUINO E., *et al.* - Creazione di un sistema integrativo di programmi per la classificazione dei suoli secondo la fertilità dello strato superficiale. Istituto di Chimica Agraria, Torino, 1984.
- (3) BUOL S. W. - Fertility capability classification system, Agronomic-Economic Research on Tropical Soils, Annual Report, 1972.
- (4) BUOL S. W. - Fertility capability classification: a technical soil classification system for fertility management, Soil Management in Tropical America, E. Bornemisza and A. Alvarado (Editors), 1975.
- (5) DUDAL R. - The role of pedology in meeting the increasing demands on soils, XIII Congresso I.S.S.S., Hamburg, 1986.

SESSIONE SECONDA

**Aging in wheat seeds: biochemical changes associated
with loss of vigour and viability**

PETRUZZELLI L. - COLAPRICO G.

The maximum germination potential is realized when seeds reach physiological maturity. From that time until planting only deterioration of seed quality occurs. The gross physiological symptoms of this phenomenon are delayed germination, reduced growth of seedlings, increased sensitivity to environmental stress. Such seed characteristics, which are generally grouped under the term of « seed vigour » (5), are the consequence of different biochemical events, i.e. decline in respiratory and enzymatic activity, damages on macromolecular syntheses and membranes.

Both physiological and biochemical changes are currently object of extensive work with the aim to devise laboratory means for a reliable evaluation of seed quality (1, 2, 7).

However, essential to this goal is a better understanding of the fundamental processes occurring during germination with particular regard to their role in determining the loss of potential performance and, ultimately seed death. On this regard, much of the literature is concerned with structural or biochemical changes occurred in embryonic cells while non-embryonic tissue deterioration and its possible relationship to differences in seed vigour and viability has received little attention.

In the present paper we describe the physiological condition of both embryonic and non-embryonic tissues in wheat seeds (*T. durum* L., cv. Appulo) at different viability levels (v): (A) 96 ± 3 per cent v; (B) 93 ± 2 per cent v; (C) 72 ± 2 per cent v.

The level of amino acids was determined on the acid (10%-HClO₄) - soluble fraction of the tissue by a ninhydrin method. For measuring protein synthesis activity, (³H) leucine incorporation was determined as already described (6). To analyse protein storage changes, endosperm protein was extracted and fractionated by one-dimensional SDS-polyacrilamide gel electrophoresis according to the method of Laemli (1970) as modified by Payne (1980).

The results show that seed lot A, exhibiting the best germination behaviour, possesses the most efficient embryos as evidenced by germination test and (^3H) leucine incorporation experiments. On the other hand, embryos isolated from B and C seed lots show a similar reduction in germinability and protein synthesizing capability. When considering non-embryonic tissues, amino acid levels in endosperms and embryos as well as electrophoresis patterns of stored protein during germination suggest that in seed lot A there is rapid breakdown of protein reserves accompanied by an elevated rate of amino acid translocation to the growing embryo. However, in seed lot B and, even more, in the C one there is a decreased efficiency in protein mobilisation and amino acid supply to embryo.

It may be suggested that different seed parts can deteriorate at different rate and both embryonic and non-embryonic tissues are likely important in the evaluation of seed quality.

REFERENCES

- (1) BLOWERS L. E., STORMONTH D. A., BRAY C. M. - Nucleic acid and protein synthesis and loss of vigour in germinating wheat embryos. *Planta*, 150: 19, 1980.
- (2) ELLIS R. H., ROBERTS E. H. - The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Sci. Technol.* 9: 373, 1981.
- (3) LAEMLI V. K. - Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage. *T. Nature* 227: 680, 1970.
- (4) PAYNE P. I., LAW C. N., MUDD E. E. - Control by homeologous group 1 chromosomes of the high — molecular — weight subunits of glutenin, a major protein of wheat endosperm. *Theor. Appl. Gen.* 58: 113, 1980.
- (5) PERRY D. A. - Report of The Vigour Test Committee. *Seed Sci. Technol.* 6: 159, 1978.
- (6) PETRUZZELLI L. - Wheat viability at high moisture content under hermetic and aerobic storage conditions. *Ann. Bot.*, 58: 259, 1986.
- (7) STYER R. C., CANTLIFFE D. J., HALL C. B.: The relationship of ATP concentration to germination and seedling vigor of vegetable seeds stored under various conditions. *J. Am. Hort. Sci.* 105: 298, 1980.

Soil phosphorus fractions and their availability to plants

A. HAMDY

INTRODUCTION

Available phosphorus determined by chemical extraction procedures includes all the forms of phosphorus, but predominantly those associated with iron, aluminium and calcium. The relative amounts of these fractions brought into solution during extraction will depend partly upon the quantity of phosphorus present in the soil and partly upon the solubilities of the P-fraction in the various solvents.

Soil phosphorus may be broadly classified into organic and inorganic forms. The inorganic forms are usually more related to plant availability. The inorganic forms of phosphorus may be grouped under the following chemical forms: aluminium phosphate, iron phosphate, calcium phosphate and iron and aluminium occluded phosphate (9).

In common, most of the soil P-tests in use today for measuring phosphorus available to plants were developed empirically rather than from an estimation of the inorganic P-fractions which are related to availability. Since the total amounts and the different inorganic P-fractions can be estimated separately, it is reasonable to believe that their relationship to P-availability may be used as a basic criterion for P-soil test development.

Therefore, this part of the investigation was undertaken with the objectives of finding out the relative preference of extraction for the various inorganic P-fractions by commonly used soil P-test methods besides finding out which of the the inorganic P-fractions contributes dominantly to the P-uptake by plants.

MATERIALS AND METHODS

Thirty-one soil samples were collected from different locations in the Apulia region in Southern Italy. Some physical and chemical characteristics of the investigated soils are given in Table 1.

Inorganic P in the 31 soil samples was fractionated to the different P-fractions following the method proposed by Chang and Jackson (2) as modified by Peterson and Corey (14). Phosphorus extracted by different chemical

TABLE 1 - Some physical and chemical properties of the investigated soils.

Soil No.	Soil texture	pH	Organic Matter %	CaCO ₃	Mechanical separates			
					Coarse Sand %	Fine Sand %	Silt %	Clay %
1	sandy clay	6.93	2.07	5.5	13.3	33.7	13.0	40.0
2	clay	8.10	2.50	20.5	2.8	35.2	10.0	52.0
3	sandy clay	7.50	2.44	5.0	6.9	41.1	6.0	46.0
4	clay	6.40	2.18	3.5	2.3	33.7	12.0	52.0
5	sandy clay loam	8.05	1.95	30.0	14.4	39.6	12.0	34.0
6	clay	0.00	1.89	11.5	6.7	29.3	12.0	52.0
7	clay	7.90	2.53	28.0	2.6	21.4	4.0	72.0
8	sand	8.08	1.45	27.0	79.8	12.2	0.0	8.0
9	clay	8.15	1.28	25.0	10.5	17.5	24.0	48.0
10	sandy clay	8.40	2.03	32.5	25.8	26.2	8.0	40.0
11	sandy clay	8.20	2.10	39.0	20.4	27.6	10.0	42.0
12	clay	7.68	2.04	15.0	4.2	29.8	9.0	57.0
13	clay	7.75	2.47	6.5	3.2	27.8	15.0	54.0
14	sandy clay	7.83	1.88	37.5	21.0	29.0	8.0	42.0
15	sandy clay	8.00	3.00	9.5	17.6	30.4	14.0	38.0
16	clay	8.32	1.79	41.0	2.7	25.3	24.0	48.0
17	sandy clay loam	7.90	2.40	9.0	21.8	40.2	6.0	32.0
18	clay	8.03	2.15	4.5	5.6	28.4	4.0	62.0
19	clay loam	8.10	2.08	15.5	11.3	32.7	22.0	34.0
20	sandy clay	7.35	2.20	5.5	4.3	41.7	10.0	44.0
21	sandy clay	6.78	3.34	7.0	14.9	29.1	12.0	44.0
22	sandy clay loam	7.85	1.10	19.0	21.2	44.8	12.0	22.0
23	sandy clay loam	8.35	1.48	13.0	26.8	37.2	10.0	26.0
24	sandy loam	7.63	2.69	6.0	60.8	17.2	2.0	20.0
25	sandy loam	6.65	1.42	3.5	56.2	21.8	4.0	18.0
26	sandy clay loam	8.03	2.22	4.5	29.8	36.2	8.0	26.0
27	sandy clay loam	7.70	2.43	42.0	25.2	42.8	4.0	28.0
28	sandy clay loam	7.70	2.51	36.5	25.0	35.0	6.0	34.0
29	sandy clay	7.75	2.46	50.0	29.0	21.0	14.0	36.0
30	sandy clay	7.70	2.55	40.0	21.8	26.2	14.0	38.0
31	clay	7.58	2.65	27.5	15.9	30.1	4.0	50.0

extractants and different inorganic P- fractions were determined by the molybdate-blue method of Dickman and Bray (3).

The soils under study were used in a greenhouse (pot) experiment with the wheat variety Creso 2/R as the test crop. The P-concentration in the wheat and P-uptake by the wheat were determined for simple correlation studies with the different inorganic P-fractions.

The concentration of the inorganic P-fractions and their percentages relative to the total phosphorus in soil are tabulated in Table 2.

The data presented indicate that the total phosphorus concentration in the investigated 31 soil samples ranged from 253.8 to 1228.6 ppm - with an average value of 656.5 ppm. The total quantity of phosphorus found in the investigated soils is relatively small. Lipman and Conybeare (11) found an average of 0.06% in the top 15 cm of cropped soils throughout the United States. Also Metson (12) stated that the total phosphorus found in soils rarely exceeds 0.2%. The data obtained in the study indicate that the soils are normal in their total phosphorus concentration, since they were of an average value of 0.06% and never exceeded 0.2%.

From the point of view of plant nutrition the soil content of total phosphorus is of minute importance and is of no use in determining the available phosphorus except that a very low total phosphorus content of a soil is an indication of a probable phosphorus deficiency.

Considering the different P-inorganic fractions, Table 2, it is clear that the majority of the total phosphorus exists as occluded iron and aluminium phosphate. This fraction accounted for 60% of the total phosphorus in the soil. The calcium phosphate fraction in the soil corresponds to about 24% of the total phosphorus, and the iron phosphate fraction and aluminium phosphate fraction were equivalent to 9 and 5% of the total phosphorus in the soil.

As shown by Table 2, the concentration of the different inorganic P-fractions could be arranged in the ascending order as follows: aluminium phosphate > iron phosphate > calcium phosphate > occluded iron and aluminium phosphates with the ratio 1 : 1.7 : 4.6 : 19.5.

To find out which of the inorganic P-fractions plays a major role in the P-uptake by the wheat plants, simple correlation analysis was carried out between the values representing both the P-concentration in the wheat plants and the P-uptake by the wheat and value for each of four inorganic P-fractions.

The correlation coefficients and the regression equations of P-uptake by the wheat and the inorganic P-fraction concentrations are shown in Table 3.

Statistical analysis data show that there exists a high degree of correlation of r - value 0.7398, between the P-uptake by wheat and Al-P in inorganic fraction concentration. The r - value obtained is of high positive significance, i.e. at 1% level of probability.

On the other hand, such a degree of correlation was not obtained with the other three organic P-fractions when correlated with the P-uptake by the

TABLE 2 - Inorganic P-fractions concentrations (ppm) and their percentages relative to the total soil P.

No.	Total P	Inorganic P-fractions							
		Al - P		Fe - P		Ca - P		Fe and ppm	Al - P %
		ppm	%	ppm	%	ppm	%		
1	1200.0	135.0	11.25	32.8	7.73	314.0	26.17	658.2	54.85
2	822.8	28.5	3.46	39.3	4.78	228.0	27.71	527.0	64.05
3	737.2	35.7	4.84	50.0	6.78	192.8	26.15	458.7	62.22
4	297.2	21.4	7.20	78.6	26.45	57.1	19.21	140.1	47.14
5	708.4	10.7	1.51	28.6	4.04	192.8	27.22	476.3	67.24
6	1137.2	10.0	0.88	50.0	40.40	307.0	27.00	770.0	59.81
7	925.8	7.1	0.77	57.1	6.17	228.5	24.68	292.7	6838
8	780.0	7.1	0.91	60.7	7.78	271.4	34.79	440.8	56.51
9	414.2	7.1	1.71	46.4	11.20	100.0	24.14	260.7	62.94
10	471.4	7.1	1.51	53.6	11.37	114.0	24.23	296.5	62.90
11	468.6	7.1	1.52	50.0	10.67	100.0	21.34	311.5	66.47
12	560.0	39.2	7.00	39.3	7.02	114.2	20.09	367.3	65.59
13	694.2	85.7	12.35	78.6	11.32	85.7	12.35	444.2	63.99
14	428.6	14.3	3.34	28.6	6.67	100.0	23.33	285.7	66.66
15	1228.6	39.3	3.20	157.1	12.79	371.4	30.23	660.8	50.70
16	484.6	7.1	1.47	50.0	10.32	135.7	28.00	291.8	60.21
17	771.4	7.1	0.92	35.7	4.63	142.8	18.51	585.8	75.94
18	868.6	64.2	7.39	92.9	10.70	78.6	9.05	632.9	72.86
19	232.2	14.3	6.16	57.1	24.59	67.8	29.20	93.0	40.05
20	768.6	114.0	14.83	46.4	6.04	85.7	11.15	522.5	67.98
21	360.0	28.6	7.94	57.1	15.86	85.7	23.81	188.6	52.39
22	397.2	14.2	3.58	57.1	14.38	107.1	26.96	218.8	55.09
23	300.0	14.2	4.73	67.9	22.63	100.0	33.33	117.9	39.30
24	671.4	107.0	15.94	60.7	9.04	171.4	25.23	332.3	49.49
25	253.3	16.4	7.36	64.3	25.33	56.7	22.34	116.4	45.87
26	702.8	114.2	16.25	100.0	14.23	128.6	18.30	360.0	51.22
27	808.6	21.4	2.65	50.0	6.18	171.4	21.2	565.8	69.97
28	880.8	25.0	2.84	46.4	5.27	178.6	20.30	630.0	71.59
29	822.8	14.2	1.73	32.1	3.90	171.4	20.83	605.1	73.54
30	785.8	17.8	2.27	57.1	7.27	207.1	26.36	503.8	64.11
31	380.0	16.1	4.24	32.1	8.45	142.9	37.61	188.9	49.72
Average	656.5	33.65	5.12	56.67	8.64	155.1	23.6	398.17	60.06

TABLE 3 - Regression equation and correlation coefficients of P-uptake by wheat and concentration of inorganic P-fractions.

Inorganic P-fraction	Regression equation	Correlation coefficient (r)
Al-P	$Y = 13.34 + 2.56X$	0.7398 **
Fe-P	$Y = 47.52 + 0.60X$	0.2505 n.s.
Ca-P	$Y = 176.99 - 1.19X$	-0.1590 n.s.
Oc-Al+Fe-P	$Y = 315.71 + 4.48X$	0.2552 n.s.

(**) Significant at 0.01 level of probability.

plants. This clearly shows that the aluminium P-fraction (Al-P) is the only fraction among the inorganic P-fractions in the soil which contributes dominantly to the P-uptake by plants.

Such results obtained are in complete agreement with that reported by Grigg (4, 5), who found that Al-P was the most important P-source for grasses and on wetter, more highly weathered soil Fe-P became a more important source. Also, this finding in the study agrees with that of Smith (15) who concluded that Al-P is an important source of phosphorus for wheat and detected a shift from Fe-P to Al-P during plant growth. Hanley (8), in his studies on available phosphorus in relation to inorganic P-fractions on different soils derived from calcareous and non-calcareous parent material, found aluminium phosphate to be taken up preferentially as compared to the other inorganic P-fractions. Furthermore, Hanley (8) found that iron phosphate is also important, calcium phosphate contributed little to plant nutrition and the occluded form of phosphorus were unavailable to plants. The results obtained are in line with that found by Hanley (8), as far as the P-uptake by plants in relation to all the different soil inorganic P-fractions is concerned.

Taking the r-values into consideration (Table 3), it is found that the aluminium phosphate fraction seems to be the preferential inorganic P-fraction available for plant uptake. Although, the iron phosphate fraction was not found to be significantly correlated with P-uptake, it gave a higher degree of correlation as compared with the calcium phosphate fraction. The greater availability of Al and Fe-bound phosphate than Ca-P could be due to the higher specific surface activity of the Al and Fe-bound phosphates relative to the other forms of inorganic phosphorus in the soils.

Hamdy (7), using the same soil samples under investigation and the different extraction procedures for assessing available soil phosphorus in alkaline soils found that the two extractants NaHCO_3 at 1:100 soil solution (Olsen's method) and the anion exchange resin were the ones which best assessed the soil available phosphorus.

As the aluminium phosphate fraction gave the highest degree of correlation with the P-uptake, it was of a special interest to find out whether there exists any relation or correlation between the Al-P and the soil available phosphorus chemically extracted by the sodium bicarbonate solution and by the anion-exchange resin technique.

The relationship between the soil available phosphorus measured by the two methods — Olsen's method and anion-exchange resin method — are graphically illustrated in Figure 1. The values of the correlatoin coefficient of

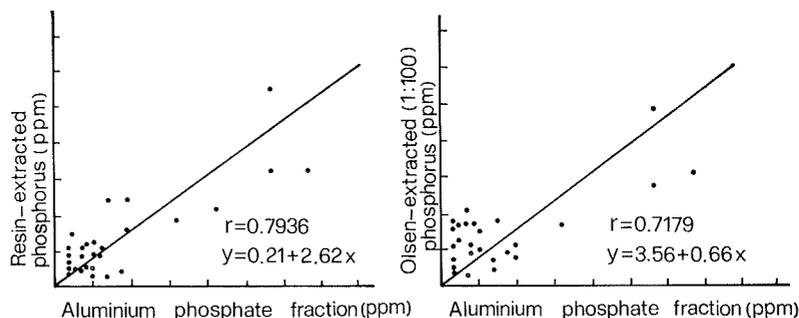


Figure 1 - The relationship between soil phosphorus extracted by resin and sodium bicarbonate solution (1:100), and the aluminium phosphate fraction.

the Olsen's method and the anion-exchange resin technique with the aluminium phosphate fraction were 0.7179 and 0.7936 respectively, and significant at 1% probability level.

The aforementioned finding is in agreement with the work of other workers (1, 6, 10, 16).

Extracting solution containing OH ions extract phosphorus from Al-P and Fe-P due to the hydrolysis of the Al and Fe. Thus NaHCO_3 , which is buffered at pH 8.5, is very effective in extracting Al-P and to some extent Fe-P (17). Also the HCO_3^- is quite effective in replacing adsorbed P and Na reduces the activity of Ca in solution. Gunary and Sutton (6) found that the resin measurement, which was related to both intensity and capacity factors, gives the highest correlation for any single determination. It is, therefore, within expectation that the Al-P fraction which contributed dominantly to P-uptake by the wheat plant was also extracted by the Olsen method and the anion-exchange resin technique.

The highly positive correlation existing between Al-P fraction and the actual P-taken up by wheat plants, the existence of the same relation between the latter and soil-P extracted by Olsens's method, the anion exchange resin technique besides the high degree of correlation found between Al-P fraction

and soil-P extracted by the two extraction procedures strongly confirm the suitability of the NaHCO_3 extractant and the anion exchange resin technique in assessing the available soil phosphate; the Al-P fraction contributes tho the majority of plant P-requirements.

REFERENCES

- (1) CHANG S. C. and CHU W. K. - Fate of soluble phosphates applied to soils. *J. Soil Sic. 12*: 286, 1961.
- (2) CHANG S. C. and JACKSON M. L. - Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci, 84*: 133, 1957.
- (3) DICKMAN S. R. and BRAY R. H. - Colorimetric determination of phosphate. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 12*: 665, 1940.
- (4) GRIGG J. J. - Change in forms of soil inorganic phosphorus in Lismore stony silt loam due to application of superphosphate to pasture. *N.Z.J. Agric. Res. 9*: 182, 1966.
- (5) GRIGG J. J. - Availability of native and applied phosphate in sequence of zonal soil types in the South Island. *New Zealand Int. Cong. Soil Sci., Trans. 9th volume II*: 795, 1968.
- (6) GUNARY D. and SUTTON C. D. - Soil factors affecting plant uptake of phosphorus. *J. Soil Sci. 18*: 167, 1967.
- (7) HAMDY, A. - Evaluation of different chemical extractants for the assessment of available soil phosphorus. *International congress on: Soil fertility and plant nutrition, 1987*. In press.
- (8) HANLEY K. - Soil phosphorus forms and their availability to plants. *Irish J. Agric. Res. 1*: 192, 1962.
- (9) JACKSON M. L. - *Soil chemical analysis*. Prentice Hall Inc. Englewood, Cliffs, N.J., 1958.
- (10) KANWAR B. B. and TRIPATHI B. R. - Evaluation of P - fractions contributing to available P extracted by some common soil test methods. *J. Indian Soc. Sci. 25 (2)*: 150, 1977.
- (11) LIPMAN J. O. and CONYBEARE A. B. - *New Jersey Agric. Exp. Stn. Bull. 607*, 1936.
- (12) METSON A. J. - *N.Z.C.S.I.R. Soils Bull. n. 12*, 1961.
- (13) OLSEN S. R., COLE C V., WATANABE F. S. and DEAN L. A. - Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U.S.D.A. Circ. 939*, 1954.
- (14) PETERSON G. W. and COREY R. B. - A modified Chang and Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30*: 563, 1966.
- (15) SMITH A. N. - The supply of soluble phosphorus to the wheat plant from inorganic soil phosphorus. *Plant Soil 22*: 314, 1965.
- (16) THANKUR R. S., BISEN D. C. and DUBEY S. M. - Evaluation of phosphorus soil tests based on fractionation. *J. Indian Soc. Soil Sci. 25 (4)*: 384, 1977.
- (17) TYNER E. H and DAVID J. G. - Some criteria for evaluating phosphorus tests for low land rice soils. p. 265. In G.J. Neale (ed) *Trans. Comm. IV and V Int. Soc. of Sc. Nov. 1962*, Palmerston, North New Zealand Soil Bureau P.B. Lower Huntt, New Zealand, 1962.

Un network di polisaccaridi acidi come modello dell'interfaccia mucillaginosa suolo-radice

GESSA C. - DEIANA S. *

L'interfaccia mucillaginosa « suolo-radice », composta prevalentemente da sostanze di origine radicale e dai prodotti dell'attività microbica, gioca un ruolo di fondamentale importanza per la nutrizione minerale della pianta.

A causa del suo elevato grado di idratazione, garantisce un intimo contatto con le superfici del suolo favorendo i processi di scambio ionico ed il movimento delle radici nel terreno (1, 9).

Viene considerata un'importante riserva di nutritivi e una fase di accumulo di metalli pesanti (3, 4, 7) ed è ritenuta, pertanto, parte attiva nella mobilizzazione e nel trasporto ionico verso le cellule assorbenti (6). Queste proprietà sono presumibilmente riportabili alla presenza di elevate quantità di polisaccaridi acidi. Sotto forma di calcio complessi, questi polimeri si ritrovano in elevatissime quantità nella lamella mediana della parete delle cellule vegetali (2).

Queste strutture, congiuntamente al mucigel e al simplasto (8), regolano il flusso ionico all'esterno e all'interno delle cellule.

Indagini di microscopia elettronica hanno rilevato che le mucillagini radicali sono ordinate in strutture fibrillari essenzialmente composte di acido poligalatturonico (6, 7).

Questo polimero è stato ampiamente studiato (3, 4, 5) ma le numerose informazioni che si hanno sulle interazioni che esso stabilisce con i vari ioni hanno una validità limitata perché ottenute su gel « disordinati », molto diversi da quelli naturali e non utilizzabili per lo studio dei processi di diffusione, di competizione e di mobilizzazione ionica.

Da ciò la necessità di disporre di un modello fisico che riproduca verosimilmente l'organizzazione fibrillare delle mucillagini.

Un modello con queste caratteristiche è stato documentato e discusso (Figura 1).

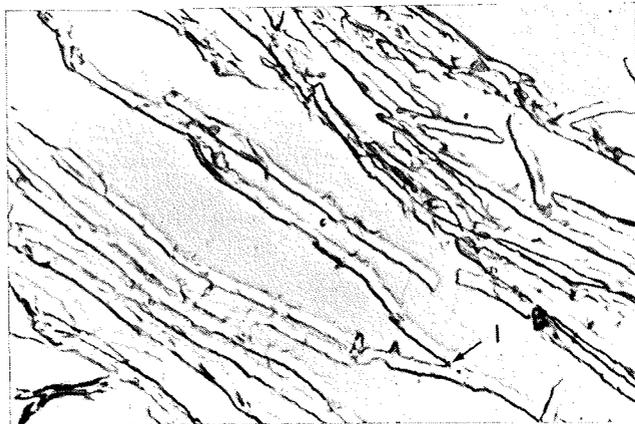


Figura 1 - Struttura fibrillare del network di poligalatturonato di calcio sintetizzato. I: interconnessione fibrillare. Microfotografia al microscopio ottico (815 x).

BIBLIOGRAFIA

- (1) BARLEY K. P., GREACEN E. L. - Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots. *Adv. Agron.*, 19: 1, 1967.
- (2) DARVILL A., MCNEIL M., ALBERSHEIM P., DELMER D. P. - The primary cell walls of flowering plants, in the biochemistry of plants. Vol. I, P.K Stumpf and E.E. conn Ed., (Academic Press, London, 1980).
- (3) DEIANA S., ERRE L., MICERA G., PIU P., GESSA C. - Coordination of transition-metal ions by polygalacturonic acid: a spectroscopic study. *Inorg. Chim. Acta*, 46: 249, 1980.
- (4) DEIANA S., MICERA G., MUGGIOLU G., GESSA C., PUSINO A. - Interaction of transition-metal ions with polygalacturonic acid: a potentiometric study. *Coll. and Surf.* 6: 17, 1983.
- (5) GESSA C., DE CHERCHI M. L., DESSI A., DEIANA S., MICERA G. - The reduction of Fe (III) to Fe (II) and V (V) to V (IV) by polygalacturonic acid: a reduction and complexation mechanism of biochemical significance. *Inorg Chim. Acta*, 80: L53, 1983.
- (6) JENNY H., GROSSENBACHER K. - Root soil boundary zone as seen by electron microscope. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 273, 1963.
- (7) LEPPARD G. G. - Rhizoplane fibrils in wheat: demonstration and derivation. *Science* 185: 1066, 1974.
- (8) MOORBY J. - Transport system in plants. Longman Inc., New York, 1981.
- (9) NAMBIAR EKS. - Uptake of ^{65}Zn from dry soil by plants. *Plant and Soil*, 44: 267, 1976.

Impiego di nuovi spollonanti su *Corylus avellana* L.

DOLCI M. * - BOUNOUS G. **

L'impiego di sostanze organiche di sintesi costituisce una valida alternativa alla tradizionale spollonatura del nocciolo.

Il Paraquat e il Diquat, attualmente fra i più usati per il più facile impiego rispetto agli esteri del 2,4-D, sono destinati ad essere sostituiti a causa della loro elevata tossicità. (1)

L'etil 1-naftilacetato (I), noto per la sua azione spollonante, e il 2-(2-etossietossi)etil 1-naftilacetato (II) sono gli esteri del NAA da noi sintetizzati e sperimentati.

La notevole efficacia di I e II era già stata evidenziata su *Vitis vinifera* L. (2)

Il 15-5-1985 sono stati saggati, su piante di 15 anni di *Corylus avellana* L., cv. « Tonda gentile delle Langhe », allevate a tronco singolo, i composti I e II alle dosi dell'8% e 4%, corrispondenti a moli/l 0,373 e 0,187 per I, 0,264 e 0,132 per II. Il principio attivo è stato disperso in acqua deionizzata contenente 0,5% di Tween 20. I polloni, di 15 cm di altezza media, sono stati spruzzati fino a sgocciolamento.

Ogni tesi, compresi i testimoni non trattati e quelli trattati con acqua e tensioattivo, era composta da 10 piante randomizzate.

Dopo 24 ore dal trattamento sono comparse le prime manifestazioni di accartocciamento fogliare.

Le osservazioni, eseguite a distanza di 22 giorni (6-6-85), hanno evidenziato il quasi totale disseccamento dei polloni: 99,3% e 97,3% rispettivamente alle dosi dell'8% e 4% per I, 99% e 96,5% alle analoghe dosi per II. Nei testimoni non è stato rilevato alcun sintomo di disseccamento.

Dopo 2 mesi dal trattamento (15-7-85) non sono stati rilevati ricacci nelle piante trattate con I e II all'8%, alla dose inferiore questi sono stati irrilevanti: 1,9 polloni per pianta per I e 0,6 per II.

Nella primavera successiva le piante hanno ripreso la loro normale attività pollonifera.

Nessuna pianta ha presentato alterazioni del vigore vegetativo e della produttività, sia qualitativa sia quantitativa.

Contemporaneamente al trattamento spollonante descritto è stata eseguita, a titolo orientativo, una irrorazione sulla vegetazione fino all'altezza di 1,5 m dal suolo per constatare l'eventuale grado di fitotossicità sulla pianta in coltura. Allo scopo è stato utilizzato il II, che era risultato il più attivo sulla vite, alle concentrazioni dell'8% e 4%, irrorando, fino a sgocciolamento, una sola pianta per dose.

Il rilievo effettuato dopo 2 mesi (15-7-85) ha mostrato totale disseccamento dei polloni e dei rami irrorati.

Ad un anno di distanza sulla parte trattata sono comparsi i nuovi germogli. Anche in questo caso non sono emersi effetti collaterali.

Ambedue i prodotti, pur apparendo notevolmente attivi, non hanno inibito, come invece era stato per la vite, l'emissione di nuovi polloni nell'anno successivo al trattamento.

Una probabile differenziazione dell'attività dei composti saggiati potrebbe averosi operando a dosi inferiori a quelle sperimentate.

BIBLIOGRAFIA

- (1) PAGLIETTA R. - Effetti dell'acido 2,4-diclorofenossiacetico sui polloni di nocciuolo in un giovane impianto ed in vivaio. Atti « Convegno Nazionale di studi sul Nocciuolo », Viterbo, 3, 1968.
- (2) EYNARD I., GAY G., VALLANIA R., OCCELLI P., BOTTA R., DOLCI M., MARTINI A. - Control of sucker growth on *Vitis vinifera* cv. Merlot with NAA derivatives. *Vitis* 25: 169, 1986.

Effetti dello stress idrico su alcuni enzimi vegetali
coinvolti nel metabolismo dell'ossigeno attivato

BADIANI M. e DE BIASI M. G.

Un numero crescente di evidenze sperimentali depongono a favore del coinvolgimento della tossicità da ossigeno attivato (anione superossido, radicale idrossile, ossigeno singoletto e perossido d'idrogeno) nell'insorgenza del danno da stress idrico nelle piante. Tale induzione di tossicità viene generalmente dedotta in base alle variazioni osservabili nelle attività di enzimi addetti alla detossificazione delle specie parzialmente ridotte dell'ossigeno molecolare, quali superossido dismutasi, catalasi, famiglia delle perossidasi, glutazione reduttasi, ecc.

Dalle ricerche condotte in questo Dipartimento su frumento e mais, era emerso che lo stress idrico induce una degradazione proteica selettiva, durante la quale le attività di superossido dismutasi e guaiacolo perossidasi vengono preservate o anche accresciute (1). L'estensione di questi studi ad altre specie ed alle attività di catalasi e lipossigenasi hanno messo in evidenza che il danno cellulare da ossigeno attivato potrebbe essere uno degli eventi più precoci e diffusi tra quelli che si verificano nei tessuti vegetali in conseguenza della deprivazione idrica; infatti, a seguito di shocks osmotici di 24 ore procurati tramite aggiunta di polietilenglicole al mezzo idroponico oppure a seguito di brevi periodi di deprivazione idrica, in tutte le specie studiate si riscontrano significativi incrementi di attività degli enzimi « scavengers » di radicali all'ossigeno. Contestualmente, si osserva che, mentre i corredi isoenzimatici della superossido dismutasi rimangono qualitativamente inalterati, lo stress idrico induce in alcune specie modificazioni nelle proprietà elettroforetiche della catalasi e degli isoenzimi della guaiacolo perossidasi; di quest'ultimo enzima, si riscontrano in frumento isoforme stress-indotte.

BIBLIOGRAFIA

- (1) LUNA M., BADIANI M., FELICI M., ARTEMI F. and GIOVANNOZZI SERMANI G. - Selective enzyme inactivation under water stress in mais (*Zea mais*, L.) and wheat (*Triticum aestivum*, L.) seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 25: 153, 1985.

Influenza di matrici organiche sull'assorbimento del fosforo fertilizzante

GATTI M.

Benché numerose siano le forme chimiche in cui il P viene somministrato al terreno e molteplici le esperienze riportate in letteratura, tuttavia poco è stato fatto per migliorare l'utilizzazione del P attraverso l'associazione con matrici organiche specifiche. Sono state realizzate prove in vaso coltivando mais su due terreni diversi per caratteristiche chimico-fisiche e utilizzando, come materiali dotati di una possibile azione nel migliorare l'utilizzazione del fosforo del fertilizzante, il cuoio torrefatto, una torba neutra ed il letame. L'assorbimento del fosforo del fertilizzante è stato studiato marcando con ^{33}P il fosfato monocalcico monoidrato preparato in laboratorio. I risultati di questa sperimentazione hanno mostrato che le matrici organiche impiegate hanno determinato risposte differenti alla fertilizzazione fosfatica: in particolare, il cuoio torrefatto è la sostanza più attiva nell'aumentare l'efficacia fertilizzante del fosforo applicato, segue la torba che ha dato risultati positivi solo su terreno franco, mentre il letame non ha esplicato alcuna azione. Il fattore principale che condiziona questi risultati sembra essere il grado di umificazione delle matrici. Inoltre il tipo di terreno, ed in particolare la sua tessitura e la dotazione di fosforo assimilabile, esercita un'influenza non secondaria sullo assorbimento del fosforo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ADHIKARI M., GANGULY T. K. - The influence of organic matter on soil phosphorus availability. *Agrokemia es Talayten* 20: 549, 1971.
- (2) BOLE J.B. - Uptake of ^{15}N -labelled urea and ^{32}P -labelled phosphate from acid-based urea phosphate and granular fertilizers. *Can. J. Soil Sci.* 66: 189, 1986.
- (3) COOKE G. W. - Fertilizing for maximum yields. Crosby Lockwood. 1972.
- (4) NEGI A. S. - Phosphorus uptake from different sources of phosphatic fertilizers by maize and wheat at two stages of growth. *Plant and Soil* 52: 475, 1978.

- (5) OLSEN S. R., WATANABE F. S. - Diffusive supply of phosphorus in relation to soil texture variations. *Soil Sci.* 110: 318, 1970.
- (6) WEIR C. C., SOPER R. J. - Interaction of phosphates with ferric organic complexes. *Can. J. Soil Sci.* 43: 393, 1963.
- (7) WILLIAM R.J.B., COOKE G. W. - Measuring soluble phosphorus in soils, comparisons of methods, and interpretation of results. *J. Agric. Sci.* 59: 275, 1962.

Incidenza dei parametri ambientali sullo sviluppo della bianconatura nel frumento duro: un'analisi elettroforetica

CHIANESE L. * - D'ACIERNO C. * - COLOMBO M. ** - MARANO B. **

Il fenomeno della bianconatura delle cariossidi di frumento duro (1, 2) ha una rilevante incidenza negativa sulle caratteristiche qualitative e merceologiche delle semole.

Essa si manifesta morfologicamente al termine della maturazione della granella con alterazione della struttura vetrosa dell'endosperma ed ha il suo fondamento biochimico in un incremento del rapporto carboidrati/proteine (3).

Allo scopo di definire le basi molecolari di questa alterazione e di trarne utili indicazioni per la sua profilassi, abbiamo intrapreso un'indagine elettroforetica sulle proteine estratte da cariossidi a vari stadi di maturazione della cultivar Capeiti, provenienti da una prova in pieno campo.

Luminosità, disponibilità di acqua e concimazione fosfatica sono i parametri ambientali presi in esame per la loro influenza sulla durata del ciclo vegetativo e sull'insorgere della bianconatura.

Una percentuale significativa di granella bianconata si riscontrava nei campioni coltivati in scarsità di luce e abbondanza di acqua; parallelamente l'analisi per SDS-PAGE delle proteine totali estratte dagli stessi campioni con la metodica di Fullington (4) permetteva di rilevare la scomparsa di bande nella regione dei pesi molecolari tra 54 e 90 kD.

La variazione del quadro elettroforetico rispetto ai campioni di riferimento si evidenziava solo nelle fasi terminali della maturazione e apparentemente non investiva la frazione proteica delle gliadine, come dimostrato dall'analisi per PAGE in Al-lattato a pH 3,1 delle proteine estratte in etanolo al 70% (5).

Inoltre, dall'analisi condotta, non si evidenzia un ruolo particolare della concimazione fosfatica nell'insorgenza di questa alterazione del quadro proteico.

Ulteriori indagini sono in corso per elucidare la natura dei polipeptidi carenti nei campioni bianconati e l'influenza dei fattori predisponenti.

BIBLIOGRAFIA

- (1) HENSON J.F., WAINES J.G. - Nitrogen metabolism and yellow berry of two bread cultivars. *Crop. Science* 23: 20, 1983.
- (2) ROBINSON F., CUDNEY D., LEHMAN W.F. - Yellow berry of wheat linked to protein content. *Calif. Agric.* 31: 16, 1977.
- (3) FORTINI S., ALESSANDRONI A., GALTERIO G. - Sintesi proteica e resistenza alla bianconatura in cariocidi di *triticum durum*. *Genet. Agr.* 29: 111, 1975.
- (4) FULLINGTON J.G., COLE E.W., KASARDA D.D. - Quantitative sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis of total proteins extracted from different wheat varieties: Effect of protein content. *Cereal Chem.* 60: 65, 1983.
- (5) TKACHUK R., METLISH V.J. - Wheat cultivar identification by high voltage gel electrophoresis. *Ann. Technol., Agric. J.* 29: 207, 1980.

L'influenza delle acque reflue di vegetazione delle olive
sull'accrescimento di alcune specie vegetali

MELIS P., SOLINAS V., SOLLAI I.

INTRODUZIONE

L'elevata carica inquinante dei reflui dell'oleificio impedisce per legge la loro diretta immissione nelle acque superficiali o nelle fognature pubbliche (1). Le tecnologie di depurazione finora messe a punto, fisiche, chimiche e biochimiche, si sono dimostrate o inadeguate o eccessivamente onerose e, pertanto, realisticamente inapplicabili. Lo smaltimento di tali reflui nel suolo, nota la sua capacità di ricevere e metabolizzare sostanza organica di diversa origine, può essere una valida alternativa, anche in vista di un pronto recupero della grande quantità di nutritivi presenti (Tabella 1).

TABELLA 1 - Composizione del refluo dopo filtrazione in filtro-pressa.

pH	5,39	N	0,1 (g/l)
Ca	57 ppm	C	9,5 (g/l)
Mg	26 ppm	Sostanza organica	16,4 (g/l)
Na	19 ppm	C.O.D.	25,7 (0, g/l)
K	575 ppm	Estratto secco	22,6 (g/l)
P	300 ppm	Ceneri	3,5 (g/l)
Richiesta NaOH	48 meq/l	Fenoli	2,95 mmoli/l (ac. tannico)

Si riferiscono in questa sede i primi risultati di una ricerca da noi condotta sulle conseguenze dello spargimento diretto del refluo, sul terreno e sulla pianta.

La composizione e le caratteristiche chimiche del refluo sono state studiate mediante spettroscopia IR, Uv-vis e al plasma.

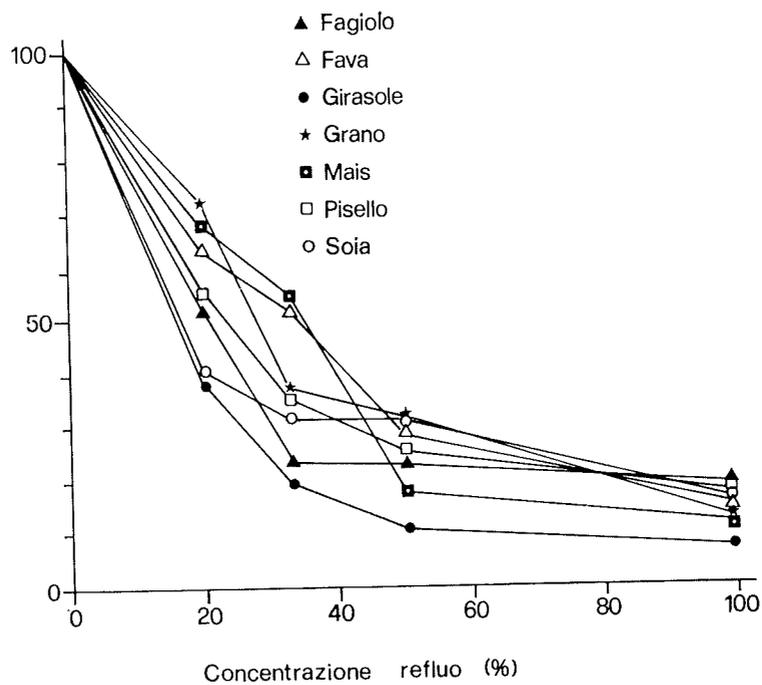


Figura 1 - Variazione percentuale della lunghezza delle radici rispetto al testimone, al variare della concentrazione del refluo.

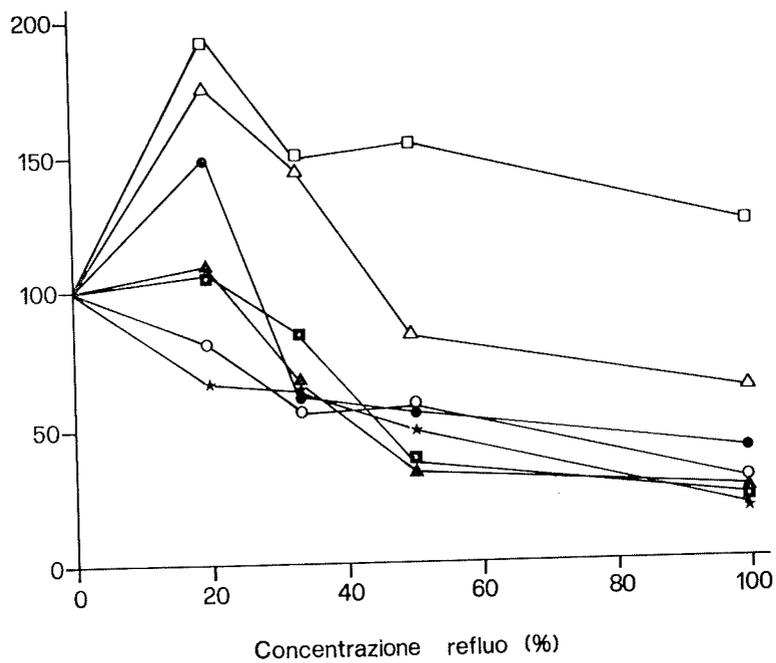


Figura 2 - Variazione percentuale della lunghezza dei germogli rispetto al testimone, al variare della concentrazione del refluo.

Le prove vennero condotte su sette specie vegetali (soia, pisello, fava, fagiolo, mais, grano e girasole) poste a germinare su carta da filtro parzialmente immersa in refluo previamente filtrato e usato o come tale o diluito nei rapporti 1/1, 1/2 e 1/4. Dopo dieci giorni vennero misurate le lunghezze delle radici e dei germogli e le quantità di fenoli totali in essi presenti (2).

RISULTATI E CONCLUSIONI

Tutte le specie risentono negativamente del contatto col refluo (Figure 1 e 2), pur evidenziando una differente risposta a livello delle radici e dei germogli. Al crescere della concentrazione del refluo l'accrescimento delle radici tende a ridursi progressivamente fino al 5-20% rispetto al testimone. Le risposte delle singole specie variano: soia e girasole sono le più sensibili, mais la più tollerante. Nei germogli si manifestano due tendenze: in fava e pisello si hanno aumenti rispetto al testimone, nelle altre specie si hanno riduzioni crescenti con l'aumentare della concentrazione, ma sempre nettamente inferiori a quelle subite dalle radici.

Risposte analoghe si ricavano dalla variazione delle quantità dei fenoli totali, valido test dello stress nei vegetali (3): maggiore nelle radici che nei germogli, a parità di concentrazione, e crescente al crescere della concentrazione (Figura 3).

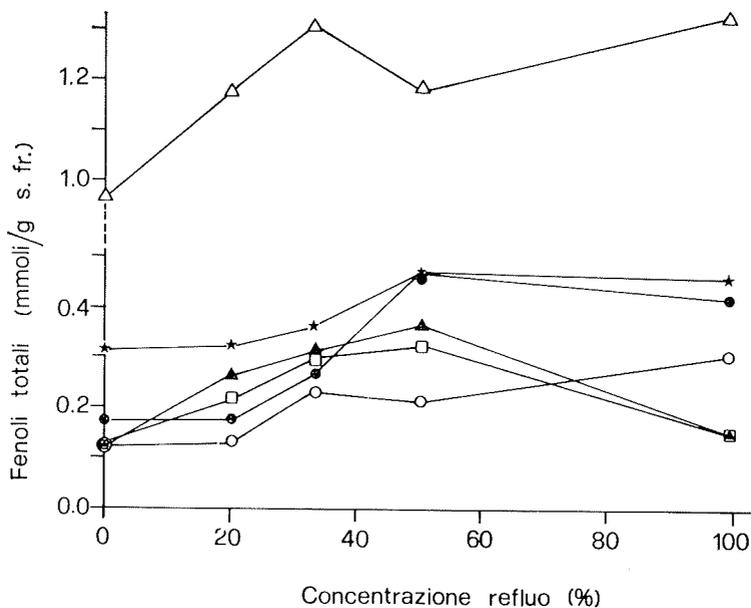


Figura 3 - Variazione delle quantità dei fenoli nei germogli, al variare della concentrazione del refluo.

I risultati ottenuti, seppur preliminari, dimostrano che:

- 1) il refluo ha nei confronti delle diverse specie vegetali un'evidente azione inibente dello sviluppo, soprattutto dell'apparato radicale;
- 2) la sensibilità al refluo è diversa nelle diverse specie;
- 3) alcune specie, alle basse concentrazioni, presentano uno sviluppo del germoglio maggiore rispetto al testimone, nonostante la riduzione dell'apparato radicale. L'azione parzialmente positiva del refluo nei confronti del germoglio può essere attribuita alla presenza in esso di sostanze stimolanti specificamente la crescita del germoglio, o semplicemente ai nutritivi che comunque entrano nella pianta.

BIBLIOGRAFIA

- (1) PICCAROLO P., VODRET A. - Recupero ed utilizzazione delle acque reflue degli oleifici sardi: situazione attuale e prospettive. 1° Inc. « L'acqua in agricoltura », Sassari, 7-5-82, 1982.
- (2) CHARPENTIER E. L., COWLES J. R. - Rapid method of analyzing phenolic compounds in « Pinus elliotti » using high-performance liquid chromatography. J. Chromatogr. 208: 132, 1981.
- (3) HOAGLAND R. E., DUKE S. O. - Effect of herbicides on growth and extractable phenylalanine ammonia-lyase activity in light and dark-grown soybean (Glicine max) seedlings. Weed Sci., 29: 433, 1981.

Alterazioni della permeabilità del plasmalemma durante l'assorbimento di potassio in radici di Vitis

VARANINI Z. **, PINTON R. *, MERLO L. * e MAGGIONI A. *

Radici da vinacciolo di *Vitis vinifera*, cv. Verduzzo, immerse in soluzione di (⁸⁶Rb) KCl, a 28°C, assorbono potassio con velocità pari a 456 nmoli · g⁻¹pf · h⁻¹ nei primi 5 minuti di contatto con la soluzione, e pari a 100 nmoli · g⁻¹pf · h⁻¹ nel successivo periodo da 10 a 30 minuti (Figura 1) (1).

Nello stesso tempo il potassio interno (25 μmoli · g⁻¹pf) è perduto dalla radice per il 40% circa nei primi 5 minuti fino al 50% dopo 30 minuti nella

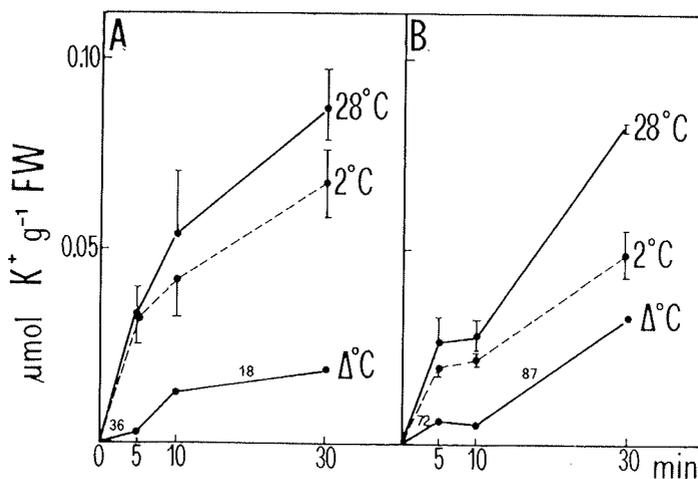


Figura 1 - Andamento nel tempo dell'assorbimento di (⁸⁶Rb) K⁺ in radici di vite ottenute da vinaccioli non pretrattate (A) e pretrattate (B) per 180 min in CaCl₂ 1 mM. Δ°C rappresenta la differenza tra velocità misurate a 28°C e a 2°C.

soluzione di contatto. L'efflusso di potassio avviene, senza significative differenze, anche in presenza di CaCl_2 1 mM e/o a temperatura di 2°C .

L'immersione delle radici per tempi crescenti nella soluzione di CaCl_2 1 mM riduce gradualmente la velocità di assorbimento nei primi 5 minuti di contatto, mentre aumenta la velocità di assorbimento di potassio nel successivo periodo da 10 a 30 minuti (Tabella 1). Inoltre si evidenzia un significativo periodo di stasi dell'assorbimento tra 5 e 10 minuti.

TABELLA 1 - Velocità di assorbimento di $(^{86}\text{Rb})\text{K}^+$ ($\mu\text{moli}\cdot\text{g}^{-1}\text{pf}\cdot\text{h}^{-1}$) in radici di vite ed effetto del pretrattamento con CaCl_2 1 mM.

Periodo di assorbimento (minuti)	controllo	Ca^{2+} 1 mM per	
		30 min	180 min
0 - 5	456	356	266
10 - 30	100	137	156

Quando attuato a 2°C , l'assorbimento di potassio in radici non trattate in CaCl_2 1 mM è inibito soltanto per circa il 10% nella fase da 0 a 5 minuti e per circa il 25% in quella da 10 a 30 minuti.

Se le radici sono trattate in CaCl_2 1 mM l'inibizione dell'assorbimento di potassio a 2°C è pari al 30% nella fase da 0 a 5 minuti ed è pari al 50% nel periodo da 10 a 30 minuti.

Valutando come dipendente dell'attività metabolica la differenza tra il potassio assorbito a 28°C e quello assorbito a 2°C , si osserva che con il trattamento in CaCl_2 1 mM aumenta la velocità di assorbimento sia nel primo periodo da 0 a 5 minuti (da 36 a 72 $\text{nmoli}\cdot\text{g}^{-1}\text{pf}\cdot\text{h}^{-1}$) sia nel periodo da 10 a 30 minuti (da 18 e 87 $\text{nmoli}\cdot\text{g}^{-1}\text{pf}\cdot\text{h}^{-1}$). Si conferma inoltre la stasi dell'assorbimento nell'intervallo fra 5 e 10 minuti.

In conclusione l'immersione della radice di vite nella soluzione di assorbimento provoca una drammatica alterazione della permeabilità del plasmalemma (2).

Il trattamento con Ca^{2+} consente un parziale recupero del controllo della permeabilità del plasmalemma. Tuttavia rimane elevata la velocità di influsso di $(^{86}\text{Rb})\text{K}^+$ non dipendente dal metabolismo lasciando ipotizzare un ulteriore danno al plasmalemma dovuto a shock da bassa temperatura.

La stasi nell'assorbimento tra il primo (0 - 5 minuti) ed il secondo (10 - 30 minuti) periodo di assorbimento indica che due meccanismi o due compartimenti cellulari sono interessati, in successione, all'assorbimento di potassio.

Questo aspetto richiede, tuttavia, ulteriori indagini.

BIBLIOGRAFIA

- (1) MAGGIONI A., VARANINI Z. - Free-space binding and uptake of ions by excised roots of grapevine. In: Genetic Aspects of Plant Nutrition (M.R. Saric e B.C. Loughman, eds.), M. Nijhoff/Dr. W. Junk Publ., 133, 1983.
- (2) PINTON R., VARANINI Z., MAGGIONI A., FRICK H. - Potassium flux in corn roots during augmentation of ion uptake. *J. Plant Nutr.* 10 (9-16): 1975, 1987.

Efficienza dell'assorbimento radicale di potassio e attività
ATPasica in *Triticum* spp. e *Aegilops ventricosa*

MAGGIONI A.* - VARANINI Z.** - PINTON R.* - CARRUCCIU P.* - OLIVIERI A.M.*

E' stata studiata la variabilità della velocità di assorbimento del potassio e dell'attività ATPasica microsomale in radici di *Aegilops ventricosa* (gemona DDMM) e di frumenti con differenti livelli di ploidia (*T. monococcum*, AA, *T. dicoccoides*, AABB, *T. spelta*, AABBDD, e *T. aestivum*, AABBDD) ed in due varietà di selezione meno recente (Gentilrosso e Ardito) ed in una più recente (Irnerio) di frumento tenero.

Le costanti cinetiche dell'assorbimento in radici di *Aegilops* differiscono da quelle delle specie di *Triticum* in quanto mostrano maggiore Vmax di assorbimento e maggiore affinità (K_M minore) per il potassio.

Tra gli esaploidi la Vmax di Ardito e Gentilrosso è maggiore che in Irnerio, suggerendo che nell'ultimo mezzo secolo sia stata inconsciamente fatta una selezione contro la velocità di assorbimento, come riportato per il solfato ed il nitrato per il mais (1).

Non sono rilevabili relazioni tra genoma e K_M . Considerando che la K_M è sotto controllo genetico, si può ritenere che una selezione direzionale non abbia agito su questo carattere.

La Vmax di assorbimento in radici di *Aegilops* è più elevata nonostante la più elevata concentrazione di potassio endogeno che potrebbe agire come inibitore a feed-back (2, 3).

Le attività ATPasiche microsomiali Mg-dipendente e K-stimolata di *Aegilops* sono molto basse in confronto a tutti i *Triticum*, tranne, per la K-stimolata, all'Irnerio. Questo potrebbe dipendere da un minor fabbisogno di energia per l'assorbimento legato alla maggior affinità per il potassio.

Si può concludere che l'*Aegilops*, e probabilmente il genoma MM, possono avere un potenziale valore per migliorare l'assorbimento di potassio da parte delle radici di frumento.

Infatti possiede la più elevata V_{max} e la maggiore affinità, pur con la più alta concentrazione interna di potassio, e l'apparato di trasduzione dell'energia apparentemente più efficiente.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CACCO G., SACCOMANI M., FERRARI G. - Changes in the uptake and assimilation efficiency for sulfate and nitrate in maize hybrids selected during the period 1930 through 1975. *Physiol. Plant.* 58: 171, 1983.
- (2) MAGGIONI A., RENOSTO F. - Cysteine and methionine regulation of sulfate uptake in potato tuber discs. *Physiol. Plant.* 39: 143, 1977.
- (3) SIDDIQI M. Y., GLASS A.D.M. - Simultaneous consideration of tissue and substrate potassium concentration in K uptake kinetics: a model. *Plant Physiol.* 69: 283, 1982.

Assimilazione del solfato in frumenti a differenti livelli di ploidia

PASSERA C., GHISI R., FERRETTI M. e OLIVIERI M. *

Il contenuto di carotenoidi, clorofilla e proteina, e l'attività della ATP sulfurilasi (ATP-s) e della O-acetilserina sulfidrilasi (O-ACSS), primo e ultimo enzima del cammino di riduzione del solfato, sono stati determinati in foglie di *Aegilops ventricosa* (genoma DDMM) e di frumenti con differenti livelli di ploidia (*T. monococcum*, AA; *T. dicoccoides*, AABB; *T. spelta*, AABBDD; *T. aestivum* AABBDD: cv. Ardito, Gentilrosso e Irnerio; *T. durum*, AABB: cv. Cappelli). Il trasporto del solfato (V_{max} e K_M) è stato determinato nelle radici di *T. monococcum* della cv. Ardito. Non ci sono differenze significative nel contenuto di carotenoidi e di clorofilla tra le specie a differente ploidia (Tabella 1).

TABELLA 1 - Contenuto di clorofilla, carotenoidi ($\mu\text{g/gp.f.}$) e di proteina (mg/gp.f.) in foglie di frumenti a differente ploidia.

Frumento	Clorofilla	Carotenoidi	Proteina
<i>T. monococcum</i>	2100 \pm 50	66,7 \pm 2,5	29,1 \pm 2,9
<i>T. dicoccoides</i>	2270 \pm 180	68,4 \pm 4,9	23,5 \pm 2,8
<i>T. spelta</i>	2460 \pm 140	71,7 \pm 5,4	22,2 \pm 1,6
<i>T. aestivum</i> :			
cv. Ardito	2080 \pm 130	61,7 \pm 3,0	19,9 \pm 1,5
cv. Gentilrosso	2460 \pm 140	73,9 \pm 5,4	22,0 \pm 2,4
cv. Irnerio	2360 \pm 60	71,6 \pm 1,9	21,3 \pm 1,2
<i>T. durum</i> :			
cv. Cappelli	2320 \pm 70	69,8 \pm 3,0	23,4 \pm 1,3
<i>Aegilops ventricosa</i>	2170 \pm 40	68,1 \pm 1,1	23,1 \pm 3,6

Il *T. monococcum* presenta i valori più elevati di contenuto di proteina solubile (Tabella 1) e di attività dei due enzimi del cammino di riduzione del solfato (Tabella 2).

TABELLA 2 - Attività della ATP sulfurilasi (ATP-s) ($\mu\text{moli PO}_4^{3-}/\text{mg proteina h}$) e della O-acetilserina sulfidrilasi (O-ACSS) ($\mu\text{moli cisteina}/\text{mg proteina h}$) in frumenti a differente ploidia.

Frumento	ATP-s	O-ACSS
<i>T. monococcum</i>	18,6 \pm 1,3	25,6 \pm 3,1
<i>T. dicoccoides</i>	10,2 \pm 0,9	15,9 \pm 0,9
<i>T. spelta</i>	7,1 \pm 1,7	15,2 \pm 2,0
<i>T. aestivum</i> :		
cv. Ardito	12,0 \pm 2,1	18,5 \pm 1,4
cv. Gentilrosso	9,8 \pm 2,1	25,3 \pm 5,6
cv. Irnerio	12,3 \pm 0,3	22,2 \pm 0,3
<i>T. durum</i> :		
cv. Cappelli	11,4 \pm 1,0	22,6 \pm 3,0
<i>Aegilops ventricosa</i>	11,7 \pm 1,4	19,1 \pm 5,1

Il *Triticum monococcum*, che ha genoma diploide, ha inoltre un sistema di trasporto più efficiente di quello della cv. Ardito, con genoma esaploide (Tabella 3).

TABELLA 3 - Valori di V_{max} (nmoli/gp.f.h) e di K_M (10^{-5}M) del trasporto del solfato in radici di frumento *T. monococcum* e *T. aestivum*, cv. Ardito.

Frumento	V_{max}	K_M
<i>T. monococcum</i>	26,3	6,1
Ardito	35,7	14,3

Nell'insieme i risultati ottenuti dimostrano che il livello dei differenti parametri esaminati non è in generale in relazione diretta con il livello di ploidia.

Tuttavia, poichè l'assorbimento del solfato avviene nelle radici, ma la sua riduzione ha luogo prevalentemente nel cloroplasto (1), i dati ottenuti suggeriscono che il genoma del *T. monococcum* potrebbe essere utilizzato per

migliorare l'assimilazione del solfato, essendo questa specie caratterizzata da una più elevata attività della ATP-s, enzima regolatore del cammino di riduzione del solfato (2, 3), e da una più elevata affinità del suo sistema radicale per lo ione stesso.

I risultati dimostrano anche che, mentre le dimensioni delle foglie e della cariosside sono più o meno aumentati in parallelo con la ploidia e con il passaggio delle forme più primitive a quelle oggi coltivate (4), la capacità di assimilazione del solfato è diminuita. Conclusioni simili sono state riportate per la velocità di fotosintesi per unità di area fogliare (4).

BIBLIOGRAFIA

- (1) RENNENBERG H. - The fate of excess sulfur in higher plant. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 35: 121, 1984.
- (2) HAWES C. S., NICHOLAS D. J. - Adenosine 5'-Triphosphate sulphurylase from *Saccharomyces cerevisiae*. *Biochem. J.* 133: 530, 1973.
- (3) PASSERA C., GHISI R. - ATP-sulphurilase and O-Acetylserine sulphhydrylase in isolated mesophyll protoplasts and bundle sheath stands of S-deprived maize leaves. *J. Exp. Bot.* 33: 432, 1982.
- (4) EVANS L. T., DUNSTAN R. L. - Some physiological aspects of evolution in wheat. *Aust. J. Biol. Sci.* 33: 725, 1970.

**Biochemical mechanisms in nutrient uptake: H⁺-ATPase
and redox system at the plasmalemma of root cells**

VARANINI Z. - FISCHER E. - LÜTTGE U.

The investigation of the biochemical basis of nutrient uptake can contribute to our understanding of the mechanism of adaptation of crop plants to different soils and their production performance. Our goal was to study the relationship between the recently discovered plasmalemma-bound electron-transporting redox system (1) and the H⁺-translocating ATPase which is considered to be the primary active mechanism involved in nutrient absorption at the plasmalemma of root cells (2).

Plasmalemma enriched vesicles of two day old corn roots were purified using discontinuous sucrose gradient centrifugation. The 30-40% interface was enriched in K⁺ stimulated, vanadate sensitive, and nitrate insensitive ATPase activity. The ATP dependent H⁺ translocation into inside-out vesicles was measured by the accumulation of acridine orange. This H⁺ movement was inhibited 60-80% by 100 μM vanadate. In the presence of Cl⁻, NO₃⁻ even in a concentration as high as 100 mM, did not affect the H⁺ transport. A contamination of these vesicles by mitochondria was negligible as tested by the addition of oligomycin. Our results show that it is possible to obtain tightly sealed corn-root plasmalemma vesicles that exhibit high rates of H⁺ transport without a significant contamination by tonoplast and mitochondrial membranes.

The capacity of the system decreased with the availability of Br⁻ ≥ Cl⁻ >>
The capacity of the system decreased with the availability of Br⁻ ≥ Cl⁻ >>
NO₃⁻ >> SO₄²⁻ >> IDA.

The plasmalemma enriched vesicles also showed the capacity of ferricyanide reduction after supplying NADH and NADPH. The activity of the redox system was higher in the presence of NADH than NADPH. It was

insensitive to the presence of inhibitors of the mitochondrial electron transport chain such as KCN and oligomycin.

Preliminary experiments with vesicles in the presence of ferricyanide and acridine orange indicated that the H^+ transport activity was not affected by the addition of NADH.

Further investigation of the relationship of these two transport systems and a comparison of their activities in different crop varieties are in progress.

REFERENCES

- (1) LÜTTGE U., CLARKSON D.T. - Plasmalemma and tonoplast redox activities. *Progress in Botany* 47: 73, 1985.
- (2) SZE H. - H^+ -translocating ATPases: Advances using membrane vesicles. *Ann. Rev. Plant physiol.* 36: 175, 1985.

Effetto degli inibitori della nitrificazione sulla nitrato reduttasi del frumento

ZACCHEO P. - GOLDBERG FEDERICO L. - GENEVINI P.L.

INTRODUZIONE

Gli inibitori della nitrificazione trovano impiego in agricoltura come regolatori della nitrificazione dell'azoto ammoniacale in quelle situazioni nelle quali è possibile riscontrare perdite di azoto per dilavamento o denitrificazione. Conseguenza di questo effetto primario è uno sbilanciamento nel rapporto $N-NH_4/N-NO_3$, che ha un'evidente ripercussione, a livello dei vegetali, sull'attività nitrato reduttasica (NRA), in quanto l'enzima è inducibile e quindi sensibile a qualsiasi mutamento del substrato.

Un'ulteriore possibilità di interazione degli inibitori sulla NRA è rappresentata da un diretto effetto degli inibitori sull'enzima. Uno degli inibitori più noti, la nitropirina (N-Serve), è assorbita dai vegetali sia come tale, sia come acido 6-cloropicolinico, principale metabolita (6). L'influenza pertanto dell'inibitore sulla nitrato reduttasi può essere ipotizzabile.

Su questa base è stata condotta una sperimentazione in serra su frumento allevato su sabbia, mirante a studiare l'effetto diretto di due inibitori, N-Serve e DCD, sulla nitrato reduttasi in presenza di azoto nitrico quale unica fonte azotata disponibile. Si è voluto inoltre verificare la possibilità di un effetto fitotossico delle dosi saggiate dei due inibitori a carico dell'accrescimento in sostanza fresca e secca del frumento.

MATERIALI E METODI

Nitropirina (N-Serve formulato commerciale al 24% in p.a.) e cloruro di metilene (veicolante N-Serve) sono incorporati al substrato di crescita un giorno prima del trapianto del frumento, onde permettere l'allontanamento del solvente; diciandamide (DCD) immediatamente prima del trapianto. Ogni trattamento è replicato tre volte.

Semi di frumento (*Triticum aestivum* var. Adria) sterilizzati e pregerminati su carta bibula, sono trasferiti su sabbia (pH 6.4 o pH 8.0) in vasetti di 8 cm di diametro. Al terzo giorno dopo il trapianto viene somministrata una soluzione nutritiva (Hoagland & Snyder) contenente N-NO₃.

L'attività nitrato reduttasica (NRA) è misurata con metodo « in vivo » (Brunetti modificato). Foglie di frumento al quarto giorno dalla somministrazione di azoto nitrico sono raccolte e sezionate in frammenti di 4 mm di lunghezza; 500 mg di materiale vegetale (2 campioni/vaso) sono sospesi in 5 ml di una soluzione contenente tampone K-fosfato 0.1 M pH 7.5, nitrato di potassio 0.5 M e Triton X-100 0.1% e posti a incubare in bagno Doubnoff a 30°C al buio. Dopo 30 e 90 minuti sono prelevate due aliquote della soluzione (200 µl) per la determinazione dei nitriti (3). L'attività nitrato reduttasica è espressa come µg di nitrito prodotto per ora per grammo di peso fresco.

La determinazione dell'accrescimento fresco e secco del frumento avviene su piantine al 20° giorno di crescita, pesando immediatamente dopo la raccolta e dopo essiccazione in stufa a 105°C fino a peso costante.

La prova di incubazione è effettuata ponendo i vasetti col solo substrato addizionato dei trattamenti in cella termostatica a 25°C per i tempi prefissati di incubazione, avendo cura di mantenere costante il livello di umidità del substrato. La successiva prova di vegetazione avviene contemporaneamente per tutti i trattamenti e i tempi di incubazione; dosaggio della NRA e fitotossicità sono determinati su due aliquote dei vegetali, al 4° giorno dalla somministrazione della soluzione nutritiva.

RISULTATI E CONCLUSIONI

In Figura 1 sono riportati i livelli di NRA delle piante di frumento in presenza dei due inibitori.

Appare evidente il netto e progressivo stimolo indotto dal principio attivo di N-Serve, sulla NRA che raggiunge livelli doppi rispetto al controllo. Il lieve aumento riscontrato nelle tesi a DCD sembrerebbe riconducibile ad un diretto effetto delle quote di azoto rilasciato nel substrato a seguito dell'idrolisi dell'inibitore (66% N).

Gia Notton *et al.* (1979) avevano evidenziato un effetto stimolante di N-Serve sulla NRA di foglie di *Raphanus sativum* dopo 23 giorni di crescita, limitatamente al prodotto formulato in acetone o emulsionato, seguito da un drastico calo dopo 55 giorni.

La possibilità che l'effetto di N-Serve coinvolgesse più globalmente l'intero metabolismo vegetale è stata verificata con una prova di vegetazione di maggior durata (Figura 2), dalla quale si è evidenziato come la produzione fresca e secca del frumento risente negativamente della presenza dell'inibitore nel substrato, con un effetto nettamente più marcato a pH 6.4.

N-S1=N-Serve 5 mg/kg p.a. Solvente=CH₂Cl₂ 10 ppm
 N-S2= " " 10 mg/kg p.a. DCD1=Diciandiamide 5 mg/kg p.a.
 N-S3= " " 20 mg/kg p.a. DCD2= " " 10 mg/kg p.a.
 N-S4= " " 40 mg/kg p.a. DCD3= " " 20 mg/kg p.a.

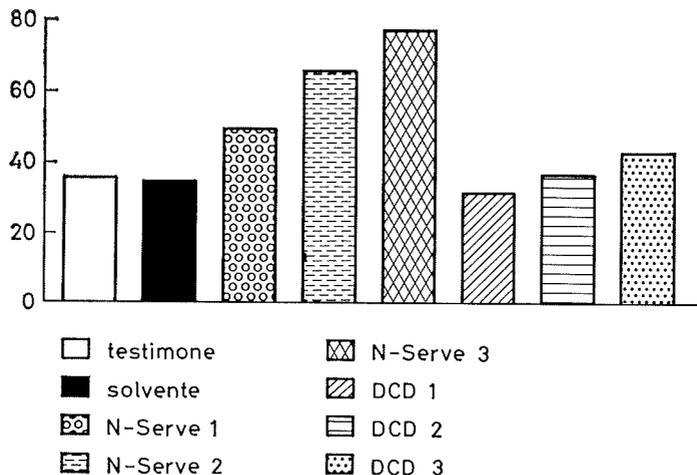


Figura 1 - Effetto degli inibitori sull'attività nitrato-reduttasica del frumento ($\mu\text{g N-NO}_2/\text{g p.f./h}$).

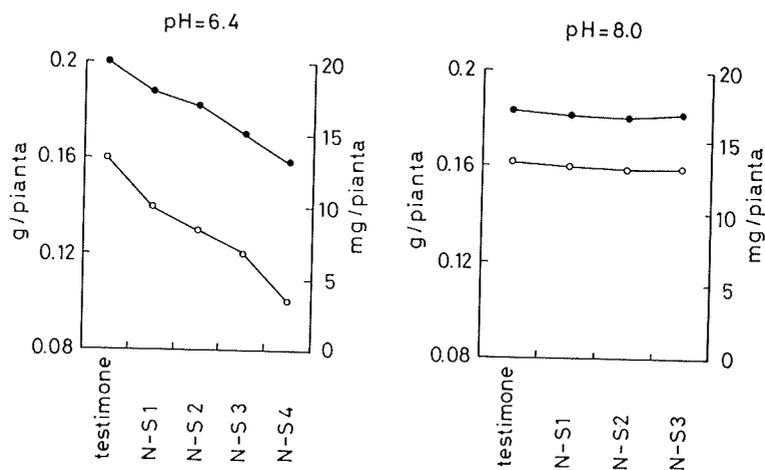


Figura 2 - Effetto di N-Serve sulla produzione di sostanza fresca e secca del frumento, in due condizioni di pH.

Poichè il range di concentrazione di N-Serve studiato è comparabile con dosi d'impiego agronomico (desi oscillanti tra 0.5 e 2 kg/ha di p.a. consentono di raggiungere concentrazioni massime nel suolo tra 0.8 e 3.2 ppm se tutto il p.a. rimane nei primi 5 cm), esse appaiono al limite della fitotossicità che, in condizioni particolarmente favorevoli, può evidenziarsi. Geronimo *et al.* (1972) avevano identificato in 20 ppm di p.a. la dose di N-Serve più alta che non induce riduzioni significative nel peso fresco del frumento allevato su terreno, rilevando un effetto fitotossico anche dell'acido 6-cloropicolinico, metabolita già presente nel suolo da 4 a 20 giorni dopo l'incorporazione di N-Serve (6).

La possibilità che la degradazione dell'inibitore non sia condizione sufficiente per una scomparsa dell'effetto fitotossico anche a carico della NRA, è stato studiato tramite una prova di incubazione, nella quale sono state parallelamente indagate NRA e accrescimento in peso fresco della parte epigea del frumento.

Dai dati ottenuti (Figure 3, 4) si osserva la rapida scomparsa di entrambi gli effetti che, nelle condizioni sperimentali adottate, risultano già attenuati dopo 10 giorni di incubazione.

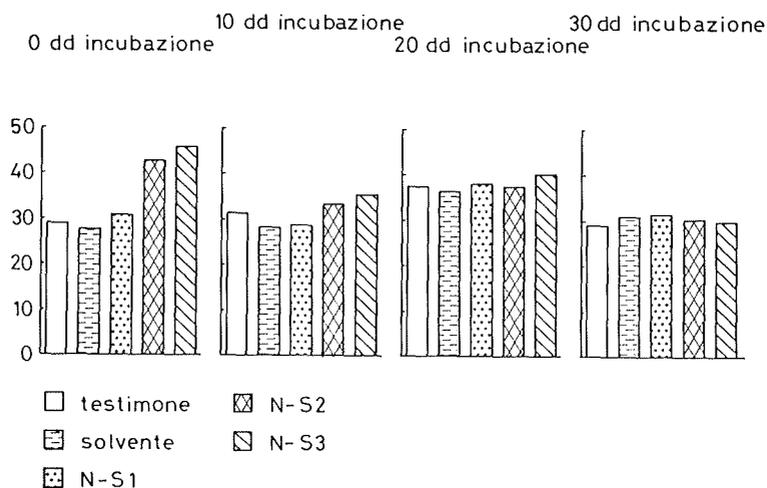


Figura 3 - Influenza del tempo di incubazione sull'effetto di N-Serve sulla attività nitrato-reduttasica del frumento ($\mu\text{g N-NO}_2/\text{g p.f./h}$).

Appare pertanto evidente come N-Serve sia in grado, già in dosi di impiego agronomiche, di alterare un processo chiave del metabolismo vegetale azotato, ma che tale effetto si evidenzia solo in caso di contatto diretto del principio attivo con il vegetale.

Ulteriori ricerche consentiranno di meglio definire meccanismi e conseguenze di tale effetto.

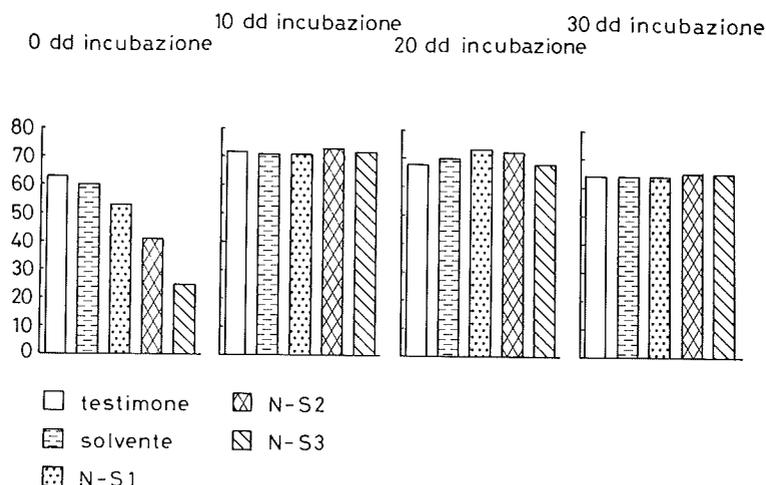


Figura 4 - Influenza del tempo di incubazione sull'effetto di N-Serve sull'accrescimento del frumento (mg/pianta p.f.).

BIBLIOGRAFIA

- (1) BRUNETTI N., HAGEMAN R. H. - Comparison of in vivo and in vitro assay of nitrate reductase in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Plant Physiol.* 58: 583, 1976.
- (2) GERONIMO J., SMITH L. L., STOCKDALE G. D., GORING C.A.I. - Comparative phytotoxicity of nitrapyrin and its principal metabolite, 6-chloropicolinic acid. *Agronomy J.* 65: 689, 1973.
- (3) IRSA - Metodi analitici per le acque. Roma, 1972.
- (4) NOTTON B. A., WATSON E. F., HEWITT E. J. - Effects of N-Serve (2-chloro-6-(trichloromethyl)pyridine) formulation on nitrification and on loss of nitrate in sand culture experiments. *Plant and Soil* 51: 1, 1979.
- (5) REDEMANN C. T., MEIKLE R. W., WIDOFSKY J. G. - The loss of 2-chloro-6-(trichloromethyl)pyridine from soil. *J. Agric. Food Chemistry*, 12: 207, 1964.
- (6) REDEMANN C. T., MARTIN R. T., WIEN J. D., WIDOFSKY J. G. - Tracer study of residues from 2-chloro-6-(trichloromethyl)pyridine in plants. *J. Agric. Food. Chemistry*, 13: 518, 1965.

Influenza degli acidi umici su produzione e stato nutritivo del pomodoro

ZACCHEO P. - GENEVINI P.L.

INTRODUZIONE

Già dai primi anni del secolo (1, 2, 3) è stata evidenziata l'importanza delle sostanze umiche sulla crescita dei vegetali ed in particolare di Lemnaceae. Numerosi studi, in seguito, hanno confermato gli effetti stimolanti la produzione di radici, steli e foglie di numerose specie vegetali (6, 7, 8).

Le sostanze umiche agiscono inoltre dal punto di vista nutrizionale sul metabolismo azotato (4) e sull'assorbimento ionico (5, 10).

Il presente studio, a carattere preliminare, intende saggiare l'effetto di acidi umici estratti da terreno sull'accrescimento e la nutrizione minerale di pomodoro.

MATERIALI E METODI

Origine acidi umici: terreno medio impasto

Estrazione: secondo Schnitzer, con risospensione del liofilizzato in NaOH 0.01 N e dialisi

Dosi saggate: 12.5, 25, 50 e 100 mg/l di soluzione nutritiva (Hoagland & Snyder pH 5.5)

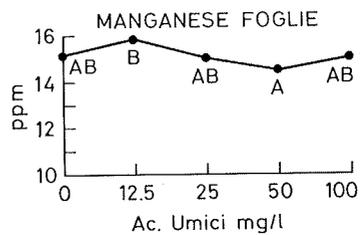
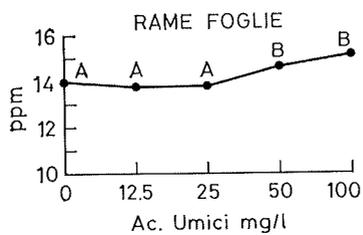
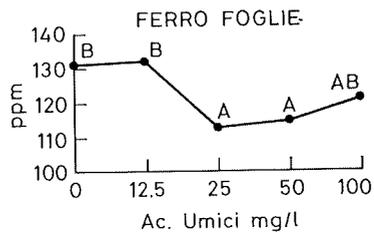
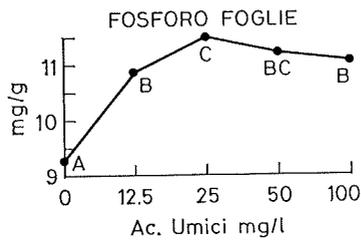
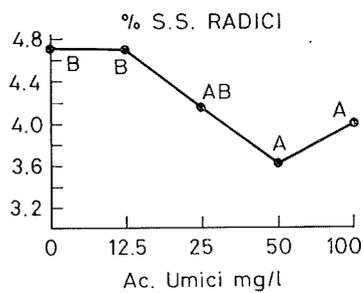
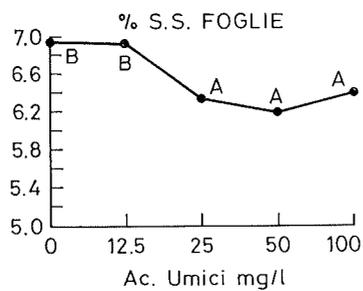
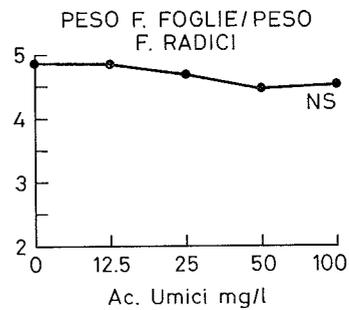
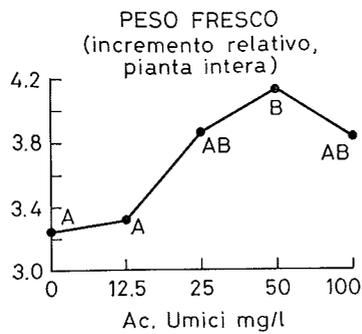
Pianta saggiata: *Lycopersicon esculentum* al 15° giorno dalla germinazione

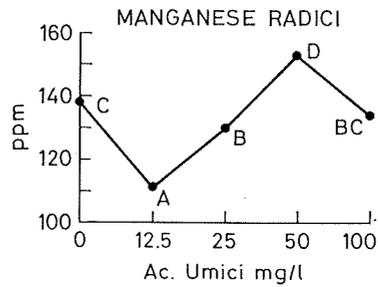
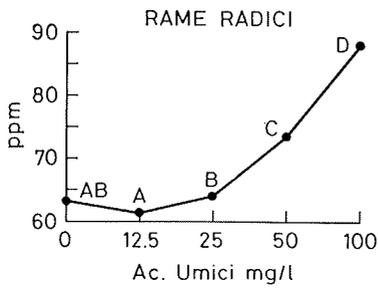
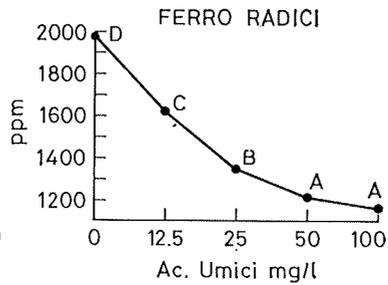
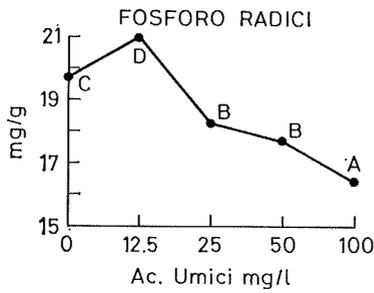
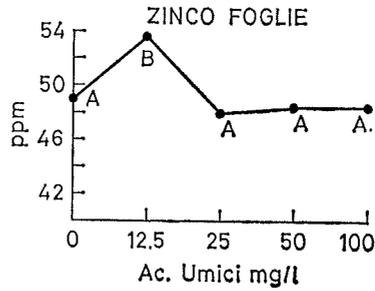
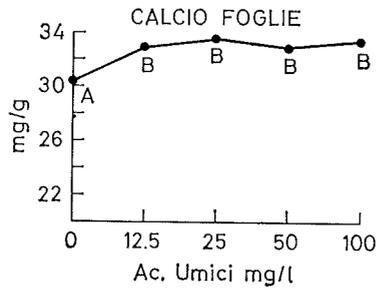
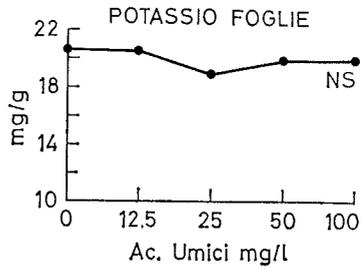
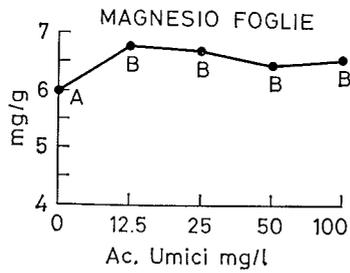
Durata sperimentazioni: 8 giorni con cambi della soluzione nutritiva ogni 48 h

RISULTATI E CONCLUSIONI

Nelle allegate figure sono schematizzati i risultati ottenuti.

Ai fini della produzione fresca, gli acidi umici, nell'ambito delle dosi saggate, inducono un incremento di crescita con un massimo in corrispon-

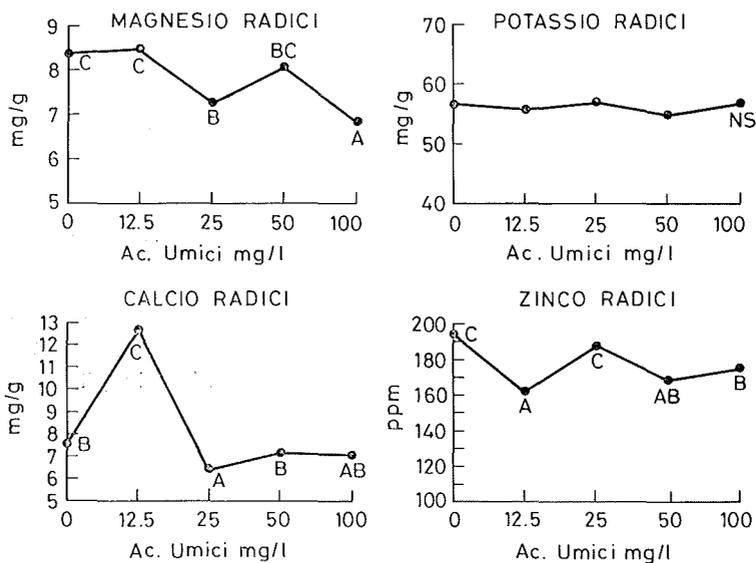




denza della dose di 50 mg/l; parallelamente, influenzano negativamente la percentuale di sostanza secca di parte aerea e radici.

Si può ipotizzare, coerentemente con la letteratura, un effetto di stimolo sull'assorbimento di acqua da parte delle radici, massimo alla dose di 50 mg/l.

Gli acidi umici stimolano la traslocazione di calcio e magnesio, con un effetto comune a tutte le dosi saggiate.



La concentrazione di ferro diminuisce progressivamente con le dosi, con un effetto che risulta più evidente nelle radici. Già Linehan (1978) ha riscontrato un effetto deprimente degli acidi umici, quando il ferro è presente come Fe-EDTA.

Nonostante la modesta quota di rame aggiunto con gli acidi umici, la concentrazione dell'elemento nelle radici risulta più che proporzionale, a conferma del concomitante assorbimento della molecola umica. La maggior traslocazione del rame è evidente solo alle dosi più elevate.

La traslocazione del fosforo risente favorevolmente della presenza degli acidi umici, seppur in modo indipendente dalle dosi, mentre l'assorbimento è inversamente proporzionale alle dosi impiegate.

Non si possono delineare, allo stato attuale della sperimentazione, comportamenti più definiti relativamente a manganese e zinco. Il potassio non sembra essere influenzato dai trattamenti.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BOTTOMLEY W. B. - The significance of certain food substances for plant growth. *Ann. Bot.* 28: 531, 1914.
- (2) BOTTOMLEY W. B. - Some effect of organic growth-promotion substances (auximones) on the growth of *Lemna minor* in mineral culture solution. *Proc. Royal Soc. Series B* 89: 491, 1917.
- (3) BOTTOMLEY W. B. - The effect of organic matter on the growth of various plants in culture solutions. *Ann. Bot.* 34: 353, 1920.
- (4) CHAMINADE R. - The effect of humified organic matter on the efficiency of nitrogen. *Annales Agronomique* 9: 167, 1958.
- (5) DELL'AGNOLA G., FERRARI G. - Effect of humic acids on anion uptake by excised barley roots. *Humus et Planta*, V, 567, 1971.
- (6) FLAIG W., SAALBACH E. - Humic acids. The effect on the root growth of spring wheat of thymohydroquinone as a model substance of pre humic acid or decomposition products of humic acid. *Zeitschrift Pflanzenernahrung Dungung Bodenkunde* 71: 208, 1955.
- (7) KONONOVA M. M., D'YIACONOVA K. V. - Soil organic matter and aspects of plant nutrition. *Soviet Soil Science*, 229, 1960.
- (8) KONONOVA M. M., PANKOVA N. A. - The action of the humic substances on the growth and development of plants. *Doklady Akademii Nonk SSSR* 73: 1069, 1950.
- (9) LINEHAN D. J. - Humic acids ion uptake by plants. *Plant and Soil* 50: 663, 1978.
- (10) MYLONAS W. A., Mc CANTS C. B. - Effect of humic and fulvic acids on growth of tobacco. 2. Tobacco growth and ion uptake. *J. Plant Nutrition* 2: 377, 1980.
- (11) SCHNITZER M. - Organic matter characterization in: Page A.L. ed. *Methods of Soil Analysis*, ASA, Madison, USA, 1982.

Bilancio del fertilizzante azotato in una coltura a grano

CIARDI C. *, NANNIPIERI P. **, TODERI G. *** e GIORDANI G. ***

Si è studiato il comportamento del fertilizzante ureico in una coltura a grano facente parte di una rotazione biennale mais-grano. Allo scopo di discriminare il comportamento del fertilizzante azotato da quello dell'azoto del terreno si è impiegata urea arricchita in ^{15}N .

Le tecniche impiegate sono quelle riportate in un lavoro precedente (1).

Sono state valutate due varietà di grano tenero (Chiarano e Resistente) ed abbiamo considerato quattro parcelle che si differenziavano per il trattamento di concimazione subito negli anni precedenti: un controllo (T) nel quale il terreno non era stato mai fertilizzato; un trattamento con solo letame (L_2); un trattamento a base di fertilizzanti inorganici azotati e fosfatici (M_2); un trattamento con letame e fertilizzanti inorganici ($L_2 M_2$). Queste parcelle, tutte fertilizzate in due dosi con urea arricchita in ^{15}N all'inizio del 1985, fanno parte di un esperimento a lungo termine iniziato nel 1967 e condotto presso l'Azienda Sperimentale della Facoltà di Agraria di Bologna a Cadriano (BO).

La quantità percentuale di azoto ureico assorbito dalla granella è variato dal 24 al 50% del totale aggiunto, con valori più elevati per le parcelle che erano state concimate precedentemente con letame (Figura 1). Valori minori (dall'8 al 18% del totale aggiunto) sono stati osservati nella paglia (Figura 2) e nelle radici le cui percentuali di fertilizzante azotato ritrovate sono bassissime risultando in genere più basse dell'1% (Tabella 1).

Sommando la quantità di fertilizzante azotato residuo nel terreno (strato 0-40 cm) alle quantità riscontrate nella granella e nella paglia, si raggiunge, in media, il totale aggiunto al terreno; per tale motivo, le perdite di azoto in questi terreni ed in questo tipo di coltura sono trascurabili.

Lavoro eseguito con un contributo del C.N.R. nell'ambito del P.F. IPRA Sottoprogetto 1.

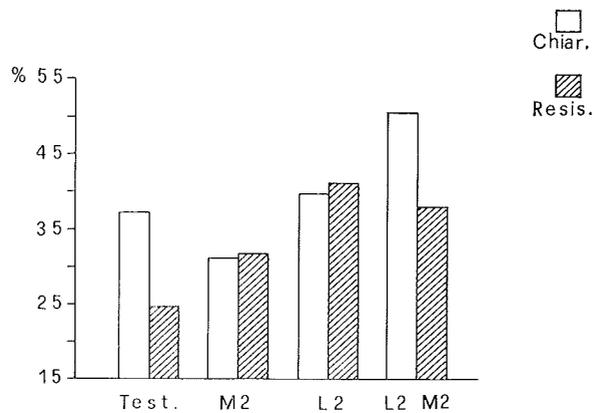


Figura 1 - Percentuale di fertilizzante nella granella

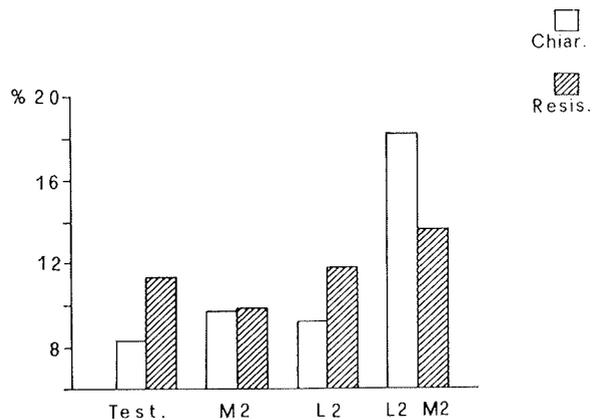


Figura 2 - Percentuale di fertilizzante nella paglia.

TABELLA 1 - Percentuale di fertilizzante nelle radici.

Varietà di grano tenero	Strati	Testimone	M ₂	L ₂	L ₂ M ₂
Chiarano	0-20	0,93	1,06	0,61	1,45
	20-40	0,29	0,32	0,21	0,38
Resistente	0-20	0,91	0,92	0,30	1,26
	20-40	0,27	0,07	0,11	0,14

BIBLIOGRAFIA

- (1) NANNIPIERI P., CIARDI C. e PALAZZI T. - Plant uptake, microbial immobilization and residual soil fertilizer of urea-nitrogen in a grass-legume association. *Soil Sci. Am. J.* 49: 452, 1985.

Determinazione dell'acido indolacetico nella rizosfera
di piante di *Zea mais* a diverso tenore idrico

GALLI E. - GRAPPELLI A. - MASSACCI A. - TOMATI U.

Le sostanze regolatrici di crescita giocano un ruolo essenziale nello sviluppo della pianta. Tali composti, presenti nella rizosfera come prodotti del metabolismo secondario microbico, influenzano l'uptake degli ioni e, di conseguenza, la nutrizione minerale delle piante (1).

La loro determinazione riveste quindi un carattere di primaria importanza per la conoscenza dei meccanismi che possono influenzare l'assorbimento dei nutrienti. In particolare, la presenza di auxine è stata fino ad oggi valutata più come attività potenziale (viene infatti determinata incubando il campione di suolo con un precursore, il triptofano, e dosando successivamente l'acido indolacetico prodotto) che come reale presenza nel suolo, data la difficoltà legata al dosaggio di piccole quantità (2, 3).

La messa a punto di una metodica, basata sulla separazione in HPLC in fase inversa e rivelazione per fluorescenza (4), ha permesso di dosare l'acido indolacetico direttamente nei campioni di suolo rizosferico.

L'esperienza è stata condotta su piante di mais in diverso tenore idrico ($Y = -0.3 \div -1.8$ MPa). Un confronto tra le quantità effettivamente presenti nel suolo rizosferico (comprese tra 0.04 e 1.6 ng/g suolo p.s.) e quelle prodotte dopo incubazione con triptofano (comprese tra 1300 e 2500 ng/g suolo p.s.), mettono in evidenza che, durante lo stress, si ha una drastica diminuzione dell'acido indolacetico presente, pur permanendo alta la possibilità di biosintesi microbica.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BROWN M. E. - Rhizosphere micro-organisms - Opportunists, bandits or benefactors. In: Walker N. (ed.) Soil microbiology. Butterworths, London, Boston, 21, 1975.

- (2) GRAPPELLI A., GIOVANNOZZI-SERMANNI G., PIETROSANTI W. - Determinazioni spettrofluorimetriche di sostanze fito-ormonali prodotte da un *Arthrobacter*. Atti del XVI Congresso Nazionale di Microbiologia 2: 269, 1972.
- (3) ROSSI W., GRAPPELLI A., PIETROSANTI W. - Phytohormones in soil after Atrazine application. Folia Microbiol. 29: 325, 1984.
- (4) WURST M., PRIKRYL Z., VOKOUN J. - High-Performance Liquid Chromatography of Plant Hormones II. Determination of plant hormones of the indole type. J. of Chromatogr. 286: 237, 1984.

UFFICIO AGRONOMICO ITALKALI IN COLLABORAZIONE CON:
ISTITUTO SPERIMENTALE PER LA RISICOLTURA (M.A.F.) - VERCELLI
ISTITUTO SUPERIORE LATTIERO CASEARIO (REGIONALE) - MANTOVA
ISTITUTO AGRARIO SPERIMENTALE (PROVINCIALE)
S. MICHELE ALL'ADIGE (TRENTO)

Primi risultati di alcune sperimentazioni, sull'effetto della
concimazione potassica e magnesica per alcune colture,
in ambiente nord italiano

PREMESSA

I risultati presentati dall'Ufficio Agronomico della Italkali, si riferiscono ad alcune prove sperimentali organizzate in collaborazione coi tre Istituti sopracitati nell'intento di fornire un'informazione sempre più aggiornata e documentata sul ruolo del potassio e del magnesio nella nutrizione delle principali colture agricole.

Sono per lo più ricerche in fase iniziale (al 2° anno dei 5-7 previsti) e pertanto, sono stati evidenziati le metodologie sperimentali ed i fini che si intendono raggiungere.

Effetto di diverse dosi e forme di potassio e magnesio sulle caratteristiche produttive del riso

Coordinatore: prof. SALVATORE RUSSO

INTRODUZIONE

Come noto, in pianura padana il riso viene coltivato in terreni sommersi per gran parte del ciclo produttivo. Pur con lo sforzo di limitarne la permeabilità, questi suoli (soprattutto i più leggeri) sono interessati da forte lisciviazione della componente organica, dell'azoto e dei principali minerali alcalini (potassio, calcio, magnesio). Inoltre, ci sono rischi di denitrificazione e retrogradazione a causa dell'ambiente anaerobico che vi si instaura.

Il risicoltore deve quindi annualmente fornire le quantità di elementi minerali asportabili dalla coltura addizionati di un quantitativo non ben identificato legato alle perdite ed alle carenze nel terreno.

Al fine di contribuire alla maggiore conoscenza del ruolo del K e Mg sulla nutrizione in risaia e stabilirne il livello approssimativo di sufficienza nel suolo, nel 1986 han preso avvio 2 campi sperimentali in zona classica di coltivazione ed in aziende a monocoltura risicola, per la durata prevista di 5 anni.

Protocollo sperimentale.

- Campo 1 (Vercelli): confronto fra 3 dosi di K_2O da solfato (0-150-300 kg/ha) e 3 dosi identiche di K_2O da cloruro.
- Campo 2 (Pavia) : interazione fra 3 dosi di K_2O (0-150-300 kg/ha) con o senza magnesio (0-90 kg/ha).

Schema sperimentale: a blocchi randomizzati con 4 replicazioni.

RISULTATI E CONSLUSIONI

Trovandoci, come detto, al 1° anno non si sono naturalmente notate grosse differenze fra le varie tesi e nell'ambito dei 2 campi sperimentali (vedi Tabelle 1 e 2).

TABELLA 1 - Interazioni tipi di fertilizzanti · dosi/ha: riso.

Dosi/ha di K ₂ O	Caratteri		Altezza pianta cm	N. culmi fertili/m ²	Produzione paglia al 14% umidità q/ha	Rapporto granella paglia
		Produzione granella al 14% umidità q/ha				
0	KCl	56.36	110.9 b	390.5	75.58	0.78
0	K ₂ SO ₄	58.71	115.4 ab	374.5	77.31	0.76
150	KCl	63.64	113.6 ab	379.5	75.95	0.88
150	K ₂ SO ₄	62.26	113.8 ab	399.3	78.14	0.83
300	KCl	60.20	118.6 a	394.8	96.01	0.64
300	K ₂ SO ₄	56.48	109.6 b	341.5	75.54	0.77

TABELLA 2 - Prova di concimazione potassica e magnesiacca: riso - Anno 1986.

Dosi/ha di K ₂ O e MgO	Caratteri		Ciclo semina maturazione gg	Altezza pianta cm	N. culmi fertili/m ²	Allettamento
		Produzione granella al 14% umidità q/ha				
0	0	79.09	148.8	115.5	364.5	32.6
0	90	75.84	149.5	115.4	377.3	21.3
150	0	77.41	147.8	113.4	341.8	36.3
150	90	73.68	149.0	117.7	352.5	11.3
300	0	77.15	149.0	117.7	387.3	30.0
300	90	73.52	148.3	117.1	376.0	24.5

Nel 1° campo (Vercelli) si è evidenziata una taglia più elevata per le dosi 1 e 2 di K₂O, quindi più paglia e minore rapporto granella/paglia rispetto alle tesi con dosi minori.

Anche se non in modo significativo si sono inoltre notate, per le dosi più elevate di K₂O, una maggiore resa alla lavorazione industriale in grani interi ed una minore incidenza degli attacchi di *Elmintosporium*.

Effetti di diverse dosi di K_2O ed MgO sulla produzione dell'erba medica, soia e mais in Pianura Padana

Coordinatore: prof. TOMMASO MAGGIORE

INTRODUZIONE

Com'è noto, nell'ultimo decennio la realtà agricola della pianura padana, ha subito forti trasformazioni. In particolare, nelle aziende di maggiori dimensioni è andata riducendosi la zootecnica e quindi le colture cerealicole (mais, orzo, grano) e foraggere (erba medica e prato polifita) a vantaggio di colture agroindustriali quali bietola, pomodoro, soia, ecc.

Questo comporta un notevole cambiamento di impostazione dei fattori produttivi ed in particolare della concimazione.

Infatti, le abbondanti letamazioni e gli spargimenti di liquami, tipici dell'azienda zootecnica, sono praticamente scomparsi e, fatta eccezione per alcuni residui colturali (paglia, stocchi, foglie) non viene più apportata sostanza organica in gran parte dei suoli.

Inoltre, pur a conoscenza dei positivi risultati conseguibili dalle minime lavorazioni o non lavorazioni, si continua a lavorare frequentemente il terreno e a notevole profondità, spesso delegando i contoterzisti che impiegano macchine e attrezzi molto pesanti.

Cosicchè, come ha ben accertato l'Istituto Superiore Lattiero Caseario di Mantova nelle numerosissime indagini promosse dalla Provincia e dalla Regione Lombardia e miranti alla compilazione della carta dei suoli, si sta assistendo ad una rapida diminuzione della fertilità naturale dei terreni, anche in quelli più argillosi ritenuti da sempre molto ricchi dei vari elementi minerali e quindi da concimare poco.

Per questo, l'Ufficio Agronomico dell'Italkali ha ritenuto importante promuovere una serie di sperimentazioni, in collaborazione con questo Istituto, allo scopo di migliorare la conoscenza sull'effetto delle concimazioni potassiche e magnesiache sulla produzione di alcune piante erbacee inserite in 3 rotazioni tipiche.

Rotazioni considerate : medica-mais-grano
 mais-grano-bietola-soia
 soia-mais

Protocollo sperimentale: Anno 1986

a) *Erba medica* (1° anno): Confronto fra 6 dosi in K₂O pari a 0 (A), 50% (B), 100% (C), 150% (D), 200% (E), 250% (F) dello asportato (kg 900 di K₂O/ha nei 3 anni di vita).

TABELLA 1 - Caratteristiche del terreno

Analisi fisico meccaniche e chimiche							
Sabbia	Limo	Argilla	pH	Sostanza Organica	CaCO ₃ Att.	P ₂ O ₅ Ass.	K ₂ O Ass.
48	30	22	8	2,2	2%	60 p.p.m.	134 p.p.m.

TABELLA 2 - Primi risultati: erba medica - Anno 1986.

Tesi	Produzione q/ha s.s.					
	1° Sfalcio	2° Sfalcio	3° Sfalcio	4° Sfalcio	5° Sfalcio	Totale q/ha s.s.
A	29.0	34.2	21.1	26.4	10.5	131.2
B	36.7	37.2	30.5	28.8	11.8	145.0
C	37.7	38.2	31.5	29.6	12.0	149.0
D	37.3	37.3	33.0	27.6	12.8	148.0
E	35.9	38.2	31.7	30.7	12.6	149.1
F	36.2	36.5	35.0	30.1	12.6	150.4
				Media		145.4
Differenza minima significativa (D.M.S.)						8.9

Notoriamente la medica è ritenuta una pianta potassofila e che raggiunge le produzioni più elevate nei terreni ricchi di potassio. Nei terreni più leggeri od in quelli argillosi non concimati da tempo, è necessario quindi l'apporto di forti dosi di K₂O alle quali risponde perfettamente sin dal primo anno d'impianto, come ben evidenziato in tabella.

b) *Soia*: Confronto fra 4 dosi di K_2O/ha (0, 150, 300, 450) combinate con 3 epoche di distribuzione (100% all'aratura, 50% all'aratura e 50% in copertura, 100% in copertura).

TABELLA 3 - Caratteristiche del terreno

Analisi fisico-meccaniche e chimiche						
Sabbia	Limo	Argilla	pH	Sostanza Organica	P_2O_5 Ass. ppm	K_2O Ass. ppm
40	40	20	7,9	2,9	61	120

TABELLA 4 - Prova concimazione potassica: soia - Anno 1986.

Produzione granella 14% U.				Produzione granella 14% U.				
Tesi	K_2O	kg/ha	Medie	Tesi	K_2O	kg/ha	Medie	
1	I	0	55,0	7	IC	300	56,0	
2	I	150	55,2	8	IC	450	57,9	
3	I	300	59,4	9	C	0	56,5	
4	I	450	56,1	10	C	150	54,1	
5	IC	0	52,3	11	C	300	59,0	
6	IC	150	56,0	12	C	450	54,1	
Media				Media				55,9

I = distribuzione 100% all'aratura

IC = distribuzione 50% all'aratura e 50% in copertura

C = distribuzione 100% in copertura

Alla rapidissima estensione della coltivazione della soia in Italia, non è corrisposto uno studio approfondito sulle sue esigenze nutrizionali, potassiche in particolare.

Dalla bibliografia americana risulta tuttavia un positivo effetto del K sulle rese in granella e anche nel campo in oggetto si è subito evidenziata una discreta risposta, in particolare se si considera l'attuale prezzo per quintale di seme.

c) *Mais a raccolta integrale*: n. 2 campi sperimentali (A e B).

Campo A: Confronto fra 6 dosi di K₂O pari a 0,50%, 100%, 200%, 300%, 400% dell'asportato (kg 210 di K₂O/ha)

Campo B: Confronto fra 6 dosi di K₂O + 6 dosi di MgO pari a kg/ha
0+0, 105+28, 210+56, 420+112, 840+224.

TABELLA 5 - Caratteristiche del terreno (Campo A).

Analisi fisico-meccaniche e chimiche							
Sabbia	Limo	Argilla	pH	Sostanza Organica	CaCO ₃ Att.	P ₂ O ₅ Ass.	K ₂ O Ass.
24	46	30	7,9	2,1%	2,4	19 ppm	135 ppm

TABELLA 6 - Primi risultati: mais - Anno 1986.

Tesi	K ₂ O kg/ha	Produzione s.s. q/ha
A	0	244,0
B	105	237,6
C	210	247,9
D	420	249,2
E	630	245,8
F	840	260,5
Media	—	247,5

TABELLA 7 - Caratteristiche del terreno (Campo B).

Analisi fisico-meccaniche e chimiche							
Sabbia	Limo	Argilla	pH	Sostanza organica	P ₂ O ₅ Ass.	K ₂ O Ass.	Mg scambiabile
43	33	24	8	1,7%	28 ppm	94 ppm	220 ppm

TABELLA 8 - Prova concimazione potassica e potassica-magnesiaca per mais a raccolta integrale - 1986.

Produzione q/ha s.s.			Produzione q/ha s.s.		
Tesi	K ₂ O kg/ha	Medie	Tesi	K ₂ O + MgO kg/ha	Medie
A ₀	0	246,5	A ₁	0 + 0	244,4
B ₀	105	256,8	B ₁	105 + 28	250,9
C ₀	210	255,1	C ₁	210 + 56	253,5
D ₀	420	267,0	D ₁	420 + 112	249,3
E ₀	630	249,5	E ₁	630 + 168	253,3
F ₀	840	258,5	F ₁	840 + 224	259,7
	Media	255,5		Media	250,8

E' noto che quando il mais viene utilizzato integralmente per la produzione di insilato le esigenze nutritive sono molte elevate, specialmente in azoto e potassio.

Le risposte produttive a diverse dosi di K₂O e MgO (vedi Tabella 5) non sono però così evidenti; tuttavia esse incoraggiano a proseguire, sia per la fase iniziale della sperimentazione che per i risultati molto più evidenti ottenuti sempre dall'Istituto Superiore Lattiero Caseario in un campo sperimentale analogo ed a partire solamente dal 4° anno di prova.

Effetti di diverse dosi di K_2O ed MgO al terreno e alle foglie
sulla produzione viticola, con particolare riguardo alla
prevenzione e terapia del disseccamento del rachide

Coordinatore prof. ATTILIO SCIENZA

INTRODUZIONE

Nell'ultimo ventennio la viticoltura, dai terreni più poveri, siccitosi e soprattutto collinari, è scivolata anche in zone pianeggianti, con suoli fertili e freschi.

Si sono inoltre diffusi vitigni e portinnesti vigorosi, con basse fittezze d'impianto e forme di allevamento molto espanse. Contemporaneamente si è diffusa la pratica dell'irrigazione e quindi è derivato un modello di viticoltura « forzato » alla ricerca della quantità produttiva.

Riguardo le concimazioni, sono aumentati gli apporti di N, P, K, si sono ridotte le letamazioni e quasi mai sono state considerate le reali esigenze del terreno e della vite.

Per questo, sempre più si manifestano problemi di carenze nutrizionali (sia macro che microelementi) e soprattutto inconvenienti legati ad un rapporto squilibrato fra i vari minerali, cationi in particolare.

L'esempio più eclatante è rappresentato dal disseccamento del rachide, una fisiopatia che si manifesta in estate, principalmente su alcune varietà (Cabernet Sauvignon, Montepulciano, Albana, Trebbiani, ecc.) e causa l'appassimento ed il successivo disseccamento di parti del grappolo. Esso dipende da numerosi fattori, ma il più importante è legato allo squilibrio nel rapporto

$$\frac{Ca + Mg}{K}$$

Considerando che i suoli vitati italiani sono normalmente ricchi di calcio, il problema è legato ad eccessi di potassio o più frequentemente a carenza di magnesio nel suolo e particolarmente nella pianta.

Per meglio comprendere questo aspetto, in collaborazione con l'Istituto Agrario di S. Michele, l'Italkali ha promosso una sperimentazione poliennale in un vigneto di Cabernet Sauvignon, secondo gli schemi sotto riportati.

Protocollo sperimentale:

- a) Confronto fra 3 dosi di K_2O (0, 100, 200 kg/ha) al terreno, combinate con 3 dosi di MgO (0, 100, 200 kg/ha) sempre al terreno.
- b) Confronto fra 3 dosi di K_2O (0, 100, 200 kg/ha) al terreno, combinate con 3 dosi di MgO (7,5; 15; 22,5 kg/ha) alle foglie.
- c) Confronto fra 3 dosi di MgO al terreno (0, 100, 200 kg/ha) combinate con 3 dosi di MgO alle foglie (7,5; 15; 22,5 kg/ha).

Schema sperimentale: a blocchi randomizzati con 3 replicazioni.

PRIMI RISULTATI

I primi risultati sopra indicati mostrano, anche se non in modo sempre significativo, la tendenza alla riduzione dei danni da disseccamento del rachide con l'apporto di solfato di magnesio al terreno e particolarmente alle foglie. Viceversa, a dosi crescenti di potassio corrisponde un aumento del danno.

TABELLA 1 - 1987 Composizione fogliare (M all'allegazione ed invaiatura)

kg K_2O al terreno	K%	Ca%	Mg%
0	0,875	2,333	0,273
100	0,958	2,066	0,266
200	0,833	2,500	0,276
kg MgO al terreno			
0	0,916	2,000	0,280
100	0,875	2,133	0,256
200	0,833	2,333	0,336

Lo studio in oggetto consentirà di valutare anche l'effetto delle varie dosi di K_2O ed MgO sulla qualità del vino ottenuto, tramite microvinificazioni previste per tutta la durata della prova.

I lavori qui esposti, seppur molto sintetizzati, vogliono anzitutto evidenziare come l'Italkali sta concretamente adoperandosi per la migliore conoscenza dei ruoli del potassio e magnesio nella nutrizione delle piante coltivate. Il programma tenderà in futuro ad ampliarsi, in particolare quando gran parte

TABELLA 2 - Valori di BH (% disseccamento del rachide) in rapporto alle varie dosi di K₂O ed MgO al terreno (kg/ha).

MgO \ K ₂ O	K ₂ O		
	0	100	200
0	25,2	20,9	32,0
100	20,6	12,0	19,6
200	12,8	26,8	15,1

TABELLA 3 - Effetto dei trattamenti fogliari (kg/ha 7,5 di MgO) sull'incidenza del disseccamento del rachide (BH%).

N. trattamenti	BH %
1	12,36
2	5,06
3	15,90

di esso confluirà nell'attività del costituendo « Centro Italiano per l'applicazione del potassio in agricoltura »; un centro tecnico scientifico organizzato anche col contributo dei principali produttori di potassio europei e medio orientali e strettamente legato all'Istituto Internazionale della Potassa, il quale da un trentennio è impegnato a livello mondiale per l'ottimizzazione della fertilizzazione del suolo e la nutrizione delle piante.

La carenza di manganese in piante di agrumi:

I: Aspetti nutrizionali

FISICHELLA G. - TROPEA M. - LONGO A. - BELLIGNO A.

Considerata l'importanza del manganese per l'accrescimento vegetale e tenuto conto che nell'ambiente pedoclimatico della Sicilia orientale sono frequenti stati carenziali dell'oligoelemento, talvolta anche associati ad altri microelementi, è stato condotto uno studio sullo stato nutrizionale in piante di dieci agrumeti caratterizzati da manifesta carenza di manganese in confronto ad altrettanti agrumeti con piante in buono stato nutrizionale.

I risultati delle analisi fogliari elaborati statisticamente hanno consentito di sottolineare alcune interazioni fra macro- e microelementi che si instaurano nelle piante manganese-carenti. La carenza di manganese infatti ha condizionato lo stato nutrizionale delle piante, determinando fenomeni di antagonismo e sinergismo, sia al livello fogliare che radicale. Così a livello fogliare è stato riscontrato un accumulo di azoto, di potassio e di magnesio e un decremento del fosforo e del calcio. Variazioni notevoli sono state anche riscontrate a carico degli oligoelementi con accumuli notevoli di ferro e in minor misura di rame.

A livello radicale, invece fra i macroelementi soltanto il calcio ha mostrato significativi decrementi, mentre notevoli incrementi sono stati riscontrati per tutti i microelementi considerati. Imprevisto quanto inatteso si è rilevato l'accumulo di manganese nelle radici delle piante con marcati sintomi di clorosi, accumulo che è risultato addirittura maggiore di quello riscontrato nelle piante in buon stato di nutrizione. Si potrebbe pertanto presumere che lo stato carenziale di manganese nelle foglie non sia stato dovuto ad una sua effettiva deficienza nei terreni, peraltro di natura vulcanica, privi di calcare e con pH non molto elevato, quanto ad una sua mancata traslocazione alle foglie probabilmente dovuta alla formazione di complessi del manganese operata da composti organici non mobili a livello radicale.

Questi primi risultati impongono la necessità di proseguire ed estendere le ricerche nei terreni della fascia costiera della Sicilia orientale interessati alla carenza di manganese.

BIBLIOGRAFIA

- (1) AMBERGER A. - Die Rolle des Mangans im Stoffwechsel der Pflanzen. Atti IX Simp. Intern. Agrochimica, Punta Ala, 2-6 ottobre, 1972.
- (2) AMESZ J. - The role of manganese in photosynthetic oxygen evolution. *Biochim. Biophys. Acta*, 726: 1, 1983.
- (3) ASHER C.J., SMITH G.S., CLARK C.J. and BROWN N.S. - Manganese deficiency of kiwifruit (*Actinidia Chinensis* Planch.). *J. Plant Nutr.*, 7: 1497, 1984.
- (4) AVERNA V. - Lezioni di Chimica Vegetale. Ed. Ragno, Palermo, 1984.
- (5) BAROCCIO A. - Interazioni ed antagonismi nella nutrizione vegetale. *Italia Agricola* 99: 1235, 1962.
- (6) BINGHMAN F.T. - Relations between phosphorus and micronutrients in plants. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 389, 1963.
- (7) BOTTINI E. - Gli elementi micronutritivi dei terreni italiani. Nota I. Il terreno e la pianta di fronte ai principali elementi micronutritivi. *Ann. Sper. Agr. N.S. VIII*: 519, 1954.
- (8) BOTTRIL D.E., POSSINGHAM J.V. and KRIEDEMANN P.E. - The effect of nutrient deficiencies on photosynthesis and respiration in spinach. *Plant and Soil* 32: 424, 1970.
- (9) BREMNER J.M. and KNIGHT A.H. - The complexes of zinc, copper and manganese present in ryegrass. *Brit. J. Nutr.* 24: 279, 1970.
- (10) CICCARONE A. - I microelementi in patologia vegetale. Atti IX Simp. Intern. Agrochimica, Punta Alta, 2-6 ottobre, 1972.
- (11) CHUDE V.O. and OBIGBESAN G.O. - Effect of zinc application on the dry matter yield, uptake and distribution of zinc and other micronutrients in cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Communication Soil Sci. Plant Analysis* 14: 989 1983.
- (12) CLARK R.B., PIER P.A., KNUDSEN D. and MARANVILLE J.W. - Effect of trace elements deficiencies and excesses on mineral nutrients in sorghum. *J. Plant Nutr.* 3: 357, 1981.
- (13) COMAS J.O. - Microelements das les citrus. *Fert. Agr.* 88: 43, 1984.
- (14) DI GIORGI M.C. - La dinamica degli elementi micronutritivi nel terreno agrario e il problema della microconcimazione. *Concimi e Concimazione* 4: 3, 1964.
- (15) EL-GHARABLY G.A. and EL-RAZEK M.A. - Responses of snapbeans to application of P and Fe in calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 5: 721, 1982.
- (16) FAGERIA N.K. - Ionic interactions in rice plants from dilute solutions. *Plant and Soil* 70: 309, 1983.
- (17) FICHERA P. - Considerazioni sul ruolo del potassio nel metabolismo dei vegetali. *Italia Agricola* 100: 1226, 1963.
- (18) FICHERA P. - La clorosi ferrica da calcare nei terreni agrumetati della Sicilia Orientale. II. Aspetti nutrizionali. *Agrochimica*, XVII: 522, 1968.
- (19) FUJIWARA A. and IIDA S. - Biochemical and nutritional studies on potassium. I. Effects of potassium on the respiration of higher plants. II. Potassium in relation to the carbohydrate metabolism of higher plants. *Tohoku J. Agr. Research* 6: 57, 1955.
- (20) GIOVANNINI E. - La nutrizione minerale della pianta e l'igiene degli animali. XIII Congresso della Salute, Ferrara, 21-22 maggio, 1966.
- (21) HAEDER H.E. and MENGEL K. - (G) The absorption of potassium and sodium in dependence on the nitrogen nutrition level of the plant. *Landw. Forsch.* 23/I. Sonderh., 53, 1969.
- (22) HARMSEN K. and VLEK P.L.G. - The chemistry of micronutrients in soil. *Fert. Research*, 7: 1, 1985.

- (23) HEFNAN D. P. and CAMPBELL L. C. - Manganese and iron interaction on their uptake and distribution soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Plant Soil* 70: 317, 1983.
- (24) HODGSON J. F. - Chemistry of the micronutrient elements in soils. *Advanc. Agron.* 15: 119, 1963.
- (25) JONES J. P. and FOX R. L. - Phosphorus nutrition of plants influenced by manganese and aluminum uptake from an oxisol. *Soil Sci.* 126: 230, 1978.
- (26) LERER M. and BAR-AKIVA A. - Nitrogen constituents in manganese-deficient lemon leaves. *Physiologia Plantarum*, 38: 13, 1976.
- (27) LOHNIS M. P. - Effect of magnesium and calcium supply on the uptake of manganese by various crop plants. *Plant and Soil* 12: 339, 1960.
- (28) LOUE' A. - Importance de l'interaction azote x potassium dans l'appréciation de la réponse a la potasse. *C.R. Acad. Agric. France*, 721, 1979.
- (29) LOUE' A. - Les teneurs critiques en potassium dans les diagnostics de nutrition de plantes de grande culture. V° Colloquio Internazionale sul controllo della nutrizione delle piante coltivate, 363, 25-30 agosto, 1980
- (30) LUNDEGARDH H. - *Plant Physiology*. Oliver and Boyd, Edimburg and London, 1966.
- (31) MAAS E. V. - Calcium uptake by excised maize roots and interactions with alkali cations. *Plant Physiol.* 44: 985, 1969.
- (32) MALOUORI A. - Fertilizzanti chimici e interazioni di elementi nutritivi. V° Congresso Mondiale dei Concimi Chimici, Zurigo, 4-6 maggio, 1964.
- (33) MENGEL K. and KIRKBY E. A. - Principles of plant nutrition. Intern. Potash Inst. Berne, Switzerland, 1978.
- (34) MESDAG J. and BALKEMA-BOOMSTRA A. G. - Varietal differences for reaction to high soil acidity and to trace elements; a survey of research in The Netherlands. *Fert. Research*, 5: 213, 1984.
- (35) MOORE D. P. - Mechanisms of micronutrient uptake by plantes. In: « Micronutrient in Agric », *Soil Sci. Soc. Am. Inc. Madison, Wisconsin*, 1972.
- (36) MORAGHAN J. T. and FREEMAN T. J. - Influence of Fe-EDDHA on growth and Manganese accumulation in flax. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 455, 1978.
- (37) MURPHY L. S., ELLIS R., ADRIANO Jr and D. C. - Phosphorus-micronutrient interaction effects on crop production. *J. Plant Nutr.* 3: 593, 1981.
- (38) NAVARRO S., GARCIA A L. and SANCHEZ-ROJAS J. - Fracciones proteicas en hojas de citrus normales y afectadas de deficiencias de hierro y manganeso. *Gent*, 1, 6, september, 1986.
- (39) OHKI K. - Mn and B effects on micronutrients and P in cotton. *Agron. J.* 67: 204, 1975.
- (40) OHKI K. - Manganese deficiency and toxicity levels for « Bragg » soybeans. *Agron. J.* 68: 861, 1976.
- (41) OHKI K. - Manganese critical levels for soybean growth and physiological processes. *J. Plant Nutr.* 3: 271, 1981.
- (42) OHKI K. - Manganese deficiency and toxicity effects on growth development, and nutrient composition in wheat. *Agron. J.* 76: 213, 1984.
- (43) OLSEN S. R. - Micronutrient interactions. In « Micronutrients in Agric ». *Soil Sci. Soc. Am. Inc. Madison, Wisconsin*, 1972.
- (44) PEGTEL D. M. - Responses of plants to Al, Mn and Fe, with particular reference to *Succisa pratensis* Moench. *Plant Soil* 93: 43, 1986.
- (45) PEL'TIKHINA R. I. - Ion antagonism and iron absorption (by plant) during industrial pollution. *Rast. Prom. Sreda Mater. Nauchn. Konf.*, 3rd, Ed. by Kondratyuk E.N. Kiev, USSR, 1976.
- (46) RACITI G. e SALERNO M. - Aspetti peculiari di deficienze ed eccessi minerali su agrumi in Italia. *Ann. Ist. Sperim. Agrumicoltura*, VII-VIII, 191, 1974-1975.
- (47) RACZ G. J. and HALUSCHAK P. W. - Effects of Phosphorus concentration on Cu, Zn, Fe and Mn utilization by wheat. *Can. J. Soil Sci.* 54: 357, 1974.
- (48) RADIELLI L. - Fondamenti di chimica vegetale. Edagricole, 1984.
- (49) RAINS D. W. - Mineral metabolism. In *Bonner J. and Varner J.E.: Plant Biochemistry* Third edition - Accademic Press, 1976.

- (50) REDDY K. R., SAXENA M. C. and PALU R. - Effect of iron and manganese on ^{65}Zn absorption and translocation in soybean seedlings. *Plant and Soil* 49: 409, 1978.
- (51) ROTINI O. T. - La fitonutrizione oligominerale. Atti IX Simp. Intern. Agrochimica, Punta Ala 2-6 ottobre, 1972.
- (52) ROTINI O. T. - Gli elementi fitonutritivi e la fertilità del terreno. Edagricole, 1984.
- (53) RUSSO F. e RACITI G. - La carenza di manganese negli agrumi. *Tecnica Agricola* 6: 47, 1954.
- (54) RUSSO F. e RACITI G. - La carenza di zinco e di manganese negli agrumi. *Riv. Agrumicoltura*, 1: 29, 1955.
- (55) RUSSO F. e RACITI G. - Sintomi di carenza di manganese negli agrumi. Metodo di cura. *Ann. Sper. Agrar. N.S.* 9: 871, 1975.
- (56) SIMPSON D. J. and ROBINSON S. P. - Freeze-fracture ultrastructure of Thylakoid membranes in chloroplasts from manganese-deficient plants. *Plant Physiol.* 74: 735, 1984.
- (57) SINGH B. R. and STEENBERG K. - Plant response to micronutrients. II. Uptake, distribution and translocation of manganese in maize and barley plants. *Plant and Soil* 40: 647, 1974.
- (58) SINGH K. K. - Iron-induced manganese chlorosis in navy bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.) and variation in responses. *Plant Sci.* 6: 41, 1974.
- (59) TERRY N. and ULRICH A. - Photosynthetic and respiratory CO_2 exchange of sugar beet leaves as influenced by manganese deficiency. *Crop Sci.* 14: 502, 1974.
- (60) TIFFIN L. O. - Translocation of micronutrients in plants. In « Micronutrients in Agric. ». *Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison Wisconsin*, 199, 1972.
- (61) TONZIG S. e MARRE' E. - Elementi di botanica. Ed. Ambrosiana, 1965.
- (62) TROPEA M., FISCHELLA G. e CATALDI LUPO M. C. - La nutrizione minerale degli agrumi. I. L'influenza delle microcarenze sull'equilibrio minerale di semenzali di « *Citrus aurantium* » allevati in coltura idroponica. *Tecnica Agricola* XX: 421, 1968.
- (63) TWYMAN E. S. - The effect of iron supply on the yield and composition of leaves of tomato plants. *Plant and Soil* X: 375, 1959.
- (64) VERONA O. - Nutrizione e malattie delle piante coltivate. Atti Accad. Geografici 14: 1960.
- (65) VERONA O. - Malattie nutrizionali delle piante coltivate. Edagricole, Bologna, 1953.
- (66) WALLACE A., ROMNEY E. M., ALEXANDER G. V. and KINNEAR J. - Phytotoxicity and some interactions of the essential trace metals iron, manganese, molybdenum, zinc, copper and boron. *Communication Soil Sci. Plant Analysis* 8: 741, 1977.
- (67) WEILAND R. T., NOBLE D. R. and CRANG R. E. - Phytosynthetic and chloroplast ultrastructural consequences of manganese deficiency in soybean. *Amer. J. Bot.* 62: 501, 1975.

Nutrizione minerale dell'arancio

III: L'influenza di alcune formule di concimazione sulla produzione quali-quantitativa del « Tarocco » nucellare e vecchia linea

TROPEA M. * - INTRIGLIOLO F. ** - SAMBUCO G. * - SCUDERI A. **
FISICHELLA G. * - RACITI G. **

Tenuto conto che allo stato attuale le conoscenze sullo stato nutrizionale nonché sulle caratteristiche qualitative della produzione dell'arancio « Tarocco » nucellare risultano insufficienti, si è ritenuto opportuno condurre uno studio quadriennale inteso a saggiare l'effetto di alcune formule di concimazione, a diverso rapporto N-P-K, sullo stato nutrizionale, produttivo e vegetativo dell'arancio « Tarocco » della linea nucellare in confronto alla linea comune, al fine di poter individuare le formule più idonee a soddisfare le esigenze nutrizionali e quindi a migliorare le rese produttive.

I risultati delle analisi fogliari, elaborati statisticamente, hanno messo in luce, relativamente all'arancio « Tarocco » della linea nucellare, più bassi contenuti di azoto e fosforo e più alti livelli di potassio, mentre i contenuti di calcio e di magnesio hanno presentato delle inversioni nei quattro anni di sperimentazione. Per entrambi le linee di arancio l'effetto della concimazione si è fatto risentire più sull'azoto e sul potassio che sugli altri elementi nutritivi: agli apporti crescenti di azoto hanno fatto riscontro infatti progressivi incrementi di azoto fogliare e decrementi di potassio. Riguardo alle caratteristiche quali - quantitative della produzione è stato rilevato che:

— le produzioni medie per pianta hanno presentato notevoli differenze non solo nei diversi anni ma anche fra le due linee di arancio considerate;

— il peso medio dei frutti è risultato sempre maggiore nella linea nucellare anche se i frutti stessi presentavano una minore consistenza, un maggiore spessore della buccia nonchè una più ampia colonna carpellare.

In tutti i casi, tali caratteristiche dei frutti sono state influenzate in diversa misura dalle dosi di azoto impiegate.

Fra le diverse formule di concimazione adottate i migliori risultati quali-quantitativi sono stati raggiunti con le dosi di 600 - 800 g di azoto per pianta.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BAR-AKIVA A., HILLER V. and PATT J. - Effects of rootstocks old clone and nucellar scions on the mineral composition of citrus tree leaves. *J. Hort. Sci.* 47: 73, 1972.
- (2) CAMERON J. W., SCOST R. K. and FROST H. B. - The horticultural significance of nucellar embryony in citrus. *Citrus Virus Disease*, Univ. Calif., Div. Agri. Sci., Berkeley, Wallace ed., 1959.
- (3) CHAPMAN H. D. - Leaf and soil analysis as guides for citrus fertilizer practices in southern California orchards. *Calif. Agr.* 14: 13, 1960.
- (3) CHAPMAN H. D. and PRATT P. E. - Methods of analysis for soil, plants and waters. Univ. Calif. Div. Agric. Sci., 1961.
- (5) CUÑAT P. - Criterios para el diseño de pautas de fertilización de los cítricos. *Levante Agric.* 17: 9, 1979.
- (6) DAMIGELLA P. - L'analisi chimica delle foglie nello studio delle relazioni fra terreno e piante arboree. II Contributo. *Tecnica Agricola XVIII*: 371, 1966.
- (7) DAMIGELLA P. - Contenuti di N, P e K in foglie di arancio in relazione alla cultivar e al tipo di ramo. *Tecnica Agricola XX*: 8, 1969.
- (8) DAMIGELLA P. - Alcuni problemi tecnici della riconversione agrumicola in provincia di Catania nel quadro evolutivo della agrumicoltura mondiale e nazionale. *Tecnica Agricola XXIV*: 478, 1972.
- (9) DAMIGELLA P. - Problemi relativi alla riconversione varietale dell'agrumicoltura. *Tecnica Agricola XXVII*: 181, 1975.
- (10) DAMIGELLA P. e TRIBULATO E. - Caratteri qualitativi ed evoluzione dei processi di maturazione delle arance prodotte in una importante area agrumicola della Calabria (Piana di Rosarno). *Tecnica Agricola XXV*: 269, 1973.
- (11) DAMIGELLA P. e TRIBULATO E. - Le cultivar di agrumi diffuse o di possibile diffusione in Italia. Estratto da « Scelta delle varietà in agrumicoltura ». Cassa per il Mezzogiorno. Roma, 1978.
- (12) DAMIGELLA P., ZAMORANI A., TRIBULATO E., RUSSO C., ALBERGHINA O. e LANZA C. M. - Evoluzione del processo di maturazione e caratteri qualitativi dei frutti di agrumi prodotti in otto aree agrumicole della Sicilia e della Calabria. Istituto di Coltivazioni arboree. Università di Catania, 1975.
- (13) EMBLETON T. W., JONES W. W., LABANAUSKAS C. K. and REUTHER W. - Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization. *The Citrus Industry*, III: 183, 1973.
- (14) INTRIGLIUOLO F. - Indagine preliminare sulla consistenza dei frutti di cultivar di arancio in relazione allo stato di maturazione. *Tecnica Agricola XXXIV*: 137, 1982.
- (15) INTRIGLIUOLO F., SCUDERI A. e RACITI G. - Variazioni dei contenuti minerali nelle foglie dell'arancio « Tarocco » della linea nucellare nel corso dell'anno. *Tecnica Agricola XXX*: 63, 1981.
- (16) INTRIGLIUOLO F., TROPEA M., SCUDERI A., SAMBUCCO G., RACITI G. e RADAELLI L. - Nutrizione minerale dell'arancio. 2° Contributo: Indagine sullo stato micronutrizionale del « Tarocco » nucellare e vecchia linea. *Tecnica Agricola XXXV*: 333, 1983.
- (17) LOTTI G. e GALOPPINI C. - Guida alle analisi chimico-agrarie, EDA, Bologna, 1967.

- (18) MOREIRA S. and SALIBE A. A. - Nucellar line in the State of Sao Paulo Brasil. Proc. 3d Congres. Intern. Organization Citrus Virol, 1965.
- (19) PENNISI L., SCUDERI A. e MURATORE A. - Studio sul grado di maturazione delle arance siciliane. I Nota. Rivista di Agrumicoltura 1: 401, 1956.
- (20) PENNISI L., SCUDERI A., RACITI G. e LICCIARDELLO G. - The quality of « Moro » and « Tarocco » oranges in different growing areas. 1° Congreso mundial de citricultura, Spagna, 1973.
- (21) RACITI G. e SCUDERI A. - Effects of calcareous amendmets fruit quality of oranges produced in vulcanic soil. Proc. Int. Fertl. Congres Moscow, 3, 1976.
- (22) RACITI G., SPINA P., SCUDERI A. e INTRIGLIOLO F. - Tre anni di potatura meccanica degli agrumi in Italia. Frutticoltura XLIV: 35, 1982.
- (23) REUTHER W. and SMITH P. F. - Leaf analysis of citrus. Ed. Childers, 257, 1954.
- (24) RUSSO F., STARRANTINO A. e REFORGIATO RECUPERO G. - Prove comparative fra cloni nucellari e comuni di agrumi, in particolare di arancio (*C. sinensis* Osbeck). Annali Ist. Sperim. Agrum., VII-VIII, 121, 1974-75.
- (25) RUSSO F. e TORRISI M. - Il miglioramento delle nostre varietà di agrumi per selezioni di forma derivanti da embrioni nucellari. Annali Sperim. Agraria, Roma V: 5, 1951.

Influenza della concimazione minerale sul contenuto
in proteine ed in acidi grassi della granella di alcune
popolazioni di cece (*Cicer arietinum*, L.)

BASSO F. * - SENATORE F. ** - DINI A. **

INTRODUZIONE

Le leguminose da granella rappresentano, tra le piante erbacee coltivate, la fonte più ricca di proteine, in quanto il contenuto medio della granella è compreso fra il 20-40%.

Le ragioni per le quali si intravedono concrete possibilità di rilancio di queste leguminose nel nostro Paese scaturiscono sia dal valore nutrizionale della granella (5), sia dalle favorevoli caratteristiche agronomiche delle piante, che contribuiscono al miglioramento dello stato chimico del suolo mediante l'apporto di notevole quantità di azoto e sia dalla sovrapproduzione dei cereali che vede le leguminose da granella come colture alternative. Il ruolo dei legumi nell'alimentazione umana, inteso come fonte di proteine di buon valore biologico, di energia, oltre che di vitamine del gruppo B e di sali minerali è andato progressivamente declinando subito dopo l'ultimo evento bellico con il miglioramento delle condizioni economiche e con il crescente consumo di proteine animali a svantaggio di quelle vegetali. In questi ultimi anni, però, i legumi vanno riacquistando nuovo interesse nutrizionale in relazione agli studi già effettuati e che hanno evidenziato la loro particolare funzione nella regolazione del metabolismo glucidico e lipidico, oltre che nell'attività gastrointestinale legata alla presenza di carboidrati complessi (amido e fibra alimentare), oltre che di costituenti minori (2, 4). L'effetto del consumo dei legumi sul livello di glucosio plasmatico è stato particolarmente studiato da Jenkins *et al.*, 1980 che hanno riscontrato, a parità di consumo di carboidrati, come i legumi, ed in particolare i ceci provocano una riduzione della concentrazione di glucosio nel sangue del 45% rispetto a quello dei cereali (pane e pasta) e dei tuberi di patata. E' evidente, da questi risultati, l'importanza che questo

alimento assume nella dieta di individui con alterata tolleranza al glucosio. Non è ancora chiaro quale sia il costituente responsabile di questo effetto: se la struttura dell'amido, la composizione della fibra alimentare, la forma fisica dell'alimento od altri fattori. Un altro effetto fisiologico legato al consumo dei legumi tutt'ora allo studio è il loro intervento nel metabolismo delle lipoproteine che provocano un abbassamento del livello di colesterolo plasmatico. Con particolare riferimento a quest'ultimo aspetto va precisato che le ricerche condotte su fava (8), hanno evidenziato un marcato effetto ipocolesterolemizzante; più in particolare questo alimento è risultato capace di abbassare significativamente la colesterolemia e soprattutto le beta ed alfa lipoproteine. Nella medicina popolare tradizionale del Mezzogiorno d'Italia l'infuso delle foglie di cece veniva adoperato per le sue proprietà galottogene; mentre il decotto veniva utilizzato in caso di calcolosi (9). Di recente gli sfarinati di cece sono stati impiegati anche nell'alimentazione infantile quali ingredienti di formulati per lo svezzamento dei bambini ed inoltre nel trattamento delle diarree con disidratazione. In considerazione di quanto innanzi precisato e nella prospettiva di una maggiore e più razionale utilizzazione del cece nell'alimentazione umana è opportuno conoscere la composizione chimica di questo legume anche alla luce delle esigenze alimentari per diete bilanciate. E' noto che la composizione chimica di un prodotto alimentare può variare in funzione della cultivar, della tecnica colturale ed in particolare della concimazione minerale, per cui si è ritenuto opportuno avviare una ricerca volta ad approfondire l'influenza di differenti formule di concimazione minerale con azoto, fosforo e potassio distribuiti in diverse dosi sul contenuto in proteine ed in acidi grassi della granella di alcune popolazioni di cece, coltivate in ambiente collinare della Basilicata.

MATERIALI E METODI

Le prove agronomiche sono state condotte nel campo sperimentale sito in agro di Guardia Perticara (PZ) su terreno le cui caratteristiche fisico-chimiche sono riportate nella Tabella 1. Il piano sperimentale ha previsto il confronto tra diverse tesi di concimazione minerale: 1) controllo non concimato; 2) 0 kg ha⁻¹ di N + 0 kg ha⁻¹ di P₂O₅ + 80 kg ha⁻¹ di K₂O; 3) 0 kg ha⁻¹ di N + 0 kg ha⁻¹ di P₂O₅ + 160 kg ha⁻¹ di K₂O; 4) 0 kg ha⁻¹ di N + 80 kg ha⁻¹ di P₂O₅ + 0 kg ha⁻¹ di K₂O; 5) 0 kg ha⁻¹ di N + 80 kg ha⁻¹ di P₂O₅ + 80 kg ha⁻¹ di K₂O; 6) 40 kg ha⁻¹ di N + 160 kg ha⁻¹ di P₂O₅ + 160 kg ha⁻¹ di K₂O applicate su tre popolazioni di cece (1): Bianco di Rutigliano (B7), Rosso Cassano (R4) e Nero di Rutigliano (N6). Su campioni medi di granella, ottenuti da ciascuna tesi sperimentale si è proceduto, previa macinazione in molino a martelli, alla determinazione del contenuto di azoto totale e quindi di proteine nonché a quella degli acidi grassi. Per questi ultimi l'isolamento delle frazioni idrosolubili e liposolubili è stato effettuato adottando la metodica descritta da Capasso *et al.*, 1982.

TABELLA 1 - Caratteristiche fisico-chimiche del terreno.

Su 100 g di terreno essiccato all'aria e setacciato a 2 mm:		
Sabbia grossa	%	3,30
Sabbia fine	%	19,00
Limo	%	23,00
Argilla	%	54,70
Calcare	%	8,00
pH		7,40
Sostanza organica (metodo al bicromato)	%	1,35
N totale	%	1,10
P ₂ O ₅ assimilabile p.p.m.	(Olsen)	230
K ₂ O assimilabile p.p.m.		360

RISULTATI E CONCLUSIONI

Dall'esame della Figura 1 si rileva innanzitutto che il contenuto medio di proteine della granella ha raggiunto un livello apprezzabile. Le percentuali accertate sono risultate infatti comprese tra il 22 ed il 27% in relazione alle popolazioni considerate ed alle tesi di concimazione saggiate. Tra le popolazioni è emerso che, in assenza di apporti di elementi nutritivi, il contenuto di proteine ha raggiunto la quota massima (24,9%) nella R4, seguita dalla B7 (23,2%) e dalla N6 (22,2%); le stesse popolazioni hanno manifestato, però, variazioni apprezzabili con le tesi di concimazione. Più in particolare la R4 ha reagito favorevolmente all'impiego del potassio, ha mostrato una leggera

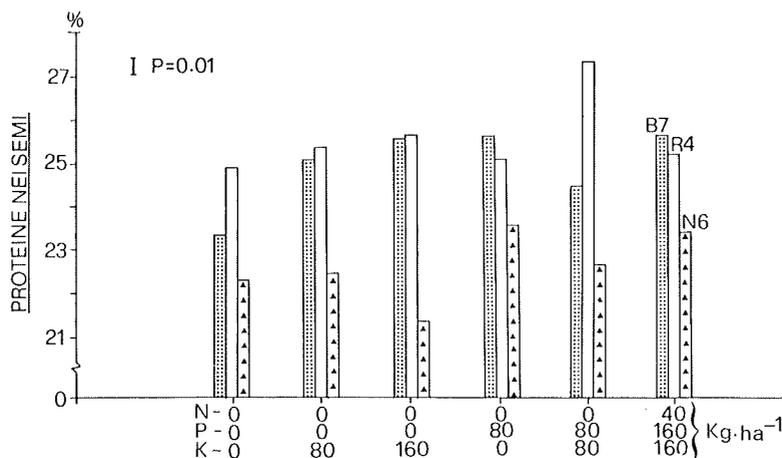


Figura 1 - Contenuto medio di proteine nella granella.

contrazione con l'apporto di fosforo ed ha fornito la più alta percentuale di proteine con l'impiego dei due elementi distribuiti alla dose di 80 kg ha⁻¹. La popolazione B7 ha presentato aumenti del contenuto proteico della granella con la somministrazione dei singoli elementi e con la combinazione degli stessi. La N6 si è avvantaggiata maggiormente dell'apporto di 80 kg ha⁻¹ di P₂O₅. Passando all'esame della Figura 2a si osserva che le variazioni percentuali degli

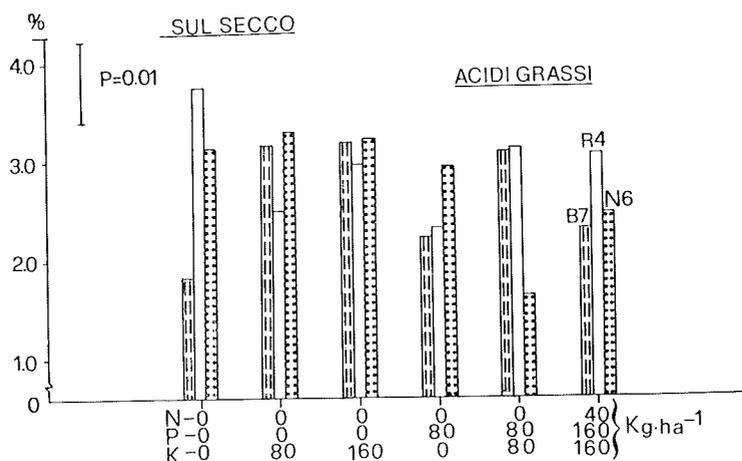


Figura 2a - Contenuto medio in acidi grassi saturi.

acidi grassi sono state considerevoli sia in relazione alle popolazioni che alle tesi di concimazione sperimentate. In assenza di concimazione la popolazione B7 è risultata meno dotata in acidi grassi (1,8%), la R4 notevolmente più fornita (3,8%) e la N6 mediamente dotata (3,1%). Con l'impiego degli elementi nutritivi le variazioni accertate sono state notevoli soprattutto nella B7 e in misura nettamente minore nella N6 con la somministrazione di potassio o della combinazione di questo elemento con il fosforo; la R4 ha reagito negativamente alla somministrazione dei tre elementi. Nella Figura 2b appare evidente come la N6 è maggiormente dotata di acido palmitico senza l'apporto di elementi fertilizzanti e come la percentuale di questo acido è minore con l'impiego di uno dei tre elementi o con la combinazione degli stessi. Di contro la R4 sembra giovare della dose di 80 kg ha⁻¹ di P₂O₅ mentre la B7 non appare particolarmente sensibile alla concimazione minerale. Per quanto riguarda il contenuto in acido stearico si può osservare dalla Figura 2c come il contenuto medio accertato nelle popolazioni a confronto sia abbastanza modesto, tuttavia va segnalato una certa reazione positiva della B7 della R4 alla somministrazione di 80 kg ha⁻¹ di potassio e della N6 alla dose massima dello stesso elemento. Nella Figura 3 sono riportate le percentuali di acidi grassi insaturi:

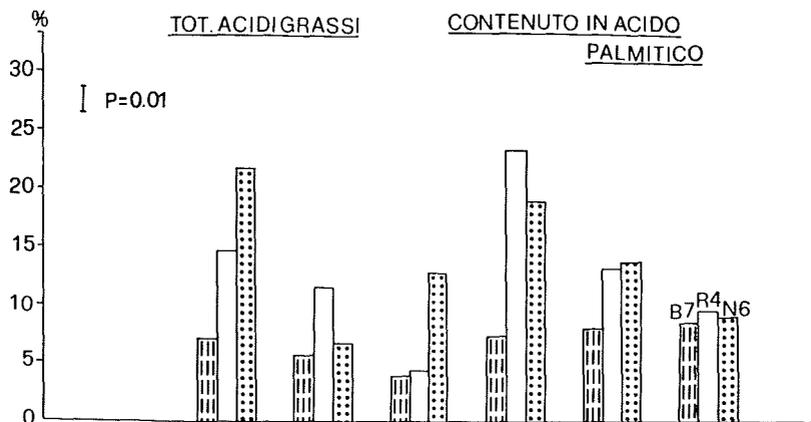


Figura 2b - Percentuali di acido palmitico su totale acidi grassi saturi.

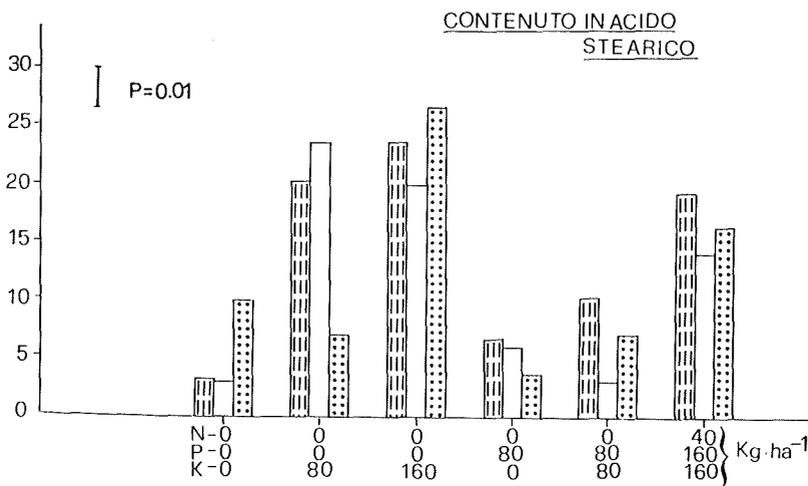


Figura 2c - Percentuali di acido stearico su totale acidi grassi saturi.

oleico, linoleico e linolenico presenti nella granella delle popolazioni a confronto. Dall'esame delle Figure 3a e 3b appare evidente innanzitutto che l'acido oleico e linoleico sono in netta prevalenza rispetto all'acido palmitico e stearico e ciò è di estremo interesse in quanto spetta ai primi l'azione ipocolesterolemizzante. In particolare è emerso che il contenuto in acido oleico aumenta apprezzabilmente nelle tre popolazioni con l'apporto di 80 kg ha⁻¹ di fosforo e

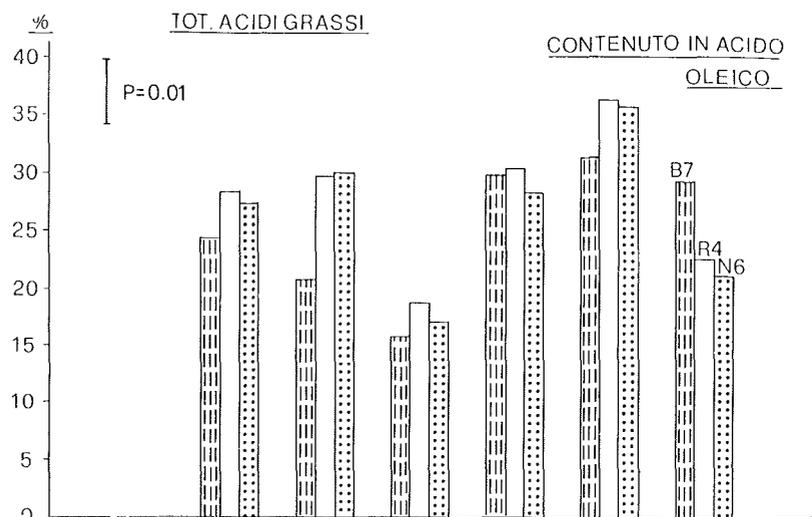


Figura 3a - Percentuali di acido oleico su totale acidi grassi insaturi.

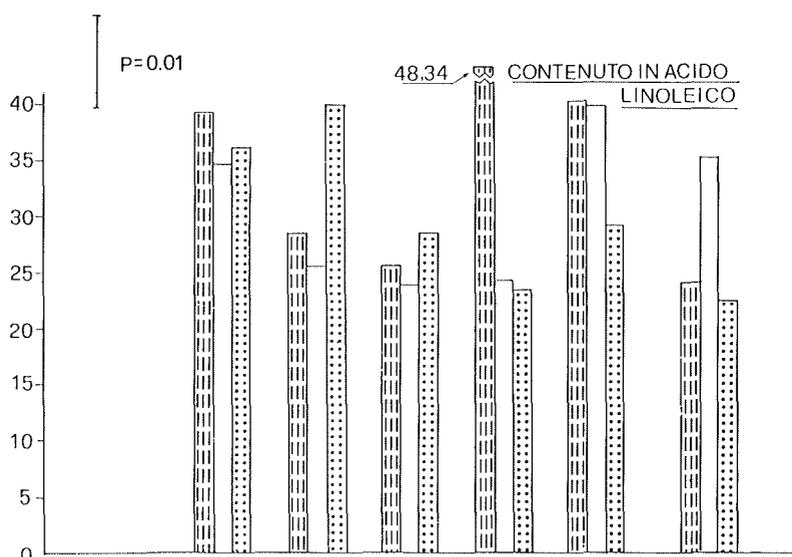


Figura 3b - Percentuali di acido linoleico su totale acidi grassi insaturi.

di potassio combinati tra loro, mentre per l'acido linoleico la B7 sembra reagire favorevolmente alla somministrazione di 80 kg ha⁻¹ di P₂O₅. Per quanto riguarda, infine, il contenuto in acido linolenico si può osservare dalla Figura 3c

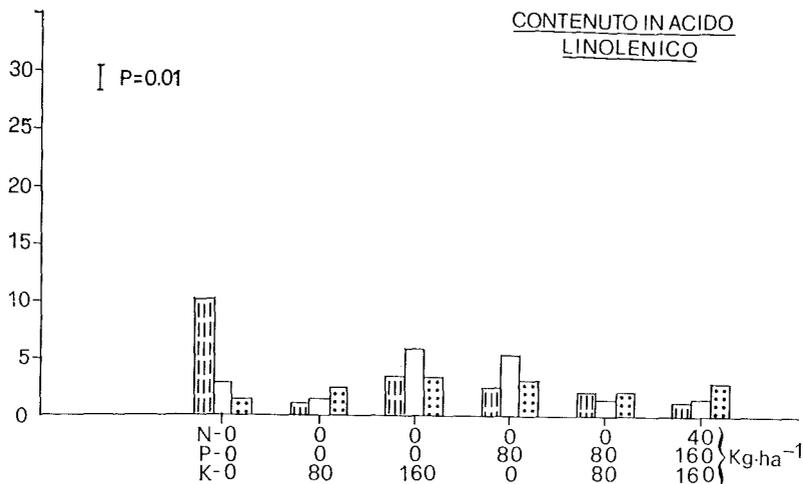


Figura 3c - Percentuali di acido linolenico su totale acidi grassi insaturi.

che le percentuali accertate in relazione alle diverse formule di concimazione nelle tre popolazioni non hanno raggiunto livelli apprezzabili.

Dai risultati innanzi discussi è emerso che la concimazione minerale con azoto, fosforo e potassio ha esercitato una influenza diretta sul contenuto in proteine della granella e su quello in acidi grassi saturi ed insaturi.

Anche le popolazioni considerate hanno presentato variazioni apprezzabili; in particolare la Rosso di Cassano (R4) ha fornito il più alto contenuto proteico rispetto alle altre popolazioni: B7 ed N6 e sembra essersi giovata maggiormente dell'apporto combinato del fosforo e del potassio alla dose di 80 kg ha⁻¹. Anche nei riguardi degli acidi grassi la popolazione R4 è risultata più dotata, ma non ha risposto favorevolmente all'impiego degli elementi nutritivi. Per quanto attiene il contenuto in acidi grassi saturi la N6 è apparsa maggiormente fornita in acido palmitico. Variazioni apprezzabili sono state accertate nei riguardi della dose minima di fosforo. Il contenuto in acido stearico è risultato molto modesto nelle tre popolazioni a confronto, ma suscettibile di notevole incremento con l'apporto di potassio. Per quanto riguarda, infine, il contenuto in acidi grassi insaturi va segnalata la maggiore prevalenza dell'acido oleico e linoleico rispetto al contenuto medio di acidi grassi saturi. Anche per gli acidi grassi insaturi è emersa l'influenza positiva degli elementi nutritivi impiegati da soli o combinati tra loro.

Va sottolineato, inoltre, il modesto contenuto in acido linolenico delle tre popolazioni considerate e peraltro la scarsa influenza della concimazione minerale.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BASSO F., LANZA M. R. - Valutazione bioagronomica e qualitativa di popolazioni di cece (*cicer arietinum* L.) in ambiente collinare dell'Italia meridionale, *Terra e sole* XL II 117, 1987.
- (2) BYLASS R. L. - Dietary fibre: consensus and controversy. *Prog. Food. Nutr. Sci.* 9: 343, 1985.
- (3) CAPASSO F., CERRI R., DE SIMONE F., RAMUNDO E., SENATORE F. - Sterols, fatty acids and free amino-acids from two helvella species. *Bioch. Syst. and Ecol.* X, 4: 285, 1982.
- (4) CRAPO P. A. - Simple versus complex carbohydrate use in the diabetic diet. *Ann. Rev. Nutr.* 5: 95, 1985.
- (5) FIDANZA F. - Ruolo ed importanza delle leguminose nella nutrizione umana. *Atti su: Prospettive delle proteaginose in Italia*, Perugia 2/5 settembre, 1979.
- (6) GHIRARDI P., MARSO A., FERRARI G. - Lipid classes and total fatty acids pattern of *cicer arietinum* *Phytochemistry* 13: 755, 1974.
- (7) JENKINS D.J.A., WOLEVER T.M.S., TAYLOR R.H., BARKER H.M., FIELDEN H. - Exceptionally low blood glucose response to dried beans: comparison with other carbohydrate foods. *Br. Med. J.* 578, 1980.
- (8) SARNO R., STRINGI L. - Il cece. *Atti su « Prospettive delle proteaginose in Italia »* Perugia 2/5, 545, 1979.
- (9) MENGHERI E., SCARINO M. L., VIGNOLINI F. and SPADONI M. A. - Modification in plasma cholesterol and apolipoproteins of hypercholesterolaemic rats induced by ethanol soluble foretens o vicia fabor. *Br. J. Nutr.* 53: 223, 1985.

Assorbimento del potassio in radici di mais

COCUCCI M.

L'assorbimento del potassio in segmenti subapicali di radici di mais è stato analizzato nelle sue componenti di flusso entrante ed uscente. A tale scopo è stato misurato l'influsso del rubidio, utilizzato al posto del potassio e l'efflusso del potassio endogeno; l'uso del rubidio al posto del potassio è giustificato, in mais, in quanto questo materiale mostra una scarsa selettività del sistema di trasporto per i due cationi (1).

L'influsso del catione mostra, in accordo con quanto osservato in letteratura (2), un tipico andamento a due componenti una lineare, per alte concentrazioni, ed una saturabile per basse concentrazioni. La componente lineare, che si evidenzia per concentrazioni superiori ad 1 mM, appare avere un incremento ridotto con l'aumento della concentrazione del catione esterno (k di velocità); la componente saturabile operante a basse concentrazioni inferiori a 1 mM, mostra una K_m di circa 30 μM ed una V_{max} pari a 4 $\mu\text{mol/h/g}$ peso fresco. Questo meccanismo, tenendo conto della disponibilità del potassio nel suolo, è quello maggiormente legato alla nutrizione minerale.

L'efflusso del potassio risulta dipendere dalla concentrazione del catione nel mezzo esterno: esso è costante per concentrazioni superiori a 0.2 mM e diminuisce per concentrazioni inferiori; la riduzione dell'efflusso non sembra in relazione con il suo contemporaneo riassorbimento ma appare legata al controllo di canali specifici per il potassio da parte della concentrazione nel mezzo del catione stesso.

L'assorbimento del potassio è inibito da agenti inibenti la pompa protonica, quale l'ortovanadato (3), da inibitori del metabolismo energetico, quale l'azide, e da agenti disaccoppianti; l'influsso, per concentrazioni esterne da 10 μM a 10 mM, è inibito del 50% dall'ortovanadato, di circa l'80% dall'azide ed è praticamente soppresso dall'FCCP; l'efflusso del potassio è invece incrementato dagli stessi inibitori: l'effetto appare più imponente per gli agenti disaccoppianti e gli inibitori della pompa protonica rispetto a quello provocato dagli inibitori del metabolismo energetico.

L'aumento della concentrazione di idrogenioni nel mezzo riduce l'assorbimento del potassio e provoca un incremento del suo efflusso, specialmente, a basse concentrazioni nel mezzo.

La fusicoccina, tossina capace di stimolare la estrusione attiva di protoni (4), provoca un incremento dell'influsso ed una diminuzione dell'efflusso del potassio per basse concentrazioni del catione nel mezzo; l'effetto sull'efflusso è meno evidente ad alte concentrazioni.

Questi risultati ripropongono la complessità dei fattori che rendono possibile e che controllano il movimento del potassio a livello del plasmalemma ed in particolare:

- a) il legame tra questo e il potenziale elettrico transmembrana, fattore che è fortemente influenzato dal livello del catione nel mezzo esterno (4);
- b) la relazione tra movimento del potassio e dei protoni;
- c) la fonte di energia utilizzata per l'assorbimento del potassio a basse concentrazioni esterne, assorbimento che avviene contro il suo gradiente elettrochimico.

Questi risultati suggeriscono inoltre, che il potassio non solo è importante come nutriente, ma che gioca un ruolo essenziale nel funzionamento del plasmalemma in quanto il suo movimento, lungo il suo potenziale elettrochimico, stabilizza il potenziale elettrico di membrana.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ZACCHEO P., COCCUCCI M. e COCCUCCI S. - Effects of Cr on proton extrusion, potassium uptake and transmembrane electric potential in maize roots segments. *Plant. Cell and Env.* 8: 721, 1985.
- (2) KOLCHIAN L.V. e LUCAS W.J. - Potassium transport in corn roots. *Plant Physiol.* 77: 429, 1985.
- (3) COCCUCCI M., BALLARIN-DENTI A. e MARRE M.T. - Effects of orthovanadate on proton secretion, potassium uptake, electric transmembrane potential difference and membrane ATPase activities of higher plant tissues. *Plant Sci. Lett.* 17: 391, 1980.
- (4) COCCUCCI M., MARRÈ E., BALLARIN-DENTI A. e SCACCHI A. - Characteristics of fusicoccin-induced changes of transmembrane potential and ion uptake in maize roots segments. *Plant Sci. Lett.* 6: 143, 1976.

Meccanismi implicati nella estrusione di protoni in una pianta ferro efficiente

ZOCCHI G. e COCUCCI S.

Le piante possono essere divise in Fe-efficienti e Fe-inefficienti. Le piante Fe-efficienti sono caratterizzate dal fatto che in carenza di ferro aumentano la capacità di acidificazione del mezzo esterno ed aumentano il contenuto di acidi organici (malico e citrico) nelle cellule della radice. L'effetto risulta immediatamente bloccato dalla presenza del Fe^{2+} ma non da quella del Fe^{3+} (1).

Precedentemente avevamo messo in evidenza che, in analogia con altri materiali vegetali, la capacità di acidificazione legata alla Fe-carenza in piante Fe-efficienti di cetriolo si accompagnava ad una iperpolarizzazione del PD (-145 mV) che risultava diminuire in valore assoluto (-80 mV) per somministrazione di Fe^{2+} e non per somministrazione di Fe^{3+} (2, 3).

Molte evidenze sono state raccolte in letteratura che l'estrusione dei protoni e la negativizzazione del PD siano da ricondursi all'attività di H^+ -ATPasi K^+ - Mg^{2+} -dipendenti presenti sul plasmalemma (4). Abbiamo voluto quindi verificare se piante di cetriolo cresciute in assenza di ferro e quindi efficienti nell'estrudere protoni risultassero a) possedere una attività ATPasica, presente nella frazione microsomiale, maggiore delle piante cresciute in presenza di ferro, b) che tale attività, analogamente a quanto accadeva in vivo era inibita da Fe^{2+} . I risultati mostrano che a) le piante cresciute in assenza di ferro posseggono una attività H^+ -ATPasica K^+ - Mg^{2+} -dipendente maggiore del 30% rispetto a quelle cresciute in presenza di ferro, b) che tale attività risulta inibita da Fe^{2+} (ma non da Fe^{3+}) del 60% già alla concentrazione di $2 \cdot 10^{-4}$ M. Il risultato appare di notevole interesse se si tiene conto che in letteratura non è stato posto mai in evidenza un effetto inibitorio di tale entità a quelle concentrazioni da parte di altri ioni divalenti sulla ATPasi K^+ - Mg^{2+} -dipendente (5).

La capacità di estrusione dei protoni è inoltre legata come causa (6) o come effetto (7) alla sintesi di acidi organici nella cellula. Uno dei meccanismi

implicati nella sintesi degli acidi organici ed in particolare dell'acido malico è la fissazione oscura di CO₂ legata alla attività della PEP carbossilasi. L'attività della PEP carbossilasi appare, nelle radici cresciute in assenza di ferro, sei volte maggiore di quella presente nelle radici cresciute in presenza di ferro.

Tale attività non risulta in nessun modo inibita in vitro dalla presenza di Fe²⁺ o Fe³⁺; in vivo però la somministrazione di Fe²⁺ diminuisce del 50% la capacità di fissazione oscura della CO₂.

Diversamente che in altri materiali la capacità di estrusione dei protoni e la depolarizzazione del PD non appaiono correlate suggerendo o che il controllo della H⁺-ATPasi K⁺-Mg²⁺-dipendente sia legata ad aspetti metabolici quali la sintesi di acidi organici (disponibilità di H⁺) o che il meccanismo di estrusione di H⁺ nelle piante Fe-efficienti sia di natura diversa.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BROWN J. C. - Mechanism of iron uptake by plants. *Plant Cell Environ.* 1: 249, 1978.
- (2) ZOCCHI G., COCUCCI S. - L'assunzione del ferro in una pianta Fe-efficiente: il *Cucumis sativus*. V Convegno SICA, Perugia, 27, 1985.
- (3) ZOCCHI G., COCUCCI S. - Effect of Fe availability at the root level in a Fe-efficient plant (*Cucumis sativus*). *Giorn. Bot. Ital.* 120: 158, 1986.
- (4) SPANSWICK R. M. - Electrogenic ion pumps. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 32: 267, 1981.
- (5) MARRÈ M. T., ROMANI G., COCUCCI M., MOLONEY M. M., MARRÈ E. - Divalent cation influx, depolarization of the transmembrane electric potential and proton extrusion in maize root segments. In *Plasmalemma and tonoplast: their functions in the plant cell* (Marmè D., Marrè E., Hertel R. eds.) Elsevier Biomedical Press, Amsterdam, 3, 1982.
- (6) DAVIES D. D. - Control of and by pH. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 27: 513, 1973.
- (7) SMITH F. A., RAVEN J. A. - Intracellular pH and its regulation. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 30: 289, 1979.

Meccanismi di risposta allo stress osmotico in
semi germinanti di *Raphanus sativus* L.

MORGUTTI S. e COCUCCI S.

In semi di ravanello (*Raphanus sativus* L.) la germinazione è accompagnata dalla attivazione, a livello di plasmalemma, di un meccanismo attivo di estrusione di H e di assunzione di K (1), presumibilmente legato all'aumento del potenziale osmotico.

Nelle piante glicofite, infatti, i meccanismi di resistenza allo stress osmotico prevedono un aumento del potenziale osmotico delle cellule della radice attraverso:

- a) l'assunzione di K accompagnata da assunzione di Cl e sintesi di acidi organici (principalmente malico);
- b) l'aumento dei livelli di zuccheri solubili e di altre sostanze osmoticamente attive (2).

Sono stati studiati i meccanismi che presiedono all'aumento del potenziale osmotico durante le prime fasi (24 e 42 h) di germinazione del seme di *R. sativus*, in presenza di H₂O o di un mezzo iperosmotico (mannite 0.3 M), ed in presenza o meno di fusicoccina (FC), tossina nota stimolare la germinazione attraverso una azione diretta sullo scambio H/K a livello di membrana (3).

La crescita dei semi di *R. sativus* risulta inibita progressivamente con il crescere della concentrazione osmotica del mezzo di incubazione; la residua capacità di crescita in presenza del mezzo iperosmotico appare legata ad un lieve stimolo della capacità di estrusione di H e ad uno stimolo molto più accentuato della capacità di assunzione di K.

La FC determina in tutte le condizioni uno stimolo della crescita e la riporta ai valori del controllo in H₂O anche in presenza delle più alte concentrazioni osmotiche; in ogni caso, l'effetto della tossina appare più marcato

nello stimolare la capacità di estrusione di H che non quella di assunzione di K.

La capacità di sintetizzare molecole osmoticamente attive (acido malico e zuccheri riducenti) appare stimolata dal mezzo iperosmotico, progressivamente con la sua concentrazione; tale risposta appare più evidente ai tempi più lunghi di germinazione.

L'incremento dei livelli di acido malico in risposta alla pressione osmotica appare comparire più precocemente in FC per poi stabilizzarsi su valori che rappresentano probabilmente la potenzialità massima del sistema; i livelli di zuccheri riducenti appaiono, in presenza di FC, diminuire, rispetto ai controlli privi di FC, probabilmente in conseguenza di un aumento della attività di respirazione.

La misura del potenziale dell' H_2O e del potenziale osmotico (4) ha permesso di valutare gli effetti dei trattamenti sui parametri della crescita.

La capacità di crescita dei semi (legata alla capacità di richiamare H_2O dall'esterno) appare, nel mezzo iperosmotico, sostenuta da una diminuzione del potenziale osmotico del seme; in presenza di FC, la maggiore capacità di crescita si accompagna a valori meno negativi dello stesso, legati ad una maggiore diluizione degli osmoliti.

Il mezzo iperosmotico risulta ugualmente inibire la crescita dei semi trattati con FC, e si osserva un valore del potenziale osmotico inferiore a quello presente in sola mannite.

La misura del potenziale dell' H_2O dei semi all'equilibrio ed il confronto con i corrispondenti valori di potenziale osmotico pongono in evidenza che, in mannite, il potenziale di parete risulta maggiore e che la FC, sia nel controllo che in mannite, porta ad una sua diminuzione, in accordo con l'ipotesi che la maggiore acidificazione della parete si accompagni ad una sua maggiore plasticizzazione.

Il risultato appare confermato dal fatto che, benchè la differenza in potenziale osmotico fra interno ed esterno del seme risulti maggiore nel controllo ed in presenza di sola mannite rispetto ai campioni in FC, la crescita appare maggiore in questi ultimi.

Vi è pure da porre in evidenza che la minore plasticizzazione della parete in presenza di mannite non può essere legata alla minore acidificazione, risultando questa maggiore rispetto ai controlli, ma deve essere ricondotta ad aspetti più generali del metabolismo, come la caduta delle attività biosintetiche, già verificata per la attività di sintesi proteica.

L'insieme di questi dati sembra indicare che la crescita in presenza del mezzo iperosmotico risulti sostenuta dall'aumento del potenziale osmotico del tessuto conseguente ad uno stimolo della capacità di trasporto (assunzione di K) e ad un aumento di molecole osmoticamente attive (acido malico e zuccheri solubili).

Tali risposte risultano però accompagnarsi ad una diminuzione della distensibilità della parete, forse conseguente alla caduta della capacità di sintesi proteica.

L'effetto della FC appare principalmente legato ad un aumento della plasticizzazione della parete.

BIBLIOGRAFIA

- (1) COCUCCI S. and COCUCCI M. - Effect of ABA, GA₃ and FC on the development of potassium uptake in germinating radish seeds. *Plant. Sci Lett.* 10: 85, 1977.
- (2) HELLEBUST J. A. - Osmoregulation. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 27: 485, 1976.
- (3) MARRÈ E. - Fusicoccin: a tool in plant physiology. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 30: 273, 1979.
- (4) CAMPBELL G. S., ZOLLINGER W. D. and TAYLOR S. A. - Sample changer for thermocouple psychrometers: construction and some applications. *Agron. J.* 58: 315, 1966.

Risposte alla salinità dell'efficienza di assimilazione della CO₂
in due genotipi di *Pennisetum americanum*

BOTTACIN A. ** e CACCO G. *

INTRODUZIONE

Le ripetute pratiche di concimazione minerale delle colture a sostegno di sempre più elevate produttività costituiscono, attualmente, una minaccia per la fertilità dei suoli delle zone temperate poichè a lungo termine provocano un aumento della salinità dei terreni. Le condizioni saline dei suoli possono limitare l'accrescimento e la resa produttiva delle piante coltivate mediante modificazioni morfo-funzionali indotte da alterazioni dello status idrico dei tessuti, capacità di assorbimento dei nutrienti, efficienza di assimilazione degli ioni, velocità di fotosintesi, etc.

Poichè un potenziale mezzo per incrementare la produttività delle colture è rappresentato dal miglioramento dell'efficienza fotosintetica (aumento superficie fogliare, aumento concentrazione RuBPc, riduzione della fotorespirazione, passaggio da C₃ a C₄) è interessante conoscere quali sono i principali bersagli dello stress salino sui processi di assimilazione della CO₂.

Nel presente lavoro sono stati posti a confronto due genotipi di miglio, uno selvatico e l'altro coltivato, allo scopo di valutare le loro caratteristiche fotosintetiche in funzione della concentrazione salina nel mezzo nutritivo.

MATERIALI E METODI

Due genotipi di miglio (*Pennisetum americanum*) uno selvatico (W) resistente e l'altro coltivato (C) sensibile alla salinità, sono stati allevati come descritto in un precedente lavoro (1). Il contenuto in clorofilla, l'incorporazione della (¹⁴C)-CO₂ e le attività enzimatiche della RuBPc (ribuloso-1,5-bifo-

sfato carbossilasi: EC 4.1.1.39) e della PEPc (fosfoenol piruvato carbossilasi: EC 4.1.1.31) sono stati determinati secondo i metodi descritti da Passera e Albuzio (2). La proteina è stata determinata con il metodo di Lowry.

RISULTATI E CONCLUSIONI

In assenza di salinità, la velocità di crescita relativa (RGR) è superiore del 50% nel genotipo C rispetto al genotipo W. Le condizioni di stress salino hanno determinato una diminuzione del 63% nell'RGR nel genotipo coltivato rispetto a quello selvatico (Tabella 1). Malgrado il contenuto in clorofilla delle

TABELLA 1 - Velocità di crescita relativa (RGR) al giorno nei genotipi di miglio allevati in assenza e con 300 mM NaCl.

	- NaCl	+ 300 mM NaCl	%
W	0.062	0.040	- 36
C	0.093	0.015	- 84

foglie aumenti progressivamente all'aumentare del livello di salinità, l'incorporazione della CO₂ (¹⁴C x mg clorofilla) è diminuita in entrambi i genotipi. A 100 mM NaCl tale riduzione è risultata superiore nel genotipo C (-54%) rispetto al genotipo W (-27%) mentre a livello più elevato di salinità (300 mM NaCl) si è osservata una riduzione del 60% (Figura 1). L'aumento del contenuto in

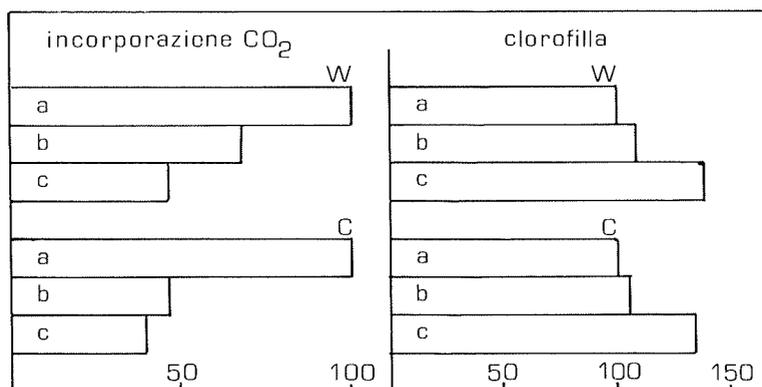


Figura 1 - Velocità di incorporazione della CO₂ ($\mu\text{moli } ^{14}\text{C-CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ clorofilla) e contenuto di clorofilla ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ peso fresco) nei genotipi di miglio W e C allevati con tre livelli di salinità: a) controllo (NaCl); b) 100 mM NaCl; c) 300 mM NaCl. Nel grafico vengono riportate le variazioni percentuali rispetto al controllo.

clorofilla associato alla diminuzione della fissazione fotosintetica della CO₂ in risposta allo stress salino è stato anche osservato in frumento (2), barbabietola (3) e fagiolo (4) e varia di entità a seconda dei limiti di tolleranza al sale delle specie.

In condizioni di estrema salinità (300 mM), l'attività di RuBPc viene ridotta in ugual misura in C e W (-35%), mentre quella della PEPc aumenta del 100% ca. Risposte diversificate dei due genotipi allo stress salino si sono ottenute in condizioni di moderata salinità (100 mM).

Infatti la RuBPc aumenta del 27% in W e diminuisce del 28% in C, e la PEPc aumenta del 47% e 73%, rispettivamente (Figura 2). Nel genotipo adattato alla salinità (W) si verifica una modificazione del rapporto RuBPc/PEPc verso valori più bassi solo in presenza di 300 mM NaCl, mentre nel genotipo coltivato (C), tale modificazione si ottiene anche a 100 mM NaCl (Tabella 2). Le condizioni di stress salino modificano, quindi, l'attività carbo-

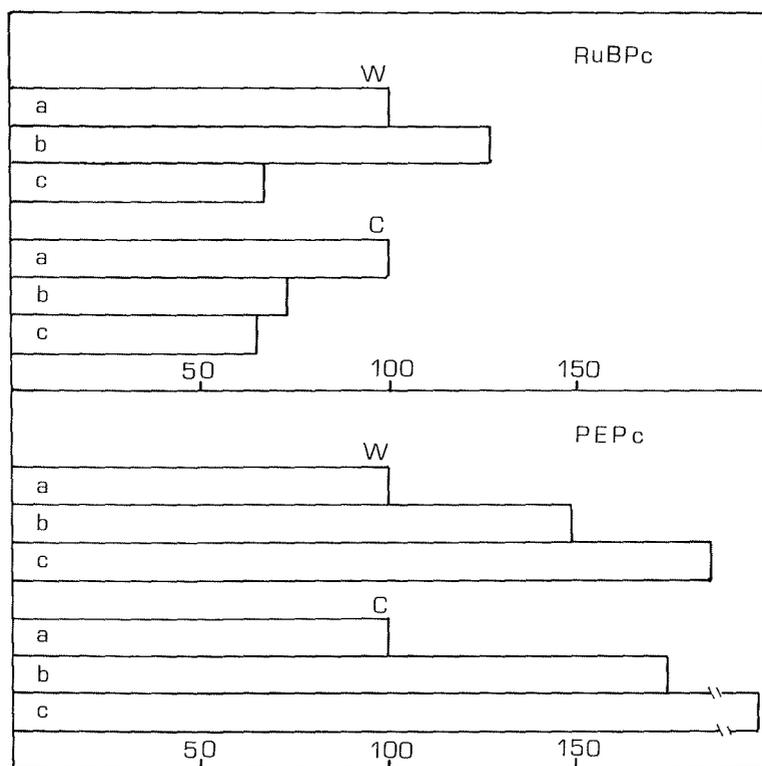


Figura 2 - Attività enzimatiche di RuBP carbossilasi e PEP carbossilasi ($\mu\text{moli CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ proteina) nei due genotipi di miglio W e C allevati con tre livelli di salinità: a) controllo (NaCl); b) 100 mM NaCl; c) 300 mM NaCl. Nel grafico vengono riportate le variazioni percentuali rispetto al controllo.

silante a favore della PEPc anche nei genotipi di miglio come già osservato in frumento (2), alge (5) e fagiolo (6). La ridotta capacità di fissazione della CO₂ perciò, non può essere dovuta ad una scarsa efficienza del metabolismo fotosintetico ma piuttosto ad un modificato grado di apertura degli stomi.

L'adattamento dei genotipi di miglio allo stress salino si manifesta mediante il cambiamento del rapporto RuBPc/PEPc tipico delle piante C₃ verso quello tipico delle piante C₄.

TABELLA 2 - Rapporto RuBPc / PEPc (x 10⁻³).

NaCl (mM)	W	C
0	8.30	8.56
100	7.18	3.57
300	2.98	2.63

Il genotipo resistente (W), comunque, ha dimostrato a 100 mM NaCl caratteristiche superiori al sensibile (C) nell'efficienza di assimilazione del carbonio grazie a un minor decremento nell'incorporazione della CO₂ ed un aumento della RuBPc, che trovano riscontro anche nelle migliori performances di accrescimento di W rispetto a C in condizioni di elevata salinità.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BOTTACIN A., CACCO G. and SACCOMANI M. - Nitrogen absorption and assimilation in NaCl-resistant and NaCl-susceptible millet genotypes (*Pennisetum americanum*). Can. J. Bot. 63: 517, 1985.
- (2) PASSERA C. and ALBUZIO A. - Effect of salinity on photosynthesis and photorespiration of two wheat species (*Triticum durum* cv. PEPE 2122 and *Triticum aestivum* cv. Marzotto). Can. J. Bot. 56: 121, 1978.
- (3) PAPP J. C., BALL M. C. and TERRY N. - A comparative study of the effect of NaCl salinity on respiration, photosynthesis, and leaf extension growth in *Beta vulgaris* L (sugar beet). Plant Cell Environ. 6: 675, 1983.
- (4) SEEMAN J.R. and CRITCHLEY C. - Effect of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L. Planta. 164: 151, 1985.
- (5) SHITOLE M. G. and JOSHI G. V. - Effect of sodium chloride on the balance between C₃ and C₄ carbon fixation pathways and growth. Photosynthetica. 18: 377, 1984.
- (6) RAJAMANE N. A. and KARADGE M. A. - Photosynthesis and photorespiration in winged bean (*Psophocarpus tertagonolobus*) grown under saline conditions. Photosynthetica. 20: 139, 1986.

Risposte del trasporto ed assimilazione del solfato alla deprivazione di zolfo in plantule di mais

CACCO G.* - SACCOMANI M.**

INTRODUZIONE

Lo stress nutrizionale riveste particolare importanza come mezzo di studio della relazione che intercorre tra disponibilità di nutrimenti ed accrescimento. La pianta può reagire alla carenza nutrizionale aumentando la potenzialità dei sistemi di trasporto o rallentando il metabolismo. Nel primo caso viene privilegiata la produttività (interesse agrario) nel secondo la conservazione della specie (interesse ecologico).

L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di verificare la capacità di adattamento del mais allo stress nutrizionale verificando l'effetto della solfo-carenza sull'evoluzione delle cinetiche di assorbimento ed assimilazione del solfato.

MATERIALI E METODI

Sono stati impiegati due ibridi di mais XL72a e XL342. Dopo germinazione le giovani plantule di mais erano alimentate con una soluzione di Hoagland (dil. 1:10) e lo ione solfato era sostituito con lo ione cloro in modo da realizzare differenti periodi di solfo-carenza.

Su plantule di 11 giorni sono stati effettuati gli esperimenti di assorbimento e traslocazione impiegando una soluzione nutritiva marcata con $^{35}\text{S-SO}_4^{2-}$ (1) e di dosaggio dell'attività di ATP-sulfurilasi (3). Il contenuto dei solfati era valutato per via turbidimetrica in una aliquota di estratto acquoso di tessuto radicale o fogliare (2).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Dai dati esposti (Tabella 1) si può ricavare che i due ibridi considerati, XL72a e XL342, rispondono allo stato di carenza incrementando la potenzialità del sistema di trasporto e diminuendo la sua affinità per i solfati (Figura 1). Le cinetiche di traslocazione sono influenzate in modo analogo a quelle del trasporto con incrementi percentuali giornalieri dello stesso ordine di grandezza (Figura 2). I pools di solfati, valutati nelle radici e nelle foglie, sono diminuiti in entrambi gli ibridi ed in misura maggiore nelle radici rispetto alle foglie (Figura 3).

TABELLA 1 - Variazioni percentuali dei parametri di assorbimento e metabolici del solfato in giovani plantule di mais sottoposte a solfocarenza.

Parametri metabolici	Variazioni precentuali	
	XL72a	XL342
<i>Assorbimento</i>		
V _{max}	+286 ^{xx}	+445 ^{xx}
K _M	+ 44 ^{xx}	+ 79 ^{xx}
<i>Traslocazione</i>		
V _{max}	+295 ^{xx}	+186 ^{xx}
K _M	+ 50 ^{xx}	+ 40 ^{xx}
<i>ATP sulfurilasi</i>	+ 18 ^{xx}	+ 13 ^{xx}
<i>Contenuto dei solfati</i>		
radici	-149 ^{xx}	-121 ^{xx}
foglie	- 44 ^{xx}	- 33 ^{xx}

In concomitanza l'ATP-sulfurilasi dosata nelle foglie, è stata derepressa in entrambi gli ibridi (Figura 4) con conseguenti modesti ma significativi incrementi: 18% e 13% rispettivamente per l'XL72a e XL342. Le misure di accrescimento relativo (R.G.R.) non sono state influenzate dalla solfocarenza nel corso dell'esperimento.

Dai dati esposti si può osservare che l'incremento dei valori dei parametri cinetici è il primo immediato effetto indotto dalla solfocarenza. Seguono modeste variazioni dei pools dei solfati nelle foglie e una debole fluttuazione

dell'attività dell'ATP-sulfurilasi. Esiste, pertanto, una graduale sequenza degli effetti indotti dalla carenza nutrizionale in armonia con le seguenti ipotesi:

- 1) Le piante rispondono alla carenza aumentando la capacità di influsso al fine di mantenere una concentrazione interna di nutriliti tale da assicurare il normale funzionamento delle attività metaboliche e quindi dell'accrescimento.
- 2) I differenti livelli di risposta allo stato di carenza delle cinetiche di assorbimento nei due ibridi possono essere un indice della diversa capacità di adattamento delle piante agli stress nutrizionali.

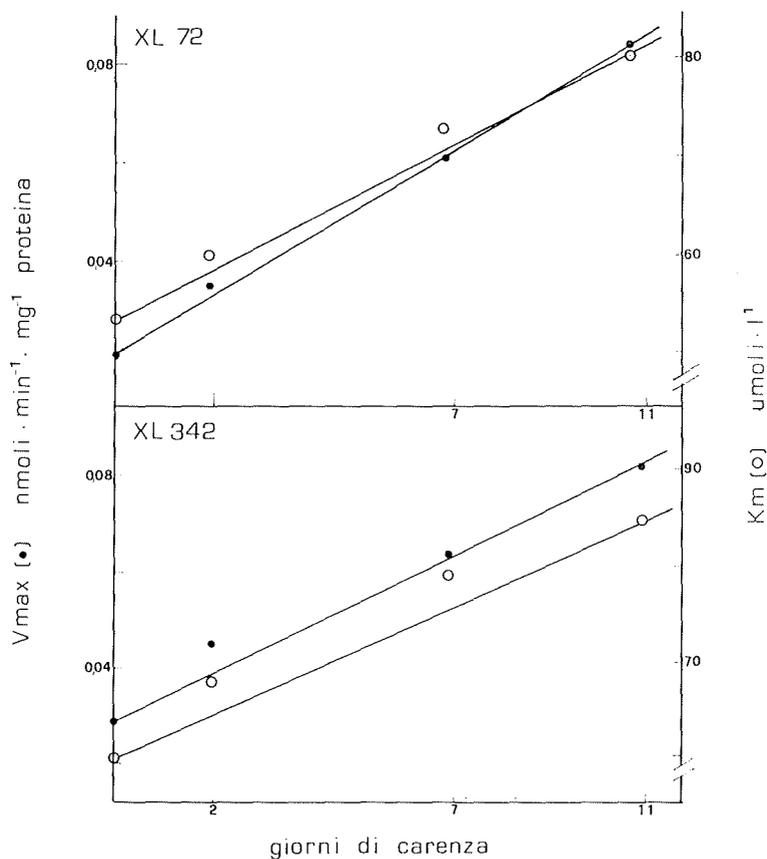


Figura 1 - Evoluzione dei parametri cinetici di assorbimento dei solfati in giovani plantule di mais sottoposte a solfocarenza.

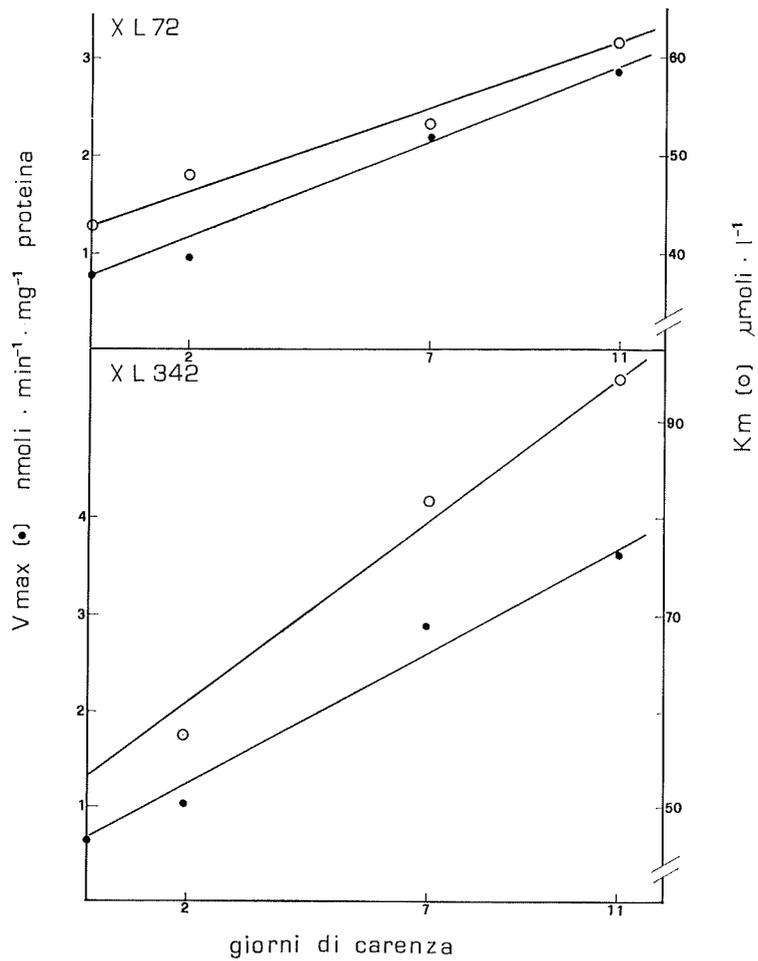


Figura 2 - Evoluzione dei parametri cinetici di traslocazione dei solfati in giovani plantule di mais sottoposte a solfocarenza.

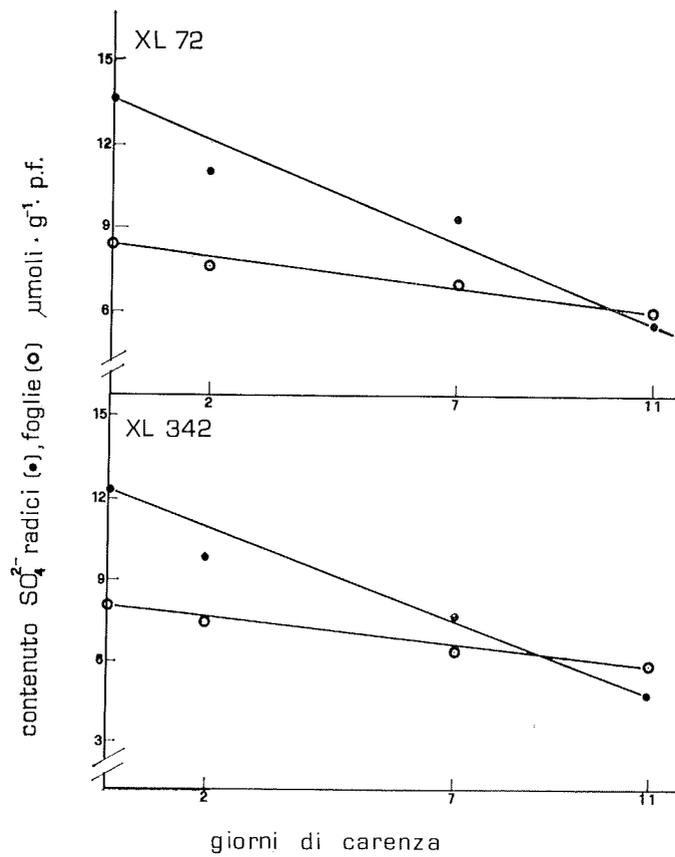


Figura 3 - Variazioni del contenuto dei solfati in radici (•) e foglie (○) di giovani plantule di mais sottoposte a solfocarenza.

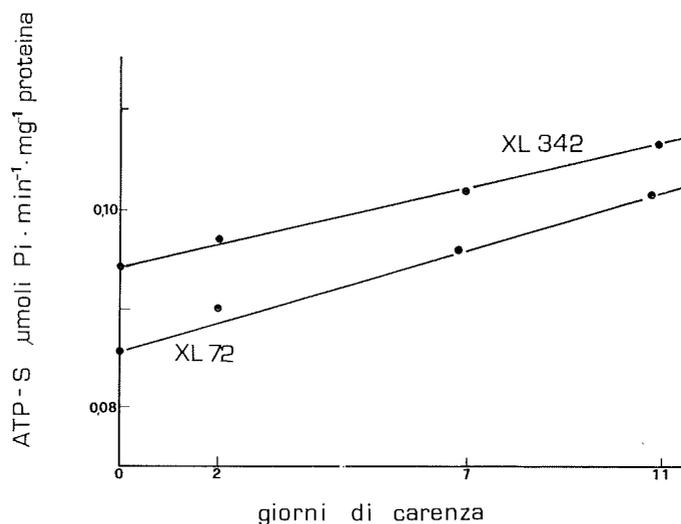


Figura 4 - Variazione dell'attività dell'ATP-sulfurilasi in giovani plantule di mais sottoposte a solfocarenza.

BIBLIOGRAFIA

- (1) SACCOMANI M., CACCO G., FERRARI G. - Changes in the kinetic parameters of sulfate uptake in maize hybrids during the selection period 1930 through 1975. *Maydica* 39: 133, 1984.
- (2) TABATAI M. A., BRENNER J. M. - A simple turbidimetric method for determining total sulphur in plant materials. *Agronomy J.* 62: 805, 1970.
- (3) WILSON L. G., BANDURSKI R. S. - Enzymatic reactions involving sulfate, sulfite, selenate and molybdate. *J. Biol. Chem.* 233: 975, 1958.

ISTITUTO TOSSINE E MICOTOSSINE DA PARASSITI VEGETALI DEL CNR
E DIPARTIMENTO DI PATOLOGIA VEGETALE - UNIVERSITA' DI BARI *

DIPARTIMENTO DI CHIMICA ORGANICA E BIOLOGICA
UNIVERSITA' DI NAPOLI **

ISTITUTO DI CHIMICA BIOLOGICA - FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA
UNIVERSITA' DI CAGLIARI ***

Sulla produzione di citocalasine da parte di specie di *Ascochyta* fitopatogene

BOTTALICO A. * - CAPASSO R. ** - EVIDENTE A. ** - RANDAZZO G. ***
RITIENI A. ** - VURRO M. *

Una grave malattia dell'Oleandro (*Nerium oleander* L.) è stata osservata nel 1985 su piante di un vivaio vicino Bari.

Essa è causata da *Ascochyta heteromorpha* (Sch. et Sacc.) Curzi e si manifesta sui giovani rami e sulle foglie con estese necrosi interessanti vaste aree di tessuto, dovute alla produzione di tossine da parte del patogeno.

Lo studio delle tossine prodotte in coltura da *A. heteromorpha* ha condotto all'identificazione di un principio fitotossico non estraibile in solvente organico ed ancora da caratterizzare, e all'isolamento delle citocalasine A e B (1) (Figura 1). Tali composti, noti per la loro attività citostatica (2), non sono risultati attivi su piante recise di pomodoro.

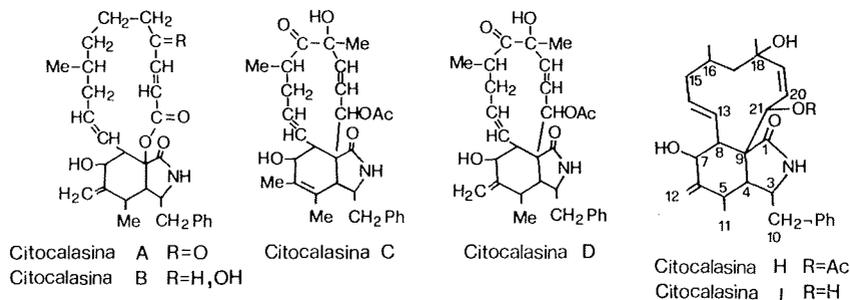


Figura 1 - Struttura di alcune citocalasine.

Sono in corso studi chimico-fisici per la determinazione della struttura di almeno altre due citocalasine prodotte dallo stesso fungo.

Studi preliminari di correlazione struttura-attività biologica delle citocalasine A e B, di alcuni derivati sintetici (21,22-diidrocitocalasina B e diacetilcitocalasina B) e di altre citocalasine commerciali (C, D, H e J) hanno messo in evidenza una attività inibitrice sull'accrescimento radicale dei semi germinati di pomodoro e una attività tossica su larve di *Artemia salina* da parte di tutti i composti menzionati. Si è osservata inoltre una attività antibiotica da parte della citocalasina A su *Geotricum candidum*, *Penicillium expansum* e *Bacillium megaterium*.

La produzione di citocalasine da parte di *A. heteromorpha* e di *Phomopsis paspali*, un fungo patogeno per una varietà di grano in India (*Paspalum scrobiculatum* L.) (3), ha suggerito la ricerca di tali tossine anche in altre specie di *Ascochyta* fitopatogene, isolate da piante agrarie, quali pisello, fava e cece.

Infatti, la diffusione di specie di *Ascochyta* produttrici di citocalasine nelle colture agrarie, potrebbe avere importanza non solo dal punto di vista fitopatologico ma anche da quello micotossicologico.

A tale riguardo si è iniziata l'analisi delle tossine negli estratti colturali delle diverse specie di *Ascochyta*, utilizzando in combinazione le tecniche HPTLC (High Performance Thin Layer Chromatography) e HPLC (High Performance Liquid Chromatography). I risultati preliminari relativi al primo metodo sono riportati nella Tabella 1. Attualmente si può confermare la presenza delle citocalasine A e B soltanto nelle colture di *A. heteromorpha*.

TABELLA 1 - Valori di R_f delle citocalasine sottoelencate ottenuti nell'analisi per HPTC^a e TLC^b.

	Citocalasina A	Citocalasina B	Citocalasina C	Citocalasina D	Citocalasina H	Citocalasina J
Acetonitrile/ acqua 60:40*	0,25	0,42	0,37	0,48	0,47	0,64
Cloroformio/ metanolo 92:8**	0,70	0,55	0,59	0,54	0,64	0,37
Etile acetato/ n-esano 70:30*	0,60	0,48	0,40	0,23	0,45	0,23
Cloroformio/ isopropanolo 90:10*	0,73	0,55	0,58	0,56	0,59	0,42

a) Merck gel di silice 0,25 mm

b) Whatman KC_{18F} 0,20 mm

*) eluente adoperato per la TLC

***) eluente adoperato per la HPTLC

BIBLIOGRAFIA

- (1) CAPASSO R., EVIDENTE A., RANDAZZO G., RITIENI A., BOTTALICO A., VURRO M. and LOGRIECO A. - Isolation of cytochacasins A and B from *Ascochyta heteromorpha*. J. Nat. Prod., 50: 989, 1987.
- (2) NATORI S. - Toxic cytochalasins in « Micotoxins in Human and Animal Health ». Pathotox pub. inc., Park Forest-South Illinois, 559, 1977.
- (3) PATWARDHAN S. A., PANDEY R. C. and SUKH DEV. - Toxic cytochalasins of *Phomopsis paspalli*, a pathogen of Kodo millet. Phytochemistry, 13: 1985, 1974.

**Valutazione di un modello di produzione potenziale
in patata in differenti condizioni di fertilizzazione
azotata e di irrigazione**

BARBIERI G. e DURANTI A.

INTRODUZIONE

Anche nella ricerca sulla patata si vanno sviluppando modelli matematici per la stima dei rischi climatici sulla produzione e per la previsione delle rese in diverse situazioni agro-climatiche ed a diversi livelli di tecnologia applicata (2, 4, 5, 6, 7, 8). Poichè i modelli richiedono il confronto/controllo con il mondo reale, scopo del presente lavoro è effettuare una verifica empirica di un modello matematico per la produzione di patata in differenti condizioni di irrigazione e fertilizzazione azotata.

MATERIALI E METODI

La ricerca è stata condotta nell'azienda sperimentale dell'Università di Napoli in provincia di Salerno, nella Piana del fiume Sele, a 40°37'07"N ed a 14°25'26"E e a un'altitudine di 30 m. La prova è stata svolta secondo lo schema sperimentale a parcelle suddivise con due variabili (irrigazione ed azoto) e tre ripetizioni. Erano previsti quattro trattamenti irrigui (T0= testimone non irrigato; T1=regime ridotto; T2=regime normale; T3=regime abbondante) distribuiti nelle parcelle principali e quattro livelli di azoto (0, 100, 200 e 300 kg/ha) nelle parcelle elementari. La messa a dimora dei tuberi interi della cv precoce « Jaerla » è stata effettuata il 4 marzo 1983 con 5 tuberi per m². Ogni settimana, a partire dal 19 marzo e fino all'8 giugno, sono stati prelevate da ogni parcella cinque piante per la determinazione della s.s. e dell'area fogliare. Un ultimo prelievo è stato effettuato in corrispondenza della raccolta il 30 giugno.

DESCRIZIONE DEL MODELLO (1, 3)

$$P_{pot} = (F \cdot P_o + (1-F) \cdot P_c) \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot \varphi \quad (1);$$

P_{pot} = incremento giornaliero di biomassa in kg/ha · d;

P_c , P_o = fotosintesi giornaliera potenziale lorda di una copertura vegetale di riferimento ($T = 20^\circ\text{C}$ e $\text{LAI} = 5$) per condizioni di cielo coperto P_o ed in assenza di nubi P_c ;

F = frazione del giorno in cui il cielo è coperto da nubi ottenuta come $(H_c - H_r) / 0,8 \cdot H_c$, con H_c = valore teorico della radiazione e H_r = valore reale della stessa;

α = coefficiente di temperatura ($0 < \alpha < 1$);

γ = coefficiente di copertura del suolo da parte della coltura ($\gamma = \text{LAI}/5$);

φ = coefficiente di respirazione (pari a 0,75);

Sostanza secca totale: $R_{pot} = \sum i P_{pot,i} \quad (2);$

Sostanza secca tuberi: $R_{pot. tub.} = \sum i \beta \cdot P_{pot,i} \quad (3);$

con β = indice di raccolta.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Per ciascuna combinazione di regime irriguo e livello azotato, i risultati di R_{pot} e $R_{pot \cdot tub}$ calcolati dal modello sono stati confrontati con i dati sperimentali della biomassa totale e della produzione di tuberi. A tale scopo sono stati stimati i coefficienti di regressione lineare tra i valori sperimentali e calcolati ed è stata effettuata l'analisi della varianza per il confronto tra le predette regressioni. I risultati di tale analisi hanno evidenziato, sia per la biomassa totale che per la produzione di tuberi, la significatività del coefficiente di regressione comune ma non lo scostamento dal parallelismo tra le regressioni singole, motivo per cui tutti i trattamenti sono stati considerati congiuntamente, dando nel complesso delle tesi in esame una unica dipendenza lineare significativa al livello di $P = 0,01$:

$$R_{sper} = (-12,56 \pm 61,692) + (0,841 \pm 0,0169) R_{pot} \quad r = 0,975;$$

$$R_{sper \cdot tub} = (-104,04 \pm 47,112) + (0,843 \pm 0,0162) R_{pot \cdot tub} \quad r = 0,978$$

Le produzioni calcolate sono risultate pertanto altamente correlate con quelle misurate senza differenza nella risposta per effetto dell'irrigazione e della concimazione azotata: la biomassa totale e la produzione di tuberi della varietà allo studio possono essere previste per mezzo delle semplici regressioni precedenti (Figura 1).

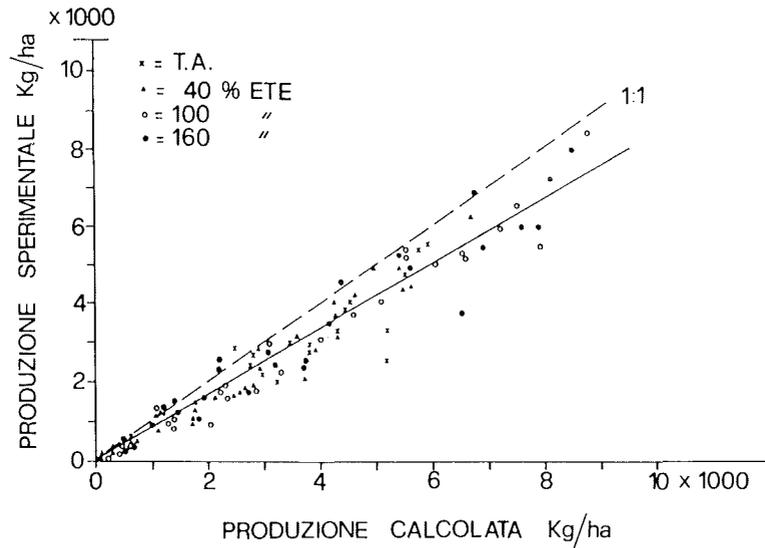


Figura 1 - Relazione tra resa sperimentale (y) e calcolata (x) per la biomassa totale:
 $y = -12,56 + 0,841 x \quad r = 0,975$

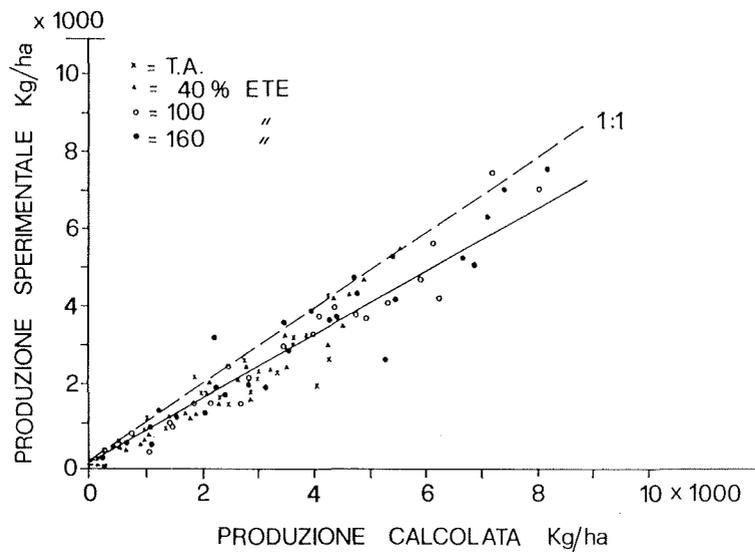


Figura 2 - Relazione tra resa sperimentale (y) e calcolata (x) per la produzione di tuberi:
 $y = -104,04 + 0,843 x \quad r = 0,978$

BIBLIOGRAFIA

- (1) DE WIT C. T. - Photosynthesis of leaf canopies. Agric. Res. Rep. 663: 577 pp. Wageningen, 1965.
- (2) DGOENBOS J., KASSAM A. M. - Yield response to water. Irrig. and Drainage paper 33: 193 pp., FAO-ROMA, 1979.
- (3) FEDES R. A., KOWALIK P., ZARADNY H. - Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monograph 189 pp. Wageningen, 1978.
- (4) HARTZ T. K., MOORE F. D. - Prediction of potato yield using temperature and insolation data. Am. Potato J. 55: 431-436, 1978.
- (5) MOSZ J., KOWALICK P. - Influence of irrigation on the development and yield of potatoes. Agric. Water Manage. 5: 171-179, 1982.
- (6) RIJTEMA P. E., ENDRODI G. - Calculation of production of potatoes. Neth. J. Agric. Sci. 18: 26-36, 1970.
- (7) SANDS P. J., HACKETT C., NIX H. A. - A model of the development and bulking of potatoes. I. Derivation from well-managed field crops. Field Crops Res. 2: 309-331, 1979.
- (8) SIBMA L. - Maximization of arable crops yields in the Netherlands. Neth. J. Agric. Sci. 52: 278-287, 1977.

IN
veg
gli
olt
an
int
dat
in
qua
zaz
zior
con
MA
Car
aml
trat
il s
min
min

Possibilità di quantificazione dei flussi di elementi nutritivi
nella sequenza suolo-pianta: esempio di un agrosistema intensivo

ARDUINO E. - ZANINI E. - BARBERIS E.

INTRODUZIONE

La quantificazione del trasferimento di elementi nutritivi dal suolo al vegetale e nei vari comparti ambientali permette non solo di razionalizzare gli interventi dell'uomo, ma anche di controllare e proteggere l'ambiente.

Il calcolo dei bilanci degli elementi nutritivi richiede dati che vanno oltre le normali analisi del suolo e del vegetale e la cui acquisizione non è ancora entrata nella routine.

Nel presente lavoro sono stati considerati due aspetti di un agrosistema intensivo, il pomodoro da mensa coltivato in serra, interpretando i numerosi dati a disposizione relativi a un ciclo produttivo « tipo ». Essi sono stati letti in chiave di flusso di elementi nutritivi nel sistema suolo-pianta sottolineando quali parametri debbano essere ancora valutati per ottimizzare la caratterizzazione del sistema: si è inteso in tal modo mettere in evidenza che l'applicazione di un modello consente di ottenere informazioni più puntuali sulle condizioni dell'agrosistema.

MATERIALI E METODI

Caratteristiche degli agrosistemi

E' stata considerata la coltura di pomodoro da mensa cv. Marmande in ambiente protetto nella piana di Albenga (SV). Essa viene ordinariamente trattata secondo due modalità di fertilizzazione (qui denominati agrosistemi): il sistema A prevede una fertilizzazione organica con letame all'impianto e minerale in copertura, mentre il sistema B una fertilizzazione esclusivamente minerale.

La coltura è stata effettuata in una serra fredda di 200 m² in vetro con aerazione automatica a 25°C; ciascun sistema occupava mezza serra.

Le pratiche colturali e le quantità di fertilizzanti sono state quelle ordinarie della zona e cioè:

- a) rapporto N : K = 1 : 0,4 : 1,4;
- b) trapianto a file con investimento di 3 piante/m²;
- c) epoca di trapianto: 6.3.1984;
- d) raccolta scalare fino a maturazione del 5° palco (31.7.1984);
- e) disinfezione del suolo in preimpianto con bromuro di metile;
- f) irrigazione per scorrimento a giorni alterni per un totale di 9000 m³/ha;
- g) somministrazione dei fertilizzanti (kg/ha) secondo due schemi:

SISTEMA A - fertilizzazione organica e minerale (letame, nitrato di ammonio, superfosfato, solfato di potassio);

SISTEMA B - fertilizzazione solo minerale (urea, nitrato di ammonio, superfosfato, solfato di potassio).

Caratteristiche del terreno

L'omogeneità del terreno è stata controllata con 24 campioni casuali secondo maglie di 1 m.

La tessitura è risultata franco-sabbiosa e la densità apparente pari a 1,03 g/cm³.

Le caratteristiche del terreno sono state valutate prima e dopo la coltura e sono riportate nella Tabella 1. I metodi di analisi sono stati quelli normalizzati dalla S.I.S.S. (1985).

Caratteristiche del vegetale

Foglie, steli, bacche e radici sono stati controllati nelle diverse fasi vegetative: fioritura e maturazione del primo palco, fioritura del terzo, del quarto e del quinto palco. Oltre alla determinazione di N, P e K (kg/ha) è stata registrata la produzione di bacche che è risultata complessivamente pressochè uguale nei due sistemi e pari a 3.2 kg/pianta.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Il diagramma di flusso degli elementi nutritivi in un agrosistema è stato descritto in generale da Frissel (1978) ed è qui riportato nella Figura 1. Poichè per il sistema considerato i flussi potevano essere notevolmente semplificati alcune parti dello schema non sono state prese in considerazione. Sono stati compilati i bilanci di N, P e K nei diversi comparti in cui l'agrosistema poteva

TABELLA 1 - Caratteristiche del terreno prima e dopo la coltura.

	Preimpianto	Dopo la coltura	
		Sistema A	Sistema B
pH (H ₂ O)	6,6	6,6	6,6
Salinità μ S/cm	2554	5000	4300
N %	0,37	0,37	0,37
C %	3,8	4,1	4,2
C/N	10,5	11,0	11,3
P ass. ppm	133	240	288
K sc. ppm	207	657	555
CSC meq/100g	14,2	14,2	14,7
Ca sc. mmeq/100g	10,2	10,2	10,8
Mg sc. meq/100g	1,19	1,62	2,37
K sc. meq/g	0,53	1,68	1,42
Saturazione K %	3,7	11,8	9,7

essere distinto: sottosistema pianta e sottosistema suolo (frazione disponibile e frazione organica). Sulla base delle condizioni dei due sistemi di fertilizzazione adottata sono stati anche effettuati i bilanci tra input e output totali di elementi. I risultati sono indicati nelle Tabelle 2 - 7. Come si può osservare, per

TABELLA 2 - Sistema A; bilancio del sottosistema pianta (kg/ha).

				N	P	K
Apporti:						
29	— input da impianto	*		1,3	0,2	1,3
30 b	— trasferimento dal suolo	*		141,8	30,2	252,7
30 v	— trasferimento dal suolo	*		66,8	12,7	129,7
			totale	209,9	43,1	383,7
Asporti:						
18	— output per produzione	*		208,9	42,9	382,3
26	— trasferimento dei residui rimasti in campo	(+)		1,0	0,2	1,4
			totale	209,9	43,1	383,7
	APPORTI - ASPORTI	=		0,0	0,0	0,0

TABELLA 3 - Sistema A; bilancio del sottosistema suolo (kg/ha).

			N	P	K
<i>Frazione disponibile</i>					
Apporti:					
10 a	— input da letame	*	178,8	16,4	236,5
11	— input da fertilizzante minerale	*	310,0	193,6	497,0
12	— input da N-fissazione	+	—	—	—
14	— input da irrigazione	*	0,0	0,0	40,0
17	— trasferimento per mineralizzazione della frazione organica	+	277,5	10,0	—
26 a	— trasferimento dei residui	+	0,3	tr	0,7
16	— trasferimento da frazione minerale	+	0,0	39,9	205,0
totale			766,6	259,6	979,2
Asporti:					
19	— output per denitrificazione	+	30,0		
20	— output per volatilizzazione	+	10,0		
21	— output per dilavamento	+	75,0	0,0	30,0
25	— trasferimento per immobilizzazione nella frazione organica	(*)	195,6	?	?
30 b	— trasferimento dal suolo	*	141,8	30,2	252,7
30 v	— trasferimento dal suolo	*	65,8	12,7	128,0
totale			518,2	42,9	410,7
APPORTI - ASPORTI			= + 248,4	+ 217,0	+ 568,5
<i>Frazione organica</i>					
Apporti:					
10 b	— input da letame	*	81,2	0,0	52,9
25	— trasferimento per immobilizzazione nella frazione organica	(*)	195,6	?	?
26 b	— trasferimento dai residui rimasti in campo	(*)	0,7	0,2	0,7
totale			277,5	0,2	53,6
Asporti:					
17	— trasferimento per mineralizzazione della frazione organica	+	277,5	10,0	—
totale			277,5	10,0	—
APPORTI - ASPORTI			= 0,0	— 9,8	+ 53,6

TABELLA 4 - Sistema A; bilancio degli input e output totali di elementi nel sottosistema suolo (kg/ha).

				N	P	K
Apporti:						
10	— input da letame	*		260,0	16,4	289,0
11	— input da fertilizzanti minerali	*		310,0	193,6	497,0
12	— input ad N-fissazione	+		—	—	—
14	— input da irrigazione	*		0,0	0,0	40,0
26	— trasferimento dai residui rimasti in campo	(*)		1,0	0,2	1,4
			totale	571,0	210,2	827,4
Asporti:						
19	— output per denitrificazione	+		30,0		
20	— output per volatilizzazione	+		10,0		
21	— output per dilavamento	+		75,0	tr	30,0
30	— output per trasferimento alla pianta	*		207,6	42,9	380,7
			totale	322,6	42,9	410,7
	APPORTI - ASPORTI	=		+ 248,4	+ 167,3	+ 416,7

TABELLA 5 - Sistema B; bilancio del sottosistema pianta (kg/ha).

				N	P	K
Apporti:						
29	— input da impianto	*		1,3	0,2	1,3
30 b	— trasferimento dal suolo	*		116,2	27,2	253,4
30 v	— trasferimento dal suolo	*		74,8	13,8	111,0
			totale	192,8	41,2	365,7
Asporti:						
18	— output per produzione	*		191,3	41,0	364,3
26	— trasferimento dai residui rimasti in campo	(*)		1,0	0,2	1,4
			totale	192,3	41,2	365,7
	APPORTI - ASPORTI	=		0,0	0,0	0,0

TABELLA 6 - Sistema B; del sottosistema suolo (kg/ha).

			N	P	K
<i>Frazione disponibile</i>					
Apporti:					
10 a	— input da letame	*	0,0	0,0	0,0
11	— input da fertilizzante minerale	*	570,0	210,0	786,0
12	— input da N-fissazione	+	—		
14	— input da irrigazione	*	tr	tr	40,0
17	— trasferimento per mineralizzazione della frazione organica	+	277,5	10,0	?
26 a	— trasferimento dei residui	+	0,3	tr	0,7
16	— trasferimento da frazione minerale	+	0,0	39,9	205,0
			847,8	259,9	1031,7
Asporti:					
19	— output per denitrificazione	+	30,0		
20	— output per volatilizzazione	+	—		
21	— output per dilavamento	+	75,0	tr	30,0
25	— trasferimento per immobilizzazione nella frazione organica	(*)	276,8	?	?
30 t	— trasferimento dal suolo	*	116,2	27,2	253,4
30 r	— trasferimento dal suolo	*	74,8	13,8	111,0
totale			572,8	41,0	394,4
APPORTI - ASPORTI =			+ 275,0	+ 218,9	+ 637,3
<i>Frazione organica</i>					
Apporti:					
10 b	— input da letame	*	0,0	0,0	0,0
25	— trasferimento per immobilizzazione nella frazione organica	(*)	276,8	?	?
26 b	— trasferimento dai residui rimasti in campo	(*)	0,7	0,2	0,7
totale			277,5	0,2	0,7
Asporti:					
17	— trasferimento per mineralizzazione della frazione organica	+	277,5	10,0	—
totale			277,5	10,0	—
APPORTI - ASPORTI =			0,0	- 9,8	+ 0,7

TABELLA 7 - Sistema B; bilancio degli input e output totali di elementi nel sottosistema suolo (kg/ha).

			N	P	K
Apporti:					
10	— input da letame	*	0,0	0,0	0,0
11	— input da fertilizzanti minerali	*	570,0	210,0	786,0
12	— input da N-fissazione	+	—		
14	— input da irrigazione	*	tr	tr	40,0
26	— trasferimento dai residui rimasti in campo	(*)	1,0	0,2	1,4
totale			571,0	210,2	827,4
Asporti:					
19	— output per denitrificazione	+	30,0		
20	— output per volatilizzazione	+	—		
21	— output per dilavamento	+	75,0	tr	30,0
30	— output per trasferimento alla pianta	*	191,0	41,0	364,4
totale			296,0	41,0	394,4
APPORTI - ASPORTI =			+ 275,0	+ 169,2	+ 433,0

alcuni valori è stato fatto riferimento a quanto riportato in letteratura o sono state fatte delle stime ed in particolare:

- 10 - da Russel, E.W. (1973);
- 14 - l'acqua, somministrata in quantità pari a 9000 m³ e le cui caratteristiche sono state controllate, ha contribuito con i seguenti input:
N totale = tracce; P < 0,05 mg/l; K⁺ 0,5 mg/l;
- 16 - per P è stato considerato assimilabile il 12% del P-Olsen e per K è stato considerato disponibile l'eccedenza rispetto al 2,1% di saturazione del complesso di scambio;
- 17 - tasso di mineralizzazione stimato = 3%;
- 19 - da Yatazawa, M. (1978);

- 20 - ibidem;
- 21 - ibidem;
- 25 - nessuna variazione nel contenuto di N del suolo a fine coltura;
- 26 a - disponibilità per N = 30%, per P e per K = 50%;
- 29 - 30.000 piantine/ha equivalgono a circa 30 kg/ha di sostanza secca;
- 30 b - asporti delle bacche;
- 30 v - asporti delle foglie, degli steli e delle radici.

Nella lettura delle tabelle si tenga conto delle seguenti notazioni:
 * = valore determinato sperimentale; (*) = valore derivato dal bilancio;
 + = valore derivato dalla letteratura o stimato; — = dato non rilevante
 che non implica trasferimento; 0,0 = zero nei trasferimenti di elementi nutri-
 tivi; 0,0 = stato stazionario nelle condizioni di bilanciamento; tr = tracce;
 ? = quantità significativa, ma sconosciuta.

Il bilancio dell'azoto nei componenti totali del suolo è positivo. Ciò potreb-
 be derivare da una sottostima delle quantità perse per dilavamento, denitrifi-
 cazione e volatilizzazione.

L'aumento è però in accordo con l'incremento di salinità. Considerando il
 tasso di mineralizzazione pari al 3% ed un'analogia immobilizzazione nella fra-
 zione organica, risulta che l'arricchimento in azoto è a carico della frazione
 disponibile.

Non è stata possibile nè ipotizzabile attraverso i dati a disposizione una
 stima dell'eventuale immobilizzazione del fosfato. Ciò si traduce in un saldo
 positivo del bilancio del fosforo disponibile. L'aumento di fosforo assimila-
 bile, valutato nel suolo a fine coltura, è dello stesso ordine di grandezza di
 quello stimato.

Anche per il potassio si verifica un forte aumento nella frazione disponi-
 bile del suolo. Se si fa riferimento alle analisi del terreno, si rileva che nono-
 stante l'asporto della coltura il potassio è più che raddoppiato.

L'analisi dei flussi di azoto, fosforo e potassio porta a risultati non dissimili
 nei due agrosistemi considerati, che peraltro differiscono solo per il tipo di
 fertilizzazione attuata.

Le quantità di elementi somministrati sono eccessive e il suolo a fine
 coltura risulta particolarmente arricchito in elementi disponibili.

Ringraziamenti — Si ringraziano gli analisti del Laboratorio Chimico dell'Unità Sani-
 taria Locale Imperiese e i tecnici della Cooperativa « L'Ortofrutticola » e del Centro Speri-
 mentale delle C.C.A.A. di Savona e Imperia per la preziosa collaborazione.

BIBLIOGRAFIA

- (1) FRISSEL M.J. - *Cycling of Mineral Nutrients in Agricultural Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, 1978.
- (2) RUSSEL E.W. - *Soil Conditions and Plant Growth*. Longman, London, p. 639, 1973.
- (3) S.I.S.S. - *Metodi normalizzati di analisi del suolo* a cura di L. Federico Goldberg ed E. Arduino. Edagricole, Bologna, 1985.
- (4) YATAZWA M. - in « *Cycling of Mineral Nutrients in Agricultural Ecosystems* », Elsevier, Amsterdam, p. 167-179, 1978.

**Elementi-traccia nei concimi chimici inorganici: antimonio,
berillio, cesio, tallio, vanadio**

SENESI N. - PADOVANO G. - BRUNETTI G.

INTRODUZIONE

E' opinione ormai consolidata e confortata da ampia documentazione sperimentale che i concimi chimici inorganici rappresentano una delle principali, e al tempo stesso tra le meno controllate, fonti di elementi traccia per il terreno (1). Sia i concimi minerali che di sintesi industriale contengono, insieme ai nutrienti principali, quantità molto variabili di elementi secondari e in traccia derivanti in buona parte dalle materie prime naturali, nonché da catalizzatori, reagenti, corrosione degli impianti, ecc., in seguito alle varie fasi del processo di lavorazione. L'apporto incontrollato al terreno di tali elementi traccia può provocare da un lato modificazioni dilazionate nel tempo della loro distribuzione geochemica naturale e una contaminazione permanente del terreno, in seguito a fenomeni di immobilizzazione e accumulo, dall'altro, per mobilizzazione e biodisponibilità, influenzare i delicati equilibri nutrizionali nei rapporti terreno-pianta esplicando effetti benefici nei casi di carenze ovvero inducendo o aggravando fenomeni di tossicità, o ancora, in seguito a trasporto orizzontale e verticale, passare a contaminare le acque di superficie o di falda.

Sulla base delle precedenti considerazioni, accertata l'esiguità dei dati sperimentali, spesso poco aggiornati, disponibili in letteratura, e nell'ambito di un ampio studio che ha già portato all'accertamento dei contenuti di 21 elementi secondari e in traccia nei più comuni tipi di concimi chimici commercializzati sul territorio nazionale (2-6), la presente indagine estende lo studio agli elementi antimonio, berillio, cesio, tallio e vanadio.

MATERIALI E METODI

A questo scopo, 48 campioni di concimi chimici semplici e complessi, di varie ditte produttrici collezionati direttamente sul mercato, sono stati sottoposti a digestione acida e quindi gli estratti sono stati analizzati in spettro-

metria di assorbimento atomico (A.A.). I migliori risultati di estrazione sono stati ottenuti per cesio e vanadio con attacco con acido nitrico concentrato, per il berillio con acqua regia. Le condizioni operative in A.A. sono riassunte in Tabella 1, mentre opportuni accorgimenti analitici hanno consentito l'eliminazione dell'effetto matrice nei vari casi.

TABELLA 1 - Condizioni operative dello spettrofotometro A.A.I.L. modello 251.

Condizioni operative	Antimonio	Berillio	Cesio	Tallio	Vanadio
Dispositivo di atomizzazione	Fiamma, aria, H ₂	Fornetto grafite	Fiamma, aria, C ₂ H ₂	Fornetto grafite	Fornetto grafite
Lunghezza d'onda (nm)	217,6	234,9	852,1	276,8	318,4
Banda passante (nm)	0,3	1,0	1,0	0,5	1,0
Programma temperature (°C)	—	75,150,175 1000,2500	—	75,100,225 350,1900	75,150 500,750 2800
Programma tempi (sec)	—	5",5",15" 20",5".	—	20",25",15" 20",5".	5",5",25" 25",5"

RISULTATI E CONCLUSIONI

L'antimonio e il tallio sono risultati sempre al di sotto dei limiti di dosabilità, mentre il berillio era dosabile in tutti i campioni all'esame, grazie anche al suo più basso limite di dosabilità, dell'ordine delle ppb.

Sia il cesio che il vanadio sono risultati al di sotto dei limiti di dosabilità (< 2 ppm) in tutti campioni di solfato ammonico e urea agricola, mentre il solo cesio era non dosabile anche nei perfosfati doppi e tripli, nel fosfato biammonico e nei complessi binari NP. Nella Tabella 2 sono riferiti i valori minimi, medi e massimi dei tre elementi dosabili, riscontrati in gruppi di concimi dello stesso tipo. Il berillio è risultato presente in tutti i campioni in quantità generalmente molto più basse degli altri due elementi dosabili, ad eccezione del perfosfato triplo, ove risultava il più rappresentato. Il vanadio presentava i valori più alti tra gli elementi indagati, ad eccezione del nitrato di calcio e alcuni campioni di solfato potassico e complessi ternari, dove risultava leggermente inferiore al cesio, e del perfosfato triplo, ove era presente in quantità inferiori al berillio.

I livelli più bassi di tutti gli elementi sono stati determinati nei concimi sintetici: solfato e nitrato ammonico, urea agricola e nitrato di calcio. I com-

plexi binari NP, seguiti dal fosfato biammonico e dai campioni di solfato potassico, risultavano i concimi più dotati di vanadio, mentre livelli piuttosto elevati di questo elemento si riscontravano anche nei complessi ternari e nella calciocianamide. Il solfato potassico era, tra i concimi indagati, quello a più alto tenore in cesio, anche presente in quantità significative nei complessi

TABELLA 2 - Contenuti minimi, medi e massimi di Be, Cs e V nei concimi indagati.

Tipo di concime	N. camp.	Berillio (ppb)	Cesio (ppm)	Vanadio (ppm)
Solfato ammonico	2	173,8-187,4-201	< 2	< 2
Nitrato ammonico	2	115-172,5-230	2,6-3,6-4,6	9,8- 10,3 - 10,8
Nitrato di calcio	1	150	9	7,4
Urea agricola	4	27,4-44,8-68,8	< 2	< 2
Calciocianamide	2	1934-2417-2900	24-25 -26	43,8- 51,4 - 59
Perfosfato doppio	5	2080-2615-4260	< 2	6,2- 6,92- 8
Perfosfato triplo	2	7380-7490-7600	< 2	3,4- 3,5 - 3,6
Solfato potassico	5	2180-3560-4360	60-82,8-92	54,2-104,76-128,6
Fosfato biammonico	1	7500	< 2	155,4
Complessi binari NP	6	2000-4866-6700	< 2	45,2-179,3 -374
Complessi ternari	18	540-2835-5640	17-34 -64	34,2- 61,5 -111

ternari e nella calciocianamide. Il perfosfato triplo e il fosfato biammonico risultavano i più dotati in berillio, anche ben rappresentato nei complessi binari e ternari e nel solfato potassico. Tali distribuzioni sono da attribuire principalmente alla originaria presenza di tali elementi nelle materie prime minerali da cui tali concimi derivano e secondariamente ad impurezze derivate dai reagenti (es. acido solforico) e dai catalizzatori impiegati nei processi di fabbricazione e da corrosione-impianti.

Al fine di valutare, sia pure orientativamente, l'entità degli apporti al terreno di tali elementi con le concimazioni, ne sono stati calcolati i valori minimi, medi e massimi in riferimento alle dosi minime, medie e massime comunemente somministrate ai terreni per ogni tipo di concime (Tabella 3). L'esame di tali dati indica che i maggiori apporti sono da imputarsi all'uso di massicce dosi di complessi ternari e binari e di solfato potassico, mentre molto minori risultano, tranne alcune eccezioni, gli apporti derivanti dalla somministrazione di calciocianamide e perfosfati doppi e tripli. Del tutto trascurabili risultano poi gli apporti imputabili a concimi sintetici azotati.

TABELLA 3 - Quantità di berillio, cesio e vanadio (g/ha) somministrati al terreno in seguito ad apporti dei diversi concimi (q/ha).

Elementi Concimi (q/ha)		Berillio (g/ha)			Cesio (g/ha)			Vanadio (g/ha)		
		min	med	max	min	med	max	min	med	max
Solfato ammonico	1	0,017	0,019	0,020	< 0,2			< 0,2		
	2	0,035	0,087	0,040	< 0,4			< 0,4		
	3,5	0,061	0,065	0,070	< 0,7			< 0,7		
Nitrato ammonico	0,6	0,007	0,010	0,014	0,156	0,216	0,276	0,59	0,62	0,65
	1,5	0,017	0,026	0,034	0,390	0,540	0,690	1,47	1,54	1,62
	3	0,034	0,052	0,069	0,780	1,080	1,380	2,96	3,09	3,24
Nitrato di calcio	1	0,015			0,90			0,74		
	2	0,030			1,80			1,48		
	3	0,045			2,70			2,22		
Urea agricola	0,75	0,002	0,003	0,005	< 0,15			< 0,15		
	1	0,003	0,004	0,007	< 0,20			< 0,20		
	1,5	0,004	0,007	0,010	< 0,30			< 0,30		
Calcio- cianamide	1	0,193	0,242	0,290	2,40	2,50	2,60	4,38	5,14	5,19
	2,5	0,482	0,604	0,725	6,00	6,25	6,50	10,95	12,85	14,75
	4	0,774	0,967	1,160	9,60	10,0	10,4	17,52	20,56	23,60
Perfosfato doppio	3	0,624	0,784	1,278	< 0,60			1,86	2,08	2,40
	5	1,040	1,307	2,130	< 1,00			3,10	3,46	4,00
	8	1,660	2,092	3,410	< 1,60			4,96	5,54	6,40
Perfosfato triplo	2	1,476	1,498	1,520	< 0,40			0,68	0,70	0,72
	3	2,214	2,247	2,280	< 0,60			1,02	1,05	1,08
	8	5,904	5,992	6,080	< 1,60			2,72	2,80	2,88
Solfato potassico	1	0,218	0,356	0,436	6,00	8,40	9,20	5,40	10,48	12,86
	2	0,436	0,712	0,872	12,0	16,8	18,4	10,80	20,96	25,72
	4	0,872	1,424	1,744	24,0	33,6	36,8	21,60	41,92	50,40
Fosfato biammonico	0,7	0,725			< 0,14			10,88		
	1,5	1,125			< 0,30			23,31		
	5	3,750			< 1,00			77,70		
Complessi binari NP	0,7	0,140	0,340	0,469	< 0,14			3,16	12,55	26,18
	1,5	0,300	0,730	1,005	< 0,30			6,78	26,89	56,10
	5	1,000	2,430	3,350	< 1,00			22,50	89,65	187,0
Complessi ternari NPK	1	0,054	0,284	0,564	1,70	3,40	6,40	3,42	6,15	11,1
	5	0,270	1,418	2,820	8,50	17,0	32,0	17,10	30,75	55,5
	8	0,432	2,268	4,510	13,6	27,2	51,2	27,36	49,20	88,0

Tenendo conto dei contenuti totali medi di tali elementi recentemente stimati nei terreni (7) (Be, 15; Cs, 300; V, 300, kg/ha), si può concludere che la dotazione naturale complessiva degli stessi nel terreno non venga significativamente influenzata dagli apporti di una sola concimazione. Nel caso invece di terreni sottoposti ad intensa concimazione, col passare degli anni, e in particolari condizioni pedochimiche, le possibilità di modificazioni delle dotazioni naturali appaiono più realistiche nel caso di apporti elevati.

BIBLIOGRAFIA

- (1) PURVES D. - Trace element contamination of the environment. Elsevier, New York, 1977.
- (2) SENESI N., POLEMIO M., LORUSSO L. - Componenti secondari dei concimi chimici quali fonti di inquinamento agricolo: Cd, Hg, Pb e Sn. *Inquinamento*, 3: 1, 1979.
- (3) SENESI N., POLEMIO M. - Trace element content in inorganic fertilizers and relative supplies to soil. *Environ. Management Agric. Watersheds, I.I.A.S.A., Austria*, 227, 1983.
- (4) SENESI N., POLEMIO M., LORUSSO L. - Content and distribution of arsenic, bismuth, lithium and selenium in mineral and synthetic fertilizers and their contribution to soil. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis*, 10: 1109, 1979.
- (5) SENESI N., POLEMIO M. - Trace element addition to soil by application of NPK fertilizers. *Fertil. Res.*, 2: 289, 1981.
- (6) SENESI N., POLEMIO M., LORUSSO L. - Evaluation of barium, rubidium and strontium contents in commercial fertilizers. *Fertil. Res.*, 4: 135, 1983.
- (7) COTTENIE A. - Essential and non essential trace elements. *Bull. Anal. Agrochem. Lab. State Univ. Ghent (Belgium)*, 2, 1979.

Osservazioni preliminari sugli effetti di sostanze umiche ed erbicidi sulla crescita di *Pisum sativum* su soluzione nutritiva

SENESI N. - LOFFREDO E. - PADOVANO G.

INTRODUZIONE

Le sostanze umiche (SU) rappresentano uno dei principali fattori di fertilità del terreno influenzando sia indirettamente che direttamente la crescita delle piante e quindi la produzione vegetale. Esse possono intervenire infatti nella regolazione di alcuni processi metabolici previa assunzione e traslocazione, come tali ovvero sotto forma di complessi umo-metallici o umo-organici (1). La accertata formazione di prodotti di interazione tra SU ed erbicidi attraverso meccanismi di legame di vario tipo, in parte analoghi ai meccanismi biochimici di azione dell'erbicida stesso nella pianta (2-11), fa presupporre l'insorgere di effetti sinergici e/o antagonisti tra l'erbicida e la SU, in grado di indurre modificazioni non solo dei fenomeni di assunzione radicale e di traslocazione, ma soprattutto dell'attività biochimica in generale, con conseguenti manifestazioni macroscopiche nella crescita della pianta.

L'obiettivo di questo studio a carattere preliminare è stato pertanto di verificare gli effetti provocati sull'aspetto morfologico generale e sulla produzione di sostanza secca dell'apparato radicale e della parte aerea di plantule di pisello (*Pisum sativum*) nelle prime fasi della crescita successive alla germinazione dei semi, dalla presenza simultanea nella soluzione nutritiva di SU ed erbicida, rispetto alla sola SU o al solo erbicida, ovvero al testimone.

MATERIALI E METODI

Sono stati utilizzati per l'indagine un acido umico (AU) e un acido fulvico (AF) isolati rispettivamente da una terra bruna della Sardegna e una terra rossa pugliese secondo metodi tradizionali di estrazione, frazionamento e purificazione, già caratterizzati per le loro proprietà chimiche, chimico-fisiche e

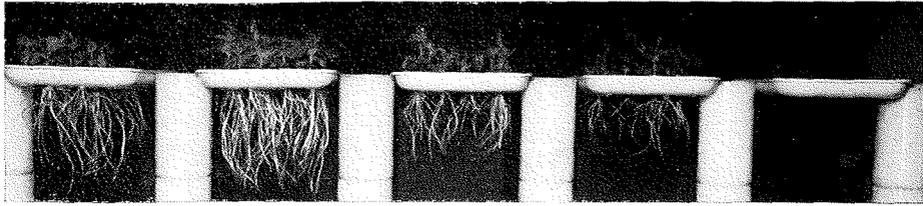
strutturali (12). Gli erbicidi presi in esame sono stati: due triazine simmetriche, l'ametrina e il prometone, due uree sostituite, il linuron e il cycluron, un composto clorofenossialcanoico, il 2,4-D, e un acetanilide, l'alachlor. Tre varietà di pisello, Rondo, Progress 9 e Spring, sono stati oggetto delle prove.

I semi germinati, e quindi le plantule, sono state allevate su soluzione nutritiva di Nitch (13), in assenza (testimone) o in presenza della sola SU o del solo erbicida, ovvero di entrambi, in concentrazioni variabili. Tutte le prove sono state condotte in camera di crescita Fitotron ad una temperatura di 25°C, umidità relativa dell' 84% e illuminazione di circa 2500 lux con fotoperiodo di 12 ore. Al termine delle prove di crescita durate 8 giorni in tutti i casi, sono state effettuate osservazioni di carattere morfologico-qualitativo e determinazioni quantitative della sostanza secca dell'apparato radicale e della parte aerea, separatamente.

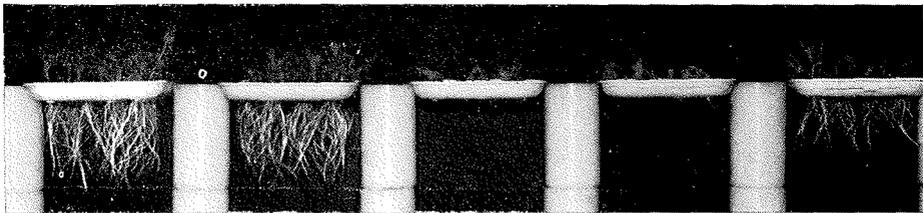
RISULTATI E CONCLUSIONI

I risultati preliminari ottenuti indicavano che:

- a) sia l'apparato radicale che la parte aerea delle plantule allevate su soluzione nutritiva contenente 10 o 100 ppm di AU risultavano lievemente più sviluppate, con incrementi della sostanza secca, rispetto alle plantule testimone (Figura 1a,b,b').
- b) l'allungamento e lo sviluppo complessivo dell'apparato radicale, e in minor misura lo sviluppo della parte aerea, apparivano ridotti rispetto al testimone per le plantule allevate in presenza di cycluron a concentrazione di 10 ppm nella soluzione nutritiva (Figura 1c), di prometone a concentrazione di 10 ppm e ancor più di 100 ppm (Figura 2b), ovvero di linuron o ametrina a concentrazione di 20 ppm (Figure 4b, 5a); nelle prove condotte in presenza di 100 ppm di cycluron (Figura 1c'), o di alachlor già a concentrazione di 10 ppm (Figura 3a), o anche di 2,4-D a concentrazione di solo 0,1 ppm (Figura 6a), l'accrescimento complessivo delle plantule appariva fortemente ridotto in special modo nell'apparato radicale, che presentava radici molto poco sviluppate, malformate, ispessite e spesso contorte con apici ipertrofici, allargati e appiattiti, rigonfi in maniera anomala.
- c) Allochè l'erbicida e la SU erano contemporaneamente presenti nella soluzione nutritiva, si osservavano, rispetto sia alle plantule testimone che a quelle allevate in presenza del solo erbicida o della sola SU corrispondenti, effetti differenziati nell'aspetto morfologico e nella produzione di sostanza secca dell'apparato radicale e della parte aerea, in funzione sia del tipo di erbicida e di SU che delle concentrazioni relative delle due sostanze presenti nella soluzione nutritiva. In particolare: (i) la contemporanea presenza di 10 o 100 ppm di AU (o AF) nelle soluzioni nutritive contenenti 10 o 100 ppm di cycluron (Figura 1c,d,e,c',d',e') o di alachlor (Figura 3), ovvero 10 ppm



- | | | | | |
|------------------------|-----------------------------------|--|--|---|
| a) soluzione nutritiva | b) soluzione nutritiva + AH 10ppm | c) soluzione nutritiva + cycluron 10 ppm | d) soluzione nutritiva + AH 10 ppm + cycluron 10 ppm | e) soluzione nutritiva + AH 10 ppm + cycluron 100 ppm |
|------------------------|-----------------------------------|--|--|---|



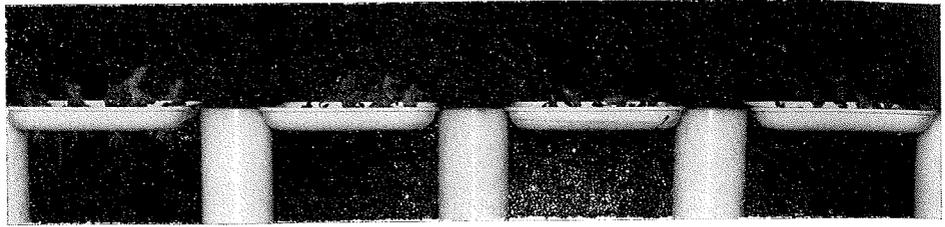
- | | | | | |
|-------------------------|--------------------------------------|--|---|--|
| a') soluzione nutritiva | b') soluzione nutritiva + AH 100 ppm | c') soluzione nutritiva + cycluron 100 ppm | d') soluzione nutritiva + AH 100 ppm + cycluron 100 ppm | e') soluzione nutritiva + AH 100 ppm + cycluron 10 ppm |
|-------------------------|--------------------------------------|--|---|--|

Figura 1



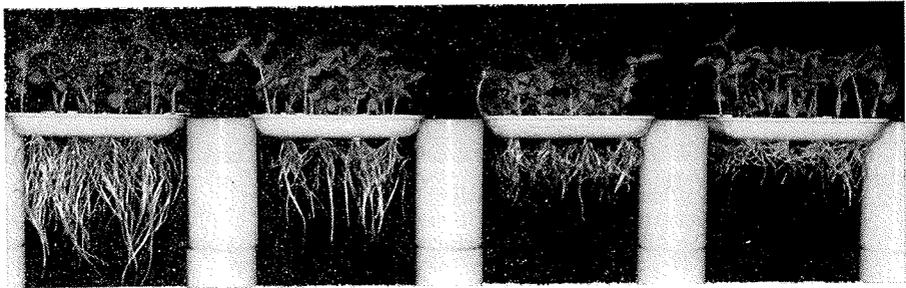
- | | | | | |
|---|--|---|--|--|
| a) soluzione + AH 10 ppm nutritiva + prometone 10 ppm | b) soluzione nutritiva + prometone 100 ppm | c) soluzione nutritiva + AH 100 ppm + prometone 100 ppm | d) soluzione nutritiva + AH 100 ppm + prometone 10 ppm | e) soluzione nutritiva + AH 10 ppm + prometone 100 ppm |
|---|--|---|--|--|

Figura 2



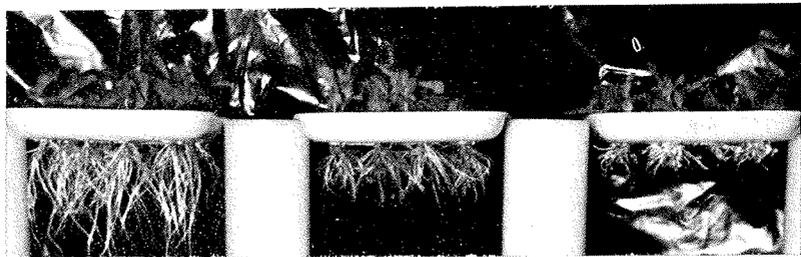
- a) soluzione nutritiva +alachlor 10 ppm
- b) soluzione nutritiva + AH 10 ppm +alachlor 10 ppm
- c) soluzione nutritiva + AH 100 ppm +alachlor 10 ppm
- d) soluzione nutritiva +alachlor 100 ppm

Figura 3



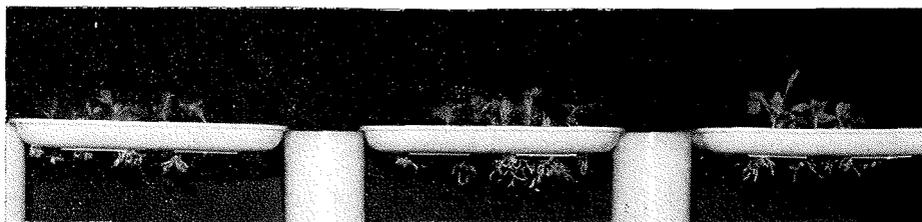
- a) soluzione nutritiva + AH 100 ppm
- b) soluzione nutritiva + linuron 20 ppm
- c) soluzione nutritiva + AH 100 ppm + linuron 20 ppm
- d) soluzione nutritiva + AF 100 ppm + linuron 20 ppm

Figura 4



- a) soluzione nutritiva + ametrina 20 ppm
- b) soluzione nutritiva + AH 100 ppm + ametrina 20 ppm
- c) soluzione nutritiva + AF 100 ppm + ametrina 20 ppm

Figura 5



a) soluzione nutritiva
+ 2,4-D 0,1 ppm

b) soluzione nutritiva
+ AH 100 ppm
+ 2,4-D 0,1 ppm

c) soluzione nutritiva
+ AF 100 ppm
+ 2,4-D 0,1 ppm

Figura 6

di prometone (Figura 2a,d), o anche 0,1 ppm di 2,4-D (Figura 6), non induceva variazioni di rilievo apparenti nello sviluppo sia dell'apparato radicale che della parte aerea rispetto alle plantule allevate in assenza della SU; mentre (ii), allorchè 100 ppm di AU o di AF erano presenti nella soluzione nutritiva contemporaneamente a 20 ppm di linuron (Figura 4c,d) o ametrina (Figura 5b,c), si osservavano profonde alterazioni nella morfologia dell'apparato radicale che appariva nel complesso molto più raccorciato, con filamenti radicali ispessiti e con apici appiattiti, in particolare in presenza di AF, mentre la parte aerea e la produzione di sostanza secca complessiva risultava modificata in misura più limitata; infine (iii), nelle soluzioni contenenti 100 ppm di prometone, la presenza di 100 e ancor più di 10 ppm di AU (Figura 2c,e) induceva un'ulteriore forte riduzione nello sviluppo vegetale complessivo.

Altamente significativa risultava poi all'analisi statistica (non riferita in questa sede) l'influenza sia della SU sia dell'erbicida, che di entrambi, sulla produzione di sostanza secca dell'apparato radicale e della parte aerea.

Una possibile interpretazione in chiave biochimica degli effetti macroscopici osservati è attualmente in fase tentativa. A tal fine, un'ulteriore sperimentazione, da disegnare anche in modo più mirato e specifico, sarà comunque necessaria. Ciò anche per confermare gli effetti già osservati e per accertarne gli andamenti in funzione dei vari parametri chimici, strutturali e molecolari che li controllano.

BIBLIOGRAFIA

- (1) VAUGHAN D., MALCOLM R. E. - Influence of humic substances on growth physiological processes. In: Soil organic matter and biological activity (Vaughan D. and Malcolm R.E., Eds.), Nijhoff-Junk, Dordrecht, Cap. 1, pp. 37-35, 1985.
- (2) SENESI N., TESTINI C. - Adsorption of some nitrogenated herbicides by soil humic acids. *Soil Sci.* 130: 314, 1980.

- (3) SENESI N. - Free radicals in electron donor-acceptor reactions between a soil humic acid and photosynthesis inhibitor herbicides. *Zeit. Pflanz. Bodenk.* 144: 580, 1981.
- (4) SENESI N., TESTINI C. - The environmental fate of herbicides: The role of humic substances. *Ecol. Bull.* 35: 477, 1983.
- (5) SENESI N., TESTINI C. - Physico-chemical investigations of interaction mechanisms between s-triazine herbicides and soil humic acids. *Geoderma* 28: 129, 1982.
- (6) SENESI N., TESTINI C. - Spectroscopic investigation of electron donor-acceptor processes involving organic free radicals in the adsorption of substituted urea herbicides by humic acids. *Pesticide Sci.* 14: 79, 1983.
- (7) SENESI N., TESTINI C. - Theoretical aspects and experimental evidence of the capacity of humic substances to bind herbicides by charge-transfer mechanisms (electron donor-acceptor processes). *Chemosphere* 13: 461, 1984.
- (8) SENESI N., TESTINI C., METTA D. - Binding of chlorophenoxyalkanoic herbicides from aqueous solution by soil humic acids. *Proc. Int. Conf. Environ. Contamination*, London, 96, 1984.
- (9) SENESI N., PADOVANO G., LOFFREDO E., TESTINI C. - Interaction of amitrole, alachlor and cycloate with humic acids. *Proc. Int. Conf. Environ. Contamination*, Amsterdam, 169, 1986.
- (10) SENESI N., MIANO T. M., TESTINI C. - The role of humic substances in the environmental chemistry of chlorinated phenoxyalkanoic acids and esters. *Proc. Int. Conf. Chemistry for Protection of the Envir.*, Leuven, 1985. *Studies Environ. Sci.* 29: 183, 1986.
- (11) SENESI N., MIANO T. M., TESTINI C. - Interaction mechanisms between humic acids of different origin and nature and electron donor herbicides: a comparative IR and ESR study. *Organic Geochem.* 11: 25, 1987.
- (12) CHEN Y., SENESI N., SCHNITZER M. - Chemical and physical characteristics of humic and fulvic acids extracted from soils of the mediterranean region. *Geoderma* 20: 87, 1978.
- (13) NITCH J. P. - *Encyclopedia de la Pleiade. Le Phytotrons*, 1967.

**Effects of NaCl and PEG on the growth and ion
absorption in maize shoots**

IZZO R. - NAVARI-IZZO F. - QUARTACCI M.F.

INTRODUCTION

It is now generally accepted that the primary effect caused by water and salt stresses is an alteration in the structure of cell membranes, inducing modifications in their selectivity.

Several authors have examined the effects of NaCl and PEG on nitrogen metabolism (1), nitrogen fixation (2) and many physiological parameters (1).

To contribute to better understand the plant responses to salt and water stresses, the effects of NaCl and PEG on the growth and on the absorption of some micro- and macronutrients in maize shoots were examined.

MATERIALS AND METHODS

Maize seedlings (*Zea mays* cv. Summer II) were grown in halfstrength aerated Hoagland's solution ($\Psi = -0.03$ MPa) renewed every three days, as previously described (3). Six-day old seedlings were subjected to salt or PEG stress adding to nutrient solution sodium chloride or polyethylenglycol 4000 to achieve a final concentration of NaCl 0.08 and 0.16 F or PEG 13 and 17% respectively, and an osmotic potential of -0.4 and -0.8 MPa. After three days of treatment, plant material was harvested from control and both treatments, and the fresh weight and the shoot height were recorded. Roots and shoots were separated and immediately frozen in liquid N₂ and freeze-dried. A Perkin-Elmer, mod. 373 atomic absorption spectrophotometer was used to measure micro- and macronutrient cations after wet digestion with conc. HNO₃. Phosphorus extraction and determination was by Allen method (4).

RESULTS AND DISCUSSION

Both NaCl and PEG induced a decrease in the leaf water potential, higher in the treatments with $\Psi = -0.8$ MPa. NaCl treatments were less effective than the isosmotic PEG, because of ion uptake from NaCl solution that caused a better osmotic adjustment.

The treatments, that led to a reduction in plant height as previously reported (5), caused a significant decrease in dry weight (Table 1) already observed by other authors (6, 7), except in shoots from PEG at -0.8 MPa.

TABLE 1 - Changes in leaf water potential (Ψ_w), shoot dry weight**, shoot fresh weight to dry weight and root to shoot ratios** of *Zea mays* seedlings subjected to NaCl and PEG increasing isoosmotic treatments for 72 hours.

Growth solution	MPa Ψ	(MPa) Ψ_w	Dry wt mg/plant	FW/DW	Root/Shoot
Control	-0.03	-0.37±0.01	88.8 b	19.9 c	0.45 a
NaCl	-0.40	-0.57±0.03	75.7 a	12.5 b	0.56 b
PEG	-0.40	-0.69±0.02	75.3 a	12.3 b	0.50 b
NaCl	-0.80	-0.64±0.02	69.6 a	10.6 a	0.51 b
PEG	-0.80	-0.73±0.01	86.9 b	10.7 a	0.49 ab

(*) Results are the means of three replicates of 10 plants each \pm SE.

(**) Results are the means of three replicates of 30 plants each. For comparisons among means the analysis of variance was used.

Means with letters in common are not significantly different at the $P = 0.01$.

The difference in the last treatment reflects PEG absorption and/or differences in the molecular weight in the solutes used for the osmotic adjustment. The fresh weight/dry weight ratio of the shoots decreased significantly with the treatments, particularly with the -0.8 MPa ones. A different trend was observed in root/shoot ratios, where there was an increase in all treatments (Table 1).

Electrolyte leakage and potassium efflux values, obtained for NaCl treated shoots at both osmotic potential were higher than in the control, whereas in PEG treated shoots these parameters followed the same pattern only at -0.4 MPa.

These data show that both stresses seem to have caused the same changes and damages in membranes.

Table 2 shows the mineral content of the maize shoots.

TABLE 2 - Effects of NaCl and PEG treatments on mineral nutrient absorption in maize shoots.

Mineral nutrients	TEST $\Psi = -0.03$ MPa	NaCl		PEG	
		$\Psi = -0.4$ MPa	$\Psi = -0.8$ MPa	$\Psi = -0.4$ MPa	$\Psi = -0.8$ MPa
$\mu\text{g/g s.s.}$					
Cu	12.04 a	10.56 a	11.66 a	11.48 a	10.37 a
Mn	31.71 a	31.16 a	29.57 a	34.06 b	40.59 b
Zn	51.55 a	60.75 b	76.08 c	62.67 b	60.60 b
mg/g s.s.					
Na	0.09 a	7.26 b	9.07 c	0.10 a	0.10 a
Mg	2.83 a	2.64 a	2.41 a	2.55 a	2.62 a
Ca	4.98 a	3.86 a	4.35 a	4.66 a	4.75 a
P	10.21 c	10.18 c	9.09 b	9.16 b	7.83 a
K	48.97 c	38.07 a	34.64 a	46.63 b	43.21 b

The significance of the letters is the same as in Table 1.

The main changes related to NaCl treatments were an increase of Na and a decrease of K contents, showing at -0.4 MPa a Na/K ratio = 1.8×10^{-1} against a Na/K ratio = 1.8×10^{-3} in the control and in the PEG treated shoots, and at -0.8 MPa a ratio of 2.1×10^{-1} in NaCl and of 1.6×10^{-3} in PEG treated shoots.

The treatments induced a depressive effect on absorption of K, particularly with NaCl, and of P with PEGs and with higher concentration of NaCl. No depressive effect was observed for Mg and Ca.

From our results it is evident that for what concerns the micronutrients, no inhibitory effect of treatments was observed on Cu absorption, while Zn absorption was positively affected only by PEG. It appears that the effect of salt and water stresses on ion absorption differed depending on ion species.

At present we are carrying on further investigations.

REFERENCES

- (1) SANCHEZ-DIAZ M., APARICIO-TEJO P., GONZALES-MURCIA C., PENA J. I. - The effect of NaCl salinity and water stress with polyethylene glycol on nitrogen fixation, stomatal response and transpiration of *Medicago sativa*, *Trifolium repens* and *Trifolium brachycalycinum* (subclover). *Physiol. Plant.*, 54: 361, 1982.
- (2) FROTA J.N.E., TUCKER T. C. - Absorption rates of ammonium and nitrate by red kidney beans under salt and water stress. *Soil Sci. Am. J.*, 42: 753, 1978.

- (3) NAVARI-IZZO F., IZZO R., RANIERI A., BOTTAZZI F. - The effect of NaCl salinity and water stress with polyethylene glycol on phospholipids of *Zea mays* seedlings. 5^o Congress of FESPP, Hamburg, 31 August - 4 September, 1986.
- (4) ALLEN R.J.L. - The estimation of Phosphorus. *Biochem J.*, 34: 858, 1940.
- (5) NAVARI-IZZO F., IZZO R., BOTTAZZI F., RANIERI A. - Effects of water stress and salinity on sterols in *Zea mays* shoots. *Phytochemistry*, 27: 3109, 1988.
- (6) YEO A. R. - Salinity resistance: Physiologies and prices. *Physiol. Plant.*, 58: 214, 1983.
- (7) PATEL J. A., VORA A. B. - Salinity induced changes in *Zea mays* L. (Ganga-). *J. Exp. Bot.*, 36: 49, 1985.

TAVOLA ROTONDA

Note introduttive

Prima di dare inizio alla Tavola Rotonda desidero esprimere i più vivi complimenti a tutti gli oratori che nelle loro relazioni hanno efficacemente impostato il problema scientifico di base e quindi illustrato con dovizia di particolari metodologici e di dati sperimentali i risultati delle loro ricerche. Ognuno di loro ha portato a questo Convegno un contributo di grande rilievo.

Così come di grande rilievo è stata la Sezione Poster, ricchissima.

Ho cercato di individuare i filoni principali, le linee maestre che hanno guidato i diversi Autori nelle ricerche riassunte nei Poster ma mi sono resa conto che era praticamente impossibile essendo estremamente multiforme e variegata l'attività scientifica dei vari gruppi di lavoro e, anche nell'ambito di ricerche relativamente omogenee, notevolmente diversificati gli approcci e le modalità sperimentali.

Sarà quindi estremamente interessante, dopo questo primo esame forzatamente sommario, considerare più a fondo i contributi dei diversi Autori quali appariranno negli Atti.

Data la complessità delle tematiche connesse al tema oggetto della Tavola Rotonda, vale a dire delle complesse interazioni tra suolo e pianta che si identificano nel termine fertilità, numerosi sono gli studiosi che vi interverranno, ognuno nel settore di più specifica competenza.

Cominceremo, ovviamente, col Prof. Mancini, che come pedologo appare il più adatto ad iniziare il discorso.

Quindi il Prof. Cavazza si soffermerà precipuamente sulla fisica del suolo, il Prof. Sequi sulle caratteristiche chimiche, il Prof. Picci sugli aspetti biologici.

A questo punto ci sarà un'interruzione per dare la possibilità al pubblico di inoltrare richieste di chiarimento e aprire la discussione.

Terminata questa seconda fase, parleranno i Proff. Ferrari e Cocucci sugli aspetti più strettamente legati al metabolismo vegetale ed in particolare alla nutrizione delle piante. Concluderà il discorso il Prof. Postiglione.

Prego i colleghi di essere molto concisi ed essenziali per rendere possibile lo svolgimento di un'ampia discussione. Al termine chiederò la parola per qualche considerazione conclusiva.

* Presidente SISS

Utilizzazione della carta pedologica
per la definizione delle caratteristiche
permanenti dei suoli

Non starò certo a tediarvi con una illustrazione dei metodi di rilevamento del suolo e di allestimento della relativa cartografia, metodi che ben conoscete anche nei dettagli. Del resto molti di voi hanno partecipato o vanno ancor oggi partecipando a rilievi sul suolo anche se debbo purtroppo richiamare che ci sono attualmente delle forti discrepanze di qualità nei documenti che si vedono in giro. Il nostro Presidente ed io stiamo vivendo una esperienza molto interessante nell'aiutare un bel gruppo di giovani intenti a realizzare la carta pedologica della Lombardia. Sta venendo fuori, a nostro parere, un lavoro molto serio, con importanti novità e che avrà certo un largo ventaglio di utilizzazioni. Nella finitima regione veneta, ahimè, la qualità del lavoro che lentamente si sta facendo mi pare invece molto discutibile.

E' interessante sottolineare, tenendo conto dei fini che questo nostro colloquio si propone, che avendo oggi in mano una buona carta dei suoli insieme a numerosi colleghi specialisti in vari campi, più o meno vicini, ci stiamo cimentando nelle interpretazioni a vari fini di tutti i dati che la carta pedologica e la relativa memoria illustrativa ci forniscono.

Questa interpretazione collegiale è uno dei principali risultati dell'opera svolta da molti anni, con messe a punto, suggerimenti, consigli di un italo-americano, nato nell'Appennino umbro marchigiano e trasferitosi bambino in America. Egli ha diretto dapprima rilevamenti fino a diventare regional soil correlator a Fort Collins e poi direttore del « Bureau of Soil Survey Interpretation » del Soil Conservation Service del Dipartimento d'Agricoltura degli Stati Uniti. Tale Collega ed Amico è attualmente professore alla Michigan State University dove insegna pedologia specialmente agli allievi forestali. Molti di voi avranno compreso che sto parlando di Lindo Bartelli. Egli è stato per molti di noi Maestro in queste interpretazioni sia partecipando a varie escursioni sia parlando a più riprese e in varie sedi. Egli dà di tali interpretazioni una precisa definizione dicendo che il rilevamento del suolo, che è

(*) Dipartimento di Scienza del suolo e nutrizione delle piante - Università di Firenze.

stato eseguito su complesse basi scientifiche, deve essere trasferito a chi lo utilizzerà, e quindi non solo agronomi e forestali ma anche ingegneri ed architetti, a qualsiasi titolo dunque e finalità tali studi vengano usati, con termini molto semplici e chiari per tutti, politici inclusi. Bisogna in altri termini arrivare a una classazione che preveda tre o al massimo cinque unità che vadano dal molto positivo allo schiettamente negativo per ciascun uso del suolo che si voglia prospettare.

Tenendo conto di quello che ci prefiggiamo con questo colloquio, queste interpretazioni in definitiva a che servono? Servono a chiarire in modo efficace e non fuorviante qual siano le caratteristiche permanenti dei suoli che abbiamo già indicato nelle carte e che descriveremo con maggior dettaglio.

Facciamo un esempio che penso potrà interessare parecchi tra i presenti. Parliamo del regime idrico di alcuni suoli. In una catena di terreni, posti sullo stesso versante è chiaro che il profilo che abbiamo scavato, descritto e campionato nella parte sommitale del pendio, quello a mezza costa e un terzo che sta al piè del versante hanno lo stesso microclima, la medesima esposizione, derivano da un identico substrato. Si possono quindi azzerare alcuni fra i principali fattori della pedogenesi. Il regime idrico dei tre suoli sarà però ben diverso come saranno diversi l'erosione selettiva, forte nei primi due e l'accumulo dei materiali trascinati in basso dalle acque di scorrimento nel terzo, posto a valle.

A questo punto sembra utile fare due considerazioni: la prima è che nel rilevamento ancora una volta sarà utile costituire delle « catene », le famose successioni istituite per primo in Africa orientale molti decenni fa da George Milne. Serviranno molto bene anche nelle nostre contrade. Insieme alle « fasi », altro accorgimento cartografico, permetteranno di dare un quadro chiaro ed esauriente di quali suoli abbiamo di fronte e che distribuzione essi hanno.

Il secondo punto è che rilevamento ed interpretazioni saranno particolarmente utili laddove è necessario e possibile operare delle scelte.

E' chiaro che il rilevamento non è necessario in quelle aree che chi di voi ha preso ieri la circumvesuviana avrà visto dal finestrino. In quei piccoli orti, nei limitati frutteti, dove ci sono quattro o cinque colture consociate ci vogliono ricerche di ben altro dettaglio che un rilevamento al 50.000 o anche al 25.000. C'è, per fortuna, una grande fertilità naturale che ben si accompagna a un clima mite. Si tratterà allora di conservare, perché migliorare sarà ben arduo, le splendide proprietà fisiche e chimiche di quei terreni e non alterarne anche il patrimonio biologico.

Tornando all'utilità del rilevamento mi par dover richiamare una splendida realtà del nostro così vario e affascinante Paese. Pensiamo a quanto diversa e contrastante sia la pedogenesi alpina da quella padana, come varii l'evoluzione del suolo sulle gogaie dell'Appennino rispetto alle zone costiere lambite dal Mediterraneo. Si tratta di una tavolozza multicolore che dovremo conoscere sempre meglio per poter conservare un patrimonio prezioso utilizzandolo nel contempo nel migliore dei modi.

L'emblema del nostro convegno suggerisce a un vecchio rilevatore di campagna come chi vi parla un sottogruppo litico o una fase pietrosa di un dato suolo, una bella differenza con gli splendidi suoli degli orti qui vicino a noi.

Ecco che allora il rilevamento del suolo e le conseguenti interpretazioni ci permetteranno non solo un avanzamento nelle conoscenze sui suoli e una loro più razionale conservazione ma anche una migliore comprensione e in definitiva un maggior godimento dei nostri meravigliosi paesaggi.

Considerazioni sulla fertilità fisica del terreno agrario

Il concetto corrente di « fertilità », coincidente con quello etimologico (dal latino « ferre », portare, produrre), fu in un certo senso distorto dalle interpretazioni che della fertilità dettero gli antichi georgici (capacità di nutrire le piante con materiali contenenti la « vis vitale »). La rivoluzione di Liebig nel secolo scorso ha fatto cadere la « vis vitale », ma è sembrata accentuare il carattere nutrizionale della fertilità, tanto che su questa base si fonda la definizione di fertilità del terreno adottata dalla Società Internazionale di Scienza del Suolo.

Il peso concettualmente dominante della forza vitale, stupefacente per l'uomo antico, non impedì che sin da quei tempi venisse riconosciuto il ruolo degli altri fattori fisici ambientali sulla produttività delle piante agrarie (per esempio, l'aratura, secondo Catone, era più importante della letamazione e Teofrasto attribuiva maggior peso al decorso meteorico che alla fertilità del terreno). La malaugurata, fuorviante e, si spera, ormai assopita diatriba tra « mineralisti » e « umisti », sorta dopo le scoperte di Liebig, rappresenta la naturale reazione alla identificazione della fertilità del terreno col semplice contenuto in elementi nutritivi.

Oggi, almeno in campo agronomico, il concetto di fertilità del terreno (la « Fruchtbarkeit » dei Tedeschi) coinvolge tutte le sue proprietà, siano esse fisiche, chimiche o biologiche; schematizzando, si parla infatti di fertilità fisica, fertilità chimica, fertilità biologica. Si tratta di una distinzione non rigorosa per più ragioni. A parte l'arbitraria distinzione tra ambito fisico ed ambito chimico quando si scenda al livello atomico-molecolare o della termodinamica chimica, il vero nocciolo del problema sta nell'intricato intreccio dei processi fisici, chimici e biologici che avvengono nel terreno, sì che è normalmente molto difficile e per lo più impossibile separare, ai fini degli effetti sulla produttività delle piante, questi processi tra loro; in altri termini non si riesce a considerare rigorosamente indipendenti tra loro i fattori fisici, chimici e biologici del terreno. Tra questi, il gruppo che è meno facile considerare indipendente è quello dei processi biologici. Se, infatti, si riuscisse a descrivere con ogni soddisfacente dettaglio l'insieme delle proprietà fisiche e

* Istituto Agronomia Generale e Coltivazioni Erbacee - Università di Bologna

chimiche di un dato suolo (articolato in orizzonti e con tutta la sua dinamica di sistema complicato) si sarebbero già dovute necessariamente includere in tale descrizione tutte le trasformazioni operate dalla microflora, dagli apparati radicali delle piante, etc.. Solo la presenza, la distribuzione, l'abbondanza, etc. delle popolazioni di esseri viventi, intesa come *condizione iniziale* del problema, avrebbe posto nella predetta descrizione; la loro attività e la loro dinamica risulterebbero invece già determinate dalla descrizione dello stato chimico e fisico. Seppure con un maggior grado di indipendenza, anche tra proprietà fisiche e proprietà chimiche le connessioni sono notevoli.

Nonostante questo, l'approfondimento delle leggi che governano la fertilità del terreno è andato sempre più differenziando campi e tecniche di studio e non c'è chi possa equivocare quando si parla di fertilità fisica del terreno. Notoriamente le proprietà fisiche che maggiormente interessano l'attitudine produttiva del terreno possono essere raggruppate in proprietà riguardanti (a) la parte solida, (b) la fase liquida (proprietà idrologiche) e (c) la fase gassosa, tutte in molteplice collegamento tra loro.

Quelle della parte solida, che è la più caratteristica del terreno, riguardano il terreno considerato sia come corpo solido studiato a scala relativamente più grande, che come corpo poroso. Sempre, salvo casi particolari (sabbie di arenile, terreno fresato, calanco in fase di soliflusso, etc.) il terreno si presenta come un corpo coesivo nel cui interno vi sono innumerevoli superfici di minore resistenza lungo le quali, quando esso è sottoposto a sollecitazioni meccaniche od a determinati trattamenti chimici, si manifestano fratture o comunque separazioni tra porzioni di terreno. Le azioni disgregatrici che è possibile applicare al « corpo » terroso possono essere di intensità molto diversa; ha interesse pratico considerare quelle di un'intensità tale che in qualche modo si possano manifestare nel corso della comune gestione agronomica del terreno. Le porzioni di materiale terroso che resistono all'applicazione sistematica di questo genere di azioni prendono il nome di particelle elementari del terreno (sono i ben noti elementi di scheletro, sabbia, limo, argilla, isolabili tra loro con mezzi convenzionalmente scelti; solo azioni più energiche, per esempio un'ulteriore degradazione da agenti atmosferici o la macinazione con strumenti energici possono ulteriormente disgregarli); grana, o più comunemente ma più equivocamente, tessitura è la corrispondente caratteristica del terreno.

Porzioni di terreno che naturalmente (effetti di rigonfiamento ed essiccamento, azione delle radici delle piante, gelo, etc.) o artificialmente (lavorazioni) risultino isolate, ma costituite da più particelle elementari, costituiscono i cosiddetti aggregati (col ragionamento qui seguito sarebbero piuttosto dei « disaggregati »). Il modo con cui in un dato terreno sono spazialmente distribuite le cosiddette particelle elementari e le forze che le tengono unite (si direbbe meglio: il modo in cui sono spazialmente distribuite le superfici di diversa resistenza alle sollecitazioni fisiche ed alle azioni chimiche perturbatrici) prende il nome di struttura. Ne è nota la dinamicità ed il carattere di

proprietà complessa (si rilevi come spessissimo il chimico agrario suole per lo più identificare nei suoi discorsi la struttura essenzialmente con la « stabilità degli aggregati all'azione dell'acqua », il pedologo con « distinguibilità, grandezza, forma e frequenza degli aggregati », il meccanico agrario con la « distribuzione di frequenza degli aggregati in base al loro diametro »; molte affermazioni di questi studiosi diventano più chiare se intese in questi sensi).

La parte solida del terreno è perciò studiabile in termini di grana e di struttura o nel suo insieme (corpo macroscopico). Le sue funzioni essenziali per lo sviluppo delle piante sono (a) quella di sostegno (che è integrabile con paletti etc. o del tutto sostituibile con spaghi appesi a intelaiature opportune, come nelle colture in soluzione, etc.) e (b) di serbatoio di fase liquida e di sostanze (soprattutto elementi nutritivi) in fasi suscettibili di passare in tempi e modalità opportune nella fase liquida. Sempre ai fini diretti dello sviluppo vegetale il terreno deve inoltre (c) consentire di ingrandirsi (variazione di volume) a semi, radici, organi tuberizzanti sotterranei delle piante in accrescimento e (d) assicurare la possibilità di scambi gassosi con l'atmosfera esterna ad organi od esseri viventi sotterranei. A fianco a questi requisiti, dipendenti da esigenze dirette della pianta, la parte solida del terreno deve soddisfare ad importanti esigenze legate all'esercizio agricolo, quali (e) la lavorabilità dei terreni (coesione, adesione, plasticità, etc.) e (f) l'agibilità del terreno (capacità portante, adesione, plasticità).

In riferimento a tutte queste caratteristiche va inoltre distinto lo stato del terreno, dalla sua dinamica e variazione nel tempo, con i due aspetti essenziali (g) della stabilità, o resistenza agli agenti perturbatori (si pensi alla struttura) e (h) della possibilità e velocità di un ripristino, spontaneo o provocato, delle condizioni iniziali (si pensi al ruolo delle lavorazioni, o della vegetazione e della fertilizzazione organica, o, infine, alle poco esplorate possibilità di spontanea scomparsa delle suole di aratura).

La ipotetica descrizione accurata a livello microscopico di un corpo poroso, equivale sotto l'aspetto geometrico alla descrizione del suo sistema di pori; l'ampiezza della superficie massica ne è pure egualmente definita. Se vi si aggiungono le informazioni sulla qualità delle superfici nei riguardi delle relazioni tra i solidi ed uno o più determinati fluidi (ai fini agronomici ed in prima approssimazione, acqua e/o aria), tutte le caratteristiche idrologiche, di facilità di aerazione e le interazioni tra queste due possono essere considerate univocamente determinate. Ne risulta evidente l'intima connessione tra lo studio delle tre parti, solida, liquida ed aeriforme del terreno.

Lo stato attuale delle conoscenze in fatto di fisica del terreno sembra così riassumibile.

(1) Idee e concetti sull'idrologia del terreno e sull'aerazione di questo sono ormai ben consolidati, almeno limitatamente a condizioni di temperatura costante e matrice solida indeformabile.

(2) Qualche verifica e qualche approfondimento meriterebbe l'interazione tra regime idrico e regime termico.

(3) Ancora insoddisfacente è la trattazione dei terreni rigonfiabili (ma un poco lo sono tutti!), tanto nei riguardi del loro comportamento in regime insaturo quando sono strutturati, quanto in riferimento all'intricato problema della loro fessurazione, affrontato in maniera ancora troppo empirica, malgrado certi modelli olandesi.

(4) Una schematizzazione di leggi (per esempio la sostituzione del gradiente di potenziale col gradiente di umidità; l'adozione di ipotesi di linearità, etc.) e la semplificazione di concetti e formule (per esempio l'adozione dei concetti di capacità idrica di campo, C.I.C., di coefficiente di avvizzimento, gli schemi di drenaggio di Young, o quelli di Ritchie, di Burn, etc.) sono spesso, nelle mani dei più accorti studiosi, molto utili ed opportune, ma troppo spesso costituiscono per gli applicatori l'alibi dietro cui si cela la diffusa insufficiente preparazione in questo campo. Andrebbero comunque più frequentemente e chiaramente menzionati i limiti d'impiego di tali semplificazioni (per esempio quella della C.I.C. e della « porosità drenabile » nei problemi di bonifica).

(5) Particolare attenzione è posta, da un decennio circa, alla variabilità spaziale delle proprietà idrologiche ed in generale fisiche del terreno agrario, con interessanti sviluppi che riescono più o meno adeguatamente a descrivere le varie situazioni, ma ancora poco aiutano a risolvere i problemi pratici.

(6) Un notevole interesse, tanto teorico che applicativo, è oggi posto nella utilizzazione delle leggi dell'idrologia del terreno agrario nella modellistica; vi risalta tutta l'importanza della variabilità spaziale e l'insieme dei problemi del cambiamento di scala.

(7) L'agronomia continua a perdersi in una casistica che, quando adeguatamente studiata ed interpretata, generalmente a posteriori, mostra ancora una complessità della realtà in cui il ruolo delle interazioni con le piante è molto importante e male si concilia con gli schemi semplicistici usualmente chiamati in causa. Ciò sfortunatamente tende ancora di più ad allontanare il ricercatore agronomo dallo spirito del progettista e del programmatore, che più caratterizza gli interventi ingegneristici.

(8) Gli studi sulle caratteristiche della parte solida del terreno come tale hanno cominciato a prendere vigore, soprattutto in riferimento allo studio delle lavorazioni, ma sembrano evidenziare relazioni di insospettata complessità tra modalità di lavorazione, profondità di lavorazione e sua alternanza, interrimento di residui organici e caratteristiche intrinseche dei terreni.

(9) Estremamente trascurate dai fisici del terreno sono ancora le variazioni nel tempo delle caratteristiche della parte solida del terreno, tanto periodiche (per esempio oscillazione della stabilità di struttura nel corso del-

l'anno) quanto espressione di riassetamento successivo ad alterazioni di carattere antropico (per esempio dopo lavorazione del terreno); anche le corrispondenti variazioni delle caratteristiche idrologiche sono per lo più ignorate.

(10) Nel complesso si nota una notevole malcelata insoddisfazione nei metodi di misura della maggior parte delle caratteristiche afferenti alla parte solida del terreno ed alla sua idrologia e ciò in contrasto con il grado di avanzamento delle corrispondenti conoscenze teoriche e con l'importanza delle applicazioni in questi campi. E' in un certo modo tutto il contrario rispetto a quanto succede con la termologia del terreno agrario, in riferimento alla quale strumenti e metodi di misura sono decisamente più adeguati, pratici ed affidabili, mentre le conseguenze ai fini del comportamento del terreno e soprattutto della produzione vegetale restano ancora ad un deludente livello descrittivo e scarso di applicazioni, soprattutto quantitative.

Ma, in sintesi, in che modo tutte queste conoscenze incidono sulla produttività delle colture e quale è il peso della fertilità fisica nell'ambito della fertilità in generale del terreno agrario?

Mentre il controllo della fase liquida del terreno intesa come « alimentazione idrica » delle piante, nonostante le lacune prima menzionate, ha raggiunto quantitativamente un grado di perfezionamento tecnico tra i più elevati tra le tecniche agronomiche ed è possibile, per ogni dato insieme di condizioni pedologiche, climatiche, di tecnica agronomica e di pianta in coltura, valutare in un certo modo il contributo produttivo del regime idrico (precipitazioni e/o irrigazione), molto più incerti sono i risultati degli analoghi tentativi riguardanti altre proprietà fisiche del terreno.

Sono note in proposito le difficoltà che si incontrano nel valutare le azioni delle varie lavorazioni al terreno. Altresì note sono le attuali incertezze nella valutazione dell'effetto della profondità del pelo libero di falda e della fluttuazione di questo sulla produttività delle diverse specie e varietà di piante in terreni ed epoche diverse. Soprattutto (e si fa molto male a sorvolare comunemente su questo aspetto) sono deludenti i tentativi di esprimere quantitativamente l'influenza che la tanto invocata, esaminata e studiata struttura del terreno esplica sulla produzione agraria, ossia sul suo ruolo come componente della fertilità fisica del terreno. Sotto l'aspetto teorico, il ruolo fondamentale che in proposito vi hanno tipo e stato dei materiali argillosi e, non di meno, la materia organica del terreno, la qualità e la dinamica di questa, interessano moltissimo i chimici agrari; stranamente hanno interessato in generale meno i classici fisici del terreno e gli idraulici agrari. Nessuno riesce, però ancora, a stabilire relazioni quantitative soddisfacenti tra indici di struttura e caratteristiche idrologiche dei terreni stessi o proprietà meccaniche di questi; tutto è ancora allo stato qualitativo e non generalizzabile. Peggio succede se si considerano le relazioni tra struttura (uno o più dei suoi parametri) e produttività del terreno; a parte gli inconcludenti e non generalizzabili risultati ottenuti dai vari autori parecchi decenni or sono (oggi il problema è più o

meno ipocritamente accantonato ed affrontato in maniera dogmaticamente deduttiva), riesce in pratica estremamente difficile separare dagli effetti fisici connessi alla struttura del terreno, quelli chimici connessi alla dinamica della materia organica, da cui la stessa struttura è fortemente controllata. D'altra parte, quale peso hanno a questi fini i vari aspetti della struttura? Come ponderare variamente, per esempio, la stabilità di grumi o microaggregati di diametro diverso? Come tenere conto che certi interventi agronomici migliorano alcuni aspetti della struttura ma ne peggiorano contemporaneamente altri? Sta di fatto che variazioni anche non grandi della composizione cationica di certi terreni (così come continuamente accade per semplice gioco di ascesa capillare, assorbimento selettivo da parte delle radici delle piante, evaporazione dalla superficie del terreno con conseguenti spostamenti differenziati di cationi mono- e bivalenti entro il terreno) possono determinare variazioni di struttura più importanti della stessa materia organica, mentre, d'altra parte, adeguati riferimenti idrici ed operazioni di aerazione del terreno (lavorazioni, drenaggio) mirano proprio a compensare le conseguenze di difetti di struttura. Non è affatto raro, perciò, che in pratica ci si imbatta in terreni di struttura molto insoddisfacente (sono per esempio frequenti in Val Padana, ma anche nel Meta-pontino, etc) che però, per favorevole regime di piogge, di falda e interventi meccanici, producono più delle terre nere mediterranee del Tavoliere di Foggia, dalla struttura invidiabile. E tutto ciò a parte le differenze di sensibilità delle varie specie (anche considerato a parte il riso).

Quello della cosiddetta struttura del terreno è il vero punto chiave della « fertilità fisica » del terreno agrario, ma è proprio il punto sul quale più si brancola nel vago, nell'ipotetico, nel generico, nel deduttivo, nel dogmatico; è l'argomento sui cui è più difficile fare seria ricerca finalizzata, più necessario l'approccio multidisciplinare, più pericoloso trarre conclusioni affrettate, più urgente analizzare, distinguere e soppesare le azioni elementari capaci di influenzare la produttività delle colture, stabilire relazioni quantitative.

C'è ancora ampio spazio di ricerca per tutti.

Fertilità chimica del terreno: aspetti attuali e prospettive

Mentre i problemi relativi all'approvvigionamento di elementi nutritivi alle piante sono tutti risolti o risolvibili, quelli di mantenere una dotazione adeguata di sostanza organica e di preservare l'integrità fisica del terreno appaiono tuttora insoluti. Questa affermazione, piuttosto comune, contiene un fondo di verità che, seppure solo apparente, potrebbe fare accantonare l'interesse per gli sviluppi scientifici dei temi della fertilità chimica del terreno. Appaiono invece indispensabili due considerazioni che ne cambiano profondamente il significato.

La fertilità chimica è inscindibile da quella fisica, e ciò non soltanto perché la sostanza organica è la principale artefice dei meccanismi di aggregazione. E' vero quanto afferma il prof. Cavazza, e cioè che per alcuni chimici agrari, e soprattutto per buona parte di quelli italiani, il concetto di struttura richiama istintivamente quello di stabilità degli aggregati all'azione dell'acqua. Ma la struttura si basa anche su una serie di architetture che prescindono completamente dalla presenza di sostanze cementanti e che semmai per struttura, nell'accezione letterale del termine, bisogna intendere il rapporto fra più parti, almeno tre nel caso del terreno e cioè la parte solida e le fasi liquida e gassosa. La distribuzione delle specie chimiche nella soluzione del terreno, per esempio, cambia radicalmente quando cambiano i rapporti fra le tre fasi fisiche. Tutte le altre proprietà fisiche diverse dalla struttura, come il colore e la temperatura, possono influenzare la distribuzione delle varie specie chimiche nella soluzione del suolo.

La fertilità chimica, in secondo luogo, viene troppo spesso confusa con la possibilità di approvvigionare il terreno e le piante di elementi chimici. Se ci si cala nella realtà del terreno ci si accorge di quante ombre, per non dire buchi neri, è avvolta la dottrina chimica della fertilità.

L'aspetto fondamentale della fertilità chimica è, come è ovvio, la nutrizione delle piante. L'elemento più importante per la fertilità è l'azoto. Ebbene, noi non conosciamo il significato dell'analisi dell'azoto nel terreno. Come conseguenza, le concimazioni azotate vengono eseguite praticamente alla cieca: un

* Istituto di Chimica Agraria - Università di Bologna

tanto di unità fertilizzanti per ettaro, a seconda della coltura e delle tradizioni della zona, senza tener conto delle scorte di azoto nel terreno. Spesso negli Stati Uniti l'analisi dell'azoto non viene nemmeno più eseguita: noi italiani, più tradizionalisti, ricorriamo ancora a questo dato analitico, pur non utilizzandolo. Un primo risultato è la pubblicazione dei dati derivanti da prove poliennali che mostrano come la concimazione azotata possa provocare diminuzioni di produzione, di vigoria delle colture, di resistenza alle malattie. Un secondo risultato è l'accusa all'agricoltura di inquinamento delle falde per lo meno nei terreni permeabili, un'accusa surrogata da molti dati, anche se meriterebbe una ben più ampia riflessione. Come dato di fatto l'azoto è praticamente fuori di controllo in agricoltura ed il mondo agronomico si deve preparare a fronteggiare la grave lacuna.

Esistono molti modelli di comportamento dell'azoto nel terreno ai quali si potrebbe assegnare una notevole utilità pratica se avessero una qualche aderenza alla realtà del campo. Essi purtroppo si mostrano in genere avulsi da questa realtà. Tra le ricerche più avanzate appare giusto citare quelle che si prefiggono di individuare comparti o « pool » di diversa labilità o assimilabilità nell'ambito del dato assoluto relativo all'azoto totale, e vale la pena di sottolineare che questi comparti si riferiscono sia all'azoto organico che all'azoto inorganico. Indagini in questo senso sono in corso in varie sedi della ricerca italiana, oltre che in molte località straniere, e tutti noi ci auguriamo che esse colgano un pieno successo. Un successo che potrebbe davvero costituire un nuovo punto di partenza per la chimica agraria e per le scienze agronomiche.

Quanto si è detto per l'azoto potrebbe essere ripetuto per altri elementi nutritivi senza cambiare le considerazioni sull'esigenza di uno sviluppo delle ricerche. Altrettanto si può dire di un altro tema assai caro a chimici agrari e ad agronomi, e cioè la sostanza organica.

Dispiace, ancora oggi nell'anno 1987, rilevare che della sostanza organica abbiamo conoscenze che in buona parte possono essere considerate quasi alchimistiche, come quando ci si usa riferire solo ad acidi umici, fulvici e ad altre categorie sul significato delle quali sarebbe interessante discutere. Eppure anche nel settore della sostanza organica si stanno attuando ricerche largamente innovative. Uno dei primi meriti va assegnato alla Società Internazionale delle Sostanze Umiche, che per prima ha richiamato l'attenzione sull'importanza unificatrice che la sostanza organica riveste non solo nei più svariati tipi di suolo, ma anche nei più diversi comparti ambientali: le acque, i sedimenti sommersi, le torbe, i fossili. Un secondo grande merito va attribuito all'adozione di nuove tecniche chimiche avanzate, ed anche in Italia si sono sviluppate prestigiose competenze in proposito. Il terzo merito può essere assegnato ai processi della biochimica del suolo, che ha dato una svolta decisiva alle indagini sulla sostanza organica. E vorrei sottolineare come la caratterizzazione della frazione organica sia uno dei punti deboli della recente legislazione italiana (Legge 748/84) e come vada considerato con piacere l'inserimento

di tre chimici agrari fra i quattro esperti del Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste nella Commissione che sta operando per aggiornare la stessa legge.

Un altro settore di notevole interesse per la fertilità chimica del terreno è quello ambientale, che può essere scisso in due filoni principali: il riciclaggio dei rifiuti e il controllo degli inquinamenti. Ciascuno dei due meriterebbe una discussione attenta. Ma invece vorrei richiamare l'attenzione sul fatto che troppo spesso ci sentiamo svincolati dalle materie ambientali. Teniamo presente che quella che da molti viene considerata la più bella rivista americana del settore, e cioè il *Journal of Environmental Quality*, viene pubblicata dalla American Society of Agronomy.

Interazioni tra microflora del terreno e fertilità - produttività

Il ruolo esplicito dalla microflora del terreno nei riguardi della fertilità, e quindi della produttività, è ormai ben noto. Ma in questi ultimi tempi si assiste - e la cosa è molto positiva - ad una giusta valorizzazione e potenziamento della componente microbica del terreno stesso.

A titolo di semplice e rapido richiamo, si può dire che l'influenza della microflora tellurica nei riguardi della fertilità si può schematizzare nel modo seguente:

	Produzione di composti biogeni (es.: NO_3^- , SO_4^{2-} , CH_2O , HCO_3^-)
Azioni biochimiche microbiche	Modificazione della struttura del terreno (es.: aggregazione particellare da polissaccaridi microbici)
	Influenza diretta sulla pianta (es.: rizosfera, micorrizza, azotofissazione, lotta biologica)

Le azioni microbiche sopra schematizzate sono condotte - come già detto - dalla microflora presente naturalmente nel suolo. Tuttavia, molte volte si rende necessario introdurre nel terreno stesso microrganismi dotati di determinate specificità di azione. Non solo, ma alcuni di tali microrganismi possono venire « ingegnerizzati », cioè modificati geneticamente mediante sofisticate metodologie di ingegneria genetica (vedi schema seguente).

— Impiego di microrganismi tal quali	Es.: Funghi micorrizici batt. N_2 fissatori — Rizobi — Azospirilli — Cianobatteri — Microrganismi antagonisti — (Lotta biologica)
---	---

* Istituto di Microbiologia Agraria - Università di Pisa

— Impiego di microrganismi
« ingegnerizzati »

Es.: Rizobi competitivi
Rizobi erbicidi-resistenti
Rizobi salinità-resistenti
Rizobi ad alta attività idrogenasica
idrogenasica
Ps. syringae
B. thuriengensis

Impiego di funghi micorrizici

E' ben noto il ruolo molto importante che i funghi micorrizogeni esplicano, con speciale riferimento al maggior assorbimento di fosforo da parte di piante micorrizzate rispetto alle non micorrizzate.

Il problema fondamentale è quello del mantenimento dei funghi micorrizogeni, i quali - come è noto - non possono essere coltivati *in vitro*. Pertanto si usa una serie di particolari tecniche che sono di seguito semplicemente elencate:

piante « trappola »
trapianti pre-inoculati
semi rivestiti
« pellets »
inoculi solidi
inoculi fluidi
« pre-cropping »

Impiego di batteri azotofissatori

I gruppi di azotofissatori utilizzati sono tre e precisamente: *rizobi*, *azospirilli*, *cianobatteri*.

Rizobi. Per i rizobi si adopera generalmente la metodica di *batterizzazione del seme*, con tutte le sue varianti riguardanti l'adesività dei batteri al seme stesso ed il mantenimento del loro stato vitale.

La possibilità di interventi biotecnologici nell'ambito dell'impiego dei rizobi si riferisce, almeno attualmente, soprattutto alla *competizione*, vale a dire alla selezione di ceppi batterici particolarmente competitivi verso quelli autoctoni.

Altri interventi biotecnologici di applicazione a medio-lungo termine riguardano: il potenziamento dell'idrogenasi, la depressione delle proteine codificate dai geni *nif*, il potenziamento dell'attività respiratoria dei batteri.

Azospirilli. Colonizzano le radici di molte graminacee, spontanee e coltivate. I benefici che ne derivano possono essere così sintetizzati:

1) produzione di fito-ormoni; 2) azotofissazione; 3) fonte di azoto e altri nutrienti derivanti dalla biomassa microbica.

Cianobatteri. Alcune specie di cianobatteri stabiliscono rapporti simbiotici con alghe, funghi, pteridofite (Azolla), cicadee, angiosperme; altri vivono liberi nel terreno.

Le applicazioni si riferiscono all'« algalizzazione » (innesti artificiali in terreno o in risaia, a dosi di 5-10 kg/ha) oppure alla « biofertilizzazione » (con dosi di 80-100 q/ha).

La coltivazione massima di cianobatteri si realizza in vasche aeree, all'aperto, con rese fino a 11 g/m²/giorno, corrispondenti a 20-30 tonnellate/anno/ha.

Lotta biologica

Allo scopo di contenere l'impiego di fitofarmaci, adoperati invero a dosi massicce con relativi risvolti negativi di carattere ecologico ed economico, si sta oggi rivalutando la *lotta biologica*, vale a dire l'impiego di microrganismi dotati di proprietà antagonistiche verso gli agenti patogeni responsabili di malattie delle piante agrarie.

Senza entrare in particolari al riguardo, si ritiene opportuno riassumere l'argomento con lo schema seguente:

Modalità di lotta biologica (Microbiologica)

Implicazioni dirette o indirette di microrganismi

= *Favorire la moltiplicazione di microrganismi in generale (saprofiti) e, conseguentemente, degli antagonisti*

— *Intervenendo con fattori chimici*

* aggiunta di elementi (es.: S)

* aggiunta di concimi (es.: compost da cortecce) (compost particolarmente attivo a proposito)

— *Intervenendo con fattori fisici*

* acqua o essiccamento

* pH

* lavorazione (etc.)

= *Impiego di suoli soppressivi*

= *Impiego di ceppi avirulenti o debolmente virulenti correlati o meno col patogeno*

— *Meccanismo d'azione:*

* produzione di metaboliti tossici (es. batteriocine)

* pre-occupazione dei siti di infezione

= *Batterizzazione di materiale di propagazione vegetale*

* semi

* talee

La definizione dei rapporti suolo-pianta per il controllo della fertilità

Prendo lo spunto dalla battuta finale del prof. Loughman: « in vivo veritas ».

Egli ha voluto sottolineare che la comprensione di un sistema si ha solo quando si riesce ad osservarlo nell'interezza del suo funzionamento, perché il tutto è sempre qualcosa di più della somma delle parti. Ma questo discorso, allora, vogliamo applicarlo alla fertilità del suolo? Che cosa significa « in vivo veritas » nello studio del suolo? Significa che la fertilità del suolo è un problema di fertilità della coppia come nel caso della riproduzione sessuale. Può accadere che la mancanza di fertilità sia attribuibile interamente al maschio o interamente alla femmina, ma frequentemente essa va imputata a un rapporto imperfetto tra i due. Nel nostro caso è in gioco la coppia terreno-copertura vegetale e qui bisognerebbe distinguere tra fertilità naturale e fertilità indotta dall'agricoltura.

Ormai è dimostrato che non si può attribuire, se non in casi estremi tipici, la scarsa fertilità solo al terreno o solo alla pianta: essa è il risultato di un rapporto inadeguato tra i due. Quindi « in vivo veritas » significa analizzare tale rapporto considerando terreno e pianta non come due sistemi produttivi isolati ma come due elementi di un sistema produttivo integrato. Infatti tra pianta e terreno vengono scambiate materie prime ed energia, quest'ultima più dalla pianta al terreno che viceversa, in quanto non dobbiamo ignorare che una parte notevole dell'energia captata dalla pianta nella fotosintesi arriva alle radici e finisce nel terreno sotto forma di essudati radicali.

L'aspetto più attuale è però lo scambio tra terreno e pianta di fattori di regolazione delle trasformazioni metaboliche che avvengono nei due sistemi. Infatti lo scambio di materie prime (substrati nutritivi) non è più considerato il fattore fondamentale della fertilità, perché i fisiologi hanno dimostrato che le piante soffrono della carenza di elementi nutritivi solo quando questi raggiungono concentrazioni estremamente basse.

* Dipartimento di Biotecnologie Agrarie - Università di Padova

In tali condizioni assumono importanza prioritaria le proprietà del terreno, in quanto il problema non è quello di raggiungere elevate concentrazioni di nutrienti nell'intorno della radice, ma di ripristinare costantemente e rapidamente la concentrazione minima necessaria per il sostentamento dei sistemi di trasporto e di assimilazione nella pianta. Perciò occorre migliorare, da una parte, la efficienza di questi ultimi, dall'altra, quella dei processi di diffusione-scambio nel terreno.

Il terreno, nel quale è operante un ciclo della sostanza organica, produce molecole regolatrici di varia natura, non solo sostanze ormonali, durante il processo di umificazione dei residui organici. Esse penetrano attraverso la parete cellulare e possono interferire sia con i processi di membrana, sia con le attività enzimatiche negli spazi metabolici della pianta.

I segnali regolativi che provengono dalla pianta, soprattutto gli acidi organici degli essudati, interagiscono con la dinamica della policondensazione delle sostanze umiche, e perciò agiscono sulla loro attitudine a « liberare » o « sequestrare » elementi nutritivi, nonché a modulare i sistemi di trasporto radicale e le attività enzimatiche di sostegno al metabolismo della pianta. Si tratta dunque di una interazione assai complessa, che comporta scambi di regolatori nella direzione terreno-pianta e viceversa. Appare questo uno degli aspetti più significativi da chiarire ai fini del controllo della fertilità del suolo.

Fertilità del suolo e nutrizione della pianta: alcune considerazioni dalla parte della pianta

Nell'affrontare il problema della fertilità del suolo e nutrizione della pianta è certamente utile prendere in considerazione come nel tempo questo concetto è venuto definendosi: partendo dall'osservazione empirica che una pianta che cresce velocemente e produce abbondantemente è sicuramente ben nutrita, un suolo viene definito fertile quando realizza una tale situazione; il concetto di fertilità viene legato, quindi, necessariamente al soddisfacimento di tutte le esigenze della pianta, sia da un punto di vista fisico che chimico.

E' importante notare che in questa esemplificazione il concetto di fertilità è legato ad un concetto di crescita e produttività di una pianta generica. Sia nella normale pratica agricola, sia a livello di ricerca, sono state messe in evidenza, per le diverse colture, esigenze nutrizionali particolari e capacità di adattamento diverse per suoli diversi, ma il concetto di fertilità è di norma legato al creare condizioni fisiche e chimiche del suolo capaci di sostenere la massima crescita e produttività in termini non necessariamente circoscritti ad una coltura.

Sotto la spinta di esigenze produttive, con l'introduzione delle moderne tecniche agricole, favorita da ampia disponibilità energetica, l'agricoltura si è sviluppata durante gli anni della rivoluzione verde in modo da ottenere la massima produzione giocando in circolo nell'ottimizzare al massimo la fertilità del suolo e selezionare piante per la loro alta produttività. Lo sviluppo in tal senso dell'agricoltura negli ultimi cinquant'anni è stato certamente utile, ma ha avuto anche risvolti negativi e non sarebbe giusto non prendere in considerazione nelle nuove realtà scientifiche ed economiche la possibilità di effettuare dei cambiamenti di tendenza.

Cercherò quindi di considerare gli aspetti negativi dell'approccio produttivistico: esso risulta oggi nei paesi economicamente avanzati fonte di numerosi problemi; ha creato una situazione di eccedenza di produzione che rende sempre meno remunerante il lavoro agricolo; ha legato la produzione agricola ad alti costi, dipendendo da interventi di condizionamento del suolo in termini

* Istituto di Chimica Agraria - Università di Milano

sia fisici che chimici con alti input energetici; ha favorito la selezione di linee e cultivars altamente produttive, ma nello stesso tempo altamente esigenti; non ha tenuto conto che spingere la selezione in termini di quantità di produzione in molti casi poteva determinare la comparsa di caratteri negativi.

L'aver forzato la selezione in termini di capacità di crescita e di produttività ha selezionato piante spesso più sensibili a situazioni di stress biotici e abiotici, con ulteriori costi di produzione per i necessari interventi a difesa dai patogeni e dalle fisiopatie e per i necessari interventi di correzione dell'ambiente (ad esempio il rifornimento idrico). Superfici coltivabili, che per la natura del suolo e le situazioni climatiche mal si adattavano ad accogliere piante così esigenti e mal si prestavano ad interventi utili ad elevarle a standard accettabili di fertilità (nei termini del significato corrente) sono state perdute dall'agricoltura perché poco produttive ed economicamente poco competitive. Per questa ragione vi è stato un aumento delle terre incolte nei Paesi ricchi ed un aumento del divario fra Paesi ricchi e Paesi in via di sviluppo.

L'aver forzato la selezione in termini di capacità di crescita e di produttività e l'aver ottimizzato la fertilità del suolo sia in termini fisici che chimici ha a volte determinato uno scadimento della qualità del prodotto. Il concetto di qualità è complesso, esso può essere visto in termini di capacità nutrizionale e anche in termini di sorbevolezza. La selezione ha migliorato la qualità nutrizionale di alcune produzioni in termini di proteine, trigliceridi, etc., od in termini visivi (pezzatura, colore, forma del frutto) ma ha determinato una caduta, in alcune altre produzioni, della qualità in termini di contenuto in vitamine e in termini di sorbevolezza. Quest'ultimo aspetto può essere uno dei fattori responsabili delle eccedenze di produzione; la mancata espansione della commerciabilità ed addirittura la contrazione della richiesta di un prodotto sono spesso legate allo scadimento della sorbevolezza. Ad esemplificazione può servire ricordare quanto sta succedendo nel comparto degli ortofrutticoli e in quello viticolo. Certamente una caduta della sorbevolezza del prodotto può essere dovuta ad aspetti legati alla sua conservazione e distribuzione, ma credo che sia esperienza di tutti l'aver constatato la differenza che vi è tra una fragola gigante di serra e una fragola di bosco, fra una mela dell'orto della casa di campagna e quella del fruttivendolo, fra la frutta e gli ortaggi prodotti in certe zone d'Italia da una agricoltura povera e quelli prodotti in modo intensivo. La caduta della sorbevolezza di un prodotto è facilmente legabile alla presenza di ben determinate situazioni fisiologiche e biochimiche della pianta: un frutto prodotto in situazioni di scarsa disponibilità di acqua sarà un frutto con cellule meno distese, meno ricco di acqua, più ricco di acidi organici e zuccheri, più ricco di aromi, etc., tutte sostanze la cui sintesi e il cui accumulo risultano legati alla possibilità della pianta di far crescere questo frutto e di portarlo a maturazione in condizioni limitanti. Nel comparto viticolo la situazione è forse ancora più sintomatica; l'aver definito le denominazioni di origine controllata e l'aver brevettato i vitigni non ha impedito il verificarsi di una omogenizzazione delle tipologie dei vini per cui,

sempre più spesso, risulta difficile ritrovare differenze sostanziali di gusto fra due tipi di vino diversi. Certamente le frodi e le cantine sociali possono aver contribuito ad una caduta della qualità ma è innegabile che il fenomeno investe anche aziende di sicura serietà. La omogenizzazione delle tipologie e la diminuita qualità ha portato alla caduta dei consumi. La qualità del prodotto (l'uva, il mosto, il vino) dipende sicuramente dal vitigno, ma anche dal suolo dove questo cresce e fruttifica; la difficoltà di sviluppo dell'apparato radicale, di reperimento dei diversi elementi minerali e di acqua (legati alla particolare capacità di risposta di quel vitigno alle situazioni limitanti e alle situazioni climatiche della zona) determinano la produzione di un'uva capace di dare un certo mosto, una certa fermentazione, un certo vino. Il vigneto è stato spinto in ogni zona a dare il massimo, forzando la fertilità del suolo con lavorazioni del terreno, con abbondanti concimazioni, con apporto idrico etc., ottenendo un prodotto tendenzialmente uguale indipendentemente dalle caratteristiche del suolo di quella zona, e in molti casi più povero in termini di contenuto in zuccheri, acidi (pH del mosto), tannini, aldeidi, etc. tale da favorire fermentazioni diverse e produrre vini di qualità inferiore.

Tutto quanto detto sopra suggerisce che forse è giunto il momento di cominciare a correggere in agricoltura il concetto generico di fertilità del suolo e nutrizione della pianta ridefinendo il concetto di fertilità del suolo in base allo scopo che ci si prefigge: produrre una quantità commerciabile di prodotto (eliminazione delle eccedenze) che conservi la più alta qualità, con i minori costi possibili. Mirare gli interventi sul suolo in modo da non alterare i rapporti fra pianta e suolo utili per ottenere un prodotto che conservi certe caratteristiche di qualità e sia ottenuto a minor costo; rimodellare la pianta in modo da recuperare, coltura per coltura, caratteristiche fisiologiche e biochimiche utili a produrre in modo soddisfacente per quantità e qualità in un certo suolo, cioè recuperare alle diverse colture capacità di voracità per i nutrienti e per l'acqua in modo da limitare gli interventi al minimo, al limite al solo ripristino delle sole situazioni alterate dalla coltura. Questo comporta chiaramente invertire la tendenza selettiva finora perseguita di ottenimento di piante con alta capacità di crescita e di produzione, ma in condizioni di alta disponibilità dei nutrienti.

Appare superfluo notare come una tale politica oltre che prevedere di condizionare la produzione alla domanda, abbassare i costi, recuperare la qualità, sarebbe tale da diminuire il degrado ambientale (corrosione dei suoli, lisciviazione, eutrofizzazione delle acque, predisposizione di bacini, canalizzazioni, ecc.) e potrebbe rendere di nuovo economicamente utile la coltivazione di aree oggi abbandonate.

La domanda che ci si può porre è: perché questo oggi e non ieri? Oggi vi sono possibilità di intervento, di costruzione, di modellazione e trasformazione della pianta che in passato non esistevano. In passato la selezione è stata guidata da parametri morfofisiologici legati alla sola produzione. Le piante sono state selezionate per quei caratteri morfofisiologici associati ad una più alta produ-

zione in situazioni colturali ottimizzate. In tal modo durante questo tipo di lavoro di selezione si sono persi altri caratteri che in quella condizione non erano necessariamente associati alla produttività. La selezione può essere imposta diversamente in base a parametri biochimici e fisiologici associati alla produzione in situazioni colturali particolari. La ricerca di base offre la possibilità di dissezionare i meccanismi biochimici e fisiologici che sono alla base della produttività e della capacità di risposta della pianta all'ambiente in modo da fornire indici per la costruzione di piante capaci di avere una buona produttività anche in ambienti limitanti.

La pianta non è un oggetto passivo rispetto alla disponibilità di nutrienti. Questi vengono assunti attraverso il controllo di due aspetti: uno termodinamico e uno cinetico. Il movimento dei nutrienti è sfavorito termodinamicamente; la pianta supera questa barriera associando il movimento di nutrienti a funzioni di membrana delle cellule della radice che utilizzano direttamente o indirettamente energia metabolica. Il secondo aspetto, quello cinetico, coinvolge le funzioni biochimiche che realizzano il movimento dei nutrienti che, essendo strutture proteiche, si comportano come gli enzimi, e sono caratterizzate da una affinità per il nutriente (capacità di assorbire in funzione della concentrazione esterna) e da una velocità massima (massimo flusso di nutriente realizzabile). E' chiaro che questi aspetti possono fornire indici della capacità di assunzione dei diversi nutrienti utili per selezionare, sfruttando la variabilità genetica del germoplasma di una certa specie, piante rispondenti a caratteristiche di voracità, di selettività, o di esclusione di un certo nutriente in modo da essere più rispondenti alle caratteristiche di un certo suolo.

La conoscenza di indici biochimici e fisiologici legati alla capacità di risposta della pianta a condizioni di carenza di acqua può permettere di riimpostare programmi di selezione utili per ottenere piante più rispondenti all'adattamento e alla resistenza allo stress idrico e alla conservazione di funzioni metaboliche legate alla sintesi e all'accumulo di molecole coinvolte in parametri di qualità.

Così pure la conoscenza di quali sono i prodotti dell'espressione genica legati alla resistenza allo stress termico può permettere l'identificazione dei geni o delle porzioni di genoma ad essa correlati, per affrontare programmi di trasformazione (ingegneria genetica) per l'introduzione in certe piante delle caratteristiche di resistenza.

Senza insistere nell'elencazione degli approcci possibili è chiaro che utilizzando parametri biochimici e fisiologici con programmi di selezione genetica tradizionali, o di ingegneria genetica partendo da piante, espianti e colture di cellule è possibile immaginare di ottenere piante che permettano di ridefinire in modo specifico il concetto di fertilità del suolo.

Abbiamo detto che esistono oggi conoscenze e competenze sufficienti ad affrontare questi problemi, abbiamo però taciuto i motivi e le ragioni per le quali questo approccio è limitato e frammentario in agraria. Nel nostro settore la ricerca di base e quella applicata mal si compenetrano. La prima si è

sviluppata principalmente nelle Facoltà di Scienze, essendo spesso addirittura osteggiata nelle Facoltà di Agraria, ed ha acquistato connotati di una ricerca avente meri scopi conoscitivi, certamente non avulsi da problemi agrari, ma nella sua quasi totalità condotta senza legami voluti con la ricerca applicata. La seconda si è sviluppata nelle Facoltà di Agraria con un'ansia eccessiva per i problemi di trasferibilità, troppo strettamente guidata dalle sollecitazioni del mercato, condotta in modo estemporaneo e senza approfondimenti. Questo non è accaduto in altri campi scientifici, in Medicina, in Chimica, in Ingegneria; qui le esperienze di base e quelle applicate hanno proceduto e procedono con un continuo interscambio, sollecitando raddrizzamenti di rotta reciproci verso obiettivi di conoscenza e pratici che si integrano profondamente. Basta citare, come esempio, la ricerca di base in immunologia e la soluzione dei problemi legati al rigetto nel trapianto di organi, la ricerca di base nella chimica dei polimeri e lo sviluppo della produzione delle materie plastiche, la ricerca di base legata ai semiconduttori e l'industria elettronica.

L'interesse alla trasformazione della pianta, le cosiddette biotecnologie vegetali, è impropriamente appannaggio di tutti. L'ipotesi di costruzione di piante resistenti a stress biotici e abiotici, di piante costruite per produrre proteine, grassi, farmaci, molecole particolari, è proposta da medici, chimici, farmacisti; l'augurio è il successo anche se vi è il fondato sospetto che ciò sia solo la manifestazione dell'utilizzazione di una moda che paga.

L'ambizione di trasformare la pianta, sulla base di conoscenze e competenze derivanti da una vecchia tradizione, spetta ai ricercatori delle Facoltà di Agraria e in particolar modo a chi ha interesse per la Biologia Vegetale Agraria.

Il problema in agraria è rifondare la ricerca, cercando di creare un ricercatore di base attento oltre che agli aspetti conoscitivi anche agli obiettivi di trasferibilità e ridefinire un ricercatore applicato che si muova verso gli obiettivi finalizzati sulla base di una conoscenza continua e aggiornata delle opportunità che gli offre la conoscenza di base. Gruppi che operano in tal senso nelle Facoltà di Agraria sono già presenti e bisogna favorirne lo sviluppo; questo a mio parere dovrebbe essere uno dei compiti prioritari della Società di Chimica Agraria. Essa infatti rappresenta coloro che per primi hanno cercato di studiare la pianta coinvolgendo contemporaneamente le conoscenze di base e quelle applicate.

Aspetti agronomici della fertilità del suolo e della nutrizione delle piante

Come premessa al mio intervento mi sembra doveroso ricordare il significato, tuttora attuale, che il nostro grande maestro, Emanuele De Cillis, attribuiva all'espressione « fertilità del suolo ».

Nel Trattato di Agronomia del 1941, riprendendo un concetto da lui esposto nel 1920, Egli affermava che la fertilità va considerata nella sua « integralità » e che essa è la risultante « di tutti i fattori che nel terreno possono influenzare, direttamente o indirettamente, la vita delle piante »; che « questi fattori non sono ancora tutti conosciuti nel loro numero e nella loro azione »; che essi « agiscono non isolatamente, ma in modo interdipendente l'uno dall'altro, per cui la distinzione tra loro in due gruppi (abitabilità e nutrizione) ha solamente valore scolastico; che, inoltre, l'azione di molti fattori del terreno, e fra i più importanti è legata alle vicende meteoriche della località ». Naturalmente, « essendo numerosi i fattori della fertilità, questa è regolata dal fattore limite ». Ed infine la fertilità è caratterizzata anche dalla sua « relatività »: non vi è un terreno assolutamente fertile, ma un terreno, se è fertile per una determinata coltura in quanto per le sue caratteristiche risponde esattamente alle esigenze di essa, può esserlo meno per un'altra che abbia esigenze diverse.

Questi concetti conservano in pieno la loro validità, ed anzi sono stati meglio circostanziati alla luce dei risultati delle ricerche condotte negli ultimi anni, tanto che un altro grande studioso, O.T. Rotini, recentemente (1984) con l'autorità derivantegli da una lunga e luminosa carriera e sulla scorta della moderna letteratura, li ha ribaditi, concludendo che la fertilità « rappresenta una funzione complessa di numerose variabili, la maggior parte delle quali nè semplici nè indipendenti ».

Dalla concezione « integrale » deriva che alla fertilità concorrono fattori di natura diversa (Figura 1). In primo luogo vi partecipano i *fattori fisici*, quali giacitura, esposizione, costituzione, e soprattutto la struttura, quali ancora calore e disponibilità idriche, questi ultimi due dipendenti, più diret-

* Istituto di Agronomia e Coltivazioni Erbacee - Università di Napoli

tamente, dalle condizioni climatiche. Vi sono poi i *fattori chimici*, come la presenza di sostanze umiche che nel loro dinamismo influenzano le condizioni fisiche e chimiche del suolo, intervengono direttamente sul contenuto e sulla attività di microrganismi ed enzimi e, secondo le moderne vedute riportate in una recente sintesi di Vaughan (1986), una volta in soluzione, possono avere un effetto *diretto e selettivo* sul metabolismo delle piante e sulla loro crescita. *Fattori chimici* essenziali sono poi gli elementi che servono per la nutrizione delle piante, soprattutto quelli presenti nelle forme direttamente assimilabili, nonché quegli elementi o composti che esplicano azione catalitica (come l'ossido di Mg idrato che presiede alla trasformazione dell'ossido di carbonio in CO₂ e della cianamide in urea), sono inoltre l'assenza di sostanze tossiche, l'assenza di condizioni anomale (eccesso di acqua, reazione fortemente acida o alcalina, potenziale redox improprio, ecc.).

Sulla fertilità influiscono, infine, *fattori biologici*, quali la presenza di organismi utili all'ordinata vita dell'ecosistema terreno, sia con la loro attività diretta che con la produzione di enzimi vari; fattori biologici come l'assenza di organismi nocivi per l'umificazione e per gli apparati radicali delle piante, come l'assenza di erbe infestanti. Ed a proposito di organismi nocivi, ad esempio, viene da più parti segnalata la caduta di fertilità di alcuni suoli destinati da tempo alla coltura del tabacco in monosuccessione in Umbria, e dei terreni della zona vesuviana destinati alla dianticultura, in entrambi i casi per la notevole invasione di nematodi.

La fertilità dipende cioè dall'azione di tutti questi fattori e dalle interazioni che si stabiliscono tra loro, e questi fattori sono tutti ugualmente indispensabili, anche se alcuni di essi intervengono in misura maggiore.

Così, ad esempio, rilievo particolare, quando si parla di fertilità, si dà alla presenza di sostanza organica, alle disponibilità idriche e alla ricchezza in elementi nutritivi assimilabili. Ma, ripeto, la fertilità non si esaurisce in essi.

Un'ultima notazione mi sembra doverosa: la fertilità, essendo la risultante dell'azione di tanti fattori, molti dei quali estremamente dinamici, non è una caratteristica statica del terreno agrario, ma deve essere considerata in continua evoluzione.

Per sottolineare, poi, il carattere «relatività» della fertilità del suolo, desidero ricordare, come esempio, che, quando si coltivavano i tabacchi sub-tropicali sotto garza (cv. «Scafati 2» e «Round tip»), per ottenere prodotti di elevata qualità si sceglievano i terreni più ricchi di humus e in aggiunta ogni anno si somministrava al suolo una considerevole quantità di sostanza organica (letame o anche torba), mentre è noto che il tabacco «Virginia bright» (nei tipi tradizionali) deve essere coltivato in terreni poveri di sostanza organica, e, quando si dispone solo di terreni ricchi di azoto, è buona norma eliminare l'eccesso di tale elemento, coltivando senza concimazione un erbaio di avena o di orzo che, prima dell'aratura per il tabacco, viene sfalcato e l'erba viene portata via.

Ossia un terreno con determinate caratteristiche, può essere fertile per il tabacco « Scafati 7 » e non per il « Virginia bright » e viceversa. Eppure in questo caso si tratta di due varietà della stessa specie!

Per quel che riguarda poi la *nutrizione delle piante* (Figura 1) un ruolo preminente assumono i fattori genetici che determinano, per ciascuna specie e, nell'ambito della specie, per ciascuna varietà, gli elementi necessari e le dosi di ognuno; sempre da fattori genetici dipendono le differenti esigenze per ogni elemento nutritivo nelle diverse fasi del ciclo colturale, e la capacità di sviluppo degli apparati radicali. I fattori ambientali, come luce, calore, ETP, venti, influiscono sulla intensità di assimilazione netta (NAR) e quindi sulla velocità di accrescimento della coltura (CGR), e dai fattori come struttura, reazione del suolo ecc. deriva la possibilità per l'apparato radicale di espandersi, di respirare, di esplorare nuove zone, di compiere il proprio lavoro, ossia di assorbire gli elementi nutritivi. Più direttamente evidente è poi l'azione dei fattori nutrizionali, come la disponibilità di anidride carbonica per la fotosintesi, la ricchezza in elementi nutritivi (macro e micro) nella forma più facilmente assimilabile e un'adeguata disponibilità idrica del suolo, per sopperire alle quote di acqua cedute per ET e per garantire l'assorbimento dei nutritivi stessi.

Infatti, sull'effettivo trasferimento degli elementi nutritivi, presenti nel suolo o aggiunti con la concimazione, verso le superfici assorbenti delle radici, notevole influenza esplicano le diverse caratteristiche del suolo, in primo luogo le condizioni di umidità e la presenza di ossigeno.

Viceversa la corretta nutrizione delle piante è spesso ostacolata da alcuni fattori biotici, come la competizione derivante da una eccessiva densità d'investimento, la complessa azione esplicata dalle erbe infestanti, gli attacchi di parassiti animali e vegetali.

Gli interventi colturali rivolti a migliorare le condizioni di fertilità del suolo e a favorire la nutrizione delle piante sono vari e spesso complessi (Figura 2). Essi derivano dalla proiezione nella pratica agricola dei principi teorici innanzi accennati, e vanno dalla sistemazione del suolo alla correzione, dalla scelta delle specie e varietà al diserbo, dall'epoca e dalla densità di semina alla difesa delle colture; tutti gli interventi devono essere eseguiti accuratamente e l'uno in funzione degli altri perché, dati il carattere integrale della fertilità e l'interazione fra tutti i suoi fattori, bisogna fare in modo che neppure uno di tali fattori si trovi in condizione da diventare « fattore limitante », ed anzi oggi l'agronomo deve tendere alla « ottimizzazione » nel senso di realizzare la migliore combinazione dei fattori stessi nelle singole situazioni.

La descrizione di tutti gli interventi colturali richiederebbe una trattazione ampia e sistematica. Trovandomi ad una tavola rotonda ed avendo già utilizzato parte del tempo a mia disposizione, mi limiterò a sottolineare solo qualche aspetto che, a mio avviso, è meritevole di maggiore attenzione in questa sede.

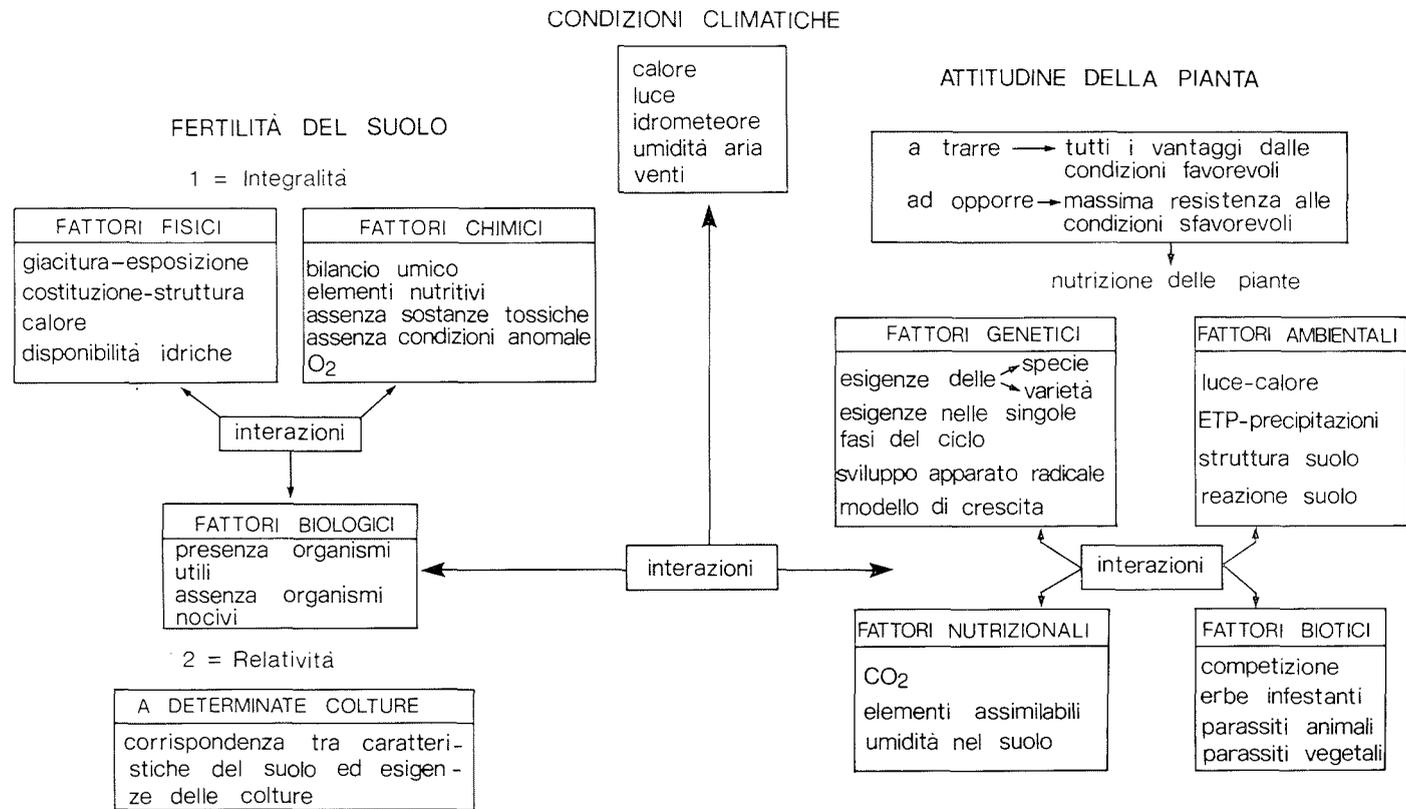


Figura 1 - Schema del sistema produttivo

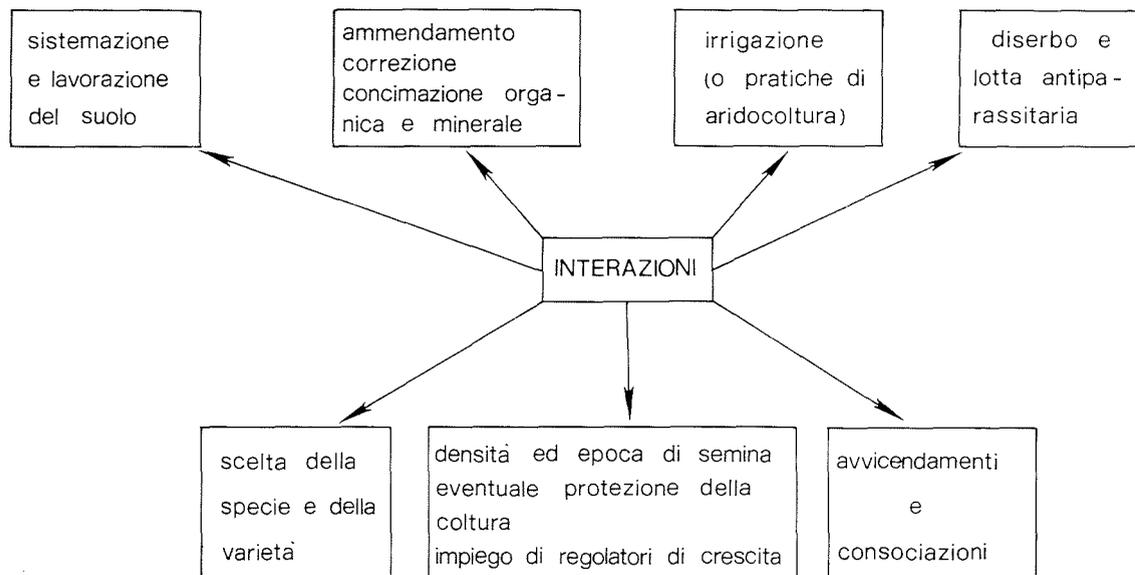


Figura 2 - Schema degli interventi culturali

La sistemazione del suolo deve mirare sempre più ad assicurare un regime idrico ottimale.

Per le lavorazioni, tra le nuove tecniche vanno segnalate, perché siano sperimentate nelle diverse zone e per le diverse colture, quelle consistenti in una aratura a media profondità ed in una ripuntatura più profonda, eseguite insieme o in successione, tecniche che, studiate per conseguire un risparmio energetico, sono risultate vantaggiose anche per altri aspetti. In primo luogo, infatti, l'aratura superficiale consente una minore dispersione della sostanza organica e quindi in definitiva un aumento della sua percentuale negli strati superficiali più interessati alla coltivazione; e poi l'approfondimento della lavorazione con organi discissori determina, senza bisogno di rivoltare l'intero strato di suolo, lo smaltimento dell'acqua di supero. Unica preoccupazione deve essere che lo strato arato sia sufficientemente profondo per ospitare, senza opporre resistenza, lo sviluppo della parte più cospicua dell'apparato radicale, in accordo con le vedute di Hénin (1969) sul profilo colturale.

Per migliorare il bilancio umico, l'intervento primario è costituito dalle somministrazioni di letame. Considerato però che, a causa della specializzazione colturale, questo prezioso materiale difetta soprattutto nelle aziende orticole e frutticole che più ne hanno bisogno, si deve fare ricorso ad altre fonti di sostanza organica. La coltivazione di erbai da sovescio, per il suo costo, viene praticata solo in casi di estremo bisogno e per colture ricche, anche se recentemente Ebelhar e coll. (1984) hanno trovato ottimo l'uso di *Vicia villosa* come coltura intercalare tra due colture di mais per dar luogo ad una pacciamatura vivente (cover crop) capace di assicurare 4-5 t ha⁻¹ di sostanza secca ad alto contenuto in azoto (3-4%). L'impiego di fanghi e di composte spesso comporta pericoli di inquinamento per la presenza di metalli pesanti e talora di una microflora patogena. Più interessante, ed ormai abbastanza praticato soprattutto nella monocoltura dei cereali, risulta l'interramento dei residui colturali, opportunamente addizionati con concimi azotati (1 kg di N per q di paglia) per migliorare il rapporto C/N.

Fondamentale è la *scelta della specie* e, nell'ambito di ciascuna specie, la scelta della varietà da coltivare nei singoli ambienti. Per operare tale scelta, ovviamente, bisogna prima prendere in esame i fattori tecnici che influiscono sulla vegetazione e sulla produzione e poi fare considerazioni di ordine economico. Per gli aspetti tecnici si deve tener conto delle caratteristiche del suolo e delle condizioni climatiche da una parte, e delle esigenze delle cultivar, nel complesso e nelle singole fasi del ciclo colturale, dall'altra. Naturalmente la scelta sarà più valida quando le caratteristiche del suolo e l'andamento dei fattori climatici saranno coincidenti o molto vicini alle esigenze delle piante prescelte.

Oggi il problema è alquanto semplificato perché si dispone di strumenti, di metodologie e spesso di serie storiche di dati che consentono una buona conoscenza dell'ambiente pedoclimatico, ed è possibile altresì trovare sul mercato sementiero e vivaistico un numero sempre più elevato di varietà

migliorate per attitudine produttiva, per resistenze alle avversità climatiche, per resistenze agli attacchi parassitari, per adattamento a differenti condizioni ambientali, per capacità di vegetare in pien'aria o sotto serra, per dare produzioni anticipate o posticipate.

Ne deriva che con un'oculata scelta è possibile individuare per ciascuna zona di coltivazione specie e varietà che siano in grado di trarre tutti i vantaggi dalle condizioni favorevoli che si verificano in essa, e siano capaci di opporre la maggiore resistenza alle condizioni sfavorevoli. E ciò, ovviamente costituisce la condizione principale per ottenere prodotti di migliore qualità, di più elevato valore commerciale (se fuori epoca), con minori costi e ridotto impiego di trattamenti più o meno inquinanti.

Per la concimazione minerale il problema principale è costituito dalla dotazione del terreno e delle esigenze delle piante per ciascun elemento nutritivo. Per la valutazione della dotazione del terreno in elementi nutritivi vi sono vari metodi: chimici, fisiologici, di estrazione biologica ed anche di analisi floristica (2); per le esigenze delle piante si impiegano i metodi basati sull'esame chimico delle ceneri, la diagnostica fogliare, l'analisi dei succhi estratti dai tessuti conduttori (7), l'esame delle deviazioni anatomiche prodotte da carenze (e su alcuni metodi si sono intrattenuti autorevolmente in questo convegno altri relatori); ma fra tutti i metodi il più importante è quello della valutazione agronomica: prove di concimazione dalle quali discende l'approccio globale ed intuitivo di un agronomo esperto. Infatti, in tema di concimazione, avvertiva ancora E. De Cillis (l.c.), non esistono ricette prefabbricate, ma solo il risultato di prove e l'esperienza diretta.

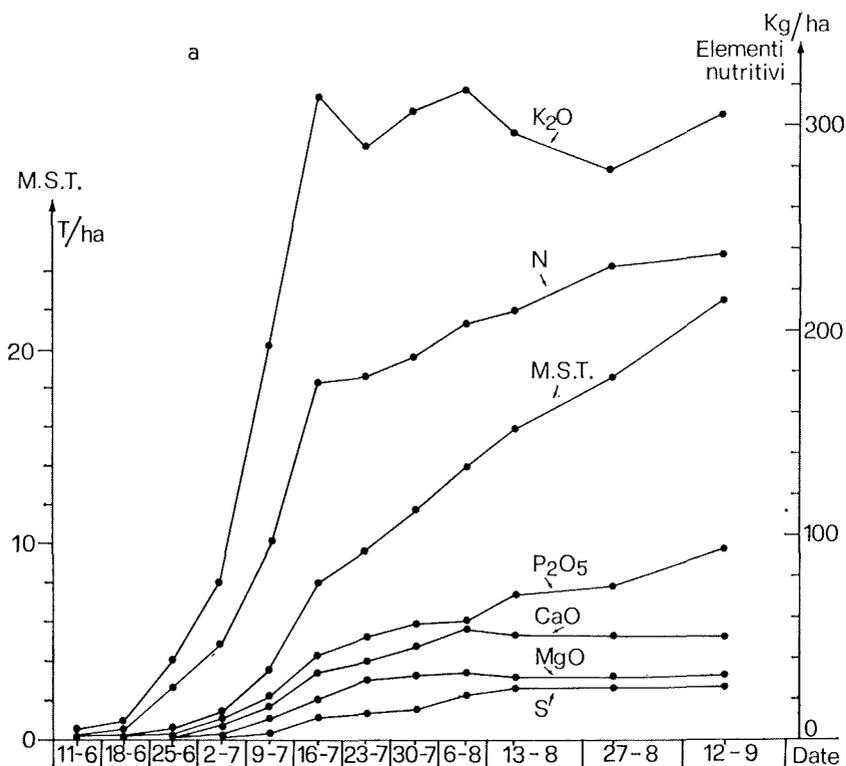
Oggi, in realtà si mira a conoscere non solo l'esigenza complessiva di un dato elemento da parte della pianta, ma anche il ritmo di assorbimento dello stesso nelle diverse fasi del ciclo (Figura 3), ritmo dipendente da fattori genetici ma sul quale i fattori ambientali incidono notevolmente.

Questo discorso viene fatto soprattutto per i tre elementi, N-P-K, comunemente impiegati nella concimazione in Italia, ma assume un significato preminente per l'azoto. Di questo elemento, infatti, oltre al particolare e ben noto comportamento nel suolo, bisogna considerare il *costo energetico* quando viene somministrato come concime prodotto dall'industria, e le *possibilità di inquinamento* soprattutto se raggiunge le falde idriche. Anzi, a proposito di inquinamento, De Scorraille (1981) in Francia, ha avvertito che per certi ortaggi, come spinaci e carote specie se destinati alla alimentazione infantile, si richiede nella fase colturale un'attenzione particolare per mantenere in essi il contenuto in nitrati a livelli accettabili, onde suggerisce di limitare le somministrazioni azotate, sia che si tratti di concimi minerali che di apporti organici.

Da queste considerazioni, lungi dal giungere a irrazionali ed improponibili conclusioni, come quelle di eliminare indiscriminatamente l'uso di concimi, diserbanti ed antiparassitari, scaturisce l'esigenza di somministrare azoto nelle dosi, nelle forme e nei tempi più opportuni per ciascuna coltura e per

ciascun ambiente, colmando le carenze, ma preoccupandosi anche di evitare superdosaggi, che determinano sprechi energetici e possono inquinare ambiente ed alimenti. (Analogo è il discorso per diserbanti ed antiparassitari, per i quali è possibile scegliere anche tra prodotti più o meno tossici).

Di grande utilità, per la concimazione, possono risultare, quindi, frequenti analisi del suolo e nuove acquisizioni sulle esigenze delle colture, tenendo conto a questo proposito che le varietà migliorate hanno bisogno di un'alimentazione adeguata per sostenere la più elevata capacità produttiva; ma utili risultano soprattutto le prove di concimazione aziendali eseguite, anche in maniera molto semplice, sulla scorta di risultati di lavori scientifici, nonché la vigile ed attenta osservazione degli andamenti stagionali. Con gli elementi raccolti in tal modo sarà possibile finalmente predisporre piani di concimazione aziendale. Inoltre, nella formulazione di tali piani bisognerà considerare altresì le interazioni che si stabiliscono tra i diversi elementi nutritivi apportati con i concimi, tra elementi nutritivi e sostanza organica, tra elementi nutritivi e il suolo più in generale. Così, ad esempio, Stauleg e Smith (citati da Rotini, 1984) hanno dimostrato che con una somministrazione di 100-120 kg/ha di



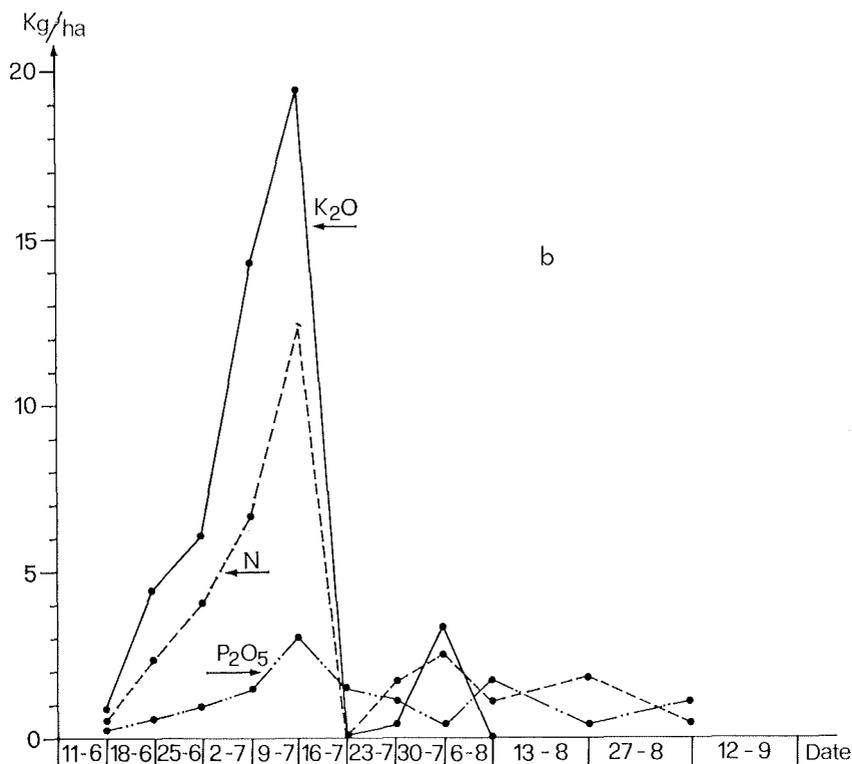


Figura 3 - Ritmo di produzione di materia secca totale ($t\ ha^{-1}$) e di assorbimento dei principali elementi nutritivi ($kg\ ha^{-1}$) di piante intere di mais (a); e prelievo giornaliero dei principali elementi (b) sempre di piante intere di mais (da Lubet e Juste, 1985).

ammoniaca anidra, si determina un aumento considerevole della quantità di anidride fosforica e di ossido di potassio assimilabili, in seguito all'azione dell'ammoniaca sui componenti fosforici o potassici assorbiti o fissati dai costituenti del terreno.

Per la tecnica di concimazione, poi, particolarmente da raccomandare sembra la concimazione localizzata, specie per le somministrazioni di fosforo, data la limitata mobilità nel suolo di questo elemento. E tale operazione, con le attuali macchine spandiconcime o con le seminatrici spandiconcime, può essere effettuata agevolmente.

Per la concimazione azotata, soprattutto per gli apporti durante il ciclo colturale, nel tentativo di sopperire alle attuali concimazioni in copertura che devono essere eseguite a mano e quindi incidono notevolmente sui costi di produzione, un vantaggio si attende dall'impiego dei concimi a solubilità

ritardata. Attualmente vi sono in commercio alcuni tipi di tali concimi, i quali, però, a parte il costo, non presentano ancora un ritmo di solubilizzazione confacente alle esigenze delle colture, anche perché molti e variabili sono i fattori ambientali che vi influiscono.

Risultati più concreti si possono già ottenere con l'impiego dei concimi fluidi che sono particolarmente adatti per la fertirrigazione. Ma allo stato attuale i concimi fluidi vengono distribuiti solo in alcune regioni d'Italia.

Vi è da sottolineare tuttavia che la fertirrigazione, anche con i concimi tradizionali, va diffondendosi abbastanza, ed è diventata pratica ordinaria negli impianti arborei o in quelle colture ortive che usano per l'irrigazione il sistema a goccia.

Infine, in fatto di risparmio energetico nella concimazione azotata, le *leguminose* hanno assunto di nuovo un ruolo preminente per la loro capacità di auto-approvvisionarsi di azoto; ed anzi in tale direzione fervono le ricerche per individuare piante di altre famiglie, principalmente graminacee, che vegetano in associazione con microrganismi capaci di fissare l'azoto atmosferico, e ricerche volte a favorire tali associazioni.

Nell'attesa di risultati concreti in proposito, una rinnovata importanza rivestono oggi gli *avvicendamenti*; con tale pratica è possibile infatti utilizzare a beneficio di una coltura successiva le modificazioni di carattere fisico, chimico o biologico indotte nel suolo da una coltura precedente, come azione residua di lavorazioni, di apparati radicali, di concimazione di fondo, di correzione, come arricchimento di azoto nel terreno da parte delle leguminose, come migliore possibilità di controllo delle malerbe, minore facilità di accumulo di parassiti nel suolo.

Da quanto si è fin qui esposto, emerge chiaramente che per conservare ed aumentare la fertilità del suolo e per migliorare le condizioni di nutrizione delle piante sono necessari diversi interventi agronomici che devono essere eseguiti bene e tempestivamente e devono essere coordinati tra loro.

Le moderne acquisizioni scientifiche consentono una razionalizzazione di tali interventi, nel senso di evitare non solo carenze, ma anche eccessi che risultano costosi e spesso dannosi (sprechi vari, inquinamento, erosione).

Oggi l'esercizio dell'agricoltura deve essere considerato un sistema complesso nel quale i singoli fattori non vengono più utilizzati nella misura massima, ma in quella ritenuta più conveniente in ciascuna situazione concreta. Si parla infatti in termini di bilancio energetico, di bilancio umico, di bilancio idrologico, di bilancio nutritivo, di bilancio del carbonio. Sono questi i risultati dei primi timidi approcci della tecnica colturale ai modelli attraverso i quali si mira ad una migliore comprensione del sistema produttivo, e nello stesso tempo sono le premesse per lo sviluppo di una vera e propria modellistica in agricoltura che potrà fornire indicazioni utili per il progresso e lo sviluppo di questa attività che ora sembra relegata al ruolo di cenerentola tra le attività produttive.

BIBLIOGRAFIA

- (1) DE CILLIS E. - Trattato delle coltivazioni: Agronomia, Arte della Stampa, Roma, pp. 584, 1941.
- (2) DELPECH R. - La vegetation prairiale, reflet du milieu et des techniques. Bull. Techn. Information, n. 370-372, 363, 1982.
- (3) DE SCORRAILLE G. - Physionomie de la fertilisation en France dans la decennie 1970-1980. C.R.S. de l'Acad. d'Agric. de France, 67 (13): 1111, 1981.
- (4) EBELHAR S.A., FRYE W.W., BLEVINS R.L., Nitrogen form legume cover crop for no tillage corn. Agron. J. 76: 51, 1984.
- (5) HÉNIN S., GRAS R., MONNIER G. - Le profil cultural. Masson et Cie Editeurs, Paris pp. 332, 1969.
- (6) LUBET E. et JUSTE C. - Cinétique de la production de matières sèche et du prélèvement d'éléments nutritifs par une culture irriguée de maïs à haute potentialité de rendement. Agronomie, 5 (3): 239, 1985.
- (7) MORAR Ph. et KERHOAS J. - Contrôle de la nutrition et de la fertilisation de cultures légumières per l'analyse de sucres extraits de tissus conducteurs (S.E.T.C.) - C.R. des Séances de l'Acad. d'Agric. de France 1982, 68 (14): 1114 (1122), 1982.
- (8) ROTINI O. T. - I molteplici fattori della fertilità del suolo. Gli elementi fitonutritivi e fertilità del terreno. Edagricole, Bologna, 153, 1984.
- (9) VAUGHAN D. - Effetti delle sostanze umiche sui processi metabolici delle piante. Sostanze umiche: effetti sul terreno e sulle piante, REDA, Roma, 59, 1986.

Conclusioni

Ringrazio vivamente tutti gli intervenuti per la loro esposizione, che per quanto ristretta in tempi brevissimi, è stata chiara ed esauriente. Ma riprendo la parola anche per esporre alcune considerazioni scaturite dall'esame delle relazioni e dei Poster.

Ad eccezione della relazione di Németh ricchissima di dati sperimentali e di significative correlazioni tra i riscontri analitici ed il fabbisogno in fertilizzanti, e ad eccezione degli apporti di alcuni gruppi di studio che utilizzano anch'essi la tecnica della elettroultrafiltrazione, si è parlato poco di un problema, secondo me ancora molto attuale e di estrema importanza. Alludo al problema delle metodologie analitiche, all'identificazione delle soglie di sufficienza, dei criteri da adottare per rifornire la pianta ed il terreno della quantità ottimale dei fertilizzanti necessari per mantenere uno stato di buona produttività. Si obietterà che si tratta di un annoso, vecchio problema che ha fatto il suo tempo. Non sono d'accordo e considero questo aspetto ancora essenziale. Siamo infatti tutti concordi nell'affermare che bisogna razionalizzare le concimazioni; è stato detto e ripetuto, qui ed in altre sedi, che si è fatto un uso esagerato delle concimazioni chimiche, in conseguenza anche dell'utilizzazione di cultivar molto esigenti in fatto di acqua e di elementi nutritivi; che tale abuso porta con sé un eccessivo dispendio energetico e rischi di carattere ecologico. Ma su quale base dobbiamo operare per raggiungere tale ottimizzazione? E' evidente che dobbiamo conoscere il fabbisogno delle singole colture, la disponibilità del terreno in elementi nutritivi oltre che il comportamento dei diversi fertilizzanti nel suolo. Ma è altrettanto evidente che oggi, nel 1987, possiamo e dobbiamo utilizzare due strumenti che consentono di affrontare il problema in modo molto più completo che nel passato. Alludo all'automazione nel campo dell'analitica e all'applicazione dei sistemi informatici basati sull'applicazione dell'analisi multivariata.

L'automazione consente l'esecuzione, in tempi brevi, di un numero rilevante di determinazioni analitiche, per cui l'analisi del suolo può essere la più completa possibile comprendendo tutti i parametri chimici e fisici e alcuni dei più importanti parametri biologici.

A sua volta l'informatica consente di elaborare i risultati analitici correlandoli a molti altri fattori che influenzano la produttività, quali le caratte-

ristiche dell'appezzamento, la sua ubicazione e giacitura, l'esposizione, le tecniche colturali, il tipo di irrigazione, le cultivar. Esistono già dei sistemi matematici che consentono di determinare la soglia di sufficienza dei singoli elementi nutritivi, specifica per un determinato suolo, visto nella sua fisiologia chimica, in relazione alla sua storia agronomica oltre che alle condizioni ambientali.

A questo punto mi sembra giusto che alcuni di noi si cimentino in questo tipo di problematica, onde portare nuovi contributi reali, tangibili e sostanziali alla pratica della concimazione chimica e soprattutto della sua razionalizzazione.

I N D I C E

INTRODUZIONE	pag. 3
------------------------	--------

SESSIONE PRIMA - RELAZIONI GENERALI

P. VIOLANTE — La fertilità dei suoli vulcanici	» 7
K. NÉMETH — The determination of plant available nitrogen in the soil and its importance to characterize soil fertility	» 41
R. MOREL — Analyse des facteurs de croissance de la plante pour la définition du concept de fertilité des sols	» 57
P. NANNIPIERI — Il comportamento del fertilizzante azotato nel sistema terreno-pianta	» 75

SESSIONE SECONDA - RELAZIONI GENERALI

G. LOTTI — Problematica delle piante accumulatrici	» 89
B.C. LOUGHMAN — <i>In vivo</i> approaches to problems of phosphorus nutrition in plants using ^{31}P -NMR and ^{32}P	» 111
J.M. MEYNARD, G. DAVID — Diagnostic sur l'elaboration du rendement des cultures	» 125
B. MARANO — Accertamento dello stato nutrizionale delle piante: problematiche diagnostiche	» 143

SESSIONE PRIMA

R. ARINGHIERI, G. PARDINI — Natura del doppio strato elettrico e variazione della carica superficiale in particelle di terreno aventi una distribuzione di carica positiva	» 175
A. BUONDONNO — Applicazione della Elettro-Ultrafiltrazione (EUF) nella diagnosi di fertilità dei suoli. I - Riproducibilità di alcune determinazioni di fosforo	» 179
A. BUONDONNO, D. FELLECA — Applicazione della Elettro-Ultrafiltrazione (EUF) per l'estrazione frazionata del pool dei fosfati del suolo. Indagine preliminare	» 183

A. BUONDONNO, D. FELLECA, S.A. BUFO — Applicazione della Elettro-Ultrafiltrazione (EUF) nella diagnosi di fertilità dei suoli. II - Riproducibilità di alcune determinazioni di potassio	pag. 189
A. BUONDONNO, D. FELLECA, S.A. BUFO, M.D.R. PIZZIGALLO, C. TESTINI — Primi accertamenti sulle frazioni di potassio di alcuni suoli dell'Italia meridionale determinate secondo il metodo della Elettro-Ultrafiltrazione (EUF)	» 193
A. HAMDY — Evaluation of various chemical extractants for the assessment of available soil phosphorus	» 197
A. ALBUZIO, S. NARDI — Modificazioni delle sostanze umiche da parte di acidi organici della rizosfera	» 209
N. SENESI, M.R. PROVENZANO, T.M. MIANO — Applicazioni dell'analisi in fluorescenza alla caratterizzazione chimico-strutturale e alla differenziazione di sostanze umiche di diversa complessità strutturale di varia origine	» 211
L. TOMADIN, R. FRANCHI — Apporti fluviali dall'Appennino al mare Adriatico. II - I Bacini di drenaggio del Marecchia e del Metauro (Marche)	» 215
P.L. GENEVINI, F. MOLLER, P. ZACCHEO, F. TANO — Analisi statistica multivariata di parametri fisico-chimici dei terreni alcalini	» 217
P.L. GENEVINI, P. ZACCHEO — Distribuzione del fosforo in un terreno trattato con fango di depurazione	» 225
P. ZACCHEO, P.L. GENEVINI — Caratterizzazione chimica di acidi umici estratti da terreno trattato con diverse dosi di fango	» 231
S. SILVA, L. FEDERICO GOLDBERG — Possibilità pratica di utilizzo di inibitori della nitrificazione nella realtà agricola della Valle Padana	» 237
C. SORLINI, C. GIGLIOTTI, L. FEDERICO GOLDBERG — Effetti di piogge acide simulate su alcuni parametri microbiologici e chimici del suolo	» 245
L. ALLIEVI, C. GIGLIOTTI, L. FEDERICO GOLDBERG — Effetti della nitrapirina (N-Serve) sull'attività e sulle cariche di alcuni gruppi batterici	» 253
M. PAGLIAI, B. PEZZAROSSA, M. LA MARCA, G. LUCAMANTE — Porosità e struttura del terreno in relazione alle lavorazioni	» 259
A. MARCHESINI, L. ALLIEVI, A. FERRARI — Persistente miglioramento della fertilità di un terreno a cinque anni dal trattamento con compost	» 263
B. CECCANTI, J.M. ALCANIZ, L. COMELLAS, A. PUIGBO — Distribuzione degli enzimi in tre frazioni organiche del terreno a diverso peso molecolare	» 269
P. PERUCCI, L. SCARPONI — Influenza di atrazina, alachlor e metolachlor su alcune fosfatasi del suolo	» 273
N. ROSSI, L. LANZONI — Fertilità chimica del suolo in funzione dell'irrigazione e della concimazione letamica e minerale in quattro tipi di rotazione	» 275
A. VIOLANTE, C. COLOMBO, A. SCOGNAMIGLIO, G. CRISCIONE — Adsorbimento di ioni fosfato in presenza di ioni ossalato su ossido di alluminio	» 283
A. VIOLANTE, P. VIOLANTE — Proprietà di superficie dei prodotti idrolitici dell'alluminio: influenza dell'acido tartarico	» 291

A. CALIANDRO, G. CUCCI, A. DE CARO — Bonifica di un'azienda caratterizzata da terreni salini, alcalini e salino-alcalini	pag. 301
G. CUCCI, A. DE CARO, A. CASTRIGNANÒ, A. CALIANDRO — Lisciviazione dei soluti da terreni salino-alcalini ed alcalini effettuata su colonne in laboratorio	» 309
DE CARO, S. CORDELLA, A. CASTRIGNANÒ — La solubilità del P in un terreno che per 9 anni consecutivi è stato concimato con 3 diversi livelli fertilizzanti	» 321
P. NATALI, M. TREVISAN, A.A.M. DEL RE — Determinazione del selenio solubile in suoli di vigneto	» 333
O. CURTO, S. SILVA, A.A.M. DEL RE — Dipendenza tra indici di stabilità strutturale e parametri organici e inorganici del terreno: uno studio statistico	» 335
P. RUGGIERO, V.M. RADOGNA — Attività di polifenolossidasi associate ad acidi umici	» 337
M. NEGRE, M. GENNARI, A. CIGNETTI — Degradazione del Fluazifop-butyl nel suolo e nell'acqua	» 341
M. NUTI, U. PERUCH, C. GIUPPONI, R. PINTON, A. MAGGIONI — La biomassa del suolo come indice di attività biologica nella valutazione della fertilità dei terreni del Comprensorio Basso Piave	» 347
L. GIARDINI, C. GIUPPONI, A. MAGGIONI, M. NUTI, U. PERUCH — Parametri chimici e biologici dei terreni nella caratterizzazione territoriale per la gestione delle risorse agricole	» 349
S.A. BUFO, A. BUONDONNO, M.D.R. PIZZIGALLO, C. TESTINI — Cinetica di desorbimento del fosforo determinata in EUF su suoli tipici dell'Italia Meridionale	» 351
S.A. BUFO, A. BUONDONNO, M.D.R. PIZZIGALLO, C. TESTINI — Cinetica di desorbimento del K determinata in EUF su tre suoli meridionali	» 355
G. BASILE, G. PALMIERI, F. PALMIERI, P. VIOLANTE — Meccanismo di adsorbimento di cadmio su imogolite sintetica	» 359
F. LANZA — Fertilità del terreno e produzioni vegetali in relazione a differenti ordinamenti colturali e interventi agronomici	» 367
F. LANZA — Criteri di valutazione dell'evoluzione del livello di fertilità del terreno agrario in differenti sistemi colturali	» 371
G. CONVERTINI, D. FERRI, M. PERNIOLA — Influenza di sistemi colturali diversi su alcuni parametri della fertilità del suolo in un quinquennio di prove condotte nel Tavoliere Pugliese	» 377
S. FACCO, F. FALESCHINI — Retrogradazione del fosforo nel suolo	» 385
F. FRANZINI, G. PUOSI, M. ZAMBORLINI — Idrolisi dell'urea nel suolo	» 389
G.P. MOLINARI, A.A.M. DEL RE — Degradazione dei pesticidi nel suolo. I - Il fungicida Vinclozolin in presenza di substrati solidi	» 393
G.P. MOLINARI, E. FONTANA, L. RAGOZZA — Degradazione dei pesticidi nel suolo. II - L'erbicida Fluazifop-butyl in soluzione ed in presenza di substrati solidi	» 395

M. PATUMI, C. VISCHETTI, M. BUSINELLI — Azione catalitica dei colloidii del suolo sull'idrolisi del Fluazifop-butyl	pag. 397
M. CITELLI, G. COLOMBARI, F. DUGONI, L. GALASSI, G. MARINI, E. MAZZALI, E. VENERI — Taratura di metodi analitici impiegati per la determinazione del fosforo e del potassio nel terreno: primi risultati	» 399
N. SENESI, G. SPOSITO, T.M. MIANO — Effetti dell'ammendamento con fanghi urbani di depurazione sulle proprietà strutturali, chimiche e chimico-fisiche degli acidi umici del terreno	» 405
A. PATRUNO, L. CAVAZZA — Osservazioni sul calcare attivo	» 411
G. GROSSI, R. RASIO, N. SCALONE, R. ZANONI — Carta pedologica e fertilità dei suoli un esempio nella pianura bresciana	» 417

SESSIONE SECONDA

L. PETRUZZELLI, G. COLAPRICO — Aging in wheat seeds: biochemical changes associated with loss of vigour and viability	» 421
A. HAMDY — Soil phosphorus fractions and their availability to plants	» 423
C. GESSA, S. DEIANA — Un network di polisaccaridi acidi come modello dell'interfaccia mucillaginosa suolo-radice	» 431
M. DOLCI, G. BOUNOUS — Impiego di nuovi spollonanti su <i>Corylus avellana</i> L.	» 433
M. BADIANI, M.G. DE BIASI — Effetti dello stress idrico su alcuni enzimi vegetali coinvolti nel metabolismo dell'ossigeno attivato	» 435
M. GATTI — Influenza di matrici organiche sull'assorbimento del fosforo fertilizzante	» 437
L. CHIANESE, C. D'ACIERNO, M. COLOMBO, B. MARANO — Incidenza dei parametri ambientali sullo sviluppo della bianconatura nel frumento duro: un'analisi elettroforetica	» 439
P. MELIS, V. SOLINAS, I. SOLLAI — L'influenza delle acque reflue di vegetazione delle olive sull'accrescimento di alcune specie vegetali	» 441
Z. VARANINI, R. PINTON, L. MERLO, A. MAGGIONI — Alterazioni della permeabilità del plasmalemma durante l'assorbimento di potassio in radici di <i>Vitis</i>	» 445
A. MAGGIONI, Z. VARANINI, R. PINTON, P. CARRUCCIU, A.M. OLIVIERI — Efficienza dell'assorbimento radicale di potassio e attività ATPasica in <i>Triticum</i> spp. e <i>Aegilops ventricosa</i>	» 449
C. PASSERA, R. GHISI, M. FERRETTI, M. OLIVIERI — Assimilazione del solfato in frumenti a differenti livelli di ploidia	» 451
Z. VARANINI, E. FISCHER, U. LÜTGE — Biochemical mechanisms in nutrient uptake: H ⁺ -ATPase and redox system at the plasmalemma of root cells	» 455
P. ZACCHEO, L. FEDERICO GOLDBERG, P.L. GENEVINI — Effetto degli inibitori della nitrificazione sulla nitrato reductasi del frumento	» 457

P. ZACCHEO, P.L. GENEVINI — Influenza degli acidi umici su produzione e stato nutritivo del pomodoro	pag. 463
C. CIARDI, P. NANNIPIERI, G. TODERI, G. GIORDANI — Bilancio del fertilizzante azotato in una coltura a grano	» 469
E. GALLI, A. GRAPPELLI, A. MASSACCI, U. TOMATI — Determinazione dell'acido indolacetico nella rizosfera di piante di <i>Zea mais</i> a diverso tenore idrico	» 473
AA. VV. — Primi risultati di alcune sperimentazioni, sull'effetto della concimazione potassica e magnesiana per alcune colture, in ambiente nord italiano	» 475
S. RUSSO — Effetto di diverse dosi e forme di potassio e magnesio sulle caratteristiche produttive del riso	» 476
T. MAGGIORE — Effetti di diverse dosi di K ₂ O ed MgO sulla produzione dell'erba medica, soia e mais in Pianura Padana	» 479
A. SCIENZA — Effetti di diverse dosi di K ₂ O ed MgO al terreno e alle foglie sulla produzione viticola, con particolare riguardo alla prevenzione e terapia del disseccamento del rachide	» 485
G. FISICHELLA, M. TROPEA, A. LONGO, A. BELLIGNO — La carenza di manganese in piante di agrumi: I: Aspetti nutrizionali	» 489
M. TROPEA, F. INTRIGLIOLO, G. SAMBUCCO, A. SCUDERI, G. FISICHELLA, G. RACITI — Nutrizione minerale dell'arancio. III: L'influenza di alcune formule di concimazione sulla produzione quali-quantitativa del « Tarocco » nucellare e vecchia linea	» 493
F. BASSO, F. SENATORE, A. DINI — Influenza della concimazione minerale sul contenuto in proteine ed in acidi grassi della granella di alcune popolazioni di cece (<i>Cicer arietinum</i> , L.)	» 497
M. COCUCCI — Assorbimento del potassio in radici di mais	» 505
G. ZOCCHI, S. COCUCCI — Meccanismi implicati nella estrusione di protoni in una pianta ferro efficiente	» 507
S. MORGUTTI, S. COCUCCI — Meccanismi di risposta allo stress osmotico in semi germinanti di <i>Raphanus sativus</i> L.	» 509
A. BOTTACIN, G. CACCO — Risposte alla salinità dell'efficienza di assimilazione della CO ₂ in due genotipi di <i>Pennisetum americanum</i>	» 513
G. CACCO, M. SACCOMANI — Risposte del trasporto ed assimilazione del solfato alla deprivazione di zolfo in plantule di mais	» 517
A. BOTTALICO, R. CAPASSO, A. EVIDENTE, G. RANDAZZO, A. RITIENI, M. VURRO — Sulla produzione di citocalasine da parte di specie di <i>Ascochyta</i> fitopatogene	» 523
G. BARBIERI, A. DURANTI — Valutazione di un modello di produzione potenziale in patata in differenti condizioni di fertilizzazione azotata e di irrigazione	» 527
E. ARDUINO, E. ZANINI, E. BARBERIS — Possibilità di quantificazione dei flussi di elementi nutritivi nella sequenza suolo-pianta: esempio di un agrosistema intensivo	» 531

N. SENESI, G. PADOVANO, G. BRUNETTI — Elementi-traccia nei concimi chimici inorganici: antimonio, berillio, cesio, tallio, vanadio	pag. 541
N. SENESI, E. LOFFREDO, G. PADOVANO — Osservazioni preliminari sugli effetti di sostanze umiche ed erbicidi sulla crescita di <i>Pisum sativum</i> su soluzione nutritiva	» 547
R. IZZO, F. NAVARI-IZZO, M.F. QUARTACCI — Effects of NaCl and PEG on the growth and ion absorption in maize shoots	» 553

TAVOLA ROTONDA

L.F. GOLDBERG — Note introduttive	» 559
F. MANCINI — Utilizzazione della carta pedologica per la definizione delle caratteristiche permanenti dei suoli	» 561
L. CAVAZZA — Considerazioni sulla fertilità fisica del terreno agrario	» 565
P. SEQUI — Fertilità chimica del terreno: aspetti attuali e prospettive	» 571
G. PICCI — Interazioni tra microflora del terreno e fertilità produttiva	» 575
G. FERRARI — La definizione dei rapporti suolo-pianta per il controllo della fertilità	» 579
S. COCUCCI — Fertilità del suolo e nutrizione della pianta: alcune considerazioni dalla parte della pianta	» 581
L. POSTIGLIONE — Aspetti agronomici della fertilità del suolo e della nutrizione delle piante	» 587
L.F. GOLDBERG — Conclusioni	» 599

Finito di stampare il 30-1-1989 nello Stabilimento
Litotipografico DELLA TORRE s.a.s. - PORTICI (NA)