

www.regione.lombardia.it

LA GESTIONE DELLA FERTILITÀ BIOLOGICA DEI SUOLI NELLE COLTIVAZIONI CEREALICOLE E FORAGGERE DELLA PIANURA PADANA FERSOIL



Quaderni della ricerca n. 105 - ottobre 2009

LOMBARDIA. COSTRUIAMOLA INSIEME.



Regione Lombardia
Agricoltura

Studio condotto nell'ambito del progetto di ricerca n. 1004:
La gestione della fertilità biologica dei suoli nelle coltivazioni cerealicole e foraggere della pianura padana.
(d.g.r. 29 marzo 2006, n. 2216 - Piano per la ricerca e lo sviluppo 2006).

Coordinamento scientifico

dott. Cesare Tomasoni

Attori del Progetto

Fondazione Minoprio – Centro Lombardo per l'Incremento della Floro-Orto-Frutticoltura - Vertemate con Minoprio (CO)

MAC Minoprio Analisi e Certificazioni Srl – Vertemate con Minoprio (CO)

Agricola 2000 Scpa – Tribiano (MI)

CRA FLC – Centro di Ricerca per le Produzioni foraggere e lattiero casearie – Lodi

CRA RPS – Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo – Roma

Per informazioni:

Regione Lombardia - Direzione Generale Agricoltura
U.O. Interventi per la competitività e l'innovazione tecnologica delle aziende
Struttura Ricerca e innovazione tecnologica
Via Pola 12/14 - 20124 Milano
Tel: +39.02.6765.2537 fax +39.02.6765.2757
e-mail: agri_ricerca@regione.lombardia.it
Referente: Gianpaolo Bertoncini - tel. +39.02.6765.2524
e-mail: gianpaolo_bertoncini@regione.lombardia.it

© *Copyright Regione Lombardia*

La gestione della fertilità biologica dei suoli nelle coltivazioni cerealicole e foraggere della pianura padana FERSOIL



• Presentazione	05
• Introduzione	07
• Descrizione dello stato delle conoscenze	09
• Il progetto FERSOIL	11
• Obiettivi del progetto	12
• Attori del progetto	12
• Piano di attività	14
• Le prove sperimentali	14
• I risultati	26
• Considerazioni finali	60
• Principale bibliografia consultata	61

Il sistema agro-alimentare della Regione Lombardia risulta essere al primo posto a livello nazionale ed è rilevante anche a livello europeo. Infatti sono stati raggiunti livelli produttivi elevatissimi e conseguiti notevoli standard di qualità nei prodotti di tutti i settori: penso alle produzioni di origine animale - latte e carne; ai prodotti trasformati; ai prodotti tipici - vino, frutta, formaggi, ortaggi; alle produzioni di cereali, riso, mais per la zootecnia, solo per esemplificare la ricchezza di produzioni lombarde.

Questa vocazione alle produzioni tipiche e di qualità è resa attuale dalla grande professionalità degli operatori lombardi che utilizzano anche le favorevoli condizioni ambientali date dal clima, dalla disponibilità di acqua e dai suoli.



Puntando l'attenzione sui suoli va sottolineato quanto l'elevata fertilità di quelli lombardi riesca a garantire elevate quantità di alimenti per gli allevamenti e la loro disponibilità nel corso dell'anno.

La risorsa suolo è l'elemento chiave intorno al quale si è articolato il progetto di ricerca presentato in questa pubblicazione, partendo dalla consapevolezza che uno scorretto utilizzo del suolo agricolo può provocare la perdita della sua fertilità.

Conoscere e diffondere adeguate modalità di gestione dei suoli è perciò un fattore importante per un'agricoltura che preveda un futuro produttivo nel medio e lungo periodo. Tale obiettivo non può prescindere dal mantenimento della biodiversità delle forme viventi in esso presenti che rappresenta la base della loro produttività.

I risultati ottenuti dal progetto FERSOIL chiariscono il ruolo della fertilità biologica nei confronti della produttività dei suoli e pongono in risalto i nuovi strumenti analitici utilizzabili per indagare le caratteristiche agronomiche e biologiche dei suoli stessi. Questo lavoro individua indici concreti ed affidabili, impiegabili per mantenere le qualità intrinseche dei suoli e per integrare i monitoraggi del territorio in un'ottica di valorizzazione dei sistemi produttivi rispettosi dell'ambiente.

Luca Daniel Ferrazzi
Assessore all'Agricoltura
Regione Lombardia

Il suolo è tra le più importanti componenti geografiche di una regione e riflette il suo legame diretto con l'attività primaria dell'uomo: di questa l'agricoltura è uno dei principali fattori determinanti la produzione agricola. Fino agli inizi degli anni '60 del secolo scorso, l'attività agricola era legata a schemi quasi fissi di avvicendamenti colturali strettamente dipendenti dalle condizioni pedoclimatiche che rappresentavano una scelta scontata da parte dell'agricoltore. Tranne rari casi, erano avvicendamenti a ciclo chiuso, a fasi contemporanee, (da cui il termine di rotazioni), che contemplavano tra le colture praticate nel bacino del Po il prato avvicendato di leguminose, erba medica o trifoglio bianco. I profondi cambiamenti del modo di condurre l'attività agricola avvenuti negli ultimi decenni, conseguenti al progresso genetico, chimico, meccanico e tecnologico, hanno spinto l'operatore agricolo a cercare forme di agricoltura meno tradizionali che hanno permesso di realizzare, particolarmente nelle zone pedo-climatiche più vocate, una elevata intensificazione dell'attività con agrotecniche sempre più sofisticate che hanno determinato un notevole incremento della produttività.

Ne è seguito un periodo quasi di rincorsa all'esaltazione della produttività dei suoli, il cui obiettivo principale era l'incremento delle produzioni, per rispondere alle aspettative di una popolazione sempre più numerosa ed esigente. Negli areali nei quali le condizioni pedoclimatiche hanno permesso un'elevata intensificazione dei processi agricoli, si è registrato un profondo cambiamento dell'agricoltura italiana, che nei casi estremi si è spinto fino al completo abbandono delle rotazioni, intese nello stretto significato agronomico ad esse attribuito.

Nella regione Lombardia la superficie agricola utilizzata (SAU) è ai giorni nostri superiore a 1.000.000 di ettari (fonte I.S.T.A.T. – 5° Censimento Generale dell'Agricoltura), dei quali circa il 70% a seminativi ed oltre il 26% a prati e pascoli permanenti.

Della superficie censita a seminativo (oltre 725.000 ettari), il 44% viene destinata a colture cerealicole, soprattutto estive (l'80% del totale dei cereali), con prevalenza della coltura di granoturco (75% della quota dei cereali estivi) della quale sono riportate nel Grafico 1 le percentuali e superfici investite per ogni provincia. Le province maggiormente interessate sono Pavia (22% del totale della SAU a seminativo e 28% di quella a cereale), Mantova (21% della SAU a seminativo e 16% di quella a cereale), Brescia e Cremona (ciascuna mediamente con il 15% sia della SAU a seminativo che di quella a cereale), Milano e Lodi (17% sia della SAU a seminativo che di quella a cereale) - (Fonte Regione Lombardia – Settore Agricoltura e Foreste).

Nel settore della coltivazione dei foraggi, le foraggere temporanee occupano oltre il 23% della SAU regionale, con alta frequenza di erbai monofiti, con Brescia, Cremona e Mantova che insieme rappresentano oltre il 65% del totale (Fonte Regione Lombardia – Settore Agricoltura e Foreste).

Le suddette superfici sono quelle maggiormente sottoposte a sfruttamento della risorsa suolo da parte dell'attività agricola. Oggi constatiamo l'abbandono degli avvicendamenti colturali, a favore della monocoltura e/o avvicendamenti semplificati che tendono ad influenzare la fertilità dei suoli sotto tutti i possibili punti di vista: fisico, chimico, biologico, fitosanitario, ecologico. Questo aspetto va in controtendenza rispetto alle politiche agricole ed ambientali che da tempo la Regione Lombardia mette in atto per la salvaguardia ambientale da un punto di vista generale e della risorsa suolo da un punto di vista specifico.

Un ulteriore elemento da considerare tra i principali mutamenti subiti e tuttora in corso è quello della tipologia dell'azienda da latte, in particolare rispetto alle sue dimensioni produttive. Secondo l'osservatorio del latte ISMEA (2006) si osserva una chiara tendenza alla riduzione del numero di allevamenti di piccole dimensioni a favore di quelli appartenenti alle classi medio-grandi.

Il patrimonio bovino italiano stimato alla fine del secolo scorso in 7,3 milioni di capi si è assestato nel 2007 a 6,3 milioni del quale all'incirca il 50% è presente nelle aziende zootecniche lombarde (Grafico 2)

I dati riportati sono particolarmente indicativi per la pianura Padana ed in particolare nell'area irrigua lombarda nella quale la zootecnia da latte è oramai concentrata in un numero limitato di aziende ad alta intensificazione con elevato carico di bestiame per unità di superficie. A queste si contrappone un elevato numero di aziende prive di allevamento e fondate sulla monosuccessione di mais. Nelle aziende zootecniche si deve inoltre registrare la produzione di abbondanti quantità di reflui, stimata a livello nazionale a circa 330 milioni di tonnellate, di cui 100 milioni nella sola Lombardia (Vespa 2009). Il problema del loro impiego o smaltimento si fa sempre più pressante anche alla luce delle direttive comunitarie, recepite dalle disposizioni nazionali e regionali, che introducono criteri più restrittivi per la determinazione della quantità di

azoto proveniente da effluente zootecnico da apportare per ettaro di superficie coltivabile. Questa tendenza sta suscitando tra gli studiosi del settore una crescente preoccupazione per le possibili ricadute sulla sostenibilità di tali sistemi colturali (Accademia nazionale agricoltura, 1991; Onofrii et al. 1993; Giardini et al. 1995; Bonari e Ceccon, 2002; Giardini et al. 2004) tanto da non escludere in prospettiva problemi legati al mantenimento del livello di sostanza organica e bilancio del carbonio organico nel terreno (Tomasoni et al. 2005; Tomasoni e Borrelli 2005; Tomasoni et al. 2008). Nel breve periodo sono stati registrati degli effetti sull'evoluzione della flora infestante (Cantele e Zanin, 1992; Tomasoni et al., 2003; Tomasoni et al., 2008), mentre nel medio periodo si potrebbero creare trend evolutivi negativi sulla produttività del suolo, sulla fertilità dello stesso (Giardini et al., 1987; Spallacci et al., 1989; Cavazza, 1991; Toderi et al., 1999) e sulla sostenibilità delle agrotecniche. In particolare nei suoli tendenzialmente sciolti, e in situazioni di agricoltura particolarmente intensiva, si potrebbe anche determinare il potenziale rischio di inquinamento delle falde a causa della rilevante concimazione chimica (Spallacci et al., 1989).

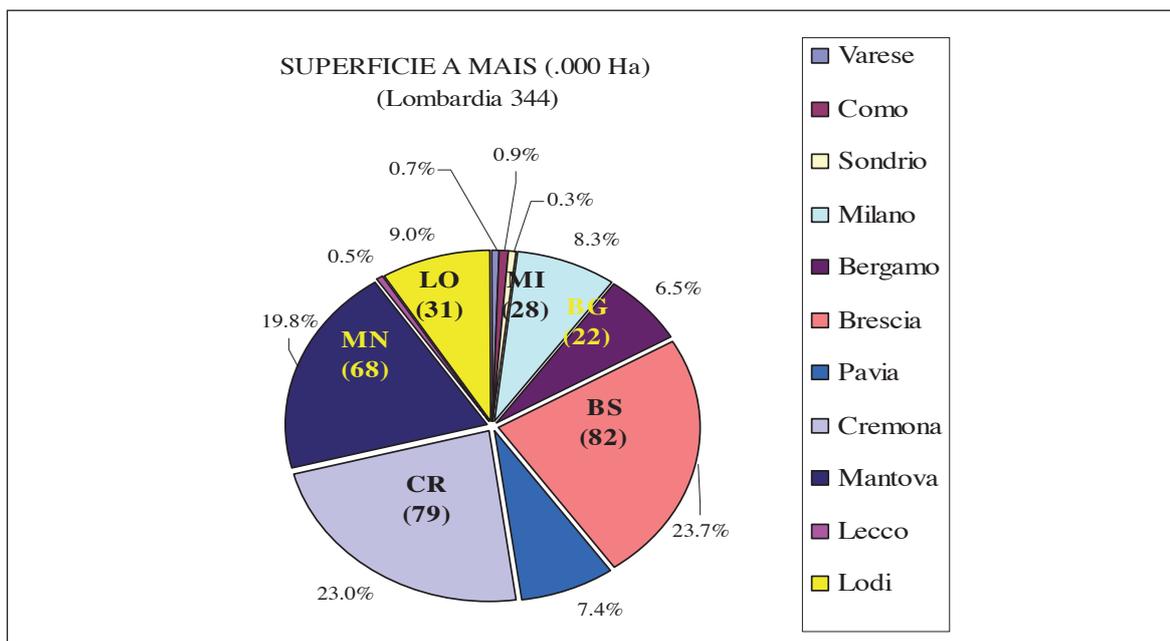


Grafico 1. Superficie coltivata a mais in Lombardia (fonte ISTAT - 2000)

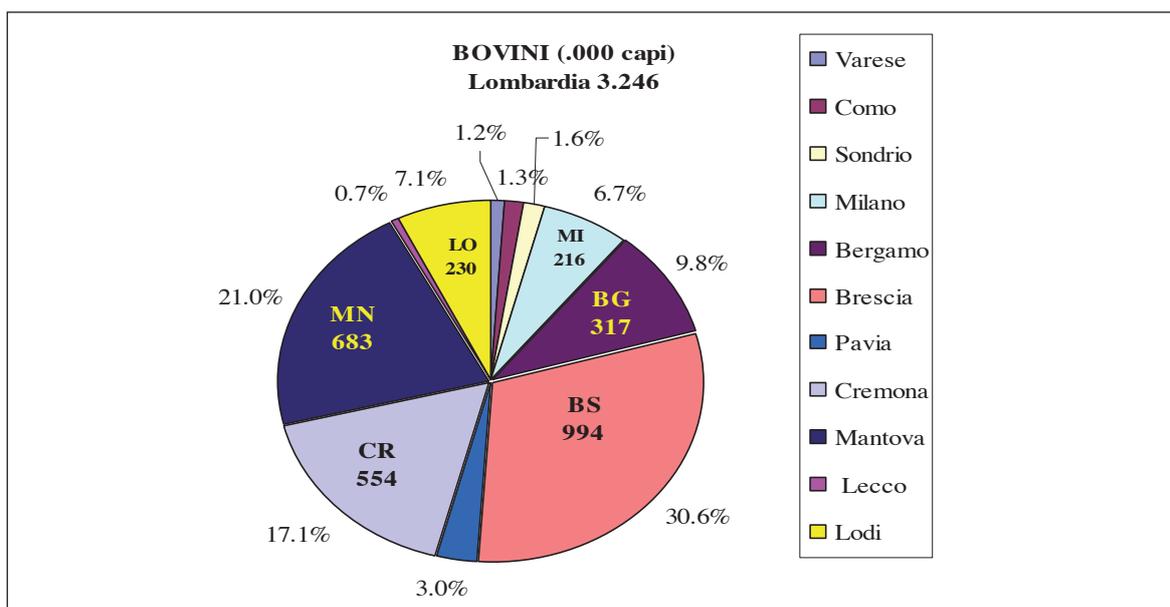


Grafico 2. Numero di bovini per provincia (ISMEA 2006)

Il suolo è uno dei principali fattori determinanti la produzione agricola ed è notoriamente fonte non rinnovabile (Francaviglia R., 2002).

Benché in una logica di breve periodo, spesso condizionata dai bassi prezzi dei prodotti agricoli, si possano comunque ottenere elevate produzioni sfruttando i terreni, lo sviluppo di un'agricoltura sostenibile ed il più possibile in armonia con lo sviluppo territoriale e civile da tempo in corso non può prescindere da una profonda conoscenza delle caratteristiche di questo fattore produttivo e di un suo equilibrato utilizzo volto al mantenimento e non allo sfruttamento dello stesso (Canali et al.; 2002, Zucconi, 1996; Campbell et al., 1996).



Figura 1. Marcita lombarda

In Figura 1 e Figura 2 istantanee che rappresentano due situazioni agricole molto frequenti fino agli anni sessanta del secolo scorso (marcita lombarda e particolare di una coltura di trifoglio ladino) oggi praticamente scomparse dal panorama lombardo.



Figura 2. Particolare trifoglio ladino

Tuttavia, ad oggi, l'attività di conoscenza delle caratteristiche e potenzialità della risorsa suolo si è limitata, da un punto di vista squisitamente pratico (che è quello che poi incide sulla realtà), all'approfondimento delle principali proprietà fisiche e chimiche che esso possiede, al fine di poter gestire più razionalmente il momento produttivo attraverso mirate attività di concimazione e fertilizzazione (Canali et al., 2002; Dell'Orco et al., 2004).

E' ben nota però nel mondo scientifico l'interazione che le proprietà biologiche del terreno hanno rispetto alle succitate caratteristiche, influenzando tutte le attività agronomiche esercitate e, conseguentemente, le rese produttive, sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo (Nannipieri et al., 1999; Giardini et al., 1999; Miclaus N., 1998); per contro la stessa attività produttiva esercitata dall'uomo può influenzare negativamente queste caratteristiche provocando danni difficilmente rimediabili nel breve periodo (Wander et al., 1994; Stevenson, 1994; Ross et al., 1982; Powlson et al., 1987).

La fertilità biologica di un suolo viene definita in generale quale capacità metabolica della microflora di mantenere gli equilibri tra le comunità animali e vegetali in esso e su di esso ospitate; i microrganismi presenti in un terreno presiedono ai principali cicli biogeochimici dei macro e micro elementi, rendendoli assimilabili da parte delle piante o, fungendo da competitori, immobilizzandoli sotto forma organica: da qui l'esigenza di conoscere a fondo l'attività microbiologica di un terreno agrario (Barroccio F.; 2002; Papini et al., 2002b; Salinas-Garcia et al., 2002).

Da questi concetti scaturisce l'idea di "qualità di un suolo", individuabile in base ai seguenti criteri (Doran et al., 1994; Rodale Institute, 1991):

- produttività: capacità di aumentare la produttività biologica delle piante;
- qualità ambientale: capacità di attenuare le concimazioni ambientali, i patogeni ed i danni esterni;
- salute degli organismi viventi: interrelazione tra la qualità del suolo e la salute delle piante, degli animali e dell'uomo.

La valutazione delle caratteristiche biologiche del terreno è sempre stata concepita come attività complessa di microbiologia e biochimica a finalità di ricerca e studio scientifico dei fenomeni, poco collegata con il mondo reale della produzione agricola (Canali et al., 2002).

Tuttavia, da queste attività di ricerche e sperimentazione sono state sviluppate metodiche standardizzate di campionamento e di laboratorio e modelli interpretativi volti all'individuazione e comprensione di indicatori di fertilità biologica di un suolo che, unitamente alle altre caratteristiche, possono fornire lo stato di condizione (indici) della fertilità agronomica dello stesso (fisica, chimica e biologica) (Gamba et al., 2004). Gli indicatori individuati sono risultati essere misurabili, analiticamente validi, rappresentativi, affidabili, tali da fornire, per l'appunto, indici qualitativi e quantitativi (Benedetti A., 1998).

L'attività di laboratorio per la determinazione di quanto sopra si esplica attraverso la misurazione di parametri fisici, chimici e biologici (la cui interpretazione non può comunque prescindere dalla valutazione della loro interagibilità) (Brookes, 1995).

Mentre i parametri fisici e chimici sono da tempo definiti e già ampiamente utilizzati per scopi produttivi, i parametri biologici sono di recente introduzione ma già ampiamente testati e verificati da innumerevoli attività di ricerche e sperimentazioni a livello nazionale e mondiale. Essi mirano a misurare, nella sua globalità, l'attività biologica di un terreno attraverso la determinazione di un certo numero di parametri, fra i quali i principali risultano i seguenti: TOC (carbonio organico totale), carbonio della biomassa microbica, respirazione del terreno (Gamba et al., 2004; Benedetti A., 1998; Metodi di Analisi Biochimica del Suolo 2004; Pompili et al., 2008).

Griglie interpretative testate permettono la valutazione degli indici derivanti dai parametri misurati in laboratorio, permettendo di fornire in seguito adeguate indicazioni di ordine tecnico agronomico agli operatori del settore produttivo (Benedetti A., 1984; Benedetti A., 1998).

L'evoluzione tecnologica e scientifica di questi ultimi decenni ha permesso lo sviluppo di un'agricoltura dai sistemi semplificati ed altamente specializzati, tali da permettere livelli produttivi elevati, a fronte di uno sfruttamento della risorsa suolo, fonte non rinnovabile, con conseguenze pericolose anche a livello ambientale. Questo aspetto interessa maggiormente le aree con condizioni pedoclimatiche adeguate, quali i territori della pianura padana, a vocazione cerealicola e zootecnica, dotata di una ricca rete di canali irrigui ed a elevata intensificazione produttiva (Figura 3).

Le politiche agro-ambientali sviluppate da anni dalla Regione Lombardia puntano a rendere maggiormente consapevoli gli operatori di questo settore produttivo in merito al ruolo che l'agricoltura riveste in termini di protezione e conservazione del territorio; per tale ragione all'interno delle misure agro ambientali prodotte, una particolare attenzione viene rivolta ai processi di conoscenza del suolo che si svolgono ad oggi attraverso periodiche analisi fisico-chimiche utili alla redazione di adeguati piani di concimazione che considerino le esigenze colturali e le riserve di elementi presenti nel terreno.

Tuttavia il suolo è un sistema assai complesso e la disponibilità di elementi minerali in esso contenuti e disponibili per la crescita dei vegetali risulta altamente influenzata dall'attività microbologica in esso presente.

Nel contempo le attività agronomiche di recente introduzione possono alterare in tempi brevi questa caratteristica propria di ciascun terreno, modificando equilibri delicati che possono avere ripercussioni importanti nel ciclo biochimico degli elementi presenti nel suolo, non facilmente risolvibili nel breve periodo. Da qui l'importanza e la necessità di misurare, valutare ed interpretare la fertilità agronomica dei suoli, intesa come fertilità fisica, chimica e biologica, al fine di meglio pianificare le operazioni agronomiche necessarie al miglior sviluppo delle coltivazioni nel rispetto dell'ambiente, verificando nel contempo le influenze che le pratiche agronomiche tradizionalmente utilizzate esercitano su di essa.



Figura 3. Particolare di un canale irriguo

OBIETTIVI DEL PROGETTO

Obiettivo principale del progetto è quello di individuare e rendere disponibili, agli operatori del settore ed ai legislatori, nuovi strumenti metodologici e di valutazione per la gestione di un'agricoltura sostenibile sul territorio regionale, mantenendo possibilmente elevati gli standard qualitativi e quantitativi delle produzioni.

Risulta per tanto importante:

1. acquisire, verificare e valutare, per i nostri ambienti con specifiche caratteristiche pedoclimatiche, metodi di campionamento e di prove di laboratorio ad oggi proposti dal mondo scientifico per la stima della fertilità agronomica dei terreni agrari (fertilità fisica, chimica e biologica), metodi che devono risultare ripetibili, di semplice esecuzione, chiaramente interpretabili e che devono fornire informazioni ed indicazioni realmente applicabili in campo.
2. verificare l'incidenza che i modelli di gestione ordinariamente utilizzati nelle nostre aree esercitano a livello di fertilità agronomica del suolo e, di riflesso, sulla salvaguardia dell'ambiente, sperimentando ed individuando modelli alternativi maggiormente adeguati e sostenibili anche da un punto di vista tecnico-economico.
3. valutare l'efficacia e l'efficienza che l'utilizzo di diverse matrici organiche esercitano sulla fertilità agronomica del suolo, sulle produzioni, sull'ambiente.
4. definire chiari intervalli temporali entro i quali effettuare i monitoraggi delle condizioni di fertilità agronomica dei suoli, allo scopo di gestire correttamente le colture e gli interventi agronomici (in particolare fertilizzazione e concimazione) e di verificare l'efficacia delle azioni proposte.

ATTORI DEL PROGETTO

Fondazione Minoprio – Centro Lombardo per l'Incremento della Floro-Orto-Frutticoltura – Vertemate con Minoprio (CO)

Coordinamento, elaborazione dati e attività di promozione e divulgazione.

CRA FLC – Centro di Ricerca per le Produzioni foraggere e lattiero casearie – Lodi

Coordinamento scientifico, indagini sperimentali e gestione campi prova pluriennali, elaborazione statistica dati e divulgazione (Figura 4).

MAC Minoprio Analisi e Certificazioni – Vertemate con Minoprio (CO)

Indagini sperimentali di campo e di laboratorio, divulgazione (Figura 5).

Agricola 2000 – Tribiano (MI)

Indagini sperimentali e gestione campi prove annuali

CRA RPS Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo - Roma

Coordinamento scientifico indagini di laboratorio, elaborazione dati e divulgazione



Figura 4. Palazzina direzionale del CRA FLC presso il quale sono in essere le prove agronomiche di campagna



Figura 5. Laboratorio MAC Minoprio Analisi e Certificazioni presso il quale sono state effettuate le determinazioni analitiche sui campioni di suolo

PIANO DI ATTIVITÀ

L'approccio tecnico scientifico del presente piano sperimentale ha previsto prove di campagna con parcelle sperimentali replicate di dimensioni significative. La gestione delle colture ha previsto la messa a confronto di modelli differenziati di pianificazione colturale (rotazioni pluriennali, rotazioni annuali, monocolture, mono-successioni), interagenti con diversi livelli e modalità di tecniche agronomiche (apporto/assenza di diverse fonti di sostanza organica, input agrotecnici medio-alti/ridotti).

I siti sperimentali sono stati individuati considerando le diverse condizioni pedoclimatiche della regione e le diverse realtà agricole delle aree, concentrandosi sulle principali colture erbacee della pianura irrigua lombarda.

Il sito principale è stato individuato a Lodi, presso CRA FLC, dove sono in essere da oltre venti anni prove agronomiche di campo idonee agli obiettivi perseguiti dal progetto. Altri due siti sono stati appositamente realizzati, per la prova riguardante l'utilizzo di ammendanti organici di diversa natura, presso aziende private in Bertonico (LO) e Luignano (CR).

La scelta di utilizzare e realizzare siti sperimentali nelle aree del milanese, lodigiano e cremonese nello specifico, è stata effettuata considerando che il progetto si concentra in maniera particolare sulle grandi coltivazioni erbacee di pianura (cerealicole e foraggere), che queste tre province contemplano gran parte della superficie agricola lombarda destinata a queste colture e, da un punto di vista pedoclimatico, sono rappresentative della maggior parte delle aree regionali destinate a questi ordinamenti colturali.

Inoltre, la necessità di testare l'applicabilità di nuovi parametri analitici di valutazione della qualità del suolo ha indotto il gruppo di lavoro ad operare su suoli con le principali caratteristiche fisico-chimiche sufficientemente simili per ridurre il più possibile le variabili sperimentali, di per sé già elevate.

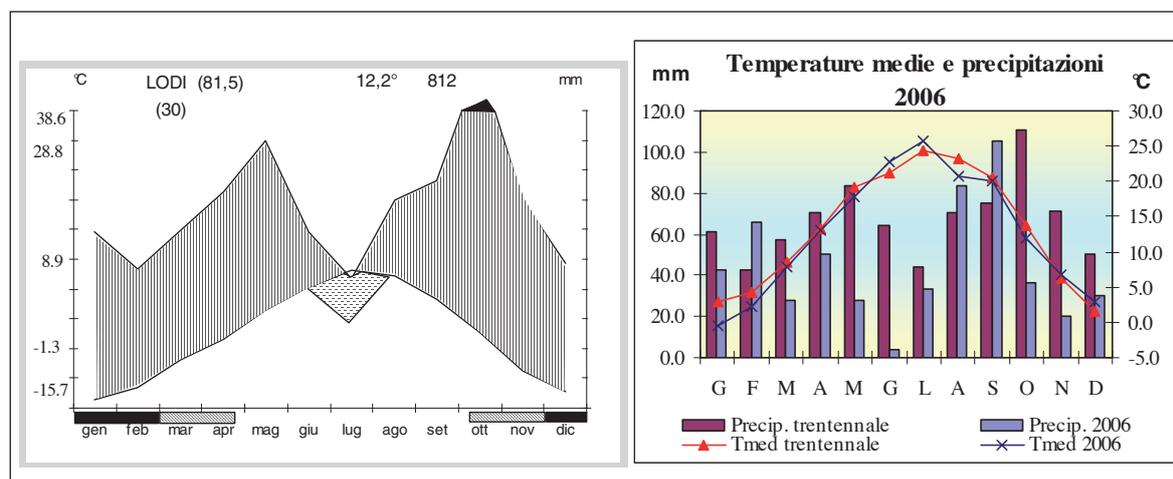
Di seguito una dettagliata descrizione dei siti sperimentali utilizzati

LE PROVE SPERIMENTALI

Presso la sede del Centro - che risponde alle seguenti coordinate territoriali: latitudine 45,3119° N, longitudine 9,6865° e con altitudine 81,5 m slm - sono in essere da lungo periodo due campi sperimentali, denominati rispettivamente POC1 (Programma ordinamenti colturali N.1) e POC2 (Programma ordinamenti colturali N2).

Questi dispositivi sperimentali sono stati utilizzati per tutti tre gli anni di durata del progetto.

All'interno del CRA FLC è situata la stazione agrometeorologica che fornisce i rilievi udotermopluviometrici con i quali nel tempo si è costruito il climodiagramma e, per il periodo di prova, registrato i dati termopluviometrici (Grafico 3).



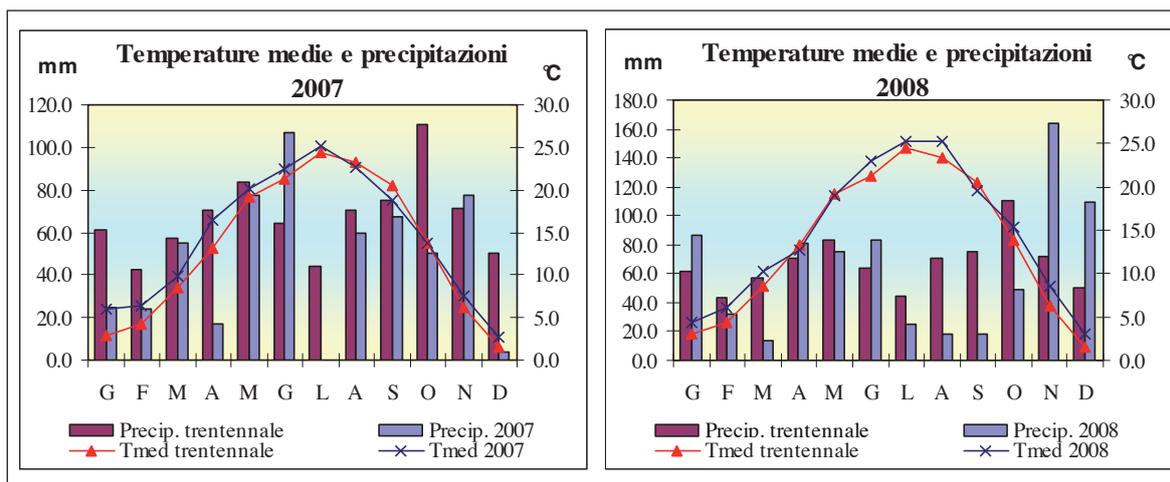


Grafico 3. Climodiagramma e andamento termopluviometrico nel periodo di prova

Il clima della località è quello tipico della Pianura Padana occidentale, temperato ad inverno rigido, umido, di tipo sub-continentale (Borrelli e Tomasoni, 2005). La piovosità media annua di circa 812 mm è ben distribuita nel corso dell'anno, cadendo nel periodo aprile-settembre, oltre il 49% delle precipitazioni totali. I valori massimi si riscontrano in ottobre e maggio con circa 90 mm, mentre in luglio si ha il minimo con 45 mm. La temperatura annua media è di 12,5°C, il mese più caldo è luglio (22,9°C) mentre quello più freddo è gennaio (1,1°C).

Gli andamenti stagionali sono stati differenti nei tre anni di prova e, come evidenziato dai grafici riportati, si sono discostati dall'andamento normale dell'area oggetto di studio e determinato dalle medie climatiche di lungo periodo (30 anni). In particolare per l'anno 2006 le maggiori anomalie si sono riscontrate nel periodo interessato dal ciclo produttivo del mais; infatti, dopo un avvio di stagione abbastanza normale per quanto riguarda le temperature, si è avuto un periodo con scarsa precipitazione in concomitanza con l'emergenza e la levata del mais. Nella seconda fase del ciclo produttivo del mais la situazione si è ribaltata con temperature inferiori alla media pluriennale e con abbondanti precipitazioni e fenomeni estremi (tromba d'aria, grandine) nella seconda parte dell'estate. Per quanto concerne l'anno 2007, in particolare il periodo del ciclo produttivo del mais, si è avuta una prima parte caratterizzata da temperature più elevate mentre una seconda parte con temperature più basse rispetto alle normali temperature del periodo; anche le precipitazioni si sono discostate dal normale andamento, in particolar modo nel mese di luglio, che ha fatto registrare un grave periodo di siccità. Il 2008 infine, si è caratterizzato per le temperature più elevate nel periodo estivo e per la siccità che ha interessato la seconda metà del periodo estivo e l'inizio dell'autunno.

POC1 (Prova in atto dal 1985 di confronto tra ordinamenti colturali)

Il sito sperimentale, sulla base dei dati reperibili dalla carta pedologica della Regione Lombardia (fonte ERSAF - Progetto "Carta Pedologica" - I suoli del Lodigiano - 2000), è inserito nel sistema L, piana fluvio-glaciale e fluviale costituenti il livello fondamentale della pianura, sottosistema F, bassa pianura sabbiosa in presenza di idrografia organizzata di tipo meandriforme, unità 2, superficie modale della bassa pianura, pianeggiante; le caratteristiche fisiche dello strato superficiale (0-30 cm) rilevate in fase di progetto tendono ad attribuire il sito all'unità cartografica 11 LOD1, con caratteristiche dei suoli favorevoli per gli usi agricoli, molto profondi, substrato sabbioso, tessitura media o moderatamente grossolana, drenaggio mediamente buono (classificazione F.A.O. Haplic Alisols).

La superficie destinata alla sperimentazione, relativamente alle sole parcelle in prova, ammonta complessivamente a m² 4.320.

Sono presenti cinque (5) ordinamenti colturali, di seguito specificati:

1. R6 - rotazione sessennale comprendente 3 anni di loglio italo + mais trinciato e 3 anni di prato avvicendato;
2. R3 - rotazione triennale comprendente 1 anno di mais granella, 1 anno di loglio italo + mais trinciato, 1 anno di orzo silo + mais trinciato;
3. R1 - rotazione annuale (monosuccessione) loglio italo + mais trinciato;

4. MM – monocoltura mais granello;

5. PP - prato permanente.

Oltre alla presenza dei diversi ordinamenti colturali sono previsti due differenti input agrotecnici relativamente alle concimazioni, alle irrigazioni ed ai diserbanti: input A ottimale, input B ridotto mediamente del 30%.

Le parcelle elementari presentano una superficie di 60 m² ciascuna, schema sperimentale strip-split-plot con tre repliche per tesi.

Le tesi sono 10, per un totale di 72 parcelle (considerando che nelle rotazioni sessennali e triennali sono contemporaneamente presenti le diverse annate previste). La prova è in irriguo ed il sistema adottato, seguendo la prassi della zona, è quello a scorrimento (Figura 6).



Figura 6. Il campo sperimentale POC 1

In Tabella 1 si riportano i dati inerenti gli apporti in elementi per le singole colture, mentre in Tabella 2 gli apporti sono suddivisi all'interno di ciascuna rotazione. Inoltre in Figura 7 è rappresentato lo schema sperimentale con il programma degli ordinamenti colturali.

COLTURA	INPUT A			TIPO CONCIME	INPUT B		
	N	P	K		N	P	K
loglio italico	150	100	120	minerale	105	70	84
orzo trinciato	120	100	120	minerale	84	70	84
mais trinciato	250	100	100	minerale	175	70	70
	160	100	240	letame	112	70	168
mais granello	250	100	100	minerale	175	70	70
prato avvicendato	125	150	120	minerale	87	105	84
	53	33	80	letame	37	23	56
prato permanente	125	150	120	minerale	87	105	84
	160	100	100	letame	112	70	70

Tabella 1. Concimazione annuale per coltura (kg/ha)

ROTAZIONE	INPUT A			INPUT B		
	N	P	K	N	P	K
R1	560	300	460	392	210	322
R3	446	233	340	312	163	238
R6	369	241	330	258	168	231
MM	250	100	100	175	70	70
PP	285	250	220	199	175	154

Tabella 2. Concimazione annuale media per rotazione (kg/ha)

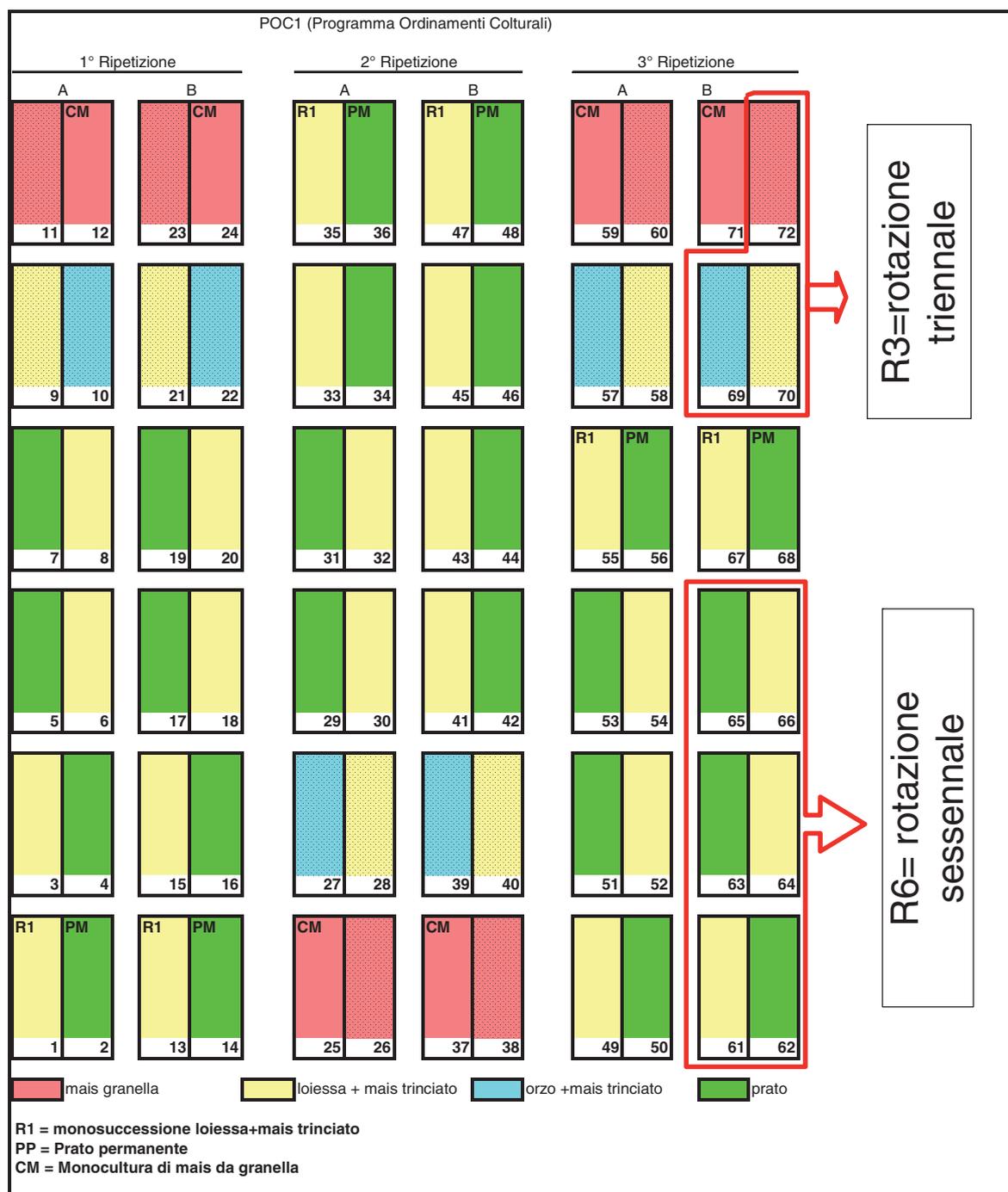


Figura 7. Schema sperimentale POC1

POC2 (prova in atto dal 1993 che riguarda l'impiego dei reflui bovini - letame e liquame - in due sistemi colturali).

Il sito sperimentale è localizzato presso l'azienda sperimentale Baroncina, sud-ovest rispetto a Lodi.

Sulla base dei dati reperibili dalla carta pedologica della Regione Lombardia (fonte ERSAF - Progetto "Carta Pedologica" - I suoli del Lodigiano - 2000), risulta inserito nel sistema L, piana fluvioglaciale e fluviale costituenti il livello fondamentale della pianura, sottosistema F, bassa pianura sabbiosa in presenza di idrografia organizzata di tipo meandriforme, unità 2, superficie modale della bassa pianura, pianeggiante; le caratteristiche fisiche dello strato superficiale (0-30 cm) rilevate in fase di progetto tendono ad attribuire il sito all'unità cartografica 19 COD1, con caratteristiche dei suoli favorevoli per gli usi agricoli, molto profondi, neutri ed a tessitura media in superficie, grossolana in profondità, drenaggio mediocre (classificazione F.A.O. GleyicLuvisols).

La superficie destinata alla sperimentazione, relativamente alle sole parcelle in prova, ammonta complessivamente a m² 6.300.

Sono presenti due (2) ordinamenti colturali:

1. R1 - rotazione annuale (monosuccessione) loglio italico + mais trinciato;
2. R6 - rotazione sessennale comprendente 3 anni di loglio italico + mais trinciato e 3 anni di prato avvicendato di erba medica.

Le fertilizzazioni organiche prevedono l'impiego di reflui bovini, liquetame, costituito dall'insieme delle deiezioni solide e liquide (liq) e letame (let) distribuiti in autunno e primavera, in corrispondenza delle lavorazioni del terreno, con dosi differenziate e legate al carico di bestiame supportato dai due sistemi foraggeri. Ognuno dei trattamenti viene eseguito in combinazione con la distribuzione in copertura di due livelli di azoto minerale: N0 e N1. Il piano sperimentale adottato è uno strip-split-plot con tre repliche e parcelle elementari di 84 m². La prova è in irriguo ed i diversi interventi sono eseguiti per asperzione secondo le esigenze delle diverse colture (Figura 8).

In totale le tesi presenti risultano 8, per un totale di 84 parcelle (considerando che nella rotazione sessennale sono contemporaneamente presenti le diverse annate previste).



Figura 8. Sistema irriguo

In Tabella 3 si riportano le concimazioni annue suddivise per rotazione e trattamenti, in Tabella 4 e Tabella 5 gli apporti annui alle singole colture dei diversi trattamenti.

MATRICE/TESI	R1 LET+N	R1 LET	R1 LIQ+N	R1 LIQ	R6 LET+N	R6 LET	R6 LIQ+N	R6 LIQ
LETAME (t/ha anno)	66	66	=	=	44	44	0	=
LIQUAME (m ³ /ha anno)	=	=	100	100	=	=	65	65
AZOTO N (kg/ha anno)	225	=	225	=	137,5	=	137,5	=

Tabella 3. Concimazione annuale media per rotazione e per trattamento

R1/TESI	LET +N	LET	LIQ+N	LIQ
loglio italico	33 t/ha + 75 kg/ha	33 t/ha	50 m ³ /ha + 75 kg/ha	50 m ³ /ha
mais trinciato	33 t/ha + 150 kg/ha	33 t/ha	50 m ³ /ha + 150 kg/ha	50 m ³ /ha

Tabella 4. R1: concimazione annuale alla coltura per trattamento

R6/TESI	LET +N	LET	LIQ+N	LIQ
loglio it.+mais tr.	12,8 t/ha + 225 kg/ha	12,8 t/ha	19 m ³ /ha + 225 kg/ha	19 m ³ /ha
loglio it.+mais tr.	12,8 t/ha + 225 kg/ha	12,8 t/ha	19 m ³ /ha + 225 kg/ha	19 m ³ /ha
loglio it.+mais tr.	12,8 t/ha + 225 kg/ha	12,8 t/ha	19 m ³ /ha + 225 kg/ha	19 m ³ /ha
erba medica	5,5 t/ha + 150 kg/ha	5,5 t/ha	8 m ³ /ha + 150 kg/ha	8 m ³ /ha
erba medica	=	=	=	=
erba medica	=	=	=	=

Tabella 5. R6: concimazione annuale alla coltura per trattamento

Nota lettura tabella

le dosi di letame/liquame sono distribuite al 57% su mais tr. ed al 43% su loglio it.

le dosi di azoto sono distribuite in copertura al 67% su mais tr. ed al 33% su loglio it.

In Figura 9 è rappresentato lo schema sperimentale con il programma degli ordinamenti colturali.

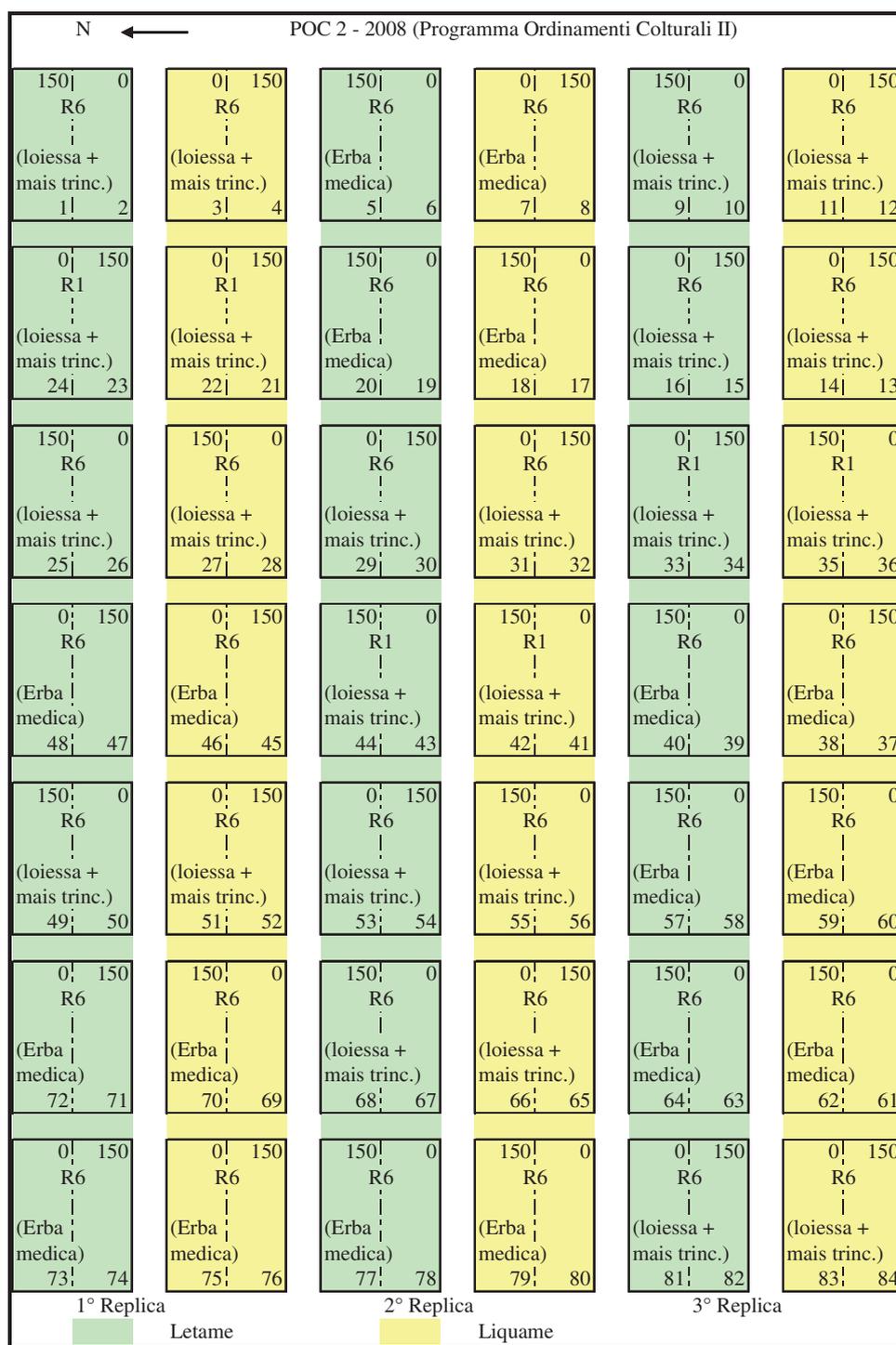


Figura 9. Schema sperimentale POC2

PROVA AMMENDANTI (PRESSO AZIENDE AGRICOLE PRIVATE)

Le aziende agricole sono state individuate nei comuni di Bertonico (LO) e Luignano (CR).

Il sito di Bertonico, sulla base dei dati reperibili dalla carta pedologica della Regione Lombardia (fonte ERSAF - Progetto "Carta Pedologica" - I suoli del Codognese - 2002), risulta inserito nel sistema L, piana fluvio-glaciale e fluviale costituenti il livello fondamentale della pianura, sottosistema F, bassa pianura sabbiosa in presenza di idrografia organizzata di tipo meandriforme, unità 2, superficie modale della bassa pianura, pianeggiante, sottounità 1, drenaggio buono; le caratteristiche fisiche dello strato superficiale (0-30 cm) rilevate in fase di progetto tendono ad attribuire il sito all'unità cartografica 3 LOD1, con caratteristiche dei

suoli favorevoli per gli usi agricoli, profondi, assenza di scheletro, tessitura media o moderatamente grossolana, drenaggio buono (classificazione F.A.O. Haplic Luvisols).

Il sito di Luignano (fonte ERSAF - Progetto "Carta Pedologica" - I suoli della pianura cremonese centrale – 2000) risulta inserito nel sistema L, piana fluvioglaciale e fluviale costituenti il livello fondamentale della pianura, sottosistema F, bassa pianura sabbiosa in presenza di idrografia organizzata di tipo meandriforme, unità 2, superficie modale della bassa pianura, pianeggiante, unità cartografica 5 (BZG1), con caratteristiche dei suoli favorevoli per gli usi agricoli, moderatamente profondi, tessitura franca sabbiosa, drenaggio buono (classificazione F.A.O. Haplic Luvisols). Rispetto alla sopraccitata classificazione, i risultati ottenuti in corso di progetto dalle analisi dello strato superficiale (pH subacido e saturazione basica media) confermano il fatto che nell'unità cartografica individuata è possibile riscontrare suoli a saturazione basica moderata rispetto allo standard dell'unità stessa (pH neutro).

In ciascuna azienda i campi sperimentali sono stati realizzati su un unico ordinamento colturale (monocoltura mais granella), prevedendo i seguenti trattamenti:

1. testimone non trattato (concimazione minerale prevista in azienda)
2. concimazione minerale prevista in azienda + apporto di letame
3. concimazione minerale prevista in azienda + apporto di liquiletame
4. concimazione minerale prevista in azienda + apporto di ammendante compostato verde
5. concimazione minerale prevista in azienda + apporto di borlanda

Le parcelle elementari presentano una superficie di 75 m², schema sperimentale a blocchi randomizzati con tre repliche per tesi. In totale le tesi presenti risultano 5. I campi sperimentali sono stati utilizzati per 2 anni (2° e 3° anno di progetto). Il totale della superficie destinata alle parcelle sperimentali ammonta a m² 1.125 per ciascun sito.

In Tabella 6 la sintesi dei trattamenti effettuati nelle due aziende agricole individuate, in Tabella 7 alcune caratteristiche delle diverse matrici utilizzate nel corso dei due siti sperimentali.

TESI/SITI	LUIGNANO	BERTONICO
testimone non trattato	=	=
letame bovino (let)	30 t/ha	30 t/ha
Liquame bovino (liq)	35 t/ha	35 t/ha
Ammendante compostato verde (com)	30 t/ha	30 t/ha
Borlanda (bor)	3 t/ha	3 t/ha

Tabella 6. Trattamenti sperimentali

TESI/SITI	LUIGNANO	BERTONICO
letame	umidità 80,5% N tot. 0,35% t.q. P ₂ O ₅ tot. 0,39% t.q. K ₂ O tot. 0,78% t.q.	umidità 76,5% N tot. 0,59% t.q. P ₂ O ₅ tot. 0,48% t.q. K ₂ O tot. 0,78% t.q.
liquame	umidità 84,0% N tot. 0,40% t.q. P ₂ O ₅ tot. 0,30% t.q. K ₂ O tot. 0,47% t.q.	umidità 98,2% N tot. 0,06% t.q. P ₂ O ₅ tot. 0,14% t.q. K ₂ O tot. 0,06% t.q.
ammendante compostato verde	umidità 42-45% TOC 27-37% s.s. N tot. 1,8-2,1 % s.s.	umidità 42-45% TOC 27-37% s.s. N tot. 1,8-2,1 % s.s.
borlanda	N tot. 0,6-1,1% t.q.	N tot. 0,6-1,1% t.q.
	K ₂ O 8-12% t.q.	K ₂ O 8-12% t.q.

Tabella 7. Caratteristiche principali delle matrici utilizzate nella prova sperimentale



Figura 10. Trattamento liquido al terreno

ATTIVITA' DI CAMPO

Oltre alla gestione sperimentale ed agronomica delle prove, in ogni sito sperimentale adottato sono stati annualmente effettuati rilievi di campo per la determinazione delle rese unitarie ed eseguiti prelievi di campioni di terreno composti nello strato superficiale 0-30 cm per le indagini di laboratorio.

Le attività di campionamento del suolo sono state condotte nel primo anno dopo la raccolta del mais trinciato (settembre 2006), nel secondo anno nel mese di giugno (2007), nel terzo anno a luglio (2008).

Per le prove relative all'utilizzo di diversi ammendanti (campi sperimentali presso aziende private) i campioni di terreno sono stati raccolti sempre in autunno a fine coltura (settembre-ottobre 2007 e 2008).

ATTIVITA' DI LABORATORIO

Le attività di laboratorio pianificate dal progetto hanno previsto specifiche determinazioni analitiche che sono state effettuate su ogni singola parcella sperimentale.

In Tabella 8 sono evidenziati i parametri determinati nel corso del primo e terzo anno sui siti POC1 e POC2 e nei due anni di prova presso i siti di Luignano e Bertinico; in Tabella 9 sono invece elencate le prove di laboratorio effettuate sui campioni di suolo prelevati nel corso del secondo anno di attività dai siti POC1 e POC2.

PARAMETRO	METODO DI MISURA
scheletro (> 2 mm)	DM 13/09/99 met. II.1
sabbia (2.0-0.05 mm)	DM 13/09/99 met. II.6
limo (0.05-0.002 mm)	DM 13/09/99 met. II.6
argilla (< 0.002 mm)	DM 13/09/99 met. II.6
pH (H ₂ O)	DM 13/09/99 met. III.1
pH (tamponi)	DM 13/09/99 met. III.1
calcio totale	DM 13/09/99 met. V.1
sostanza organica	DM 13/09/99 met. VII.1
carbonio organico	DM 13/09/99 met. VII.1
azoto totale	DM 13/09/99 met. VII.1
rapporto C/N	DM 13/09/99 met. VII.1
capacità di scambio cationico	DM 11/05/92 met. 27
calcio scambiabile	DM 13/09/99 XII.5
magnesio scambiabile	DM 13/09/99 XII.5
potassio scambiabile	DM 13/09/99 XII.5
sodio scambiabile	DM 13/09/99 XII.5
fosforo assimilabile	DM 13/09/99 XV.3
saturatione basica	=
rapporto Ca/Mg	=
rapporto Mg/K	=
capacità idrica di campo (CIC)	DM 1/08/97 met. 5
carbonio della biomassa microbica	DM 23/02/04 met. I 1.3.2.
respirazione basale	DM 23/02/04 met. II 1.2.1.
respirazione cumulata	DM 23/02/04 met. II 1.2.1.
quoziente metabolico	=
quoziente di mineralizzazione	=
C biomassa/C. organico totale.	=

Tabella 8. Principali parametri determinati su suolo

PARAMETRO	METODO DI MISURA
carbonio organico tot – TOC	DM 13/09/99 met. VII.2
carbonio organico estraibile – TEC	DM 13/09/99 met. VIII.1
acidi umici e fulvici – HA+FA	DM 13/09/99 met. VIII.1
indice di umificazione – HI	=
grado di umificazione – DH%	=
tasso di umificazione – HR%	=
azoto potenzialmente mineralizzabile	Cornell Soil Health Manual – 2007

Tabella 9. Parametri determinati nel corso del secondo anno sperimentale

Come risulta dalle tabelle, le prove di laboratorio sono state condotte secondo le metodiche ufficiali disponibili. Le prove hanno previsto la determinazione di quei parametri fisico-chimici standard di norma effettuati per elaborare un piano di concimazione, unitamente a parametri biochimici indicatori della fertilità biologica di un suolo, ovvero della presenza ed attività della flora microbica.

Per tutte queste analisi, il campione viene essiccato a 40°C (o semplicemente asciugato all'aria fino al raggiungimento di un peso costante) e setacciato/frantumato a 2 mm; per alcune determinazioni specifiche il campione subisce un'ulteriore setacciatura a 0,5 mm.

Per la determinazione del carbonio organico e dell'azoto totale è stato utilizzato un analizzatore elementare per C e N.

I parametri biochimici vengono determinati su campione condizionato (essiccato all'aria o in stufe ventilate a temperatura massima di 40°C e successivamente setacciato a 2 mm) che successivamente viene ricondizionato a temperatura ed umidità ottimale per l'attività microbica (incubazione a 25°C con umidità corrispondente alla capacità di campo).

Per la determinazione dell'azoto potenzialmente mineralizzabile è stato sperimentato un metodo rapido utilizzato presso la Cornell University di New York (USA) che prevede l'utilizzo del campione tal quale (fresco), l'incubazione per 7 giorni in cella climatica a 25°C e il successivo trattamento con una soluzione di potassio cloruro e determinazione dell'ammonio; al risultato si sottrae il valore ottenuto al tempo zero (trattamento con potassio cloruro e determinazione dell'ammonio su terreno fresco non incubato); il dato finale rappresenta la quota di azoto che i microrganismi del suolo sono in grado di mineralizzare settimanalmente in condizioni standard ottimali. Nel presente progetto il metodo è stato utilizzato sia su campione fresco che su campione secco a 40°C.

Al fine di verificare l'attendibilità del metodo, su 18 campioni di suolo (6 campioni con differenti proprietà fisico-chimico-biologiche replicati 3 volte) è stata condotta un'analisi comparativa in triplice replica dell'azoto potenzialmente mineralizzabile con due diversi metodi: il sopraccitato metodo americano ed il metodo ufficiale "Standford-Smith modificato Benedetti (1983)" (DM 23/02/04 met. II 2.). Tale metodo è particolarmente accurato ma richiede tempi di prova molto lunghi (fino a sei mesi) e pertanto poco applicabile in un settore diverso da quello della ricerca e sperimentazione. E' opportuno comunque sottolineare che tale metodologia d'analisi consente di conoscere una volta per sempre la cinetica di mineralizzazione dell'azoto organico di un suolo e, soprattutto se ci si trova ad operare in zone vulnerabili ai nitrati (direttiva nitrati CE 76/91) o a rischio di erosione per la sostanza organica, potrebbe fornire indicazioni fondamentali per prevenire ed arginare tali fenomeni, oppure gestire in maniera sostenibile ed ecocompatibile la fertilizzazione con effluenti di allevamento zootecnico (Benedetti e Sebastiani 1996; Benedetti et al. 1994). Essendo oggi parametri poco utilizzati, si propone di seguito una descrizione sintetica degli indicatori biochimici di fertilità biologica e qualità di un suolo che sono stati utilizzati nel presente progetto.

Il carbonio della biomassa microbica e il rapporto carbonio biomassa microbica/carbonio organico totale forniscono informazioni in merito alla quantità di microrganismi presenti nel suolo ed allo stato di equilibrio della comunità microbica rispetto alla sostanza organica. Valori di questo indice compresi fra 1 e 4 sono da considerarsi nella norma. Valori inferiori ad 1 forniscono un'indicazione di stress o di forte inquinamento, risultando ridotta la quota di biomassa microbica; tuttavia valori più alti possono riscontrarsi anche in siti disturbati: in situazioni di stress la biomassa microbica del suolo diviene particolarmente attiva degradando rapidamente la sostanza organica, fattore che a lungo termine può portare ad un non sostenibile depauperamento delle riserve organiche.

La respirazione del suolo stima l'attività metabolica della popolazione microbica ivi presente. Essa è influenzata sia dalla differente tipologia di popolazione microbica, sia dall'umidità, dalla temperatura, dalla struttura del suolo, sia dalle pratiche colturali che dalla stabilità della sostanza organica.

Questo parametro è un indicatore in grado di valutare le differenze o i cambiamenti nella popolazione microbica. Inoltre è intercorrelato alla stabilità della sostanza organica ed alle tecniche colturali.

Dalle analisi di laboratorio si desumono i valori di respirazione basale e respirazione cumulativa.

Il quoziente metabolico (rapporto fra la respirazione basale ed il carbonio della biomassa microbica) mette in relazione l'attività e la dimensione della biomassa microbica e rappresenta l'efficienza metabolica dei microrganismi attivi.

Sostanzialmente si tratta di un indicatore di stato del sistema, sensibile al variare delle condizioni e potenzialmente adatto ad individuare alterazioni nel ciclo del carbonio. Infatti stress ambientali spingono la biomassa microbica del suolo a convogliare maggiore energia nel proprio mantenimento piuttosto che nella crescita; in queste condizioni i valori del quoziente risultano più alti in quanto una quota maggiore di carbonio assimilato dalla biomassa viene respirato come CO₂, rilevando una ridotta efficienza di conversione del carbonio in nuovo carbonio della biomassa.

Pertanto valori più bassi del quoziente metabolico indicano un utilizzo dell'energia che avviene in modo efficiente, con stabilità dell'ecosistema; è possibile rilevare innalzamento del valore a seguito di eventi di disturbo antropico o naturale (distribuzione di letame, arature, pascolamento); un aumento costante nel tempo del valore di questo quoziente è un segnale di allarme.

Il quoziente di mineralizzazione (rapporto fra respirazione cumulativa ed il carbonio organico totale) mette in relazione la velocità della respirazione microbica alla dotazione di sostanza organica del suolo; esprime in valore percentuale la capacità dei microrganismi del suolo di mineralizzare la frazione più labile della sostanza organica.

Valori più alti potrebbero significare elevata efficienza dell'attività della biomassa microbica ma anche rischio di depauperamento rapido delle riserve organiche, mentre valori tendenzialmente bassi possono indicare uno

stato di equilibrio del sistema.

Per i suddetti indicatori ad oggi viene proposto un modello interpretativo che è stato sperimentato e validato in area mediterranea per terreni a tessitura franca argillosa e reazione da sub-acida a neutra.

Il suddetto modello prevede l'utilizzo dei parametri di sostanza organica (calcolata a partire dal dato di carbonio organico totale ed utilizzando poi il fattore di conversione di Van Bemmelen che si basa sull'assunzione secondo la quale la sostanza organica del suolo contiene circa il 58% di carbonio organico), carbonio della biomassa microbica, respirazione basale e cumulativa, quoziente metabolico e quoziente di mineralizzazione. Ad ogni singolo parametro viene assegnato un punteggio calcolato secondo quanto riportato in Tabella 10 (Benedetti et al., 2006).

PARAMETRO	PUNTEGGIO				
	1	2	3	4	5
sostanza organica (%)	<1	1-1,5	1,5-2	2-3	>3
C biomassa microb. (ppm)	<100	100-200	200-300	300-400	>400
respirazione basale (ppm)	<5	5-10	10-15	15-20	>25
respirazione cumulata (ppm)	<100	100-250	250-400	400-600	>600
Q metabolico (/h)	>0,4	0,3-0,4	0,2-0,3	0,1-0,2	<0,1
Q mineralizzazione (%)	<1	1-2	2-3	3-4	>4

Tabella 10. Punteggio attribuito ai parametri biochimici

La somma algebrica dei punteggi ottenuti per ciascun parametro origina una scala di fertilità biologica come quella riportata in Tabella 11.

CLASSE DI FERTILITA'	I stress allarme	II stress preallarme	III Media	IV buona	V alta
PUNTEGGIO OTTENUTO	1-6	7-12	13-18	19-24	25-30

Tabella 11. Classi di fertilità biologica

Nel secondo anno di attività, solo per i campi sperimentali POC1 e POC2 presenti al CRA-FLC di Lodi, sui campioni di terreno prelevati dalle singole parcelle è stata effettuata una caratterizzazione della sostanza organica presente, ovvero la determinazione dei parametri dell'umificazione che permettono di fornire maggiori informazioni sulla frazione organica presente in un suolo.

Le sostanze umiche costituiscono in genere il 40-60% della sostanza organica presente in un suolo e si formano dalla degradazione chimica e biologica dei residui vegetali ed animali e dall'attività di sintesi dei microrganismi. I prodotti che si formano tendono a costituirsi ed associarsi (processo di umificazione) in strutture organiche complesse che risultano maggiormente stabili alla degradazione chimica e biologica dei materiali di partenza. Le sostanze umiche, sulla loro capacità di solubilizzarsi in ambiente acido o alcalino, si suddividono in acidi umici (solubili in alcali), acidi fulvici (solubili in alcali e acidi), umina (frazione non estraibile in acidi o alcali).

Le sostanze umiche possiedono proprietà importantissime che influenzano le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche di un terreno: aumento della capacità di ritenzione idrica, della capacità termica, strutturazione del suolo (complessi argillo-umici), funzione nutrizionale, chelazione dei metalli, aumento della capacità di scambio cationico.

La determinazione analitica del carbonio organico totale (TOC), del carbonio organico estraibile (TEC), degli acidi umici e degli acidi fulvici (HA + FA) permette di ottenere alcuni parametri di umificazione (tasso, grado e indice di umificazione), in grado di fornire ulteriori informazioni al dato della sostanza organica presente in un suolo.

Il tasso di umificazione (HR) esprime la percentuale di acidi umici e fulvici rispetto al carbonio organico totale, ma è un dato quantitativo in quanto non tiene conto della frazione umica non estratta, ovvero quello sotto forma di umina.

Il grado di umificazione (DH) è invece un parametro quali-quantitativo in quanto esprime la percentuale di acidi umici e fulvici presenti sulla frazione di carbonio organico estraibile che non può essere considerata interamente umica; tanto più alto è il valore di DH, quanto maggiore è l'attitudine di un suolo ad umificare i materiali organici disponibili.

L'indice di umificazione (HI) è invece un parametro adimensionale (compreso in genere fra 0 e 1) che esprime il rapporto fra la sostanza organica estratta ma non umificata rispetto alla frazione umificata: in questo caso valori più bassi evidenziano un prevalere dei processi di umificazione su quelli di mineralizzazione. Generalmente nei terreni molto sfruttati i valori tendono a 1.

Un cenno sull'azoto potenzialmente mineralizzabile, parametro che misura la conversione dell'azoto organico nelle forme minerali disponibili (nitrico ed ammoniacale) attraverso processi biochimici mediati dai microrganismi del suolo ed influenzati da fattori quali umidità, temperatura e pH.

Questo parametro vuole stimare la quantità di azoto proveniente dai processi biologici di mineralizzazione dell'azoto organico. Esso potrebbe fornire elementi utili anche per la razionalizzazione delle concimazioni azotate.

Tuttavia la metodica di laboratorio messa a punto pone alcune limitazioni da un punto di vista pratico in quanto l'analisi ha una durata media di 30 settimane. Per questo motivo l'indicatore viene al momento ancora utilizzato per soli scopi sperimentali e in attività di ricerca; tuttavia, al pari della tessitura – parametro che viene di norma determinato ogni 5-10 anni – è un parametro la cui determinazione potrebbe essere eseguita ogni cinque anni, allo scopo di conoscere le capacità di mineralizzazione del suolo, anche in relazione all'uso di ammendanti organici solidi o liquidi.

I RISULTATI

Si riportano di seguito, per ciascun sito sperimentale, i risultati complessivi e relativi alle indagini di laboratorio ed ai rilievi di campo (rese produttive) ottenuti nei tre anni di attività di progetto. In merito ai risultati dell'utilizzo di un metodo rapido per la determinazione dell'azoto potenzialmente mineralizzato viene dedicato un capitolo riassuntivo a parte. Inoltre al termine dell'esposizione dei dati ottenuti saranno trattati con maggior dettaglio quei parametri e quei fattori che con maggior significatività si sono evidenziati a seguito dell'elaborazione statistica dei numerosissimi dati trattati.

CAMPO SPERIMENTALE POC1

Analisi di laboratorio

Il sito sperimentale presenta mediamente una tessitura franca sabbiosa (classificazione USDA con valori medi di sabbia del 63%, limo del 27%, argilla del 10%), reazione da sub-acida a neutra, capacità di scambio cationico media con calcio e magnesio nella norma ed in rapporto equilibrato, mentre modesta è la dotazione di potassio scambiabile ed elevata quella in fosforo assimilabile; la dotazione media di carbonio organico è tendenzialmente bassa (10 g/kg), con un rapporto C/N equilibrato.

In Tabella 12 i dati relativi alla capacità idrica di campo (CIC) ed al pH (in acqua e tampone) rilevati sui campioni di suolo prelevati nell'autunno del 2006 e nell'estate del 2008. Le variazioni di pH riscontrabili fra i due anni rientrano nella variabilità del parametro, anche in relazione alle diverse epoche di prelievo. Il CIC risulta comunque più elevato nel prato permanente (PP), così come pure il pH.

anno	input	rotazione	CIC %	±DS	pH (H ₂ O)	±DS	pH (KCl)	±DS
2006	A	R1	10,21	0,79	6,62	0,27	5,63	0,45
2006	A	MM	10,45	1,03	6,56	0,49	5,35	0,60
2006	A	PP	11,70	0,44	6,91	0,04	6,06	0,25
2006	A	R6	10,67	0,74	6,35	0,29	5,20	0,43
2006	A	R3	10,71	0,68	6,44	0,30	5,30	0,35
2006	B	R1	11,08	1,13	6,53	0,14	5,52	0,29
2006	B	MM	10,71	0,97	6,69	0,38	5,70	0,47
2006	B	PP	11,67	0,78	6,87	0,04	6,08	0,10
2006	B	R6	10,96	0,94	6,55	0,31	5,53	0,45
2006	B	R3	10,94	0,97	6,61	0,23	5,57	0,22
MEDIA 2006			10,91		6,61		5,59	
2008	A	R1	10,87	0,55	6,22	0,30	5,92	0,38
2008	A	MM	11,03	0,72	6,45	0,72	5,82	0,77
2008	A	PP	12,23	0,76	6,78	0,26	6,33	0,20
2008	A	R6	11,24	1,11	6,23	0,24	5,71	0,23
2008	A	R3	11,57	0,71	6,20	0,34	5,65	0,29
2008	B	R1	11,23	1,62	6,19	0,20	5,69	0,21
2008	B	MM	11,57	1,17	6,05	0,23	5,43	0,29
2008	B	PP	12,30	1,13	6,66	0,15	6,16	0,17
2008	B	R6	11,28	0,84	6,23	0,48	5,71	0,50
2008	B	R3	11,33	1,23	6,15	0,26	5,65	0,25
MEDIA 2008			11,46		6,32		5,81	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 12. Capacità idrica di campo e pH

In Tabella 13 si riportano invece i dati relativi al complesso di scambio ed al fosforo assimilabile rilevati sui campioni di suolo prelevati nell'autunno del 2006 e nell'estate del 2008. I valori di CSC (capacità di scambio cationico) risultano mediamente più alti nel prato permanente (PP), più bassi nella monocoltura di mais granella (MM), tendenzialmente più elevati con il maggior input agrotecnico; i valori risultano comunque medio-bassi.

Calcio e magnesio scambiabili risultano più elevati nel prato permanente (PP) e più bassi nella monocoltura (MM) e nella rotazione triennale (R3), tutti comunque nella norma.

Per il potassio scambiabile ed il fosforo assimilabile si notano innanzi tutto valori più elevati nel 2008 (campionamento effettuato in estate) rispetto a quelli del 2006 (campionamento effettuato a fine coltura); considerando una densità apparente del terreno pari a 1,4 t/m³, una profondità di campionamento di 30 cm, la differenza media fra il 2006 ed il 2008 ammonta complessivamente a circa 65 kg/ha di K e 67 kg/ha di P₂O₅.

Relativamente al potassio valori maggiori si ottengono con il più alto input agrotecnico (A); la rotazione sessennale (R6) presenta mediamente i valori più bassi.

Per il potassio i valori sono mediamente bassi, eccezion fatta per l'anno 2008 in riferimento alla monocoltura (MM), alla rotazione annuale (R1) ed alla rotazione triennale (R3) con input ottimale (A).

Il fosforo è presente a valori mediamente alti in tutte le parcelle.

anno	input	rotazione	CSC meq/100 g	±DS	TSB %	±DS	Ca meq/100 g	±D S	Mg meq/100 g	±DS	K meq/100 g	±DS	Na meq/100 g	±DS	P ₂ O ₅ mg/k g	±DS
2006	A	R1	10,25	0,83	81,27	0,97	6,94	0,55	1,22	0,18	0,14	0,02	0,03	0,01	132	16,26
2006	A	MM	9,11	0,22	82,81	6,34	6,38	0,47	1,00	0,12	0,15	0,03	0,02	0,01	93	4,58
2006	A	PP	11,50	0,41	80,78	7,58	7,42	0,96	1,68	0,06	0,15	0,06	0,05	0,02	157	36,12
2006	A	R6	10,00	0,53	79,02	4,98	6,70	0,56	1,09	0,13	0,09	0,03	0,03	0,01	141	21,59
2006	A	R3	10,35	0,77	76,26	5,56	6,71	0,77	1,02	0,12	0,14	0,02	0,03	0,01	126	17,65
2006	B	R1	10,08	0,46	84,40	1,55	7,23	0,30	1,15	0,03	0,10	0,04	0,02	0,01	138	2,52
2006	B	MM	8,61	0,78	87,31	10,42	6,25	1,08	1,13	0,29	0,14	0,02	0,02	0,00	115	11,68
2006	B	PP	11,22	0,63	95,04	0,82	8,92	0,55	1,59	0,16	0,10	0,03	0,05	0,02	147	31,07
2006	B	R6	10,45	0,79	81,82	5,11	7,25	0,54	1,17	0,13	0,09	0,03	0,03	0,01	114	18,19
2006	B	R3	8,94	0,84	84,05	6,68	6,26	0,42	1,09	0,12	0,12	0,02	0,02	0,01	107	13,69
MEDIA 2006			10,05		83,27		7,01		1,21		0,12		0,03		127	
2008	A	R1	11,86	1,08	69,56	4,34	6,77	0,22	1,18	0,00	0,22	0,07	0,05	0,02	163	31,66
2008	A	MM	10,48	0,79	66,07	12,40	5,71	0,79	0,89	0,18	0,25	0,03	0,03	0,00	144	7,02
2008	A	PP	12,90	1,30	84,22	13,85	9,04	1,08	1,50	0,24	0,13	0,06	0,09	0,02	152	58,64
2008	A	R6	10,97	0,62	74,14	6,00	6,86	0,77	1,09	0,13	0,13	0,05	0,06	0,04	158	30,01
2008	A	R3	10,77	0,77	70,63	9,05	6,28	0,77	1,00	0,13	0,21	0,06	0,10	0,10	168	12,38
2008	B	R1	11,17	0,52	73,72	6,42	6,93	0,95	1,12	0,15	0,16	0,01	0,05	0,01	164	30,92
2008	B	MM	10,31	0,29	65,94	8,94	5,79	0,99	0,82	0,14	0,16	0,02	0,04	0,01	102	37,53
2008	B	PP	11,69	1,55	89,36	5,53	8,82	0,96	1,42	0,21	0,10	0,04	0,07	0,03	139	41,33
2008	B	R6	11,00	0,56	74,33	6,65	6,98	0,53	1,00	0,16	0,13	0,05	0,05	0,04	132	31,09
2008	B	R3	10,48	0,36	70,64	4,36	6,26	0,55	0,95	0,13	0,16	0,03	0,05	0,02	112	20,30
MEDIA 2008			11,16		73,86		6,94		1,10		0,16		0,06		143	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 13. Parametri chimici

In Tabella 14 si riportano invece i dati relativi alla frazione organica dei campioni di suolo prelevati nell'autunno del 2006 e nell'estate del 2008, nello specifico per il carbonio organico totale (CO), per la sostanza organica (SO calcolata con il coefficiente di Van Bemmelen a partire dal dato di CO), per l'azoto totale (N tot), per il rapporto carbonio e azoto (C/N).

I valori medi relativi al carbonio organico (e conseguentemente alla sostanza organica) nei due anni non mostrano variazioni significative.

Significative sono invece le differenze fra i diversi trattamenti. Il prato permanente presenta costantemente i valori più alti, la monocoltura (MM) e la rotazione triennale (R3) quelli più bassi.

Solo per il prato permanente è presente una differenza in relazione al diverso input agrotecnico (valori più alti con input ottimale)

Diverso l'andamento dell'azoto totale, che ha mostrato valori medi tendenzialmente diversi nei due anni, nello specifico circa il 15% in meno nel 2008 rispetto al dato del 2006; la variazione è da attribuirsi presumibilmente sia ad eventuali fattori analitici quanto alle diverse epoche di campionamento (attività nitrificante). In relazione alle diverse tipologie di rotazione, l'azoto totale risulta più elevato nel prato permanente (PP) e più basso nella monocoltura (MM).

Complessivamente solo il prato permanente presenta una discreta dotazione di sostanza organica, mentre l'azoto presenta valori nella norma in tutti i diversi trattamenti.

anno	input	rotazione	SO		CO		N tot		C/N	
			g/kg	±DS	g/kg	±DS	g/kg	±DS		±DS
2006	A	R1	16,67	1,53	10,00	1,00	1,27	0,15	7,93	0,74
2006	A	MM	15,00	1,73	8,67	1,15	1,13	0,15	7,67	0,35
2006	A	PP	23,67	5,13	13,33	3,06	1,60	0,17	8,23	1,15
2006	A	R6	16,67	1,50	9,78	0,88	1,32	0,10	7,42	0,49
2006	A	R3	15,56	1,67	9,11	0,78	1,24	0,13	7,36	0,59
2006	B	R1	16,67	0,58	9,67	0,58	1,23	0,06	7,83	0,42
2006	B	MM	16,00	2,00	9,67	1,53	1,17	0,15	8,27	0,25
2006	B	PP	20,33	1,53	11,67	1,15	1,47	0,06	7,97	1,15
2006	B	R6	17,33	1,53	10,11	0,96	1,34	0,08	7,55	0,61
2006	B	R3	15,33	1,66	9,00	0,87	1,23	0,15	7,33	0,59
MEDIA 2006			17,32		10,10		1,30		7,76	
2008	A	R1	19,33	3,79	11,33	2,08	1,17	0,15	9,40	0,53
2008	A	MM	14,33	2,08	8,67	1,53	1,00	0,17	8,70	1,15
2008	A	PP	23,33	3,51	13,33	2,52	1,37	0,21	9,73	0,46
2008	A	R6	16,67	2,11	9,61	1,20	1,05	0,09	9,17	1,07
2008	A	R3	15,78	2,54	9,22	1,48	1,03	0,11	8,97	1,38
2008	B	R1	17,33	2,52	10,00	1,00	1,07	0,06	9,40	1,04
2008	B	MM	14,00	1,00	8,33	0,58	0,97	0,21	8,90	1,91
2008	B	PP	18,67	5,03	11,00	3,00	1,13	0,23	9,67	1,53
2008	B	R6	16,78	1,90	9,67	1,08	1,04	0,08	9,32	0,86
2008	B	R3	15,00	1,12	8,67	0,71	0,98	0,14	8,99	1,11
MEDIA 2008			17,12		9,98		1,08		9,22	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 14. Frazione organica

In Tabella 15 si riportano invece i dati relativi ai parametri biochimici indicatori di fertilità biologica del suolo rilevati sui campioni di terreno prelevati nell'autunno del 2006 e nell'estate del 2008.

Considerando le diverse classi del modello interpretativo proposto per singoli parametri, è possibile rilevare innanzi tutto che il carbonio della biomassa microbica non presenta mediamente variazioni fra i due anni e tra le due diverse epoche di prelievo del campione (autunno e primavera).

I valori più alti (sufficienti) di biomassa microbica (C biom) si riscontrano nel prato permanente (PP) e per l'input agrotecnico ridotto (B). I risultati più bassi si riscontrano generalmente per la monocoltura (MM) con input ottimale (A), ovvero in situazione di massimo sfruttamento del suolo.

La deviazione standard di questo parametro è risultata in taluni casi rilevante, aspetto che porta a considerare la necessità di maggiore attenzione in fase di campionamento e di un numero di repliche per singolo campione in fase di determinazione analitica almeno pari a tre.

Per la respirazione cumulativa (R cum) le variazioni fra i dati dei due anni e delle due epoche di campionamento non sono significative se si considerano le classi di interpretazione del parametro, per le quali i dati ottenuti risulterebbero in valore assoluto tendenzialmente bassi.

Anche in questo caso il prato permanente (PP) presenta i valori più elevati, mentre la rotazione triennale (R3) è la tesi che più sovente presenta valori medi inferiori agli altri trattamenti.

La respirazione basale (R bas) mostra l'andamento più costante nei diversi anni. I valori più elevati si riscontrano per il prato permanente (PP) e per rotazione annuale/monosuccessione (R1).

Il quoziente di mineralizzazione (QM), parametro che si ottiene a partire dai dati di respirazione cumulativa e carbonio organico, non mostra significative variazioni fra i due anni: i valori sono tendenzialmente bassi.

Anno	input	rotazione	C biom ug/g	±DS	R cum mg CO ₂ /kg	±DS	R bas mg CO ₂ /kg	±DS	QM %	±DS	QCO ₂ /h	±DS	C biom/CO %	±DS
2006	A	R1	151,67	66,91	154,32	21,76	5,67	1,69	1,54	0,15	0,19	0,12	1,48	0,51
2006	A	MM	84,28	54,79	150,16	47,97	3,72	1,65	1,71	0,31	0,26	0,18	1,00	0,72
2006	A	PP	162,29	31,59	214,23	6,74	5,13	3,17	1,66	0,37	0,14	0,12	1,30	0,54
2006	A	R6	163,33	37,10	165,78	20,87	4,88	1,48	1,70	0,17	0,13	0,05	1,67	0,33
2006	A	R3	110,08	50,18	149,68	20,84	3,94	2,05	1,64	0,18	0,17	0,12	1,24	0,66
2006	B	R1	156,01	28,62	163,27	28,29	5,89	1,81	1,70	0,32	0,16	0,06	1,62	0,33
2006	B	MM	189,57	9,18	170,04	21,97	5,92	1,83	1,81	0,54	0,13	0,04	1,99	0,26
2006	B	PP	221,66	20,23	198,21	23,58	6,76	1,86	1,69	0,04	0,13	0,05	1,90	0,13
2006	B	R6	121,62	41,95	174,29	39,40	5,81	1,36	1,73	0,39	0,23	0,11	1,21	0,43
2006	B	R3	179,79	43,76	158,84	27,03	5,25	1,52	1,77	0,31	0,13	0,04	2,01	0,51
MEDIA 2006			154,03		169,88		5,30		1,70		0,17		1,54	
2008	A	R1	115,59	53,59	211,00	18,13	6,10	1,61	1,89	0,28	0,24	0,07	1,41	0,81
2008	A	MM	75,20	4,44	176,95	34,59	4,96	1,85	2,06	0,36	0,28	0,11	1,29	0,62
2008	A	PP	109,23	47,95	205,26	44,01	6,40	2,12	1,61	0,62	0,27	0,08	1,40	1,14
2008	A	R6	127,52	47,17	181,42	28,97	4,53	1,30	1,89	0,18	0,18	0,12	1,39	0,47
2008	A	R3	81,62	18,34	178,72	31,07	5,70	1,10	1,95	0,26	0,30	0,07	1,17	0,43
2008	B	R1	149,44	70,37	175,04	32,93	5,96	1,90	1,75	0,29	0,18	0,09	2,03	0,81
2008	B	MM	96,19	31,97	176,66	6,00	5,57	0,43	2,12	0,12	0,26	0,09	1,03	0,25
2008	B	PP	225,42	101,29	221,45	3,80	5,91	1,91	2,12	0,61	0,13	0,06	1,93	0,42
2008	B	R6	118,07	45,95	180,70	29,79	5,32	1,57	1,88	0,29	0,23	0,13	1,60	0,43
2008	B	R3	116,84	29,77	168,72	18,83	5,00	1,10	1,95	0,22	0,18	0,04	1,25	0,24
MEDIA 2008			121,51		187,59		5,54		1,92		0,23		1,45	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 15. Parametri biochimici

La monocoltura (MM) presenta i valori più elevati (attività elevata dei microrganismi ma anche poca stabilità del sistema con rischio di depauperamento della sostanza organica presente), la rotazione annuale (R1) mediamente i più bassi. I valori riscontrati evidenziano un'attività microbica medio-bassa, che può però essere considerata positiva in termini di conservazione della sostanza organica.

Il quoziente metabolico (QCO₂), che utilizza i parametri della respirazione basale e del carbonio della biomassa microbica, sempre considerando il modello interpretativo proposto, presenta una deviazione standard eccessivamente elevata che rende poco interpretabili i valori ottenuti; la spiegazione risiede nella variabilità presente nel parametro relativo al carbonio della biomassa microbica, evidenziato in precedenza. Non si riscontrano per questo parametro tendenze ben definite. I dati medi evidenziano comunque un discreta efficienza metabolica della biomassa microbica.

Infine il rapporto carbonio biomassa microbica e carbonio organico totale (C biom/CO) è per tutti i trattamenti compreso fra 1 e 2, intervallo considerato ottimale.

In Tabella 16 si riportano invece i dati relativi ai parametri di caratterizzazione della sostanza organica per i campioni di terreno prelevati nella primavera del 2007 (secondo anno di attività del progetto).

anno	input	rotazione	TOC		TEC		HA-FA		HI		DH		HR	
			g/kg	±DS	g/kg	±DS	g/kg	±DS		±DS	%	±DS	%	±DS
2007	A	R1	12,20	1,60	7,10	1,57	4,03	0,97	0,77	0,12	56,63	3,74	33,71	10,18
2007	A	MM	10,33	1,35	7,75	1,50	4,16	1,11	0,91	0,33	53,54	10,23	39,73	5,87
2007	A	PP	14,50	2,04	9,27	1,72	6,57	1,60	0,46	0,44	72,21	18,99	46,36	14,19
2007	A	R6	11,59	0,53	7,31	0,64	4,54	0,66	0,66	0,08	62,04	4,19	39,66	6,65
2007	A	R3	10,93	0,60	6,80	0,26	4,18	0,14	0,67	0,05	62,25	0,83	38,75	1,91
MEDIA INPUT A			11,91		7,65		4,70		0,69		61,34		39,64	
2007	B	R1	11,30	0,53	7,99	0,64	4,22	0,90	0,94	0,31	52,44	7,86	37,62	9,35
2007	B	MM	10,63	1,34	6,85	0,96	6,13	0,20	0,11	0,12	90,32	8,95	58,08	5,34
2007	B	PP	13,65	0,54	7,84	1,20	5,07	0,35	0,55	0,24	65,50	9,53	37,11	1,16
2007	B	R6	11,00	0,78	7,37	0,33	4,17	0,26	0,82	0,07	56,60	2,75	38,08	1,15
2007	B	R3	10,25	0,56	6,14	0,38	4,04	0,21	0,54	0,06	66,82	3,57	39,45	0,70
MEDIA INPUT B			11,36		7,24		4,73		0,59		66,34		42,07	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 16. Frazionamento della sostanza organica

La tabella evidenzia come non ci siano influenze sui dati medi in relazione all'input agrotecnico adottato. Differenze si riscontrano fra le diverse rotazioni in relazione al carbonio organico totale (TOC). Il prato permanente (PP) conferma valori più elevati di carbonio organico, la monocoltura (MM) e la rotazione triennale (R3) i più bassi. I valori di carbonio organico, mediamente poco più elevati rispetto a quelli ottenuti nel 2006 e nel 2008, sono da imputare esclusivamente alla diversa metodica utilizzata.

Anche il carbonio estraibile (TEC) risulta più elevato nel prato permanente (PP) e più basso nella rotazione triennale (R3).

In merito ai parametri dell'umificazione, per il tasso di umificazione (HR), inteso come frazione umificata (acidi umici e fulvici) del carbonio organico totale, non si riscontrano differenze significative fra le diverse rotazioni e gli input agrotecnici adottati, con valori medi intorno al 40%: dati mediamente più alti si evidenziano per il prato permanente (PP) con input ottimale (A) e per la monocoltura (MM) con input ridotto (B). Il grado di umificazione (DH), che esprime il contenuto delle sostanze umiche sulla frazione estraibile (che non è interamente umica), evidenzia, per l'input agrotecnico ottimale (A), valori più alti per il prato permanente (PP) e più bassi per monocoltura (MM) e rotazione annuale (R1); al contrario con input ridotto (B) la monocoltura (MM) evidenzia valori sensibilmente più elevati mentre la rotazione annuale (R1) conferma i più bassi.

L'indice di umificazione (HI), parametro adimensionale che mette in relazione la frazione organica estratta non umificata con quella estratta umificata, è normalmente compreso fra 0 e 1: valori più bassi evidenziano che i processi di umificazione prevalgono su quelli di mineralizzazione. La rotazione annuale (R1) e la monocoltura (MM), questa ultima solo con input ottimale (A), evidenziano valori decisamente più elevati rispetto alle altre rotazioni proposte; si nota invece il valore molto basso per la monocoltura (MM) con input ridotto (B), che conferma i dati ottenuti per il tasso ed il grado di umificazione, ovvero valori bassi di sostanza organica ma ben umificata.

Dati produttivi

Le rese ottenute durante il periodo di prova dalle colture principali sono riportate nei seguenti grafici (tonnellate di sostanza secca per ettaro). Per quanto riguarda questo gruppo di colture è risultato ininfluente l'input agrotecnico mentre per la loiessa e per il prato è risultato significativo l'effetto della rotazione entro cui sono inserite. La loiessa (Grafico 4) ha fatto registrare la maggiore produzione quando inserita nella rotazione triennale (R3) con circa 7,0 tonnellate per ettaro di sostanza secca mentre non si è differenziata quando coltivata nelle altre rotazioni (annuale e sessennale). Il prato (Grafico 5) ha avuto un comportamento più complesso: la minore produzione, come era da attendersi, si è avuta nel prato avvicendato di primo anno, (R6-1), in quanto nell'anno d'impianto la cotica si deve ben insediare ed in genere durante questo periodo si

effettuano meno tagli. La produzione maggiore si è avuta nel prato permanente (PP) e nel prato avvicendato di secondo anno (R6-2), con circa 15 e 16 tonnellate ad ettaro sempre di sostanza secca; con produzioni intermedie si classifica il prato avvicendato di terzo anno (R6-3). Il trinciato di orzo prodotto (Grafico 6) ammonta a poco meno di 9,0 tonnellate di sostanza secca per ettaro.

La coltura da rinnovo presente nella prova è rappresentata dal mais, utilizzato tanto per produrre granella quanto trinciato integrale. Nella produzione di granella (Grafico 7), gioca un ruolo fondamentale la rotazione: il mais inserito nella rotazione triennale (R3) ha prodotto significativamente molto di più, oltre 13 tonnellate di granella secca, sia rispetto a quello coltivato in monosuccessione che alla media della produzione provinciale (dati non pubblicati forniti dal servizio agricoltura della provincia di Lodi). Parimenti anche la produzione di trinciato integrale (Grafico 8) si avvantaggia della rotazione, infatti il mais inserito nella rotazione lunga e con la presenza del prato produce di più rispetto a quello inserito in rotazioni più corte e senza la presenza del prato. Nel caso del trinciato integrale di mais anche l'imput agrotecnico ha la sua importanza: questo cereale estivo è quello che manifesta una migliore efficienza nello sfruttamento dei fattori produttivi.

Nei grafici delle produzioni si riporta il dato di significatività statistica: a lettere diverse corrispondono medie differenti fra di loro a $P=0,05$.

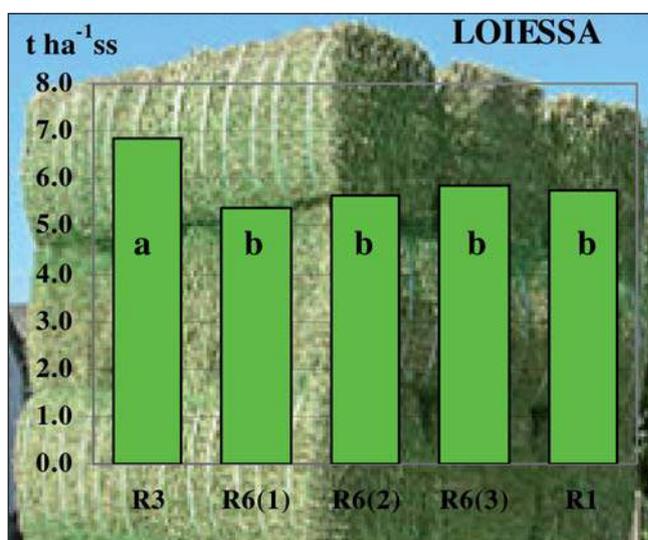


Grafico 4. Resa produttiva della loiessa

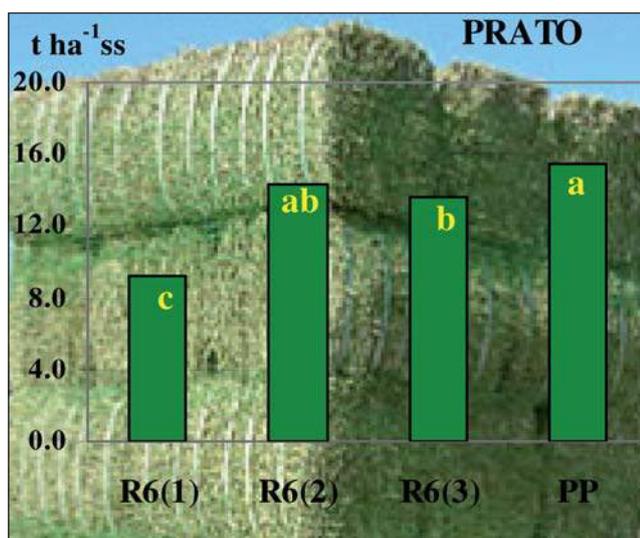


Grafico 5. Resa produttiva del prato

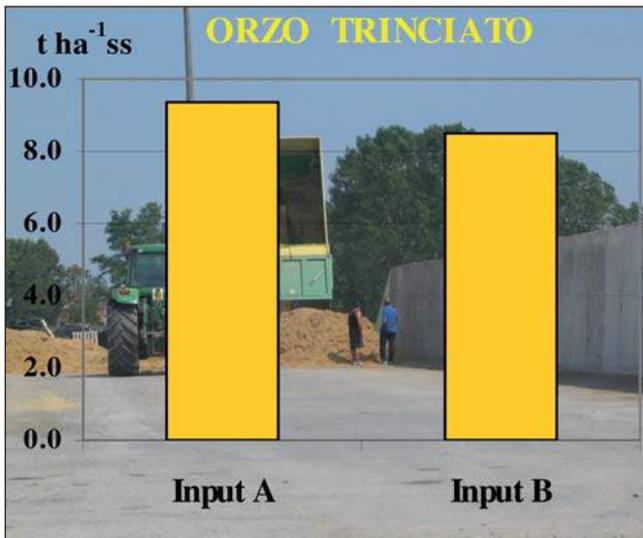


Grafico 6. Resa produttiva dell'orzo trinciato

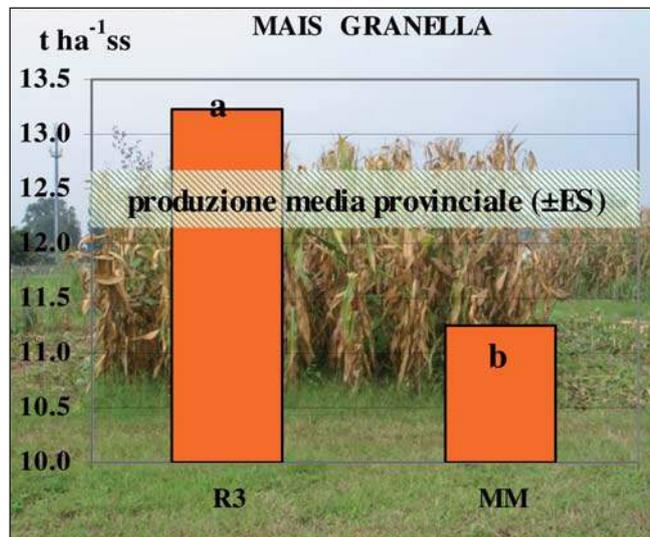


Grafico 7. Resa produttiva del mais da granella

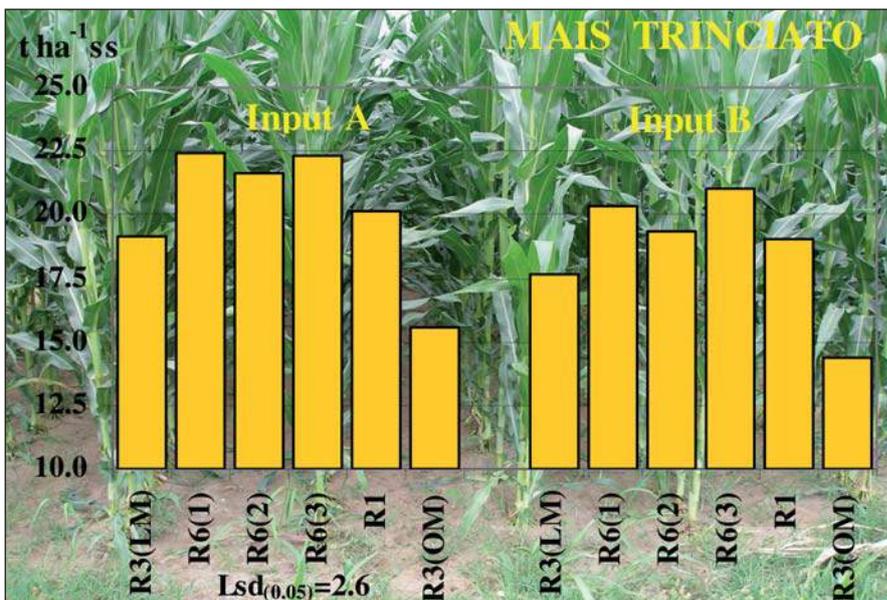


Grafico 8. Resa produttiva del mais trinciato

CAMPO SPERIMENTALE POC2

Analisi di laboratorio

Il sito sperimentale presenta in media una tessitura franca (classificazione USDA con valori medi di sabbia del 54%, limo del 38%, argilla del 8%), reazione da acida a sub-acida, capacità di scambio cationico media con calcio e magnesio nella norma ed in rapporto equilibrato, mentre modesta è la dotazione di potassio scambiabile ed alta quella in fosforo assimilabile; la dotazione di carbonio organico è media (12 g/kg), con un rapporto C/N equilibrato.

anno	ammend	rotazione	N	CIC %	±DS	pH (H ₂ O)	±DS	pH (KCl)	±DS
2006	let	R1	0	12,36	1,18	6,28	0,17	5,46	0,03
2006	let	R1	1	11,78	0,77	6,07	0,32	5,21	0,38
2006	let	R6	0	11,64	1,29	6,04	0,17	5,15	0,17
2006	let	R6	1	11,65	0,91	5,87	0,21	4,93	0,21
2006	liq	R1	0	10,74	0,44	6,10	0,05	5,08	0,15
2006	liq	R1	1	12,03	1,54	5,56	0,12	4,51	0,13
2006	liq	R6	0	11,58	0,87	5,92	0,10	4,80	0,16
2006	liq	R6	1	11,51	0,70	5,72	0,21	4,59	0,18
MEDIA 2006				11,66		5,94		4,97	
2008	let	R1	0	12,51	0,19	6,31	0,07	5,81	0,16
2008	let	R1	1	12,55	0,25	6,17	0,12	5,67	0,13
2008	let	R6	0	12,54	0,63	6,12	0,18	5,52	0,16
2008	let	R6	1	12,56	0,58	6,02	0,24	5,42	0,25
2008	liq	R1	0	11,73	0,15	6,09	0,06	5,45	0,07
2008	liq	R1	1	11,81	0,17	5,90	0,14	5,25	0,15
2008	liq	R6	0	12,28	0,63	5,93	0,18	5,30	0,25
2008	liq	R6	1	12,49	0,66	5,82	0,20	5,14	0,22
MEDIA 2008				12,31		6,04		5,78	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 17. Capacità idrica di campo e pH

In Tabella 17 i dati relativi alla capacità idrica di campo (CIC) ed al pH (in acqua e tampone) sui campioni di suolo prelevati nell'autunno del 2006 e nell'estate del 2008. Le variazioni di pH fra i due anni rientrano nella variabilità del parametro, considerando anche le diverse epoche di prelievo.

Nel 2008 il pH tampone è stato eseguito in CaCl₂; per questo motivo i valori risultano più elevati.

Dai dati ottenuti si evidenzia come il pH in acqua del suolo risulti leggermente inferiore nelle parcelle trattate con liquame rispetto a quelle con letame. Sul valore della capacità idrica di campo (CIC) la presenza del prato e l'apporto di letame mostrano influenze positive.

In Tabella 18 si riportano i dati relativi al complesso di scambio ed al fosforo rilevati sui campioni di suolo prelevati nell'autunno del 2006 e nell'estate del 2008.

Dai dati si può rilevare quanto segue.

Le parcelle trattate con letame presentano valori di CSC, calcio, magnesio e potassio scambiabili mediamente più elevati di quelle trattate con liquame; stessa osservazione può essere fatta per il fosforo assimilabile (P_2O_5). La differenza sul valore di CSC è comprensibile considerando la diversa natura dei due ammendanti.

anno	org	rot	N	CSC meq/100g	±DS	TSB %	±DS	Ca meq/100g	±DS	Mg meq/100g	±DS	K meq/100g	±DS	Na meq/100g	±DS	P_2O_5 mg/kg	±DS
2006	let	R1	0	13,20	0,79	66,47	0,67	6,87	0,42	1,46	0,12	0,36	0,04	0,07	0,05	105,67	3,79
2006	let	R1	1	12,87	0,15	64,13	4,07	6,54	0,61	1,37	0,03	0,27	0,06	0,05	0,05	106,33	5,51
2006	let	R6	0	12,53	1,34	63,09	2,64	6,60	0,70	1,12	0,18	0,16	0,05	0,03	0,02	83,94	24,03
2006	let	R6	1	12,19	0,98	61,61	3,15	6,27	0,50	1,05	0,11	0,14	0,04	0,03	0,02	85,11	20,13
2006	liq	R1	0	11,23	0,80	62,67	0,51	5,91	0,44	0,99	0,11	0,11	0,01	0,03	0,01	51,67	8,50
2006	liq	R1	1	11,20	0,40	56,13	1,14	5,35	0,25	0,82	0,09	0,08	0,01	0,02	0,00	54,00	4,58
2006	liq	R6	0	10,99	1,01	61,58	2,99	5,87	0,61	0,77	0,10	0,08	0,02	0,04	0,02	48,72	15,33
2006	liq	R6	1	11,35	1,11	58,70	3,47	5,77	0,63	0,72	0,10	0,12	0,22	0,04	0,02	52,11	13,83
MEDIA 2006				11,95		61,80		6,15		1,04		0,17		0,04		73,44	
2008	let	R1	0	11,43	0,55	75,00	4,76	6,60	0,38	1,44	0,10	0,47	0,10	0,07	0,06	114,67	18,23
2008	let	R1	1	12,00	0,00	69,03	3,24	6,38	0,29	1,37	0,08	0,44	0,04	0,05	0,02	120,00	24,33
2008	let	R6	0	11,44	0,90	67,73	4,23	6,29	0,44	1,20	0,20	0,21	0,11	0,04	0,02	84,17	24,83
2008	let	R6	1	11,13	0,90	68,81	5,34	6,26	0,55	1,15	0,16	0,18	0,09	0,05	0,02	82,78	21,79
2008	liq	R1	0	9,90	0,50	70,13	2,86	5,75	0,53	1,01	0,13	0,14	0,03	0,05	0,01	49,67	10,02
2008	liq	R1	1	9,90	0,50	66,43	1,11	5,48	0,29	0,94	0,11	0,11	0,04	0,04	0,01	53,67	11,02
2008	liq	R6	0	10,06	0,83	67,23	5,10	5,75	0,57	0,84	0,11	0,10	0,03	0,07	0,04	42,50	13,63
2008	liq	R6	1	10,23	0,78	63,29	6,27	5,50	0,57	0,81	0,11	0,09	0,03	0,06	0,02	49,00	16,46
MEDIA 2008				10,76		68,46		6,00		1,10		0,22		0,05		74,56	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 18. Parametri chimici

Per potassio e magnesio scambiabile e per il fosforo assimilabile si può inoltre rilevare, in particolare per le parcelle trattate con letame, una dotazione più elevata per la rotazione annuale (R1) rispetto a quella sessennale (R6). Il dato può essere compreso se si considera la concimazione annuale media delle diverse parcelle, che risulta maggiore per la rotazione annuale (R1).

In generale i valori di CSC sono medio-bassi, calcio e magnesio nella norma, il potassio nella norma solo per le rotazioni annuali con letame, il fosforo alto.

In Tabella 19 si riportano i dati relativi alla frazione organica rilevati sui campioni di suolo prelevati nell'autunno del 2006 e nell'estate del 2008, nello specifico per carbonio organico (CO), sostanza organica (SO), azoto totale (N tot) e rapporto fra carbonio e azoto (C/N).

Anche per sostanza organica, carbonio organico e azoto totale è possibile rilevare valori più elevati per le parcelle trattate con letame rispetto a quelle con liquame e, all'interno del trattamento letame, per le parcelle in rotazione annuale (R1) rispetto a quelle in rotazione sessennale (R6), in quanto nei tre anni di medica non è previsto l'apporto di letame. In generale la sostanza organica presenta valori che indicano una discreta dotazione del terreno.

La variabilità del rapporto C/N negli anni (più alto nel 2008) dipende dai diversi valori di azoto rilevati nel primo e terzo anno di prova (dati mediamente più elevati nel campionamento autunnale rispetto a quello estivo). Anche in questo caso, come per POC 1, la variazione è da attribuire presumibilmente sia ad eventuali fattori analitici quanto alle diverse epoche di campionamento.

anno	org	rot	N	SO g/kg	±DS	CO g/kg	±DS	N tot g/kg	±DS	C/N	±DS
2006	let	R1	0	25,33	1,15	14,67	0,58	1,60	0,20	9,24	0,84
2006	let	R1	1	24,00	0,00	14,00	0,00	1,63	0,23	8,68	1,13
2006	let	R6	0	21,44	1,85	12,50	1,04	1,45	0,12	8,64	0,67
2006	let	R6	1	21,94	2,21	12,61	1,20	1,47	0,12	8,61	0,66
2006	liq	R1	0	18,33	1,53	11,00	1,00	1,27	0,06	8,70	0,87
2006	liq	R1	1	17,67	0,58	10,67	0,58	1,27	0,06	8,44	0,74
2006	liq	R6	0	18,00	1,94	10,44	1,25	1,29	0,16	8,11	0,83
2006	liq	R6	1	18,22	1,35	10,67	0,91	1,29	0,13	8,28	0,67
MEDIA 2006				20,62		12,07		1,41		8,59	
2008	let	R1	0	24,00	2,00	14,00	1,00	1,33	0,06	10,49	0,43
2008	let	R1	1	25,33	0,58	15,00	0,00	1,37	0,06	10,99	0,48
2008	let	R6	0	23,89	2,95	14,00	1,71	1,33	0,14	10,54	0,49
2008	let	R6	1	23,11	3,01	13,39	1,72	1,31	0,13	10,24	0,64
2008	liq	R1	0	19,33	1,53	11,00	1,00	1,07	0,06	10,30	0,52
2008	liq	R1	1	19,00	1,73	11,00	1,00	1,13	0,06	9,70	0,52
2008	liq	R6	0	19,50	2,81	11,33	1,64	1,11	0,14	10,19	0,54
2008	liq	R6	1	20,11	2,49	11,67	1,53	1,14	0,14	10,24	0,40
MEDIA 2008				21,78		12,67		1,22		10,34	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 19. Parametri organici

In Tabella 20 si riportano invece i dati relativi ai parametri biochimici indicatori di fertilità biologica. Non si riscontrano differenze significative fra gli anni per tutti i parametri determinati.

Per il carbonio della biomassa microbica (C biom) si rilevano valori maggiori per la rotazione annuale (R1) trattata con letame rispetto alla rotazione sessennale (R6) dello stesso trattamento.

Solo per la rotazione annuale (R1) con letame è possibile attribuire un giudizio positivo al valore medio riscontrato, probabilmente imputabile ad una maggiore diversità della comunità microbica del suolo ed all'apporto annuale di ammendante.

La respirazione cumulativa (R cum) risulta invece più elevata per tutte le parcelle trattate con letame rispetto a quelle che prevedono l'utilizzo di liquame. Stessa considerazione vale per la respirazione basale (R bas), soprattutto per le rotazioni annuali (R1). In termini generali il modello interpretativo adottato pone i dati di respirazione in una classe medio-bassa.

Il quoziente di mineralizzazione (QM) non evidenzia differenze importanti fra i diversi trattamenti e sta ad indicare comunque un'attività microbica non ad alti livelli. Nel contempo i valori del quoziente metabolico (QCO₂) risultano complessivamente buoni, in particolare per la rotazione annuale (R1).

anno	org	rot	N	C biom ug/g	±DS	R cum mg CO ₂ /kg	±DS	R bas mg CO ₂ /kg	±DS	QM %	±DS	QCO ₂ /h	±DS	Cbiom/CO %	±DS
2006	let	R1	0	192,67	78,13	218,00	22,11	6,30	1,68	1,49	0,14	0,15	0,03	1,31	0,54
2006	let	R1	1	241,33	77,16	198,33	21,55	6,04	0,39	1,42	0,16	0,12	0,04	1,72	0,56
2006	let	R6	0	134,39	55,76	193,06	24,97	5,61	1,62	1,56	0,26	0,19	0,07	1,09	0,45
2006	let	R6	1	148,06	59,44	184,00	24,01	5,65	1,55	1,47	0,21	0,18	0,07	1,19	0,49
2006	liq	R1	0	123,00	52,94	169,33	15,63	4,77	0,62	1,54	0,02	0,18	0,07	1,15	0,60
2006	liq	R1	1	191,00	82,66	160,00	18,33	4,67	1,53	1,51	0,25	0,13	0,08	1,80	0,77
2006	liq	R6	0	130,72	59,48	165,56	18,84	5,02	1,76	1,60	0,25	0,19	0,11	1,25	0,53
2006	liq	R6	1	131,22	56,24	161,67	26,16	4,74	1,75	1,53	0,28	0,19	0,11	1,23	0,52
MEDIA 2006				161,55	65,23	181,24	21,45	5,35	1,36	1,51	0,19	0,16	0,07	1,34	0,56
2008	let	R1	0	226,33	71,74	231,67	42,44	7,16	1,86	1,65	0,21	0,14	0,02	1,60	0,46
2008	let	R1	1	185,33	63,45	226,00	48,51	6,38	1,06	1,51	0,32	0,15	0,03	1,23	0,40
2008	let	R6	0	164,89	62,13	217,61	48,05	5,71	1,68	1,57	0,36	0,16	0,06	1,18	0,46
2008	let	R6	1	150,94	53,73	211,78	55,59	5,28	1,72	1,60	0,43	0,16	0,07	1,16	0,38
2008	liq	R1	0	142,00	37,36	179,67	55,82	5,38	0,74	1,67	0,67	0,16	0,05	1,30	0,46
2008	liq	R1	1	136,67	26,58	162,33	41,00	4,56	1,68	1,48	0,41	0,14	0,03	1,23	0,21
2008	liq	R6	0	134,61	71,76	184,44	40,85	4,51	1,14	1,63	0,31	0,18	0,11	1,21	0,68
2008	liq	R6	1	130,28	60,61	184,72	45,14	4,71	1,75	1,59	0,34	0,18	0,10	1,15	0,57
MEDIA 2008				158,88	55,92	199,78	47,18	5,46	1,45	1,59	0,38	0,16	0,06	1,26	0,45

Per la legenda vedere il testo

Tabella 20. Parametri biochimici

In Tabella 21 si riportano invece i dati relativi alla caratterizzazione della frazione organica dei campioni di suolo prelevati nella primavera del 2007 (secondo anno di progetto).

Anno	org	rot	N	TOC g/kg	±DS	TEC g/kg	±DS	HA-FA g/kg	±DS	HI %	±DS	DH %	±DS	HR %	±DS
2007	let	R1	0	16,05	1,73	12,19	1,20	7,26	0,73	0,68	0,03	59,51	1,15	45,27	2,32
2007	let	R1	1	15,05	0,61	12,05	0,77	8,84	0,69	0,36	0,05	73,40	2,78	58,71	2,38
2007	let	R6	0	13,74	1,33	10,22	1,73	5,68	1,43	0,86	0,37	55,73	10,93	41,43	10,24
2007	let	R6	1	14,26	1,40	9,75	1,96	5,53	1,13	0,78	0,25	57,31	8,04	38,85	7,58
2007	liq	R1	0	11,40	0,91	9,66	0,45	5,10	0,05	0,89	0,09	52,89	2,55	44,99	4,22
2007	liq	R1	1	12,05	0,57	10,33	2,07	5,87	2,34	0,90	0,52	55,06	13,13	48,16	17,61
2007	liq	R6	0	11,65	1,46	8,97	1,58	4,88	1,18	0,90	0,34	54,19	8,75	42,38	10,81
2007	liq	R6	1	12,02	1,24	9,27	1,34	4,89	1,17	0,95	0,31	52,85	10,40	40,75	9,01
media 2007				13,28		10,31		6,01		0,79		57,62		45,07	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 21. Frazionamento della sostanza organica

I valori di carbonio organico mediamente e leggermente più elevati rispetto a quelli ottenuti nel 2006 e nel 2008 sono da imputare esclusivamente alla diversa metodica utilizzata.

Valori più alti di carbonio organico totale (TOC), di carbonio organico estraibile (TEC) e di acidi umici e fulvici (HA+FA) si riscontrano in rotazione annuale (R1) con apporto di letame.

In merito ai parametri dell'umificazione, il tasso di umificazione (HR) non evidenzia sostanziali differenze rispetto all'ammendante utilizzato (letame o liquame), con valori medi del 45%.

Il grado di umificazione (DH), che esprime il contenuto delle sostanze umiche sulla frazione estraibile che non è interamente umica, evidenzia valori elevati per la rotazione annuale (R1) con letame, soprattutto con apporto di azoto (1): mediamente i valori risultano superiori al 50%.

L'indice di umificazione (HI), parametro adimensionale che mette in relazione la frazione organica estratta non umificata con quella estratta umificata, è normalmente compreso fra 0 e 1: valori più bassi evidenziano che i processi di umificazione prevalgono su quelli di mineralizzazione. Nelle parcelle trattate con letame l'indice è mediamente più basso rispetto a quelle trattate con liquame, con valori medi comunque generalmente alti e tendenti a 1. I risultati evidenziano quanto l'ammendante organico solido (letame) abbia influenze positive sui processi di umificazione. Infatti evidente risulta la differenza qualitativa nella sostanza organica somministrata. Nel caso del letame abbiamo una componente organica più stabile e meno facilmente mineralizzabile pertanto più idonea a supportare un arricchimento in sostanza organica del suolo, viceversa con i liquami si va a somministrare una frazione di azoto disponibile maggiore ed una frazione di sostanza organica meno stabilizzata e quindi a pronta mineralizzazione ed utilizzazione da parte della coltura.

Sul dato della sostanza organica è comunque necessario evidenziare quanto segue.

Il contenuto del carbonio organico del terreno, a 14 anni dall'inizio della prova, è stato influenzato sia dal tipo di refluo che dai sistemi foraggeri (Tomasoni et al. 2008). Il contenuto di C org. risulta più alto nel trattamento con letame in modo particolare nell'avvicendamento annuale (R1) con 1,43% contro 1,25% registrato nella rotazione sessennale (R6). Al contrario i valori registrati nel trattamento con liquame sono simili e pari a 1,08% e 1,05% rispettivamente per R1 e R6 e simili al contenuto di C nel suolo al momento di inizio dell'esperimento (1,06%). La quantità di C organico immagazzinata nel profilo del suolo esplorato (30 cm) dall'inizio della prova è pari 18,5 t ha⁻¹ (1,32 t ha⁻¹ anno⁻¹) nel sistema foraggero R1 trattato con letame che corrisponde ad un incremento del 35%, mentre lo stesso avvicendamento liquamato ha determinato un incremento del 2% pari ad 1,0 t ha⁻¹ in totale. Più modesto risulta essere l'accumulo di C organico in R6 (+13%) per la tesi letamata e leggermente negativa in quella liquamata (-1%). Le differenze tra i due avvicendamenti registrate tra le tesi letamate sono determinate dal maggiore quantitativo di letame prodotto dagli allevamenti supportati dai due sistemi (6 vs 4 UBA, rispettivamente per R1 e R6). Va sottolineata comunque la grande difficoltà, riconducibile all'impiego di residui colturali (paglie e stocchi) di provenienza aziendale o extra aziendale e corrispondenti a circa 8 kg die⁻¹ UBA⁻¹ (Ceotto et al 2006), conseguente all'uso di letame rispetto al liquame, da cui nasce la grande difficoltà di stimare i flussi di C nei sistemi agricoli. Su questo parametro la concimazione azotata non ha prodotto effetti apprezzabili.

Dati produttivi

Le colture principali inserite in questa prova sono rappresentate dalla loiessa e dall'erba medica, mentre quella secondaria dal mais, coltivato per la produzione di trinciato integrale da destinarsi all'alimentazione delle bovine nelle aziende zootecniche da latte. In tutti i casi l'uso dei diversi fertilizzanti organici, letame e liquame provenienti dalle deiezioni solide e liquide dell'allevamento bovino, ha determinato differenti effetti. Mediamente la loiessa (Grafico 9) ha prodotto di più se fertilizzata con letame rispetto a quella trattata con liquame e i migliori risultati si ottengono combinando la letamazione e la concimazione con azoto minerale. Nel caso della liquamazione l'integrazione minerale sembra avere effetto positivo solo nella rotazione R6 dove probabilmente si cumula con l'effetto positivo dovuta alla coltivazione dell'erba medica. In quest'ultima l'effetto negativo del trattamento con liquame è evidente: si ha una riduzione di circa il 30% della produttività del medicaio (Grafico 10), molto probabilmente dovuto all'effetto negativo esercitato dal liquame sulla capacità di nodulare dell'erba medica. L'integrazione dell'azoto minerale alle colture che precedono non sembra avere effetto sulla coltura dell'erba medica (chiaramente il prato non viene concimato con N).

L'effetto dei trattamenti organici è molto più evidente nella produzione di trinciato integrale di mais: la coltura trattata con liquame produce nettamente meno rispetto a quella nella quale è stato utilizzato il letame. L'integrazione con la concimazione minerale azotata fa sentire il suo effetto positivo in maggior misura nella rotazione sessennale.

Nei grafici le produzioni sono espresse in tonnellate di sostanza secca per ettaro e le barre rappresentano l'errore standard delle medie.

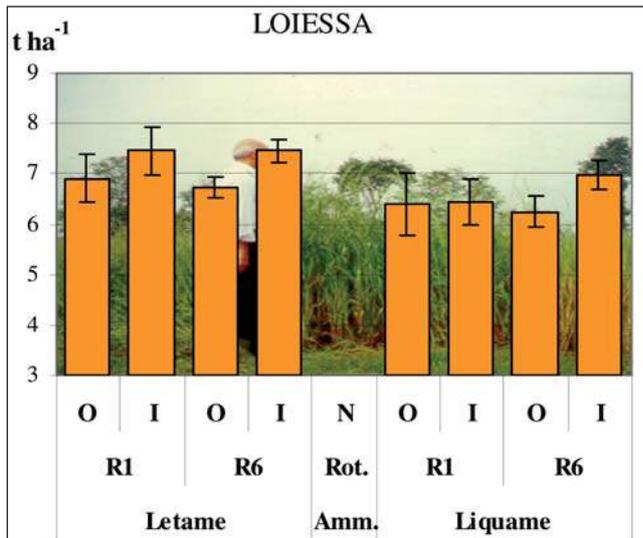


Grafico 9. Resa produttiva loiessa

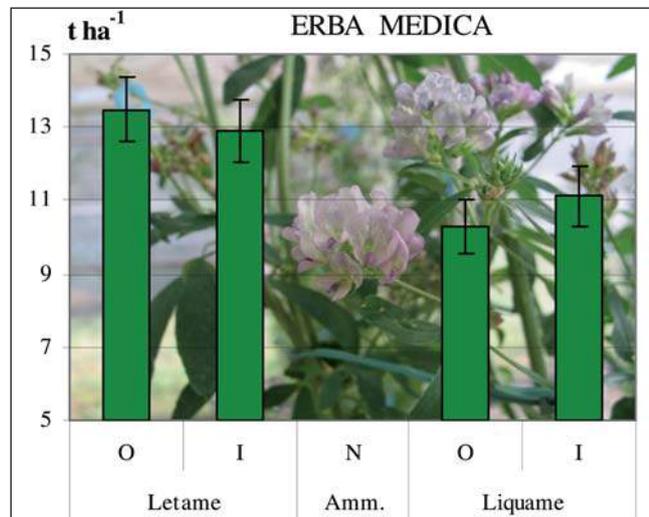


Grafico 10. Resa produttiva erba medica

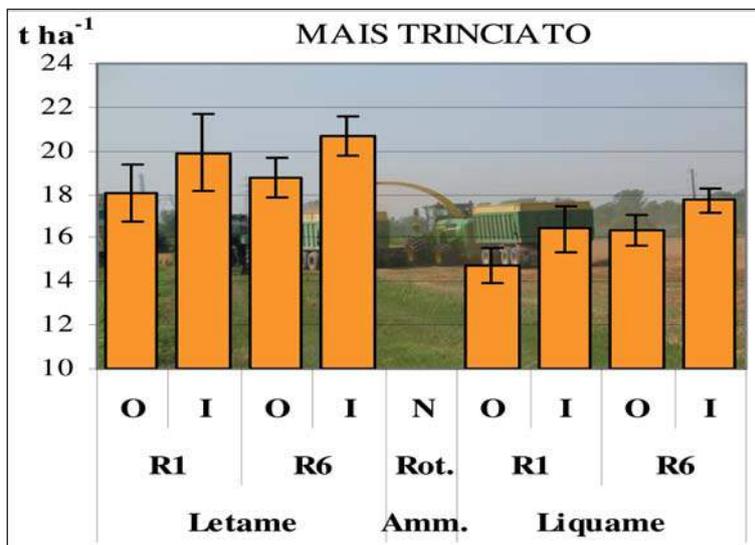


Grafico 11. Resa produttiva del mai trinciato

PROVA AMMENDANTI (PRESSO AZIENDE AGRICOLE PRIVATE)

Sito di Bertonico

Il terreno mediamente presenta tessitura franca (classificazione USDA con valori medi di sabbia del 51%, limo del 39%, argilla del 10%), reazione sub-acida, capacità di scambio cationico media con calcio basso, magnesio nella norma, potassio alto; il fosforo assimilabile è elevato. La dotazione di carbonio organico è media (11 g kg⁻¹), basso risulta il rapporto tra carbonio e azoto totale.

Sito di Luignano

Il terreno mediamente presenta tessitura franca sabbiosa (classificazione USDA con valori medi di sabbia del 56%, limo del 34%, argilla del 10%), reazione acida/sub-acida, capacità di scambio cationico media con calcio e magnesio bassi ma in rapporto equilibrato e potassio alto; il fosforo assimilabile è elevato. La dotazione media di carbonio organico è bassa (9 g kg⁻¹) come basso risulta anche il rapporto tra carbonio e azoto totale.

In Tabella 22 si riportano i valori medi dei principali parametri chimici rilevati sui campioni di suolo prelevati nell'autunno del 2007 e nell'autunno del 2008.

In generale non si evidenziano influenze significative dei diversi ammendanti apportati rispetto al testimone non trattato (nt). Per il magnesio scambiabile (Mg) è possibile rilevare a fine prova per la località Luignano valori più elevati con l'apporto di borlanda (bor), ammendante compostato verde (comp) e liquame (liq).

Il potassio scambiabile (K) evidenzia valori più elevati a fine prova in località Bertonico solo con borlanda (bor) e in località Luignano con letame (let) e liquame (liq). Per il fosforo assimilabile le differenze fra i trattamenti ed il testimone non sono costanti e significative, anche per il fatto che la dotazione è mediamente molto alta.

anno	tesi	località	pH H ₂ O	±DS	CSC meq/100g	± DS	Ca meq/100g	± DS	Mg meq/100g	± DS	K meq/100g	± DS	TSB %	± DS	P ₂ O ₅ mg/kg	± DS
2007	bor	bertonico	5,84	0,18	12,00	0,00	3,64	0,26	0,94	0,08	0,72	0,03	44,39	2,63	186,33	22,48
2007	comp	bertonico	5,77	0,14	12,20	0,82	3,50	0,52	0,94	0,18	0,61	0,09	41,56	4,82	213,33	25,70
2007	let	bertonico	6,15	0,33	12,37	1,10	3,95	0,40	1,03	0,24	0,83	0,12	47,19	2,60	206,00	40,26
2007	liq	bertonico	5,61	0,18	11,67	0,29	3,11	0,09	0,82	0,05	0,61	0,08	39,09	0,44	183,67	20,55
2007	nt	bertonico	5,82	0,04	12,03	0,55	3,42	0,26	0,96	0,03	0,62	0,23	41,86	1,83	230,67	27,47
MEDIA BERT 2007			5,84		12,05		3,52		0,94		0,68		42,82		204,00	
2007	bor	luignano	5,70	0,10	10,50	0,00	3,20	0,49	0,53	0,11	0,45	0,08	39,97	5,00	131,00	9,00
2007	comp	luignano	5,65	0,24	11,37	1,50	4,72	1,62	0,60	0,18	0,46	0,02	50,31	9,61	126,00	20,95
2007	let	luignano	5,74	0,17	11,00	0,50	3,47	0,91	0,64	0,27	0,45	0,12	41,26	8,42	129,00	24,25
2007	liq	luignano	5,69	0,10	10,67	0,29	3,53	0,67	0,57	0,14	0,49	0,08	43,00	5,84	109,67	21,22
2007	nt	luignano	5,50	0,17	10,67	0,29	3,76	0,50	0,44	0,08	0,38	0,05	43,09	5,36	115,33	17,79
MEDIA LUIG 2007			5,65		10,84		3,74		0,56		0,45		43,53		122,20	
2008	bor	bertonico	6,42	0,04	12,04	0,46	4,42	0,19	1,01	0,08	0,74	0,10	51,84	2,62	251,33	9,02
2008	comp	bertonico	6,47	0,09	11,04	0,52	4,79	0,13	1,05	0,03	0,57	0,07	58,52	4,07	231,33	9,02
2008	let	bertonico	6,36	0,06	10,74	0,60	4,48	0,05	0,95	0,03	0,49	0,03	55,61	3,13	236,33	8,02
2008	liq	bertonico	6,29	0,14	11,24	0,46	4,04	0,13	0,94	0,08	0,59	0,07	49,95	2,57	250,67	11,37
2008	nt	bertonico	6,28	0,03	11,04	0,30	4,33	0,13	0,94	0,06	0,58	0,06	53,31	1,25	227,67	17,47
MEDIA BERT 2008			6,36		11,22		4,41		0,98		0,59		53,85		239,47	
2008	bor	luignano	6,22	0,23	10,34	0,17	4,44	0,09	0,62	0,00	0,34	0,06	52,39	1,03	104,00	13,45
2008	comp	luignano	5,98	0,35	10,84	0,46	4,35	0,05	0,59	0,03	0,39	0,11	49,26	1,07	101,67	8,74
2008	let	luignano	5,61	0,13	10,44	0,00	3,30	0,16	0,44	0,06	0,47	0,07	40,52	2,68	129,00	11,53
2008	liq	luignano	5,99	0,31	10,54	0,17	3,72	0,18	0,53	0,03	0,48	0,03	45,05	0,98	133,33	19,86
2008	nt	luignano	5,67	0,08	9,94	0,17	3,58	0,33	0,44	0,03	0,36	0,07	44,16	2,85	91,67	8,50
MEDIA LUIG 2008			5,89		10,42		3,88		0,52		0,41		46,28		111,93	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 22. Parametri chimici

In Tabella 23 si riportano i valori medi della frazione organica rilevati sui campioni di suolo prelevati nell'autunno del 2007 e nell'autunno del 2008.

I valori di carbonio organico (CO) e, conseguentemente, di sostanza organica (SO), non rivelano differenze significative fra i trattamenti e il testimone dopo due anni di prova.

Borlanda (bor) in località Bertonico e ammendante compostato verde (comp) in località Luignano evidenziano al termine della prova i valori più alti, ma le differenze non sono statisticamente significative. Tuttavia in località Luignano (sito con la minor dotazione di sostanza organica), a fine prova il testimone presenta mediamente una dotazione in valore assoluto inferiore rispetto ai trattamenti con ammendanti.

anno	tesi	località	S.O. g/kg	±DS	C.O. g/kg	±DS	N tot g/kg	±DS	C/N	±DS
2007	bor	bertonico	18,67	0,58	11,00	0,00	1,57	0,06	7,03	0,23
2007	comp	bertonico	19,67	3,06	11,33	1,53	1,67	0,21	6,80	0,10
2007	let	bertonico	20,00	3,61	11,67	2,08	1,63	0,15	7,13	0,59
2007	liq	bertonico	18,00	1,00	10,33	0,58	1,57	0,06	6,60	0,36
2007	nt	bertonico	19,67	1,53	11,00	1,00	1,67	0,06	6,60	0,46
MEDIA BERTONICO 2007			19,20		11,07		1,62		6,83	
2007	bor	luignano	13,67	0,58	8,00	0,00	1,37	0,06	5,87	0,29
2007	comp	luignano	16,67	4,62	9,67	2,89	1,47	0,21	6,50	0,98
2007	let	luignano	15,33	1,53	9,00	1,00	1,43	0,06	6,27	0,51
2007	liq	luignano	14,67	1,15	8,33	0,58	1,43	0,06	5,80	0,17
2007	nt	luignano	14,33	1,53	8,33	0,58	1,37	0,06	6,10	0,36
MEDIA LUIGNANO 2007			14,93		8,67		1,41		6,11	
2008	bor	bertonico	21,33	1,53	12,33	0,58	1,43	0,15	8,63	0,55
2008	comp	bertonico	18,00	1,73	10,33	1,15	1,30	0,10	7,97	0,50
2008	let	bertonico	17,00	2,00	10,00	1,00	1,20	0,20	8,40	0,56
2008	liq	bertonico	18,67	1,53	11,00	1,00	1,27	0,06	8,67	0,47
2008	nt	bertonico	18,00	1,00	10,67	0,58	1,27	0,06	8,43	0,12
MEDIA BERTONICO 2008			18,60		10,87		1,29		8,42	
2008	bor	luignano	15,67	0,58	9,00	0,00	1,20	0,00	7,50	0,00
2008	comp	luignano	17,33	1,53	10,00	1,00	1,30	0,10	7,70	0,72
2008	let	luignano	16,00	0,00	9,33	0,58	1,23	0,06	7,57	0,12
2008	liq	luignano	16,33	0,58	9,33	0,58	1,23	0,06	7,57	0,12
2008	nt	luignano	14,33	0,58	8,33	0,58	1,23	0,12	6,80	0,56
MEDIA LUIGNANO 2008			15,93		9,20		1,24		7,43	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 23. Frazione organica

In Tabella 24 si riportano invece i dati relativi ai parametri biochimici indicatori di fertilità.

Per quanto riguarda il carbonio della biomassa microbica (C biom) non si rilevano differenze significative fra i trattamenti in entrambi i siti sperimentali, con dotazione generalmente medio-bassa secondo il modello interpretativo proposto.

La respirazione basale (R bas) risulta mediamente più bassa nel sito Luignano per il testimone non trattato (nt), anche se l'alta deviazione standard (DS) dei dati ottenuti non permette di rilevare differenze significative. Per la respirazione cumulativa (R cum) è possibile rilevare per il sito Bertonico un valore elevato alla fine del secondo anno per ammendante compostato verde (comp); nel sito Luignano al termine della prova valori elevati si riscontrano per borlanda (bor) e liquame (liq); sempre in questi sito a fine prova il testimone (nt)

presenta mediamente valori di respirazione cumulativa più bassi rispetto ai trattamenti.

Secondo il modello interpretativo proposto, i valori medi di respirazione risultano comunque mediamente bassi.

Il quoziente metabolico (QCO₂) non evidenzia particolari differenze fra i trattamenti nel sito Bertónico; si nota inoltre un peggioramento dell'andamento del parametro (valore assoluto in aumento) fra il 2007 ed il 2008, ovvero ridotta efficienza microbica.

Per il sito di Luignano le differenze amplificate rilevate nel primo anno di sperimentazione, con valori decisamente positivi per letame (let) e borlanda (bor), si sono invece ridimensionate alla fine del secondo anno con un miglioramento globale, testimone compreso (nt).

Il quoziente di mineralizzazione (QM), che considera anche il valore di carbonio organico totale del suolo, presenta un aumento medio complessivo per entrambi i siti sperimentali, senza rilevare però differenze significative fra i trattamenti.

Anno	tesi	località	C biom μg/g	±DS	R bas mg/kg CO ₂	±DS	R cum mg/kg CO ₂	±DS	Q CO ₂ /h	±DS	QM %	±DS
2007	bor	bertonico	120,53	24,17	7,90	0,79	209,13	22,82	0,28	0,07	1,90	0,21
2007	comp	bertonico	143,47	42,51	6,61	0,85	214,73	18,58	0,20	0,04	1,92	0,32
2007	let	bertonico	108,22	26,02	8,74	0,39	228,11	59,19	0,35	0,08	2,01	0,66
2007	liq	bertonico	86,24	12,09	6,20	0,92	191,84	37,42	0,30	0,05	1,85	0,26
2007	nt	bertonico	100,92	38,21	7,38	0,40	187,64	21,94	0,33	0,10	1,70	0,05
MEDIA BERTONICO 2007			111,87		7,37		206,29		0,29		1,87	
2007	bor	luignano	103,07	33,20	8,14	1,34	194,35	11,52	0,34	0,05	2,43	0,14
2007	comp	luignano	50,43	17,34	7,87	1,80	232,62	91,04	0,67	0,07	2,37	0,20
2007	let	luignano	141,23	74,97	7,89	3,01	220,42	57,78	0,26	0,12	2,42	0,37
2007	liq	luignano	74,42	11,33	7,82	0,88	239,66	46,38	0,45	0,09	2,90	0,70
2007	nt	luignano	50,16	13,57	6,99	0,81	209,78	19,13	0,63	0,28	2,53	0,37
MEDIA LUIGNANO 2007			83,86		7,74		219,37		0,47		2,53	
2008	bor	bertonico	101,02	40,98	7,11	3,20	228,14	55,57	0,33	0,19	1,86	0,50
2008	comp	bertonico	78,23	57,41	7,05	0,06	241,00	5,76	0,54	0,36	2,35	0,30
2008	let	bertonico	107,30	55,49	6,01	1,02	201,13	39,34	0,31	0,22	2,02	0,41
2008	liq	bertonico	105,04	59,23	7,28	1,11	220,69	32,04	0,39	0,27	2,02	0,35
2008	nt	bertonico	88,74	61,99	6,68	1,25	211,45	20,51	0,45	0,32	1,98	0,09
MEDIA BERTONICO 2008			96,06		6,83		220,48		0,40		2,05	
2008	bor	luignano	140,41	4,17	10,26	1,57	304,96	102,56	0,30	0,04	3,39	1,14
2008	comp	luignano	111,71	9,61	10,05	4,08	261,55	103,22	0,39	0,18	2,57	0,77
2008	let	luignano	113,52	17,50	10,60	1,95	263,03	46,89	0,39	0,07	2,84	0,64
2008	liq	luignano	120,25	28,73	11,99	4,07	296,24	47,55	0,42	0,11	3,19	0,60
2008	nt	luignano	127,29	16,21	9,25	1,79	237,71	24,65	0,30	0,03	2,86	0,37
MEDIA LUIGNANO 2008			122,64		10,43		272,70		0,36		2,97	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 24. Parametri biochimici

In Tabella 25 e nel Grafico 12 si riportano invece i dati relativi alle medie delle produzioni in granella nel corso del biennio.

La prima evidenza riguarda la differente produttività nei due anni sperimentali in entrambi i siti oggetto di prova: nel 2007 la media produttiva è stata di oltre 14 tonnellate/ettaro, nel 2008 inferiore a 12 tonnellate/ettaro, con una riduzione media di oltre il 20% in entrambi i siti. Il dato è da ricondurre a due fattori verificatisi nel corso del 2008: carenza idrica in fase di germinazione e grandinata estiva.

Relativamente a differenze fra i diversi trattamenti si evidenzia quanto segue.

In località Bertónico l'apporto di liquame (liq) ha garantito rese medie maggiori sia nel 2007 (+ 12% rispetto al non trattato) che nel 2008 (+ 11,5%). Le parcelle non trattate hanno comunque fornito rese medie inferiori rispetto a quelle ammendate.

Anche in località Luignano il liquame (liq), seppur con minor evidenza, ha fornito i migliori risultati in termini di resa produttiva, in particolare nel primo anno di prova (+ 13,6% rispetto al testimone non trattato); per le altre tipologie di ammendanti le rese produttive non risultano dissimili da quelle ottenute dal testimone. E' possibile rilevare come le differenze fra le tesi siano comunque più marcate nel primo anno sperimentale, quando la media produttiva del sito è stata comunque maggiore. Si nota inoltre come nelle parcelle trattate con letame la riduzione percentuale di produzione del secondo anno risulta inferiore rispetto alle altre tesi.

ANNO	tesi	località	resa t/ha	±DS
2007	bor	bertonico	14,15	0,06
2007	comp	bertonico	14,83	0,21
2007	let	bertonico	14,43	0,08
2007	liq	bertonico	16,17	0,13
2007	nt	bertonico	14,19	0,10
MEDIA BERTONICO 2007			14,76	
2007	bor	luignano	13,51	0,31
2007	comp	luignano	14,79	0,10
2007	let	luignano	13,70	0,31
2007	liq	luignano	15,93	0,11
2007	nt	luignano	13,75	0,23
MEDIA LUIGNANO 2007			14,34	
2008	bor	bertonico	11,55	0,70
2008	comp	bertonico	11,61	0,53
2008	let	bertonico	11,45	0,24
2008	liq	bertonico	12,30	0,74
2008	nt	bertonico	10,88	0,31
MEDIA BERTONICO 2008			11,56	
2008	bor	luignano	11,30	1,14
2008	comp	luignano	10,86	1,35
2008	let	luignano	11,47	1,05
2008	liq	luignano	11,88	0,57
2008	nt	luignano	11,11	2,71
MEDIA LUIGNANO 2008			11,32	

Per la legenda vedere il testo

Tabella 25. Rese produttive mais trinciato

In termini generali è possibile inoltre rilevare quanto segue.

I due siti sperimentali presentano caratteristiche chimico-fisiche sostanzialmente molto simili, eccezion fatta per la dotazione di sostanza organica, decisamente più elevata a Bertónico.

Malgrado questo aspetto, al termine del secondo anno di progetto in entrambi i siti sperimentali i parametri biochimici indicatori di fertilità biologica presentano valori fra di loro molto simili e, secondo l'odierno modello interpretativo, evidenziano una fertilità biologica tendenzialmente limitata.

Il sito che maggiormente ha presentato qualche sintomo di risposta all'apporto di ammendanti organici è risultato quello di Luignano (originariamente il più povero in sostanza organica), che ha mostrato un incremento dell'attività respiratoria e maggior efficienza metabolica dei microrganismi presenti.

Da ultimo si può rilevare che il miglioramento delle proprietà biologiche di un sito non si possono ottenere né con pochi interventi di ammendamento organico, né solo con l'ammendamento organico.

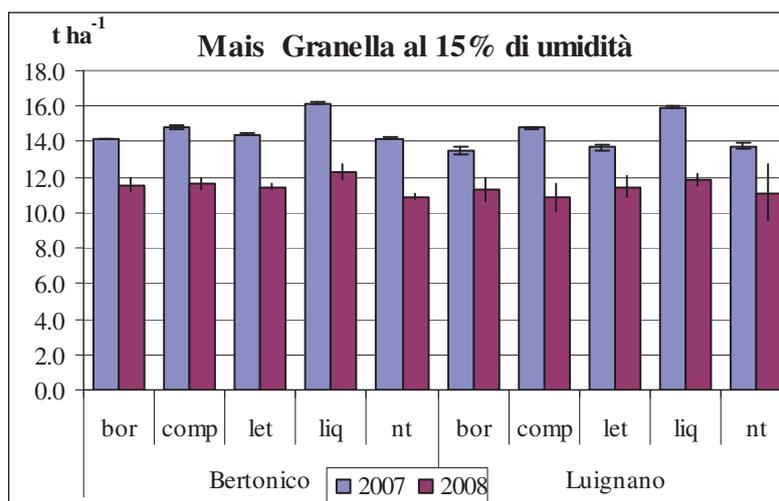


Grafico 12. Resa produttiva mais trinciato

AZOTO POTENZIALMENTE MINERALIZZABILE

Nel corso del secondo anno di progetto i campioni di suolo provenienti dai campi sperimentali POC1 e POC2 di Lodi sono stati sottoposti alla determinazione dell'azoto potenzialmente mineralizzabile con un metodo rapido messo a punto dalla Cornell University.

In Tabella 26 ed in Tabella 27 vengono esposti i risultati ottenuti. Si precisa che il metodo originale prevede la determinazione su campione tal quale; nel corso della sperimentazione il parametro è stato determinato anche su campione condizionato (essiccato a 40°C e setacciato a 2 mm), al fine di confrontarlo con il metodo ufficiale "Standford-Smith modificato Benedetti (1983)" (DM 23/02/04 met. II 2.) che prevede il condizionamento del campione.

L'interpretazione del dato del metodo americano, utilizzando terreno fresco (tq), prevede per terreni di medio impasto valori settimanali minimi di azoto mineralizzabile (mg/kg di sostanza secca) non inferiori a 5 e valori ottimali superiori a 9; non vengono forniti livelli interpretativi per l'utilizzo di terreno condizionato (secco a 40°C e setacciato a 2 mm).

I risultati, come evidenzia l'alto valore della deviazione standard (DS), sono poco significativi sia utilizzando il terreno fresco, sia il terreno condizionato, aspetto che porta a considerare il metodo, relativamente a questa esperienza, poco rappresentativo. I dati ottenuti su terreno condizionato risultano in assoluto più elevati rispetto a quelli ottenuti su terreno fresco e, se pur leggermente, meno variabili.

anno	input	rotazione	N min (tq)		N min (condizionato)	
			mg/kg ss	±DS	mg/kg ss	±DS
2007	A	R1	5,14	3,91	10,53	7,90
2007	A	MM	9,24	7,69	7,66	4,39
2007	A	PP	6,62	3,24	23,93	8,66
2007	A	R6	7,74	1,25	16,17	6,80
2007	A	R3	7,93	2,88	7,66	2,99
MEDIA INPUT A			7,33		13,19	
2007	B	R1	23,03	24,63	11,49	4,98
2007	B	MM	4,11	2,35	15,32	11,96
2007	B	PP	7,88	6,46	17,23	1,44
2007	B	R6	7,81	4,91	12,18	7,20
2007	B	R3	6,03	4,14	16,59	8,41
MEDIA INPUT B			9,77		14,56	

Tabella 26. POC1: azoto settimanalmente mineralizzabile

anno	org	rotazione	N	N min (tq)		N min (condizionato)	
				mg/kg ss	±DS	mg/kg ss	±DS
2007	let	R1	0	3,60	2,37	32,31	12,08
2007	let	R1	1	2,50	3,11	43,32	6,82
2007	let	R6	0	2,32	2,35	31,34	14,56
2007	let	R6	1	3,77	3,32	28,72	12,87
2007	liq	R1	0	4,02	1,69	26,81	2,99
2007	liq	R1	1	1,01	1,75	27,52	9,15
2007	liq	R6	0	2,91	2,93	22,26	11,89
2007	liq	R6	1	4,62	5,17	17,75	6,61
media 2007				3,09		28,75	

Tabella 27. POC2: azoto settimanalmente mineralizzabile

Il confronto con il metodo ufficiale “Standford-Smith modificato Benedetti (1983)” (DM 23/02/04 met. II 2.) è stato effettuato utilizzando 6 campioni di terreno con caratteristiche granulometriche differenti, ovvero terreni sabbiosi, a medio impasto e argillosi a due livelli di dotazione di sostanza organica (bassa e alta). Su tutti i campioni sono state effettuate in triplice replica le determinazioni dell’azoto potenzialmente mineralizzabile con il metodo ufficiale e con il metodo americano (terreno condizionato). I risultati ottenuti non hanno consentito di trovare alcuna correlazione fra i due metodi.

Pertanto, a fronte degli scarsi risultati forniti dal metodo americano, il metodo ufficiale resta ad oggi l’unico in grado di fornire indicazioni reali sulla capacità di un suolo a mineralizzare l’azoto organico presente.

APPROFONDIMENTI

In questa sezione approfondiremo alcuni aspetti intorno ai principali parametri della fertilità del terreno. La finalità divulgativa ed applicativa del presente quaderno, ci ha indotto ad omettere tutti i passaggi e le dimostrazioni dell’analisi statistica effettuata tramite procedure del sistema statistico SAS (analisi della varianza univariata e multivariata, correlazioni, analisi delle componenti principali etc.) soffermandoci a commentare i principali risultati agronomici risultati significativi all’analisi statistica effettuata sui dati analitici di laboratorio e riportati nelle diverse tabelle.

Sostanza organica

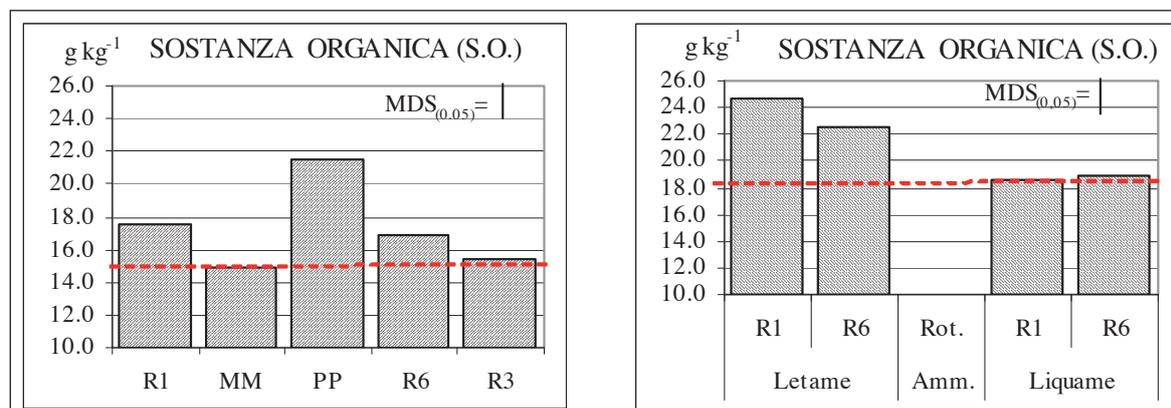


Grafico 13 e 14. Nota: la linea rossa tratteggiata rappresenta il punto di partenza a T0.

Rispetto al tasso di sostanza organica contenuta nel suolo, a ragione ritenuto il principale parametro della fertilità del terreno e, conseguentemente, indice molto affidabile dell'evoluzione della fertilità agronomica dei suoli, il dato viene sicuramente influenzato dalla rotazione adottata.

Infatti, come si può osservare nel Grafico 13 e nel Grafico 14, in entrambe le prove condotte a Lodi presso il CRA-FLC, risultano significative le differenze tra le rotazioni adottate e, nel caso del POC2, anche le interazioni tra queste ultime ed il tipo di refluo zootecnico impiegato. La presenza di sostanza organica nel terreno agrario viene favorita da una coltura prativa come inequivocabilmente viene evidenziato dal comportamento del prato permanente (PP), che fa registrare un incremento di circa del 40% rispetto al contenuto iniziale; comunque anche l'avvicendamento annuale di loglio italico + mais trinciato (R1) e la rotazione triennale (R6) hanno fatto registrare un cospicuo aumento della dotazione di sostanza organica, mentre nella rotazione triennale (R3) la sostanza organica è rimasta sostanzialmente invariata. La monosuccessione di mais da granella (MM) è sostanzialmente stabile, con tendenza alla demolizione della sostanza organica del terreno. Una favorevole azione nei confronti della sostanza organica viene esercitata, oltre che dalla presenza del prato, anche dall'apporto di letame (come in R1) e dall'azione sinergica di presenza del prato e di apporto di letame (come in R6, dove vi è la contemporanea presenza del prato avvicendato e del loglio italico + mais trinciato, a loro volta letamati). Quanto affermato viene confermato dai risultati ottenuti nella prova con l'impiego dei reflui zootecnici (letame e liquame).

L'azione favorevole sul contenuto di sostanza organica del terreno si ha in R1 e R6 trattati con letame mentre per il trattamento con liquame una azione positiva si ha solo in R6; in questo caso si può affermare che l'incremento è dovuto alla coltivazione del prato di erba medica mentre la somministrazione di liquame tendenzialmente lascia inalterato la dotazione organica del suolo, al contrario delle letamazioni.

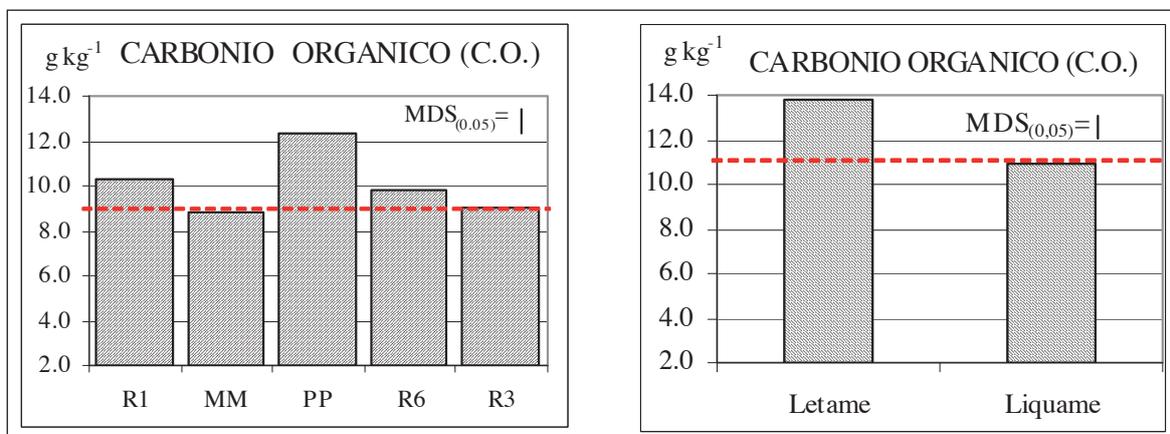


Grafico 15 e 16. Nota: la linea rossa tratteggiata rappresenta il punto di partenza a T0.

Per quanto riguarda il carbonio organico (Grafico 15 e Grafico 16), l'andamento risulta sostanzialmente simile a quello della sostanza organica, in quanto questo ultimo dato viene calcolato dal valore di carbonio determinato in laboratorio. Come era da attendersi la somministrazione di letame favorisce l'accumulo di carbonio organico rispetto alla somministrazione di liquame; tale accumulo può essere stimato in circa 1000 kg ha⁻¹ per anno, paragonabile alla quantità di carbonio organico accumulato ogni anno dal prato permanente, mentre la capacità di sequestrare carbonio da parte di un avvicendamento annuale loglio italico + mais trinciato (R1) è pari ad un terzo.

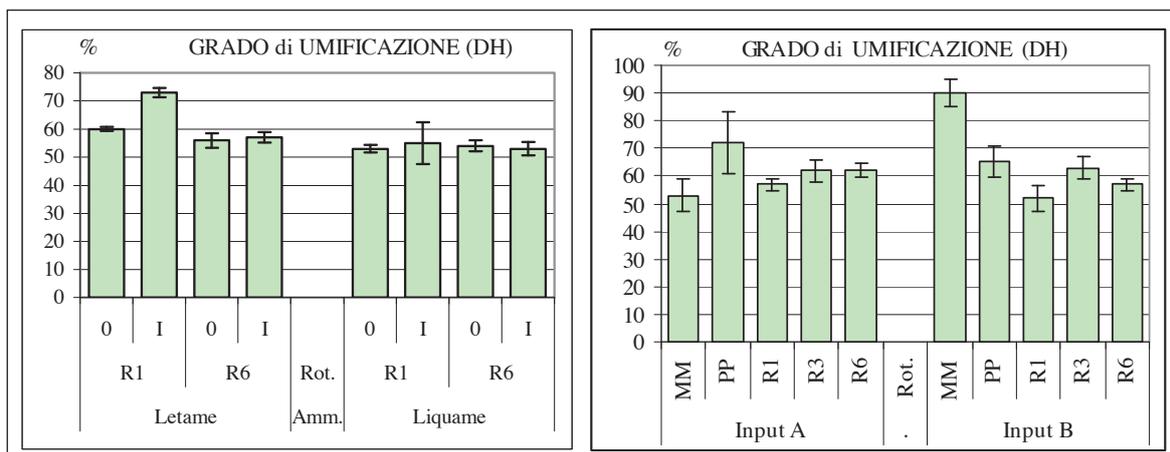


Grafico 17 e 18. Nota: le barre rappresentano l'errore standard delle medie

Il grado di umificazione (DH) è un parametro quali-quantitativo che esprime la percentuale di acidi umici e fulvici presenti nella frazione di carbonio organico estraibile che non può essere considerata interamente umica; questo indice misura l'attitudine di un terreno agrario ad umificare i materiali organici presenti. Come si nota nel Grafico 17 e nel Grafico 18, mediamente la somministrazione di letame favorisce il processo di umificazione della sostanza organica a disposizione rispetto al trattamento con liquame ed in particolare modo nell'avvicendamento annuale di loglio italico + mais trinciato con integrazione di concimazione azotata. Nel trattamento con liquame né le rotazioni né la somministrazione di azoto minerale sembrano influire sulla capacità di umificazione del suolo. Mediamente tanto l'alta intensità di coltivazione (Input A) quanto la lunghezza della rotazione (R6>R1) sembrano influire positivamente sul grado di umificazione; a questo andamento generale fa eccezione la monosuccessione di mais da granella coltivata a bassa intensità di input agrotecnici (MM con input B), che presenta un grado di umificazione molto alto (circa il 90%): il dato va letto considerando anche la scarsità di detrito organico a disposizione.

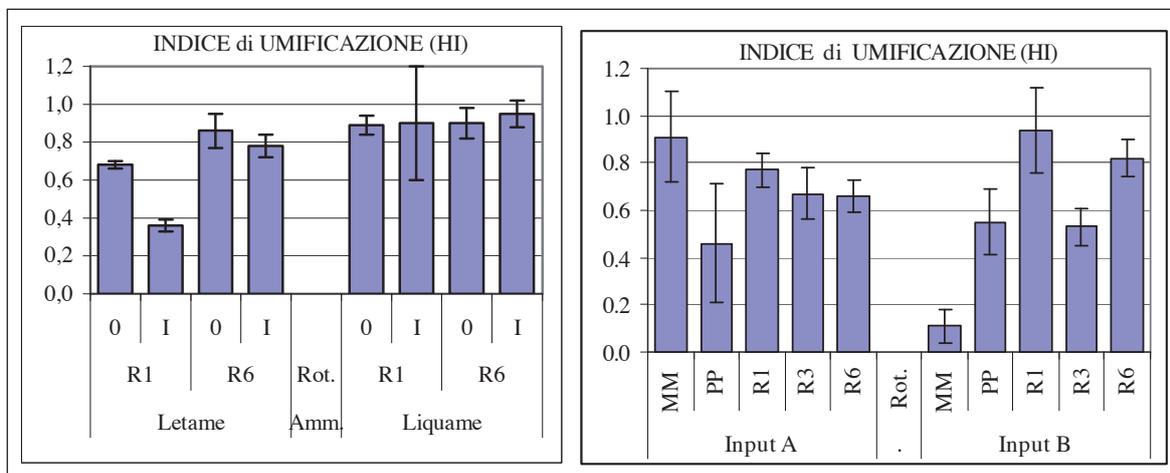


Grafico 19 e 20. Nota: le barre rappresentano l'errore standard delle medie

L'indice di umificazione (HI), parametro adimensionale generalmente compreso tra 0 e 1, esprime il rapporto fra la sostanza organica estratta non umificata e la frazione umificata e ci restituisce un'indicazione dei processi subiti dal materiale organico presente nel terreno agrario. Come evidenziato nel Grafico 19 e nel Grafico 20, i terreni trattati con liquame hanno un valore di HI tendenzialmente superiore rispetto a quelli trattati con letame; questo sta ad indicare che nei terreni liquamati vengono favoriti i processi che indirizzano maggiormente verso la mineralizzazione della sostanza organica rispetto a quelli letamati, anche se i valori sono abbastanza elevati in entrambi i casi. A quanto detto fa eccezione l'avvicendamento annuale letamato e concimato con N minerale dove la trasformazione del materiale organico presente nel terreno è decisamente indirizzata verso l'umificazione.

Una ridotta intensità di coltivazione (Input B) per R1, R6 e PP mediamente favorisce il processo di mineralizzazione mentre risulta il contrario per R3 ed ancor di più per la monosuccessione di mais, dove è evidente la risposta della coltura all'intensità di coltivazione: il mais in monosuccessione sottoposto a coltivazione intensiva esaspera l'attività mineralizzante dei suoli. Vi è da aggiungere infine che tale indice è caratterizzato da una elevata variabilità dei dati come dimostrano gli elevati valori di errore standard delle medie.

Parametri chimici

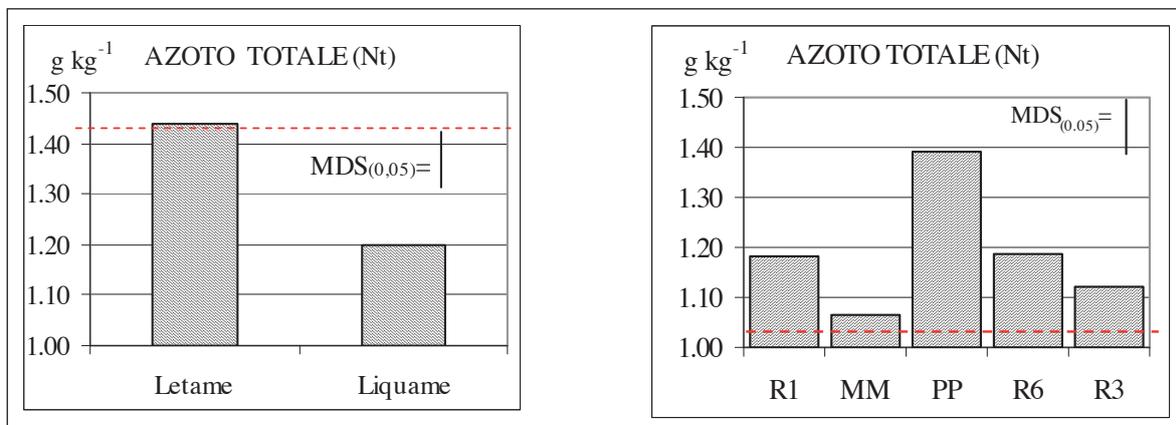


Grafico 21e 22. Nota: la linea rossa tratteggiata rappresenta il punto di partenza a T0.

Per quanto riguarda il contenuto di azoto totale (N tot) si può notare nel Grafico 21 e nel Grafico 22 il diverso contenuto di tale elemento nel terreno sottoposto a diverse concimazioni organiche e a diverse rotazioni. Infatti il tenore più alto di azoto lo ritroviamo nei terreni letamati rispetto a quelli liquamati con la particolarità che in quelli letamati l'azoto sostanzialmente mantiene lo stesso livello dall'inizio della prova (1996), mentre in quello liquamato il tenore di azoto è diminuito di oltre 0,2 g kg⁻¹, aspetto che evidenzia in modo inequivocabile l'azione di impoverimento di tale pratica. Anche le rotazioni hanno una rilevante influenza sul contenuto di azoto totale nel suolo secondo il seguente ordine PP>R1=R6=R3>MM, ma comunque tutte le rotazioni esaminate hanno apportato un vantaggio nel contenuto di azoto rispetto al punto di partenza (1985).

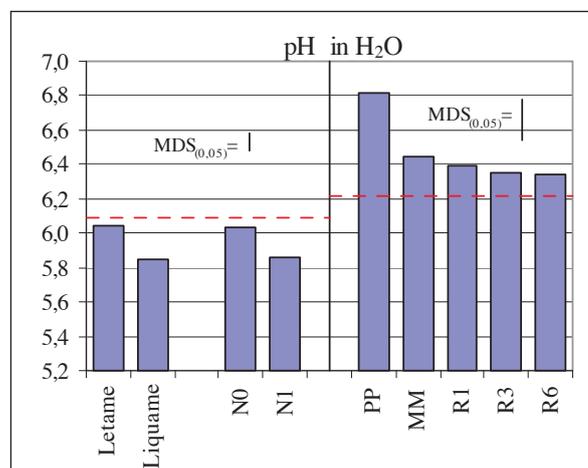


Grafico 23. pH in acqua (in rosso il tempo 0)

La reazione del terreno o pH è stata influenzata sia dall'impiego di effluenti zootecnici che dalle rotazioni e dall'applicazione di concime azotato. Dalle risultanze delle analisi effettuate si può notare come l'applicazione del letame mantenga sostanzialmente invariato il livello di pH mentre la somministrazione di liquame ha la tendenza ad abbassare il pH del terreno, così come pure l'applicazione di concimi azotati (Grafico 23). Anche le rotazioni hanno innalzato la reazione del terreno e il prato permanente (PP) in modo particolare.

Il potassio è un macroelemento molto importante per le colture agricole soprattutto nelle aree dove la sua dotazione del terreno scarseggia, come nelle pianure irrigue della valle del Po. Dalle esperienze effettuate e sintetizzate nel Grafico 24 emerge il ruolo importante delle tecniche agronomiche sulla dinamica del potassio. Le letamazioni ne incrementano il contenuto del suolo, in modo particolare in un ordinamento annuale di loglio italico + mais trinciato, mentre la liquamazione ne lascia sostanzialmente inalterata la dotazione, anche se in assoluto la tendenza è quella dell'impoverimento. Le rotazioni in genere incrementano il contenuto di potassio nel suolo, ad eccezione di quelle che contemplano il prato (PP e R6).

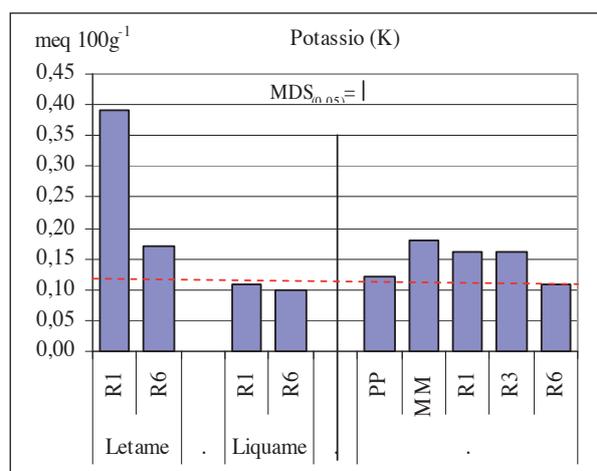


Grafico 24. Potassio scambiabile (in rosso T0)

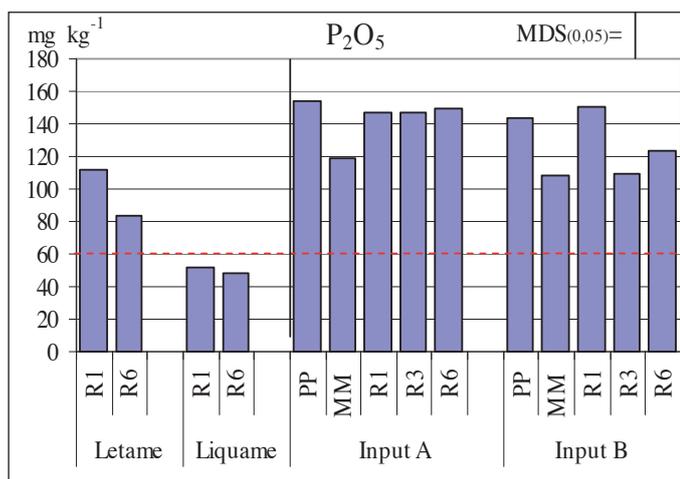


Grafico 25. Fosforo nel terreno (in rosso il T0)

Il fosforo è l'altro macroelemento importantissimo in agricoltura ma che può dare problemi di eutrofizzazione se la sua presenza risulta in eccesso rispetto al normale fabbisogno delle colture.

I risultati delle prove condotte in questo progetto e riportati nel Grafico 25 dimostrano, anche se con qualche differenza tra le varie tesi, l'accumulo di una grande quantità di fosforo nel suolo ad eccezione di quelli trattati con liquame bovino.

La capacità di scambio cationico (CSC) rappresenta un importante indicatore della potenziale fertilità chimica di un terreno; lo scambio ionico è un fondamentale procedimento tramite il quale il terreno trattiene e mette a disposizione sia delle piante sia dei microrganismi tellurici gli elementi fondamentali come K, Mg, Ca, NH₄. Nel Grafico 26 sono riportati i risultati più significativi della ricerca condotta. In genere si rileva una capacità di scambio media, con eccezione della monocultura di mais (MM) dove risulta bassa (CSC<10), dato che indica un terreno fondamentalmente sfruttato e povero in elementi nutritivi e sostanza organica e che richiede input agronomici sempre più alti (concimazioni) per mantenere elevata la produzione agricola, con conseguente rischio di dilavamento degli elementi anche perché il terreno non è in grado di trattenerne quantità rilevanti di nutrienti. La tecnica agronomica in questi casi suggerisce il frazionamento degli interventi. Nel complesso le letamazioni e la coltura del prato favoriscono l'incremento della capacità di scambio cationico mentre, al contrario, l'impiego di liquame bovino la riducono.

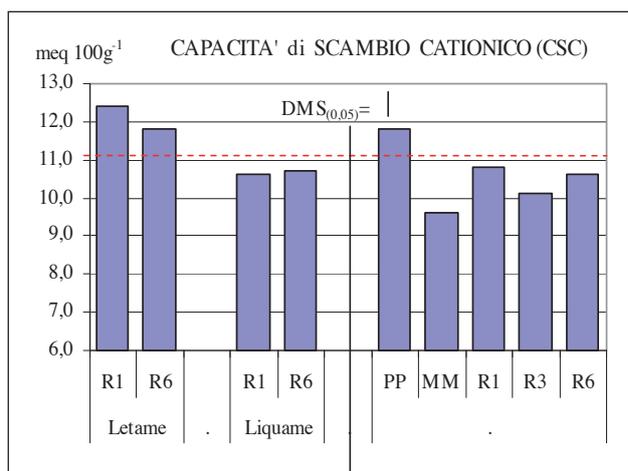


Grafico 26. CSC del terreno (in rosso il T0)

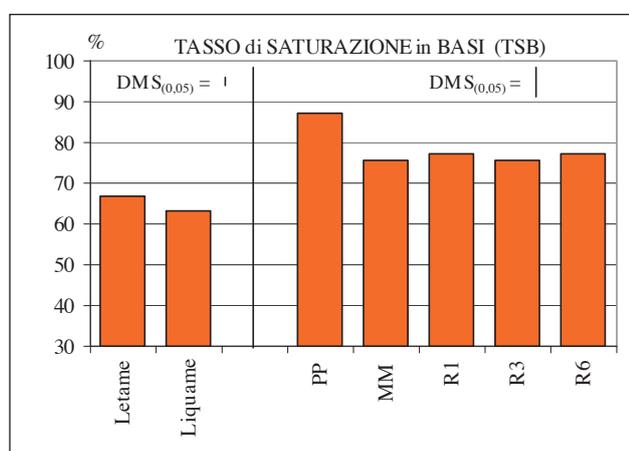


Grafico 27. Tasso saturazioni basi

Il grado di saturazione in basi (TSB) ha riflessi diretti su alcuni aspetti della fertilità del terreno, in particolare modo riguardo la dotazione di elementi nutritivi, condizionando la disponibilità di nutrienti per le piante mediante la dinamica dell'adsorbimento e del rilascio degli stessi, oltre ad avere influenza sul potere tampone. Terreni con tasso di saturazione basso hanno una scarsa dotazione di basi ed in genere sono ricchi di ioni idrogeno per cui manifestano un potere tampone solo nei confronti dell'alcalinizzazione, mentre la resistenza all'acidificazione risulta modesta.

Dalle analisi effettuate, i cui risultati sono riportati nel Grafico 27, si può notare la diversità di saturazione del complesso di scambio tra le due prove: mentre in una, quella con i reflui zootecnici, la saturazione risulta bassa, nell'altra, con le rotazioni, risulta ottimale (TSB 65÷85 %), con valori molto alti per il prato (PP). Il trattamento con il letame migliora il tasso di saturazione del terreno.

Parametri fisici

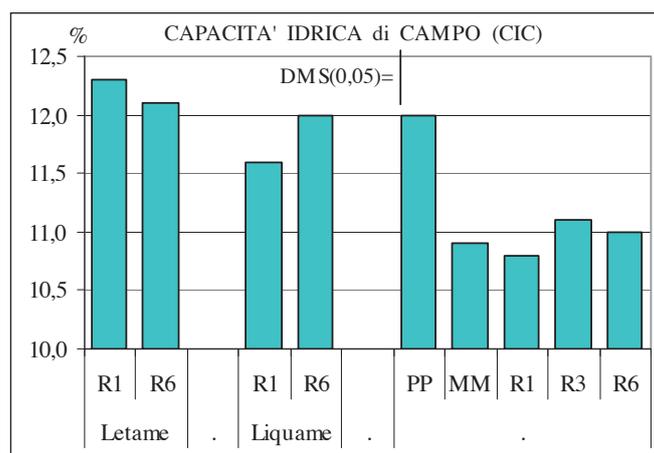


Grafico 28. Capacità idrica di campo

La capacità idrica di campo (CIC) è un indicatore di fertilità fisica del suolo e, come evidenziato nel Grafico 28, le letamazioni hanno una notevole influenza negli avvicendamenti intensivi (ad esempio nella monosuccessione di loglio italico e mais) rispetto alle liquamazioni, mentre non sembra influire in una rotazione meno intensiva con inserito un prato (R6), come è dimostrato dal valore molto alto della CIC riscontrato nel prato (PP).

Indicatori biochimici di fertilità biologica

I risultati ottenuti, pur non rivelando sempre differenze marcate fra le tesi oggetto di studio, hanno comunque permesso di evidenziare l'influenza sulla fertilità agronomica del suolo indotta dalle pratiche agronomiche più conservative.

La situazione generale evidenzia una fertilità agronomica globale medio-bassa, ma le tecniche più conservative (utilizzo di rotazioni colturali più o meno lunghe, ammendamento con letame) garantiscono una migliore conservazione delle caratteristiche biologiche.

In relazione all'influenza delle rotazioni, è possibile evidenziare nel Grafico 29 e nel Grafico 30 l'andamento dei valori del carbonio della biomassa microbica e del quoziente metabolico, che esprimono rispettivamente la quantità di popolazione microbica e l'efficienza metabolica della stessa.

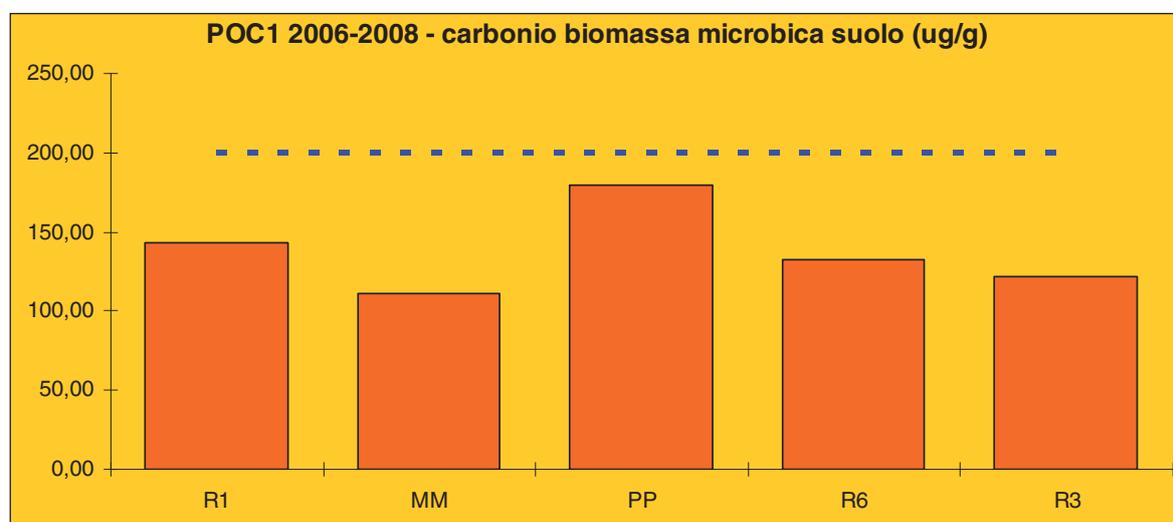


Grafico 29. POC1: carbonio biomassa microbica nel suolo

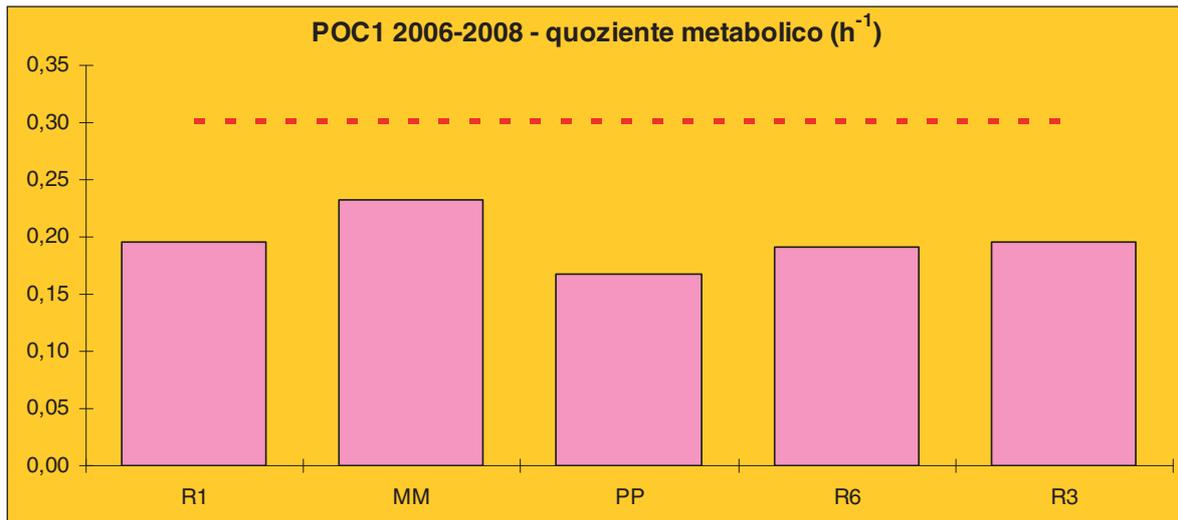


Grafico 30. POC1: QCO₂ (valori più bassi esprimono maggiore efficienza)

E' possibile rilevare come il prato permanente evidenzi una dotazione di popolazione microbica più elevata è metabolicamente più efficiente; al contrario la monocoltura presenta la più bassa dotazione di microrganismi e, rispetto alle altre rotazioni, una minor efficienza.

Anche l'indice di fertilità biologica (Grafico 31), pur presentando per tutte le tesi valori appena sufficienti, denota la tendenza precedentemente rilevata, con i prato permanente che mostra l'indice più alto.

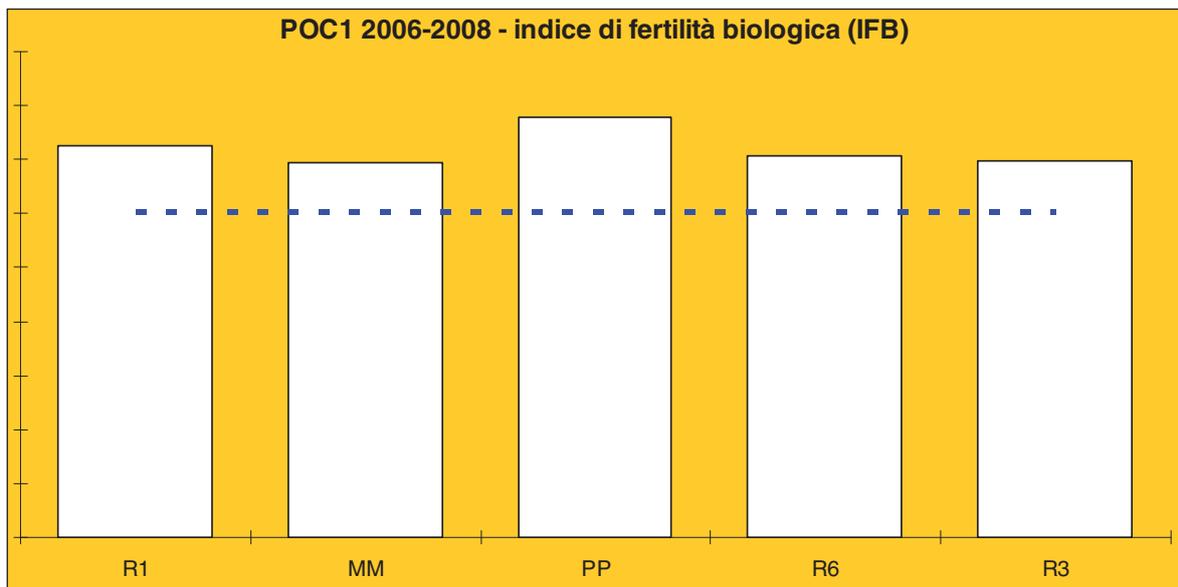


Grafico 31. POC1: indice di fertilità biologica

Nel Grafico 32 viene riportata la curva delle respirazioni cumulativa giornaliera al 14° giorno; è possibile evidenziare una maggiore attività dei microrganismi nella rotazione a prato permanente.

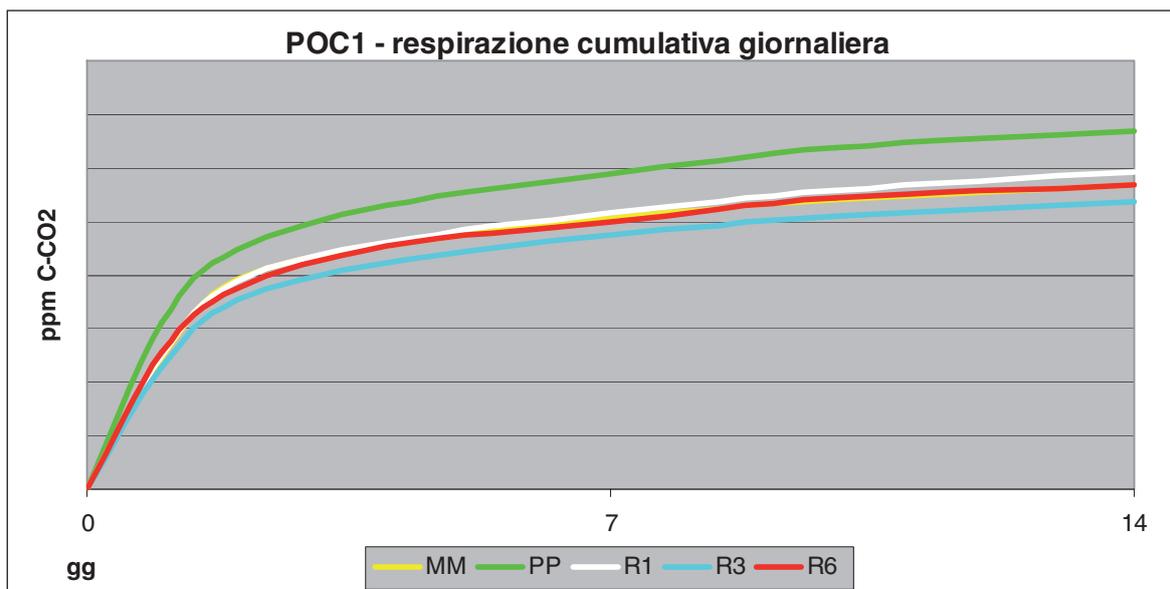


Grafico 32. POC1: respirazione cumulativa giornaliera

Anche in POC2 è possibile evidenziare per gli stessi parametri risultati significativi (Grafico 33, Grafico 34 e Grafico 35).

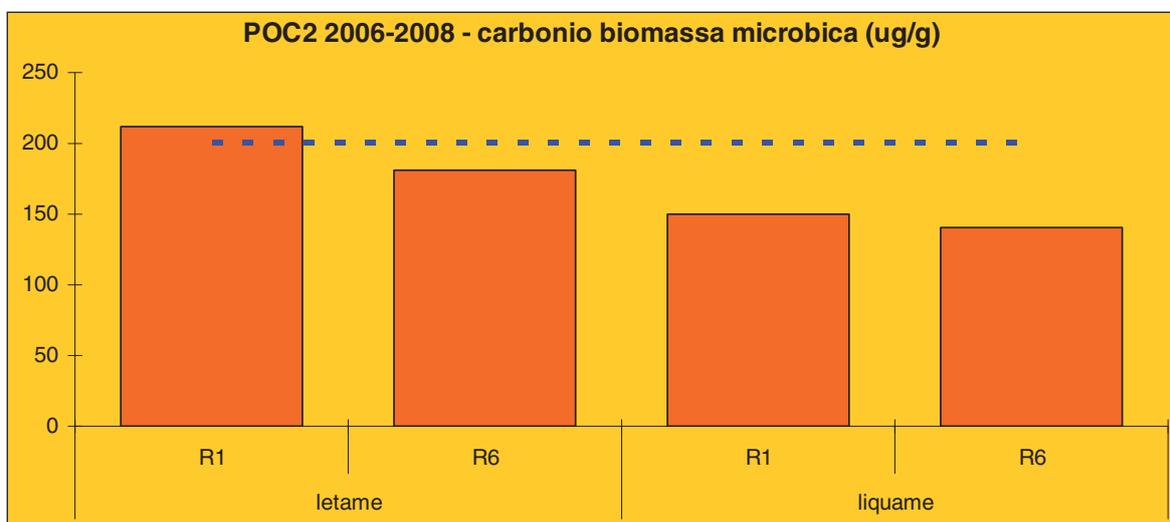


Grafico 33. POC2: carbonio biomassa microbica nel suolo

L'utilizzo di letame permette di mantenere un più elevato livello di popolazione microbica con maggiore efficienza rispetto all'uso del liquetame; anche l'indice di fertilità biologica mostra lo stesso trend.

All'interno del trattamento con letame, i risultati lievemente inferiori ottenuti dalla rotazione sessennale rispetto alla rotazione annuale sono da imputare alla presenza in R6 di tre anni di erba medica, durante i quali non viene distribuito letame.

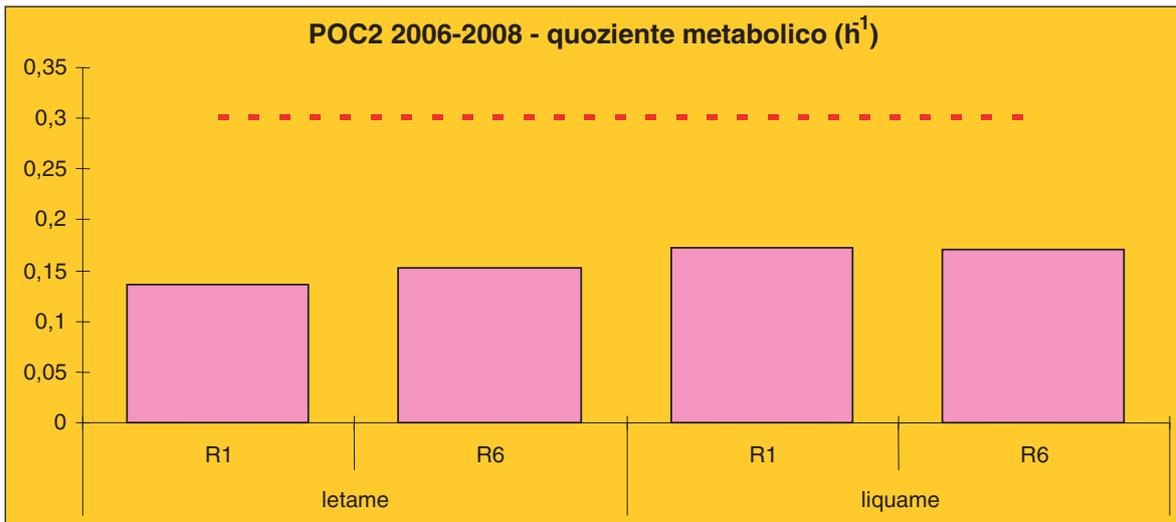


Grafico 34. POC2: QCO₂ (valori più bassi esprimono maggiore efficienza)

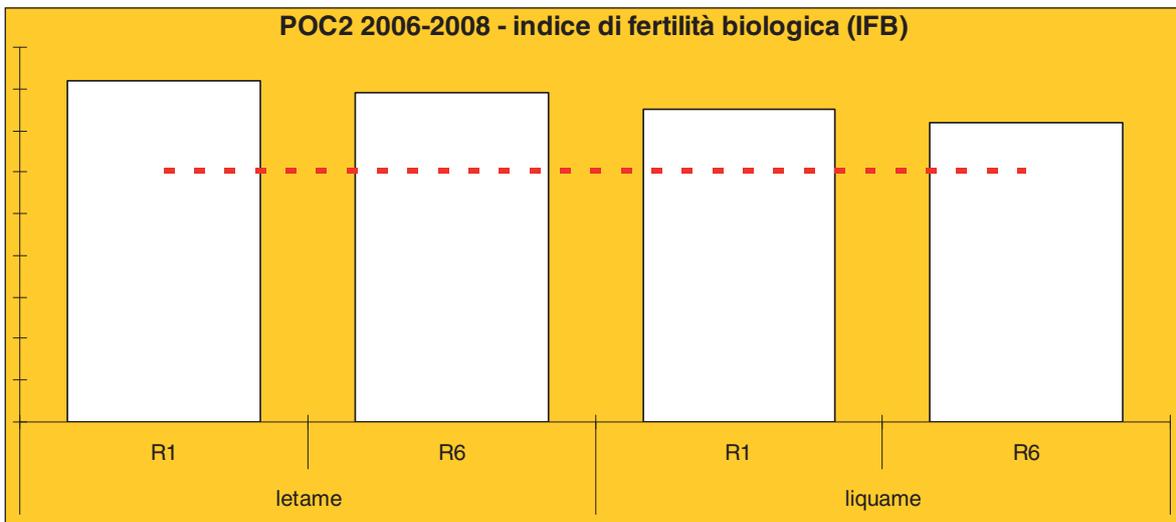


Grafico 35. POC2: indice di fertilità biologica

Si riporta inoltre nel Grafico 36 l'andamento delle curve di respirazione giornaliera cumulativa per letame e liquetame: anche in questo caso la maggiore attività dei microrganismi è presente con il trattamento letame, a conferma dei dati precedentemente esposti.

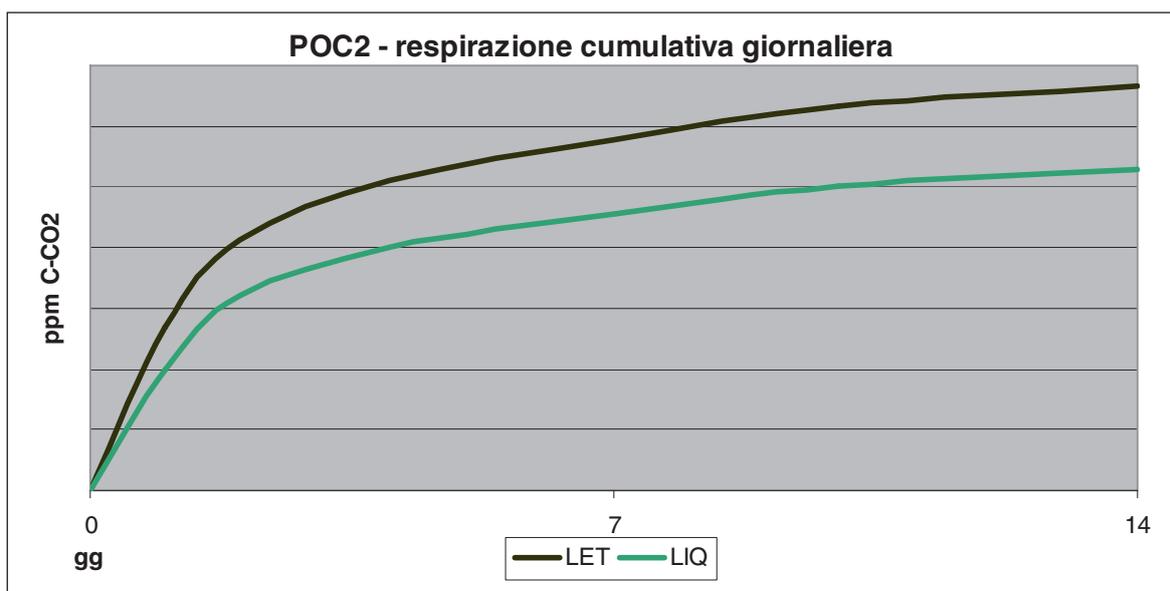


Grafico 36. POC2: respirazione cumulativa giornaliera

Per quanto riguarda le prove ammendanti realizzate per un biennio presso i siti di Luignano e Bertonico, il breve periodo di prova non permette un'analisi accurata dei risultati. E' stato comunque possibile evidenziare come in presenza di valori di sostanza organica modesti (Luignano) l'utilizzo di ammendanti abbia un'influenza positiva; inoltre nella riduzione della resa produttiva che si è verificata nei due siti al secondo anno di sperimentazione, causa problemi di carenza idrica in fase di germinazione, le parcelle trattate con letame hanno evidenziato una riduzione percentuale inferiore rispetto alle altre tesi.

Correlazioni ed analisi multivariata

Si evidenziano brevemente nella Tabella 28 e nella Tabella 29 le correlazioni dei principali parametri chimici e biochimici in relazione alla produzione di mais; in Figura 11, 12, 13, 14 e 15 sono rappresentate le distribuzioni delle varie tesi esaminate in funzione delle prime 2 componenti principali per POC1, POC2 e Prova Ammendanti (la percentuale tra parentesi rappresenta la variabilità spiegata).

coltura = MAIS	Sost. Org.	C. Org.	N tot.	CSC	Ca	Mg	P ₂ O ₅
RESA POC1-Lodi	0,8288 0,0009	0,7943 0,0020	0,8377 0,0007	0,6752 0,016	0,7418 0,0057	0,6152 0,033	0,6768 0,0156
RESA POC2-Lodi	0,7948 0,018	0,7774 0,0232	0,8205 0,0126	0,8158 0,0135	0,8129 0,014	-	0,7032 0,050
RESA Bertonico	-	-	-	-	-	-	-
RESA Luignano	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 28. Correlazione significativa dei principali parametri chimici analizzati

La resa del mais nelle due prove sperimentali di Lodi (POC1 e POC2) risulta significativamente e positivamente correlata con i parametri della fertilità chimica SO, C org, N tot, CSC, Ca, Mg, P₂O₅ ed in particolare modo con SO e N tot in POC1 con una significatività molto alta ($P < 0.001$).

Per quanto riguarda i parametri caratteristici della fertilità biologica la resa del mais risulta correlata negativamente con Qmin ($P=0.001$) in POC1 e Cbiom e Resp Basale mentre, nella località di Luignano, è correlata positivamente con SO così pure Resp Cum in POC2. Da quanto sopra esposto emerge che una elevata produzione del mais non può prescindere da una buona dotazione di SO e di N nel terreno; nelle particolari condizioni pedologiche della valle del Po bisogna porre attenzione anche al contenuto di Ca e Mg. Un quoziente di mineralizzazione elevato è indice di poca produttività così come una elevata biomassa microbica ed una respirazione basale molto accentuata, insomma l'attività microbica nei suoli deve avere i suoi tempi: non deve essere molto spinta nè troppo pigra.

L'analisi multivariata dei risultati ottenuti in questo progetto (componenti principali) ci suggerisce che la coltura del prato sottoposta ad un corretto management agrotecnico, input A, è associata al miglioramento della fertilità del suolo in particolare favorendo l'aumento della SO, CSC ed un'attività biologica del suolo dinamica e bilanciata. Al contrario un prato in condizioni di scarse risorse a disposizione, input B, si associa ad una elevata attività della biomassa microbica ed un aumento del quoziente di mineralizzazione e del tasso di saturazione in basi.

La monosuccessione o la rotazione molto stretta e senza la presenza del prato presentano condizioni di stress o di depauperamento nei confronti della sostanza organica, CSC ed attività microbica. Tali condizioni sono accentuate se sottoposte a ridotti input agrotecnici, in questi casi si esaltano i processi di mineralizzazione della SO del terreno. Una rotazione lunga e che comprende anche il prato risulta essere sufficientemente produttiva e sicuramente conservativa nei confronti della fertilità del suolo.

Per quanto riguarda l'uso dei reflui zootecnici l'applicazione del letame ha un effetto molto positivo sulla maggior parte dei parametri bio-chimici del suolo ed in modo particolare sul contenuto di SO; al contrario si comportano le tesi liquamate. In quest'ultime anche la mancanza di concimazione chimica peggiora quasi tutti i principali parametri chimici del suolo esaminati.

Infine, l'uso di ammendanti vari (borlanda, compost, liquame e letame) nelle due località della Lombardia (Bertonico e Luignano) non ha dato risultati di facile lettura in quanto i comportamenti delle tesi si sono differenziati in funzione della località, questo è spiegabile per la differenza pedologica dei suoli delle due località e la brevità della prova.

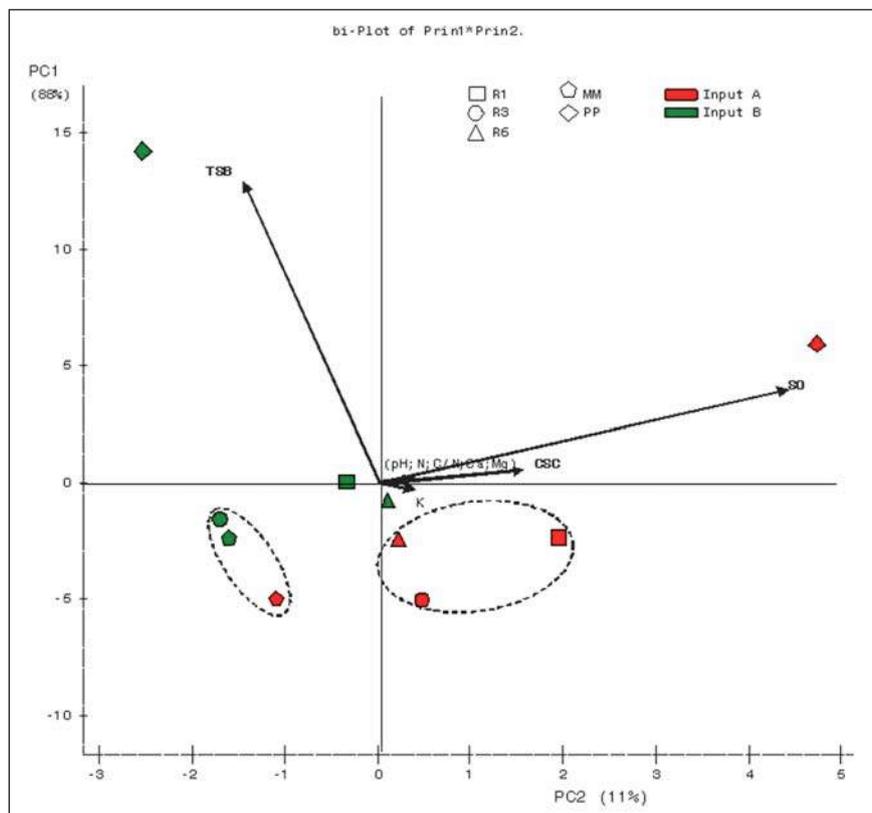


Figura 11. POC1 - Distribuzione delle tesi in funzione delle prime 2 componenti principali calcolate per i parametri chimici del terreno

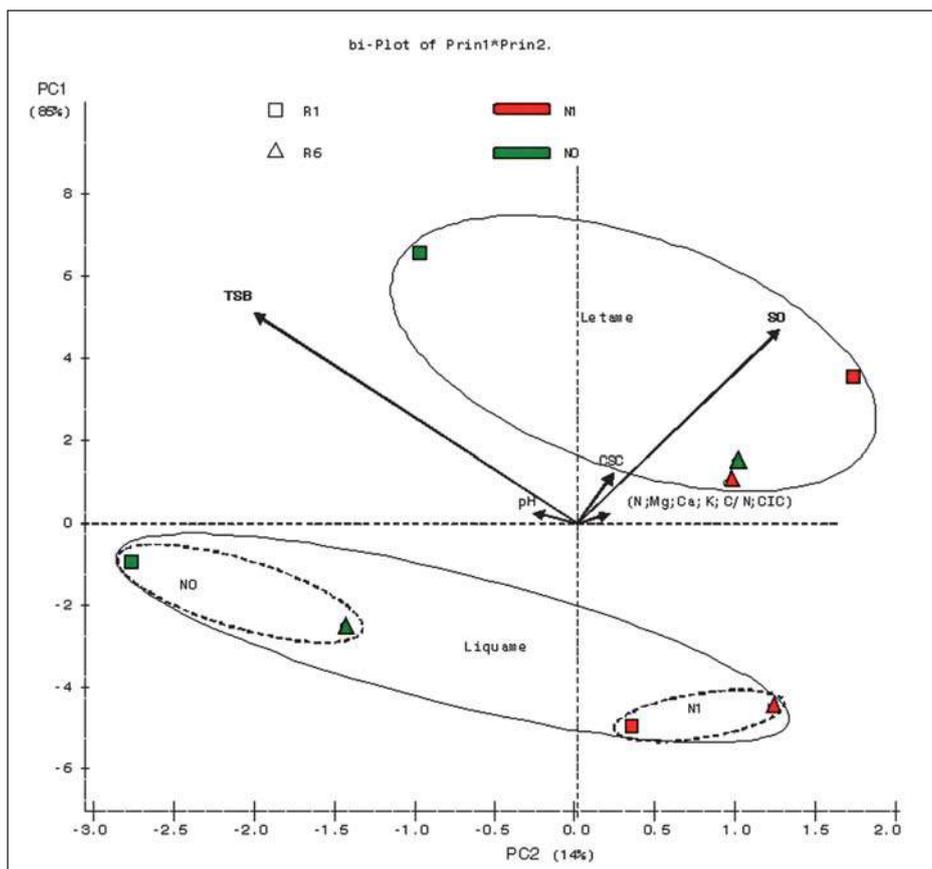


Figura 12. POC2 - Distribuzione delle tesi in funzione delle prime 2 componenti principali calcolate per i parametri chimici del terreno

Coltura: MAIS	S.O.	C biom	RespBas	RespCum	Q metab	Q min
resa POC1						-0,87206 0,001
resa POC2	0,80225 0,0166			0,74703 0,0332		
resa Bertónico						
resa Luignano		-0,42627 0,0188	-0,35395 0,05			

Tabella 29. Correlazione significativa dei principali parametri biochimici

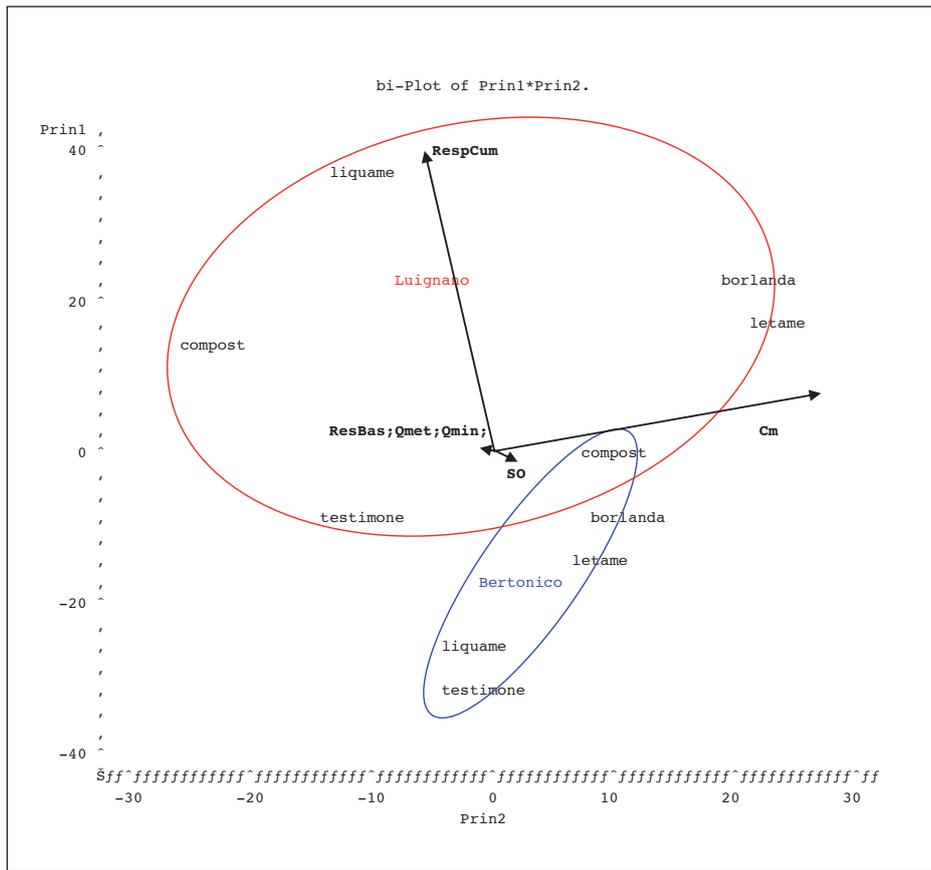


Figura 13. PROVA AMMENDANTI - Distribuzione delle tesi in funzione delle prime 2 componenti principali calcolate per i parametri bio-chimici del terreno

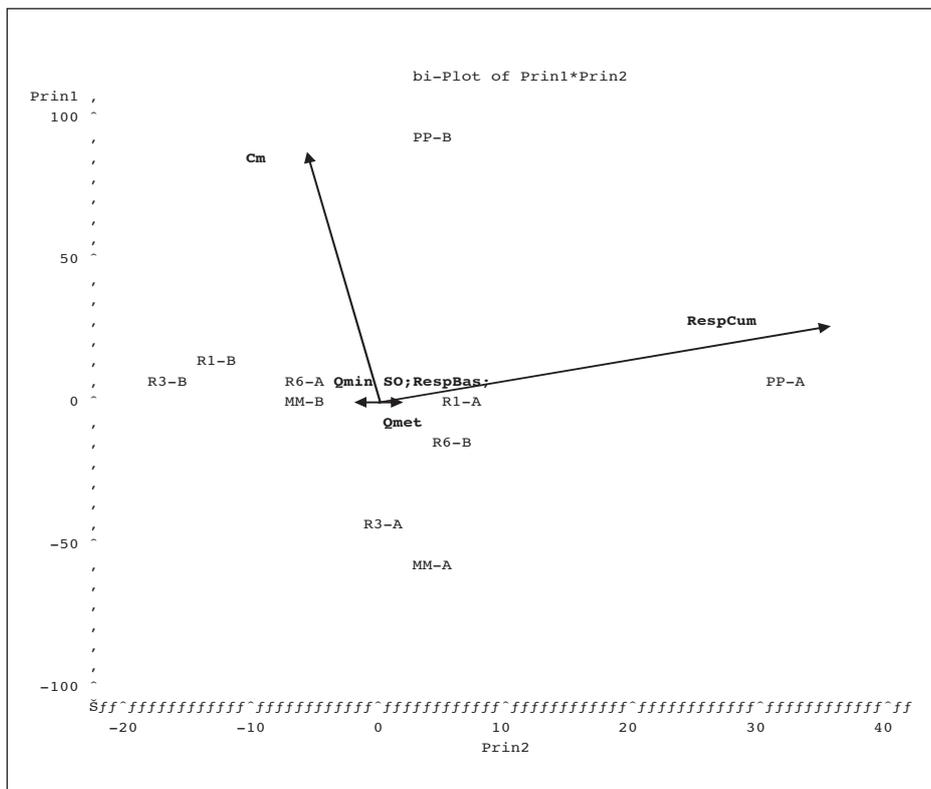


Figura 14. POC1 - Distribuzione delle tesi in funzione delle prime 2 componenti principali calcolate per i parametri bio-chimici del terreno

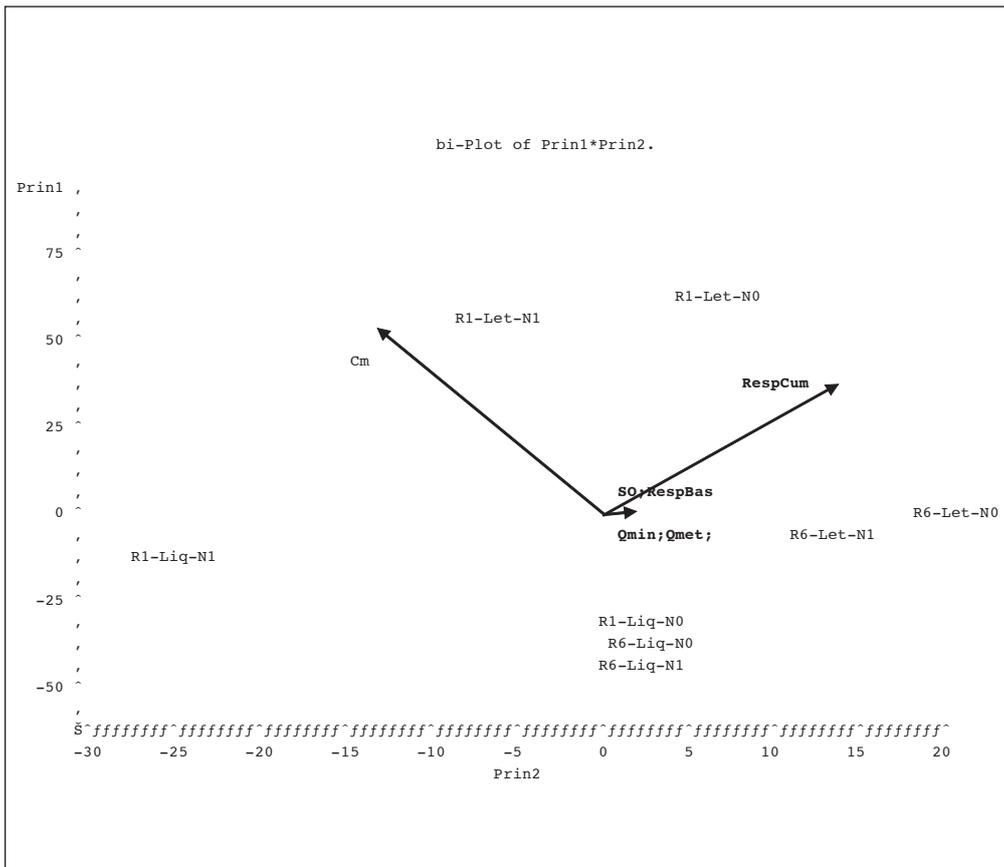


Figura 15. POC2 - Distribuzione delle tesi Nel in funzione delle prime 2 componenti principali calcolate per i parametri bio-chimici del terreno

CONSIDERAZIONI FINALI

Le prove condotte con il progetto FERSOIL evidenziano l'andamento nel lungo periodo di alcuni parametri della fertilità agronomica del suolo ovvero fertilità fisica, chimica e biologica. Quest'ultima, può essere espressa anche attraverso indicatori, in grado di descriverne sinteticamente lo stato di attività del terreno, discriminando anche piccole variazioni delle funzioni legate alla vitalità delle forme viventi nel suolo. Nel lungo periodo, la tipologia di colture e la loro gestione determinano l'evoluzione della fertilità; nel breve periodo invece, gli interventi colturali, compreso l'apporto di sostanze organiche non umificate, anche se utili alle colture in atto perché ne esaltano la produttività, non riescono a modificare sostanzialmente le caratteristiche qualitative del suolo ed in particolare la sua fertilità biologica.

La gestione della sostanza organica riveste un ruolo fondamentale per tutti i parametri biochimici, quindi, un suo equilibrio, permette rese produttive superiori e una maggiore costanza produttiva negli anni. Le rotazioni, in particolare quelle che prevedono al loro interno l'inserimento di un prato avvicendato (erba medica, trifogli), permettono una buona gestione della sostanza organica. L'efficacia del prato nei riguardi dell'accumulo di sostanza organica nel suolo risulta essere ancora migliore se è associato ad input agrotecnici ottimali tra cui si evidenzia l'apporto di letame. Al contrario le rotazioni brevi (e nel caso estremo la monosuccessione) in particolare se accompagnate da ridotte concimazioni e senza l'apporto di letame, depauperano fortemente il suolo.

L'apporto di letame rispetto al liquame è certamente più efficace ad incrementare il contenuto di sostanza organica nel suolo e di conseguenza a migliorarne i parametri biologici. Tale beneficio è superiore a quello eventualmente conseguito con le rotazioni e/o livelli di input. Il letame ha dimostrato di essere in grado di aumentare la presenza di sostanza organica stabile anche nella monocoltura.

L'eventuale convenienza della letamazione in termini di Carbon Sink è però tutto ancora da valutarsi sulla base dell'incidenza del trasporto dei materiali: senz'altro il bilancio sarà positivo se il letame è prodotto con i residui vegetali della stessa azienda, altrimenti il bilancio globale, su scala territoriale, dell'anidride carbonica sarà negativo.

L'aumento o il mantenimento della fertilità dei suoli è possibile tramite l'adozione di corrette pratiche agronomiche che richiedono conoscenze e tempi congrui di applicazioni agronomiche adeguate. Infatti, se ricostituire una "buona salute" del suolo richiede molti anni, la stessa si può compromettere nel breve e medio periodo. Il contenuto quanti-qualitativo della sostanza organica intorno alla quale, in definitiva, ruotano le proprietà biologiche, chimiche e fisiche (fertilità agronomica) del suolo, è sottoposto ad un turn-over che va da pochi mesi fino a qualche centinaio di anni in alcune sue frazioni, che sono quelle più stabili ed attive.

La conservazione della fertilità del terreno è strettamente legata alla definizione di pratiche agricole finalizzate ad una migliore gestione della sostanza organica del suolo e ha conseguenze sia sull'organizzazione a scala aziendale sia sulle dinamiche organizzative delle filiere produttive con evidenti implicazioni territoriali.

- Barroccio F., Dell'Abate M. T., Benedetti A., 2002. Effetto della diversa gestione del suolo sulla conservazione della sostanza organica: indicatori chimici e microbiologici. Società Italiana di Chimica Agraria. Atti del XX Convegno Nazionale, Padova 24-27 settembre 2002
- Benedetti A., 1984. Fertilità biologica del terreno e concimi a lento effetto. Annali dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante. Volume XII – Anni 1983-1984 Roma
- Benedetti A., Dell'Abate M.T., Mocali S., Pompili L.: " indicatori microbiologici e biochimici della qualità del suolo" capitolo quinto. In: Sequi P., Benedetti, A., Dell'Abate M.T.: " ATLAS, atlante di indicatori della qualità del suolo. Ministero delle Politiche Agricole, alimentari e Forestali/Osservatorio Nazionale Podologico. Delta Grafica di Città di Castello (2006).
- Benedetti A., Gianfreda L., 2004. Metodi di Analisi Biochimica del Suolo. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi.
- Benedetti A., Rossi G., Dell'Abate M. T., berti C., 1998. Trenta anni di diverse pratiche di ammendamento: effetti sul turnover microbico del suolo. Agricoltura e Ricerca – No. 173 gennaio/febbraio 1998
- Benedetti A., Rossi G., Dell'Abate M. T., Berti C., 1998. Trenta anni di diverse pratiche di ammendamento: effetti sul turnover microbico del suolo. Agricoltura e Ricerca – No. 173 gennaio/febbraio 1998.
- Benedetti A., Sebastiani G.: "Determination of potentially mineralizable nitrogen in agricultural soil". *Biology and Fertility of Soils*-21:14-120, (1996).
- Benedetti A.; Alianiello F.; Dell'Abate M.T.: "A modified Stanford and Smith method for the study of the mineralization of nitrogen from organic materials". *Proceedings of Symposium on Nitrogen mineralization in agriculture soils held at the Institute for Soil Fertility Reserach, Haren, NL, 19-20 aprile 1993. AB-DLO Thema's, AB DLO, HAREN, 127-132 (1994).*
- Bonari E., Ceccon Paolo (a cura di) 2002. Verso un approccio integrato allo studio dei sistemi colturali. Franco Angeli.
- Brookes P. C., 1995. the use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and fertility of Soil* 19,269-279
- C. Tomasoni, L. Borrelli, L. Pecetti, 2003. Influence of fodder crop rotations on the potential weed flora in the irrigated lowlands of Lombardy, northern Italy. *European Journal of Agronomy*, 19, 439-451.
- Campbell C. A., Mcconkey B. G., Zentner R. P., Selles F., Curtin D., 1996a. Long term effects of tillage and crop rotation on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 76:395-401
- Campbell C. A., Mcconkey B. G., Zentner R. P., Selles F., Curtin D., 1996b. Long term effects of tillage and crop rotation on soil organic C and total N in a coarse-textured Typic Haploboroll in southwestern Saskatchewan. *Soil till. Res.* 37: 3-14
- Canali S., Mangione D., Beni C., Felici B., Sangiorgi R., Leonelli A., 2002. Guida alla corretta gestione della fertilità del suolo: analisi del terreno e piani di fertilizzazione, *Bollettino della Società Italiano della Scienza del Suolo*. Volume 51, No 3
- Cantele A. e Zanin G., 1992. Effetto dell'avvicendamento, dell'irrigazione e della concimazione sulla composizione quali-quantitativa della flora potenziale. *Rivista di Agronomia* 4, 470-481.
- Cavazza L., 1991. Il problema della conservazione della fertilità del suolo in Italia. In " Agricoltura ed ambiente" dell'Accademia Nazionale di Agricoltura. Edagricole. 3-33.
- Ceotto, E., Borrelli, L., Marchetti, R., Tomasoni, C., 2006. Effect of integrated forage rotatio and manure management systems on soil carbon storage. In DIAS report n. 123, 12th Ramiran International Conference, Ed Søren O. Petersen, vol.II, 29-32.

Dell'Orco S., Barbagiovanni Immacolata M., Mocali S., Beni C., Figliolia A., Benedetti A., Fani R., 2004. Fertilità integrale ed utilizzo di biomasse in un terreno degradato da coltura intensiva in monosuccessione. Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo. Atti del convegno annuale, Siena 9-12 giugno 2003. Volume 53, No 1-2.

Doran J. W., Parkin T. B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran J. W. , Coleman D.C., Bezdicek D. F.& Stewart B. A. (eds) Defining soil qualità for a sustainable environment, 35. American Soc. of agronomy special pubblicazione, Madfison, WI, pp. 3-21

Francaviglia R., 2002. La fertilizzazione e la buona pratica agricola nelle direttive comunitarie e nelle iniziative nazionali sull'agroambiente. Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo. Volume 51 No. 3

Gamba C., Piovaneli C., Papini R., Batistoni E., Simoncini S., Valboa G., Brandi G., 2004. Valutazione della qualità del suolo mediante indici microbici e chimici in un confronto fra prato stabile e rotazione con aratura profonda. Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo. Atti del convegno annuale, Siena 9-12 giugno 2003. Volume 53, No 1-2.

Giardini L., Borin M., Berti A., Giupponi C., 1995. Confronto tra ordinamenti colturali con 408 diversi tipi di concimazioni minerale ed organica. Riv. di Agronomia, 29, 3 suppl., 403-

Giardini L., Borin M., De Nobili M., Fornasier F., 1999. Effetti della fertilizzazione organica e dell'avvicendamento delle colture sul contenuto di carbonio organico e sull'attività macrobiotica del terreno. Rivista di Agronomia 03, 141

Miclaus N., Castaldini M., Ceccherini M. T., Piovaneli C., Bazzicalupo M., 1998. Effetti della fertilizzazione con reflui zootecnici suini sulle popolazioni microbiche del suolo. Agricoltura e Ricerca, 173: 23-36

Nannipieri P., Falchini L., Landi L., Benedetti A., Canali S., Tittarelli F., Ferri D., Convertini G., Badalucco L., Grego S., Vittori Antisari L., Raglione M., Barraclough D., 1999. Nitrogen uptake by crops, soil distribution and recovery of urea. N in sorghum – wheat rotation in different soils under Mediterranean conditions. Plant and Soil 208 pp. 43-56

Onofrii M., Tomasoni C., Borrelli L. (1993). Confronto tra ordinamenti cerealicolo-foraggeri, sottoposti a due livelli di input agrotecnico, nella pianura irrigua lombarda. I. Produzioni quantiquantitative. Rivista di Agronomia; 3, 160-172.

Papini R., Piovaneli C., Gamba C., Brandi G., Batistoni G., 2002b. Influenza del tipo di lavorazione sulle caratteristiche biologiche e sul contenuto di sostanza organica e di azoto nel profilo di suolo in una monocoltura di mais. Atti convegno S.I.C.A. 2002

Pompili L., Mellina A., Benedetti A., Bole M. J.: "Microbial indicators for assessing biological fertility status of soils". In: "Bio-Bio Project biodiversity-biondication to evaluate soil health" Cenci R. and Sena F. Eds. Pag.49-57 EUR 22245 EN (2006).

Powlson D. S., Brookes P. C., Christensens B. T., 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation.

Rodale Institute, 1991. Conference report and abstract, Int. Conf. on the assessment and monitoring of soil quality. Emmaus, PA. 11-13 July 1991. Rodale Press. Emmaus. PA.

Ross D. J. K., Tate R., Cairns A., Meyrick K. F., Pansier E. A., 1982. Restoration of pasture after topsoil removal: effect of soil carbon and nitrogen mineralization, microbial biomass and enzyme activities. Soil Biol. Biochem. 14: 575-581

Salinas-Garcia J. R., Velazquez-Garcia J De J., Gallardo-Valdez M., Diaz-Mederos P., Caballero-Hernandez F., Tapia Vargas L. M., Rosales-Robles E., 2002. Tillage effects on microbial biomass and nutrient distribution in soils under rain-fed corn production in central-western Mexico. Soil Till. Res, 66: 143-152.

Spallacci P., Tomasoni C. (1988). Effetti di sistemi foraggero-zootecnici su alcuni aspetti della fertilità del

terreno. *Agricoltura e Ricerca*; 87.

Stevenson F. J., 1994. *Humus chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. 2nd ed. John Wiley and sons, New York.

Toderi G., Giordani G., Comellini F., Guermandi M., 1999. Effetti di un trentennio di apporto di minerali organici di diversa origine e della concimazione azotata su alcune componenti della fertilità del terreno. *Rivista di Agronomia*, 33, 1, 1-7.

Tomasoni, C., Borrelli, L., Caradonna S. 2008. Influence of fodder crop rotations on the potential weed flora in maize crops in irrigated lowlands of Lombardy, Italy. *Ital. J. Agron./ Riv. Agron.*, 3 Suppl. 383-384.

Tomasoni, C., Borrelli, L., 2005. Ordinamenti colturali e "sequestro" del carbonio (C) nella Pianura Padana. Workshop organizzato dalla Facoltà di Agraria dell'Università Politecnica delle Marche tenutosi ad Ancona il 27 e 28 giugno dal titolo "Agricoltura e cambiamenti climatici" nell'ambito del Progetto di Ricerca Finalizzato CLIMAGRI. Sezione Posters.

Tomasoni, C., Borrelli, L., Onofrii, M., 2005. Rese e fertilità del suolo in rotazioni colturali cerealicolo-foraggiere. *L'Informatore Agrario*, 34, LXI, 49-53.

Tomasoni, C., Borrelli, L., Tosca, A. e Valagussa, M. 2008. Dinamica del carbonio Organico nel suolo in funzione dei reflui zootecnici impiegati e dei sistemi foraggeri adottati. VI convegno AISSA Imola (BO) 26-28 novembre 2008 "Agricoltura, paesaggio e territorio tra conservazione e innovazione: il ruolo della ricerca".

Vespa, A., 2009. La ricetta di Unima per gestire i reflui. *L'Informatore Agrario*, 4, LXV, 40

Wander M. M., Traina S. J., Stinner B. R., Peters S. E., 1994. The effect of organic and conventional management on biologically-active soil organic matter pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1130-1139

Zucconi F., 1996. *Declino del suolo e stanchezza del terreno*. Edito da Spazio Verde

