

# Effetti di liquamazione, interramento degli stocchi e concimazione minerale su suolo e produzione di una monosuccessione di mais (1977-1996)

Umberto Ziliotto, Michele Scotton

## Riassunto

Durante il ventennio 1977-1996 è stata condotta a Legnaro (PD, Italia, 6 m s.l.m.) in cassoni di vegetazione una prova volta a studiare gli effetti sul suolo e sulla produzione di una monosuccessione di mais sottoposta ad otto diversi trattamenti ottenuti dalla combinazione fattoriale di due modalità di utilizzo degli stocchi (stocchi asportati o interrati) e di quattro modalità di concimazione (nessuna concimazione, liquamazione, concimazione minerale e combinazione di queste ultime due). Con la liquamazione e la concimazione minerale venivano distribuite annualmente 120 kg ha<sup>-1</sup> di N, 120 kg ha<sup>-1</sup> di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 150 kg ha<sup>-1</sup> di K<sub>2</sub>O. Relativamente al terreno sono stati studiati il contenuto in s.o., azoto totale, fosforo totale e assimilabile e potassio scambiabile, il pH, il rapporto carbonio/azoto e la stabilità della struttura. Della coltura sono stati rilevati la produzione e il tenore proteico di granella e di stocchi nonché varie caratteristiche vegetative ed alcune componenti della produzione.

Le analisi compiute indicano che rispetto al testimone la liquamazione ha aumentato il contenuto in s.o. e in azoto totale nonché la stabilità della struttura più della concimazione minerale e che tali incrementi sono avvenuti secondo un andamento di tipo logaritmico. Per contro la produzione di granella delle tesi liquamate è risultata mediamente inferiore del 17% a quella delle tesi con concimazione minerale. Tuttavia, in conseguenza probabilmente del progressivo incremento del contenuto di azoto totale nel suolo delle tesi con liquamazione rispetto a quelle con concimazione minerale, tale divario produttivo si è progressivamente ridotto fino quasi ad annullarsi alla fine del ventennio. Rispetto alla liquamazione l'interramento degli stocchi ha determinato un analogo incremento del contenuto in s.o. nel suolo ma un incremento molto inferiore di quello in azoto totale. In media tale trattamento di sovescio non ha influito sulla produzione anche se si è verificato un certo incremento nel tempo delle rese rispetto al testimone con asporto dei residui colturali. Infine, sulla base dei bilanci degli elementi nutritivi è risultato che il rilascio medio annuo di azoto è superiore di circa 10 kg nelle tesi con liquamazione rispetto a quelle con concimazione minerale e di circa 20 kg nelle tesi con interramento stocchi rispetto a quelle con asporto dei residui colturali.

*Parole chiave:* liquame, interramento stocchi, concimazione minerale, caratteristiche del suolo, *Zea mays* L.

## Summary

### EFFECTS OF LIQUID MANURING, STRAW RETURN AND MINERAL FERTILISATION ON SOIL AND PRODUCTION OF CONTINUOUS MAIZE (1977-1996)

The results of soil and yield analyses of a continuous maize trial carried out in Legnaro (PD, Italy) in the period '77-'96 are here reported. The treatments were obtained with a factorial combination of two straw utilisation (removed or returned) and four fertilisation modalities (none, liquid manure, mineral fertilisation and the last two ones combined). N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O content of manuring and mineral fertilisation were respectively 120, 120 e 150 kg ha<sup>-1</sup>.

Compared to the control grain and straw yield increase obtained with liquid manuring was respectively 17 and 11% less than mineral fertilisation. However, yields of liquid manuring were progressively nearer to the mineral fertilising ones, probably due to the observed greater accumulation of nitrogen in the soil, which, in any case, was not enough to prevent

---

Lavoro eseguito anche con un contributo del CNR nell'ambito del Progetto Finalizzato «Meccanizzazione agricola».

Il Prof. Ziliotto ha impostato e diretto la ricerca, il dott. Scotton ha elaborato i dati e scritto il testo. La conduzione della prova è da attribuire in parti uguali ai due Autori che fanno parte del Dipartimento di Agronomia ambientale e Produzioni vegetali dell'Università degli Studi di Padova.

*Data di presentazione:* 8.10.97.

also greater nitrogen losses. Straw return didn't affect the production, even if, at least in the not fertilised treatment, a gradual increase of yields compared to the control was observed, probably due, also in this case, to a certain increase of the soil nitrogen content. However, on the whole, also straw return caused greater nitrogen losses.

**Key words:** liquid manure, straw return, mineral fertilisation, soil characteristics, *Zea mays* L.

## Introduzione

Negli anni '70 la coltivazione del mais si stava fortemente diffondendo nella pianura padano-veneta. Al riguardo, per il Veneto vengono indicati per gli anni 1970, 1974-1977 (media), 1982 e 1991 i seguenti valori percentuali delle superfici coltivate a mais rispetto al totale dei seminativi: 28, 43, 53 e 34 (primo, terzo e quarto valore: ISTAT, 1970, 1982, 1991; secondo valore, Giardini, 1981). In conseguenza di una sua così ampia diffusione e in assenza di alternative altrettanto valide dal punto di vista economico come ora può essere la soia, il mais veniva allora coltivato frequentemente in monosuccessione. Nel caso di coltivazione indirizzata alla produzione di granella le grandi quantità di stocchi così ottenute potevano avere due destinazioni: utilizzazione come alimento zootecnico con parziale ritorno al suolo degli elementi nutritivi in essi contenuti sotto forma di liquame oppure interrimento. La prova qui considerata fu ideata e realizzata con l'obiettivo di saggiare gli effetti su suolo e produzione di queste diverse utilizzazioni degli stocchi nel caso in cui la monosuccessione fosse protratta per un lungo periodo e di confrontare tali effetti con quelli derivanti dall'uso dei concimi minerali.

## Materiali e metodi

La sperimentazione si è svolta presso l'Azienda Agraria Sperimentale dell'Università di Padova posta a Legnaro (PD, 6 m s.l.m.), località il cui clima (Fig. 1) è caratterizzato da piovosità media annua di circa 850 mm distribuita secondo il regime pluviometrico tipico

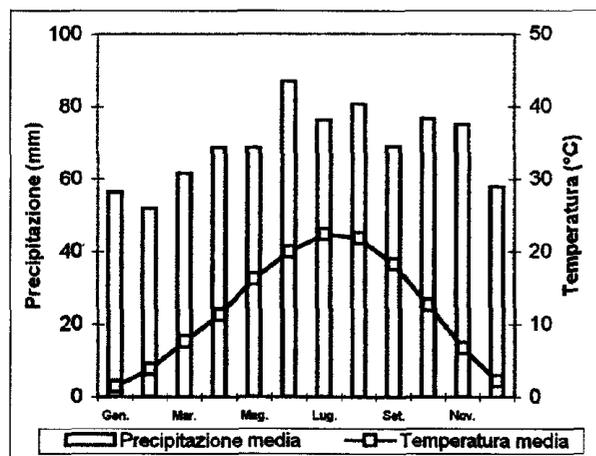


Fig. 1 - Andamento termopluviometrico medio (30 anni) della stazione di Legnaro.

Fig. 1 - Temperature and rainfall in Legnaro: thirty years mean.

della pianura veneta interna (Mennella, 1972) in cui le precipitazioni mensili sono relativamente elevate nel periodo da aprile a novembre e ridotte in inverno con minimo nel mese di febbraio. La temperatura media annua, quella media del mese più freddo (gennaio) e quella media del mese più caldo (luglio) sono rispettivamente 12,5 °C, 1,3 °C e 22,1 °C. L'escursione termica annua, pari a 20,8 °C, indica un regime termico di tipo subcontinentale (Mennella, 1972).

La prova è stata condotta in cassoni di vegetazione a fondo aperto di 2 m × 2 m, riempiti di terreno prelevato *in loco* la cui tessitura, in base alla classificazione granulometrica dei terreni del Soil survey americano (USDA, 1951), era di tipo franco-sabbioso (sabbia (Ø 0,05-2 mm) 68%; limo (Ø 0,002-0,05 mm) 12%; argilla (Ø < 0,002 mm) 20%). All'inizio della prova il terreno era, inoltre, sub-basico (pH in soluzione acquosa, metodo 7 MAF (1992): 7,8), povero in s.o. (C organico determinato con metodo Walkley e Black, metodo 15 MAF (1992) × 1,724: 1%) e in azoto totale (N da analizzatore automatico che comprende tutte le forme di N presenti nel suolo, metodo 18 MAF (1992): 0,79%), mediocrementemente dotato in fosforo totale (mineralizzazione con acido solforico e acqua ossigenata, metodo 21 MAF (1992): 1,41% di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e ricco in fosforo assimilabile (metodo Olsen, metodo 23 MAF (1992): 25,8 ppm di P), mediamente dotato in potassio scambiabile (estrazione con bario cloruro, metodo 30 MAF (1992): 86,5 ppm di K) e con rapporto C/N pari a 7,6.

Nel ventennio di sperimentazione sono stati utilizzati successivamente cinque ibridi di mais («XL342», «XL72A», «Sponsor», «Derek» e «Serse») impiegati ognuno in quattro successive annate. Le tesi erano otto, ricavate dalla combinazione fattoriale di quattro modalità di concimazione (nessuna concimazione, liquamazione, concimazione minerale e liquamazione più concimazione minerale, nel testo indicate anche con nc, liq, cm e liqcm) con due modalità di utilizzo degli stocchi (asporto e interrimento, indicate nel testo anche con as e is). Con la liquamazione si distribuiva il corrispettivo di 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> di liquame bovino al 10% di s.s. (0,3 kg di s.s. m<sup>-2</sup>), quantità pari a quella ottenuta in un anno dagli animali di circa 350 kg alimentati con la produzione complessiva di una coltura di mais che fornisce un quantitativo di stocchi pari a 6 t di s.s. ha<sup>-1</sup>. Con la concimazione minerale si distribuivano 120 kg ha<sup>-1</sup> di N, 120 kg ha<sup>-1</sup> di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 150 kg ha<sup>-1</sup> di K<sub>2</sub>O e cioè la quantità di elementi presenti in media nel liquame impiegato nella tesi precedente determinata sulla base di analisi dei liquami disponibili in azienda fatte all'inizio della prova. Nelle tesi interessate, gli stocchi interrati erano tutti quelli raccolti sulla medesima parcella nella precedente annata produttiva: la loro quantità media ventennale per le quattro modalità di concimazione è riportata in tabella 2. Le 8 tesi erano ripetute 4 volte e le 32 parcelle così ottenute erano distribuite secondo uno schema a blocco randomizzato.

Le pratiche colturali furono svolte come di seguito riportato:

- vangatura con eventuale interrimento degli stocchi a 20 cm di profondità in ottobre-novembre;
- liquamazione con distribuzione superficiale e immediata copertura con sottile strato di terra a dicembre-gennaio;
- concimazione appena prima della semina con fosforo e potassio in forma minerale distribuiti in superficie e interrati con il passaggio di un rastrello;
- concimazione in copertura con azoto in forma minerale (urea 46%), 50% alla semina e 50% con piante alte 30 cm;
- semina su file con investimento pari a 6 piante  $m^{-2}$  nel periodo 10 aprile - 16 maggio (ritardata al 17 giugno nel 1992 a causa di imprevisti tecnici);
- raccolta nel periodo 12 settembre - 15 ottobre.

Le analisi effettuate riguardano il suolo e la pianta. Relativamente al suolo, le analisi erano compiute su campioni prelevati in ogni parcella pochi giorni dopo la raccolta e rappresentativi dello strato interessato dalle lavorazioni (primi 20 cm). Negli anni '78-'90, '93 e '96 furono determinate, con gli stessi metodi utilizzati per le analisi iniziali del suolo, le seguenti caratteristiche chimiche: contenuto in s.o., azoto totale, rapporto carbonio/azoto (C/N), fosforo totale, fosforo assimilabile, potassio scambiabile e pH. Negli anni '80-'96 furono analizzate anche alcune caratteristiche strutturali: contenuto in grumi nelle classi di diametro 2-3 mm e 7-8 mm e indice di stabilità della struttura dei grumi della classe 1-2 mm secondo il metodo Tiulin-Meyer modificato, secondo quanto riportato in Giardini e Macri (1969a).

Relativamente alla pianta furono misurate in tutti gli anni di prova le principali caratteristiche produttive e vegetative e cioè: produzione di granella, produzione di stocchi (stocchi più foglie), contenuto in proteina grezza della granella e, in alcuni anni, degli stocchi, peso della spiga, numero di spighe  $m^{-2}$  e pianta $^{-1}$ , percentuale di spighe incomplete e attaccate da piralide, colore fogliare, altezza della pianta alla raccolta e date di emissione e di inizio fioritura del pennacchio e di emissione degli stigmi.

Le elaborazioni furono compiute utilizzando l'analisi della varianza e della regressione secondo le modalità indicate in Gomez e Gomez (1984). Per le caratteristiche espresse in termini percentuali le analisi della varianza furono effettuate sulla base dei dati trasformati in  $\arcsin \sqrt{(\% / 100)}$ . Le relazioni tra produzione di granella e di stocchi e andamento meteorologico furono analizzate utilizzando una serie di variabili ottenute sulla base di misurazioni della stazione meteorologica di Legnaro e cioè: precipitazioni totali, temperatura minima ( $T_{min}$ ), massima ( $T_{max}$ ) e media ( $T_{med}$ ), somma termica in base 10°C (ST) ed evapotraspirazione effettiva (ETE) dei periodi emergenza-fioritura (EF), emergenza-maturazione fisiologica della granella (EM), emergenza-raccolta (ER), fioritura-maturazione fisiologica della granella (FM) e fioritura-raccolta (FR). In assenza di una misurazione diretta dell'evapotraspirazione tale caratteristica fu calcolata con il programma BIDRICO (Danuso *et al.*, 1992).

Non essendo stato analizzato il contenuto di fosforo nella granella e negli stocchi, per la compilazione del bilancio di tale elemento nel suolo, effettuato attraverso il computo degli apporti tramite concimazione e degli

asporti dovuti al raccolto di granella e stocchi, si è ammesso un contenuto dell'elemento pari a 3,3 mg  $kg^{-1}$  di s.s. nel caso della granella e a 1,6 mg  $kg^{-1}$  di s.s. nel caso degli stocchi (Bittante *et al.*, 1990).

Constatata la loro notevole variabilità interannuale, per alcune caratteristiche pedologiche furono considerati nell'analisi della regressione e nel bilancio degli elementi nutritivi nel suolo non i valori tal quale, ma le differenze tra gli stessi e quelli delle tesi testimone.

Per l'analisi dell'efficienza della concimazione azotata furono utilizzati i parametri Efl, Efc ed Efa (Giardini *et al.*, 1989) calcolati nel modo seguente:

$$Efl = Dc/Dn;$$

$$Efc = (Dc - Dct)/Dn;$$

$$Efa = (Dc + Dsuolo - Dct)/Dn$$

in cui

Dc = azoto asportato dalla tesi concimata,

Dn = azoto apportato con la concimazione,

Dct = azoto asportato dalla tesi non concimata,

Dsuolo = incremento di azoto nel suolo della tesi concimata rispetto a quella non concimata.

I tre parametri differiscono relativamente alla definizione dell'azoto considerato utile (numeratore dei rapporti): in Efl è tale l'azoto contenuto nel prodotto raccolto; in Efc è utile solo la quota di azoto asportata nella tesi concimata in più rispetto alla tesi non concimata; Efa, ritiene utile oltre a quest'ultima quota anche quella accumulata nel suolo della tesi concimata rispetto alla tesi non concimata.

## Risultati e discussione

### Caratteristiche del suolo

#### Contenuto in sostanza organica

Interramento degli stocchi e concimazione influiscono positivamente su tale caratteristica (Tab. 1). Il primo la aumenta in media dall'1,16% all'1,31% circa. Per quanto attiene la concimazione, la liquamazione incrementa il parametro mediamente dall'1,09% all'1,27%. Inoltre, la concimazione minerale da sola o unita alla liquamazione incrementa il contenuto dall'1,09% del testimone all'1,21% e all'1,35% rispettivamente anche se tale effetto sembra risultare più consistente nel caso di interrimento degli stocchi. L'incremento dovuto all'interramento degli stocchi è da riferire presumibilmente all'aumento delle sostanze uniche e dei microrganismi nel suolo. Quello conseguente alla concimazione minerale, evidenziato di massima anche da altri Autori (Giardini e Dell'Agnola, 1973; Toderi, 1991), è da imputare forse ad una maggiore produzione di radici ma probabilmente in buona parte anche alla maggiore densità radicale negli strati superficiali del suolo che si verifica in presenza di concimazione rispetto all'assenza della stessa (Bona *et al.*, 1995). Infine, l'effetto positivo della liquamazione o della contemporanea distribuzione di liquame e concime minerale è da attribuire sia a quest'ultimo fenomeno sia all'apporto diretto della s.o. presente nel liquame. L'apparente

TABELLA 1 - Effetto dei diversi trattamenti sulle caratteristiche del suolo. Le abbreviazioni delle modalità di concimazione e di utilizzo degli stocchi sono spiegate nei Materiali e metodi.

TABLE 1 - Effect of the different treatments on the soil characteristics. The abbreviations of the fertilisation and straw utilisation modalities are explained in the Materials and methods chapter.

Caratteristica	Modalità di utilizzazione degli stocchi	Modalità di concimazione				Media <sup>(1)</sup>	(2)
		nc	liq	cm	liqcm		
s.o. (%)	as	1,03	1,21	1,12	1,27	1,16 B	
	is	1,15	1,34	1,30	1,43	1,31 A	
	Media	1,09	1,27	1,21	1,35	1,23	
	(1)	D	B	C	A		
C/N	as	8,97	8,51	8,53	8,52	8,63 B	**
	is	8,99	8,97	9,28	9,02	9,07 A	
	Media	8,98	8,74	8,91	8,77	8,85	
	(1)	A	B	AB	B		
N (%)	as	0,684	0,840	0,783	0,869	0,794 B	
	is	0,752	0,879	0,821	0,925	0,845 A	
	Media	0,718	0,859	0,802	0,897	0,819	
	(1)	D	B	C	A		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tot (% di P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Media	1,56	1,70	1,77	1,89	1,73	
	(1)	D	C	B	A		
P ass. (ppm di P)	as	9,5	16,0	22,0	29,6	19,3 B	*
	is	11,0	21,7	20,6	34,0	21,8 A	
	Media	10,3	18,8	21,3	31,8	20,5	
	(1)	D	C	B	A		
K scamb. (ppm di K)	as	59	76	82	104	80 B	*
	is	66	96	87	120	92 A	
	Media	62	86	84	112	86	
	(1)	C	B	B	A		
Grumi 7-8 mm (%)	Media	11,6	12,3	11,2	11,9	11,8	
	(1)	B	A	C	AB		
IS 1-2 mm (%)	as	15,1	21,3	15,1	19,2	17,7 B	*
	is	19,8	24,0	20,9	24,3	22,2 A	
	Media	17,4	22,7	18,0	21,8	20,0	
	(1)	C	A	C	B		

(1) Test di Duncan.  
Duncan test.

(2) Interazione modalità di utilizzo degli stocchi × modalità di concimazione significativa al livello 0,05 se \* e 0,01 se \*\*.  
Interaction straw utilisation × fertilisation modality significant at the level 0,05 if \* and 0,01 if \*\*.

interazione positiva di concimazione minerale e interramento degli stocchi è da riferire, presumibilmente, anche alla maggiore quantità di stocchi interrati nelle parcelle concimate rispetto a quelle non concimate.

A partire dai valori di s.o. nel suolo (Tab. 1) e da quelli di produzione di stocchi (Tab. 2) si ricava che, nella media delle quattro modalità di concimazione per tutto il periodo considerato, nel terreno si verifica un aumento di s.o. pari allo 0,24% per ogni kg di s.s. di stocchi interrati m<sup>-2</sup>, valore che si ottiene calcolando la differenza tra contenuto medio di s.o. nel suolo delle tesi is e quello delle tesi as (1,31% - 1,16% = 0,15%; Tab. 1) e dividendo tale differenza per la produzione media di stocchi (0,615 kg m<sup>-2</sup>; Tab. 2). Un simile calcolo risulta più complicato per il liquame a causa della difficoltà di separare l'effetto dovuto all'apporto della s.o. in esso presente da quello consistente nella maggiore quantità di biomassa radicale prodotta negli strati superficiali del suolo dovuto anche all'effetto concimante per apporti di elementi nutritivi in forma

minerale. Comunque, considerando solo le tesi asnc, asliq e ascsm si può supporre che in asliq l'incremento di s.o. dovuto al secondo fenomeno citato sia uguale a quello della tesi ascsm (ipotesi cautelativa in quanto, come si vedrà, a giudicare dall'effetto sulla produzione la quantità di elementi nutritivi messi a disposizione dalla liquamazione è ridotta rispetto alla concimazione minerale) e cioè pari allo 0,09%, ottenuto sottraendo il contenuto medio di s.o. nel suolo della tesi asnc da quello della tesi ascsm (1,12% - 1,03%: Tab. 1). A partire da questo dato si ricava che l'aumento di s.o. dovuto solamente all'apporto di s.s. sarebbe pari allo 0,09%, valore che si ottiene sottraendo all'incremento di s.o. nel suolo della tesi asliq rispetto alla tesi asnc, pari allo 0,18%, quella parte che sarebbe dovuta all'apporto di elementi fertilizzanti e cioè lo 0,09% più sopra determinato. Di conseguenza l'aumento di s.o. determinato dall'apporto di s.s. sarebbe nel caso del liquame pari allo 0,29% per ogni kg m<sup>-2</sup> di s.s. di liquame interrato (ottenuto dividendo 0,09% per 0,3 kg di

TABELLA 2 - Effetto dei diversi trattamenti sulle caratteristiche produttive, vegetative o componenti della produzione. Le abbreviazioni delle modalità di concimazione e di utilizzo degli stocchi sono spiegate nei Materiali e metodi.

TABLE 2 - Effect of the different treatments on the productive and vegetative characteristics and production components. The abbreviations of the fertilisation and straw utilisation modalities are explained in the Materials and methods chapter.

Caratteristica	Modalità di utilizzazione degli stocchi	Modalità di concimazione				Media (¹)	(²)
		nc	liq	cm	liqcm		
Produzione granella (u. 15,5%) (kg m <sup>-2</sup> )	Media (¹)	0,291 D	0,633 C	0,764 B	0,974 A	0,666	
Proteina grezza granella (% della s.s.)	Media (¹)	6,90 B	6,70 C	6,84 BC	7,53 A	6,99	
Produzione stocchi (kg di s.s. m <sup>-2</sup> )	Media (¹)	0,402 D	0,589 C	0,665 B	0,803 A	0,615	
Harvest index	Media (¹)	0,354 D	0,442 C	0,457 B	0,470 A	0,430	
Ibrido	Periodo						
XL342A	77-80	0,373	0,458	0,460	0,479	0,452	
XL72A	81-84	0,384	0,466	0,517	0,508	0,485	
Sponsor	85-88	0,252	0,340	0,366	0,378	0,353	
Derek	89-92	0,368	0,428	0,436	0,468	0,435	
Serse	93-96	0,364	0,505	0,498	0,526	0,496	
Colore fogliare (0 giallo - 5 verde)	Media (¹)	1,88 D	2,80 C	3,18 B	3,90 A	2,94	
Altezza pianta (cm)	Media (¹)	225 D	245 C	252 B	261 A	246	
Numero spighe m <sup>-2</sup>	as	5,05	6,04	6,09	6,30	5,87 B	
	is	5,33	6,05	6,14	6,33	5,96 A	*
	Media (¹)	5,19 C	6,05 B	6,12 B	6,32 A	5,92	
Peso medio spighe (g)	Media (¹)	81 D	142 C	167 B	203 A	151	
Peso 1000 semi (g)	Media (¹)	266 C	272 B	274 B	292 A	276	
Spighe incomplete (%)	Media (¹)	82,7 A	64,0 B	53,8 C	45,4 D	61,5	
Spighe attaccate da piralide (%)	as	47,2	43,3	39,1	41,3	42,7 B	
	is	48,6	47,5	47,0	43,8	46,7 A	
	Media (¹)	47,9 A	45,4 AB	43,1 B	42,6 B	44,7	
Data emiss. pennacchio (n. giorni dal 30/6)	Media (¹)	19,2 A	14,7 B	13,2 C	10,9 D	14,5	
Data fioritura pennacchio (n. giorni dal 30/6)	Media (¹)	21,1 A	16,6 B	15,0 C	12,9 D	16,4	
Data emissione stimmi (n. giorni dal 30/6)	Media (¹)	23,8 A	19,1 B	17,1 C	15,2 D	18,8	

Vedi legenda di tabella 1. - See legend of table 1.

s.s.: vedi materiali e metodi) e cioè superiore a quello dovuto all'interramento degli stocchi.

La figura 2 evidenzia che l'incremento di s.o. delle tesi concimate rispetto alle tesi nc (in cui nel ventennio

la caratteristica in esame pur oscillando si è mantenuta sempre intorno al valore medio di 1,09% (Tab. 1)) è accentuato nei primi anni della prova e più ridotto nei successivi e che nel complesso può essere descritto con

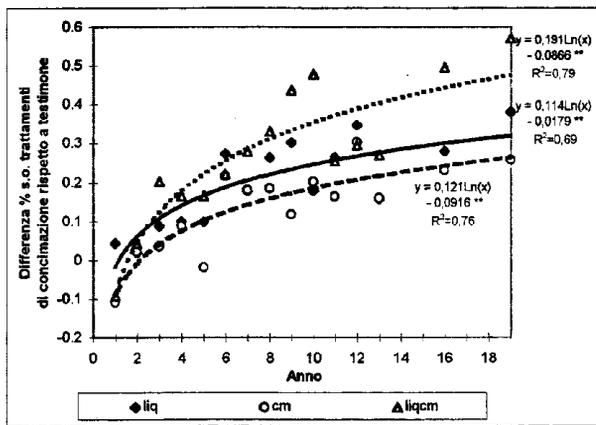


Fig. 2 - Evoluzione del contenuto di s.o. nel suolo calcolato come differenza rispetto alla media delle tesi non concimate. Le abbreviazioni delle modalità di concimazione sono spiegate nei Materiali e metodi.

Fig. 2 - Evolution of organic matter content in the soil calculated as difference to the mean of the not fertilised treatments. The abbreviations of the fertilisation modalities are explained in the Materials and methods chapter.

una funzione di tipo logaritmico. Tali andamenti corrispondono a quanto riportato in bibliografia (Johnston et Mattingly, 1976; Russel, 1982; Giardini, 1992) relativamente al contenuto in humus del terreno che in seguito ad una modifica delle modalità di coltivazione passa, nel corso di un periodo più o meno lungo, dai valori iniziali a valori tipici della nuova situazione agronomica che si mantengono poi più o meno costanti nel tempo.

#### Rapporto C/N

Il comportamento di tale caratteristica, che è pari mediamente a 8,85, appare fortemente influenzato dall'interazione modalità di utilizzo degli stocchi x modalità di concimazione (Tab. 1). In assenza di interrimento degli stocchi l'apporto di azoto minerale od organico riduce il rapporto in questione rispetto alla tesi asnc in misura sensibile e simile per le tre modalità di concimazione. In presenza di interrimento degli stocchi, invece, le tre tesi concimate presentano un rapporto C/N più vicino a quello della tesi isnc. In questo secondo caso, inoltre, la liquamazione effettuata da sola o insieme alla concimazione minerale sembra determinare una certa riduzione del rapporto rispetto alla sola concimazione minerale. Nel complesso (Tab. 1) l'interrimento degli stocchi aumenta il rapporto C/N mentre la liquamazione in tutti i casi e la concimazione minerale solo nel caso di mancato interrimento degli stocchi lo diminuiscono, concordemente con il diverso rapporto C/N dei materiali interessati.

#### Contenuto in azoto totale

Su questa caratteristica, mediamente pari allo 0,82‰, hanno effetto positivo sia l'interrimento degli stocchi sia la concimazione nelle sue diverse forme (Tab. 1). Poiché, com'è ovvio, tale effetto deriva dalla

combinazione di quelli sul contenuto in s.o. e sul rapporto C/N, in base a quanto già detto l'interrimento degli stocchi determina l'aumento minore di tale caratteristica e, al contrario, la liquamazione da sola o combinata con la concimazione minerale l'aumento maggiore.

Gli andamenti nel corso degli anni del contenuto in azoto totale delle tesi liq, cm e liqcm rispetto alle tesi nc (Fig. 7) sono descrivibili con funzioni logaritmiche con caratteristiche simili a quelle della s.o. (anche se ciò non è ben evidenziato nelle figure per le diverse unità di misura adottate) da cui il parametro in questione è influenzato in misura prevalente. Rispetto alla s.o., tuttavia, si differenziano in una certa misura per i valori più elevati della curva delle tesi liq rispetto alle tesi cm conseguente al minore rapporto C/N delle prime rispetto alle seconde.

#### Contenuto in fosforo totale e fosforo assimilabile

I trattamenti di fertilizzazione considerati esercitano sul contenuto in fosforo totale e assimilabile effetti simili anche se, come riscontrato da Giardini e Macri (1969b), molto più accentuati sulla seconda caratteristica (Tab. 1). Quest'ultimo fatto appare facilmente comprensibile se si pensa che il fosforo, essendo distribuito con la concimazione in forma assimilabile, influenza in misura più rilevante la quota direttamente accessibile alle piante che non quella globalmente presente nel terreno di per sé già relativamente elevata.

Nel caso del fosforo totale ha effetto solo la concimazione con un aumento dall'1,56‰ del testimone all'1,89‰ della tesi liqcm. Riguardo all'effetto delle varie modalità di concimazione appare strano che quella minerale abbia determinato un incremento maggiore rispetto alla liquamazione in quanto da un lato in base alle previsioni le due modalità dovevano apportare la medesima quantità dell'elemento e dall'altro, come si vedrà, l'asporto dovuto alla produzione di stocchi e di granella è risultato inferiore nel caso della liquamazione. Questa stranezza è probabilmente dovuta al fatto che il contenuto in  $P_2O_5$  del liquame nella media del ventennio fu presumibilmente inferiore al previsto 4% della s.s.

Nel caso del fosforo assimilabile, mediamente pari a 20,5 ppm, hanno esercitato effetto positivo sia l'interrimento degli stocchi sia la concimazione, anche se quest'ultima in misura molto maggiore della prima. La tabella 1 evidenzia l'interazione esistente tra modalità di utilizzo degli stocchi e concimazione consistente nel fatto che nel caso delle tesi che prevedono la liquamazione l'aumento del fosforo assimilabile dovuto all'interrimento degli stocchi è più consistente che per le altre tesi. Tale interazione è presumibilmente dovuta all'azione positiva esercitata dai microrganismi contenuti nel liquame sulla mineralizzazione del fosforo organico presente negli stocchi con rilascio di fosfati minerali assimilabili (Stevenson, 1986).

La figura 3 evidenzia, infine, che nel terreno interressato l'aumento della quota assimilabile del fosforo sta in relazione lineare con l'aumento del fosforo totale e che tale aumento è pari a circa 45 ppm per ogni incremento dell'1‰ di fosforo totale.

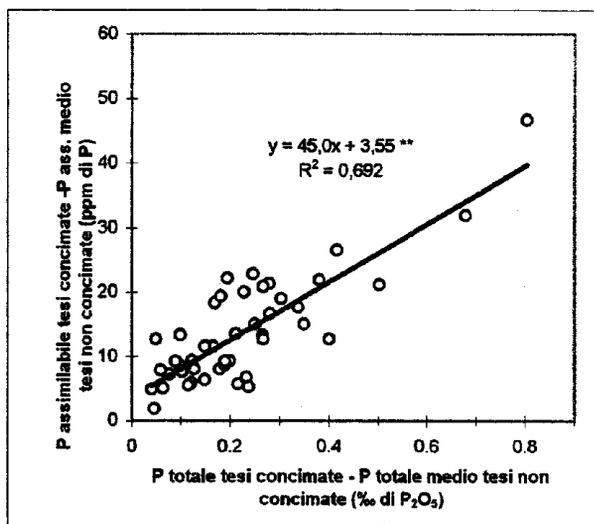


Fig. 3 - Relazione tra contenuto di fosforo totale e assimilabile nel suolo delle tesi liq, cm e liqcm. Sia per il fosforo totale sia per quello assimilabile sono riportate le differenze di contenuto delle tesi rispetto alla media delle tesi nc.

Fig. 3 - Relation between total and assimilable phosphorus in the soil of treatments liq, cm and liqcm. Both for total and for assimilable phosphorus the soil content differences of the fertilised treatments relative to the mean of the not fertilised ones are represented.

#### Contenuto in potassio scambiabile

L'interramento degli stocchi influenza questa caratteristica in misura percentualmente maggiore che il fosforo assimilabile incrementandola da 80 a 92 ppm circa (Tab. 1). Questo fatto appare ovvio se si considera che gli stocchi sono molto più ricchi in potassio che in fosforo. D'altra parte anche in questo caso la concimazione, evidentemente effettuata in misura maggiore rispetto alle necessità della coltura, determina un aumento molto più elevato raddoppiando quasi il contenuto in potassio scambiabile (da 62 ppm del testimone a 112 ppm circa delle tesi liqcm). Infine, l'interazione modalità di utilizzo degli stocchi × modalità di concimazione si manifesta in modo simile a come visto per il fosforo assimilabile ed è probabilmente da porre in relazione con il già citato effetto positivo che il liquame esercita in modo indiretto sulla mineralizzazione degli stocchi.

#### Caratteristiche della struttura

L'influenza dei trattamenti in prova sulla struttura del suolo è relativamente meno consistente di quella esercitata sulle caratteristiche chimiche. La percentuale di grumi della classe 2-3 mm, in media pari a 22,5%, viene aumentata significativamente, anche se in misura ridotta, dall'interramento degli stocchi (in media 22,6% nei trattamenti is contro 22,3% dei trattamenti as) ma non è influenzata dalla modalità di concimazione. Il contrario succede per i grumi della classe 7-8 mm la cui abbondanza è accresciuta dalla liquamazione e diminuita dalla concimazione minerale (Tab. 1).

Interramento degli stocchi e concimazione esercitano effetti più consistenti sull'indice di stabilità della

struttura. Anche in questo caso l'interramento degli stocchi e la liquamazione influiscono positivamente su tale caratteristica aumentandola nel primo caso dal 17,7% al 22,2%, incremento simile a quanto riscontrato da Giardini e Dell'Agnola (1973) e da Giardini (1971) e nel secondo caso dal 17,4% al 22,7% (Tab. 1). La concimazione minerale non risulta invece influire in modo significativo sulla caratteristica.

#### Caratteristiche produttive e vegetative

##### Produzione di granella e suo contenuto in proteina grezza

Nella media del ventennio la produzione di granella, pari mediamente a  $0,67 \text{ kg m}^{-2}$ , è risultata influenzata in modo significativo dalla modalità di concimazione ma, contrariamente ai risultati ottenuti da Giardini *et al.* (1988), non dall'interramento degli stocchi (Tab. 2). Similmente a quanto osservato da Giardini (1973) in un terreno sabbioso, quindi non molto diverso da quello utilizzato per la prova, l'incremento produttivo dovuto alla concimazione rispetto al testimone non concimato è risultato sempre molto consistente. Nel caso della liquamazione tale incremento è pari a circa il 70% di quello determinato dalla concimazione minerale mentre nella tesi liqcm esso risulta minore della semplice somma degli incrementi delle singole modalità rispetto al testimone in quanto, evidentemente, la curva produzione-concimazione si trova già nel tratto a produttività decrescente.

Tali risultati medi sono la conseguenza di un diverso andamento della produzione di granella delle diverse tesi nel corso del ventennio (Fig. 4). Se si escludono i primi tre-quattro anni in cui risulta evidente un effetto di fertilità residua (produzione relativamente elevata delle tesi nc e vicinanza delle stesse a quelle concimate)

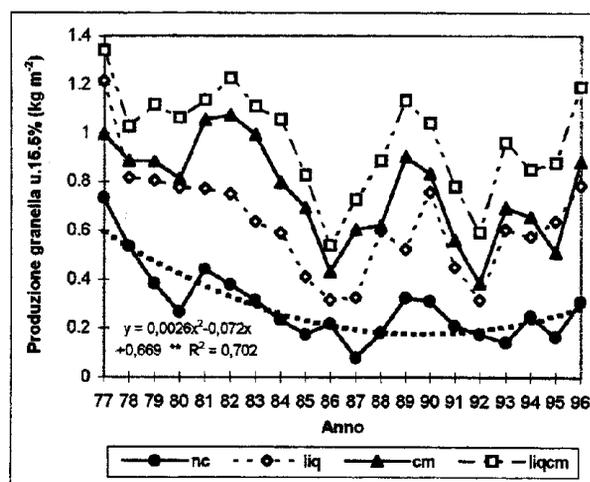


Fig. 4 - Andamento ventennale della produzione di granella nelle medie delle tesi concimate nello stesso modo. Le abbreviazioni delle modalità di concimazione sono spiegate nei Materiali e metodi.

Fig. 4 - Average grain production of the treatments with the same fertilisation during the twenty years period. The abbreviations of the fertilisation modalities are explained in the Materials and methods chapter.

nel periodo successivo si verifica il progressivo avvicinamento delle tesi liq a quelle cm e, in misura minore, a quelle liqcm (Fig. 5) tanto che, nel primo caso, alla fine del ventennio le produzioni risultano molto simili. L'avvicinamento della produzione delle tesi liq a quella delle tesi cm può essere messo in relazione con l'aumento del contenuto in azoto totale (Fig. 7) delle prime tesi rispetto alle seconde.

Riguardo all'effetto dell'interramento degli stocchi, che, come si è già ricordato, nella media del ventennio non è risultato statisticamente significativo, la figura 6 evidenzia tuttavia che le tesi is specialmente se non concimate presentano una certa tendenza ad incrementare la loro produzione rispetto a quelle senza interrimento. Tale tendenza è confermata dall'analisi statistica che ha evidenziato una produzione minore delle prime in alcuni anni del

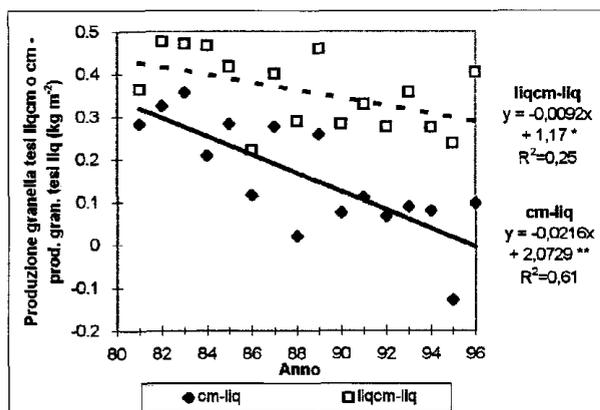


Fig. 5 - Andamento delle differenze di produzione di granella delle tesi cm e liqcm rispetto alle tesi liq nel periodo '81-'96. Le abbreviazioni delle modalità di concimazione sono spiegate nei Materiali e metodi.

Fig. 5 - Evolution of the grain production differences between liq treatments and cm or liqcm treatments in the period '81-'96. The abbreviations of the fertilisation modalities are explained in the Materials and methods chapter.

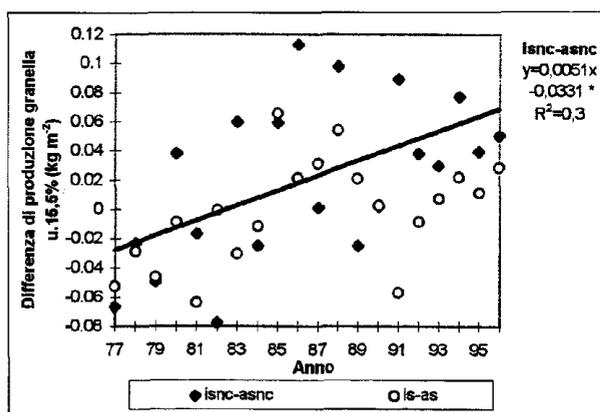


Fig. 6 - Andamento delle differenze di produzione di granella delle tesi con interrimento degli stocchi rispetto a quelle con asporto degli stessi. Le abbreviazioni delle modalità di concimazione e di utilizzo degli stocchi sono spiegate nei Materiali e metodi.

Fig. 6 - Evolution of the grain production differences between is and as treatments. The abbreviations of the fertilisation modalities and straw utilisation are explained in the Materials and methods chapter.

primo periodo ('79 e '81) e maggiore in alcuni del secondo ('85, '88 e '96). Anche tale risultato può essere spiegato soprattutto in base all'aumento del contenuto in azoto totale delle tesi is rispetto alle tesi as (Tab. 1 e Fig. 7).

A parte quanto sopra ricordato, la notevole variabilità interannuale evidenziata dalla figura 4 ha impedito di individuare particolari tendenze statisticamente significative di variazione nel tempo della produzione delle diverse tesi considerate indipendentemente dalle altre ad esclusione delle tesi nc in cui l'andamento della produzione è chiaramente decrescente e risulta descrivibile con una funzione polinomiale di 2° grado. Tale notevole variabilità è spiegabile per una quota non elevata, mai superiore al 57%, sulla base dell'andamento meteorologico (Tab. 3). Al riguardo la variabile più importante risulta ETe del periodo ER nel caso delle tesi concimate e del periodo FR nel caso di quelle nc a cui si aggiunge in quest'ultimo caso la  $T_{max}$  del periodo EF. Nel complesso l'andamento meteorologico spiega una maggiore quantità della variabilità della produzione delle tesi nc rispetto alle tesi concimate.

A questi risultati fanno riscontro quelli riportati in tabella 4 in cui si evidenziano le buone correlazioni esistenti tra la produzione della maggior parte delle tesi concimate e il contenuto in azoto totale del suolo, correlazioni che, quando presenti, risultano maggiori di quelle tra produzione e variabili meteorologiche. Il segno negativo di tali correlazioni è comprensibile se si ricorda che il prelievo del campione di suolo per le analisi veniva effettuato appena dopo la raccolta: bassi contenuti di azoto nel suolo determinati in quell'epoca sono da mettere in relazione ad un elevato assorbimento dell'elemento da parte della coltura e quindi dovrebbero corrispondere, come in effetti è risultato, a una resa elevata. Il valore minore del coefficiente di correlazione della tesi isliqcm rispetto alla tesi asliqcm e la mancanza di significatività dei coefficienti delle altre tesi is sono presumibilmente dovuti ad una minore disponibilità dell'azoto presente nella s.o. derivata dall'interramento degli stocchi.

Nel complesso la produzione delle tesi nc risulta più influenzata dall'andamento meteorologico mentre nel caso delle tesi concimate accanto a quest'ultimo risultato di notevole importanza anche il contenuto e la disponibilità per la coltura dell'azoto presente nel suolo. Anche quest'ultimo risultato potrebbe comunque essere riferito all'andamento meteorologico che, quando favorevole, aumenta l'efficienza dell'utilizzazione dell'azoto disponibile da parte della pianta, per cui risultano più favorite le tesi concimate.

Il contenuto in proteina grezza della granella, uguale mediamente al 7% (Tab. 2), è influenzato dalla concimazione e non dalla modalità di utilizzo degli stocchi. Cm e liq lasciano inalterato o diminuiscono di poco tale caratteristica rispetto all'assenza di concimazione mentre eseguite insieme la aumentano in modo significativo. Ciò corrisponde al fatto spesso verificato che mentre una dose non elevata di azoto quale quella fornita con le prime due modalità di concimazione aumenta solo la produzione di granella una dose più elevata quale quella corrispondente all'ultima modalità di concimazione aumenta sia la produzione sia il contenuto di proteina grezza.

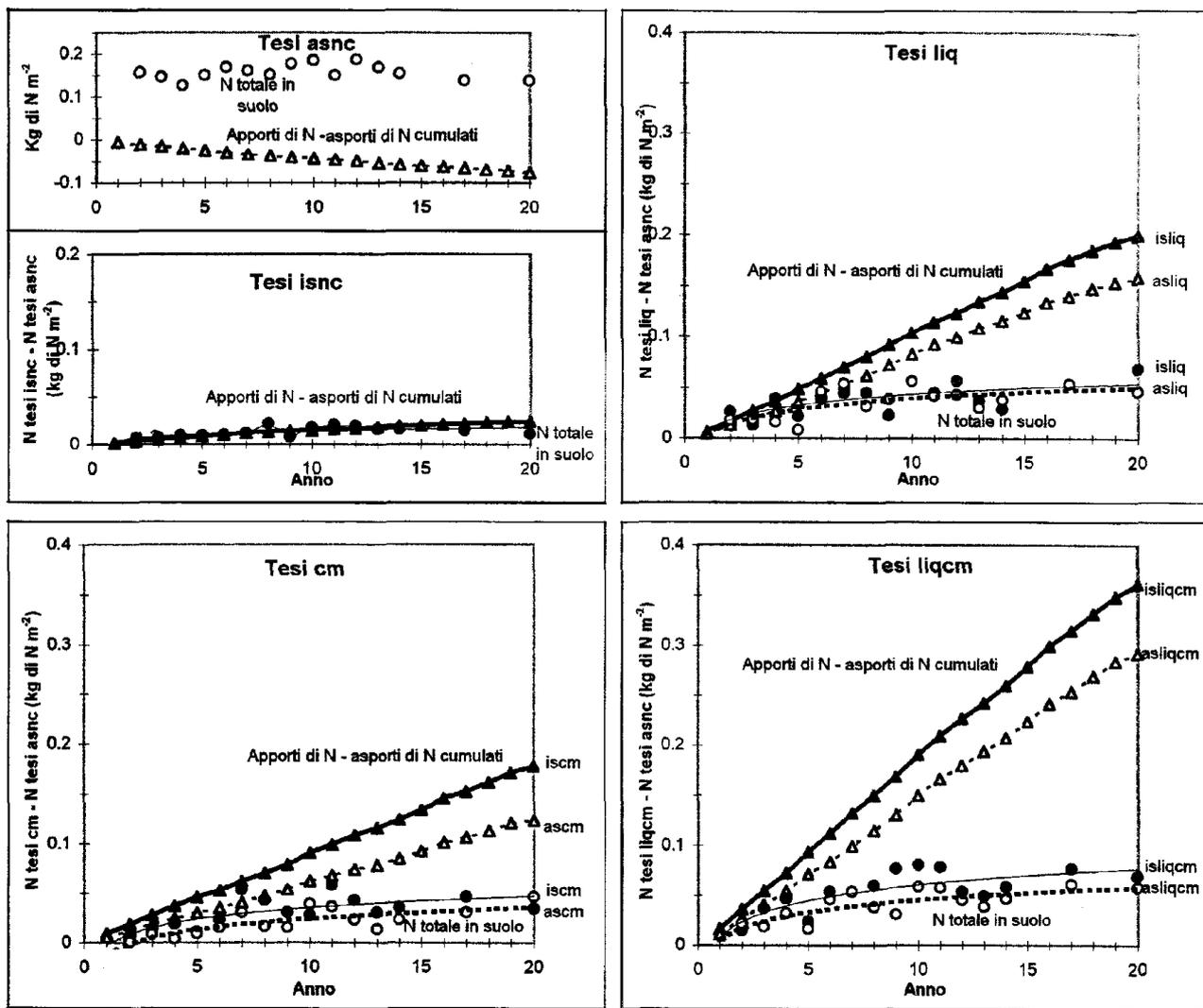


Fig. 7 - Bilancio cumulato di apporti di azoto attraverso la concimazione meno asporti della coltura e accumulo di azoto totale nel suolo in base alle analisi del suolo. Per tutte le tesi i valori riportati sono calcolati come differenza rispetto alla tesi asnc ad eccezione di quest'ultima per la quale sono valori assoluti. Le abbreviazioni delle modalità di concimazione e di utilizzo degli stocchi sono spiegate nei Materiali e metodi.

Regressioni logaritmiche che descrivono l'andamento dell'accumulo di azoto totale nel suolo:

tesi isnc	$y = 0,0048 \ln(x) + 0,0035$	$R^2 = 0,364$ significativa al $P < 0,05$
tesi asliq	$y = 0,0157 \ln(x) + 0,0033$	$R^2 = 0,465$ significativa al $P < 0,01$
tesi isliq	$y = 0,0158 \ln(x) + 0,0070$	$R^2 = 0,445$ significativa al $P < 0,01$
tesi asem	$y = 0,0159 \ln(x) - 0,0121$	$R^2 = 0,601$ significativa al $P < 0,01$
tesi iscm	$y = 0,0167 \ln(x) - 0,0029$	$R^2 = 0,489$ significativa al $P < 0,01$
tesi asliqcm	$y = 0,0178 \ln(x) + 0,0047$	$R^2 = 0,587$ significativa al $P < 0,01$
tesi isliqcm	$y = 0,0232 \ln(x) + 0,0075$	$R^2 = 0,594$ significativa al $P < 0,01$

Fig. 7 - Cumulated balance of nitrogen supplied as fertiliser and nitrogen removed as production and accumulation of total nitrogen in the soil basing on soil analysis. For all treatments the values are calculated as differences to the treatment with straw removal and without fertilisation with the exception of the last one for which they are absolute values. The abbreviations of the fertilisation modalities are explained in the Materials and methods chapter. For the logarithmic regressions describing the trend of total nitrogen accumulation in the soil see above.

### Produzione di stocchi

Anche questa caratteristica, mediamente pari a 0,62 kg m<sup>-2</sup>, è influenzata esclusivamente dalla concimazione secondo modalità simili a quelle della produzione di granella anche se le differenze percentuali tra le varie tesi risultano inferiori (Tab. 2).

La variabilità negli anni della produzione di stocchi è connessa con la variabilità meteorologica nei modi indicati in tabella 3. Il periodo critico per la

produzione di stocchi sembra essere quello che intercorre tra l'emergenza e la fioritura, a differenza della produzione di granella in cui tale periodo si prolungava fino alla raccolta. In effetti alla fioritura la parte vegetativa della pianta che poi costituirà la produzione di stocchi è ormai completamente formata mentre la quantità di granella prodotta dipende oltre che dallo sviluppo della parte vegetativa responsabile della formazione delle sostanze accumulate nella granella anche dall'andamento me-

TABELLA 3 - Regressioni tra produzioni di granella o di stocchi e variabili meteorologiche. Le abbreviazioni delle modalità di concimazione e delle variabili meteorologiche sono spiegate nei Materiali e metodi.

TABLE 3 - Regressions between seed or straw production and meteorological variables. The abbreviations of the fertilisation modalities and of the meteorological variables are explained in the Materials and methods chapter.

Caratteristica	Migliore regressione	r <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
Modalità di concimazione	$y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$ a $+ b_1 \times X_1$ $+ b_2 \times X_2$	$X_1$	$X_2$
<b>Produzione di granella (u. 15,5%) (kg m<sup>-2</sup>)</b>			
nc	$0,709 + 0,00225 \times \text{ETeFR}$ $- 0,0282 \times T_{\max}\text{EF}$	42	54
liq	$- 0,0771 + 0,00244 \times \text{ETeER}$	34	
cm	$0,182 + 0,00199 \times \text{ETeER}$	26	
liqcm	$0,279 + 0,00238 \times \text{ETeER}$	35	
<b>Produzione di stocchi (kg m<sup>-2</sup>)</b>			
nc	$0,744 - 0,00108 \times \text{STEF}$ $+ 0,00116 \times \text{ETeER}$	45	57
liq	$1,153 - 0,000893 \times \text{STEF}$	33	
cm	$1,708 - 0,000735 \times \text{STEF}$	37	
liqcm	$2,113 - 0,000924 \times \text{STEF}$	37	

TABELLA 4 - Coefficienti di correlazione tra produzione di granella e contenuto di azoto totale nel suolo. Tutti i coefficienti sono significativi al livello 0,05. Le abbreviazioni delle modalità di concimazione e di utilizzo degli stocchi sono spiegate nei Materiali e metodi.

TABLE 4 - Correlation coefficients between grain production and total nitrogen content in the soil. All coefficients are significant at the 0,05 level. The abbreviations of the fertilisation and straw utilisation modalities are explained in the Materials and methods chapter.

Modalità di utilizzazione stocchi	Modalità di concimazione			
	nc	liq	cm	liqcm
as	n.s.	- 0,64	- 0,53	- 0,63
is	n.s.	n.s.	n.s.	- 0,60

teorologico del periodo tra la fioritura e la raccolta. Inoltre la caratteristica in questione è più correlata con la temperatura (sotto forma di somma termica) che con l'evapotraspirazione evidenziandosi in particolare un effetto negativo delle alte temperature che, quindi, nell'ambiente in esame possono risultare limitanti.

Infine, a differenza della produzione di granella non si è individuata alcuna correlazione significativa tra produzione di stocchi e contenuto in azoto totale del suolo e ciò appare comprensibile se si considera la relativa lontananza temporale del prelievo di suolo dal periodo in cui è avvenuta la produzione degli stocchi.

### Harvest index

Similmente a quanto riscontrato da Giardini *et al.* (1988), l'harvest index, pari mediamente a 0,43, è influenzato dalla modalità di concimazione (Tab. 2) risultando progressivamente crescente da nc a liq, cm e liqcm. Come nel caso della produzione di granella, se si esclude il primo quadriennio in cui si verifica il già ricordato effetto di fertilità residua, l'harvest index delle tesi liq si avvicina progressivamente a quello delle tesi cm e liqcm.

Inoltre tra i cinque ibridi considerati presentano harvest index più elevato il «Serse» e l'«XL72A», molto ridotto lo «Sponsor» ed intermedio gli altri due.

### Caratteristiche vegetative e componenti della produzione

Le differenze produttive precedentemente descritte sono spiegate da una serie di differenze delle caratteristiche vegetative della pianta e delle componenti della produzione (Tab. 2) influenzate quasi esclusivamente dalla modalità di concimazione. Tali caratteristiche variano generalmente in modo progressivo passando dalle tesi nc, alle tesi liq, cm e liqcm.

La maggiore produzione totale è giustificata dalla maggiore efficienza dell'apparato fogliare testimoniata dai valori di colore fogliare. Una più elevata produzione di stocchi si riflette nella maggiore altezza raggiunta dalla pianta anche se non si riscontra una diretta proporzionalità tra le due caratteristiche. D'altra parte, la maggiore produzione di granella è spiegata in gran parte dall'aumento del peso medio delle spighe e nella parte residua dall'incremento del numero di spighe m<sup>-2</sup>. Inoltre, il maggiore peso medio delle spighe è dovuto ad una ridotta incidenza di spighe incomplete e di spighe attaccate da piralide nonché al maggiore peso medio delle cariossidi. L'entità degli attacchi da piralide è influenzata in modo consistente dalla modalità di utilizzo degli stocchi che, quando lasciati in campo, anche se interrati, peggiorano lo stato sanitario della coltura.

La concimazione influisce, infine, anche sulla velocità di svolgimento del ciclo fenologico della coltura che a luglio, in corrispondenza della fioritura, è rispetto al testimone via via più anticipata fino ad un massimo di otto giorni passando dalle tesi liq a quelle cm e liqcm.

### Bilancio dell'azoto e del fosforo nel suolo ed efficienza della concimazione azotata

Nelle figure 7 e 8 sono posti a confronto l'accumulo di azoto e di fosforo nel suolo determinato in base alle analisi dello stesso con quello ipotetico derivante dal bilancio di apporti meno asporti della coltura, entrambi ottenuti come differenze delle tesi liq, cm e liqcm rispetto alle tesi nc. La trasformazione dei contenuti di azoto e di fosforo totale nel suolo da valori espressi in ppm a valori espressi in kg m<sup>-2</sup> è stata effettuata considerando lo strato di suolo superficiale di 20 cm, equivalente allo strato interessato dalle lavorazioni e considerato per le analisi chimiche, e ammettendo una massa volumica apparente pari a 1,15.

Riguardo all'azoto in figura 7 si osserva come per tutte le tesi, ad esclusione di quelle nc, la differenza tra apporti e asporti risulta, in termini sia assoluti sia relativi, positiva e crescente passando dalle tesi cm alle

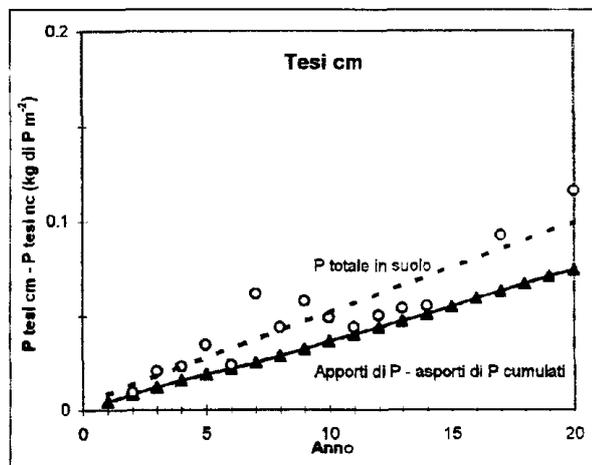
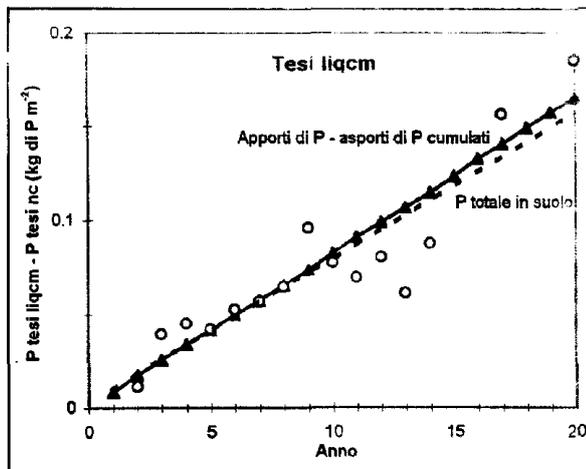
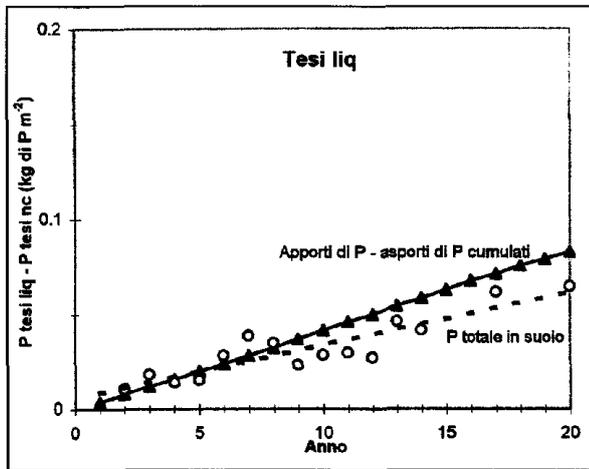


Fig. 8 - Bilancio cumulato di apporti di fosforo attraverso la concimazione meno asporti della coltura e accumulo di fosforo nel suolo in base alle analisi del suolo. I valori riportati sono calcolati come differenza rispetto alla media delle tesi nc. Le abbreviazioni delle modalità di concimazione sono spiegate nei Materiali e metodi.

Regressioni lineari che descrivono l'andamento dell'accumulo di fosforo totale nel suolo:

tesi liq  $y = 0,0028x - 0,0056$   $R^2 = 0,813$  significativa al  $P < 0,01$

tesi cm  $y = 0,0048x - 0,0037$   $R^2 = 0,820$  significativa al  $P < 0,01$

tesi liqcm  $y = 0,0078x - 0,0019$   $R^2 = 0,820$  significativa al  $P < 0,01$

Fig. 8 - Cumulated balance of phosphorus supplied as fertiliser and phosphorus removed as production and accumulation of phosphorus in the soil based on soil analysis. The values are calculated as differences to the mean of the not fertilised treatments. The abbreviations of the fertilisation modalities are explained in the Materials and methods chapter. For the logarithmic functions describing the trend of total nitrogen accumulation in the soil see above.

liq e alle liqcm. L'interramento degli stocchi alza ancora più la curva delle varie modalità di concimazione in misura grossomodo proporzionale alla corrispondente produzione di stocchi. Tra le curve del bilancio apporti meno asporti e quelle di accumulo di azoto nel suolo ottenute sulla base delle analisi pedologiche si osserva una accentuata discrepanza che è interpretabile come somma dell'azoto passato dallo strato superficiale agli strati profondi del suolo e di quello perduto per dilavamento, denitrificazione o volatilizzazione. Tale discrepanza è molto più consistente per le tesi liqcm che per le altre. Infatti per le prime ad un raddoppio dell'azoto apportato corrisponde un aumento molto meno consistente della produzione areica e del contenuto di azoto della stessa. Inoltre la discrepanza è maggiore per le tesi liq che per quelle cm: nelle prime, infatti, se da un lato si verifica un maggiore accumulo di azoto nei primi venti cm di suolo, dall'altro la differenza tra apporti e asporti risulta ancora più consistente per la minore produzione ottenuta. Tale maggiore discrepanza nelle tesi liq è probabilmente dovuta, anche in parte, a maggiori perdite di azoto per volatilizzazione di  $NH_3$ .

La tabella 5, ottenuta dai risultati sopra riportati, evidenzia che nel terreno considerato l'interramento degli stocchi consente un accumulo di azoto nel suolo molto ridotto, variabile a seconda della modalità di concimazione tra i 2 e 9,5  $kg N ha^{-1} anno^{-1}$ , ben inferiore alla quantità pari a 25-30  $kg$  stimata da

Giardini *et al.* (1989) in un terreno franco-argilloso. Considerando poi che l'interramento degli stocchi non ha consentito nella media ventennale alcun incremento di produzione si comprende come la medesima tabella 5 evidenzi un aumento piuttosto consistente del rilascio di azoto nelle tesi is, pari a 19-25  $kg N ha^{-1} anno^{-1}$  a seconda della modalità di concimazione. Nel caso delle tesi liq e cm il rilascio annuo di azoto ammonta mediamente a circa 60  $kg ha^{-1}$  essendo comunque superiore di quasi 10  $kg$  nelle prime e a circa 130  $kg ha^{-1}$  nel caso delle tesi liqcm.

Le analisi effettuate consentono di calcolare l'efficienza media ventennale della concimazione azotata (Tab. 6). L'interramento degli stocchi riduce, com'è ovvio, tale parametro in misura mediamente pari a 0,18, 0,1 e 0,12 rispettivamente per Efl, Efc ed Efa. Tale riduzione è sempre più accentuata per le tesi cm in cui si ha la massima produzione di stocchi per unità di azoto apportato. Relativamente alla modalità di concimazione si osserva che le tesi cm hanno efficienza sempre maggiore alle altre tesi. L'efficienza Efl dell'azoto delle tesi liq è pari a più dell'80% di quella delle tesi cm, valore molto superiore al 20-30% riscontrato mediamente per colture arative liquamate ad inizio inverno da Williams e Hall (1986, citato in Maggiore *et al.*, 1997). Al riguardo si osserva, tuttavia, che l'interramento del liquame compiuto subito dopo la distribuzione ha presumibilmente aumentato la quantità di

TABELLA 5 - Rilascio di azoto e accumulo di fosforo nel suolo. Valori medi annui ottenuti per differenza rispetto alla tesi asnc nel caso dell'azoto e rispetto alla media delle tesi nc nel caso del fosforo. Le abbreviazioni delle modalità di concimazione e di utilizzo degli stocchi sono spiegate nei Materiali e metodi.

TABLE 5 - Losses of nitrogen and enrichment of phosphorus in the soil. Annual mean values obtained as difference to the treatment with straw removal and without fertilisation for nitrogen and to the mean of the not fertilised treatments for phosphorus. The abbreviations of the fertilisation and straw utilisation modalities are explained in the Materials and methods chapter.

Azoto (kg di N ha <sup>-1</sup> )					
Caratteristica	Modalità di utilizzazione stocchi	Modalità di concimazione			
		nc	liq	cm	liqcm
Apporti-asporti <sup>(1)</sup>	as	—	79,6	61,8	145,7
Accumulo nel suolo <sup>(2)</sup>	as	—	25,2	17,8	29,0
Rilascio <sup>(3)</sup>	as	—	54,4	44,0	116,7
Apporti-asporti <sup>(1)</sup>	is	12,1	100,3	88,8	180,3
Accumulo nel suolo <sup>(2)</sup>	is	8,8	27,2	23,6	38,5
Rilascio <sup>(3)</sup>	is	3,3	73,1	65,2	141,8
Apporti-asporti <sup>(1)</sup>	media	—	90,0	75,3	163,0
Accumulo nel suolo <sup>(2)</sup>	media	—	26,2	20,7	33,8
Rilascio <sup>(3)</sup>	media	—	63,8	54,6	129,3

Fosforo (kg di P ha <sup>-1</sup> )				
Caratteristica	Modalità di concimazione			
	nc	liq	cm	liqcm
Apporti-asporti <sup>(1)</sup>	—	41,3	37,0	82,4
Accumulo in suolo <sup>(2)</sup>	—	30,8	49,9	79,0

(<sup>1</sup>) Differenza tra azoto o fosforo apportati con la concimazione e azoto o fosforo asportati con la raccolta della produzione.

*Difference between nitrogen or phosphorus supplied as fertilisers and nitrogen and phosphorus removed as production.*

(<sup>2</sup>) Incremento medio annuo di azoto o fosforo nel suolo calcolato sulla base delle analisi pedologiche.

*Mean annual increase of nitrogen or phosphorus in the soil calculated from the pedological analysis.*

(<sup>3</sup>) Rilascio di azoto (= differenza tra apporti-asporti e accumulo nel suolo). Nitrogen losses (= difference between supplies-removed and increase in the soil).

azoto rimasta a disposizione della coltura riducendone la perdita per volatilizzazione. Inoltre, la riduzione di Efc rispetto ad Efl è più accentuata per le tesi liq e cm che per le liqcm. Ciò appare ovvio se si considera che per le tre tesi di concimazione la quantità di azoto sottratta a quello asportato è la medesima (e cioè l'asporto di azoto della tesi non concimata) e che, pertanto, tale sottrazione determina una riduzione del parametro tanto maggiore quanto minore è la quantità di azoto rispetto alla quale essa viene effettuata. Nel caso di Efa, infine, l'efficienza delle tesi liq e liqcm si avvicina molto a quella delle tesi cm, senza tuttavia raggiungerla, e ciò avviene in conseguenza del maggior accumulo di azoto totale nel suolo.

TABELLA 6 - Efficienza della concimazione azotata. Significato e modalità di calcolo di Efl, Efc ed Efa sono spiegate nei Materiali e metodi.

TABLE 6 - Nitrogen fertilisation efficiency. Meaning and computation modalities of Efl, Efc and Efa are explained in Materials and methods chapter.

Trattamento		Indice di efficienza		
		Efl	Efc	Efa
as	liq	0,657	0,337	0,547
	cm	0,805	0,485	0,633
	liqcm	0,553	0,393	0,514
is	liq	0,484	0,265	0,419
	cm	0,580	0,361	0,484
	liqcm	0,409	0,299	0,423
Media	liq	0,570	0,301	0,483
	cm	0,692	0,423	0,559
	liqcm	0,481	0,346	0,468
Media	as	0,672	0,405	0,565
	is	0,491	0,308	0,442

Relativamente al fosforo si osserva innanzitutto una buona corrispondenza per ciascuna modalità di concimazione delle curve di apporto-asporto cumulato con le rette di accumulo dell'elemento nel suolo desunte dalle analisi (Fig. 8), fatto questo che conferma la nota immobilità del fosforo nel suolo. La divergenza che si riscontra all'interno di ciascuna coppia di curve è, nel caso delle tesi cm, una probabile conseguenza di una certa sovrastima del contenuto di fosforo nella produzione per il quale, come già ricordato, non essendo stato direttamente determinato, si sono utilizzati valori ripetiti in bibliografia. Nel caso delle tesi liq tale divergenza potrebbe essere dovuta anche ad una certa sottostima del contenuto di fosforo nel liquame utilizzato. Inoltre, il più alto accumulo di fosforo nel suolo delle tesi liqcm può essere spiegato con una considerazione analoga a quella fatta per l'azoto. I risultati riportati permettono di stimare la quantità di fosforo di cui il suolo annualmente si arricchisce nelle condizioni della prova, quantità che ammonta a circa 31 e 50 kg ha<sup>-1</sup> nel caso delle tesi liq e cm e 80 kg ha<sup>-1</sup> nelle tesi liqcm (Tab. 5).

## Conclusioni

I risultati della prova indicano che le differenze tra le produzioni delle diverse tesi considerate e il loro andamento nel tempo possono essere messe in relazione soprattutto con l'evoluzione del contenuto di s.o. e di azoto totale nel suolo oltre che con il variare della stabilità della struttura mentre probabilmente gioca un ruolo inferiore il contenuto nel suolo di fosforo e potassio, elementi che in tutte le modalità di concimazione erano apportati in misura superiore agli asporti.

In conseguenza forse della lontananza temporale della distribuzione del liquame dal momento della possibile utilizzazione degli elementi in esso contenuti da parte della coltura nonché delle caratteristiche stesse di tale fertilizzante organico, le tesi liq presentano

rispetto alle tesi cm un maggiore rilascio di azoto. Tale risultato, assieme probabilmente ad uno sfasamento temporale tra l'andamento della mineralizzazione della s.o. e quello delle esigenze in azoto della coltura, ha condizionato una produzione di granella e di stocchi minore rispettivamente del 17% e dell'11% circa nelle tesi liq rispetto a quelle cm. Tuttavia, nelle tesi liq si verifica anche un maggiore accumulo di azoto nella s.o. del suolo che con il trascorrere degli anni porta ad un avvicinamento delle loro produzioni a quelle delle tesi cm e quindi ad un corrispondente aumento dell'efficienza dell'azoto. Un contributo a tale fenomeno viene probabilmente anche dall'aumento della stabilità della struttura del suolo delle tesi liq rispetto a quello delle tesi cm, fattore che in un terreno relativamente sciolto quale quello della prova può avere avuto una certa importanza.

Nella media del ventennio l'interramento degli stocchi non ha influito sulla produzione areica. Tuttavia, l'aumento sensibile anche se non molto consistente del contenuto di azoto totale nel suolo delle tesi is sembra giustificare la tendenza, verificata come particolarmente significativa nel caso di quelle nc, ad un certo incremento nel tempo della produzione di tali tesi rispetto a quelle as. Anche in questo caso tale incremento è probabilmente almeno in parte connesso con il riscontrato aumento della stabilità della struttura. Nel complesso, tuttavia, lo scarso incremento dell'accumulo di azoto nel suolo e il contemporaneo mancato aumento della produzione delle tesi is rispetto a quelle as porta ad una consistente riduzione dell'efficienza dell'azoto e a un sensibile aumento dei rilasci del medesimo elemento.

## Bibliografia

- Bittante G., Andrighetto I., Ramanzin M. 1990. Fondamenti di zootecnica. Miglioramento genetico, nutrizione e alimentazione. Liviana Editrice. 490 pp.
- Bona S., Vamerali T., Mosca G. 1995. Risposta del sistema radicale del mais (*Zea mays* L.) alla riduzione degli input. Riv. di Agron., supplemento al n. 3, 339-347.
- Danuso F., Contin M., Gani M., Giovanardi R. 1992. Bidrico. Manuale d'uso e di riferimento. ERSA, Università di Udine, Dipartimento di Produzione Vegetale e Tecnologie Agrarie, 95 pp.
- Giardini A. 1981. Mays o Granoturco (*Zea mays*). In Baldoni, R. e Giardini, L. (Coordinatori), Coltivazioni erbacee. Pàtron Editore. Bologna.
- Giardini L. 1971. Influenza dell'interramento degli stocchi di granoturco e della paglia di frumento sulla produzione di mais e su alcune caratteristiche del terreno. Riv. di Agron., 2-3, 77-88.
- Giardini L. 1973. Otto anni di ricerche sulle concimazioni letamica e minerale nel Veneto. Riv. di Agron., 2-3, 41-52.
- Giardini L. 1992. Agronomia generale ambientale e aziendale. Quarta edizione. Pàtron Editore, Bologna, 660 pp.
- Giardini L., Dell'Agnola G. 1973. Influenza delle concimazioni letamica, minerale e del sovescio su alcune caratteristiche del terreno e correlazioni con la produzione. Riv. di Agron., 4, 205-213.
- Giardini L., Giovanardi R., Borin M. 1988. Concimazione azotata ed interrimento degli stocchi in una monosuccessione ventennale di mais (*Zea mays* L.). I. Resa e qualità del prodotto. Riv. di Agron., 2, 65-70.
- Giardini L., Giovanardi R., Borin M. 1989. Concimazione azotata ed interrimento degli stocchi in una monosuccessione ventennale di mais (*Zea mays* L.) II: bilancio ed efficienza dell'azoto. Riv. di Agron., 1, 51-56.
- Giardini L., Macri F. 1969a. Azione di alcuni correttivi sul pH e sulla stabilità degli aggregati strutturali in una «terra rossa». Riv. di Agron., 2-3, 106-109.
- Giardini L., Macri F. 1969b. Concimazione organica e minerale su terreni diversi coltivati con sole graminacee. Agricoltura, 5, 2-19.
- Gomez K.A., Gomez A.A. 1984. Statistical procedures for agricultural research. Seconda edizione. John Wiley and Sons, Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 680 pp.
- ISTAT, 1970, 1982, 1991. 2°, 3° e 4° Censimento generale dell'agricoltura.
- Johnston A.E., Mattingly G.E.G. 1976. Experiments on the continuous growth of arable crops at Rothamsted and Woburn experimental stations: effects of treatments on crop yields and soil analyses and recent modifications in purpose and design. Ann. Agron. 27 (5-6), 927-956.
- MAF 1991. Decreto ministeriale 11 maggio 1992. Approvazione dei «Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo». Suppl. ordinario alla «Gazzetta Ufficiale» n. 121 del 25 maggio 1992 - Serie generale.
- Mennella C. 1972. Il clima d'Italia. Volume secondo. Fratelli Conte Editori. 803 pp.
- Russel E.W. 1982. Il terreno e la pianta. Fondamenti di Agronomia. Ed. Ital. a cura di Paris P., Edagricole, Bologna.
- Stevenson F.J. 1986. Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 380 pp.
- Todcri 1991. Problemi conservativi del suolo in Italia. In Agricoltura e Ambiente. Edagricole, Bologna, 800 pp.
- USDA 1951. Soil survey manual. Agricultural handbook n. 18. US Dept. of Agriculture.
- Williams J.H., Hall J.E. 1986. Efficiency of utilisation of nitrogen in sludges and slurries, 258-288. In L'Hermite, P. (ed.): Processing and use of organic sludge and liquid agricultural wastes. Reidel, Dordrecht. Citato in Maggiore, T., Spallacci, P., Tano, F., 1997. Aspetti agronomici dell'impiego dei reflui zootecnici. Relazione presentata al XXXI Convegno annuale SIA, Impiego in agricoltura dei reflui zootecnici e dell'industria agro-alimentare. Milano 24-26 giugno 1997.