

**STEFANO BONA - TEOFILLO VAMERALI
GIULIANO MOSCA**

**RISPOSTA DEL SISTEMA RADICALE DEL MAIS
(*ZEA MAYS L.*)
ALLA RIDUZIONE DEGLI INPUT**

edagricole 

Estratto dalla Rivista di « AGRONOMIA »

Anno XXIX - supplemento al n. 3 - luglio-settembre 1995 - L. 17.250

Risposta del sistema radicale del mais (*Zea mays* L.) alla riduzione degli input⁽¹⁾

Stefano Bona, Teofilo Vamerali e Giuliano Mosca⁽²⁾

Riassunto

In un'ottica di generale razionalizzazione degli input agricoli sono stati valutati gli effetti della riduzione delle lavorazioni del terreno e della concimazione azotata al mais, con particolare riguardo agli effetti sulla geometria radicale.

Nell'areale veneto, su di un terreno di medio impasto-limoso, è stata accertata la possibilità di ridurre vantaggiosamente la profondità di aratura passando da 50 a 25 cm senza provocare marcati effetti negativi sull'accrescimento e lo sviluppo radicale e sulla resa in granella. La tecnica di semina diretta non è apparsa invece continuamente proponibile per il drastico calo delle produzioni unitarie a causa di un difficoltoso controllo delle malerbe, in particolare le vivaci.

Per verificare la possibilità di diminuire in maniera ragionata anche gli apporti azotati sono stati valutati alcuni nuovi ibridi di mais in stadio giovanile (in serra) e durante il ciclo (in pieno campo). Le nuove costituzioni hanno mostrato, pur con una certa variabilità, di poter differenziare la loro geometria radicale in condizioni di limitato apporto azotato, presentando una diversa modalità di gestione delle risorse nutrizionali rispetto agli ibridi tradizionali. Fin da queste prime esperienze, la scarsa resa in granella è apparso il grosso limite per alcuni ibridi. Tuttavia, la possibilità per alcuni ibridi di raggiungere le risposte produttive del testimone attraverso una migliore allocazione dei nutrienti, lascia intravedere che questa linea di ricerca merita di essere proseguita.

Parole chiave: sistema radicale, *Zea mays* L., riduzione input.

Summary

ROOT SYSTEM DEVELOPMENT IN MAIZE (*ZEA MAYS* L.) AS INFLUENCED BY LOW INPUTS

The effects of reducing tillage inputs and nitrogen fertilisation on root geometry have been evaluated in order to find a key for optimising agricultural inputs.

In the Po valley, on a silty-loamy soil, there is possibility of reducing the plowing depth from 50 to 25 cm without modifying the development and growth of roots and without reducing grain yield. Direct drilling did not appear to be a large scale applicable technique because of the lowering of yield mainly due to weed control.

For reducing nitrogen inputs new hybrids of maize have been tested in greenhouse in early stages and in open field during the whole cycle. These new hybrids showed a great root development and nitrogen uptake capability even with low nitrogen availability. In these first field trials the new hybrids showed a lower yield with respect to the commercial ones even though they have a better distribution of nutrients within the canopy. These results indicates that this research should be continued.

Key words: root system, *Zea mays* L., low input.

Introduzione

La rizosfera è sinteticamente descrivibile in termini di gradiente di concentrazione tra la superficie radicale e il suolo (Darrah, 1993). La concentrazione può essere attribuibile ai nutrienti (minerali), alla biomassa microbica o al carbonio derivato dalla radice.

Lo scambio di segnali tra pianta e pianta e tra pianta coltivata e altri organismi risulta a vario titolo correlato all'accrescimento e allo sviluppo di strutture vegetative e/o riproduttive. È indubitabile quindi che la radice risulti essere una struttura preminente nel determinare questo fitto interscambio di messaggi nell'interfaccia suolo-pianta (v. review di Chapin, 1986).

⁽¹⁾ Comunicazione presentata al XXVIII Convegno annuale della SIA su: «Razionalizzazione degli interventi agronomici ai fini della riduzione dell'impatto ambientale». Viterbo, 12-14 luglio 1994.

Ricerca eseguita con il contributo del CNR, PF RAISA. Sottoprogetto 2. Pubblicazione n. 2154 e CNR «Ricerca coordinata FERTE». Il lavoro è da attribuirsi in parti uguali ai tre Autori.

⁽²⁾ Rispettivamente Ricercatore, Dottorando in ricerca presso il Dottorato in «Agronomia ambientale» e Professore ordinario di «Coltivazioni erbacee speciali» presso il Dipartimento di Agronomia ambientale e Produzioni vegetali, Università di Padova.

Nonostante gli attuali sistemi di indagine permettano di studiare il sistema radicale come un qualsiasi altro organo della pianta, le ancora scarse conoscenze sull'apparato ipogeo possono rallentare l'evoluzione verso un'agricoltura sostenibile, di minore impatto (Pan, 1994; Van Noordwijk e De Willigen, 1991). Sono pertanto necessari nuovi progressi di conoscenza relativi alla geometria e al funzionamento dell'apparato radicale e alle conseguenze derivanti dalle sue eventuali malformazioni. Poter chiarire come avviene la differenziazione dell'apparato radicale significa conoscere meglio il funzionamento della pianta ed il suo comportamento nella rizosfera di fronte ad ostacoli fisici, anomalie chimiche e biologiche. Tutto questo rappresenta una necessità per assicurare una gestione più efficace dei nutrienti e dell'acqua mediante l'applicazione di ragionati interventi agronomici.

Per contribuire alla conoscenza degli effetti della riduzione delle lavorazioni del terreno sulle colture di maggiore diffusione nell'areale veneto (mais, frumento, soia), è stato impostato un esperimento di lunga durata inteso a valutare l'influenza di differenti itinerari agronomici «Low Input» su varie colture in avvicendamento.

D'altro canto per cercare di ridurre gli apporti azotati al mais senza provocare di riflesso una cospicua riduzione di resa di prodotto è stato necessario disporre di nuovi materiali appositamente selezionati per l'adattamento a limitati apporti di azoto.

Alla luce degli obiettivi dell'attuale politica agricola comunitaria (Reg. 2078/92) lo studio svolto intende quindi chiarire alcuni effetti dovuti ad una specifica riduzione degli input al mais.

Materiali e metodi

Presso l'azienda agraria sperimentale dell'Università di Padova (Legnaro 45°21' N e 11°58' E), nell'ambito di un esperimento di lunga durata iniziato nel 1982 su di un terreno a grana media-limoso già caratterizzato in precedenza sotto il profilo chimico-fisico (Mosca *et al.*, 1986; Voltan, 1989), sono state poste a confronto tre modalità di lavorazione del terreno (aratura a 45-50 e 25-30 cm di profondità e semina su terreno non lavorato) e due avvicendamenti colturali (monosuccessione continua di mais e mais-frumento). Dal 1989 il frumento, nell'ambito dell'avvicendamento biennale, è stato sostituito dalla soia.

In particolare nel corso del 1989 e del 1990, sono stati valutati gli effetti delle tre diverse modalità di lavorazione del terreno sulla formazione e distribuzione lungo il profilo degli apparati radicali del mais (cv. «Luana» classe FAO 600; epoca di semina 10/5/89 e 9/5/90). I risultati del 1989 si riferiscono, quindi, agli effetti rilevati sul mais avvicendato col frumento per un poliennio, mentre i rilievi del 1990 riguardano il primo anno di rotazione del cereale con la soia. Lo schema distributivo è stato realizzato a split-plot con 4 ripetizioni (fattore lavorazione nei parcelloni; fattore coltura nelle parcelle). Il protocollo sperimentale non prevedeva l'asportazione dei residui colturali in tutte le tesi a confronto. La prova veniva concimata con 150 kg ha⁻¹ di P₂O₅, 120 di K₂O e 40 di N in presemina e 230 kg ha⁻¹ di N in copertura. Sono stati rilevati i dati produttivi degli ultimi 5 anni (1989-1993) mentre lo svi-

luppo degli apparati radicali è stato misurato per intervalli di profilo del suolo di 10 cm, fino a 100 cm di profondità, con il metodo del carotaggio (Ellias e Barnes, 1971; Rubino, 1984) prelevando sulla fila carote di terreno di 7 cm di diametro. Le osservazioni sono state eseguite in due epoche: alla 3^a-4^a foglia e alla fioritura (4 carote contigue su 2 blocchi) nel 1989, alla 8^a foglia (5 carote su 4 blocchi) e a fioritura-allegagione (5 carote su 2 blocchi) nel 1990. I campioni di terreno sono stati surgelati in attesa di essere analizzati. Il terreno è stato allontanato con lavaggio in acqua previo trattamento con acido ossalico e le radici vive sono state separate colorandole con trypan blu. La lunghezza radicale (Newman, 1966; Tennant, 1975), misurata al COMAIR («root length scanner»), è stata rapportata al volume di terreno campionato per il calcolo dell'RLD (root length density - densità di lunghezza radicale). Oltre alle determinazioni sulle radici, sulla parte aerea sono stati rilevati la superficie fogliare e, alla raccolta, le rese di prodotto.

In una prova di serra nel corso del 1993, sono stati studiati 3 ibridi sperimentali di mais selezionati per il basso input, denominati convenzionalmente HH2, LL11 e LL16, in raffronto ad un testimone commerciale («Marta», classe FAO 600). Il materiale studiato fa parte di un gruppo di 16 nuovi ibridi (classe FAO 5-600) derivati dall'incrocio di 4 linee femminili e 4 maschili selezionate per l'alta (H) e la bassa (L) fertilità del suolo. Gli ibridi sono stati così classificati: HH, LL, HL e LH (la prima lettera indica la linea portaseme e la seconda quella impollinante). I 3 ibridi studiati sono stati individuati secondo il criterio della capacità di assorbimento di alcuni macroelementi (solfato e nitrato) (Saccomani *et al.*, 1993, dati non pubblicati).

Le piante sono state seminate in vasi di plastica contenenti sabbia quarzifera e sabbia di fiume (1:1 p:p) preventivamente sterilizzate, e alimentate con una soluzione nutritiva (Merlo e Voltan, 1989) con due dosi di nitrato: 1 mM e 0,1 mM (KNO₃). La soluzione veniva rinnovata ogni 24 ore e la distribuzione spaziale delle unità sperimentali è avvenuta secondo uno schema distributivo a randomizzazione completa con 8 replicazioni. Le condizioni di serra prevedevano una durata di illuminazione di 14 ore giornaliere, utilizzando lampade a ioduri metallici da 400 Watt (HQI 400 Osram), in grado di realizzare a 140 cm di altezza dal pianale di coltivazione 400 μmol m⁻² s⁻¹ e di raggiungere valori di PAR compresi tra le 450 e 650 μmol m⁻² s⁻¹. Alle piantine sono state garantite temperature minime non inferiori a 12 °C e massime non superiori ai 25 °C. Sulle piante, prelevate dopo 30 giorni dalla semina, allo stadio di 4-5 foglie, sono stati determinati: peso secco delle porzioni aerea e ipogea, contenuto in azoto (Kjeldhal), lunghezza dell'apparato radicale.

In parallelo, in un'altra prova di campo condotta nel corso del 1993, sono stati studiati gli stessi ibridi di mais. La prova è stata condotta su terreno di medio impasto limoso, mediamente dotato di sostanza organica (1,5%), confrontando gli ibridi su 3 livelli decrescenti di azoto: 280, 140 kg ha⁻¹ di azoto e controllo (nessun apporto). La semina è stata eseguita secondo uno schema a blocchi randomizzati, con tre ripetizioni, il 30/04/93 e la dose di azoto (urea) è stata suddivisa in tre apporti: alla semina, alla 4^a-5^a e alla 8^a-9^a foglia.

Il profilo radicale è stato osservato tramite ispezione «*in situ*» con telecamera e videoregistrazione (Bohm, 1979; Gambarin, 1985; Upchurch e Ritchie, 1983) impiegando dei minirizotroni inseriti a 45° di inclinazione parallelamente alla fila, a 5 cm di distanza. I valori di densità radicale (RLD = «Root Length Density») sono stati stimati moltiplicando il numero di radici N conteggiate sulla superficie di un settore del minirizotrone per la lunghezza media di una radice, definita dal rapporto tra l'area di sezione (A) del minirizotrone stesso e il suo diametro (D), moltiplicato per $\sqrt{2}$, per correggere l'effetto inclinazione a 45° del tubo e rapportando al volume V della porzione di minirizotrone:

$$RLD = \frac{N \cdot \frac{A}{D} \cdot \sqrt{2}}{V}$$

Lo sviluppo radicale è stato rilevato alla 7^a-8^a foglia (23/6/93) e alla fioritura (14/7/93). Alla raccolta sono state rilevate le rese areiche, l'indice di raccolta (HI) e l'indice di raccolta dell'azoto (N-HI).

Caratterizzazione dell'ambiente di prova

Il clima della località di prova è caratterizzato da una piovosità media ventennale (1964-1985) di 850 mm, ben distribuita nel corso dell'anno, dei quali 350 mm cadono nel periodo compreso fra maggio e settembre. La profondità di falda oscilla fra - 80 e - 100 cm. Considerando che nel corso del ciclo del mais, l'evapotraspirazione ET_m è di circa 700 mm, si ha un deficit pluviometrico stagionale di 280 mm. La temperatura media dell'aria cresce da un valore minimo di circa 10°C nella prima decade di aprile ad un massimo di 23°C a fine luglio e nella prima decade di agosto. Nel corso del 1989 la piovosità durante il ciclo colturale (prima decade di maggio-prima decade di ottobre) è risultata notevolmente superiore alla media ventennale (+ 72,6%) ma la scarsa piovosità di maggio, ha ritardato l'avvio della coltura. L'andamento della temperatura mensile ha presentato solo lievi scostamenti rispetto alla media ventennale. Nel 1990 la piovosità nel corso del ciclo colturale, pur non discostandosi dalla media ventennale, si è distribuita in maniera più irregolare, con precipitazioni abbondanti, che hanno consentito un buon affrancamento della coltura, nei mesi di maggio e giugno, e più scarse in luglio e agosto. Pur tuttavia, la piovosità dell'ultima decade di luglio (29 mm) e della prima di agosto (57 mm) ha favorito la fioritura e l'allegagione nel mais, senza compromettere l'esito produttivo. La temperatura media mensile del periodo di prova è risultata sempre superiore a quella di riferimento, con scostamenti più sensibili nel mese di maggio (18,6°C vs. 15,3°C), favorendo così una rapida germinazione ed avvio della coltura.

Nel 1993 la temperatura media è risultata leggermente superiore alla media ventennale (mediamente di 2,2°C) per tutto il ciclo del mais e le precipitazioni relativamente scarse specie nel periodo maggio-giugno (- 47 mm e - 23 mm, rispettivamente). Questo anda-

mento climatico ha causato un stato di stress idrico per la coltura per la quasi totalità del ciclo.

Risultati e discussione

Effetti della riduzione delle lavorazioni del terreno e dell'avvicendamento colturale (1° esperimento)

Dai risultati ottenuti nel biennio 1989-1990 si è potuto verificare che la diversa modalità di lavorazione ha indotto il mais a modificare la propria geometria radicale. Le osservazioni eseguite precocemente nel corso del ciclo (3^a-4^a foglia) non hanno consentito di evidenziare differenze tra le modalità di lavorazione. In questa fase le radici erano per la maggior parte concentrate nei primi 20 cm di terreno con valori di RLD simili per le diverse profondità di aratura (a 0,5 cm cm⁻³, in media). In corrispondenza della fioritura, con piante al massimo sviluppo ipogeo (Barber, 1971; Mengel e Barber, 1974), il tipo di lavorazione ha differenziato invece la geometria radicale (fig. 1). L'aratura profonda ha stimolato la formazione di radici tra i 40 e i 60 cm in raffronto all'aratura superficiale e alla semina senza lavorazione.

Specialmente nei terreni argillosi, l'aratura nel migliorare la porosità del suolo, riducendo quindi lo sforzo di penetrazione della radice, induce effetti che si manifestano in forma tanto più evidente quanto più ci si allontana dalla sede della radice primaria, epicentro di formazione dell'intero sistema radicale. Analoghi effetti si osservano quando si sposta l'osservazione dalla pianta verso l'interfila (Govi, 1990). Ulteriore conferma è fornita dal comportamento del sistema radicale del mais in semina diretta, per il quale la massima densità, allo stadio di inizio riempimento, è stata osservata comunque in superficie (tra 0 e 20 cm nel 1989: 2,94 cm cm⁻³; tra 0 e 10 cm nel 1990: 3,19 cm cm⁻³). La repentina diminuzione al di sotto dei 50 cm fa pensare all'esistenza di una suola di lavorazione (fig. 1).

Analogamente a quanto già osservato in frumento (Mosca *et al.*, 1992), è stata riscontrata la presenza di radici in tutti gli orizzonti analizzati, anche nelle parcelle di terreno non lavorato, e l'approfondimento massimo nel caso del mais (90-100 cm) non è stato diverso da quello ottenuto con la tecnica dell'aratura. La presenza di biopori e di canali lasciati liberi dalla decomposizione di vecchie radici, che si vengono normalmente a formare in ambiente poco o per nulla disturbato, operano in tal senso un effetto favorevole (Lo Cascio e Venezia, 1987; Jakobsen e Dexter, 1988).

I valori medi di densità radicale dell'intero profilo sono risultati più elevati nel caso dell'aratura profonda (0,75 cm cm⁻³) rispetto a quella di media profondità (0,61 cm cm⁻³) solo nel 1990, primo anno di coltivazione del mais in successione a soia.

Il dimezzamento della profondità di aratura non ha causato particolari variazioni produttive nel corso del quinquennio 1989-1993 (fig. 2), indicando che nel mais ad un maggiore sviluppo radicale non sempre corrisponde una elevata resa in granella. La semina diretta, invece, ha comportato una consistente riduzione delle rese (- 27%, in media) rispetto all'aratura, per la difficoltosa gestione del controllo delle malerbe e la

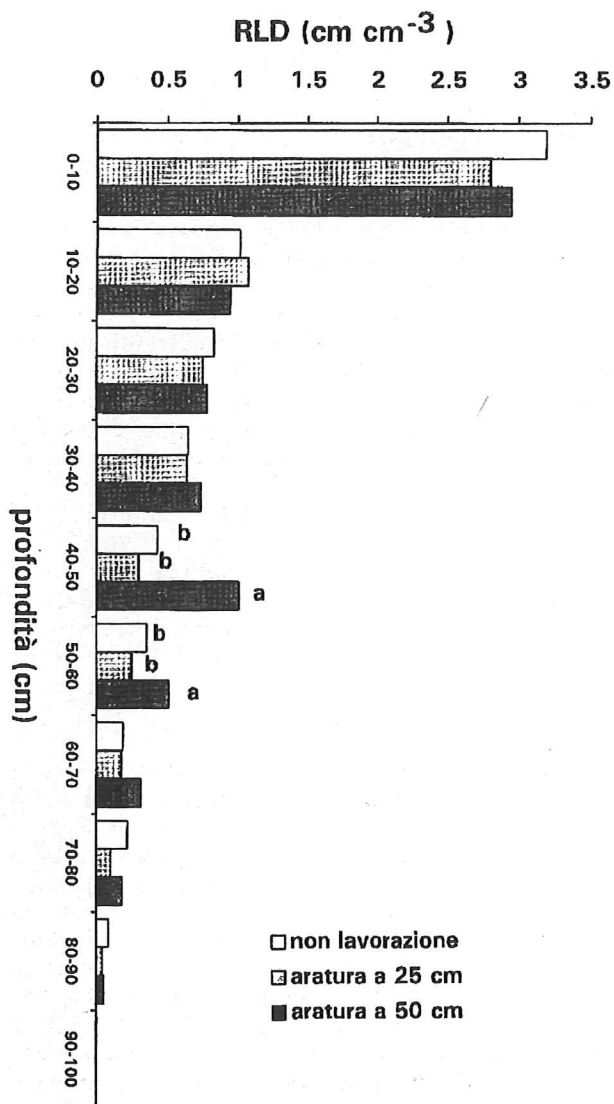


Fig. 1 - Esperimento 1 - Densità di lunghezza radicale (metodo del carotaggio) in mais allo stadio di inizio riempimento della granella (2/8/90) in tre diverse modalità di lavorazione del terreno (non lavorazione, aratura a 25 e 50 cm). Tukey's test, significatività al $P \leq 0,05$. Vengono riportate solo le differenze significative.

Fig. 1 - Experiment 1 - Root length density (soil cores method) in maize at the beginning of grain filling (2/8/90) in three different soil tillage methods (no-tillage, 25 and 50 cm depth plowing). Tukey's test, significance at $P \leq 0.05$. Only significant differences are showed.

conseguente marcata riduzione dello sviluppo aereo delle piante, valutato in termini di espansione dell'apparato fogliare (tab. 1). Nessuna variazione nei suddetti parametri è invece da attribuire alla diversa profondità di aratura.

Quanto osservato suggerisce pertanto l'opportunità di ridurre in forma ragionata l'input di lavorazione poiché negli ambienti con caratteristiche pedologiche simili a quello di prova la semina diretta non è da prendere in considerazione, mentre esistono concreti vantaggi per l'aratura a media profondità.

Nel mais avvicendato col frumento o con la soia è stata osservata una maggiore presenza di radici negli orizzonti compresi tra 30 e 60 cm rispetto alla omosuc-

cessione, per la quale è stata rilevata invece una maggiore concentrazione negli orizzonti superficiali tra 0 e 30 cm (fig. 3). La diversa quantità e qualità dei residui colturali, lasciati nel terreno dai due avvicendamenti, le differenti disponibilità di azoto lasciate dal precedente colturale (Oyer e Touchton, 1990; Varvel e Peterson, 1990 a), le modificazioni di natura biologica e fisica indotte nel terreno dal tipo di avvicendamento seguito (Fahad *et al.*, 1982; Hussain *et al.*, 1988) giocano un ruolo importante nel differenziare l'abitabilità del suolo per le radici del mais. Tuttavia, come riportato da alcuni Autori (Varvel e Peterson, 1990 b), la semplice interruzione dell'omosuccessione di mais, indipendentemente dalla coltura che segue, svolge un ruolo positivo sulle caratteristiche fisico-chimico-biologiche del suolo ed attenua quei fenomeni allelopatici (Roder *et al.*, 1989) e di stanchezza che derivano da una prolungata presenza nel tempo di una stessa coltura sullo stesso terreno, favorendo una distribuzione radicale più omogenea nel profilo ed un più ampio popolamento di radici negli orizzonti profondi.

Solo nel 1989 il mais avvicendato (al frumento) ha subito una sensibile riduzione di produzione nei confronti della omosuccessione; nel corso del successivo quadriennio 1990-1993 nessuna differenza significativa è stata rilevata tra le rese areiche del cereale nei due tipi di successione sperimentate. Va tuttavia rilevata, in tale periodo, una maggiore resa media di circa il 6% nella rotazione mais-soia, come risultato di un bilancio azotato più favorevole al cereale (Mosca *et al.*, 1990).

Analogamente alle rese, nessuna differenza è stata riscontrata nei parametri di superficie fogliare e peso secco delle piante in fioritura tra i due avvicendamenti colturali.

Sulla base delle osservazioni eseguite (1989) risulta ancora una volta evidente la probabile assenza di correlazione tra sviluppo radicale e risposta produttiva.

Effetti della riduzione della dose di azoto (2° e 3° esperimento)

Nella esperienza realizzata in serra (2° esperimento) non sono stati riscontrati effetti significativi dell'azoto né dell'interazione «dosi di azoto × ibridi». Pertanto vengono riportati nella tabella 2 i valori medi relativi agli ibridi. A trenta giorni dalla semina il peso secco per pianta degli ibridi selezionati per l'efficienza d'uso dell'azoto è risultato maggiore di quello delle piante dell'ibrido testimone, mediamente dell'11%. L'incremento nello sviluppo dell'apparato radicale ha consentito un più elevato accumulo di azoto nella pianta, fornendo ai genotipi selezionati un sicuro vantaggio ponderale nei confronti dell'ibrido commerciale di riferimento.

Analogamente a quanto osservato nella prova in serra, anche nell'esperimento in pieno campo, allo stadio di 7^a-8^a foglia, sono state riscontrate differenze nello sviluppo radicale fra gli ibridi a confronto (tab. 3). Nello strato di terreno tra 0 e 60 cm, infatti, gli ibridi HH2 e LL11 hanno sviluppato una più elevata quantità di radici rispetto a LL16. Per quanto riguarda gli effetti delle dosi di azoto, nella tesi non concimata è stata osservata una densità radicale

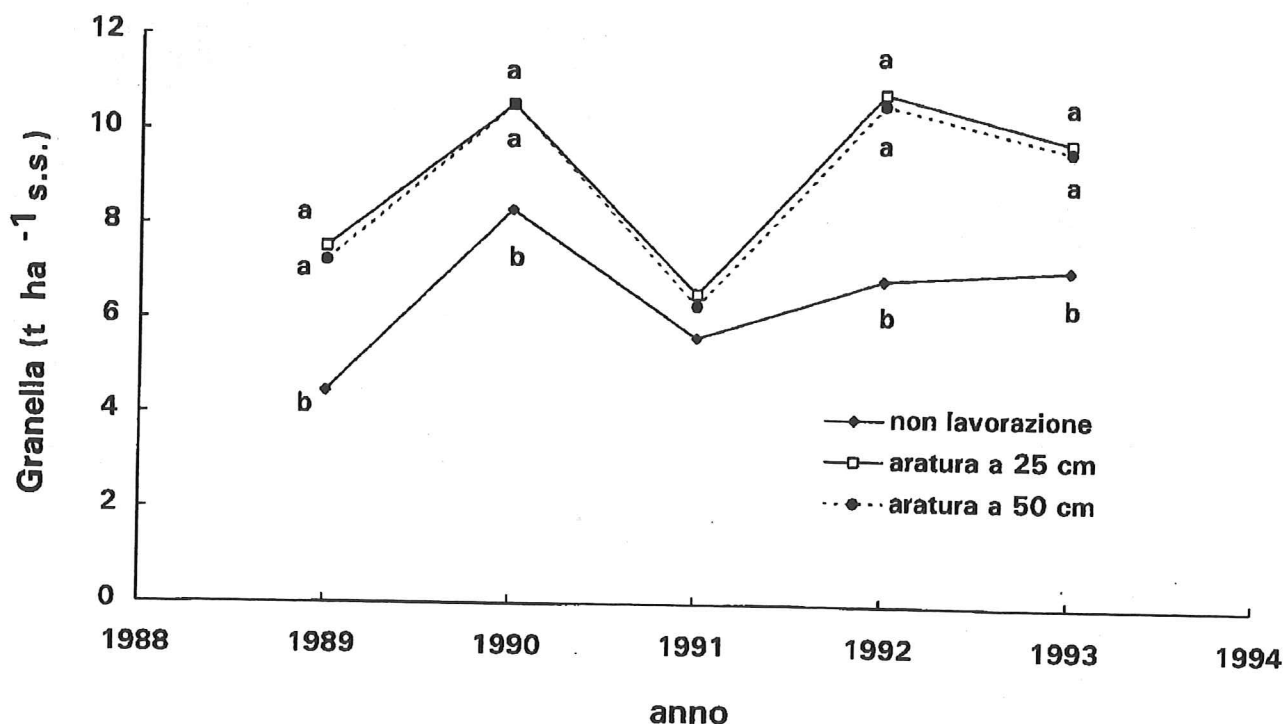


Fig. 2 - Esperimento 1 - Produzioni di granello di mais (sostanza secca) nel quinquennio 1989-1993 in funzione di tre diverse modalità di lavorazione del terreno (non lavorazione, aratura a 25 e 50 cm). Tukey's test, significatività al $P \leq 0,05$. Vengono riportate solo le differenze significative.

Fig. 2 - Experiment 1 - Maize grain yields in the five years 1989-1993 as affected by three different soil tillage methods (no-tillage, 25 and 50 cm depth plowing). Tukey's test, significance at $P \leq 0,05$. Only significant differences are showed.

TABELLA 1 - Esperimento 1 - Variazioni della superficie fogliare media della pianta di mais (cm^2) nelle due epoche di carotaggio del 1989 e 1990 in relazione alla lavorazione del suolo. Valori medi delle due successioni colturali (mais continuo e avvicendato).

TABLE 1 - Experiment 1 - Maize leaf area (cm^2 per plant) in correspondence of the two soil coring dates in 1989 and 1990 as affected by soil tillage systems (no-tillage, 25 and 50 cm depth plowing). Mean values for the two crop rotations. LSD test, significance at $P \leq 0,05$.

Anno	1989		1990	
	Stadio		Stadio	
	3-4 foglie	Fioritura	8 foglie	Fioritura-allegazione
Non lavorazione	136,4 b	4493 b	448,4 b	4346 b
Aratura a 25 cm	236,5 a	7102 a	902,2 a	6960 a
Aratura a 50 cm	170,9 b	7543 a	798,2 ab	7036 a
Media	181,3	6379	716,2	6115

MDS, significatività al $P \leq 0,05$.

significativamente superiore rispetto alle tesi concimate, tra loro non differenziate.

Successivamente, allo stadio di fioritura, le differenze in termini di RLD tra gli ibridi si sono confermate, e sono emerse differenze significative anche tra le medie relative alle dosi di azoto (tab. 3). In particolare le densità radicali più elevate sono state riscontrate con la distribuzione di 140 kg ha^{-1} di elemento mentre con la massima dose di azoto impiegata le radici hanno avuto uno sviluppo ridotto e superficiale. L'assenza di apporti di azoto, pur imponendo alle piante di esplorare un vo-

lume maggiore di terreno alla ricerca di composti azotati per il proprio nutrimento, non ha consentito alle mesemie di espandere l'apparato radicale in misura ottimale, in quanto, come osservato da Lambers (1983), il ridotto sviluppo della parte aerea impedisce l'invio di quantità considerevoli di assimilati verso le strutture ipogee.

Considerando i modelli di espansione radicale dei due tipi di ibridi in esame, quello relativo a HH2 e LL11 e quello di LL16, lungo tutto il profilo del terreno (fig. 4), la distribuzione in profondità è risultata estrema-

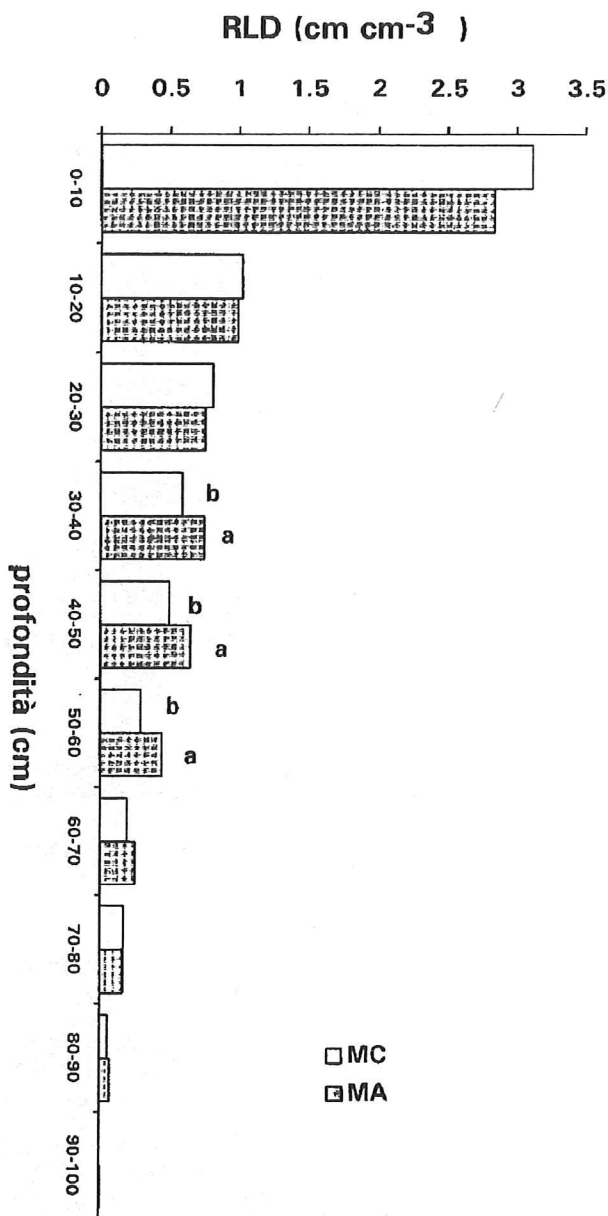


Fig. 3 - Esperimento 1 - Densità di lunghezza radicale (metodo del carotaggio) in mais allo stadio di inizio riempimento della granella in due diversi avvicendamenti culturali (MC = mais continuo, MA = mais avvicendato). Tukey's test, significatività al $P \leq 0,05$. Vengono riportate solo le differenze significative.

Fig. 3 - Experiment 1 - Root length density (soil cores method) in maize at the beginning grain filling period as affected by two different crop rotations (MC = continuous maize, MA = rotated maize). Tukey's test, significance at $P \leq 0,05$. Only significant differences are showed.

mente differenziata. L'ibrido HH2 (e analogamente LL11) ha espanso l'apparato radicale più omogeneamente, alle dosi più basse di azoto, andando a colonizzare con una adeguata densità radicale anche gli orizzonti più profondi. Lo stesso ibrido ha modulato il grado di espansione delle radici in funzione della quantità di azoto a disposizione nel terreno e dello sviluppo della parte aerea della pianta. In particolare, in assenza di apporti di azoto la pianta espande il proprio apparato radicale fino a 80-90 cm con una

RLD superiore a $0,5 \text{ cm cm}^{-3}$, valore critico per il completo assorbimento dell'azoto (Passioura, 1980), e senza mai superare 1 cm cm^{-3} . Adottando questa strategia di colonizzazione della rizosfera, la pianta attua una sorta di risparmio funzionale degli assimilati e ottimizza la loro ripartizione fra porzione ipogea ed epigea. Questa distribuzione non differisce in termini di morfofunzionalità dell'apparato radicale, da quella rilevata per la dose 140 kg ha^{-1} alla stessa fase di fioritura. Infatti in tutti gli orizzonti del terreno, tranne lo strato 90-100 cm di profondità, la RLD si mantiene superiore a $0,5 \text{ cm cm}^{-3}$, valore sufficiente a garantire un adeguato rifornimento di composti azotati alla pianta. Dalla comparazione tra i valori medi degli ibridi emerge una corrispondenza diretta tra la quantità di radici sviluppata in stadio precoce e alla fioritura (tab. 3). È ipotizzabile ritenere che durante tutto il ciclo questi ibridi possano virtualmente dimostrare una più elevata capacità di assorbimento degli elementi nutritivi per effetto di una maggior presenza di radici in tutti gli orizzonti, potendo quindi reagire positivamente in termini produttivi. In realtà, l'ibrido sperimentale più produttivo risulta essere LL16 (tab. 4), anche se non sembra in grado di adattare lo sviluppo dell'apparato ipogeo alla diversa disponibilità di nutrienti. Infatti, presenta per tutti i livelli di fertilizzazione un unico modello di distribuzione radicale lungo il profilo (fig. 4). Questa apparente difficoltosa adattabilità del genotipo alle variazioni di disponibilità nutrizionale dovrebbe tradursi in una maggiore sensibilità alle variazioni di input. Tuttavia, in pieno campo, questa strategia non penalizza eccessivamente il livello produttivo di LL16, che in assenza di azoto è risultato del tutto comparabile a quello del testimone (tab. 4) a causa di una maggiore efficienza di rilocalizzazione verso la granella (dati non pubblicati) rispetto agli altri ibridi. Le produzioni degli ibridi HH2 e LL11, risultate in media relativamente modeste, si dimostrano essere un vero limite per queste nuove costituzioni. È verosimile infatti che la selezione per il basso input abbia comportato una parallela riduzione dell'indice di raccolta.

Se si considera, in generale, la risposta produttiva al variare dell'input di concimazione, si nota che il livello di azoto nel terreno è di per sé stato sufficiente ad assicurare un discreto livello di resa anche senza apporti supplementari, mentre il mancato incremento produttivo passando da 140 a 280 kg ha^{-1} deriva probabilmente dal fatto che questo tipo di mais già con la dose intermedia aveva a disposizione quantità sufficienti di azoto per esprimere il suo massimo potenziale produttivo.

Conclusioni

I fattori che influenzano lo sviluppo e la funzionalità degli apparati radicali sono molteplici. La struttura e la porosità del terreno appaiono fattori preminenti nel favorire od ostacolare l'accrescimento radicale (Hambling e Tennant, 1981; Maillard e Vez, 1982; Pagliai *et al.*, 1983) determinando una diversa resistenza alla penetrazione. La modalità di lavorazione, quindi, agendo sulle proprietà del suolo, può modificare l'abitabilità offerta alle radici. Infatti, nella media dei trattamenti di lavorazione del terreno, si riscontra una sostanziale

TABELLA 2 - Esperimento 2 - Peso secco, rapporto fra lunghezza radicale e peso della pianta, e contenuto di azoto nella pianta (percentuale) di mais dopo 30 giorni di allevamento in soluzione nutritiva.

TABLE 2 - Experiment 2 - Plant dry weight, «root length/plant dry weight» ratio, and nitrogen concentration in the plant after 30 days in nutritive solution. LSD test, significance at $P \leq 0.05$

Ibrido	Peso secco della pianta (g)	Rapporto fra lunghezza radicale e peso della pianta ($m g^{-1}$)	Azoto della pianta (%)
HH2	1,35 a	72,37 b	1,30 b
LL11	1,29 a	101,34 a	1,36 a
LL16	1,32 a	68,05 b	1,30 b
Testimone	1,19 b	62,64 c	1,26 c

MDS, significatività al $P \leq 0,05$.

TABELLA 3 - Esperimento 3 - Valori di RLD osservati allo stadio di 7-8 foglie (media del profilo del suolo 0-60 cm) e alla fioritura (media del profilo del suolo 0-100 cm).

TABLE 3 - Experiment 3 - RLD values at the stages of 7-8 leaves (average from 0 to 60 cm depth) and flowering (average from 0 to 100 cm depth). LSD test, significance at $P \leq 0,05$

Stadio	Ibrido	Dose di azoto ($kg ha^{-1}$)			
		280	140	0	Media
7-8 ^a foglia	HH2	0,24	0,47	0,58	0,43 a
	LL11	0,34	0,29	0,61	0,41 a
	LL16	0,26	0,29	0,38	0,31 b
	Media	0,28 b	0,35 b	0,52 a	
Fioritura	HH2	0,449 c-e	0,884 a	0,563 b-d	0,632 a
	LL11	0,479 c-e	0,669 b	0,582 bc	0,577 a
	LL16	0,413 e	0,376 e	0,429 de	0,406 b
	Media	0,447 c	0,643 a	0,525 b	

MDS, significatività al $P \leq 0,05$.

omogeneità tra la geometria radicale del mais preceduto sia da soia che da frumento. Per quanto concerne la ripartizione del sistema radicale, il precedente soia non induce alcun sostanziale vantaggio per il susseguente mais. Resta confermato tuttavia che il mais coltivato in omosuccessione (oltre 10 anni) risulta più vulnerabile nei riguardi di eventuali stati di stress (idrico) in ragione della sua più squilibrata ripartizione radicale lungo il profilo, determinata da un'elevata concentrazione di radici negli orizzonti superficiali accompagnata da una rarefazione delle stesse in quelli più profondi, analogamente a quanto già osservato da Stecker *et al.* (1993). È presumibile quindi che ad una minore presenza di radici negli strati posti oltre i 60 cm di profondità si sovrapponga un effetto di ritardo nella penetrazione e quindi nella utilizzazione della riserva idrica e parzialmente anche dei nutrienti.

Dato che la biomassa formata è in relazione alla quantità di azoto accumulato (Ingestad, 1979; Mattsson *et al.*, 1991) e che le plantule di mais capaci di sviluppare rapidamente un capillizio radicale possono assorbire più facilmente i macronutrienti, in particolare l'azoto (Pan *et al.* 1985), risulta chiaro il vantaggio

potenziale delle nuove costituzioni ibride. Numerosi studi hanno evidenziato che alcune linee di mais si caratterizzano per la loro diversa capacità di sviluppare radici durante le fasi del ciclo (Cutforth *et al.*, 1986; Teyker e Hobbs, 1992; Teyker, 1992). Anche se l'ereditabilità dei caratteri legati alla morfo-fisiologia degli apparati radicali non è, in molte specie, particolarmente elevata (O'Toole e Bland, 1987) risulta di un certo interesse aver evidenziato la possibilità di ottenere del materiale genetico con morfologia radicale differenziata, in grado di valorizzare anche ridotti apporti di azoto.

Il considerare separatamente ciascun fattore della produzione, indipendentemente dal complesso dei fenomeni fisico-chimico-biologici che definiscono l'ambiente agrario, non consente di comprendere il ruolo che il singolo fattore esercita sulla coltura. In accordo con Dambrot e El Bassam (1983), quando si parla di riduzione di input è necessario considerare un «approccio globale» e definire quindi il corretto livello di un insieme di fattori agronomici da poter ridurre contemporaneamente. Per questo motivo si ritiene di particolare rilevanza proseguire il lavoro iniziato considerando

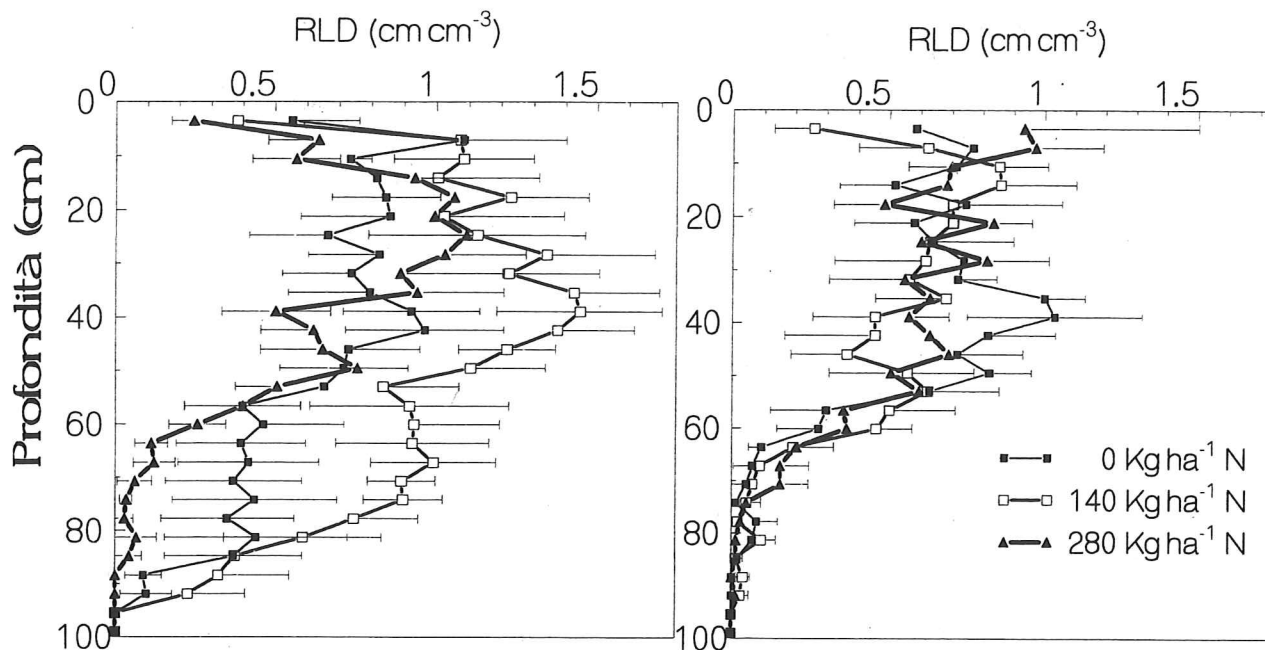


Fig. 4 - Esperimento 3 - Densità radicale osservata alla fioritura per gli ibridi HH2 (sinistra) e LL16 (destra) concimati con dosi decrescenti di azoto (le barre orizzontali rappresentano l'errore standard).

Fig. 4 - Experiment 3 - Root length density at flowering for HH2 (left) and LL16 (right) hybrids fertilised with decreasing N levels. The bars represent standard error.

TABELLA 4 - Esperimento 3 - Resa areica in granella ($t\ ha^{-1}$).

TABLE 4 - Experiment 3 - Grain yield ($t\ ha^{-1}$). LSD test, significance at $P \leq 0,05$

Ibrido	Dose di azoto ($kg\ ha^{-1}$)			
	280	140	0	Media
HH2	7,69	7,93	6,68	7,45 c
LL11	7,40	7,17	6,99	7,18 c
LL16	7,67	9,61	8,45	8,58 b
Testimone	10,12	11,34	8,60	10,02 a
Media	8,19 ab	9,01 a	7,68 b	

MDS, significatività al $P \leq 0,05$.

la riduzione dell'input come un complesso di soluzioni tecniche a più basso livello di intensificazione, agendo sia sull'avvicendamento colturale sia sugli input agronomici «sensu lato».

Bibliografia

BARBER, S.A., 1971. *Effect of tillage practice on corn (Zea mais L.). Root distribution and morphology.* Agron. J., 63, 724-726.

BÖHM, W., 1979. *Methods of studying root system.* In «Ecological studies», vol. 33, 188. Springer Verlag (Berlin), Heidelberg, NY.

CHAPIN, F.S. III, 1986. *Ecological aspects in plant mineral nutrition.* In «Advances in plant nutrition», vol. 3, 161-191.

CUTFORTH, H.W., SHAYKEWICH, C.F. e CHO, C.M., 1986. *Effect of soil water and temperature on corn (Zea mais L.) root growth during emergence.* Canadian J. of Soil Sci., 66, 51-58.

DAMBROTH, M., e EL BASSAM, N., 1983. *Low input-varieties: definition, ecological requirements and selection.* Plant and Soil, 72, 365-377.

DARRAH, P.R., 1993. *The rhizosphere and plant nutrition: a quantitative approach.* Plant and Soil, 155-156, 1-20.

ELLIAS, F.P. e BARNES, B.T., 1971. *A mechanical method for obtaining soil cores.* Plant and Soil, 35, 209-212.

FAHAD, A.A., MIELKE, L.N., FLOWERDAY, A.D. e SWARTZENDRUBER, D., 1982. *Soil physical properties as affected by soybean and other cropping sequences.* Soil Sci., 46, 377-381.

GAMBARIN, L., 1985. *L'ispezione radicale in situ con telecamera.* Riv. di Agron., 1, 71-73.

HAMBLING, A.D. e TENNANT, D., 1981. *The influence of tillage on soil water behaviour.* Soil Sci., 132, 233-239.

GOVI, G., 1990. *Ricerca sull'apparato radicale del mais: confronto tra due metodi di indagine.* II Conferenza nazionale sul mais - Ricerca, Economia, Ambiente -, Grado, 19-21 settembre 1990, 323-331.

HUSSAIN, S.K., MIELKE, L.N. and SKOPP, G., 1988. *Detachment of soil as affected by fertility management and crop rotations.* Soil Sci., 52, 1463-1468.

INGESTAD, T., 1979. *Nitrogen stress in birch seedlings. I. Growth technique and growth.* Physiologia Plantarum, 45, 137-148.

JAKOBSEN, B.F. e DEXTER, A.R., 1988. *Influence of biopores on root growth, water uptake and grain yield of wheat (Triticum aestivum) based on predictions from computer model.* Biol. Fertil. Soils, 6, 315-321.

LAMBERS, H., 1983. *The functional equilibrium, nibbling on the edges of a paradigm.* Neth. J. Agric. Sci., 31, 305-311.

LO CASCIO, B. e VENEZIA, G., 1987. *Effetti della riduzione delle*

- lavorazioni sull'abitabilità del terreno argilloso in ambiente mediterraneo. Riv. di Agron., 2-3, 166-171.
- MAILLARD, A. e VEZ, A., 1982. Influence of different soil tillage implements on yield and some chemical and physical soil properties in a long term experiment. Atti nona Conf. ISTRO, 1982, Oosijek, 484-489.
- MATTSSON, M., JOHANSON, E., LUNDBORD, T., LARSSON, M. e LARSSON, C.M., 1991. Nitrogen nutrition in N-limited barley during vegetative and generative growth. Growth and nitrate uptake kinetics in vegetative culture grown at different relative addition rates of nitrate-N. J. of Expt. Bot., 42, 197-205.
- MENGEL, D.B. e BARBER, S.A., 1974. Development and distribution of the corn root system under field conditions. Agron. J., 66, 341-344.
- MERLO, D. e VOLTAN, R., 1989. Influenza del nitrato ammonico e dell'intensità luminosa sull'attività nitrogenasica di due varietà di soia a diverso tipo di accrescimento. Agr. Med., 119, 1-6.
- MOSCA, G., ZILLOTTO, U., GAMBARIN, L. e TONIOLO, L., 1986. Effetti della profondità di aratura sulla coltura del grano tenero in successione a mais. Riv. di Agron., 20, 265-276.
- MOSCA, G., CECCON, P., BONA, S. e DANUSO, F., 1990. Bilan azoté du soya et environnement: L'expérience italienne. Eurosoja, Colloque CETIOM, Strasbourg 5-6 Sept. 1990.
- MOSCA, G., GOVI, G., ARCHETTI, R., BONCIARELLI, F., MAZZONCINI, M., RUBINO, P., RUGGERO, C. e VENEZIA, G., 1992. Effetti della lavorazione del terreno sullo sviluppo degli apparati radicali di frumento (*Triticum aestivum* L e *Triticum durum* Desf.). Riv. di Agron., 26, 223-231.
- NEWMAN, E.I., 1966. A method for estimating the total length of roots in a sample. J. Appl. Ecol., 3, 139-145.
- O'TOOLE, J.C. e BLAND, W.L., 1987. Genotypic variation in crop plant root systems. Advances in Agronomy, 41, 91-145.
- OYER, L.J. e TOUCHTON, J.T., 1990. Utilizing legume cropping systems to reduce nitrogen fertilizer requirements for conservation-tilled corn. Agron. J., 82, 1123-1127.
- PAGLIAI, M., LA MARCA, M. e LUCAMONTE, G., 1983. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. Soil Sci., 34, 391-403.
- PAN, J., 1994. Comparative effectiveness of discharge and input control for reducing nitrate pollution. Environmental Management, 18, 1, 33-42.
- PAN, W.L., JACKSON, W.A. e MOLL, R.H., 1985. Nitrate uptake and partitioning by corn (*Zea mays*) root systems and associated morphological differences among genotypes and stages of root development. J. Expt. Bot., 36, 1341-1351.
- PASSIOURA, J.B., 1980. The transport of water from soil to shoot in wheat seedlings. J. Expt. Bot., 31, 335-345.
- RODER, W., MASON, S.C., CLEGG, M.D. e KNEIP, K.R., 1989. Crop root distribution as influenced by grain sorghum-soybean rotation and fertilization. Soil Sci., 53, 1464-1470.
- RUBINO, P., 1984. Stima degli apparati radicali: descrizione di alcuni metodi. Riv. di Agron., 2, 139-146.
- STECKER, J.A., BUCHHOLZ, D.D., HANSON, R.G., WOLLENHAUPT, N.C. e MCVAY, K.A., 1993. Broadcast nitrogen sources for no-till continuous corn and corn following soybean. Agron. J., 85, 893-897.
- TENNANT, D., 1975. A test modified line intersect method of estimating root length. J. Ecol., 63, 995-1001.
- TEYKER, R.H., 1992. Seedling responses to band applied NH_4OH rates and to N form in two maize hybrids. Plant and Soil, 144, 289-295.
- TEYKER, R.H. e HOBBS, D.C., 1992. Growth and root morphology of corn as influenced by nitrogen form. Agron. J., 84, 694-700.
- UPCHURCH, D.R. e RITCHIE, J.T., 1983. Root observations using a video recording system in minirhizotrons. Agron. J., 75, 1009-1015.
- VAN NOORDWIJK, M. e DE WILLIGEN, P., 1991. Root functioning in agricultural systems. In Michael, B.L. e Person, H (eds.): Plant roots and their environment, 381-395.
- VARVEL, G.E. e PETERSON, T.A., 1990 a. Nitrogen fertilizer recovery by corn in monoculture and rotation systems. Agron. J., 82, 935-938.
- VARVEL, G.E. e PETERSON, T.A., 1990 b. Residual soil nitrogen as effected by continuous, two year and four-year crop rotation systems. Agron. J., 82, 958-962.
- VOLTAN, R., 1989. Variazioni di alcune caratteristiche chimico-fisiche in un terreno di grana media-sabbiosa diversamente lavorato. Riv. di Agron., 23, 2, 150-155.