



*Ministero dell'Istruzione  
dell'Università e della Ricerca*



*Università degli Studi  
di Palermo*

**Dottorato di Ricerca in  
“AGRONOMIA AMBIENTALE”  
XXII CICLO  
Anni Accademici 2007/2008, 08/09, 09/10**

*Sede Amministrativa  
Università degli Studi di Palermo*

*Sede Consorzata  
Università degli Studi Mediterranei di Reggio Calabria  
Settore Scientifico Disciplinare AGR/02*

**Dissertazione finale dal titolo**

**Valutazione bio-agronomica e qualitativa di sistemi  
cerealicoli in ambiente mediterraneo**

**Coordinatore del Dottorato**  
*Chiar.mo Prof. Claudio Leto*

**Tutor**  
*Chiar.mo Prof. Ignazio Poma*

**Il Dottorando**  
*Dott. Giuseppe Bono*

---

## ***Indice***

### **1 – Introduzione**

|   |    |
|---|----|
| 1.1- Sistemi colturali e questioni ambientali .....           | 1  |
| 1.2 - Le destinazioni d'uso del suolo .....                   | 3  |
| 1.3 - Il concetto di agro-ecosistema.....                     | 4  |
| 1.4 – La sostenibilità dell'agro-ecosistema.....              | 9  |
| 1.5 - Bilancio dei nutrienti e avvicendamenti colturali ..... | 10 |
| 1.6 - Precessione colturale ed effetti residui .....          | 13 |
| 1.7 – L'azoto e le sue funzioni .....                         | 16 |
| 1.8 - Obiettivi della ricerca .....                           | 22 |

### **2 - Materiali e metodi**

|  |    |
|--|----|
| 2.1 - Sito sperimentale .....                        | 24 |
| 2.2 - Fattori allo studio e schema sperimentale..... | 25 |
| 2.3 – Gestione della prova .....                     | 26 |
| 2.4 – Rilievi effettuati.....                        | 27 |
| 2.5 – Analisi statistica dei dati.....               | 31 |
| 2.6 – Andamento termo-pluviometrico .....            | 31 |

### **3 - Risultati e discussione**

|   |    |
|---|----|
| 3.1 – Valutazione agronomica .....          | 34 |
| 3.2 – Indici di efficienza dell'azoto ..... | 63 |

### **4 – Conclusioni.....**

68

### **5 – Bibliografia.....**

70

# Introduzione

## 1.1 - Sistemi colturali e questioni ambientali

La crescente percezione delle questioni ambientali nella società del XXI secolo sta radicalmente modificando gli approcci della ricerca agronomica.

La questione ambientale ha ormai guadagnato la posizione di centralità che ad essa compete nell'ambito delle vicissitudini che caratterizzano la vita umana: l'uomo di fronte alla preoccupazione di determinare un esaurimento delle risorse naturali sembra orientato a ridimensionare le proprie priorità verso forme di economia sostenibile nelle quali le risorse siano preservate anche per le generazioni future.

La compromissione della qualità ambientale imputabile in parte anche al modello di agricoltura (agricoltura «specializzata») seguito nell'ultimo quarantennio dai Paesi industrializzati si fonda sul largo impiego di energia ausiliaria derivata da fonti fossili, sotto forma di macchine, combustibili, sostanze chimiche di sintesi per la nutrizione e la difesa delle colture e degli allevamenti animali. L'input nel sistema agricolo, a livello di bilancio energetico, è tale da superare il valore dell'output; pertanto è lecito porsi la questione se è permessibile nel lungo termine mantenere in Europa un rapporto energetico input-output superiore ad 1 nel settore agricolo. Inoltre l'eccessivo apporto di sostanze estranee all'agro-ecosistema determina una deriva di parte degli stessi oltre i suoi confini e comporta quindi forti fenomeni di contaminazione ambientale.

Nel sistema agricolo tradizionale l'ecosistema interessato era molto semplificato; i processi biochimici riducevano al minimo l'energia dispersa nei passaggi della catena alimentare e fissavano grandi quantità di energia accumulandole nelle piante commestibili all'uomo e agli animali allevati. Viceversa, nel sistema agricolo industrializzato la regolazione o l'alterazione dell'ecosistema per fini produttivi viene fatta consumando combustibili fossili, cioè aumentando le entrate energetiche.

Essendo gran parte dell'attività agricola finalizzata alla resa più alta, l'intervento dell'uomo tende a isolare la pianta coltivata. Per questo gli effetti delle operazioni ad essa connesse si riversano sul terreno. "Ovviamente gli effetti immediati sulle rese risultano favorevoli nella maggioranza dei casi, altrimenti

l'uomo non insisterebbe su questa via; quella proprietà specifica del terreno che si definisce come *fertilità* viene, infatti, mobilizzata a tutto beneficio delle colture, e messa intensamente a loro disposizione con smisurata dissipazione, senza alcuna preoccupazione (originariamente) circa i riflessi che un simile procedimento provoca nel mezzo" (Hausmann, 1964). Aumentando il grado di sfruttamento del terreno si ha una specie di sequenza che va dalla mineralizzazione, all'esaurimento dell'humus e di determinati elementi nutritivi e, infine, all'aumento dell'erodibilità. Il processo di degradazione della struttura dei suoli non è evitato, anzi è aggravato da alti impieghi di input chimici, i quali non preservano la materia organica.

Nell'agricoltura moderna l'impiego di correttivi artificiali (concimi, fitofarmaci, ecc.) è necessario perché i materiali organici sono sistematicamente asportati dai luoghi dove sono prodotti. Così, per es., il grano ha bisogno di azoto perché le stoppie sono distrutte e la paglia asportata o venduta, invece di essere risepellite. Si va, però, sempre più verificando che l'aumento delle dosi dei concimi impiegati è maggiore dell'aumento dei raccolti, con la conseguenza che una parte di essi, non essendo utilizzata dalle piante, determina l'inquinamento dei suoli e degli stessi prodotti agricoli. Inoltre, con gli attuali tassi di sfruttamento delle risorse, almeno due questioni, più generali, possono suscitare situazioni di incertezza: a) se una produzione crescente richiede un maggior uso di risorse, l'ipotesi di un loro esaurimento, specie se utilizzate non razionalmente, può divenire nel tempo una realtà e, quindi, una variabile da considerare nel modello; inoltre, se la più intensa attività produttiva richiede l'impiego maggiore di input, con la conseguente crescita di rifiuti e di elementi non utilizzati perché immessi in eccedenza, è possibile che si raggiunga il limite della *carrying capacity* della terra. Questi richiami di natura tecnica hanno lo scopo di evidenziare che il sistema agricolo ad alto impiego di input è più vulnerabile perché fa affidamento su un'unica fonte di crescita: l'aumento della produttività.

Inoltre in seguito alle scelte energetiche degli ultimi trent'anni, oggi, l'agricoltura non solo svolge sempre meno il ruolo di settore che cattura energia, ma contribuisce al processo irreversibile di decadimento delle fonti energetiche spostando progressivamente il suo peso dal piano positivo al piatto negativo della bilancia energetica; in altre parole, cresce l'entrata energetica delle attività agricole per l'uso, spesso irrazionale, di derivati del petrolio (fertilizzanti, pesticidi etc.), di elettricità, di combustibile. D'altra parte l'uso energetico delle

biomasse è ben lontano dall'essere ottimizzato. Oggi è necessario passare ad una nuova agricoltura, fruitrice di energia rinnovabile e al contempo produttrice di energia e non più subalterna alle scelte dell'industria.

Tale obiettivo è stato posto al centro della strategia comunitaria volta a migliorare la qualità dell'ambiente ed è stato chiaramente espresso nei regolamenti n. 2078/92, e n. 1782/2003, considerati i principali strumenti di intervento nell'ambito dei programmi agro-ambientali della PAC dell'ultimo ventennio. In essi sono stati previsti un regime di aiuti aventi lo scopo di promuovere metodi di produzione e forme di conduzione dei terreni agricoli "compatibili con la tutela e con il miglioramento dell'ambiente, dello spazio naturale, del paesaggio, delle risorse naturali, del suolo, non che della diversità genetica" (Regolamento CEE, 1992, art. 1). Il tempo trascorso dalla loro applicazione ci consente oggi di fare un bilancio complessivo positivo degli effetti di tali misure agro-ambientali.

## **1.2 - Le destinazioni d'uso del suolo**

I dati sull'uso del suolo, sulla copertura vegetale e sulla transizione tra le diverse categorie d'uso figurano tra le informazioni più frequentemente richieste per la formulazione delle strategie di gestione sostenibile del patrimonio ambientale e per controllare e verificare l'efficacia delle politiche ambientali e l'integrazione delle istanze ambientali nelle politiche settoriali.

I cambiamenti di uso del suolo, in particolare quelli legati alla trasformazione da ambiente naturale a semi-naturale ed antropico, ma soprattutto l'intensità delle modificazioni dell'uso del suolo influenzano le componenti dell'ecosistema nativo e spesso portano alla perdita o frammentazione dell'habitat (Skole et al., 1994; Cooperrider et al., 1999). Il taglio delle foreste, la transizione da prati naturali a terreni agricoli permanenti può causare una perdita di molte comunità animali e vegetali dovute a tale frammentazione e di conseguenza una diminuzione della qualità del territorio stesso. Nonostante le variazioni avvengano in scala molto piccola, il loro impatto è globale e cumulativo (Veldkamp e Fresco, 1996).

L'uso del suolo per scopi agrari comporta una profonda modificazione e semplificazione della struttura del paesaggio e comprende vaste aree in cui la biodiversità naturale è stata sostituita da un ridotto numero di specie coltivate e animali domestici. Il paesaggio agricolo mondiale infatti presenta circa 12

specie di colture da granella, 23 specie di colture orticole e circa 35 specie di colture da frutto (Fowler and Mooney, 1990), in tutto quindi non più di 70 specie su un'area di circa 14440 milioni di ha (Altieri, 1999). Tale situazione contrasta nettamente con la diversità specifica riscontrata in 1 ha di foresta pluviale tropicale, che in media contiene oltre 100 specie vegetali (Perry, 1994). Geneticamente l'agricoltura moderna dipende da pochissime varietà delle maggiori colture, mentre l'agricoltura tradizionale ha mantenuto una maggiore varietà specifica.

Il paesaggio agricolo copre circa il 45% (180 milioni di ha) della superficie dell'UE, distinto in arato (circa 103 milioni di ha), prati e pascoli permanenti (65 milioni di ha) e colture permanenti (12 milioni di ha). Tali territori mostrano un range molto vario di condizioni ecologiche e differiscono considerevolmente in termini di biodiversità, a seconda della combinazione di più fattori, quali le condizioni del suolo, disponibilità dell'acqua, clima, topografia e fattori di gestione (Mühlenberg e Slowik, 1997; Pain e Pienkowski, 1997). Per capire come gestire in maniera sostenibile un territorio così vasto ed eterogeneo, è necessario introdurre il concetto di agro-ecosistema, inteso nelle due dimensioni biofisica e socioeconomica (Vadrevu et al., 2008).

### **1.3 - Il concetto di agro-ecosistema**

Gli agro-ecosistemi sono sistemi ecologici modificati dall'uomo con l'obiettivo di produrre cibo, fibra o altri prodotti agricoli (Squires, 1991). Come qualsiasi sistema naturale, un agro-ecosistema può essere descritto come un sistema aperto che riceve input dall'esterno e che cede energia e materia (output). Internamente il sistema comprende diversi componenti interconnessi tra loro attraverso i quali si concretizzano i flussi di energia e di materia. Gli input del sistema possono essere distinti in naturali (prodotti della pedogenesi, energia radiante solare, precipitazioni, accumulo di materiale eroso dalle superfici adiacenti) e ausiliari controllati direttamente dall'agricoltore con l'impiego di energia proveniente da combustibili fossili (semi, letame, fertilizzanti, pesticidi, diserbanti, energia meccanica, etc.). È proprio attraverso tali input che l'uomo controlla il sistema agricolo e mantiene la sua capacità di produrre alti livelli di output che caratterizzano i processi agricoli moderni.

I principi che stanno alla base del funzionamento degli agrosistemi (ecosistemi

agricoli) non sono diversi da quelli degli ecosistemi naturali: in ambedue i casi è l'energia solare la forza motrice che innesca il processo di produzione della biomassa operato dai vegetali. La biomassa prodotta, trasferita attraverso gli anelli della catena alimentare, viene successivamente capitalizzata nel suolo sotto forma di sostanza organica (es. residui colturali) e quindi mineralizzata dai microrganismi, in modo da rifornire con elementi nutritivi i vegetali (fig. 1.1). Di fatto, però, l'attività agricola si sovrappone direttamente all'ecosistema originario, lo modifica per gli scopi produttivi e genera l'agro-ecosistema. In altre parole, gli agro-ecosistemi sono organizzati e gestiti dall'uomo con la specifica finalità di convertire l'energia solare o di altro tipo, in prodotti utili agli esseri umani, i quali sono i veri artefici della struttura di questo particolare ecosistema (Caporali, 1991).

Generalmente, la pratica agricola consiste nel promuovere una semplificazione dell'ambiente, nel sostituire la ricca comunità naturale con poche specie botaniche privilegiate, rendendo nel contempo il biotopo favorevole alla loro prosperità mediante le pratiche agronomiche. In pratica l'uomo agricoltore opera in senso inverso alla successione naturale degli ecosistemi: impedisce la complessità, promuove una semplicità permanente e blocca il sistema in una perpetua "gioinezza artificiale" (Celli, 1985).

Le differenze tra i sistemi naturali e gli agrosistemi possono venire ricondotte principalmente ai seguenti aspetti:

- 1) l'energia sussidiaria immessa nel sistema dall'uomo (lavoro umano e meccanico, fertilizzanti, pesticidi, irrigazione, carburante per i macchinari, ecc.) influenza l'efficienza con cui l'energia solare intercettata viene utilizzata dalle colture (Odum, 1988);
- 2) la diversità degli organismi è fortemente ridotta per massimizzare il raccolto di uno specifico prodotto (Odum, l.c.);
- 3) le piante e gli animali sono soggetti alla selezione artificiale più che alla selezione naturale (Odum, l.c.); i criteri della selezione non si orientano più verso l'adattabilità o la competitività, ma si rifanno solo ed esclusivamente alla produttività e qualità secondo le esigenze del mercato;
- 4) la biomassa vegetale viene allontanata sotto forma di raccolto, determinando una perdita di materia ed energia che compromette la capacità del sistema ad autosostenersi (Caporali, 1991);

D'altra parte l'organizzazione e la gestione del campo coltivato dipendono dall'attività dell'uomo agricoltore, ma sono fortemente orientate dal mercato e dalla politica agricola, che condizionano le decisioni relative alla organizzazione della produzione, alle scelte colturali e alle soluzioni tecniche (intensità degli input e degli output).

In precedenza, spesso, non si era dato grande peso al prezzo d'uso dei beni naturali; in alcuni casi, questa mancanza di sensibilità è stata una deprecabile caratteristica della seconda metà di questo secolo, ed è stata provocata da fattori sociali ed economici (la cui trattazione tralasciamo), sottovalutando, o più semplicemente ignorando, i molteplici rischi che possono correre i beni naturali a seguito di alcune pratiche agricole non corrette: perdita e contaminazione delle risorse idriche superficiali e/o sotterranee, erosione, compattamento del suolo, inquinamento atmosferico, riduzione degli habitat naturali con conseguente diminuzione o estinzione di alcune specie viventi, abbattimento della produttività di aree territoriali fragili. Inoltre nei paesi ad economia avanzata negli ultimi decenni si è sviluppata una generale tendenza verso la specializzazione dei sistemi agricoli; in tal maniera vaste aree hanno assunto le caratteristiche di uniformità colturale proprie della gestione monocolturale.

All'origine di questi squilibri, attuali o potenziali, molti autori pongono alcuni interventi colturali o agronomici, considerati frequentemente come pericolosamente monotoni nel tempo e nello spazio: le scelte varietali, la successione e ripartizione delle colture, i trattamenti fitosanitari, le date e modalità di semina, le tecniche di lavorazione del suolo, etc.

Peraltro, definiti e attuati in una prospettiva limitata all'unità colturale o all'annata, contingentemente cioè e non nell'ambito di un sistema di coltivazione, questi interventi non tengono sufficientemente conto di eventuali effetti cumulativi nefasti a medio termine né delle interazioni spaziali suscettibili di intervenire a livello di ripartizione colturale aziendale e di zona (Monnier, 1986).

Anche nell'ambito agricolo, negli ultimi anni, è nata e si va affermando una nuova sensibilità ai temi di carattere ambientale; l'interesse suscitato per tale tematica ha assunto proporzioni sempre più vaste, tanto che è possibile affermare che uno degli obiettivi primari della ricerca agronomica del prossimo futuro sarà quello di individuare pratiche agricole in grado di conciliare gli aspetti produttivi con quelli della salvaguardia delle risorse naturali; in altre parole produrre senza inquinare, salvaguardando la convenienza economica.



L'attuale dibattito culturale e scientifico ha condotto ad una convergenza di opinioni verso la definizione di concetti guida di forme di agricoltura "sostenibili" che possano essere praticate con vantaggio nelle diverse realtà territoriali.

La Società Americana di Agronomia (ASA) definisce l'agricoltura ecocompatibile come "quell'agricoltura che nel lungo termine:

- 1) migliora la qualità dell'ambiente e le risorse sulle quali si basa;
- 2) fornisce cibo e fibre per le necessità umane;
- 3) è economicamente valida;
- 4) migliora la qualità di vita per gli agricoltori e della società nel suo complesso" (Weil, 1991).

Questa definizione coglie integralmente il significato e gli obiettivi di quello che si può definire il modello ideale di agricoltura condiviso sia dagli agronomi (York, 1991) che dagli ecologi (Crews *et al.*, 1991; Edwards *et al.*, 1993).

Secondo Wagstaff (1987) gli agro-ecosistemi, per similitudine con gli ecosistemi naturali, dovrebbero essere fondati sull'uso integrale delle risorse native, sul completo riciclo della materia e sulla promozione della biodiversità ciò al fine di migliorarne l'efficienza, l'autonomia, e la stabilità riducendo al contempo gli input energetici esterni all'agricoltura che sono i fattori primari dell'impatto negativo della pratica agricola sull'ambiente.

Secondo Squires (1991), l'applicabilità e la diffusione di sistemi agricoli ecocompatibili presuppone che gli stessi presentino alcune qualità che possono così essere sintetizzate: produttività, economicità, flessibilità, stabilità, adottabilità e sostenibilità.

La produttività deve necessariamente raggiungere un adeguato livello qualitativo; essa è pertanto un obiettivo primario per cui il sistema agricolo è costruito al fine di sostenere la catena trofica finalizzata all'alimentazione umana.

L'economicità è connessa al livello di soddisfacimento delle necessità dell'imprenditore e all'entità dei capitali forniti, dedotti gli elementi di costo, da destinare ai re-investimenti.

La flessibilità è data dalla suscettività del sistema di tollerare cambiamenti nelle sue componenti (ad esempio colture in avvicendamento) senza per questo subire gravi scombussolamenti. Tale caratteristica assume particolare importanza dati i cambiamenti che si registrano con frequenza nelle condizioni di mercato, nella legislazione agricola e nell'ambito delle innovazioni genetiche e delle tecnologie agronomiche.

Per stabilità si intende l'attitudine del sistema a minimizzare gli effetti delle variazioni climatiche, del comportamento biologico delle colture e dei prezzi di mercato.

Ad esempio l'appropriata sequenza nel tempo e nello spazio di colture diverse può infatti contribuire a ridurre i rischi derivanti dalla variabilità dei prezzi di mercato grazie alla diversificazione colturale, a controllare i danni prodotti da parassiti attraverso l'interruzione dei cicli produttivi, al controllo delle specie infestanti, al mantenimento di un livello ottimale della fertilità del suolo, alla protezione del suolo contro l'erosione idrometeorica ed all'ottimizzazione dell'uso delle risorse aziendali.

L'adottabilità viene definita dalla disponibilità di appropriate infrastrutture e dall'adeguatezza della professionalità dell'imprenditore ai livelli di difficoltà tecnici e manageriali richiesti dal processo produttivo nonché dal soddisfacimento delle necessità personale ed, in generale, di vita dello stesso imprenditore.

Sostenibilità è l'attitudine a mantenere inalterate o a migliorare nel lungo periodo, le caratteristiche fisiche e biologiche delle risorse naturali e quelle economiche del sistema.

Essa si fonda sulla diversificazione delle colture, valorizzando il germoplasma idoneo ad adattarsi alle diverse nicchie esistenti, sull'adozione di razionali pratiche di rotazioni, sull'applicazione di tecniche agronomiche adeguate alle risorse di base nonché sull'adeguamento delle infrastrutture aziendali per massimizzare l'impiego degli input interni e mantenere invariato il livello produttivo nel lungo periodo.

Una strategia globale per l'agricoltura ecocompatibile presuppone un approccio che mira da una parte a sostituire nel processo produttivo gli input potenzialmente pericolosi come fitofarmaci, fertilizzanti chimici, ormoni, antibiotici, ecc., dall'altra a mantenere entro e tra le aziende una biodiversità sufficiente a creare le condizioni preventive per il controllo biologico delle erbe infestanti, delle malattie e dei parassiti delle colture.

La misura della produttività, quindi, dato che il sistema produttivo è attivato da input, non riguarda soltanto gli output asportabili dal sistema, ma anche l'efficienza di trasformazione degli uni negli altri. Pertanto, seguendo tale logica, un sistema sarà provvisto di buone caratteristiche di ecocompatibilità soltanto allorquando:

- a) riuscirà ad esprimere rese elevate utilizzando bassa intensità energetica (bassi input di energia esterna per unità di output);
- b) riuscirà a mantenere integri nel tempo i meccanismi di produzione (es. la fertilità del suolo) o di difesa (controllo biologico delle infestanti, fitofagi e fitopatie).

#### **1.4 - La sostenibilità dell'agro-ecosistema**

Per tradurre il concetto di agricoltura sostenibile in prassi è necessario compiere una preliminare operazione scientifico-culturale, che consiste nell'applicare l'approccio ecologico (cioè lo studio del sistema e non solo delle sue parti) all'esercizio dell'agricoltura, interpretando l'azienda agraria come ecosistema (Caporali, 1991). Brussaard et al. (2007) hanno schematizzato le relazioni che intercorrono tra le componenti di un agro-ecosistema e che descrivono la sua sostenibilità (figura 1.1) Safley (1998), descrivendo un sistema di produzione sostenibile, fornisce alcuni concetti chiave per lo sviluppo di tale tipo di sistema, quali: diversificazione della produzione, mantenimento della qualità del suolo e del regime idrico tramite una gestione appropriata, variazione del piano aziendale in base ai cambiamenti interni ed esterni per migliorare l'adattabilità del sistema.

L'agricoltura industriale degli ultimi decenni in realtà ha mostrato impianti di produzione sempre più intensificati a spese del sistema stesso, della diversità e della qualità ambientale (Kleijn e Verbeek, 2000; Tilman et al., 2001; Robertson e Swinton, 2005).

Molti autori affermano inoltre che le relazioni che intercorrono tra la diversità specifica delle produzioni e le funzioni del sistema hanno implicazioni notevoli in un'agricoltura economicamente ed ecologicamente sostenibile (Liebman e Davis, 2000; Mader et al., 2002; Smith et al, 2008), dunque la conversione della produzione in agricoltura industriale mediante l'uso della monocoltura ha ridotto il potenziale di interazione tra specie e conseguentemente la regolazione del ciclo dei nutrienti.

Gli impatti ambientali, associati a massicci input di fertilizzanti e pesticidi hanno portato alla discussione sulla sostenibilità delle pratiche agricole convenzionali e sul necessario cambio di rotta della gestione per poter mantenere la produzione minimizzando allo stesso tempo la richiesta di inputs esterni (Hill et al, 2006).

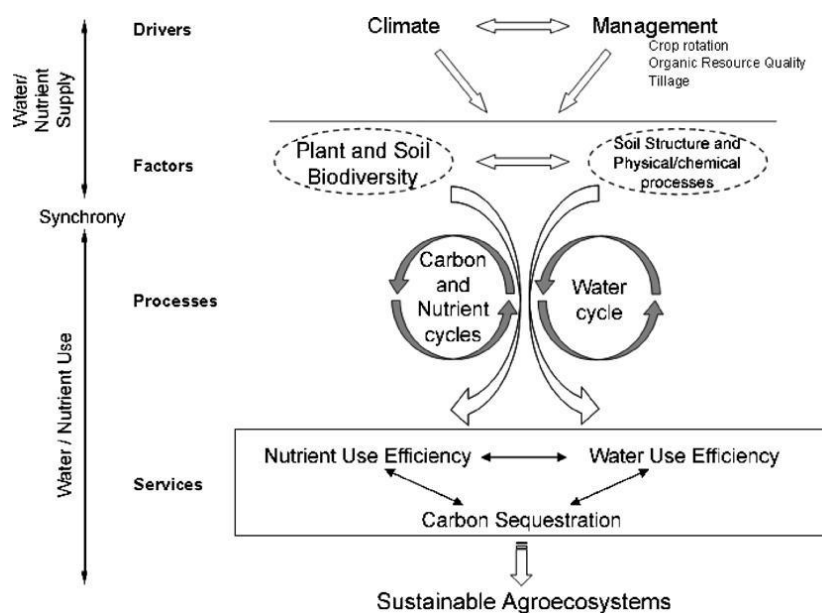


Figura 1.1 - Diagramma concettuale delle relazioni tra gestione, biodiversità vegetale e del suolo, struttura del suolo ed efficienza nell'uso di acqua e nutrienti in un ecosistema (modificato da Brussaard et al., 2007).

## 1.5 - Bilancio dei nutrienti e avvicendamenti colturali

Le pratiche di concimazione apportano gli elementi nutritivi necessari allo sviluppo delle colture e all'ottenimento delle produzioni desiderate. La rimozione dal campo del prodotto utile e dei nutrienti ivi contenuti alla fine di ogni ciclo crea un gap nutritivo che l'agro-ecosistema non arriva normalmente a colmare attraverso gli apporti naturali.

Il bilancio tra input nutritivi, naturali e apportati dall'uomo, ed output colturali o di diversa natura (perdite), assume particolare rilievo nel quadro di un'agricoltura sempre più volta a coniugare la finalità produttiva con l'impegno sul fronte del rispetto ambientale. Tracciare un bilancio nutritivo nell'arco di un avvicendamento colturale presenta diversi pregi rispetto a stime che interessano la singola coltura: è infatti più facile osservare tendenze che si

manifestano più facilmente nell'arco di più annate, anziché di una sola. Inoltre, si può così rappresentare il comportamento medio dei seminativi rotazionali in una determinata zona. All'interno dell'avvicendamento, è poi possibile valutare il contributo di ciascuna coltura al bilancio complessivo, evidenziando i punti critici sotto il profilo agronomico e ambientale. Infine, il complesso dell'avvicendamento esprime interazioni tra le colture e con l'ambiente di coltivazione, che lo studio nella singola coltura non arriva a rappresentare e, quindi, a spiegare. Esiste, poi, una distinzione fondamentale tra bilanci reali, che prevedono la misura o la stima di tutte le voci di entrata e di uscita di uno specifico nutriente rispetto al sistema pianta, e bilanci apparenti, che risultano in pratica dalla differenza tra input fertilizzanti ed output colturali. Nel caso dell'azoto, le differenze possono essere anche notevoli, in ragione dell'estrema mobilità del nutriente e della sua presenza, sia come input che come output, nei tre comparti dell'atmosfera, del suolo e delle acque. Nel caso degli altri elementi, le differenze sono generalmente più sfumate. Per tutti i nutrienti i bilanci apparenti rivestono, nondimeno, spiccata importanza: attraverso la loro stima, sono infatti possibili confronti tra scelte di fattori produttivi e tra diversi livelli al loro interno, a prescindere dal ruolo giocato dall'ambiente di coltivazione. Deriva da questo genere di confronti un giudizio sulla rispondenza dei fattori in esame ai molteplici obiettivi perseguiti. Alcuni esempi tratti dalla letteratura illustrano questi concetti. Nella prima esperienza citata (Venturi et al., 1994), compiuta nell'arco di un settennio terminato nel 1990 nel basso ferrarese, una riduzione del 9% dell'apporto di azoto e del 45% di fosforo non ha inciso negativamente sulla produzione delle colture, che ha, anzi, tratto talvolta beneficio dalla riduzione dei surplus nutritivi, e si è ripercossa modestamente sull'alta dotazione di P assimilabile del terreno.

La seconda esperienza citata (Giardini et al., 1999) ha visto il confronto, all'interno di rotazioni sessennale, quadriennale, biennale e due monosuccessioni, tra programmi di fertilizzazione minerale e organica, in prove di lunga durata nella pianura padovana, esaminate nel lasso di tempo dal 1991 al 1996. I bilanci apparenti dell'azoto e del fosforo sono risultati sempre negativi ( $\text{input} < \text{output}$ ) in assenza di concimazione minerale e a prescindere dall'apporto

o meno di fertilizzanti organici (reflui zootecnici), con l'unica eccezione del fosforo in rotazioni strette con apporto di liquame. Con il livello "medio" della concimazione minerale (N/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/K<sub>2</sub>O pari a 70/70/90 kg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>), il bilancio rimane ancora leggermente negativo per l'azoto, mentre diviene positivo per il fosforo. Infine, con il livello doppio di concimazione minerale il surplus nutritivo appare manifesto, soprattutto nel caso del fosforo. L'effetto sulla produzione delle colture ha fatto sì che la redditività delle rotazioni più larghe (sessennale e quadriennale) sia stata ottimizzata dalla concimazione minerale media, con possibile contributo da parte della fertilizzazione organica. Nelle rotazioni più strette (biennale e le due monosuccessioni), a causa delle più sfavorevoli condizioni agronomiche la sola concimazione minerale media si è dimostrata insufficiente a raggiungere l'optimum produttivo, rendendo economicamente vantaggioso il ricorso a dosi doppie o, in alternativa, all'integrazione della fertilizzazione organica. Il terzo esempio citato (Giardini et al., 1997) riguarda prove di sistema colturale a scala aziendale: due sistemi, "soft ambientale" e "produttivo tradizionale" sono stati confrontati in un avvicendamento sessennale nel Veneto orientale. Oltre al livello di concimazione minerale, altre tecniche (lavorazioni terreno, colture non-food nel set-aside, ricorso alle cover crops) caratterizzavano diversamente i due sistemi. Il bilancio nutritivo apparente ha dimostrato il minore spreco nutrizionale del primo, meno intensivo sistema colturale, rispetto al secondo. Viceversa, il margine economico al netto dei costi ha mostrato una certa supremazia nell'arco delle sei colture del sistema più intensivo (circa 10%), ma che deriva dal complesso delle differenze tra i due, non solo dal minor apporto nutrizionale, e che sembra legato soprattutto a difficoltà incontrate nell'impianto del mais dopo set-aside per effetto della cover crop, presente solo nel sistema "soft ambientale" (-38%). L'interesse suscitato da questi e da altri esempi reperibili in letteratura motiva la possibilità di simulare bilanci previsionali a partire dai seguenti elementi: scelta dell'avvicendamento colturale; definizione degli input nutritivi (minerali e organici); stima dell'obiettivo di produzione e delle prevedibili asportazioni, in base alle concentrazioni di N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O di prodotto e residui, e al destino di questi ultimi. Le operazioni di calcolo possono essere facilitate dall'uso di un

semplice software basato su Excel, che racchiude gli elementi necessari e permette l'input dei fattori variabili. Per ogni coltura si ottiene il bilancio nutritivo che è possibile comporre in somma algebrica nel complesso della rotazione. Naturalmente questo non rappresenta il punto più avanzato delle conoscenze sull'argomento, ma semplicemente un supporto ai ragionamenti e alle decisioni da prendere in materia di nutrizione vegetale.

### **1.6 - Precessione colturale ed effetti residui**

Numerosi studi hanno dimostrato che l'inserimento di specie leguminose annuali negli avvicendamenti colturali determina degli incrementi nelle rese e nell'assorbimento di N della coltura cerealicola in successione rispetto alla pratica della monocoltura (De et al., 1983; Yadvinder-Singh et al., 1991; Bullied et al., 2002; Evans et al., 2003b).

Fattori agronomici, quali la scelta delle specie, la tipologia di utilizzazione, nonché la modalità di gestione dei residui e l'interazione con i fattori ambientali influenzano l'entità delle risposte delle colture in successione. In uno studio ripetuto per due anni condotto a Manitoba in Canada, Bullied et al. (2002) riportano incrementi medi produttivi pari al 73% per il frumento in successione a cicerchia e lenticchia, entrambe gestite come sovescio, rispetto al controllo rappresentato dalla rotazione colza-frumento, e, sempre in rapporto al medesimo controllo, incrementi del 24-67% e 15-42% per il frumento in successione a differenti varietà rispettivamente di erba medica gestita come Coltura annuale e di due specie di trifogli (alessandrino e pratense), gestite per la produzione di fieno (2 tagli). Similmente, il frumento in successione a leguminose ha mostrato incrementi nel contenuto di N totale rispetto al controllo compresi tra 105-144%, 72-76% e 19-69%, rispettivamente per la gestione a sovescio, fieno di medica e di trifoglio, mantenendo analoghi andamenti per l'accumulo di N nella granella. Le risposte colturali ottenibili con il metodo per differenza dipendono ovviamente dalla scelta del sistema di "riferimento" per effettuare raffronti (Chalk, 1998). Ad esempio Bullied et al. (2002) hanno osservato simili risposte o contenuti incrementi nel frumento in successione alle leguminose succitate rispetto al maggese. In una sperimentazione di medio termine (3 anni) condotta nel sud est dell'Australia, Evans et al. (2003b) hanno messo a confronto gli effetti residui di specie leguminose foraggere annuali

(veccia, miscuglio di trifogli), sottoposte a diverse modalità di gestione (sovescio, fieno, insilato) e di leguminose da granella (pisello, lupino), (il pisello è stato gestito anche per la produzione d'insilato) sul frumento in successione rispetto alla monocoltura di frumento. Nella media del triennio sono stati osservati incrementi produttivi compresi tra 0,18- 4,36 t ha<sup>-1</sup> rispetto alla monocoltura di frumento, con vantaggi più consistenti nelle precessioni a sovescio, le quali tuttavia non si sono differenziate in modo apprezzabile dalla precessione con il miscuglio di trifogli destinato sia per la produzione di fieno sia di insilato.

Tale risultato è imputabile alla capacità di ricaccio dei trifogli, che hanno dunque fornito elevati quantitativi di biomassa residua rispetto alla veccia o al pisello, anche dopo i rispettivi tagli. È interessante notare che gli effetti residui possono essere osservati anche sulla seconda coltura in successione, sebbene siano piuttosto contenuti (Senaratne e Hardarson, 1988; Bullied et al, 2002; Evans et al., 2003b), non solo per una minore disponibilità di nutrienti ma probabilmente a causa di altri fattori che possono incidere negativamente sulle performance colturali (ad es. malattie) (Evans et al., 2003b). Sfavorevoli andamenti climatici che si verificano nell'anno di crescita della leguminosa o della coltura in successione possono mascherare i vantaggi offerti dal precedente colturale. Ad esempio Evans et al. (2003a,b) osservano come le scarse precipitazioni in uno dei tre anni di valutazione dell'effetto residuo, abbiano ridotto le risposte del frumento in successione al miscuglio di trifogli per la produzione di scorte foraggere, a causa dell'eccessivo depauperamento delle risorse idriche del suolo da parte di queste ultime rispetto alle altre colture e modalità di gestione. Analogamente Schulz et al. (1999a,b) riportano come in Nepal, in una sperimentazione replicata per due anni, l'eccessiva piovosità, al secondo anno, durante le prime fasi di sviluppo di diverse specie leguminose, abbia influenzato negativamente le performance di lenticchia e pisello, maggiormente suscettibili al ristagno idrico rispetto alle altre specie, riducendo di conseguenza i vantaggi produttivi indotti da tali precedenti colturali sul riso in successione rispetto alle altre specie leguminose.

Gli effetti stagionali, vanno comunque distinti da quelli che possiamo considerare "vincoli" ambientali, e che possono seriamente limitare qualsiasi vantaggio ottenibile con l'inserimento di leguminose negli avvicendamenti colturali, in particolare nelle zone aride o semi-aride del pianeta, dove la necessità di preservare le risorse idriche impone seri limiti nella scelta degli avvicendamenti da attuare. Ad esempio, in uno studio di 5 anni condotto in



Kansas (USA), nella zona delle Grandi Pianure centrali, Schlegel e Havlin (1997) hanno osservato decrementi produttivi compresi tra il 42 e 83% nel frumento in successione a veccia (*Vicia villosa* Roth) rispetto alla classica rotazione frumento-maggesi.

### 1.6.1 - Fattori dai quali dipendono gli effetti residui

Per lungo tempo si è ritenuto che i benefici offerti da specie leguminose alle colture in successione fossero legati esclusivamente all'aumento delle disponibilità azotate nel suolo (*N benefits*), grazie alla loro capacità di instaurare rapporti simbiotici con batteri azotofissatori del suolo (*Rhizobium* spp.) e di accumulare notevoli quantità di N rispetto a specie non-leguminose (Sutherland et al., 1961, Baldock e Musgrave, 1980; Rowland et al., 1988).

I *N benefits* sono stati stimati da molti autori confrontando le risposte produttive, mediante curve di regressione, di un cereale in successione a leguminose ed in monocoltura al variare del livello di concimazione azotata applicato. La quantità di fertilizzante N da somministrare al cereale in monocoltura per ottenere la stessa produzione del cereale in successione a leguminosa, in assenza di concimazione, viene definito *N fertilizer equivalence* (NFE) o *fertilizer replacement value* (FRV) (Clegg, 1982). I valori di FRV riportati in letteratura per le specie foraggere annuali variano da 20 a 150 kg N ha<sup>-1</sup>, in funzione della specie, modalità di gestione e ambiente di coltivazione. I principali svantaggi del metodo sono rappresentati dal costo e dalla laboriosità, oltre al fatto di non fornire indicazioni sulle possibili sorgenti di N e di sovrastimare i *N benefits* (Chalk, 1998, Bullock, 1992). Esistono infatti altri meccanismi che possono spiegare i vantaggi offerti dalle leguminose. Ad esempio, Rowland et al. (1988) hanno osservato che, raffrontando gli andamenti produttivi di un cereale in successione a leguminose e a non-leguminose, al variare della dose di fertilizzante azotato somministrato, è possibile capire se il contributo delle leguminose è attribuibile interamente a *N benefits* o ad altri fattori, anche detti *non N benefits*.

Tali autori hanno individuato 3 possibili tipologie di risposte: a) curve parallele, indicano che gran parte delle risposte sono imputabili a non-N benefits; b) curve convergenti ma che non si intersecano, indicano N e non-N benefits; c) curve che si intersecano, indicano risposte imputabili esclusivamente a N benefits (Fig. 1.2).

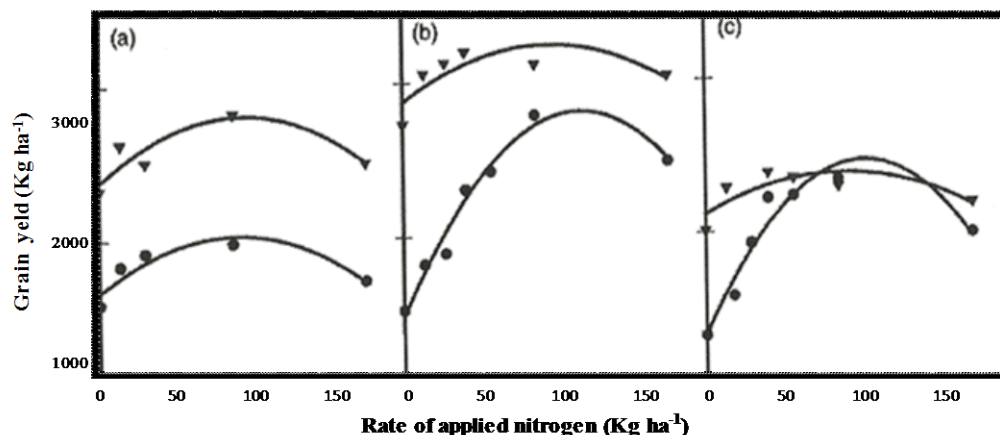


Fig. 1.2 – Risposta produttiva del frumento all'incremento della dose di fertilizzante azotato in colture in successione a frumento (●) o lupino (▲) in Australia occidentale a (a) Bunjil 1984, (b) Pinjaring 1984, e (c) Pinjaring 1983. Mod. da Rowland et al. (1988).

## 1.7 – L'Azoto e le sue funzioni

L'azoto entra nella composizione delle piante in una proporzione che, rapportata al peso secco, è dell'ordine dello 0,5-3% nei tessuti maturi, mentre è più alta (5-6%) nei tessuti giovani. Anche se queste percentuali possono sembrare modeste, l'azoto è l'elemento più rappresentato dopo C, O ed H, e comunque svolge funzioni di straordinaria importanza per la vita dei vegetali e quindi per tutta la biosfera.

Esso entra a far parte di vari composti organici quali proteine, aminoacidi, amidi, vitamine, ormoni, alcaloidi e clorofilla; entra negli anelli eterociclici dell'istidina, imidazolo e pirrolo e, in forma ridotta, partecipa alla formazione di legami H con altri nucleofili, dando così un contributo allo sviluppo della struttura secondaria e terziaria di molecole come proteine e il DNA. Prende parte anche a numerose reazioni enzimatiche come base di Schiff e si trova

nelle molecole di NAD (Alpi, 1992). Ha un ruolo fondamentale nella sintesi degli zuccheri e in molte reazioni che coinvolgono l'utilizzazione del saccarosio come fonte di energia per la crescita delle piante (Zinati *et al.*, 2001). Nel frumento, la disponibilità di azoto nel suolo è importante durante le fasi fenologiche di accostamento, allungamento dei culmi e riempimento delle cariossidi, richiedendo quantità maggiori durante le fasi di levata ed in coincidenza delle prime fasi di formazione delle cariossidi.

È noto che in pre-antesi, l'assorbimento di N nei cereali vernini è pari al 75-90% dell'azoto totale nella pianta alla raccolta (Austin *et al.*, 1976; Spiertz, 1978; Heitholt *et al.*, 1990) e che nelle condizioni di alta fertilità del suolo, perfino in post-antesi, l'assorbimento è importante perché positivamente correlato al contenuto di proteine nel seme e *all'harvest index* (Perez *et al.*, 1983). La disponibilità di N favorisce il ricambio delle proteine enzimatiche e ritarda la senescenza dell'apparato fogliare, determinando una maggiore durata dell'assimilazione (Toderi e D'Antuono, 2000).

L'azoto ha un effetto diretto sull'espansione fogliare con conseguente aumento della superficie fotosintetizzante. Nel frumento, ottimali disponibilità di questo elemento inducono un maggiore accostamento, una minore mortalità dei culmi ed una più elevata fertilità della spiga. Una sufficiente disponibilità dell'elemento migliora lo sviluppo del sistema radicale e ciò acquista particolare importanza nell'assorbimento dell'acqua e dei nutrienti, soprattutto in condizioni di carenza (Fageria, 1992). Yoshida (1972) riferisce il ruolo svolto dall'azoto nel mantenere l'attività di fotosintesi durante il periodo di granigione, attività di importanza fondamentale per ottenere elevate rese.

### **1.7.1 – La concimazione azotata**

La nutrizione minerale è uno degli aspetti dell'agrotecnica in grado di influire maggiormente sulla produttività delle colture. L'azoto occupa una posizione unica tra i nutrienti in quanto è richiesto in grande quantità ed è facilmente allontanato dall'agro-ecosistema.

Alla luce di ciò, migliorare l'efficienza d'uso dell'azoto, e pertanto ridurre la quantità di concimi somministrati alle colture può sicuramente contribuire in maniera marcata alla conservazione della qualità dell'atmosfera e della idrosfera (Shoji *et al.*, 2001). L'agricoltura moderna necessita di pratiche agricole efficienti, sostenibili ed ecocompatibili. A tal fine, incrementare la

produzione areica delle colture attraverso adeguate pratiche di management dell'azoto è divenuto una componente essenziale delle moderne tecniche di produzione (Fageria e Barbosa Filho, 2001). L'adozione di razionali strategie di fertilizzazione azotata influisce sul bilancio tra l'azoto richiesto per una produzione ottimale e i rilasci ambientali (Fageria et al., 2003a). Come accennato, l'azoto è uno tra i nutrienti più importanti per le funzioni che espleta nella crescita e nello sviluppo delle colture: esso è infatti contenuto nelle proteine, negli acidi nucleici, nella clorofilla, negli alcaloidi ed in altri importanti composti. Esso ha la capacità di migliorare lo sviluppo dell'apparato radicale e quindi aumentarne la capacità d'assorbimento di acqua e nutrienti, soprattutto quando la pianta si trova in condizioni di stress (Fageria, 1992). Eghball et al. (1993) hanno riscontrato come una mancanza di azoto nel mais riduca le ramificazioni delle radici. Similmente, Costa (2002) comparando piante di mais trattate con azoto con altre non fertilizzate, ha notato nelle prime una maggiore lunghezza delle radici ed una maggiore espansione. Kaspar et al. (1991) inoltre hanno riscontrato che le radici di piante di mais si disponevano nel terreno soprattutto negli strati fertilizzati, mostrando peraltro un maggiore numero di ramificazioni. Diversi autori hanno dimostrato come le piante di mais fertilizzate con azoto siano più resistenti agli attacchi delle larve della radice *Diabrotica barberi* (Riedell et al., 1996; Spike e Tollefson, 1988). Questi autori riportarono che la tolleranza ai danni arrecati dalle larve sia da ricondurre al maggiore sviluppo del sistema radicale e alla migliore resistenza all'allettamento del culmo. La carenza del nutriente comporta riduzioni dell'attività metabolica della pianta e quindi riduzione di crescita (Robson e Snowball, 1986), senescenza prematura, ingiallimento delle foglie, riduzione dell'accestimento nei cereali, riduzione dei baccelli nei legumi e, in ultima analisi, riduzione della biomassa raccogliabile (McConnel et al., 1995; Grundon, 1987). Inoltre la scarsa disponibilità del nutriente genera una riduzione della lunghezza del ciclo colturale, soprattutto a discapito della fase riproduttiva (Gerik et al., 1994; Tewolde e Fernandez, 1997). L'azoto è altamente mobile nella pianta, la sua deficienza si manifesta prima nelle foglie più vecchie. Nel caso in cui la mancanza di azoto sia persistente nel tempo le foglie più vecchie disseccano e cadono. Inoltre, quando la carenza azotata è prolungata, si assiste ad una riduzione dell'indice di area fogliare e di durata fogliare, i quali inducono una più bassa intercettazione ed efficienza di utilizzazione della radiazione e una minore entità della fotosintesi (Barbieri et al., 2000; Fageria et al., 2003a; Muchow, 1988; Sinclair e Horie, 1989; Uhart e Andrade, 1995). La carenza di

azoto nelle piante induce la produzione di cariossidi povere di proteine e bianconate.

Yohida (1972) ha riportato che l'azoto ha la funzione di mantenere l'attività fotosintetica soprattutto durante la fase di riempimento delle cariossidi. La deficienza di azoto è più marcata nei suoli carenti in sostanza organica, nei suoli sabbiosi, in quelli soggetti a forti piogge o eccessivamente irrigati e in quelli che sono intensamente coltivati, senza reintegrare le asportazioni. Al contrario, un'eccessiva disponibilità di azoto risulta comunque controproducente in quanto, stimolando una maggiore crescita vegetativa, ritarda la fase riproduttiva e quindi rimanda la maturazione commerciale del raccolto, lo rende suscettibile agli attacchi parassitari ed aumenta la traspirazione (Howard, 2001).

### **1.7.2 - Efficienza d'uso dell'azoto**

L'efficienza d'uso dell'azoto (*NUE, nitrogen use efficiency*) rappresenta la capacità di una coltura di utilizzare l'azoto nel terreno e convertirlo in produzione utile; la determinazione della NUE consente una valutazione del grado di ecosostenibilità dei sistemi agricoli in quanto dà percezione dell'ammontare di fertilizzante somministrato non utilizzato dalle piante e quindi potenzialmente soggetto a fenomeni di deriva ambientale. Moll et al. (1982) calcolano la NUE come il rapporto tra la produzione granellare e la quantità di azoto presente nel suolo.

Ad ogni modo esistono altre metodologie di calcolo in letteratura, che permettono di stimare l'efficienza agronomica, fisiologica, agro-fisiologica, di recupero ed utilizzazione (Fageria e Baligar, 2001; Santos et al., 2003). Pierce e Rice (1988) suddividono la NUE come: NUpE - (nitrogen uptake efficiency) efficienza di assorbimento dell'azoto, indica la quantità di azoto che viene prelevato in rapporto a quello potenzialmente disponibile; NUtE - (nitrogen utilization efficiency) efficienza di utilizzazione dell'azoto, rappresenta la capacità della pianta di trasformare l'azoto asportato in produzione utile (granella). L'efficienza d'uso dell'azoto viene calcolata utilizzando come elemento base la sua disponibilità potenziale, data dalla somma della quota di azoto assorbito dalla coltura in assenza di concimazione, dell'azoto residuo nel suolo a fine ciclo e della dose di fertilizzante somministrata in una omologa coltura concimata.

Tale metodologia di calcolo ovviamente può condurre ad una sottostima delle reali disponibilità in quanto non considera le perdite dell'elemento e la quota organicata dai microrganismi. Altre indici di efficienza sono stati elaborati tra cui: NHI - Nitrogen Harvest Index, indica il rapporto tra l'azoto presente nella granella e quello complessivamente assorbito dalla pianta; NPE - Nitrogen Physiological Efficiency, rappresenta le variazioni delle rese indotte dall'incremento delle asportazioni azotate; NAE - Nitrogen Agronomic Efficiency, indica gli incrementi di resa che si registrano per ogni unità di fertilizzante azotato somministrato; NRF - Nitrogen apparent Recovery Fraction, misura l'incremento di azoto assorbito per unità di azoto che viene somministrato con la concimazione.

Secondo calcoli realizzati da Raun e Johnson (1999) su base mondiale solo il 33% dell'azoto applicato alle colture agrarie, ed in particolare ai cereali, viene in media trasferito alla granella; pertanto gli stessi autori evidenziano come le perdite a cui può andare incontro l'elemento possono essere in molti casi consistenti. Tuttavia i dati reperibili in letteratura evidenziano un'ampia variabilità nei valori di efficienza d'uso dell'azoto in rapporto al precedente colturale ed alle modalità di gestione del suolo (differenza tra regime sodivo ed arativo) (López-Bellido e López-Bellido, 2001), al variare dei genotipi (Paponov et al., 1996), in relazione alle dosi di fertilizzante somministrato ed alle modalità di distribuzione, al tipo di suolo, alle condizioni meteorologiche (Lopez Bellido et al., 2005) e della specie coltivata (Kanampiu e Raun, 2004). Analoga variabilità è riscontrabile in letteratura relativamente ai rilasci dell'elemento. Secondo Aulakh et al. (1982), le perdite dovute a denitrificazione ma possono raddoppiare se i residui colturali vengono interrati o se si applicano dei sistemi di gestione del suolo di tipo conservativo (Aulakh et al., 1984). Altre ricerche hanno stimato le perdite di azoto in sistemi cerealicoli pari approssimativamente al 20-50% e sono attribuite ad una serie di effetti combinati fra loro come per esempio la denitrificazione, la volatilizzazione, la lisciviazione (Franchis et al., 1993; Olson e Swallow, 1984; Karlen et al., 1996; Wienhold et al., 1995). Quando l'urea viene applicata e successivamente non interrata subisce una perdita di azoto sottoforma di ammoniacca anche del 40%. Questo valore aumenta con le temperature, al crescere del pH del suolo e dei residui presenti sulla superficie (Fowler e Brydon, 1989; Hargrove et al., 1977). Inoltre quando il fertilizzante è applicato in eccesso rispetto a quello effettivamente necessario alla coltura si assiste a grandi perdite per lisciviazione (Olson e Swallow, 1984; Raun e Johnson, 1995).

### 1.7.3 - Fattori dell'agrotecnica che aumentano l'efficienza d'uso dell'azoto

Allo scopo di aumentare la NUE vengono adottate pratiche colturali, sia convenzionali che non, in grado di aumentare l'assorbimento dell'azoto da parte delle colture e di contrastare le perdite dal sistema pianta-suolo. Il frumento mostra un'alta efficienza d'uso dell'azoto in successione ad una leguminosa rispetto alla monocoltura cerealicola (Badaruddin e Meyer, 1994).

Kolberg et al. (1996) hanno rilevato come l'adozione di razionali avvicendamenti migliori l'efficienza di utilizzazione dell'azoto, consentendo di realizzare incrementi di resa pari al 70% circa a fronte di aumenti della dose di fertilizzante azotato somministrato del 44%. L'efficienza d'uso dell'azoto varia anche a seconda del genotipo utilizzato, come anche rilevato da Moll et al. (1982) in diversi genotipi di mais allevati in condizioni di bassa disponibilità azotata. Inoltre, Pan et al. (1984) hanno riscontrato che i genotipi di mais più produttivi incrementavano la NUE qualora dopo l'antesi veniva somministrato un quarto dell'azoto complessivo sottoforma ammoniacale. Nella fattispecie, i risultati ottenuti dai suddetti autori sono spiegati dal diverso costo di assorbimento dello ione nitrico e dello ione ammoniacale nel mais, il quale, secondo Salsac et al. (1987) è di 20 ATP per mole  $\text{NO}_3$  contro soli 5 ATP per mole  $\text{NH}_4$ .

Similmente, nel frumento, Kanampiu et al. (1997) hanno riscontrato una NUE più elevata e ridotte perdite di azoto in varietà con alto *Harvest Index* (HI, grano prodotto sul totale della biomassa secca) allevate in successione ad una foraggera. Karrou e Maranville (1993) hanno rilevato, in ambienti aridi, una bassa NUE in alcuni genotipi di grano, sebbene questi avessero accumulato grandi quantità di azoto negli stadi giovanili; d'altra parte è noto che l'azoto stimola l'attività vegetativa e ciò può rappresentare uno svantaggio in ambienti caratterizzati da limitate disponibilità idriche in quanto l'eccessivo depauperamento delle risorse durante la fase vegetativa determina condizioni di stress più pronunciate durante la fase di granigione. Molte cultivar presentano ridotti valori di efficienza di utilizzazione dell'azoto in quanto selezionate in condizioni di elevati input di azoto (Kamprath et al., 1982; Earl e Ausubel, 1983) e ciò ha in parte mascherato le differenze tra i vari genotipi. Al-Darby e Lowery (1986) hanno rilevato che l'adozione dei sistemi conservativi di gestione del suolo in ambiente arido e semiarido, quali il no-tillage, determina un incremento dei valori della NUE a seguito della riduzione della perdite di acqua dal sistema.

L'adozione delle stesse tecniche in ambienti caratterizzati da maggiori piovosità ha condotto, al contrario, a riduzioni dell'efficienza di utilizzazioni dell'azoto, come riportato da Lòpez-Bellido e Lòpez-Bellido (2001), i quali attribuiscono tale risultato alla riduzione di resa ottenuta in regime sodivo. Come si intuisce dalla breve trattazione effettuata, molteplici soluzioni tecniche possono essere adottate per migliorare l'efficienza d'uso dell'azoto riconducibili a due differenti strategie: riduzione delle perdite dal sistema (es. rotazioni di graminacee con leguminose, tecniche di lavorazione ridotta, modalità di distribuzione del concime, etc.) e scelta di genotipi più produttivi.

### **1.8 - Obiettivi della ricerca**

Uno degli aspetti di maggiore importanza per i sistemi agricoli sostenibili è rappresentato dalla gestione della fertilità azotata (Hansen et al., 2000), in particolare nei sistemi cerealicoli autunno-vernini degli ambienti Mediterranei dove le frequenti piogge autunno-invernali abbinate a basse temperature determinano una notevole perdita di azoto assimilabile nel terreno riducendone la disponibilità per le colture.

Ad oggi sono diversi gli studi compiuti dalla ricerca con lo scopo di comprendere come i diversi aspetti dell'agrotecnica influenzino la capacità delle colture di utilizzare efficientemente l'azoto somministrato e più estesamente quello disponibile (Lopez-Bellido, e Lopez-Bellido, 2001; Delogu et al., 1998).

Una corretta gestione del terreno, presuppone la messa in atto di tecniche agronomiche che mirino a migliorarne e/o talvolta ripristinarne le funzioni di abitabilità e di nutrizione dei suoli agrari. In questa ottica il ruolo degli avvicendamenti colturali assume grande importanza nel mantenimento di un adeguato contenuto in nutrienti nel suolo e nella riduzione degli apporti nutrizionali chimici (Toderi et al. 1983; Lopez Bellido et al 2007). In riferimento alle specie cerealicole, una riduzione degli apporti azotati condurrebbe inoltre a minori rischi di deriva ambientale (Baldoni 2002, Bruno et al 2009).

Pertanto l'azoto rimane a tutt'oggi l'elemento al centro dell'interesse non solo per il ruolo che esso occupa nella produttività dei sistemi agricoli ma anche per i fenomeni di deriva, legati al massiccio impiego di fertilizzanti, in grado di innescare gravi processi inquinanti a carico dell'agro-ecosistema. La presente



ricerca affronta due problematiche agronomiche ancora oggi fondamentali per i sistemi cerealicoli degli ambienti semiaridi dell'Italia meridionale: l'avvicendamento colturale e la concimazione azotata, con le finalità di studiare il comportamento bio-agronomico e qualitativo e i parametri di efficienza dell'N di tre colture (frumento duro, tenero e orzo) al variare della precessione colturale (frumento duro, leguminosa da granella) e sottoposti a tre differenti livelli di concimazione azotata (0, 60 e 120 kg N ha<sup>-1</sup>). Inoltre, la ricerca, ha avuto lo scopo di fornire utili informazioni circa i ritmi di assorbimento, accumulo e ripartizione dell'azoto nelle diverse frazioni botaniche della pianta (lamine, culmi, infiorescenze) durante il ciclo colturale al fine di migliorare le conoscenze sull'efficacia della strategia di fertilizzazione azotata.

## Materiali e metodi

### 2.1 – Sito sperimentale

L'attività di sperimentazione è stata condotta nel biennio 2008/09 e 2009/10 presso l'Azienda Sperimentale "Sparacia" (37°38' N – 13°45' E - 400 m s.l.m.), sita nel territorio di Cammarata (AG), ricadente nel comprensorio collinare-basso montano dei Monti Sicani, ambiente tipico della cerealicoltura asciutta siciliana, base operativa per l'attività di sperimentazione del Dipartimento dei Sistemi Agro-Ambientali.

La prova si è svolta su un suolo a morfologia pianeggiante afferente all'ordine degli Inceptisuoli, al sottogruppo Vertic haploxerepts (Soil Survey Staff, 1999), ben strutturato, profondo, a tessitura argillosa, calcareo ed a reazione sub-alcalina, le cui principali caratteristiche fisico-chimiche sono riportate nella tabella 2.1.



*Tabella 2.1 - Principali caratteristiche chimico-fisiche del terreno sede del dispositivo sperimentale presso l'azienda Sparacia*

|   |                        |       |
|---|------------------------|-------|
| Argilla   | %                      | 37,94 |
| Limo  | %                      | 24,43 |
| Sabbia  | %                      | 37,63 |
| Reazione (pH)                                   |                        | 8,12  |
| Calcare totale                                  | %                      | 14,51 |
| Calcare attivo                                  | %                      | 7,22  |
| Sostanza organica (met. Walkley Black)          | %                      | 1,76  |
| N totale (met. Kjeldhal)                        | ‰                      | 0,98  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ass. (met. Olsen) | ‰                      | 0,019 |
| K <sub>2</sub> O scamb. (met. Dirks-Sheffer)    | ‰                      | 0,022 |
| Cloruri (NaCl)                                  | ‰                      | 0,016 |
| Sodio solubile                                  | ‰                      | 0,011 |
| Ferro solubile                                  | ‰                      | 0,008 |
| Magnesio  | ‰                      | 0,018 |
| Conducibilità elettrica (1:5)                   | (mS cm <sup>-1</sup> ) | 0,12  |
| C.S.C.  | (meq/100)              | 24    |

## 2.2 – Fattori allo studio e schema sperimentale

La ricerca è stata condotta nell'ambito di una prova di lunga durata impiantata nell'annata agraria 2004-2005 atta a valutare gli effetti del sistema colturale sulla produttività e qualità di tre specie cerealicole: frumento duro, frumento tenero e orzo. La presente ricerca ha avuto lo scopo di acquisire informazioni sulla risposta produttiva e qualitativa e sui parametri di efficienza dell'azoto delle tre specie cerealicole allevate in condizioni di disponibilità azotate diversificate e al variare del precedente colturale. In particolare, i trattamenti allo studio sono stati i seguenti:

### 1. Precessione colturale

- Frumento duro;
- Pisello proteico.

### 2. Fertilizzazione azotata

- N0 = nessuna distribuzione di fertilizzante azotato;
- N60 = sono stati distribuiti 30 unità fertilizzanti alla semina e 30 unità fertilizzanti in copertura (stadio di 3-4 foglie del cereale);
- N120 = sono stati distribuiti 60 unità di azoto alla semina e 60 unità fertilizzanti in copertura (stadio di 3-4 foglie del cereale).

### 3. Genotipo

- Grano duro, (cv. Simeto);
- Grano tenero, (cv. Palesio);
- Orzo, (cv. Dasio).

Lo schema sperimentale adottato è stato lo split-split-plot con 3 ripetizioni. Nelle parcelle principali erano previste le due precessioni colturali, frumento duro (tesi P-fru) e pisello proteico (tesi P-leg), nelle sub-parcelle i tre livelli di concimazione azotata (N0, N60 e N120 Kg N ha<sup>-1</sup>) e nelle sub-sub parcelle le tre specie cerealicole (grano duro, grano tenero, orzo).

## 2.3 – Gestione della prova

Il terreno sede della prova è stato arato superficialmente (25 cm) durante il periodo estivo; dopo le prime piogge autunnali sono state eseguite delle lavorazioni complementari (erpature) per controllare la flora infestante, interrare i concimi distribuiti e preparare un adeguato letto di semina.

Per quanto concerne la fertilizzazione, in pre-semina sono stati distribuiti 100 kg ha<sup>-1</sup> di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in tutte le parcelle; le unità di azoto nelle tesi N60 e N120 sono state distribuite secondo lo schema già descritto.

La semina, effettuata il 17 novembre 2008 e il 14 dicembre 2009 rispettivamente per il primo e il secondo anno di prova, ha previsto, per tutte le specie, la distribuzione di 350 semi germinabili m<sup>-2</sup> in parcelle elementari di 15 m<sup>2</sup>. In entrambi gli anni di prova, il controllo delle infestanti è stato effettuato manualmente.

## 2.4 – Rilievi effettuati

Nel corso del biennio di sperimentazione, in coincidenza di tre differenti epoche vegetative (levata, spigatura e maturazione) sono stati effettuati i seguenti rilievi:

**sulle colture** sono stati rilevati: l'altezza media delle piante, la biomassa epigeica totale e disaggregata nelle diverse frazioni botaniche (lamine, culmi, infiorescenze), numero di spighe per unità di superficie, allettamento (% e intensità), incidenza delle principali fitopatie (indice 0-9). Contemporaneamente su un campione di lamine è stata determinata la superficie fogliare mediante un planimetro elettronico (Mod. LI-COR LI 3100 Area Meter), prendendo in considerazione soltanto le foglie con almeno il 50% della superficie verde. Inoltre, su un campione rappresentativo di ogni singola frazione botanica (lamine, culmi, infiorescenze), previo essiccamento in stufa a 60 °C fino al raggiungimento di un peso costante per la determinazione del contenuto di sostanza secca, è stato determinato il contenuto in azoto con il metodo Kjeldahl. A maturazione è stata inoltre determinata la produttività in granella, il peso di 1000 cariossidi, l'umidità, il peso ettolitrico, il contenuto in azoto (metodo Kjeldahl), contenuto in glutine (analizzato presso la cooperativa valle del dittaino con lo strumento Infratec™ 1241, FOSS ITALIA S.p.A., Padova) e indice di giallo.





I dati acquisiti hanno permesso di calcolare per le tre specie in prova (frumento duro, frumento tenero, orzo) gli indici dell'efficienza dell'azoto, secondo le modalità e terminologia proposta da Moll et al. (1982), Pierce e Rice (1988), Huggings e Pan (1993), Sowers et al. (1994) e Delogu et al. (1998):

**NUE** (*Nitrogen use efficiency; kg kg<sup>-1</sup>*), calcolato come rapporto tra la produzione di granella (Y) e l'azoto potenzialmente disponibile (N<sub>supply</sub>); quest'ultimo calcolato come somma dell'azoto accumulato nella biomassa epigeica della coltura non concimata, dell'azoto minerale residuale alla raccolta (sempre nella tesi non concimata) e dell'azoto di concimazione (N<sub>f</sub>):

$$NUE = \frac{Y}{N_{supply}}$$

**NUtE** (*Nitrogen utilization efficiency; kg kg<sup>-1</sup>*), calcolato come rapporto tra la produzione di granella e l'azoto totale assorbito dalla pianta:

$$NUtE = \frac{Y}{N_{up}}$$

**NPE** (*Nitrogen physiological efficiency; kg kg<sup>-1</sup>*), calcolato come rapporto della differenza tra la produzione di granella nella tesi N<sub>x</sub> e nella tesi N<sub>0</sub> e della differenza tra l'azoto assorbito dalla pianta nella tesi N<sub>x</sub> e nella tesi N<sub>0</sub>:

$$NPE = \frac{Y_{Nx} - Y_{N0}}{N_{upX} - N_{up0}}$$



**NAE** (*Nitrogen agronomic efficiency; kg kg<sup>-1</sup>*), calcolato come rapporto della differenza tra la produzione di granella nella tesi N<sub>x</sub> e nella tesi N<sub>0</sub> e l'azoto di concimazione nella tesi N<sub>x</sub>:

$$NAE = \frac{Y_{NX} - Y_{N0}}{N_{concx}}$$

**NRF** (*N apparent recovery fraction; %*), calcolato come rapporto della differenza dell'azoto assorbito nella tesi N<sub>x</sub> e nella tesi N<sub>0</sub> e l'azoto di concimazione nella tesi N<sub>x</sub>:

$$NRF = \frac{N_{upx} - N_{up0}}{N_{concx}}$$

## 2.5 – Analisi statistica dei dati

Tutti i dati ottenuti durante il biennio di sperimentazione sono stati sottoposti all'analisi della varianza (Anova) in accordo allo schema sperimentale adottato. Quando il test F è risultato significativo (P<0,05) sono state calcolate le differenze minime significative (DMS<sub>0.05</sub>) per confrontare le differenze tra le medie.

## 2.6 – Andamento termopluviometrico

L'andamento termopluviometrico registrato al primo anno di prova (ottobre 2008 – giugno 2009) è riportato nella figura 2.1. Le precipitazioni totali sono state 596,8 mm, nel complesso analoghe a quelle medie dell'ambiente di prova (in media 530 mm nel periodo 1967-2007) e hanno mostrato una buona distribuzione. Durante il periodo primaverile la piovosità registrata è stata pari a 133 mm (poco meno del 25% del totale) e ciò ha certamente creato condizioni favorevoli affinché la coltura potesse esprimere il suo potenziale produttivo.

La temperatura media è stata pari a 13,4°C e pertanto non dissimile rispetto a quella media poliennale. La temperatura minima più bassa è stata registrata nel mese di febbraio con 0,5°C mentre la massima del periodo considerato è stata di 30,2°C registrata nel mese di giugno.

Al secondo anno di prova, la piovosità complessiva (ottobre 2009 – giugno 2010) è stata pari a 617 mm (fig. 2.2), valore superiore del 15 % rispetto alla media poliennale. Anche nel secondo anno, le piogge sono risultate ben distribuite.

La temperatura media del periodo di prova (ottobre-giugno), pari a 13,3 °C, è risultata analoga alla media poliennale; la temperatura minima si è registrata nel mese di febbraio con 5°C mentre la massima si è avuta nel mese di giugno con 29,8°C.



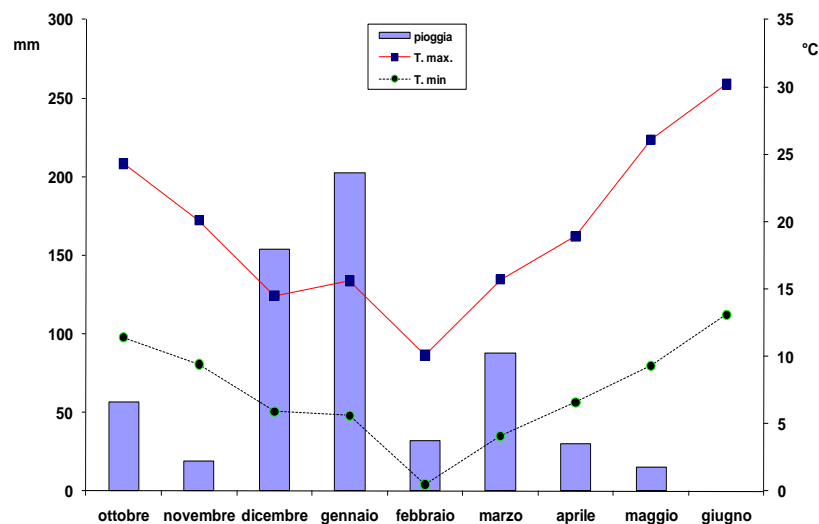


Fig. 2.1 – Andamento termo-pluviometrico (ottobre 2008 – giugno 2009) presso la stazione sperimentale Az. Sparacia (37°38' N – 13°45' E - 400 m s.l.m.; Cammarata, AG).

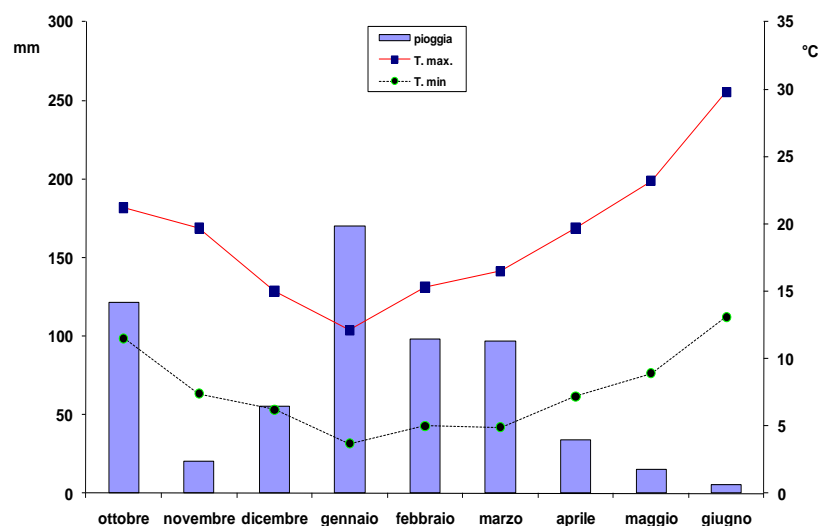


Fig. 2.2 – Andamento termo-pluviometrico (ottobre 2009 – giugno 2010) presso la stazione sperimentale Az. Sparacia (37°38' N – 13°45' E - 400 m s.l.m.; Cammarata, AG).

## Risultati e discussione

### 3.1 – Valutazione agronomica

Dai risultati dell'analisi della varianza è emerso che quasi tutti i parametri produttivi e morfologici rilevati sono stati influenzati dai trattamenti in valutazione ed in molti casi anche le interazioni tra i fattori hanno raggiunto la significatività statistica, così come si evince dalle tabelle 3.1 e 3.2.

Nella figura 3.1 sono riportati gli effetti medi dei trattamenti in valutazione sulla produzione di biomassa epigeica rilevata in coincidenza della levata, spigatura e maturazione. Tra gli anni di prova differenze significative sono emerse in media soltanto nel rilievo condotto alla levata (5,39 e 3,53 t ha<sup>-1</sup> rispettivamente per il primo e il secondo anno) e ciò trova una plausibile spiegazione nel ritardo dell'epoca di semina (oltre un mese) al secondo anno di sperimentazione.

In tutti i momenti di rilievo, il fattore precessione colturale ha influenzato significativamente la produzione di biomassa ( $P < 0,001$ ). La precessione a leguminosa, rispetto al precedente a frumento duro, ha consentito di realizzare incrementi medi significativi di biomassa in tutti i rilievi effettuati pari al 45% alla levata, al 64% alla spigatura e al 56% alla maturazione (fig. 3.1). Differenze significative sono state osservate anche per effetto della concimazione azotata, avendo registrato incrementi ponderali significativi, in tutti i momenti di rilievo, all'aumento delle dosi di fertilizzante somministrato. Tra le specie non sono emerse differenze nel rilievo condotto alla levata, mentre sia alla spigatura che alla maturazione l'orzo ha fatto registrare produzioni di fitomassa epigeica significativamente inferiori rispetto a quanto osservato nel frumento, sia duro che tenero. L'andamento della produzione di biomassa per singola specie e al variare del precedente colturale e dell'apporto azotato è riportato nella figura 3.2. Le tre specie in prova hanno mostrato un comportamento differenziato, in termini di magnitudine, al variare della precessione (interazioni *Precessione* × *Specie* e *Precessione* × *Azoto* × *Specie* significative nel rilievo condotto a maturazione); l'incremento di resa realizzato con la precessione a leguminosa rispetto a quella a cereale è stato del 42% per il frumento duro, del 54% per l'orzo e del 72% per il frumento tenero.

Tab. 3.1 - Analisi della varianza relativa ai caratteri della produzione in biomassa, sua ripartizione nelle frazioni botaniche e contenuto proteico rilevati alla levata (Lev), spigatura (Spig) e maturazione della granella (Mat).

| Trattamento        | g.l. | Biomassa           |          | Lamine |      | Culmi              |      | Spighe |      | Lamine             |      | Spighe |      | Culmi              |      | Proteine Lamine |      | Proteine Culmi |      | Proteine Spighe |      |
|--------------------|------|--------------------|----------|--------|------|--------------------|------|--------|------|--------------------|------|--------|------|--------------------|------|-----------------|------|----------------|------|-----------------|------|
|                    |      | t ha <sup>-1</sup> |          | %      |      | t ha <sup>-1</sup> |      | %      |      | t ha <sup>-1</sup> |      | %      |      | t ha <sup>-1</sup> |      | %               |      | %              |      | %               |      |
|                    |      | Lev                | Spig Mat | Lev    | Spig | Lev                | Spig | Lev    | Spig | Lev                | Spig | Lev    | Spig | Lev                | Spig | Lev             | Spig | Lev            | Spig | Lev             | Spig |
| anno               | 1    | ***                | ns       | *      | ***  | **                 | ***  | ***    | ***  | **                 | **   | ***    | ***  | ***                | ***  | ns              | **   | **             | ns   | **              | **   |
| prec               | 1    | ***                | ***      | ***    | ns   | ns                 | ns   | ns     | *    | **                 | ***  | ***    | ***  | ***                | ***  | ***             | ***  | ***            | ***  | ***             | ***  |
| anno*prec          | 1    | ns                 | ns       | *      | ns   | *                  | ns   | ns     | **   | ns                 | ns   | *      | **   | ***                | *    | ***             | *    | ***            | ns   | **              | ***  |
| N                  | 2    | ***                | ***      | ***    | ns   | *                  | ns   | *      | ns   | ***                | ***  | ***    | ***  | ***                | ***  | ns              | *    | **             | ns   | ***             | ***  |
| anno*N             | 2    | ns                 | ns       | *      | ns   | ns                 | **   | *      | **   | ns                 | ns   | *      | **   | ns                 | *    | ns              | ns   | ns             | **   | ns              | ***  |
| prec*N             | 2    | *                  | ns       | ns     | ***  | ns                 | ns   | *      | *    | ns                 | ns   | *      | *    | ns                 | ns   | ns              | ns   | ns             | ns   | ns              | ns   |
| anno*prec*N        | 2    | **                 | ns       | ns     | ns   | ns                 | *    | ns     | *    | ns                 | ns   | **     | *    | ns                 | *    | ns              | *    | ***            | ns   | ns              | *    |
| specie             | 2    | ns                 | ***      | ***    | ***  | ***                | ***  | ***    | ***  | *                  | ***  | ns     | ***  | ***                | ***  | ***             | ***  | ***            | ***  | ***             | ***  |
| anno*specie        | 2    | ns                 | *        | ns     | *    | ***                | *    | ***    | ***  | *                  | **   | ns     | ***  | ***                | ns   | *               | ***  | *              | ns   | **              | ***  |
| prec*specie        | 2    | ns                 | **       | **     | ns   | ns                 | ns   | ns     | ***  | *                  | ***  | ns     | ns   | ns                 | *    | ***             | ***  | ***            | *    | ns              | ***  |
| N*specie           | 4    | ns                 | ns       | ***    | ns   | ns                 | ns   | ns     | ***  | *                  | ***  | ns     | ***  | ns                 | *    | ***             | ns   | *              | *    | *               | ***  |
| prec*N*specie      | 4    | **                 | ns       | *      | ns   | ns                 | ns   | ns     | ns   | *                  | ns   | **     | ns   | *                  | ns   | ns              | *    | ns             | ns   | ns              | *    |
| anno*prec*specie   | 2    | ns                 | ns       | ns     | *    | *                  | ns   | ns     | ns   | ns                 | ns   | *      | ns   | *                  | ns   | ns              | *    | ns             | *    | ns              | ***  |
| anno*N*specie      | 4    | ns                 | ns       | ns     | ns   | ns                 | ns   | ns     | ***  | *                  | ns   | ns     | ***  | ns                 | *    | ns              | ***  | ***            | **   | ***             | ***  |
| anno*prec*N*specie | 4    | *                  | ns       | ns     | ns   | ns                 | ns   | *      | ***  | ns                 | *    | ns     | *    | ns                 | *    | ns              | *    | ns             | ns   | *               | ***  |

\*, \*\*, \*\*\* significativo per P<0.05, P<0.01 e P<0.001, rispettivamente. ns non significativo.

Tab. 3.2 - Analisi della varianza relativa ai caratteri della produzione in granella, data di spigatura, densità di spighe e altezza delle piante a maturazione.

| Trattamento        | g.l. | Granella           | Proteine nella granella | Glutine | Peso di 1000 semi | Peso ettolitrico    | Spigatura    | Densità di spighe | Altezza delle piante |
|--------------------|------|--------------------|-------------------------|---------|-------------------|---------------------|--------------|-------------------|----------------------|
|                    |      | t ha <sup>-1</sup> | %                       | %       | g                 | kg hl <sup>-1</sup> | gg dal 1 apr | n m <sup>-2</sup> | cm                   |
| anno               | 1    | ***                | ns                      | *       | *                 | ns                  | ***          | **                | ***                  |
| prec               | 1    | ***                | *                       | ***     | **                | ns                  | **           | **                | ***                  |
| anno*prec          | 1    | ns                 | **                      | ***     | *                 | ns                  | **           | ns                | *                    |
| N                  | 2    | ***                | *                       | ns      | ns                | ns                  | ***          | ***               | ***                  |
| anno*N             | 2    | ns                 | ns                      | ns      | ns                | ns                  | ***          | ns                | ns                   |
| prec*N             | 2    | ns                 | ns                      | ns      | ns                | ns                  | *            | ns                | ns                   |
| anno*prec*N        | 2    | *                  | ns                      | ns      | ns                | ns                  | ns           | ns                | **                   |
| specie             | 2    | ***                | ***                     | ***     | ***               | ***                 | ***          | ***               | ***                  |
| anno*specie        | 2    | *                  | ***                     | ***     | ***               | ns                  | ***          | ns                | ns                   |
| prec*specie        | 2    | ns                 | ***                     | **      | **                | ns                  | ns           | ***               | ns                   |
| N*specie           | 4    | ns                 | ns                      | ns      | ns                | ns                  | **           | ***               | ns                   |
| prec*N*specie      | 4    | ***                | ns                      | ns      | ns                | ns                  | ns           | ns                | ns                   |
| anno*prec*specie   | 2    | ns                 | *                       | ns      | ns                | ns                  | ns           | ns                | ns                   |
| anno*N*specie      | 4    | ns                 | ns                      | ns      | ns                | ns                  | *            | ns                | **                   |
| anno*prec*N*specie | 4    | ns                 | ns                      | ns      | ns                | ns                  | *            | ns                | ns                   |

\*, \*\*, \*\*\* significativo per P<0.05, P<0.01 e P<0.001, rispettivamente. ns non significativo.

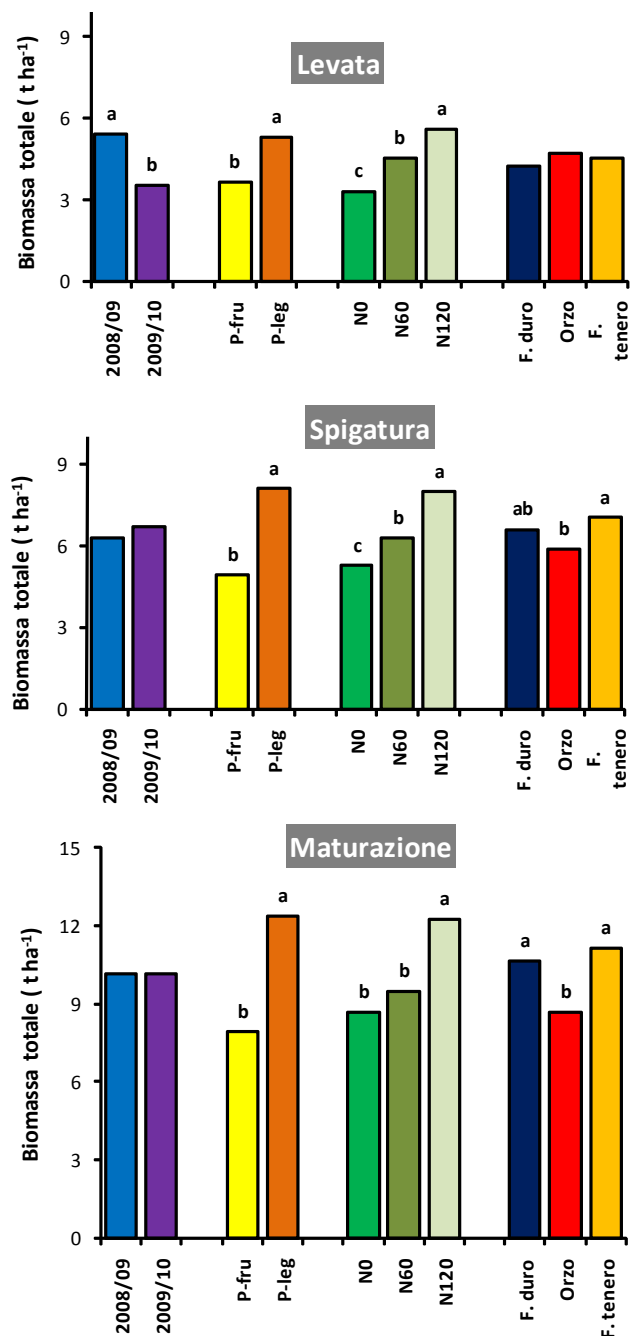


Fig. 3.1 - Biomassa totale prodotta ( $t\ ha^{-1}$ ) alla levata, spigatura e maturazione al variare dell'anno, della precessione (P-fru: frumento; P-leg: leguminosa), della quantità di fertilizzante azotato somministrato (N0, N60 e N120 per 0, 60 e 120  $kg\ N\ ha^{-1}$ , rispettivamente) e della specie. Medie con lettera diverse nell'ambito di un singolo trattamento e fase fenologica sono significativamente diversi per  $P < 0,05$  (DMS).

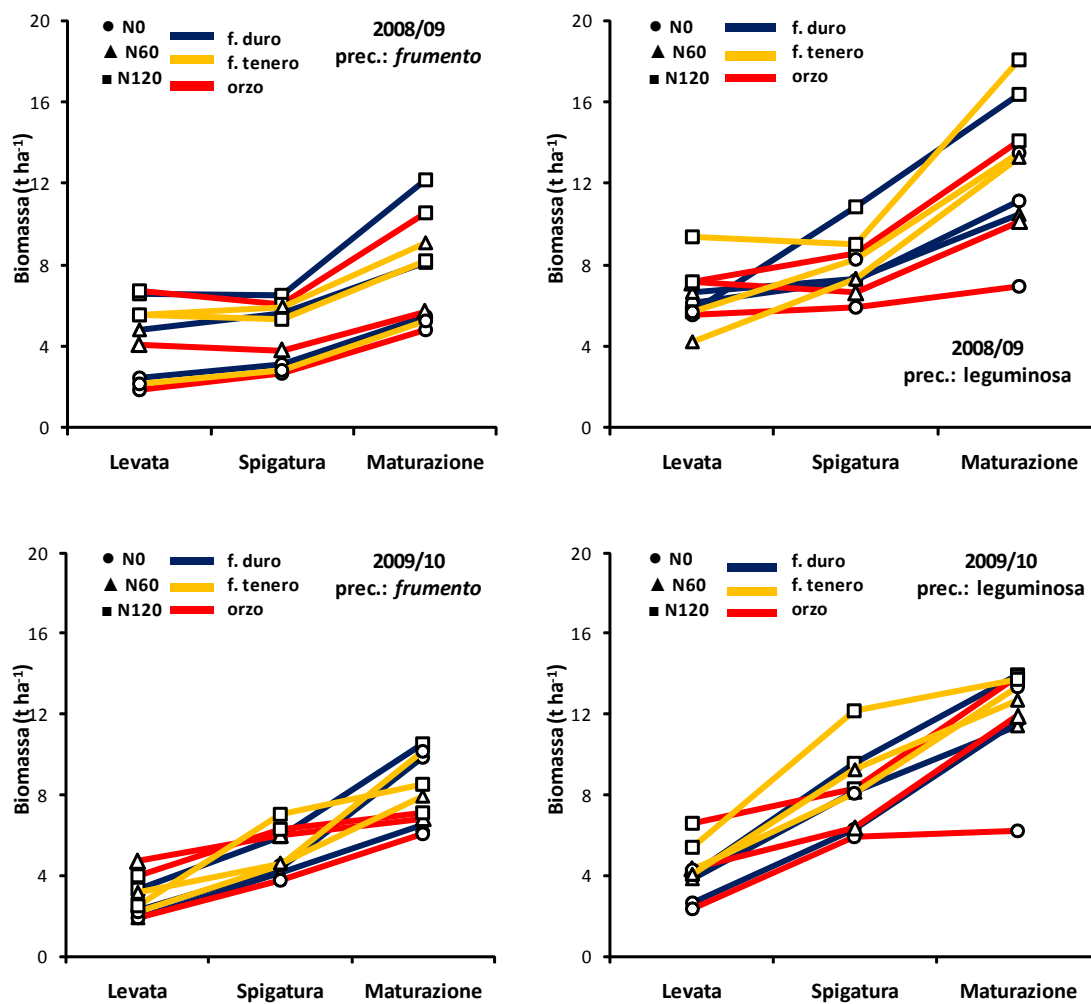


Fig. 3.2 - Biomassa totale prodotta ( $t\ ha^{-1}$ ) dalle tre specie in valutazione (frumento duro, orzo, frumento tenero) nelle tre fasi fenologiche al variare del quantitativo di fertilizzante azotato somministrato (0, 60 e 120  $kg\ N\ ha^{-1}$ ) distintamente per anno di prova (2008/09 e 2009/10) e per precedente colturale (frumento e leguminosa).



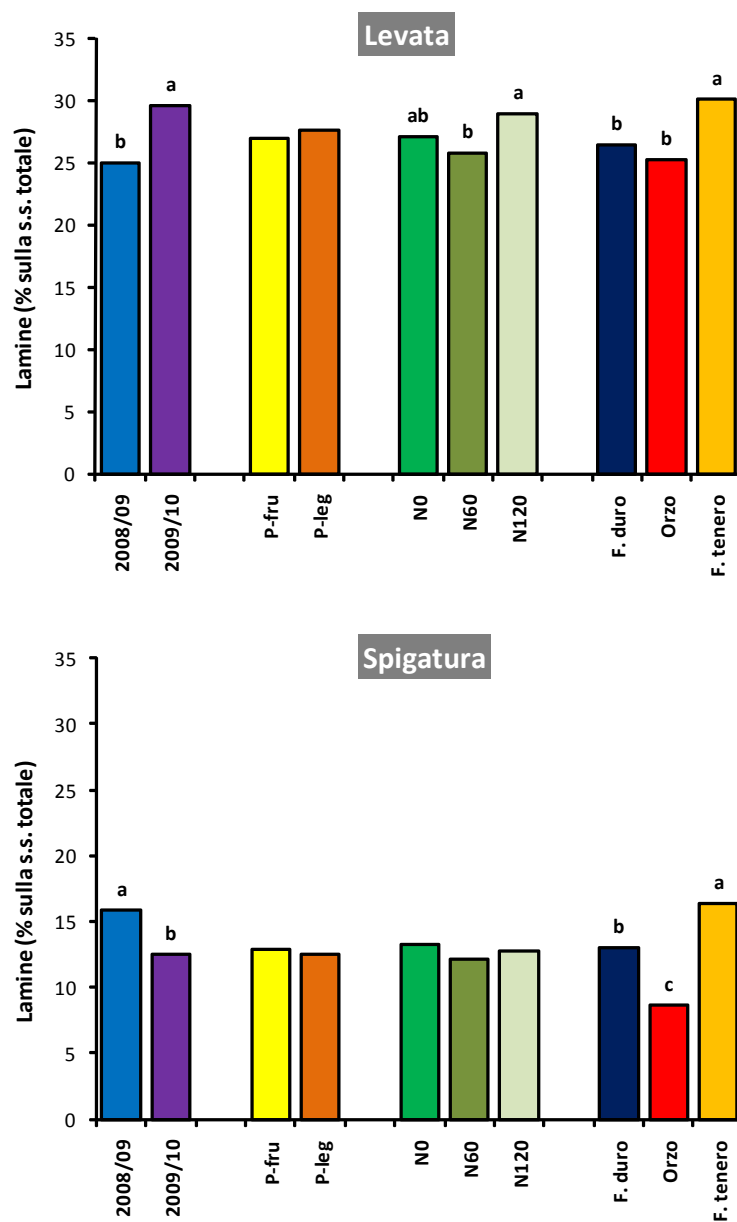


Fig. 3.3– Percentuale di lamine sulla biomassa totale prodotta alla levata e spigatura al variare dell'anno, della precessione (P-fru: frumento; P-leg: leguminosa), della quantità di fertilizzante azotato somministrato (N0, N60 e N120 per 0, 60 e 120 kg N ha<sup>-1</sup>, rispettivamente) e della specie. Medie con lettera diverse nell'ambito di un singolo trattamento e fase fenologica sono significativamente diversi per P<0,05 (DMS).

La produzione in biomassa delle tre specie in esame è variata anche in funzione delle disponibilità di azoto. In particolare l'orzo (che in assenza di fertilizzazione azotata ha prodotto la minore quantità di biomassa) è apparso in grado di valorizzare in maggior misura rispetto al frumento (sia duro che tenero) l'incremento delle disponibilità di azoto nel suolo indotte dalla distribuzione dei fertilizzanti azotati.

Nella figura 3.3 viene riportato l'effetto medio di ogni singolo fattore sull'incidenza percentuale delle lamine sulla biomassa prodotta, in coincidenza della levata e della spigatura. Il fattore precessione, in questo caso non è mai risultato statisticamente significativo. La disponibilità di azoto ha influito sull'incidenza delle lamine sulla biomassa complessiva soltanto nel rilievo condotto alla levata; in tale fase, infatti, si sono avuti incrementi significativi di tale incidenza all'aumento della dose di concime azotato somministrato. Tra le specie sono emerse differenze altamente significative ( $P < 0,001$ ) per tale carattere; il grano tenero ha fatto registrare valori d'incidenza delle lamine sulla biomassa totale prodotta più elevati significativamente in entrambi i rilievi rispetto alle altre due colture in prova. Nella figura 3.4 viene riportata l'interazione dei quattro fattori in studio relativa all'incidenza delle lamine sul totale della biomassa prodotta nelle fasi di levata e spigatura.

L'effetto dei trattamenti applicati sull'incidenza dei culmi sulla biomassa totale è riportato nelle figure 3.5 (effetti medi) e 3.6 (interazioni). Il fattore precessione colturale non ha avuto nessuna rilevanza statistica per tale carattere; la quantità di fertilizzante azotato somministrato ha invece influenzato l'incidenza dei culmi sulla biomassa totale solamente nel rilievo eseguito alla levata. Assai diverso è stato invece il comportamento delle tre specie nelle tre fasi vegetative (levata, spigatura e maturazione). Alla levata tale incidenza è risultata maggiore per l'orzo e per il frumento duro (rispettivamente 74,7% e 73,5%) rispetto al frumento tenero (69,9%). A maturazione, invece, la più alta incidenza dei culmi si è registrata per il grano duro (49,7%); nel frumento tenero è stata rilevata una incidenza media pari al 43,0%, mentre nell'orzo è risultata pari a 28,5%. Quest'ultimo dato va probabilmente relazionato alla maggiore produzione di granella ottenuta dall'orzo rispetto ai due frumenti in valutazione, alla quale ha ovviamente corrisposto una minore incidenza dei culmi sulla fitomassa epigeica complessiva.

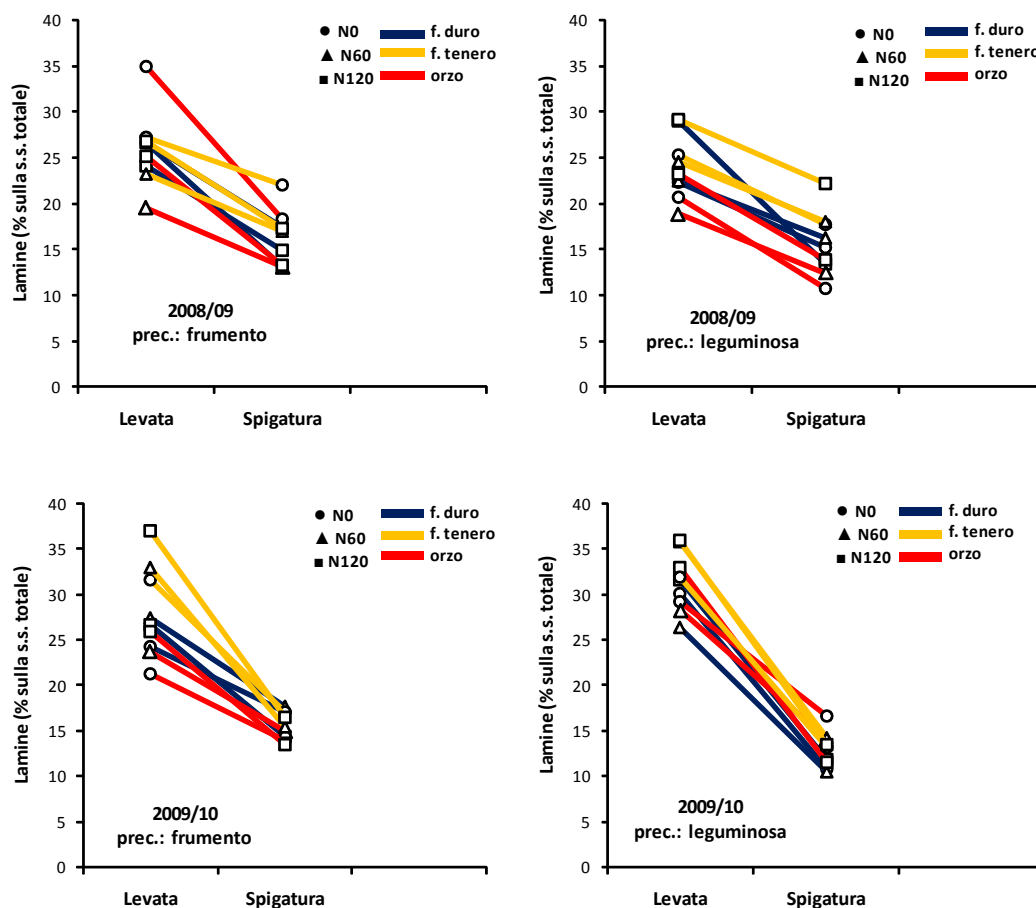


Fig. 3.4 – Incidenza % delle lamine sulla biomassa prodotta dalle tre specie in valutazione (frumento duro, orzo, frumento tenero) nelle tre fasi fenologiche al variare del quantitativo di fertilizzante azotato somministrato (0, 60 e 120 kg N ha<sup>-1</sup>) distintamente per anno di prova (2008/09 e 2009/10) e per precedente colturale (frumento e leguminosa).

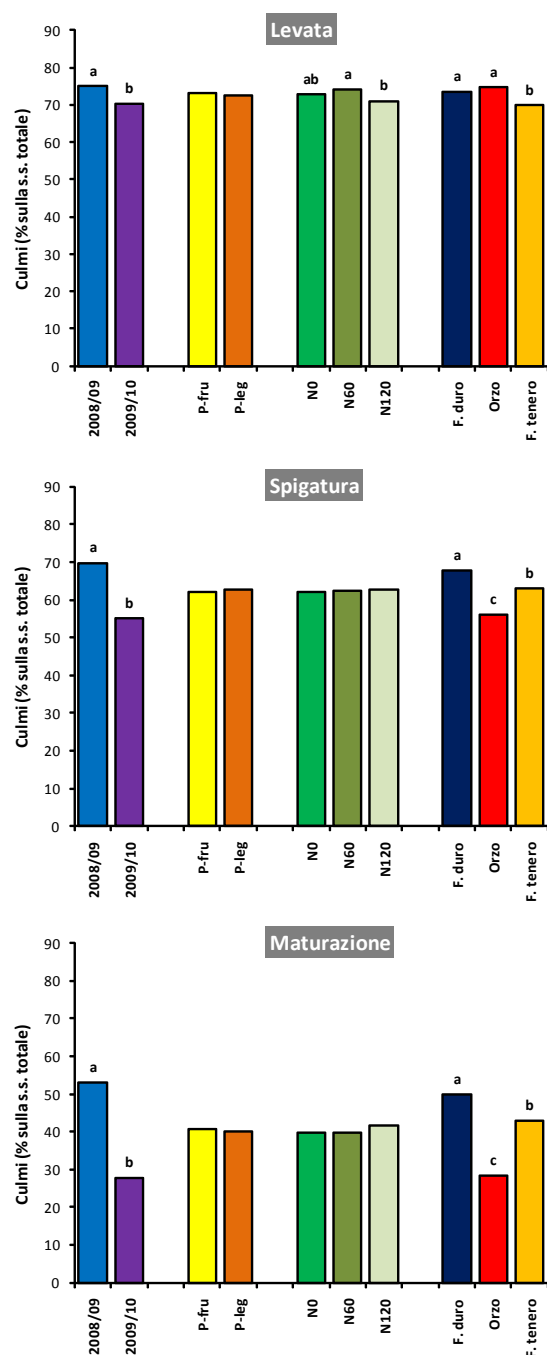


Fig. 3.5 – Incidenza % dei culmi sulla biomassa totale prodotta alla levata, spigatura e maturazione al variare dell’anno, della precessione (P-fru: frumento; P-leg: leguminosa), della quantità di fertilizzante azotato somministrato (N0, N60 e N120 per 0, 60 e 120 kg N ha<sup>-1</sup>, rispettivamente) e della specie. Medie con lettera diverse nell’ambito di un singolo trattamento e fase fenologica sono significativamente diversi per P<0,05 (DMS).

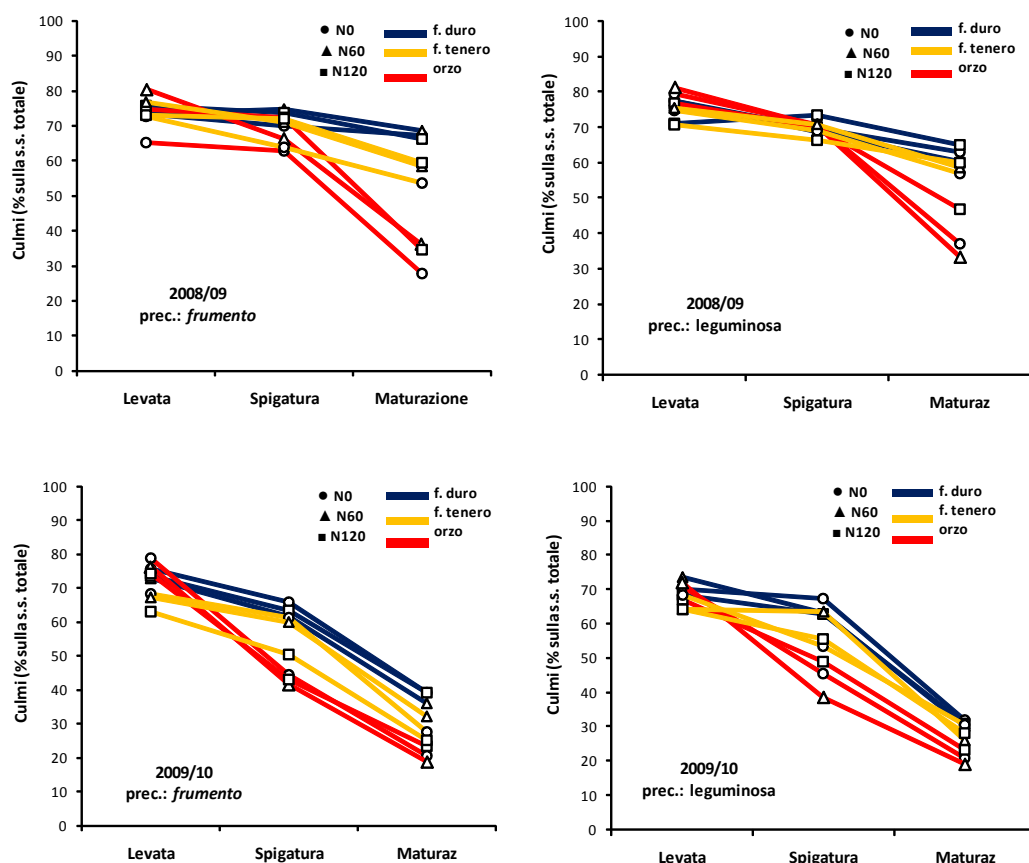


Fig. 3.6 – Incidenza % dei culmi sulla biomassa prodotta dalle tre specie in valutazione (frumento duro, orzo, frumento tenero) nelle tre fasi fenologiche al variare del quantitativo di fertilizzante azotato somministrato (0, 60 e 120 kg N ha<sup>-1</sup>) distintamente per anno di prova (2008/09 e 2009/10) e per precedente colturale (frumento e leguminosa).

Nella figura 3,6 sono riportate la variazioni dell'incidenza percentuale dei culmi sulla biomassa totale nelle tre fasi fenologiche (levata, spigatura e maturazione) al variare della specie, del livello di concimazione azotata e della precessione colturale nei due anni di prova. Dall'analisi della figura si evince con chiarezza come mentre alla levata l'orzo abbia mostrato, in media, una maggiore incidenza dei culmi rispetto alle altre due specie, indipendentemente dagli altri fattori in valutazione, alla maturazione la stessa specie, come detto, ha

presentato valori di incidenza dei culmi sulla fitomassa epigeica complessiva marcatamente più bassi rispetto alle altre due specie in valutazione.

Nella figura 3.7 viene riportata l'incidenza delle spighe sulla biomassa prodotta nelle fasi di spigatura e maturazione. In entrambe le fasi il fattore specie è risultato altamente significativo. Gli altri fattori allo studio (fertilizzazione azotata e precessione colturale) non hanno mostrato significatività all'analisi per questo carattere, fatta eccezione per il fattore precessione nella sola fase di maturazione, la cui significatività è comunque risultata modesta ( $P < 0,05$ ). La più alta percentuale di spighe sul totale della biomassa prodotta è stata rilevata per l'orzo (62.7%) mentre percentuali più modeste sono state osservate per il frumento duro e il frumento tenero (rispettivamente 40.3% e 40.5%).

Ciò è probabilmente relazionato alla maggiore capacità dell'orzo rispetto al frumento (duro e tenero) di produrre in condizioni di ridotte disponibilità idriche (Colmer et al., 2004; Langridge et al., 2006). In entrambi gli anni, infatti, la fase di riempimento delle cariossidi si è caratterizzata per la scarsità delle precipitazioni (sempre inferiori a 40 mm nel mese di aprile e 20 mm nel mese di maggio). In tali condizioni, la minore quantità di biomassa prodotta dall'orzo e la sua maggiore resistenza genetica al deficit idrico rispetto alle altre due colture potrebbero avergli permesso di esprimere le proprie potenzialità produttive meglio di quanto non abbiano potuto fare le altre due specie in prova.

Come evidenziato in fig. 3.8 la produzione in granella delle tre specie in esame è risultata superiore al primo anno di prova (2008/09) rispetto al secondo (2009/10), probabilmente a causa del ritardo nella semina al secondo anno rispetto al primo. Il fattore precessione colturale ha marcatamente influenzato la produttività delle specie in esame ( $P < 0,001$ ); in particolare la precessione a leguminosa da granella ha incrementato i livelli di produzione granellare in media dell'80%.

Diverse ricerche hanno dimostrato che l'inserimento delle leguminose negli avvicendamenti colturali determina notevoli incrementi produttivi delle colture in successione (Poma et al., 1989; Poma et al. 2009; Marcellos e Felton, 1992; Giardini et al., 1995; Harris, 1995; Armstrong et al., 1997; Dakora e Keya, 1997; Dalal et al., 1998; Felton et al., 1998; Schulz et al., 1999b; Lopez-Bellido e Lopez-Bellido, 2001; Kumar e Goh, 2002). In taluni casi sono stati osservati incrementi di resa molto consistenti (+250%: Lopez Bellido et al., 1997; +350%: Kumar Rao et al., 1983); il vantaggio, comunque, è apparso ampiamente diversificato in rapporto all'ambiente ed a altri aspetti dell'agrotecnica. In una

prova condotta in Sicilia in un ambiente simile a quello di prova, Giambalvo et al. (1999) hanno riscontrato rese del frumento duro in successione a fava superiori in media del 30% rispetto all'omosuccessione; gli incrementi produttivi hanno mostrato tuttavia un'ampia variabilità tra gli anni, non sempre di facile interpretazione in quanto dipendenti da una pluralità di concause.

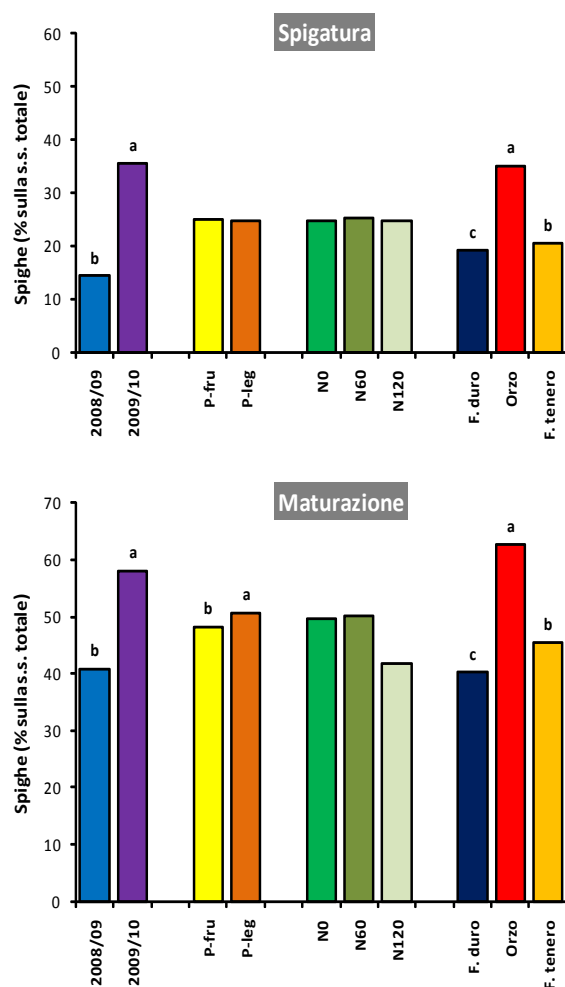


Fig. 3.7 – Incidenza % delle spighe sulla biomassa totale prodotta alla spigatura e maturazione al variare dell'anno, della precessione (P-fru: frumento; P-leg: leguminosa), della quantità di fertilizzante azotato somministrato (N0, N60 e N120 per 0, 60 e 120 kg N ha<sup>-1</sup>, rispettivamente) e della specie. Medie con lettera diverse nell'ambito di un singolo trattamento e fase fenologica sono significativamente diversi per P<0,05 (DMS).

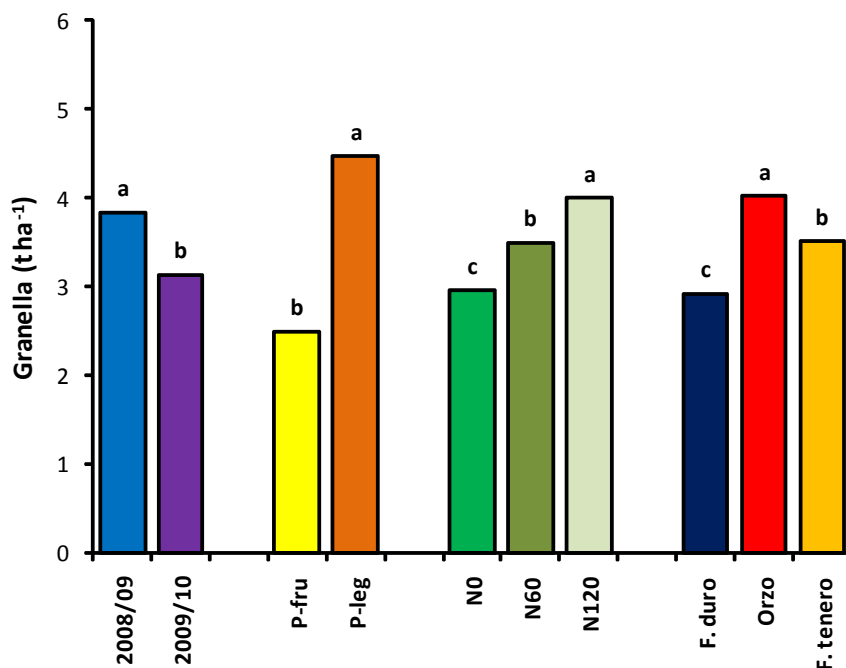


Fig. 3.8 – Produzione in granella (t ha<sup>-1</sup>) al variare dell'anno, della precessione (P-fru: frumento; P-leg: leguminosa), della quantità di fertilizzante azotato somministrato (N0, N60 e N120 per 0, 60 e 120 kg N ha<sup>-1</sup>, rispettivamente) e della specie. Medie con lettera diverse nell'ambito di un singolo trattamento sono significativamente diversi per  $P < 0,05$  (DMS).

La produttività media nel biennio di prova è stata influenzata significativamente dalla fertilizzazione azotata, come si evince dalla figura 3.8. La resa media è infatti passata da 2,98 t ha<sup>-1</sup> in assenza di concimazione azotata a 4,00 t ha<sup>-1</sup> nella tesi fertilizzata con 120 kg N ha<sup>-1</sup>, corrispondente a un incremento medio della produzione granellare del 34%.

Tra le specie in esame, l'orzo ha raggiunto mediamente le rese più elevate rispetto ai frumenti (4,0 t ha<sup>-1</sup> per l'orzo, 2,9 e 3,5 t ha<sup>-1</sup> rispettivamente per il frumento duro e per il frumento tenero). Ciò trova una plausibile giustificazione nel fatto che l'orzo rispetto al frumento duro e tenero, in ambiente semiarido, è



in grado di valorizzare meglio le risorse idriche e la fertilità dei suoli (Poma et al. 2009).

La figura 3.9 mette in evidenza come i vantaggi offerti dalla somministrazione del concime azotato siano risultati analoghi al variare del precedente colturale (interazione *Prec x N* non significativa); inoltre le tre specie in prova hanno mostrato un comportamento simile al variare del precedente colturale e della dose di fertilizzante azotato somministrato (interazioni *Prec x specie* e *specie x N* non significative).

Il contenuto proteico della granella per effetto di tutti e quattro i fattori in studio è riportato in figura 3.10; all'analisi della varianza tutti i fattori, eccetto la fertilizzazione azotata, sono risultati significativi. Il contenuto proteico della granella è apparso maggiore nelle tesi in successione a cereale rispetto alla successione a leguminosa. Ciò è probabilmente dovuto a un effetto "concentrazione" dovuto alla minore produzione nelle tesi in successione a cereale, come già mostrato nella fig. 3.8.

Notevoli differenze nella percentuale di proteine della granella sono state rilevate tra le diverse specie (fig. 3.10); i valori più elevati sono stati riscontrati nel fumento duro e quelli più bassi nell'orzo. L'interazione *Precessione x Specie* è risultata altamente significativa ( $P < 0,001$ ;  $DMS_{0.05} = 0.41$ ). Com'è possibile osservare nella figura 3.11, nel frumento, sia duro che tenero, la percentuale di proteine nella granella è stata superiore nelle tesi in successione a cereale rispetto a quelle in successione a leguminosa, mentre un andamento opposto è stato rilevato nell'orzo. Tale comportamento può trovare una parziale spiegazione considerando che l'incremento di resa granellare indotto dall'inserimento della leguminosa rispetto alla omosuccessione è risultato maggiore nei due frumenti che nell'orzo.

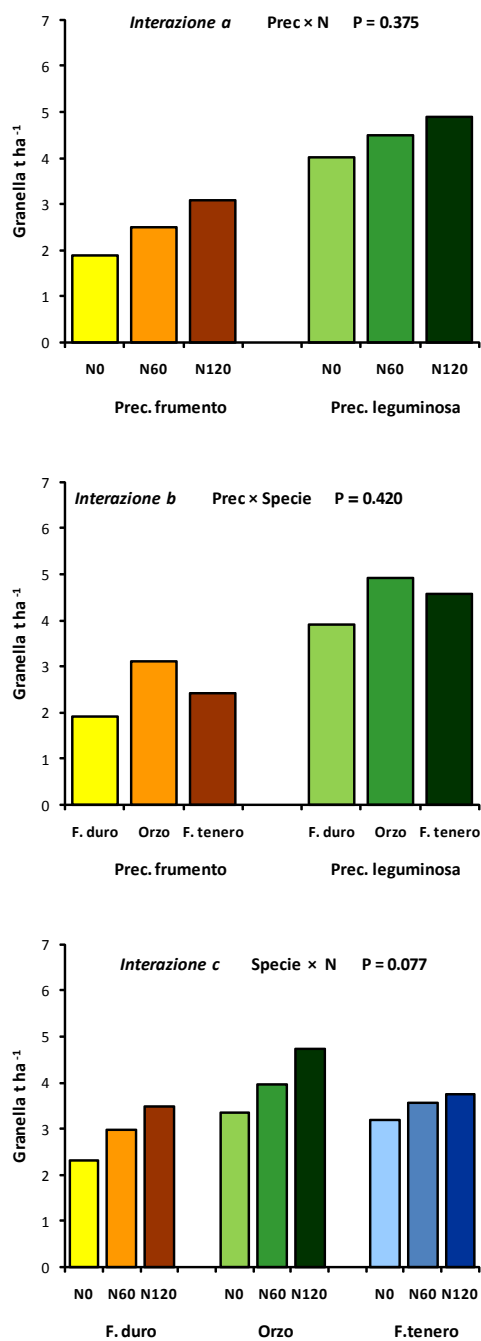


Fig. 3.9 – Produzione in granella ( $t\ ha^{-1}$ , dati medi del biennio) al variare dei seguenti fattori: (a) precessione e quantità di azoto somministrato, (b) precessione e specie e (c) quantità di azoto somministrato e specie.

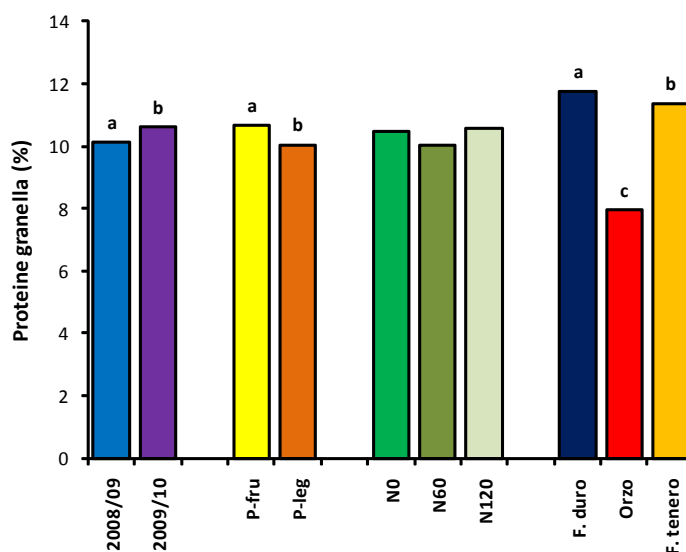


Fig. 3.10 – Contenuto proteico % della granella al variare dell'anno, della precessione, della quantità di fertilizzante azotato somministrato e della specie.

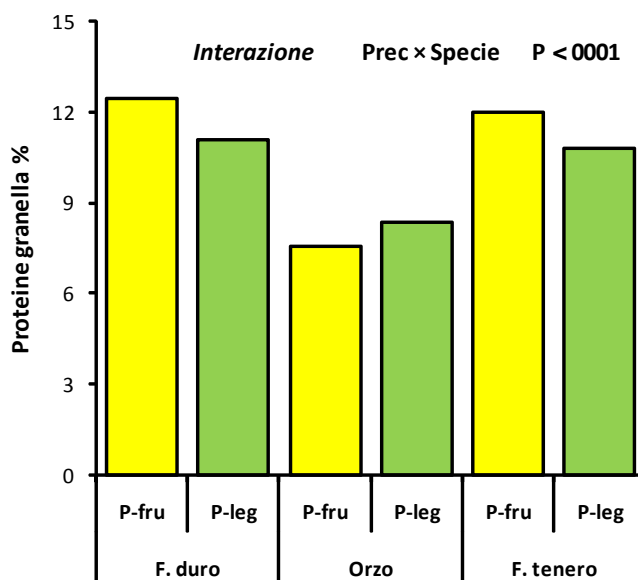
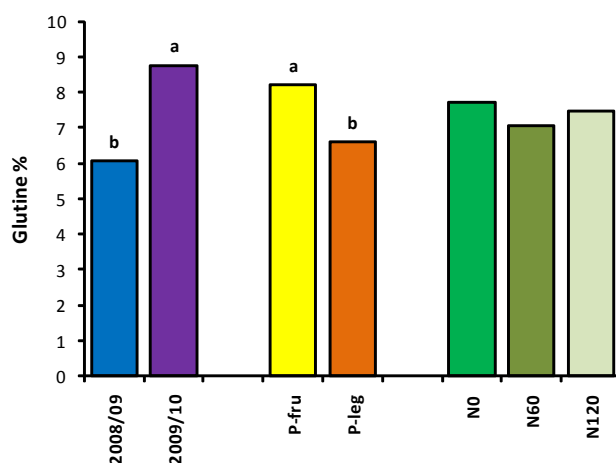


Fig. 3.11 – Contenuto proteico % della granella (dati medi del biennio) al variare dell'interazione tra precessione e specie.

Il contenuto in glutine della granella di grano duro per effetto dei singoli fattori allo studio è riportato in figura 3.12. Analogamente a quanto riscontrato per il contenuto in azoto della granella, per tale carattere sono state osservate differenze significative tra i due anni della prova (6,1% e 8,8% rispettivamente al primo e al secondo anno). All'analisi della varianza il fattore precessione colturale ha mostrato di essere altamente significativo; la percentuale in glutine della granella è stata più alta nella tesi condotta in omosuccessione (8,2%) rispetto alla tesi condotta in successione alla leguminosa (6,6%). Infine, il contenuto in glutine della granella di frumento duro non è variato per effetto della somministrazione di N, come si evince nella figura 3.12.



*Fig. 3.12 – Percentuale in glutine nella granella di frumento duro al variare dell'anno, della precessione e della quantità di fertilizzante azotato somministrato.*

La figura 3.13 mostra il contenuto proteico (%) delle lamine rilevato nelle fasi di levata e spigatura per effetto dei singoli fattori in studio. Tra i due anni sono emerse differenze statisticamente significative soltanto alla spigatura, avendo registrato valori più bassi al secondo anno. Maggiore rilevanza ha avuto invece il fattore precessione colturale; dall'analisi della figura 3.13 si può osservare come l'effetto residuo della leguminosa abbia notevolmente influenzato la concentrazione di proteine nella frazione botanica delle lamine ( $P < 0,001$ ) in entrambi gli anni, facendo registrare un incremento del contenuto proteico del 32,7% alla levata e del 10% circa nel rilievo condotto alla spigatura.

Differenze significative sono emerse anche per il fattore specie; nei rilievi condotti alla levata e alla spigatura il frumento duro è stata la specie con la più alta concentrazione di proteine nelle lamine (14,5% e 14,4%, rispettivamente) mentre i valori più bassi per tale carattere si sono avuti per l'orzo con percentuali del 13,24% alla levata e 12,76% alla spigatura. Il contenuto proteico dei culmi rilevato nelle fasi di levata, spigatura e maturazione per effetto dei singoli fattori in studio è riportato nella figura 3.14. Anche per questo carattere il precedente colturale, nella fase di levata e di maturazione è risultato statisticamente significativo ( $P < 0,01$  alla levata e  $P < 0,001$  alla maturazione).

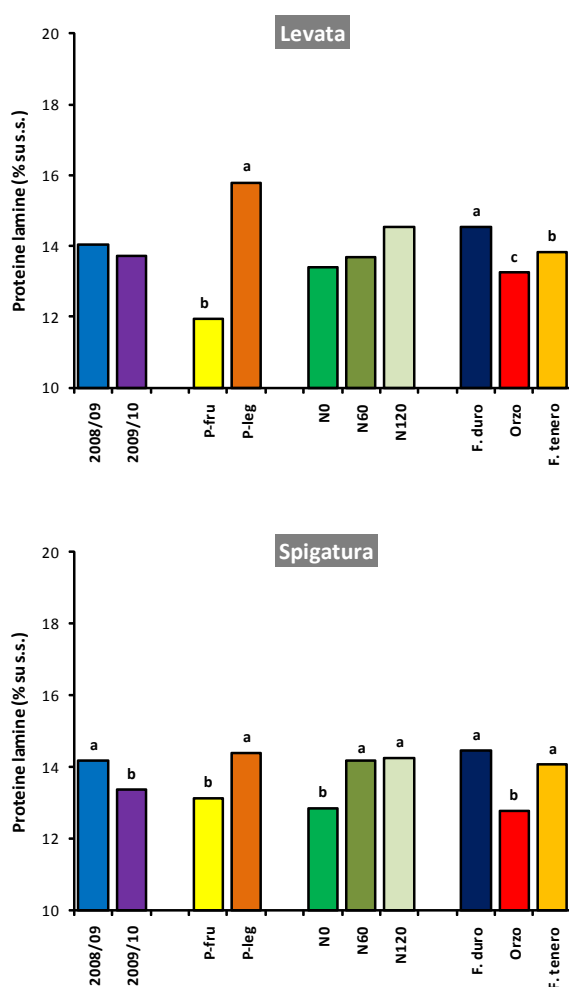


Fig. 3.13 – Contenuto proteico % delle lamine al variare dell'anno, della precessione, della quantità di fertilizzante azotato somministrato e della specie.

La concentrazione di proteine nel rilievo eseguito in coincidenza della fase di levata è stata di 5,2% nella tesi con precessione a frumento duro e del 6,0% nella tesi con precessione a leguminosa; nella fase di maturazione il contenuto proteico dei culmi ha fatto registrare un calo passando a valori del 2,6% e del 2,4% rispettivamente. Tale riduzione è da imputare principalmente alla presenza, a maturazione, delle cariossidi, verso le quali viene traslocato fino al 75% dell'azoto contenuto nei culmi e nelle lamine al momento della spigatura (Delogu et al., 1998); ciò contribuisce a ridurre notevolmente la concentrazione azotata dei culmi. Differenze significative nella concentrazione in azoto dei culmi sono emerse tra le specie in valutazione: l'orzo ha fatto registrare la maggiore concentrazione proteica in tutte e tre le fasi fenologiche (valori del 6,5% alla levata, del 4% alla spigatura e del 2,9% alla maturazione).

Nella figura 3.15 vengono riportati gli effetti medi dei singoli fattori sul contenuto proteico delle spighe nelle fasi di spigatura e maturazione. Come si può osservare tutti i fattori sono risultati statisticamente significativi all'analisi della varianza in entrambi i rilievi eseguiti; la maggiore disponibilità di azoto, indotta dalla somministrazione del fertilizzante azotato, ha incrementato la concentrazione di proteine delle infiorescenze sia alla spigatura sia alla maturazione ( $P < 0,05$  e  $P < 0,001$  rispettivamente). Il precedente colturale ha esercitato effetti significativi sul contenuto proteico nelle spighe sia alla spigatura che a maturazione, ma di entità opposta nei due rilievi. Alla spigatura, infatti, la percentuale di proteine nelle infiorescenze è risultata significativamente superiore con precessione a leguminosa mentre a maturazione la concentrazione proteica nelle spighe è risultata superiore del 10% nelle tesi con precessione a cereale rispetto alla precessione a leguminosa.

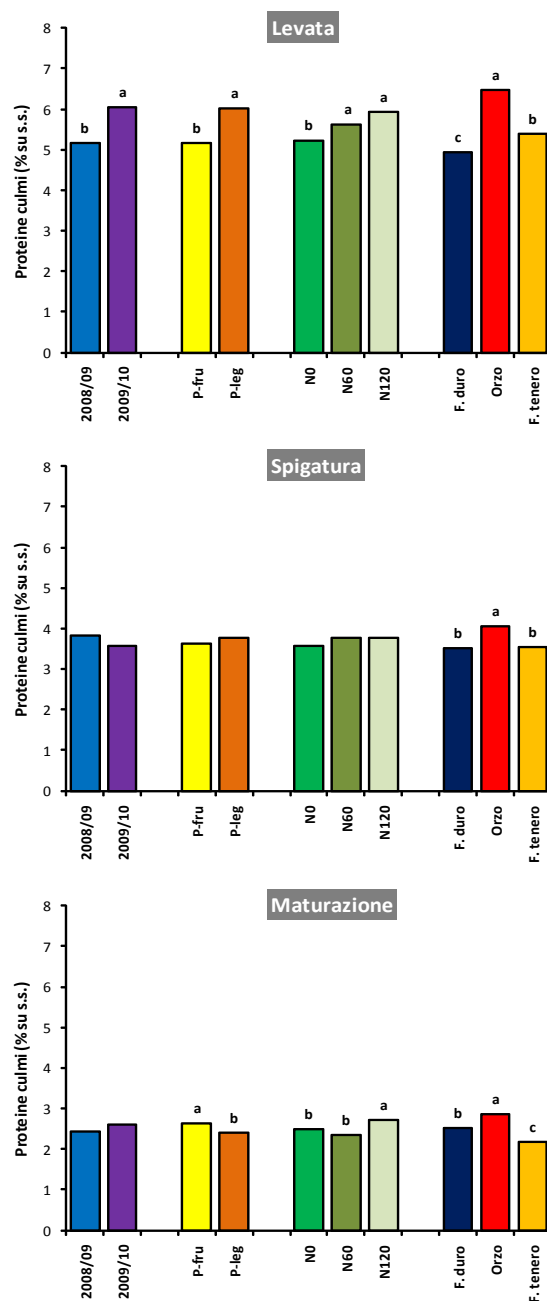


Fig. 3.14 – Contenuto proteico % dei culmi nelle fasi di levata, spigatura e maturazione della granella al variare dell'anno, della precessione, della quantità di fertilizzante azotato somministrato e della specie.

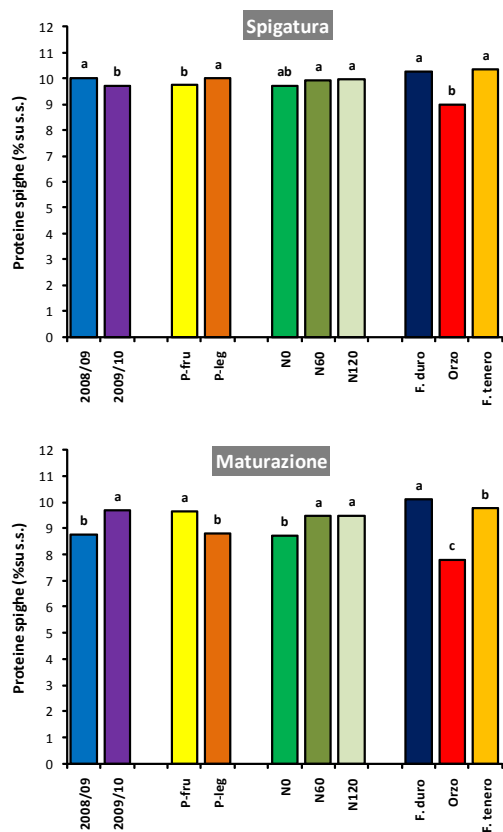


Fig. 3.15 – Contenuto proteico % delle spighe nelle fasi di spigatura e maturazione della granella al variare dell’anno, della precessione, della quantità di fertilizzante azotato somministrato e della specie. .

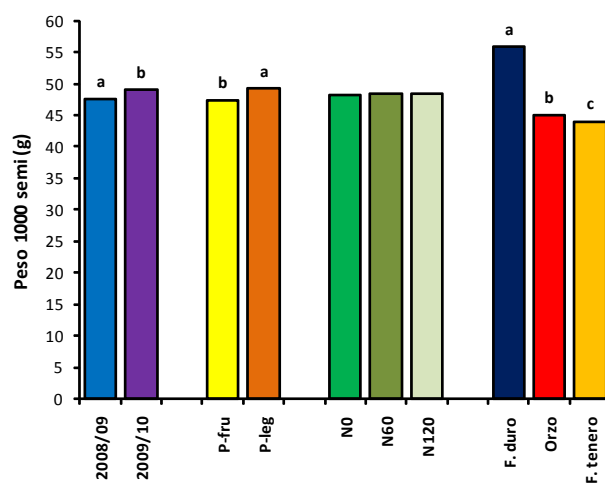


Fig. 3.16 – Peso di 1000 semi (g) al variare dell’anno, della precessione, della quantità di fertilizzante azotato somministrato e della specie.



I dati medi del peso di 1000 semi rilevato sulla granella raccolta nei due anni di prova per effetto di tutti i fattori allo studio sono riportati in figura 3.16. Nel complesso il peso unitario delle cariossidi è risultato significativamente più elevato nelle tesi in successione a leguminosa rispetto alla successione a cereale.

Tra le specie, il grano duro ha fatto registrare un peso medio delle cariossidi nettamente più elevato rispetto sia al grano tenero che all'orzo.

Nella figura 3.17 vengono riportati gli effetti delle interazioni *Precessione x Azoto*, *Precessione x Specie* e *Specie x Azoto* sul peso di 1000 cariossidi. Sia l'interazione *Precessione x Azoto* che quella *Specie x Azoto* non sono risultate significative all'analisi della varianza e ciò indica come gli effetti della concimazione azotata siano risultati analoghi al variare sia del precedente colturale sia della specie cerealicola.

Al contrario l'interazione *Precessione x Specie* è risultata statisticamente significativa all'analisi statistica; in particolare mentre per il frumento tenero e per l'orzo si sono registrati variazioni modeste nel peso di 1000 cariossidi al variare del precedente colturale, per il grano duro è stato osservato un incremento di peso del 6% nelle tesi allevate in successione a leguminosa rispetto all'omosuccessione.

In figura 3.18 è riportato il numero di spighe per unità di superficie a maturazione nei due anni di sperimentazione al variare dei trattamenti applicati.

Come si può osservare tutti i fattori allo studio hanno esercitato effetti statisticamente significativi su tale parametro. In dettaglio, con la precessione a leguminosa il numero di spighe per unità di superficie è risultato più elevato del 32 % circa rispetto all'omosuccessione cerealicola e ciò appare presumibilmente dovuto alle migliori condizioni nutrizionali durante la fase di accostimento indotte dal precedente a leguminosa.

Quanto detto viene confermato analizzando gli effetti della fertilizzazione azotata sul numero di spighe, risultato in media crescente all'aumentare della dose di concime somministrato. Pertanto, maggiori disponibilità azotate e adeguate condizioni di fertilità indotte dalla precessione a leguminosa, inducono un incremento dell'indice di accostimento, presupposto essenziale per l'innalzamento delle rese granellari. Tra le specie, l'orzo ha fatto registrare il più alto numero di spighe per unità di superficie, risultato questo peraltro atteso considerando la maggiore capacità di accostimento della specie rispetto al frumento sia tenero che duro.

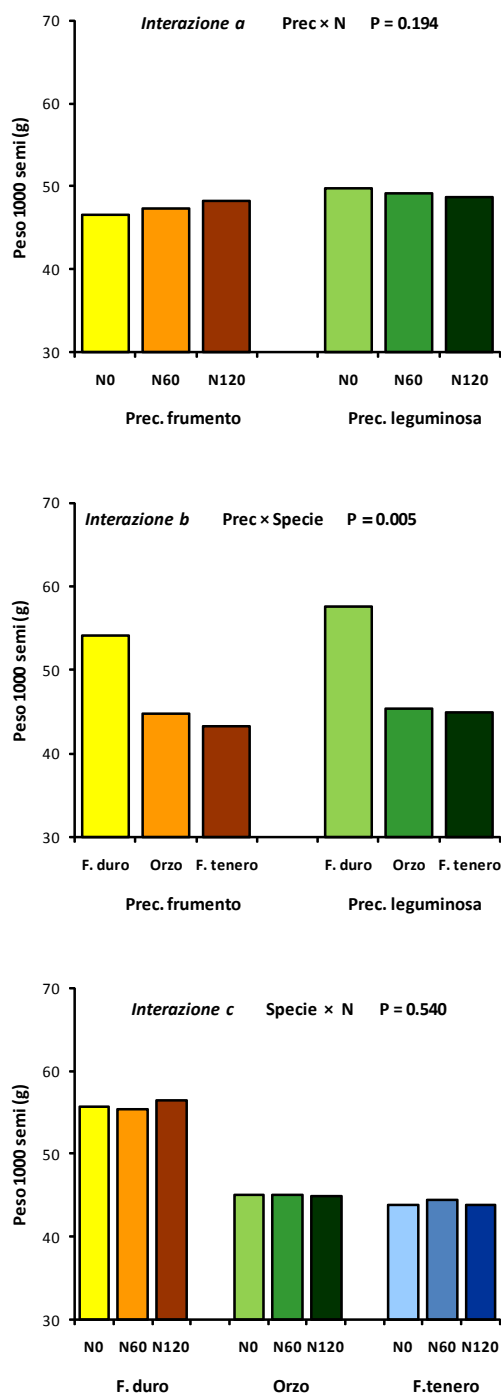


Fig. 3.17 – Peso di 1000 semi (g, dati medi del biennio) al variare delle interazioni tra (a) precessione e quantità di azoto somministrato, (b) precessione e specie e (c) quantità di azoto somministrato e specie. .

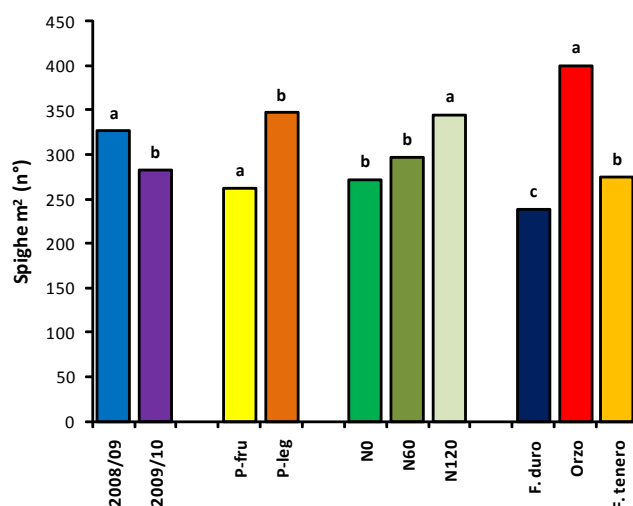


Fig. 3.18 – Numero di spighe m<sup>2</sup> al variare dell'anno, della precessione, della quantità di fertilizzante azotato somministrato e della specie. .

Altamente significativa è risultata l'interazione *Precessione x Specie* riportata nella figura 3.19 *interazione b* ( $P < 0.001$ ); come si può osservare, mentre il grano duro non modifica sostanzialmente il valore del numero di spighe per unità di superficie al variare della precessione colturale (233 e 244 spighe m<sup>2</sup> rispettivamente nelle tesi con precessione a frumento duro e leguminosa) il frumento tenero e l'orzo si avvantaggiano notevolmente degli effetti della coltura leguminosa in precessione mostrando incrementi del numero di spighe per unità di superficie dell'ordine del 44%.

Un differente comportamento tra le tre specie in valutazione è stato osservato anche al variare della dose di concime distribuito (interazione *Specie x N* significativa per  $P < 0,001$ ). Infatti, nel frumento duro il numero di spighe è rimasto invariato all'aumento delle dose di concime distribuito (251, 254, 242 spighe m<sup>2</sup> rispettivamente per i tre livelli di fertilizzazione azotata N0, N60, N120); nel frumento tenero la maggiore disponibilità di azoto indotta con la concimazione ha incrementato la capacità di accestimento; testimoniato da un sostanziale aumento del numero di spighe per unità di superficie, passato da 238 per N0 a 305 per N120. Tuttavia è stato l'orzo che ha mostrato di avvantaggiarsi in maggior misura dell'aumento delle disponibilità di azoto; infatti in questa specie il numero di spighe per unità di superficie è passato da 326 in assenza di fertilizzante azotato a 386 distribuendo 60 unità di azoto per ettaro ed a 487 somministrando 120 unità di azoto per ettaro.

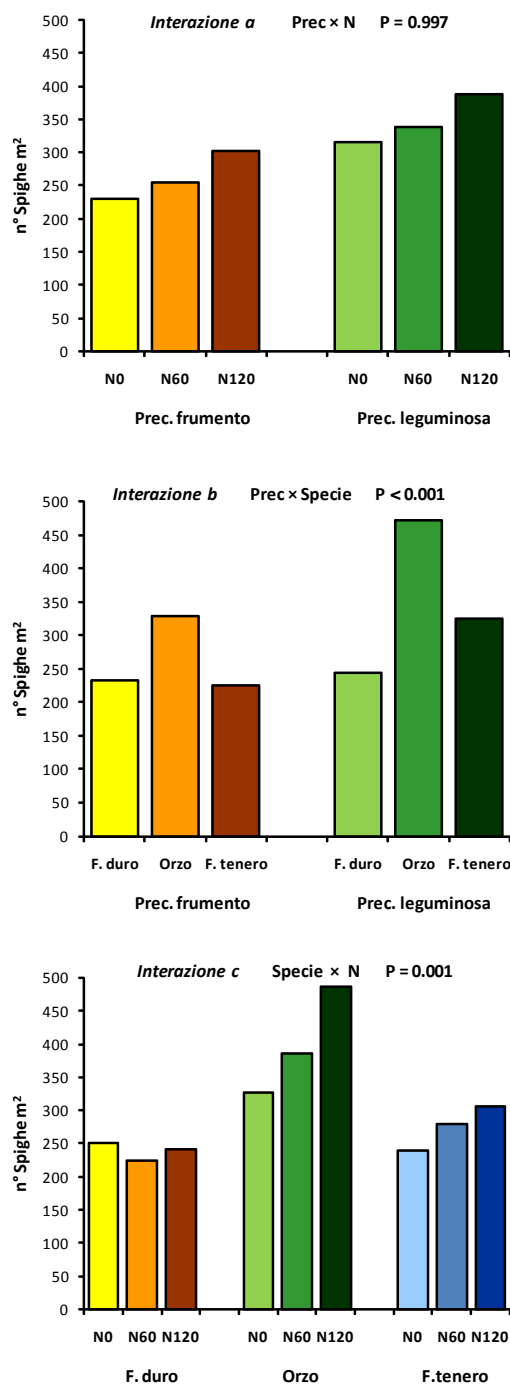


Fig. 3.19 – Numero di spighe  $m^{-2}$  (dati medi del biennio) al variare delle interazioni tra (a) precessione e quantità di azoto somministrato, (b) precessione e specie e (c) quantità di azoto somministrato e specie. .

Di seguito vengono gli effetti medi di tutti i fattori allo studio sull'altezza media delle piante a maturazione (fig. 3.20), dalla quale si evince chiaramente che tutti i fattori sono risultati significativi all'analisi della varianza.

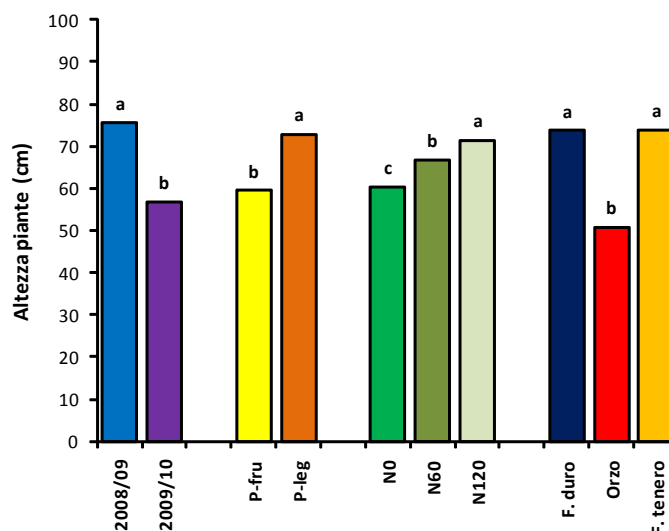


Fig. 3.20 – Altezza delle piante a maturazione (cm) al variare dell'anno, della precessione, della quantità di fertilizzante azotato somministrato e della specie.

L'altezza media delle piante è risultata significativamente crescente all'aumento delle disponibilità di azoto indotte dalla somministrazione dei fertilizzanti e al miglioramento delle condizioni di fertilità offerte dalla coltura leguminosa in precessione rispetto all'omosuccessione. Tra le specie l'orzo ha presentato una taglia marcatamente inferiore rispetto al frumento, sia tenero che duro, specie queste che non si sono differenziate per questo carattere.

Le specie in valutazione hanno mostrato una risposta analoga al variare dei trattamenti applicati, come ben si evidenzia dall'analisi della figura 3.21 (interazioni non significative statisticamente).

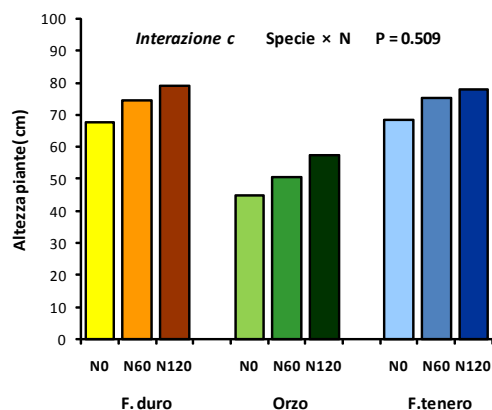
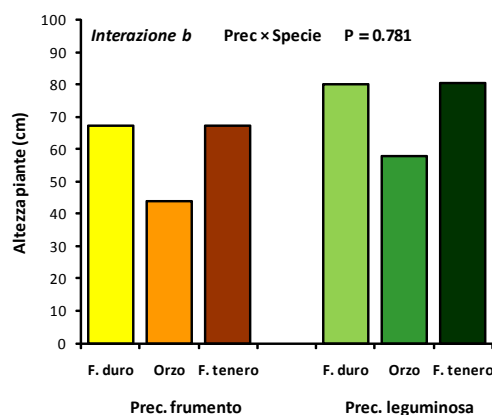
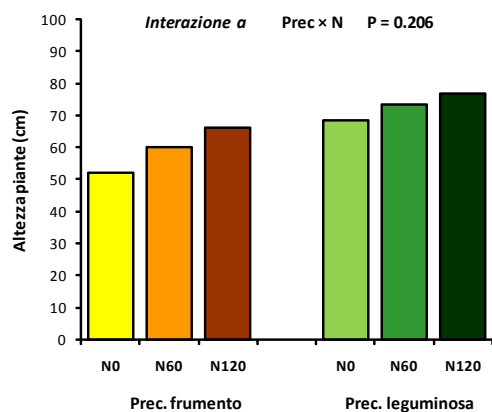


Fig. 3.21 – Altezza delle piante a maturazione (cm, dati medi del biennio) al variare delle interazioni tra (a) precessione e quantità di azoto somministrato, (b) precessione e specie e (c) quantità di azoto somministrato e specie.

L'effetto dei fattori allo studio sull'epoca di spigatura, espressa in giorni dal 1 aprile, è riportato nella figura 3.22. Tutti i fattori hanno mostrato significatività all'analisi statistica. Le tre specie nel biennio di prova hanno fatto registrare differenti epoche di spigatura; l'orzo è stata la specie più precoce (18 giorni dal 1 aprile) mentre il frumento tenero la più tardiva (21 giorni dal 1 aprile). Differentemente da quanto osservato per il numero di spighe sull'unità di superficie, il precedente colturale e la concimazione azotata hanno esercitato effetti differenti sull'epoca di spigatura. Infatti mentre con la precessione leguminosa è stato osservato un anticipo dell'epoca di spigatura rispetto all'omosuccessione cerealicola, l'aumento delle disponibilità azotate ha indotto un progressivo ritardo nella data di tale fase fenologica. Tale comportamento è spiegabile probabilmente con l'ipotesi che gli effetti delle leguminose sulle colture in successione non consistono semplicemente nell'aumento delle disponibilità azotate nel suolo, ma anche in un miglioramento delle caratteristiche chimiche, fisiche e microbiologiche dalle quali dipendono lo stato nutrizionale e quindi anche la precocità di spigatura nell'ambito di un dato genotipo.

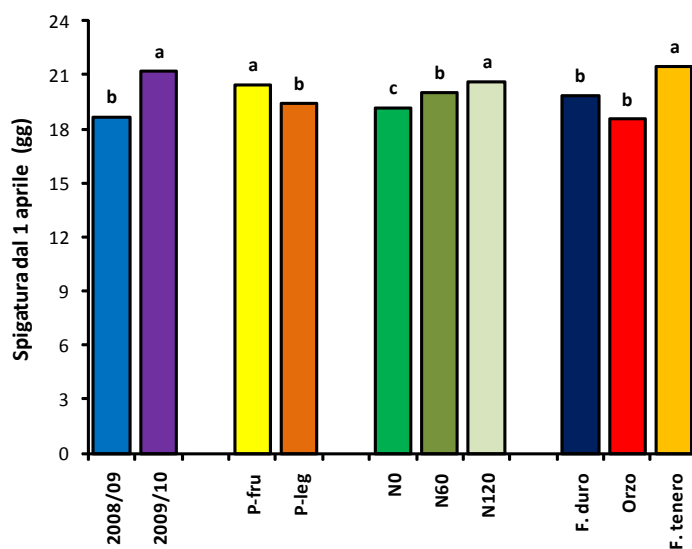


Fig. 3.22 – Epoca di spigatura (gg dal 1 aprile) al variare dell'anno, della precessione, della quantità di fertilizzante azotato somministrato e della specie.

Le interazioni *Precessione* x *N* e *Specie* x *N* sono risultate significative all'analisi statistica; tuttavia gli effetti osservati sono apparsi di modesta entità (figura 3.23).

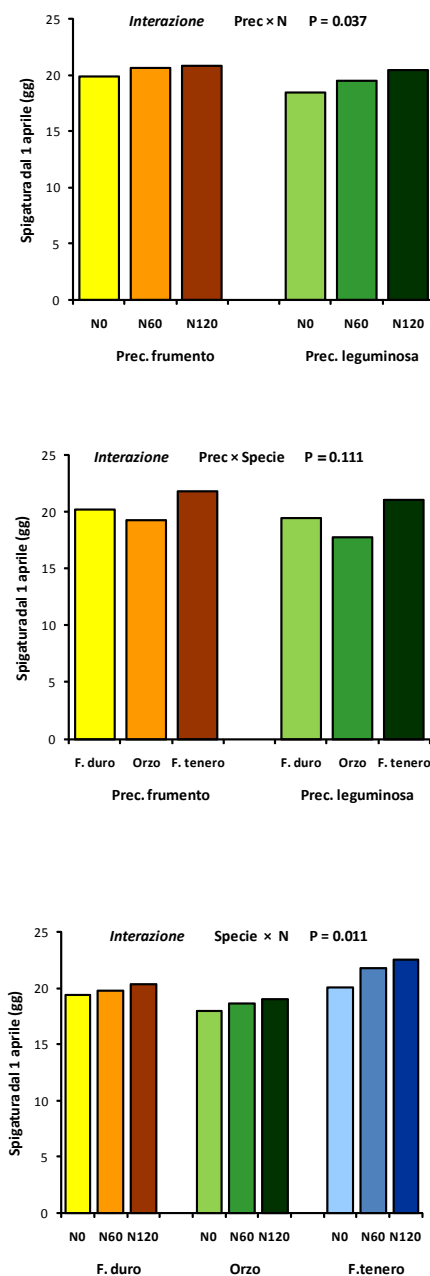


Fig. 3.23 – Epoca di spigatura (gg dal 1 aprile, dati medi del biennio) al variare delle interazioni tra (a) precessione e quantità di azoto somministrato, (b) precessione e specie e (c) quantità di azoto somministrato e specie. .



### 3.2 – Indici di efficienza dell'azoto

I risultati dell'analisi della varianza per gli indici di efficienza d'uso dell'azoto rilevati durante il biennio di sperimentazione sono riportati in tabella 3.3.

Tab. 3.3 - Analisi della varianza relativa agli indici di efficienza d'uso dell'azoto (NUE, NU<sub>t</sub>E, NPE, NAE e NRF).

| Fonti di variazione | g.l. | NUE | NU <sub>t</sub> E | NPE | NAE | NRF |
|---------------------|------|-----|-------------------|-----|-----|-----|
| anno                | 1    | *** | ***               | ns  | ns  | ns  |
| prec                | 1    | **  | *                 | ns  | ns  | *   |
| anno*prec           | 1    | ns  | *                 | ns  | ns  | ns  |
| N                   | 2    | *** | *                 | ns  | ns  | ns  |
| anno*N              | 2    | *   | *                 | ns  | ns  | ns  |
| prec*N              | 2    | ns  | **                | ns  | ns  | ns  |
| anno*prec*N         | 2    | ns  | ns                | ns  | ns  | ns  |
| specie              | 2    | *** | ***               | ns  | ns  | ns  |
| anno*specie         | 2    | **  | *                 | **  | ns  | ns  |
| prec*specie         | 2    | ns  | *                 | *** | *** | ns  |
| N*specie            | 4    | *   | ns                | ns  | ns  | ns  |
| prec*N*specie       | 4    | **  | ***               | ns  | ns  | ns  |
| anno*prec*specie    | 2    | ns  | ns                | ns  | ns  | ns  |
| anno*N*specie       | 4    | ns  | *                 | ns  | ns  | ns  |
| anno*prec*N*specie  | 4    | ns  | ns                | ns  | ns  | ns  |

\*, \*\*, \*\*\* significativo per P<0.05, P<0.01 e P<0.001, rispettivamente. ns non significativo.

Nella figura 3.24 sono presentati i valori di efficienza d'uso dell'azoto (NUE), che esprime la quantità di granella prodotta per unità di azoto potenzialmente disponibile. Tale indice è apparso influenzato dalla precessione colturale, risultando in media significativamente più elevato nelle tesi con precessione a leguminosa rispetto a quelle in omosuccessione. Questo risultato è in accordo con quanto riscontrato da altri autori (Lopez-Bellido e Lopez-Bellido, 2001; Pierce e Rice, 1988; Badaruddin e Meyer, 1994) che hanno riportato per il frumento valori di NUE significativamente più bassi nell'omosuccessione rispetto alla successione a leguminosa. Secondo tali autori la riduzione della NUE nell'omosuccessione cerealicola sarebbe dovuta sia ad un consistente decremento della produzione di granella sia ad un incremento dell'azoto residuo nel suolo (e quindi dell'azoto potenzialmente disponibile). Nella presente ricerca, considerando le modalità di calcolo dell'N supply, il risultato

ottenuto evidenza come i decrementi di resa granellare riscontrati nelle tesi in omosuccessione rispetto alla successione a leguminosa siano risultati più ampi rispetto a quelli relativi alle disponibilità di azoto nel suolo.

I valori della NUE si sono progressivamente ridotti all'aumentare della dose di concime distribuito e tale effetto è risultato significativo all'analisi statistica. Risultati simili sono riportati da Palta e Fillery (1995), Latiri-Souki et al. (1998) e Raun e Johnson (1999). Questa riduzione dei valori di NUE è dovuta al fatto che l'incremento della produzione granellare è proporzionalmente inferiore rispetto all'aumento dell'azoto disponibile (N supply) indotto dalla somministrazione del fertilizzante azotato. Da quanto detto emerge che il precedente colturale e la fertilizzazione azotata hanno esercitato effetti diametralmente opposti sull'efficienza d'uso dell'azoto delle tre specie cerealicole allo studio; ciò lascia supporre che nelle condizioni della presente tesi, il vantaggio della precessione a leguminosa sia dipeso non solo da un aumento delle disponibilità di azoto nel suolo (effetto questo dovuto sia alla mineralizzazione dei residui colturali della leguminosa che ad un effetto N sparing) ma anche da altri effetti della rotazione sulla fertilità del terreno e sulla sostenibilità del sistema colturale. I valori di NUE sono inoltre variati notevolmente per effetto del fattore specie. In particolare, tra le specie in esame, l'orzo ha mostrato valori di efficienza d'uso dell'N notevolmente più elevati rispetto al frumento duro e tenero.

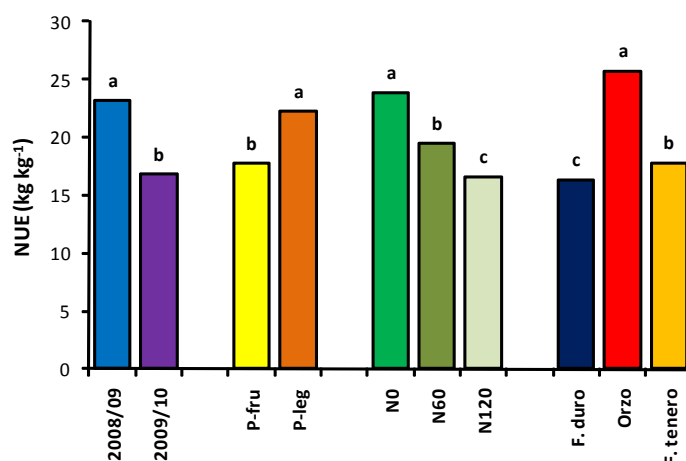


Fig. 3.24 – Nitrogen Use Efficiency (NUE) ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) al variare dell'anno, della precessione, della quantità di fertilizzante azotato somministrato e della specie.

Tale risultato è da imputare principalmente alla diversa capacità delle tre specie di convertire l'azoto asportato dal sistema in granella, come ben si evidenzia dall'analisi dei valori della NUtE (Fig. 3.25). Questo indice, che indica la granella prodotta per unità di azoto asportato dalla coltura, ha mostrato inoltre variazioni per effetto dei trattamenti applicati del tutto analoghe a quelle descritte per la NUE: una progressiva riduzione all'incremento della dose di concime somministrato ed un aumento per effetto dell'inserimento della leguminosa nella rotazione colturale. Anche questo risultato concorda con quanto riportato da altri autori su frumento ed altre specie cerealicole (Lopez-Bellido e Lopez-Bellido, 2001; Delogu et al., 1998; Giambalvo et al., 2004).

I valori dell'NPE non sono variati in modo significativo per effetto dei trattamenti applicati, evidenziando come alle variazioni di asportazione di azoto indotte dalle differenti variabili agronomiche adottate (precessione colturale, specie, fertilizzazione azotata) abbiano corrisposto analoghe variazioni di resa. Anche Lopez-Bellido e Lopez-Bellido (2001) non hanno riscontrato su frumento duro variazioni significative dell'NPE per effetto della concimazione azotata.

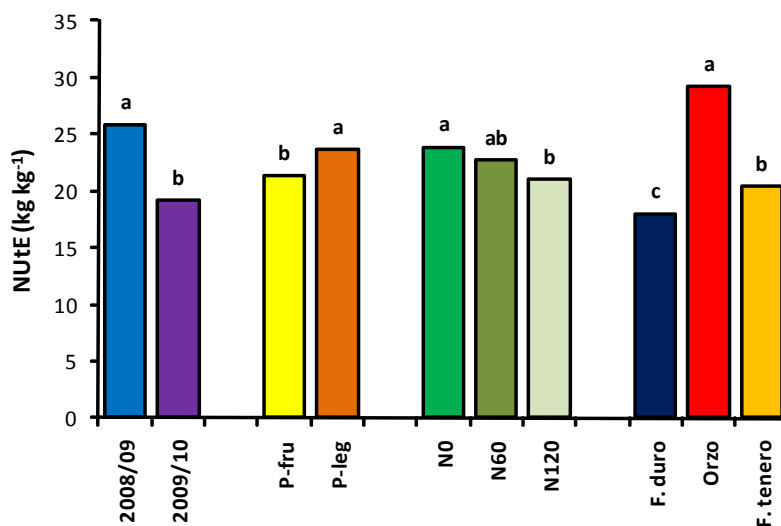


Fig. 3.25 – Nitrogen Utilization Efficiency (NUtE) (kg kg<sup>-1</sup>) al variare dell'anno, della precessione, della quantità di fertilizzante azotato somministrato e della specie.

Anche il NAE, che indica le variazioni di resa granellare per unità di azoto apportato con la concimazione, non ha mostrato variazioni significative per effetto dei trattamenti applicati. In questo caso i risultati ottenuti appaiono in disaccordo con quanto riportato da Lopez-Bellido e Lopez-Bellido (2001) i quali hanno evidenziato riduzioni crescenti dei valori di tale indice all'aumento della dose di concime somministrato, peraltro di maggiore entità allorché il frumento è stato coltivato in omosuccessione rispetto alla successione a leguminosa.

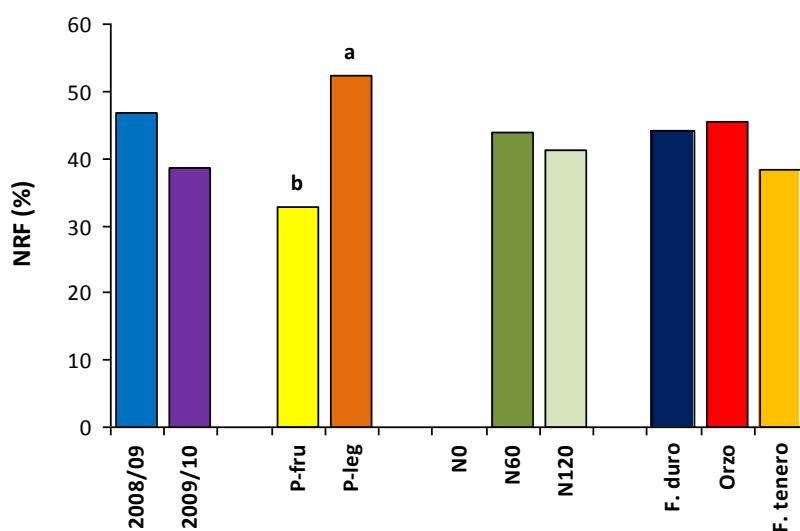


Fig. 3.26 – Nitrogen apparent Fertilizer Recovery (NRF) (%) al variare dell'anno, della precessione, della quantità di fertilizzante azotato somministrato e della specie.

I valori di Nitrogen apparent Fertilizer Recovery (NFR, fig. 3.26) sono apparsi dipendenti dal solo fattore precessione culturale; in particolare l'NFR è risultato sensibilmente maggiore nelle colture in successione a leguminosa rispetto alle colture in successione a frumento duro. Utilizzando il metodo dell'arricchimento isotopico, Varvel e Peterson (1990) hanno trovato valori di NFR superiori in mais in successione a soia rispetto alle tesi in monosuccessione. Essi hanno attribuito tale risultato ad un incremento delle perdite di azoto per lisciviazione, volatilizzazione e immobilizzazione nella monosuccessione maidicola rispetto a quanto osservato nel sistema razionalmente avvicendato.

Tale incremento può dipendere da diversi fattori quali la maggiore velocità di infiltrazione dell'acqua, la fertilità microbiologica e l'incremento della fauna

tellurica e la maggiore porosità del terreno in successione a leguminosa, come riportato da diversi autori (Katsvairo et al., 2002; Jagadamma et al., 2008). In tale contesto, le migliori condizioni edafiche per lo sviluppo per gli apparati radicali delle graminacee in prova possono aver consentito una migliore esplorazione dei volumi di suolo disponibile e quindi un maggiore probabilità di intercettare l'N somministrato con il fertilizzante, il che giustifica il maggiore NFR nelle tesi in successione a leguminosa rispetto alla successione a graminacea.

Come atteso, i valori di NFR sono inoltre apparsi decrescenti, sebbene non in maniera statisticamente significativa, all'incrementare della quantità di fertilizzante azotato somministrato. A risultati analoghi sono pervenuti Raun et al. (1999) lavorando con frumento tenero. In questa prova, l'incremento della disponibilità azotata si è probabilmente tradotto in maggiori perdite per lisciviazione soprattutto per la frazione di fertilizzante somministrata in presemina, quando gli apparati radicali sono ancora poco sviluppati e la coltura non ha ancora raggiunto alte capacità di intercettare l'N, come anche suggerito da Jokela e Randall (1997).

## Conclusioni

L'attività sperimentale condotta durante il triennio di dottorato ha avuto come obiettivo l'acquisizione di informazioni sul comportamento bio-agronomico e qualitativo e sull'efficienza d'uso dell'N di tre colture cerealicole tipiche dell'ambiente mediterraneo (frumento duro, frumento tenero e orzo) al variare della precessione colturale (frumento duro e leguminosa da granella) e della dose di concime azotato somministrato (0, 60 e 120 kg N ha<sup>-1</sup>).

La ricerca ha confermato in generale l'importanza della precessione colturale e della fertilizzazione azotata nel determinare la risposta quanti-qualitativa delle tre specie cerealicole.

L'analisi complessiva degli effetti indotti dalla variazione dei fattori studiati (specie, precessione colturale, livello della concimazione azotata) ha consentito di evidenziare quanto segue:

- la precessione colturale a leguminosa rispetto a quella a cereale ha determinato incrementi marcati nella produzione di biomassa epigeica (+56%, in media) e nella resa in granella (+80%, in media) per tutte e tre le specie in prova;
- l'aumento della dose di fertilizzante azotato ha determinato incrementi significativi della produzione granellare per tutte e tre le specie (in media del 34%: da 2,98 t ha<sup>-1</sup> in assenza di concimazione azotata a 4,00 t ha<sup>-1</sup> nella tesi fertilizzata con 120 kg N ha<sup>-1</sup>). In particolare, gli incrementi medi di resa sono stati maggiori nell'orzo rispetto ai due frumenti;
- i vantaggi offerti dalla somministrazione del concime azotato sono risultati analoghi al variare del precedente colturale;
- il contenuto proteico della granella è stato influenzato dalla precessione colturale: in media, sono stati osservati valori più alti nelle tesi in successione a cereale rispetto a quelle in successione a leguminosa. La maggiore produzione registratasi in queste ultime tesi si è quindi accompagnata ad una riduzione della *qualità* della granella (intesa come percentuale in proteine) per "effetto diluizione". Tuttavia, l'effetto della precessione colturale non è stato analogo per tutte e tre le specie: nei due frumenti, la percentuale di proteine nella granella è stata superiore

nelle tesi in successione a cereale rispetto a quelle in successione a leguminosa, mentre un andamento opposto è stato rilevato nell'orzo;

- l'aumento della dose di concime azotato non ha influito sul contenuto proteico della granella in nessuna delle tre specie;
- le tre specie in prova hanno mostrato una differente efficienza d'uso dell'azoto (NUE), indice che esprime la quantità di granella prodotta per unità di azoto potenzialmente disponibile. In particolare, l'orzo ha mostrato, in media, valori di NUE notevolmente più elevati rispetto al frumento duro e al frumento tenero. La NUE è apparsa influenzata dalla precessione colturale, risultando in media significativamente più elevata nelle tesi con precessione a leguminosa rispetto a quelle in omosuccessione. I valori di tale indice si sono inoltre progressivamente ridotti all'aumentare della dose di concime azotato distribuito, risultato questo in accordo con quanto generalmente riportato in letteratura. Questa riduzione è dovuta al fatto che l'incremento della produzione granellare è proporzionalmente inferiore rispetto all'aumento dell'azoto disponibile (*N supply*) indotto dalla somministrazione del fertilizzante azotato.

I risultati ottenuti contribuiscono ad aumentare il bagaglio di informazioni utili per una più razionale e sostenibile gestione delle colture cerealicole più diffuse nell'ambiente mediterraneo, con particolare riferimento agli aspetti della precessione colturale e della fertilizzazione azotata. Appare comunque necessario condurre ulteriori ricerche finalizzate all'individuazione di soluzioni tecniche specifiche per i diversi contesti agro-ambientali ed utili a massimizzare l'efficienza di utilizzazione dell'azoto nel sistema colturale, massimizzando le produzioni e minimizzando, al contempo, i rilasci ambientali dell'elemento.

## **Bibliografia**

- Al-Darby A.M., Lowery B. 1986. Evaluation of corn growth and productivity with three conservation tillage systems. *Agronomy J.* 78:901-907.
- Alpi A., Pupillo P., Rigano C. 1992. *Fisiologia delle piante*, Edises, pp. 331-334.
- Altieri M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 19-31.
- Armstrong E.L., Heenan D.P., Pate J.S., Unkovich M.J. 1997. Nitrogen benefit of lupin, field pea and chickpea to wheat production in south-eastern Australia. *Aust. J. Agric. Res.*, 48:39-47.
- ASA (American Society of Agronomy) 1989. *ASA news* 1989.
- Aulakh M.S., Rennie D.A., Paul E.A. 1982. Gaseous nitrose losses from cropped and summer fallow soils. *Can. J. Soil Sci.* 62, 187-195.
- Aulakh M.S., Rennie D.A., Paul E.A. 1984. The influence of plant residues on denitrification rates in conventional and zero tilled soils. *Soil Sci. Am. J.* 48, 790-794.
- Austin R.B., Edrich J.A., Ford M.A., Blackwell R.D. 1976. Report of the plant breeding Institute, Cambridge for 1975, pp. 140-141.
- Azienda Regionale Veneto Agricoltura Pagina 3 di 4 Convegno 4 novembre 2004 – Lorenzo Barbanti – I bilanci dei nutrienti nell'ambito di avvicendamenti colturali differenziati.. Azienda Regionale Veneto Agricoltura Pagina 4 di 4
- Badaruddin M., Meyer D.W., 1994. Grain legume effects on soil nitrogen, grain yield, and nitrogen nutrition of wheat. *crop Sci.* 34, 1304-1309.
- Baldock, J.O., Musgrave, R.B. 1980. Effects of manure and mineral fertilizer on continuous and rotational crop sequences. *Agron. J.* 72, 511-518.
- Baldoni G. 2002. La concimazione azotata del frumento tenero. *Agricoltura* dicembre:31-32.
- Barbieri P.A., Rozas H.R.S., Andrade F.H. Echeverria H.E. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrose availability in maize. *Agron. J.* 92:283-288.
- Bruno G., et al. 2009. Grano, distribuire l'azoto salvaguardando la redditività. *Terra e Vita* 5: 22-25.
- Brussaard L., de Ruiter P.C., Brown G.G. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121, 233-244.
- Bullied W.J., Entz M.H., Smith S.R. Jr., Bamford K.C. 2002. Grain yield and N benefits to sequential wheat and barley crops single-year alfalfa, bersem and red clover, chickling vetch and lentil. *Can. J. Plant Sci.* 82, 53-65.
- Bullock, D.G. 1992. Crop rotation. *Crit. Rev. Plant Sci.* 11, 309-326.
- Caporali F. 1991. *Ecologia per l'agricoltura*. UTET, Torino, 230.
- Carranca C., de Varennes A., Rolston D., 1999. Biological nitrogen fixation by faba bean, pea and chickpea, under field conditions, estimated by the 15N isotope dilution technique. *European Journal of Agronomy*, 10, 49-56.



- Celli G., 1985. Ecologia del campo coltivato. Atti del II Convegno Nazionale della Società Italiana di Ecologia.
- Chalk, P.M. 1998. Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review. *Aust. j. Agric. Res.* 49, 303-316.
- Clegg, M.D. 1982. Effects of soybean on yield and nitrogen response of subsequent sorghum crops in eastern Nebraska. *Field Crops res.* 5, 233-239.
- Colmer T. D., Munns R., Flowers T. J., 2004. Improving salt tolerance of wheat and barley: future prospects. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45: 1425–1443.
- Consagra D. 2008. Valutazione dell'efficienza d'uso dell'azoto in frumento duro al variare di alcuni fattori dell'agrotecnica in ambiente mediterraneo. Tesi di dottorato di ricerca in "Agro-ecosistemi mediterranei".
- Cooperrider A., Garret L.R. and Hobbs N.T. 1999. Data collection, management, and inventory. In: Johnson N.C., Malk A.J., Sexton W.T. and Szaro R. (Eds.), *Ecological Stewardship: A common Reference for Ecosystem Management*. Elsevier Science Limited, Oxford, UK, pp. 604-627.
- Costa C., Dwyer L.M., Zhou X., Dutilleul P., Hamel C., Reid L.M., Smith D.L. 2002. Root morphology of contrasting maize genotypes, *Agron. J.* 94:96-101.
- Crews E.T., Mohler C.L., Power A.G., 1991. Energetics and ecosystem integrity: the defining principles of sustainable agriculture. *Am. J. of Altern. Agric.*, 6, 147-149.
- Dakora F., Keya S. 1997. Contribution of legume nitrogen fixation to sustainable agriculture in subsaharian Africa. *Soil Biol. Biochem.* 29:809-817.
- Dalal R.C., Strong W.M., Weston E.J., Cooper J.E., Wildermurth G.B., Lehane K.J., King A.J., Holmes C.J. 1998. Sustaining productivity of Vertisol at Warra, Queensland, with fertilizer, no-tillage, or legumes. 5. Wheat yield, nitrogen benefits and water use efficiency of chickpea-wheat rotation. *Aust. J. Exp. Agric.*, 38:489-501.
- De R., Yogeswara Y., Ali W. 1983. Grain and fodder legumes as proceeding crops affecting the yield and N economy of rice. *J. Agric. Sci. Cambridge* 101, 463-466.
- Delogu G., Cattivelli L., Pecchioni N., De falcis D., Maggiore T. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *Eur. J. Agron.* 9:11-20.
- Earl C.D., Ausubel F.M. 1983. The genetic engineering of nitrogen fixation. *Nutr. Rev.* 41:1-6.
- Edwards C.A., Grove T.L., Harwood R.R., Pierce Colfer C.J., 1993. The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability. *Agric. Ecosystems Env.*, 46, 99-121.
- Eghball B., Maranville J.W. 1991. Interactive effects of water and nitrogen stresses on nitrogen utilization efficiency, leaf water status and yield of corn genotypes, *commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22:1367-1382.
- Evans J., Scott G., Lemerle D., Kaiser A., Orchard B., Murray G.M., Armstrong. 2003b. Impact of legume "break" crops on yield and grain quality of wheat and relationship with soil mineral N and crop N content. *Aust. J. Agric. Res.* 54, 777-788.

- Evans J., Scott G., Lemerle D., Kaiser A., Orchard B., Murray G.M., Armstrong. 2003a. Impact of legume "break" crops on the residual amount and distribution of soil mineral nitrogen. *Aust. J. Agric. Res.* 54, 763-776.
- Fageria N.K. 1992. "Maximizing crop yields". Marcel Dekker, New York.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. 2001. Improving nutrient use efficiency of annual crops in Brazilian acid soils for sustainable crop production. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32, 1303-1319.
- Fageria N.K., Barbosa Filho M.P. 2001. Nitrogen use efficiency in lowland rice genotypes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:2079-2089.
- Fageria N.K., Baligar V.C. 2003a. Fertility management of tropical acid soils for sustainable crop production. In "Handbook of soil acidity" (Z. Rengel, Ed.), 359-385. Marcel Dekker, New York.
- Felton W.L., Marcellos H., Alston C., Martin R.J., Backhouse D., Burgess L.W., Herridge D.F. 1998. Chickpea in wheat-based cropping system of northern New South Wales. II. Influence of biomass, grain yield and crown rot in the following wheat crop. *Aust. J. Agric. Res.*, 49:401-407.
- Florenzano G. 1986. Ciclo dell'azoto. In: *Fondamenti di Microbiologia del terreno*, REDA, pp. 289-291.
- Fowler C., Mooney P. 1990. *Shattering: Food, Politics and the Loss of Genetic Diversity*. University of Arizona press, Tucson, AZ, 278 pp.
- Fowler D.B., Brydon J. 1989. No-till winter wheat production on the Canadian prairies: Placement of urea and ammonium fertilizers. *Agron. J.* 81, 518-524.
- Francis D.D., Schepers J.S., Vigil M.F. 1993. Post-anthesis nitrate loss from corn. *Agronomy journal* 85, 659-663.
- Gerik T.J., Jackson B.S., Stockle C.O., Rosenthal W.D. 1994. Plant nitrogen status and boll load of cotton. *Agron. J.* 86:514-518.
- Giambalvo D., Ruisi P., Di Miceli G., Frenda A.S., Amato G. 2010. Nitrogen use efficiency and nitrogen fertilizer recovery of durum wheat genotypes as affected by interspecific competition. *Agron. J.* 102:707-715.
- Giambalvo D., Stringi L., Di Miceli G., Frenda A.S., Trapani P., Scarpello C. 2004. Effects of grain legume crops on yield and quality of subsequent wheat crop grown at several rates of applied nitrogen. *Atti Workshop "Grain legumes and the environment: how to assess benefits and impacts?"*, European association for grain legume research, 18-19 november 2004, Zurich (Switzerland) p. 27.
- Giambalvo D., Stringi L., Di Miceli G., Scarpello C. 2002. Stima dell'azotofissazione biologica nella fava (*Vicia faba* L. var minor) e nel cece (*Cicer arietinum* L.) in ambiente mediterraneo. *Atti del Convegno su "Ruolo agronomico dell'azotofissazione nelle leguminose foraggere e da granella"*. Torino, 9 aprile 2002.
- Giambalvo D., Stringi L., Di Miceli G., Scarpello C., 2003. Stima dell'azotofissazione biologica nella fava e nel cece in ambiente mediterraneo. *Riv. Di Agron.*, 37:129-132.
- Giambalvo D., Stringi L., Frenda A.S., Di Miceli G. 1999. Influenza della precessione e delle tecniche di lavorazione del terreno sulla produttività e qualità del frumento duro in un ambiente collinare siciliano. *Riv. Agron.*, 4:202-208.

- Giardini L., 1992. *Agronomia generale, ambientale e aziendale*, Pàtron Editore, Bologna, pp. 377-483.
- Giardini L., Borin M., Berti A. 1999. Effetti del letame e del liquame bovino in avvicendamenti colturali a diverso livello di concimazione. *Riv. Agron*, 33: 118-129.
- Giardini L., Borin M., Berti A. 1999. Effetti del letame e del liquame bovino in avvicendamenti colturali a diverso livello di concimazione. *Riv. Agron*, 33: 118-129.
- Giardini L., Borin M., Berti A., Giupponi C. 1995 Confronto tra avvicendamenti colturali con diversi tipi di concimazione minerale ed organica. *Riv. di Agron.*, 3:403-408.
- Giardini L., Cantele A., Borin M., Berti A. 1997. Confronto tra sistemi colturali a scala aziendale. Nota I: valutazioni agronomiche ed economiche. *Riv. Agron*, 31, 3, 521-530.
- Grundon N.J. 1987. „Hungry crops: A guide to nutrient deficiency in field crops“. Queensland Departement of Primary Industries, Brisbane.
- Hansen, B., E.S. Kristensen, R. Grant, H. Høgh-Jensen, S.E. Simmelsgaard, J.E. Olesen (2000). Nitrogen leaching from conventional versus organic farming systems - a systems modelling approach. *European Journal of Agronomy* 13: 65-82.
- Hargrove W.L., Kiessel D.E., Fenn L.B. 1977. Field measurements of ammonia volatilization from surface applications of ammonium salts to a calcareous soil. *Agronomy J.* 69, 473-476.
- Harris H. C. 1995. Long-term trials on soil and crop management at ICARDA. In: Lal R. e Stewart B.A ed. *Soil Management: Experimental Basic for Sustainability and Environmental Quality*. Boca Raton (FL): CRC Press, Lewis Publishers, 447-469.
- Hausmann, Giovanni (1964), *La terra e l'uomo*. Saggio sui principi di agricoltura generale, Boringhieri, Torino.
- Heitholt J.J., Croy L.I., Mannes N.O., Nguyen H.T. 1990. Nitrogen partitioning in genotypes of winter wheat differing in grain N concentration. *Field crop Res.* 23, 133-144.
- Howard D.D. Gwathmey C.O., Essington M.E., Roberts R.K., Mullen M.D. 2001. Nitrogen fertilization of no-till cotton on loess-derived soils. *Agron. J.* 93:157-163.
- Hill J., Nelson E., Tilman D., Polasky S., Tiffany D. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proc Natl Acad Sci USA* 103, 11206–11210.
- Huggins D.R., Pan W.L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping systems differences in productivity. *Agronomy Journal*, 85, 898-905.
- Jagadamma, S., Lal, R., Hoefl, R.G., Nafziger, E.D., Adee, E.A., 2008. Nitrogen fertilization and cropping system impacts on soil properties and their relationship to crop yield in the central Corn Belt, USA. *Soil and Tillage Research*, 98 (2), pp. 120-129.
- Jokela, W.E., and G.W. Randall. 1997. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1695–1703
- Kamprath E.J., Moll R.H., Rodriguez N. 1982. Effects of nitrogen fertilization and recurrent selection on performance of corn. *Agronomy J.* 74:955-958.

- Kanampiu, F.K., Raun, W.R., Johnson, G.V. 2004. Effect of nitrogen rate on plant nitrogen loss in winter wheat varieties. *J. Plant Nutr.* 20, 389-404.
- Kanampiu, F.K., Raun, W.R., Johnson, G.V. 1997. Effect of nitrogen rate on plant nitrogen loss in winter wheat varieties. *J. Plant Nutr.* 20:389-404.
- Karlen D.L., Hunt P.G., Manthey T.A. 1996. Fertilizer 15nitrogen recovery by corn, wheat, and cotton grown with and without pre-plant tillage on Norfolk loamy sand. *Crop Sci.* 36, 975-981.
- Karlen D.L., Varvel G.E., Bullock D.G., Cruse R.M. 1994a. Crop rotation for the 21<sup>st</sup> century. *Adv. Agron.*, 53:1-45.
- Karlen D.L., Wollenhaupt N.C., Erbach D.C., Berry E.C., Swan J.B., Eash N.S., Jordahl J.L. 1994b. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no.till. *Soil Till. Res.*, 31:149-167.
- Karrou M., Maranville J.W. 1993. Seedling vigor and nitrogen use efficiency of Moroccan wheat as influenced by level of soil nitrogen. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24:1153-1163.
- Kaspar T.C., Brown H.J., Kassmeyer E.M. 1991. Corn root distribution as affected by tillage wheel traffic, and fertilizer placement, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1390-1394.
- Katsvairo, T., W.J. Cox, and H. van Es. 2002. Tillage and rotation effects on soil physical characteristics. *Agron. J.* 94:299–304.
- Kleijn D, Verbeek M. 2000. Factors affecting the species composition of arable field boundary vegetation. *Journal of Applied Ecology* 37:256–66.
- Kolberg R.L., Kitchen N.R., Westfall D.G., 1996. Cropping intensity and nitrogen management impact of dryland no-till rotations in the semi-arid western great plants. *J. Prod. Agric.* 9, 517-522.
- Kumar K., Goh K.M. 2002. Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. *Eur. J. Agron.* 16, 295-308.
- Kumar Rao J.V.D.K., Dart P.J., Sastry P.V.S.S. 1983. Residual effect of pigeonpea (*Cajanus cajan*) on yield and nitrogen response of maize. *Exp. Agric.*, 19:131-141.
- Langridge P., Paltridge N., Fincher G., 2006. Functional genomics of abiotic stress tolerance in cereals. *Briefings in Functional Genomics and Proteomics.* 4 (4): 343-354.
- Lanning S.P., Talbert L.E., Martin J.M., Blake T.K., Bruckner P.L. 1997. Genotype of wheat and barley affects light penetration and wild oat growth. *Agron. J.* 89:100-103.
- Latiri-Souki K., Norteliff S., Lawlor D.W. 1998. Nitrogen fertilizer can increase dry matter, grain production and radiation and water use efficiencies for durum wheat under semi-arid conditions. *Eur J. Agron.* 9:21-34.
- Liebman M, Davis AS. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Res* 40:27–47.

- Lopez- Bellido, L., Lopez-Bellido, R., Redondo, R. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under Mediterranean condition as affected by split nitrogen application. *Field Crops Reserch*, 94, 86-97.
- Lopez-Bellido L., Fuentes M., Castillo J., Lopez-Garrido F.J. 1998. Effects of tillage, crop rotation, and nitrose fertilization, on wheat-grain quality grown under raifed conditions. *Field Crops Research*, 57, 265-276.
- Lopez-Bellido R. J., et al. 2007. Comparative response of bread and durum wheats to nitrogen fertiliser in a rainfed Mediterranean environment. 15<sup>th</sup> nitrogen workshop. Towards a batter efficiency in N use:494 - 496.
- Lopez-Bellido R.J., Lopez-Bellido L. ( 2001) Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N-fertilization. *Field Crops Reserch*, 71, 31-46.
- Mäder P., Fliessbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P., Niggli U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694–7.
- Marcellos H., Felton W.L. 1992. Cropping systems of the temperate summer rainfall region. In: Hutchinson K.J., Vickery P.J. ed. *Proceedings of the Sixth Australian Agronomy Conference, Armidale, 10-14 February 1992*. Parkville, Vic.: The Australian Society og Agronomy. 48-53.
- McConnel J.S., Glover R.E., Vories E.D., Baker W.H., Frizzel B.S., Bourland F.M. 1995. Nitrogen fertilization and plant development of cotton as determined by nodes above white flower. *J. Plant Nutr.* 18:1027-1036.
- Moll R.H., Kamprath E.J., Jackson W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74, 562-574.
- Muchow R.C. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment : I. leaf growth and leaf nitrogen. *Field Crops res.* 18:1-16.
- Monnier G., 1986. Conclusion generale. In “Les rotations cerealieres intensives”, INRA, Paris.
- Mühlenberg M., Slowik J. 1997. *kulturlandschaft als Lebensraum*. Quelle & Meyer, Wiesbaden.
- Odum E.F., 1988. *Basi di ecologia*. Piccin editore.
- Olson R.V., Swallow C.W. 1984. Fate of labeled nitrogen fertilizer applied to winter wheat for five years. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 583-586.
- Pain D.J., Pienkowski M.W. 1997. *Farming and Birds in Europe*. Academic Press, London.
- Palta, J.A. and Fillery, R.P., 1995. N application enhances remobilization and reduces losses of pre-anthesis N in wheat grown on a duplex soil. *Aust. J. Agric. Res.* 46, pp. 519–531.
- Pan W.L., Kamprath E.J., Moll R.H., Jackson W.A. 1984. Prolificacy in corn: Its affects on nitrate and ammonium uptake and utilization. *soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 1101-1106.
- Paponov, I., Aufhammer, W., Kaul, H.P., Ehmele, F.P. 1996. Nitrogen efficiency components of winter cereals. *Agronomy Journal* 5, 115-124.

- Perez P., Martinez-Carrasco R., Sanchez de La Puente L. 1983. Uptake and distribution of nitrogen in wheat plants supplied with different amounts of nitrogen after stem elongation. *Ann. Appl. Biol.* 102, 399-406.
- Perry D.A. 1994. *Forest Ecosystems*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 649 pp.
- Pierce, F.J., Rice, C.W., 1988. Crop rotation and its impact on efficiency of water and nitrogen use. In "Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen" (W. L. Hargrove, Ed.), ASA Spec. Publ. 51, 21-42. ASA, CSSA, and SSSa, Madison.
- Pierce, F.J., Rice, C.W., 1988. Crop rotation and its impact on efficiency of water and nitrogen use. "Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen" (W. L. Hargrove, Ed.), ASA Spec. Publ. 15, winsconsin, pp. 101-113.
- Poma I., Monti M. 1989. Tecnica colturale e scelta varietal per il frumento duro in Sicilia. *Inf. Agr.* 39:59-66.
- Poma I., Gristina L., Bono G., Sarno M. 2009. Role of crop rotation and nitrose fertilization on the productive and qualitative response of barley (*Hordeum vulgare* L.). 16<sup>TH</sup> Nitrogen Workshop "Connecting different scales of nitrogen use in agriculture", Torino, 28 giugno 2009.
- Poma I., Gristina L., Bono G. 2009. Effetti della concimazione azotata e della precessione colturale sul frumento tenero (*Triticum aestivum* L.). Atti del XXXVIII Convegno della Società Italiana di Agronomia, Firenze 21 settembre 2009.
- Raun W.R., Johnson G.V. 1995. Soil-plant buffering of inorganic nitrogen in continuous winter wheat. *Agronomy J.* 87, 827-834.
- Raun, W. R., G. V. Johnson, and R. L. Westerman, 1999: Fertilizer nitrogen recovery in long-term continuous winter wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 645—650.
- Raun, W.R., Johnson, G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91, 357-363.
- Riedel W.E., Schumacher T.E., Evenson P.D. 1996. Nitrogen fertilizer management to improve crop tolerance to corn rootworm larval feeding damage, *Agron. J.* 88:27-32.
- Robertson GP, Swinton SM. 2005. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture. *Front Ecol Environ* 3:38–46.
- Robson A.D., Snowball K. 1986. Nutrient deficiency and toxicity symptoms. In "Plant Analysis: An Interpretation manual" (D.J. Reuter and J.B. Robinson, Eds.) pp 13-19. Inkata Press, Melbourne.
- Rochester IJ, MB Peoples, NR Hulugalle, RR Gault, and G. A. Constable, 2001. Using legumes to enhance nitrogen fertility and improve soil condition in cotton cropping systems. *Field Crops Research*. Volume 70, 27-41.
- Rowland, I.C., Mason, M.G., Hamblin, J. 1988. Effects of lupins and wheat on the yield of subsequent wheat crops grown at several rates of applied nitrogen. *Aust. J. Exp. Agric.* 28, 91-97.
- Safley M. 1998. How traditional agriculture is approaching sustainability. *Biomass and Bioenergy* 14 (4), 329-332.
- Salsac L., Chaillou S., Morot-gaudry J.F., Lesaint C., Jolivoie E. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 25:805-812.

- Santos, A.B., Fageria, N.K., Prabhu, A.S. 2003. rice rationing management practices for higher yields. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34, 881-918.
- Satorre E.H., Snaydon R.W. 1992. A comparison of root and shoot competition between spring cereals and *Avena fatua*. *Weed Res.* 32:45-55.
- Schlegel, A.J., Havlin, J.L. 1997. Green fallow for the central Great Plains. *Agron. J.* 89, 762-767.
- Schulz, S., Keatinge, J.D.H., Wells, G.J. 1999a. Productivity and residual effects of legumes in rice-based cropping systems in a warm-temperate environment. I. Legume biomass production and N fixation. *Field Crops Res.* 61, 23-35.
- Schulz, S., Keatinge, J.D.H., Wells, G.J. 1999b. Productivity and residual effects of legumes in rice-based cropping systems in a warm-temperate environment. II. Legume biomass production and N fixation. *Field Crops Res.* 61, 37-49.
- Scole D.L., Chomentowski W.H., Salas W.A. and Nobre A.D. 1994. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *Bioscience* 44, 314-322.
- Senaratne, R., Hardarson, G. 1988. Estimation of residual N effect of faba bean and pea on two succeeding cereals using <sup>15</sup>N methodology. *Plant Soil* 110, 81-89.
- Seybold C.A., Mausbach M.J., Karlen D.L., Rogers H.H. 1998. Quantification of Soil Quality. In: Lal R., Kimble J.M., Follet R.F., Stewart B.A. ed. *Soil process and carbon cycle*. Boca Raton (FL): CRC Press, 387-404.
- Shoji S., Delegado J., Mosier A.R., Miura Y. 2001. Controlled release fertilizer and nitrification inhibitors to increase nitrate use efficiency and to conserve air and water quality. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:1051-1070.
- Sinclair T.R., Horie T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency. A review. *Crop Sci.* 29:90-98.
- Smith R.G., Gross K.L. and Robertson G.P. 2008. Effects of Crop Diversity on Agroecosystem Function: Crop Yield Response. *Ecosystems*, DOI: 10.1007/s10021-008-9124-5.
- Sowers K.E., Miller B.C., Pan W.L. 1994. Optimizing grain yield in soft white winter wheat split nitrogen application. *Agron. J.* 86, 1020-1025.
- Sowers K.E., Pan W.L., Miller B.C., Smith J.L. 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Agron. J.* 86, 942-948.
- Spiertz J.H.J. 1978. Effect of nitrogen on crop development and grain growth of winter wheat in relation to assimilation and utilization of assimilates and nutrients. *Neth J. Agric. Sci.* 26, 210-231.
- Spike B.P., Tollefson J.J. 1988. Western corn rootworm (coleoptera: Chrysomelidae) larval survival and damage potential to corn subjected to nitrogen and plant density treatments, *J. Econ. Entomol.* 81:1450-1455.
- Squires V.R., 1991. A systems approach to agriculture. In "Dryland Farming – A Systems Approach" (Ed. V. Squires e P. Tow). Sidney Un. Press, 3-15.
- Sutherland, W. N., Shrader, W.D., Pesek, J.T. 1961. Efficiency of legume residue nitrogen and inorganic nitrogen in corn production. *Agron. J.* 53, 339-342.
- Tabaglio V., Spallacci P. 1993. I principi agronomici della concimazione con reflui zootecnici. In: *Manuale per la gestione e l'utilizzazione agronomica dei reflui zootecnici*, a cura del Centro Ricerche Produzioni Animali – Regione Emilia-Romagna, pp. 207-270.

- Tewolde H., Fernandez C.J. 1997. Vegetative and reproductive dry weight inhibition in nitrose and phosphorus deficient Pima cotton. *J. Plant Nutr.* 20:219-232.
- Tilman D., Fargione J., Wolff B., D'Antonio C., Dobson A., Howarth R., Schindler D., Schlesinger WH, Simberloff D., Swackhamer D. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* 292:281-4.
- Tilman D., Fargione J., Wolff B., D'Antonio C., Dobson A., Howarth R., Schindler D., Schlesinger W.H., Simberloff D., Swackhamer D. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* 292:281-4.
- Toderi G., D'Antuono L.F. 2000. Frumento (*Triticum* sp. pl.). baldoni e Giardini (coord.) "Coltivazioni erbacee" cap. 2 (pp. 32-108), 3<sup>a</sup> edz., Patron Editore, quarto Inferiore (BO).
- Uhart S.A., Andrade F.H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effect on crop growth, development, dry matter partitioning. And kernel set. *Crop Sci.* 35:1376-1383.
- Toderi G., Giordani G. 1983. L'avvicendamento colturale nella coltivazione del frumento. *L'Informatore Agrario XXXIX* (34): 27192 - 27198.
- Vadrevu K.P., Cardina J., Hitzhusen F., Bayoh I., Moore R., Parker J., Stinner B., Stinner D., Casey H. 2008. Case Study of an Integrated Framework for Quantifying Agroecosystem Health. *Ecosystems* 11, 283-306.
- Varvel G.E., Peterson T.A. 1990. Nitrogen Fertilizer Recovery by Corn in Monoculture and Rotation Systems. *Agron. J.* 82935-938
- Veldkamp A., Fresco L.O. 1996. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Modelling* 85, 253-270.
- Venturi G., Barbanti L., Mambelli S., Candolo G., Amaducci M.T., Rosso F. 1994. Bilans économiques et énergétiques de systèmes de production intégrée comprenant des betteraves, des céréales et d'autres cultures industrielles. *Proceedings of the 57<sup>th</sup> IIRB Congress, Brussels, February 16-17, 63-80.*
- Wagstaff H., 1987. Husbandry methods and farm systems in industrialized countries which use lower levels of external inputs a review. *Agr. Ecosystems Env.*, 19, 1-27.
- Weil, R.R., 1991. Defining and using the concept of sustainable agriculture. *J. Agron. Educ.*, 19, 126-130.
- Wienhold B.J., Trooien T.P., Reichman G.A. 1995. Yield and nitrogen use efficiency of irrigated corn in the northern great plains. *Agronomy J.* 87, 842-846.
- Yadvinder-Singh C.S. Khind, Bijay-Singh. 1991. Efficient management of leguminous green manures in wetland rice. *Adv. Agron.* 45, 135-189.
- York E.T., 1991. Agricultural sustainability and its implications to the horticulture profession and the ability to meet global food needs. *Hort. Sci.*, 26, 1252-1256.
- Yoshida S. 1972. Physiological aspects of grain yield. *Annu. Rev. Plant physiol.* 23, 437-464.
- Zinati G.M., Christenson D.R., Harris D. 2001. Spatial and temporal distribution of 15N tracer and temporal pattern of N uptake from various depths by sugarbeet. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32, 1445-1456.