



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali
Dipartimento Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e
Ambiente

Corso di laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali

*Studio dei parametri biologici in suoli sottoposti a
tecniche di agricoltura conservativa e copertura
continuativa*

Relatore

Dott. *Paolo Carletti*

Correlatore

Prof. *Serenella Nardi*

Laureando

Alberto Tonin

Matricola n. 617822

ANNO ACCADEMICO 2012 - 2013

Sommario

1. Riassunto	5
2. Introduzione.....	7
2.1 Storia dell'agricoltura	7
2.2 Agricoltura contemporanea	7
2.3 Alternative all'agricoltura industrializzata convenzionale	9
2.4 Agricoltura conservativa	10
2.5 Il progetto MONITAMB 214I	12
2.5.1 Azione 1 - "Adozione di tecniche di agricoltura conservativa"	13
2.5.2 Azione 2 - "Copertura continuativa del suolo".....	14
2.6 Il suolo.....	15
2.7 La Biomassa del suolo e il ciclo del Carbonio	17
2.8 L'attività microbica del terreno	17
2.8.1 Il carbonio della biomassa	18
2.8.3 Attività enzimatiche.....	18
3. Scopo	21
4. Materiali e metodi	23
4.1 Disegno sperimentale.....	23
4.2 Campionamenti	26
4.3 Il carbonio della Biomassa microbica	28
4.4 Attività enzimatiche	29
4.5 Analisi statistica	30
5. Risultati e Discussione	31
5.1 Carbonio della Biomassa.....	33
5.2 Attività Enzimatiche	38
6. Conclusioni.....	43
7. Bibliografia	45

1. Riassunto

L'agricoltura contemporanea si basa sempre più sull'immissione di energia esterna al sistema, presentando evidenti problemi di sostenibilità. Per questo si è iniziato a pensare a metodi di gestione diversi del suolo agricolo, come ad esempio l'Agricoltura Conservativa.

Il Programma di Sviluppo Rurale (PSR) 2007-2013 prevede per la misura 214I l'Azione 1 (adozione di tecniche di agricoltura conservativa) e l'Azione 2 (copertura continuativa del suolo) allo scopo di favorire ed incentivare pratiche di agricoltura eco-compatibili.

Veneto Agricoltura con il progetto MONITAMB 214I persegue l'obiettivo di confrontare terreni soggetti alle azioni 1 e 2 con suoli gestiti invece con le pratiche convenzionali nelle sue tre principali aziende pilota-dimostrative di pianura (Sasse Rami, Diana e Vallevicchia) per valutarne i parametri della fertilità.

I campionamenti sono stati eseguiti in due periodi differenti: a Maggio nelle superfici coltivate a frumento e colza, ad Ottobre in quelle coltivate a mais e soia. Su questi campioni sono state effettuate le analisi del carbonio della biomassa microbica, la FDA-idrolasi e la b-glucosidasi.

Nel complesso i risultati mostrano un'evoluzione del sistema verso condizioni di miglior fertilità edafica che però è ancora in progresso e non risulta significativa in tutte le condizioni studiate.

Modern agriculture strongly relies on external energy inputs with clear sustainability problems. For this reason new methods of soil management have been taken in account, such as conservation agriculture.

The Regional Development Plan (PSR) 2007-2013 prescribes for the sub.measure 214I the adoption of Action 1 (conservative agriculture techniques) and Action 2 (soil continuous cover) to implement and promote Eco-compatible Agriculture methods.

Veneto Agricoltura, by means of the MONITAMB 214I project, aims to compare soils subjected to Azione 1 and Azione 2 measures with conventional cropping systems in its main test-farms (Sasse Rami; Vallevicchia e Diana) to evaluate soil fertility parameters.

Soil sampling took place in May in soils growing wheat and rape-seed; in October in soil cultivated with corn and soy. These samples were evaluated for biomass carbon content and the FDA-hydrolase and beta-glucosidase enzyme activities.

In general results show an evolution towards higher soil fertility in Action 1 and Action 2 managed soils, but the process appears still developing and not yet significant in all the studied conditions.

2. Introduzione

2.1 Storia dell'agricoltura

I primi segni ritrovati della nascita dell'agricoltura risalgono ad 11'400 anni fa, in un villaggio presso il fiume Giordano a 15 km a nord di Gerico. Essa nacque attraverso la *domesticazione*, ovvero la selezione, operata dall'uomo, di un certo numero di specie giudicate più utili rispetto alla massa di piante selvatiche. E' grazie all'introduzione delle pratiche agricole che, in tempi remoti, i nomadi formarono le prime aggregazioni urbane. Con il progredire dei secoli l'agricoltura si è evoluta poco alla volta, introducendo via via sempre più specie al repertorio coltivabile (Saltini, 1984-1989).

Il primo vero balzo in avanti per l'agricoltura avvenne nel XVII secolo con la prima *rivoluzione agricola*: il progressivo sviluppo dei commerci stimolò l'adozione di nuove tecniche produttive da sostituire alla precedente agricoltura basata sulla rotazione biennale e sul maggese. Si adottarono quindi nuove tecniche basate sulla rotazione pluriennale e sulla sostituzione del maggese con pascoli per il bestiame, anche per ottenerne *concime naturale*. Il notevole sviluppo dell'agricoltura stimolò la successiva *rivoluzione industriale* grazie alla domanda di aratri e altri attrezzi in metallo (Bairoch, 1993). Alla prima rivoluzione ne seguì una seconda, stimolata dal grande afflusso di braccianti che emigravano in altri paesi (o addirittura in altri continenti) in cerca di lavoro. In Italia la *migrazione* fu dal Sud verso il triangolo Piemonte/Veneto/Emilia e per far fronte al progressivo aumento dei lavoratori furono previsti dei piani governativi ossia piani di bonifica delle terre governative che venivano destinate all'agricoltura. Tale rivoluzione, avvenuta nel XIX secolo, portò alla costruzione di migliori strumenti aratori e sistemi di semina, acquisizione sul mercato di nuove sementi e di nuove piante con elevata produttività (es. mais), la comparsa delle macchine agricole e dei concimi chimici.

2.2 Agricoltura contemporanea

Nei secoli, e sino a tempi recenti anche nel Mondo Occidentale, l'agricoltura ha sempre avuto primaria importanza per lo sviluppo dei popoli e degli Imperi. Oggi è spesso degnata di attenzione superficiale nelle economie moderne, mentre resta fonte primaria di sussistenza e perno dello sviluppo economico dei paesi più poveri ed arretrati. L'importanza di questa pratica è dimostrata dal fatto di essere a tutti gli effetti una scienza e di essere ormai al confine con numerose altre scienze quali la

genetica e la biologia sia animale che vegetale. I governi dei paesi industrializzati tra il 1960 e fine anni novanta hanno indotto la cosiddetta rivoluzione verde, ossia hanno investito in maniera consistente nella ricerca agricola, direttamente sui campi degli agricoltori, cercando altri sistemi per incrementare la produzione alimentare con lo sviluppo di fitofarmaci e fertilizzanti, incoraggiandoli ad utilizzare queste nuove tecnologie e rivoluzionando le tradizionali pratiche agrarie con l'abbandono e l'estinzione di molte varietà locali e tradizionali.

L'agricoltura contemporanea si basa sempre più sull'immissione di energia esterna al sistema sotto forma di *fitofarmaci, meccanizzazione, fertilizzanti, ingegneria genetica, tecnologia*; si parla quindi di *agricoltura intensiva*, in antitesi all'agricoltura estensiva.

Davide Ciccarese ce ne parla con queste parole *"L'agricoltura rappresenta un patrimonio, la fonte della vita e del cibo. Ma negli ultimi decenni l'uomo ha cambiato le regole del gioco. [...] Gli ortaggi e la frutta, coltivati in ambienti dove tutte le variabili ambientali sono sotto controllo, non hanno più bisogno di seguire le stagioni. Sono bellissimi da vedere ma hanno perso il sapore, la sostanza e spesso anche il valore nutritivo. Le regole del mercato impongono superfici di coltivazione sempre maggiori, mentre il numero delle aziende diminuisce. Gli agricoltori che non ce la fanno sono costretti a lasciare il frutto del loro lavoro a marcire sui campi perché spesso i costi di un anno di produzione non vengono coperti dai ricavi della vendita dei prodotti."* (Ciccarese, 2012).

Ferme restando le implicazioni negative di una pratica agricola intensiva troppo spinta, la continua crescita dei fabbisogni alimentari mondiali, la necessità di mantenere bassi i prezzi degli alimenti, la riduzione della superficie coltivabile, l'esigenza di coltivare anche in zone nettamente sfavorevoli (talvolta anche per inquinamento) e di poter ottenere prodotti di qualità nutrizionale elevata, pongono gli operatori davanti ad una limitata rosa di scelte.

Le pratiche tradizionali usate prima della rivoluzione verde avevano il difetto di non essere in grado di fornire prodotti in larga quantità ed economici, attraenti per i consumatori, ma soprattutto coerenti con gli standard qualitativi e di sicurezza imposti dalla legge nonché adatti ai processi di trasformazione industriale.

D'altra parte l'agricoltura intensiva presenta evidenti problemi di sostenibilità (riduzione della fertilità dei terreni, inquinamento delle acque, depauperamento della biodiversità, ecc.) e per questo di anno in anno cresce l'esigenza di tecnologia di settore sempre più attenta alle problematiche ambientali. Si inizia a parlare quindi di metodi di produzione agricola sostenibile che considera i tre concetti dello sviluppo:

economico, sociale, ambientale. Con riferimento alla componente ambientale e, in particolar modo alla salvaguardia delle risorse naturali e dunque alla loro tutela, difesa e custodia, si parla anche di *agricoltura ecologicamente sostenibile* o *eco-sostenibile*¹.

2.3 Alternative all'agricoltura industrializzata convenzionale

I principali sistemi agricoli alternativi a quello dell'agricoltura industrializzata sono l'agricoltura integrata e quella biologica, intesi nell'accezione di agricoltura *eco-compatibile*², ma sempre più orientati all'agricoltura *eco-sostenibile*, come si evince anche dalla recente normativa comunitaria - direttiva (CE) 128/2009 per quanto concerne l'agricoltura integrata e regolamento (CE) 834/2007 per l'agricoltura biologica.

L'agricoltura integrata indica un sistema agricolo di produzione a basso impatto ambientale che prevede un ricorso minimo a quei mezzi tecnici che hanno ricadute negative sull'ambiente e sulla salute dei consumatori. La direttiva (CE) 128/2009 ha stabilito i principi generali di difesa integrata, di seguito riportati:

1. la prevenzione e/o la soppressione di organismi nocivi dovrebbero essere perseguite o favorite in particolare da:

- rotazione colturale;
- utilizzo di tecniche colturali adeguate (ad esempio falsa semina, date e densità della semina, sottosemina, lavorazione conservativa, potatura e semina diretta);
- utilizzo di cultivar resistenti/tolleranti e di sementi e materiale di moltiplicazione standard/certificati;
- utilizzo di pratiche equilibrate di fertilizzazione, calcitazione e di irrigazione/drenaggio;
- prevenzione della diffusione di organismi nocivi mediante misure igieniche (per esempio mediante pulitura regolare delle macchine e delle attrezzature);
- protezione e accrescimento di popolazioni di importanti organismi utili;

¹ Sostenibile deriva da sostenere, dal latino "sotto tenere", nel senso di sorreggere.

² Compatibile deriva da compatire, dal latino "sopportare".

2. gli organismi nocivi devono essere monitorati con metodi e strumenti adeguati;
3. in base ai risultati del monitoraggio, l'utente professionale deve decidere se e quando applicare misure fitosanitarie;
4. ai metodi chimici devono essere preferiti, se disponibili, quelli biologici, i mezzi fisici e altri metodi non chimici;
5. i fitofarmaci devono essere quanto più possibile selettivi rispetto agli organismi da combattere e devono avere minimi effetti sulla salute umana, gli organismi non bersaglio e l'ambiente;
6. l'utente professionale dovrebbe mantenere l'utilizzo di pesticidi e di altre forme d'intervento ai livelli minimi necessari.

Il metodo di *produzione biologica* è specificamente normato all'interno dell'Unione europea dal regolamento (CE) 834/2007, che ha sostituito il precedente regolamento (CEE) 2092/91 e ne enuncia gli obiettivi e i principi generali (rispettivamente agli articoli 3 e 4). In particolare, con gli obiettivi generali si mira a introdurre un sistema di gestione sostenibile per l'agricoltura, a ottenere prodotti di alta qualità e a produrre un'ampia varietà di alimenti e altre produzioni agricole che rispondano alla richiesta dei consumatori di prodotti ottenuti con procedimenti che non danneggino l'ambiente, la salute umana e dei vegetali o la salute e il benessere degli animali.

2.4 Agricoltura conservativa

Un altro metodo di pratiche eco-compatibili è l'*agricoltura conservativa*. L'agricoltura conservativa (o agricoltura blu) è costituita da un insieme di pratiche agricole complementari, il cui obiettivo è quello di promuovere la produzione agricola, ottimizzando l'uso delle risorse e riducendo il degrado del terreno, attraverso la gestione integrata del suolo, dell'acqua e delle risorse biologiche esistenti. Per raggiungere tale scopo l'agricoltura conservativa ricorre a tre metodologie in modo sinergico:

- Alterazione minima del suolo (tramite semina su sodo o la lavorazione ridotta del terreno) al fine di preservare la struttura, la fauna e la struttura organica del suolo;
- Copertura permanente del suolo (colture di copertura e residui) per proteggere il terreno e contribuire all'eliminazione delle erbe infestanti;
- Associazioni e rotazioni colturali diversificate, che favoriscono i microrganismi del suolo e combattono le erbe infestanti, i parassiti e le malattie delle piante.

Le arature sono sostituite da lavorazioni superficiali o non lavorazione ("*sod seeding*", semina su sodo), che favorisce il rimescolamento naturale degli strati di suolo ad opera della fauna (lombrichi), delle radici e di altri organismi del suolo, i quali, inoltre, contribuiscono al bilanciamento delle sostanze nutritive presenti nel suolo. La fertilità del terreno (nutrienti e acqua) viene gestita attraverso la copertura del suolo, delle rotazioni colturali e della lotta alle erbe infestanti.

L'attuazione dell'Agricoltura Conservativa generalmente avviene attraverso le fasi seguenti, ciascuna delle quali può durare due o più anni:

- Prima fase: l'aratura del terreno è interrotta e vengono invece attuate tecniche di non lavorazione (semina su sodo) o di lavorazione ridotta del terreno. Almeno un terzo della superficie del suolo deve rimanere coperto da residui colturali e dopo il raccolto della coltura principale si devono introdurre colture di copertura (intercalari). Vengono utilizzati erpici a denti rigidi, rotativi o a disco (seminatrici dirette in caso di non lavorazione del terreno). Può verificarsi una riduzione delle rese.
- Seconda fase. Si assiste a un miglioramento naturale delle condizioni del suolo e della fertilità grazie alla sostanza organica prodotta dalla decomposizione naturale dei residui. Erbe infestanti e parassiti tendono ad aumentare e devono essere controllati, chimicamente o con altri mezzi.
- Terza fase. Si possono (re-)introdurre o migliorare le rotazioni colturali. L'intero sistema si stabilizza progressivamente.
- Quarta fase. Il sistema di produzione raggiunge un equilibrio ed è possibile registrare un miglioramento delle rese rispetto all'agricoltura tradizionale. Diminuisce così la necessità di utilizzare sostanze chimiche per il controllo delle erbe infestanti, dei parassiti e per la fertilizzazione.

L'applicazione di queste fasi portano numerosi vantaggi, alcuni dei quali (aumento delle rese, della biodiversità, ecc.) diventano evidenti quando il sistema si stabilizza. Essi sono, riassumendo: miglioramento delle riserve di carbonio organico, dell'attività biologica con formazione di macropori ben connessi e verticali che aumentano l'infiltrazione dell'acqua, minore perdita di suolo unitamente a una più rapida degradazione dei fitofarmaci e maggior adsorbimento che comportano un miglioramento della qualità dell'acqua, diminuiscono le emissioni di CO₂ per l'utilizzo minore di macchinari, diminuiscono i costi di manodopera ed energia relativi alle operazioni di preparazione e sarchiatura del terreno, diminuisce la necessità di fertilizzanti e gli interventi per il recupero dei terreni.

Tuttavia l'agricoltura conservativa possiede degli svantaggi quali, ad esempio, periodi di transizione di 5-7 anni prima che un sistema di tale agricoltura raggiunga l'equilibrio, rischio di lisciviazione dovuto al più rapido movimento dell'acqua attraverso i biopori se non vengono presi in considerazione i fattori stagionali nell'uso di sostanze chimiche, aumento delle emissioni di N₂O nel periodo di transizione, investimento iniziale in macchinari specializzati e formazione esaustiva degli agricoltori. Per fortuna questi ultimi due punti possono essere compensati dai risultati produttivi che si otterranno.

2.5 Il progetto MONITAMB 214I

Attraverso il Programma di Sviluppo Rurale (PSR) 2007-2013 la Regione del Veneto ha attuato la misura 214 "Pagamenti agro ambientali", sottomisura I "Gestione agrocompatibile delle superfici agricole", che prevede il pagamento di un aiuto economico agli agricoltori che adottano nella loro azienda specifici percorsi volti alla salvaguardia e tutela dell'ambiente nelle sue varie componenti.

Veneto Agricoltura ha deciso nel 2010 di aderire a tale misura con le sue tre principali aziende pilota-dimostrative di pianura (Sasse Rami, Diana e Vallevicchia) ed in particolare all'azione 1 (adozione di tecniche di agricoltura conservativa) e all'azione 2 (copertura continuativa del suolo) previste dalla sottomisura stessa. A questa sperimentazione è stato dedicato circa il 50% della SAU (oltre 300 ha), superficie nella quale è stato quindi avviato un progetto volto a monitorare gli effetti di questa applicazione sui principali parametri agronomici. Si intende poi completare il quadro delle azioni sperimentali attraverso l'analisi degli effetti ambientali dal punto di vista della tutela del suolo, della biodiversità e della qualità delle acque.

In linea generale, nelle tre aziende si persegue l'obiettivo di confrontare terreni soggetti alle azioni 1 e 2 della sottomisura 214/I con suoli gestiti invece con le pratiche convenzionali. Per rendere significativo tale confronto, sono state predisposte sin dal 2010 numerose coppie di appezzamenti sufficientemente omogenei e vicini (appezzamenti di lungo periodo). Per ogni coppia, un campo è stato gestito con l'Azione 1 o l'Azione 2, mentre l'altro con le normali tecniche colturali. Questa tesi, in particolare, ha come oggetto l'analisi di alcuni parametri biologici, quali il carbonio della biomassa e alcune attività enzimatiche, di suoli trattati secondo le tecniche agronomiche dell'azione 2 nel corso del primo anno di sviluppo del progetto MONITAMB.

2.5.1 Azione 1 – “Adozione di tecniche di agricoltura conservativa”

L'azione 1 della sottomisura 214/I promuove le innovative tecniche colturali dell'Agricoltura Conservativa, nell'ottica del mantenimento e della tutela della risorsa suolo, perseguendo nel contempo lo scopo di ridurre le emissioni di gas serra in atmosfera.

In tale contesto, la semina su sodo rappresenta la via da seguire, grazie alle ridotte esigenze energetiche delle formazioni colturali che richiede e alla capacità di preservare gli stock di carbonio del suolo, diversamente dalle lavorazioni meccaniche tradizionali.

Gli impegni previsti da tale sottomisura, che devono essere assolutamente rispettati da coloro che vi aderiscono sono:

1. Adottare le tecniche di agricoltura conservativa su una superficie pari ad almeno il 25% della superficie seminativa aziendale;
2. Adottare in via esclusiva la semina su sodo (sod seeding), ovvero deporre il seme nel terreno senza alterarne la struttura preesistente, salvo una fascia ristretta avente larghezza di 8-10 cm ed una profondità di 6-8 cm in corrispondenza di ogni fila di semina;
3. Rispettare il divieto di inversione degli strati del profilo attivo del terreno;
4. Applicare un modello di successione colturale rispettoso dei criteri dell'agricoltura conservativa, quindi prevedendo l'alternanza di cereali autunno-vernini o colza (o altre crucifere), mais e soia. È inoltre vietata la risemina del mais, come coltura principale, sulla stessa superficie per due anni consecutivi;

5. Mantenere in loco tutti i residui colturali e le stoppie delle colture seminative principali, adottando la tecnica del "mulching". Tale tecnica prevede la formazione di uno strato di materia vegetale sparso sul terreno coltivato con i residui colturali, che permane costantemente per tutto il periodo d'impegno, indipendentemente dalle attività eseguite successivamente sulla superficie interessata;
6. Assicurare la copertura continuativa del terreno durante tutto l'arco dell'anno, attraverso la semina di erbai primaverili-estivi oppure di cover crops autunno-vernine, costituite in prevalenza da graminacee, successivamente alla raccolta della coltura seminativa principale;
7. Somministrare in dosi frazionate e/o localizzate azoto e fosforo, durante la stagione vegetativa della coltura principale;
8. Frazionare e/o localizzare gli interventi di controllo delle infestanti sulla coltura seminativa principale;
9. Effettuare l'analisi chimico-fisica annuale dei terreni, al fine di stabilire il loro grado di attitudine all'attivazione delle tecniche di non lavorazione e di monitorarne successivamente in corso di impegno i parametri, riportandoli nell'apposito registro degli interventi colturali. Il progetto MONITAMB, del quale una parte è presentata in questa tesi, si occupa proprio di questo punto;
10. Redigere, annotando con cadenza almeno mensile, il registro degli interventi colturali.

Il periodo di impegno è pari a 5 anni dalla presentazione della domanda.

2.5.2 Azione 2 – "Copertura continuativa del suolo"

L'azione 2 della sottomisura 214/I riconosce pagamenti agroambientali a successioni colturali volte a favorire la diminuzione della concentrazione di nitrati rilevati nelle acque superficiali e di falda, monitorati sul territorio della regione Veneto.

Tali successioni colturali, infatti, sono contraddistinte dalla possibilità di ampliare il periodo di attività radicale delle colture quale filtro naturale dell'azoto presente nella soluzione circolante del terreno. Inoltre, tramite l'introduzione di *cover crops* nella successione colturale, si mantiene la copertura dei suoli agrari anche nei periodi di minore attività vegetativa, riducendo così i potenziali rilasci in falda dei nutrienti e quindi ottimizzando la disponibilità della risorsa idrica nello strato attivo del terreno.

I beneficiari dell'aiuto dovranno, per un periodo di 5 anni dalla data di presentazione della domanda, rispettare i seguenti impegni:

1. Adottare le tecniche di agricoltura conservativa su una superficie pari ad almeno il 25% della superficie seminativa aziendale;
2. Applicare successioni colturali che prevedano l'alternanza di cereali autunno-vernini o colza/altre crucifere o altre colture erbacee autunno-vernine, mais, soia, barbabietola;
3. Evitare di seminare mais sulla medesima superficie, in qualità di coltura principale, per due anni consecutivi;
4. Seminare cereali autunno-vernini, colza (o altre crucifere) o altre colture erbacee autunno-vernine almeno per 2 anni durante i 5 di impegno;
5. Seminare cover crops autunno-vernine almeno 3 volte nei 5 anni di impegno, in successione a mais, sorgo, soia, barbabietola, qualora tali superfici non vengano direttamente riutilizzate per la semina autunnale di cereali o altre colture autunno-vernine, colza o altre crucifere;
6. Evitare di utilizzare sulle cover crops fertilizzanti, effluenti zootecnici, concimi di sintesi chimica o diserbanti;
7. Sovesciare le cover crops esclusivamente prima della semina della coltura principale successiva;
8. Seminare erbai primaverili-estivi almeno per 2 anni sui 5 di impegno, al fine di assicurare la copertura continuativa della superficie arativa durante il periodo di intensa mineralizzazione della sostanza organica contenuta nel terreno;
9. Effettuare l'analisi chimico-fisica dei terreni, al fine di determinarne le dotazioni nutrizionali nel periodo di impegno;
10. Redigere il registro degli interventi colturali.

2.6 Il suolo

"Il suolo è uno dei beni più preziosi dell'umanità. Consente la vita dei vegetali, degli animali, e dell'uomo sulla superficie della terra" (Carta Europea del suolo, 1972).

Il suolo è una risorsa limitata, composto da particelle minerali, sostanza organica, acqua aria ed organismi viventi, occupa lo strato superficiale della crosta terrestre e

ricopre 1/16 della superficie del pianeta come una coltre molto sottile (ARPAV, 2012). Il suolo è un sistema complesso in continua evoluzione, risultato dell'interazione di alcuni fattori che gli esperti indicano con il nome di **Equazione di Jenny**³ (Jenny, 1961):

cl: (clima, temperatura, umidità)

o: (organismi viventi)

r: (rilievo, pendenza del versante, esposizione)

p: (roccia madre, materiale di partenza)

t: (tempo trascorso dall'inizio della trasformazione del suolo).

Il suolo è un elemento essenziale degli ecosistemi, una sua qualsiasi alterazione può ripercuotersi non solo sulla sua capacità produttiva, ma anche sulla qualità dell'acqua che beviamo e dei prodotti agricoli di cui ci nutriamo.

Esso è costituito da tre fasi (Giordano, 1999):

- Fase solida, principale riserva nutritiva con sostanze organiche da spoglie animali e vegetali e con sostanze inorganiche derivanti dai minerali;
- Fase liquida, è la soluzione del suolo ovvero l'acqua circolante del suolo con disciolti gas (O₂ e CO₂) e solidi presenti nel suolo (i nutrienti trasportati sono presenti soprattutto in forma **ionica**);
- Fase gassosa, aria tellurica (è l'aria presente nel suolo e ha una composizione diversa rispetto all'aria atmosferica), responsabile dello scambio gassoso fra gli organismi viventi del suolo e l'atmosfera.

Una caratteristica importante che caratterizza il suolo è la fertilità, insieme delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche che rendono adatto il terreno agrario alla coltivazione di colture agrarie. In altre parole, rappresenta il rendimento massimo ottenibile da un suolo coltivato con le specie vegetali più adatte alle condizioni pedoclimatiche stagionali e gestito con gli opportuni interventi agronomici (lavorazioni, avvicendamenti, irrigazioni, apporti nutrizionali, ecc ...).

³ Equazione di Hans Jenny per la formazione del suolo: $S = f(c,l,o,r,p,t)$

2.7 La Biomassa del suolo e il ciclo del Carbonio

La sostanza organica del terreno è l'insieme dei composti organici presenti nel terreno, di origine sia animale che vegetale. Questo insieme, eterogeneo sotto diversi aspetti, è in gran parte compreso fra i costituenti della frazione solida ed è di prevalente origine biologica (Sequi, 1989). Fanno parte dell'insieme della sostanza organica (Gisotti, 1988):

- La **biomassa vivente**, costituita da tutti gli organismi viventi presenti nel suolo;
- La **biomassa morta**, costituita dai rifiuti e dai residui degli organismi viventi presenti nel terreno e da qualsiasi materiale organico di origine biologica;
- **Sostanza organica di natura sintetica**, costituita da prodotti derivati da una sintesi industriale e apportati più o meno volontariamente dall'uomo (residui di fitofarmaci, concimi organici di natura sintetica, ecc.);
- **Humus**, un eteropolimero prodotto da una rielaborazione microbica della sostanza organica decomposta a partire da composti organici semplici e nuclei di condensazione aromatici di bassa biodegradabilità, questi ultimi derivati per lo più dalla decomposizione microbica delle lignine.

La biomassa del suolo è costituita per il 60-90% da microflora, rappresentata da batteri, attinomiceti, funghi, micorrize e alghe. Tra gli altri microorganismi, possiamo invece trovare protozoi e virus.

Il ciclo del carbonio è il ciclo biogeochimico attraverso il quale il carbonio viene scambiato tra la geosfera (all'interno della quale si considerano i sedimenti e i combustibili fossili), l'idrosfera (mari e oceani), la biosfera (comprese le acque dolci) e l'atmosfera della Terra. Tutte queste porzioni della Terra sono considerabili a tutti gli effetti riserve di carbonio (carbon sinks).

Circa 1500 miliardi di tonnellate di carbonio sono presenti nella biosfera. Il carbonio è parte essenziale della vita sulla Terra. Esso gioca un ruolo importante nella struttura, biochimica e nutrizione di tutte le cellule viventi (UNEP, 2012).

2.8 L'attività microbica del terreno

Il contenuto in carbonio organico del suolo è spesso considerato uno dei parametri più importanti nello studio dei terreni, poiché a significative variazioni di esso corrispondono mutamenti nelle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del suolo

stesso. Per poter studiare questo parametro nel confronto tra suoli con analoghe caratteristiche chimico-fisiche, ma sottoposti a differenti gestioni e trattamenti, può essere utile l'analisi di alcune proprietà biochimiche, quali il carbonio della biomassa o le attività enzimatiche. Questi possono essere degli utili indicatori, grazie alla loro elevata sensibilità a modifiche anche lievi nel breve periodo (Gilsotres et al., 2005).

2.8.1 Il carbonio della biomassa

La biomassa microbica è una delle poche frazioni di sostanza organica (SOM) biologicamente significative, facilmente misurabili, e sensibili all'inquinamento o alle diverse gestioni del terreno (Powlson, 1994). Per questo motivo, essa è molto usata in numerose attività di monitoraggio dei suoli.

Per le loro dimensioni estremamente ridotte e perché intimamente associati ai residui organici in via di decomposizione, i microorganismi del suolo non risultano facilmente valutabili quantitativamente (Violante, 2002). L'utilizzazione di metodi specifici ha comunque consentito l'accertamento di biomassa microbica in quantità comprese tra l'1 e il 10% del peso secco totale della sostanza organica.

Sebbene il carbonio della biomassa rappresenti, quindi, solamente l'1-3% del C totale presente nel suolo, esso ne costituisce la riserva maggiormente labile (Paul and Ladd, 1981). Pertanto, la disponibilità di nutrienti e la produttività degli agrosistemi dipendono principalmente dall'attività della biomassa microbica (Friedel et al., 1996).

2.8.3 Attività enzimatiche

Anche le attività enzimatiche possono rappresentare un ottimo oggetto di studio nell'analisi delle variazioni quantitative della sostanza organica, poiché sono degli importanti "sensori" che forniscono indicazioni sullo stato metabolico della popolazione microbica e sulle condizioni chimico-fisiche del suolo. Inoltre sono molto più sensibili alle variazioni indotte dall'attività antropica e dall'ambiente rispetto ad altre proprietà chimico-fisiche del terreno, come ad esempio il contenuto di sostanza organica.

Gli enzimi sono principalmente proteine e sono i catalizzatori dei sistemi biologici, ovvero accelerano la velocità delle reazioni riportando rapidamente il sistema in uno stato di equilibrio termodinamico. Rappresentano una parte importante nel ciclo dei nutrienti del suolo poiché permettono ai microbi di accedere ad energia e nutrienti

presenti in substrati complessi e catalizzano la decomposizione e la mineralizzazione di tali nutrienti, nonché i processi di umificazione. Senza la loro attività, dunque, molte delle molecole organiche necessarie ai microorganismi per svolgere il loro ciclo biologico sarebbero difficilmente disponibili in condizioni normali.

Si ritiene che gli enzimi del suolo siano principalmente di origine microbica (Ladd, 1978), ma essi hanno origine anche da piante e animali (Tabatabai et al., 1994). Dato che sono i microorganismi a sintetizzare questi enzimi, determinarne l'attività significa, quindi, poter valutare la diversità microbica funzionale e di conseguenza la qualità del suolo.

Studi condotti sugli enzimi dimostrano che le pratiche di gestione colturale influiscono sulla loro attività (Dick, 1994). È risaputo, inoltre, che l'attività della maggior parte di essi cresce in modo proporzionale all'aumento di SOM (Burns, 1982).

Tra gli enzimi idrolitici, le attività di fluoresceina diacetato (FDA) e di β -glucosidasi sono state frequentemente usate come indicatori dei cambiamenti nella sostanza organica (Gil-sotres et al., 2005).

Fluoresceina DiAcetato idrolasi (FDA)

L'idrolisi della Fluoresceina DiAcetato è ampiamente accettata come un metodo accurato e semplice per misurare l'attività microbica totale di una serie di campioni ambientali, compresi i suoli. La FDA è un composto incolore che viene idrolizzato sia dagli enzimi liberi sia da enzimi legati alle membrane (Stubberfield and Shaw, 1990), rilasciando un composto colorato, la fluoresceina, che può essere misurato mediante spettrofotometria e che risulta di colore più intenso all'aumentare dell'attività. Gli enzimi responsabili di questa reazione sono abbondanti nel suolo, come le esterasi non specifiche, le proteasi e le lipasi, le quali sono coinvolte nella decomposizione di molti tipi di tessuti.

È da sottolineare che alcuni studi hanno evidenziato che l'attività di questo enzima risulta più bassa in terreni sabbiosi e argillosi (Adam, 2001).

Beta-glucosidasi

La beta-glucosidasi è un enzima, appartenente alla classe delle idrolasi, che catalizza la fase finale della biodegradazione dei polisaccaridi (in particolare la cellulosa) e di

conseguenza permette il rilascio di glucosio e lo rende disponibile per i microorganismi (Esen, 1993).

Essa è principalmente prodotta dai funghi del terreno ma ci sono evidenze che suggeriscono che una frazione significativa della sua attività enzimatica nel suolo dipende da enzimi escreti nella soluzione circolante o fissati sulle superfici dei minerali argillosi e dei composti umici.

La beta-glucosidasi svolge quindi un ruolo fondamentale nel ciclo del carbonio, fungendo da fonte di energia per gli organismi presenti nel terreno ed è per questo apprezzata come potenziale indicatore della qualità dei suoli.

È inoltre importante poiché la sua attività, al contrario di molti altri indicatori, è in grado di rilevare i cambiamenti nella gestione del suolo in periodi di tempo relativamente brevi (1-3 anni) ed è piuttosto stabile al variare delle stagioni (Bandick and Dick, 1999).

3. Scopo

Negli ultimi anni la perdita di fertilità dei suoli a vocazione agricola e il progressivo aumento delle emissioni di gas serra hanno imposto una riflessione sulle tecniche di gestione agronomica dei terreni. In particolare l'adozione di pratiche di agricoltura conservativa, capaci di aumentare il contenuto di composti organici dei suoli agricoli, appare una soluzione in grado di assicurare uno sviluppo agricolo sostenibile.

Il Programma di Sviluppo Rurale (PSR) 2007-2013 prevede per la sottomisura 214I l'Azione 1 (adozione di tecniche di agricoltura conservativa) e l'Azione 2 (copertura continuativa del suolo) allo scopo di favorire ed incentivare pratiche di agricoltura eco-compatibile.

Veneto Agricoltura con il progetto MONITAMB 214I persegue l'obiettivo di confrontare terreni soggetti alle azioni 1 e 2 della sottomisura 214/I con suoli gestiti invece con le pratiche convenzionali nelle sue tre principali aziende pilota-dimostrative di pianura (Sasse Rami, Diana e Vallevicchia). Il progetto è volto ad evidenziare gli effetti di questa applicazione sui principali parametri agronomici e gli effetti ambientali dal punto di vista della tutela del suolo, della biodiversità e della qualità delle acque.

In questo ambito, nel presente lavoro di tesi sono stati analizzati tre parametri indicativi della qualità biologica del suolo (le attività enzimatiche FDA-idrolasica e β -glucosidasica; il contenuto di carbonio della biomassa) allo scopo di monitorare eventuali cambiamenti della fertilità biologica dovuti alla diversa gestione dei suoli.

4. Materiali e metodi

4.1 Disegno sperimentale

I campionamenti sono stati eseguiti in tre aziende pilota-dimostrative di Veneto Agricoltura in collaborazione con la Dott.ssa Francesca Chiarini di Veneto Agricoltura, coordinatrice del progetto.

- Sasse Rami, Ceregnano (RO)
- Diana, Mogliano Veneto (TV)
- Vallevecchia, Caorle (VE)

Per le aziende Diana e Vallevecchia sono stati prelevati campioni in 16 appezzamenti: metà delle superfici campionate erano soggette alle azioni previste dalla sottomisura 214/I, mentre l'altra metà era coltivata secondo le tecniche convenzionali. Gli appezzamenti sottoposti a coltivazione tradizionale sono poi stati contraddistinti in "Convenzionale azione 1" e "Convenzionale azione 2", a seconda della diversa gestione degli appezzamenti di riferimento. Per Sasse Rami, invece, gli appezzamenti campionati si sono ridotti a 12, poiché le superfici gestite con le tecniche tradizionali servivano in questo caso a confrontare i terreni soggetti a entrambe le azioni (Tabella 1).

AZIENDA	N. App.	Misura
SasseRami	78	AZ. 1
SasseRami	79	AZ. 2
SasseRami	82	Convenz.
SasseRami	81	AZ. 2
SasseRami	99	AZ. 1
SasseRami	100	Convenz.
SasseRami	83	Convenz.
SasseRami	84	AZ. 2

AZIENDA	N. App.	Misura
Diana	36	Convenz.
Diana	37	AZ. 1
Diana	73	Convenz.
Diana	74	AZ. 2
Diana	44	Convenz.
Diana	42	AZ. 1
Diana	12	Convenz.
Diana	11	AZ. 2

AZIENDA	N. App.	Misura
Vallevecchia	12/2	Convenz.
Vallevecchia	12/3	AZ. 1
Vallevecchia	2/11	AZ. 2
Vallevecchia	2/12	Convenz.
Vallevecchia	13/3	AZ.2
Vallevecchia	13/4	Convenz.
Vallevecchia	13/5	Convenz.
Vallevecchia	13/6	AZ. 1

SasseRami	91	AZ. 1	Diana	63	Convenz.	Vallevecchia	15/7	AZ. 2
SasseRami	113	AZ. 2	Diana	62	AZ. 1	Vallevecchia	15/8	Convenz.
SasseRami	114	Convenz.	Diana	55	Convenz.	Vallevecchia	15/9	Convenz.
SasseRami	115	AZ. 1	Diana	54	AZ. 2	Vallevecchia	15/10	AZ. 1
			Diana	29	Convenz.	Vallevecchia	16/11	AZ. 1
			Diana	30	AZ. 1	Vallevecchia	16/12	Convenz.
			Diana	26	Convenz.	Vallevecchia	16/13	Convenz.
			Diana	27	AZ. 2	Vallevecchia	16/14	AZ. 2

Tabella 1: Schema degli appezzamenti campionati nelle tre aziende pilota.

Tutte le particelle prese in considerazione sono sottoposte a rotazioni colturali quadriennali, come previsto dalla sottomisura 214/I. Di seguito sono riportate le colture effettuate nell'ultimo biennio (Tabella 2).

Azienda	Appezzamento	Coltura 2011	Coltura 2012
SasseRami	78	soia	frumento
SasseRami	79	soia	frumento
SasseRami	82	soia	frumento
SasseRami	81	mais	soia
SasseRami	99	mais	soia
SasseRami	100	mais	soia
SasseRami	83	frumento	colza
SasseRami	84	frumento	colza
SasseRami	91	frumento	colza

Azienda	Appezzamento	Coltura 2011	Coltura 2012
SasseRami	113	colza	mais
SasseRami	114	colza	mais
SasseRami	115	colza	mais
Diana	36	soia	frumento
Diana	37	soia	frumento
Diana	73	soia	frumento
Diana	74	soia	frumento
Diana	44	mais	soia
Diana	42	mais	soia
Diana	12	mais	soia
Diana	11	mais	soia
Diana	63	frumento	colza
Diana	62	frumento	colza
Diana	55	frumento	colza
Diana	54	frumento	colza
Diana	29	colza	mais
Diana	30	colza	mais
Diana	26	mais	mais
Diana	27	colza	mais
Vallevecchia	12/2	mais	soia
Vallevecchia	12/3	mais	soia
Vallevecchia	2/11	mais	soia
Vallevecchia	2/12	mais	soia

Azienda	Appezamento	Coltura 2011	Coltura 2012
Vallevecchia	13/3	frumento	colza
Vallevecchia	13/4	frumento	colza
Vallevecchia	13/5	frumento	colza
Vallevecchia	13/6	frumento	colza
Vallevecchia	15/7	soia	frumento
Vallevecchia	15/8	soia	frumento
Vallevecchia	15/9	soia	frumento
Vallevecchia	15/10	soia	frumento
Vallevecchia	16/11	soia	mais
Vallevecchia	16/12	colza	mais
Vallevecchia	16/13	colza	mais
Vallevecchia	16/14	soia	mais

Tabella 2: Cronologia delle colture effettuate negli appezzamenti.

4.2 Campionamenti

I campionamenti sono stati eseguiti in due periodi differenti: a Maggio nelle superfici coltivate a frumento e colza, ad Ottobre in quelle coltivate a mais e soia.

Per ogni appezzamento, il campionamento è stato effettuato prelevando terreno in precisi punti precedentemente georeferenziati e rintracciabili tramite sistema GPS. Per ogni punto, il campione è stato prelevato tramite due trivellazioni, fino ad una profondità di circa 30 cm.

Il campione rappresentativo di ogni particella è stato quindi costituito con l'unione dei terreni prelevati in 3 punti della stessa. Per gli appezzamenti gestiti ad "Azione 1" e "Convenzionale azione 1", sono stati ricavati 2 campioni, ognuno di 3 punti, chiamati

rispettivamente "replica a" e "replica b", per gli altri appezzamenti invece è stato effettuato un solo campionamento. In totale sono stati analizzati 44 appezzamenti. Uno schema semplificato dell'operazione di campionamento si può osservare in Figura 1.

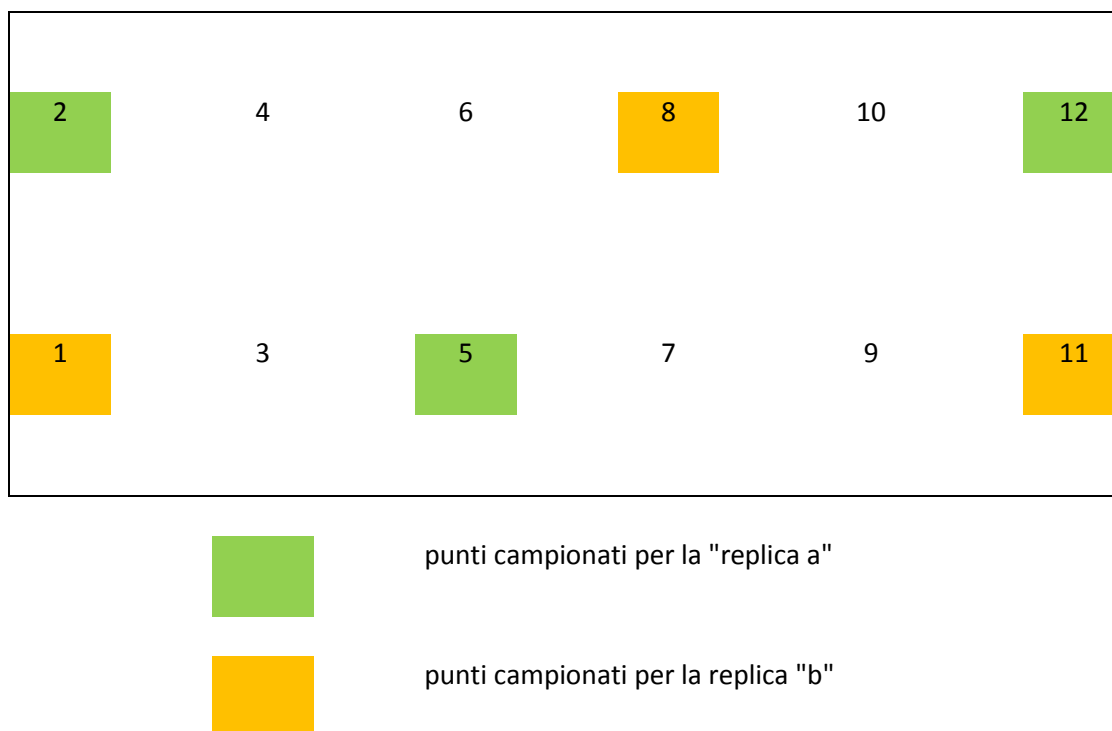


Figura 1: Schema dei campionamenti eseguiti in ogni appezzamento.

La denominazione di ogni campione è stata ottenuta dalla prima lettera dell'azienda corrispondente, dal nome dell'appezzamento ed infine dalla replica (ad es. S78a).

I campioni sono stati trasportati poi in laboratorio e conservati in frigo ad una temperatura di circa 4° C, in vista delle successive analisi.

Per ogni campione una parte è stata suddivisa in tre aliquote, delle quali si è registrato il peso fresco. Queste poi sono state lasciate a seccare all'aria per qualche giorno ed infine si è valutato il peso secco. Il rapporto tra peso fresco e peso secco dell'intero campione è stato quindi determinato dalla media di 3 misure.

4.3 Il carbonio della Biomassa microbica

Per quantificare la biomassa microbica del suolo è stato adottato il metodo della fumigazione – estrazione secondo Sparling e West (1988). La determinazione del C organico è stata effettuata secondo la tecnica di Kirchener, Wollum and King (1993).

Per ogni campione di suolo si pesano 6 aliquote, ciascuna del peso di circa 8 g, tre delle quali sono sottoposte a fumigazione. In totale sono state quindi eseguite 6 determinazioni per ciascuno dei 68 campioni, per un totale di 408 analisi.

Fumigazione: l'operazione si svolge interamente sotto cappa. I campioni vengono inseriti in crogiuoli e raccolti in una campana di vetro che funge da essiccatore. Sul fondo della campana vengono posti due becker, uno con della soda a scaglie e uno in cui vengono versati circa 50 ml di cloroformio e palline di vetro. L'essiccatore viene quindi chiuso e si crea il vuoto al suo interno tramite una pompa di aspirazione. Una volta chiuso il rubinetto, si pone la campana al buio, a temperatura ambiente per 16 ore. Trascorse le 16 ore si apre il rubinetto per rompere il vuoto e si apre l'essiccatore, lasciando i campioni all'aria fino a che il cloroformio non si sia dissipato.

Estrazione: tutti i campioni (fumigati e non fumigati) vengono trasferiti con cura in un tubo da centrifuga a cui vengono aggiunti 32 ml di solfato di potassio (K_2SO_4) 0,5 M (rapporto suolo - estraente 1:4). Il contenitore viene quindi posto su un agitatore alternativo per 30 min. a 180 r.p.m. Quindi si centrifuga a 6000 giri al minuto per 5 minuti. Il surnatante viene poi filtrato in tubi Falcon attraverso filtri Whatman n° 42. I contenitori devono essere conservati in congelatore oltre i $-15^\circ C$ se non è possibile effettuare le analisi immediatamente.

Determinazione: in una beuta vengono inseriti 6 ml di estratto, al quale si aggiungono nell'ordine 1 ml di $K_2Cr_2O_7$ 0,066 M e 5 ml di H_2SO_4 concentrato. Si preparano inoltre con lo stesso metodo 2 bianchi in cui al posto dell'estratto si inseriscono 6 ml di K_2SO_4 . Le beute vengono poste in stufa a $150^\circ C$ per 30 min. Trascorso tale tempo, si tolgono i campioni dalla stufa e si lasciano raffreddare, aggiungendovi dell'acqua deionizzata. Si procede dunque alla titolazione con ferro solfato 0,0165 M in presenza dell'indicatore difenilamina.

Calcolo del C microbico: Il contenuto di carbonio microbico viene determinato per differenza fra il contenuto di carbonio dei campioni sottoposti a fumigazione e dei campioni non sottoposti a fumigazione con le letture corrette per il bianco e corretti per il valore di 2,63 come proposto da Vance et al. (1987). Il dato finale è espresso in mg di carbonio per kg di suolo secco.

4.4 Attività enzimatiche

Le analisi di attività enzimatica sono state eseguite solo sui campioni delle parcelle sottoposte a gestione dell'azione 1 e sui relativi controlli convenzionali per un totale di 48 campioni.

Per ogni campione la determinazione viene eseguita su tre repliche e viene effettuata una prova di controllo in cui il campione viene incubato in assenza di substrato, per quantificare il livello del prodotto di reazione presente nel campione in assenza della reazione enzimatica. In totale sono quindi state eseguite 144 determinazioni.

Il dato finale è espresso in quantità del prodotto di reazione per il tempo di incubazione per grammo di suolo secco normalizzato grazie al dato del rapporto tra suolo fresco e suolo secco.

FDA-idrolasi

Vengono inseriti 2g suolo umido in beute da 50 ml con 15 ml di Tampone Fosfato (8,7g di K_2HPO_4 e 1,3g di KH_2PO_4 sono disciolti in 800 mL di H_2O e portati a 1l) e 0,2ml di FDA Stock (0,1g di Fluoresceina diacetato (3'6'-diacetyl-Fuorescein) in 80 ml di Acetone e portato 100 mL sempre con Acetone). Poi il composto viene agitato e messo nell'incubatore orbitale a 30°C per 20 minuti.

Si preparano controlli in cui non viene inserita la soluzione FDA Stock. Aggiunti poi 15 ml di Cloroformio e Metanolo in rapporto 2:1 per fermare l'attività enzimatica e agitare forte a mano. Successivamente i composti vengono messi in tubi da centrifuga e centrifugati a 2000 r.p.m. per circa 3 minuti e successivamente filtrati con carta filtrante Whatman 2.

Le assorbanze delle varie soluzioni sono state misurate con lo spettrofotometro ad una lunghezza d'onda di 490nm.

Beta-glucosidasi

In una beuta da 50 ml vengono inseriti 1g di terreno di suolo fresco e si aggiungono 0,25 ml di Toluene e 4 ml di TUM-6,0 (12,1g di Tris (idrossimetil) amminometano più 11,6g Acido Maleico più 14,0 g Acido Citrico più 6,3g Acido Borico in 488mL NaOH 1M e diluire in 1 litro con H₂O; vengono poi presi 200 ml e portati a pH 6 con HCl 0,1N e diluiti a 1L con H₂O) ed 1 ml di substrato: solubilizzati 0,377g p-Nitrophenyl β-D-glucopyranoside in 50 ml di TUM-6,0. Agitati per alcuni secondi i vari composti sono stati poi incubati per 1 ora a 37°C grazie a un bagnetto termostato.

La reazione è stata poi bloccata con 1 ml CaCl₂ e 4 ml TRIS-NaOH. Si agita poi il tutto per alcuni secondi e si filtra con carta da filtro Whatman n.2.

Per i controlli invece si è aggiunto il substrato subito prima di filtrare e dopo sono stati inseriti CaCl₂ e TRIS-NaOH.

Infine si legge con lo spettrofotometro a una lunghezza d'onda di 400nm usando come bianco tutto tranne il substrato che verrà sostituito da 1 ml di TUM-6.

4.5 Analisi statistica

I dati raccolti sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) tramite software IBM® SPSS® Statistics (Version 19) dopo aver verificato l'omoschedasticità delle classi a confronto. Le medie sono state considerate significativamente differenti per $p < 0,05$. Nei confronti di più di due medie è stato eseguito un test post-hoc Student-Newman-Keuls. Test ANOVA multivariata sono stati eseguiti per verificare l'interazione dei fattori.

5. Risultati e Discussione

Nel presente elaborato di tesi sono riportati e discussi i risultati relativi al primo anno di sperimentazione del progetto Monitamb 214I. Il progetto prevede lo studio di due diverse condizioni agronomiche, Azione 1 ed Azione 2, ed i relativi controlli. In tabella 3 sono riportati i valori medi delle analisi effettuate ed i relativi errori standard.

Etichetta	Azienda	Trattamento	Coltura	C biom.	Err. St.	FDA	Err. St.	β -glucosidasi	Err. St.	Umidità
V16/12b	Vallevecchia	Conv 1	Mais	88,803	10,692	1,0976	0,0116	41,9569	2,4244	1,0958
V16/12a	Vallevecchia	Conv 1	Mais	99,260	34,229	0,8738	0,0977	34,7559	3,1076	1,0887
V16/11b	Vallevecchia	Azione 1	Mais	45,040	8,454	0,8470	0,0581	40,7090	2,4244	1,0804
V16/11a	Vallevecchia	Azione 1	Mais	73,539	10,422	0,7721	0,0914	38,7237	0,4466	1,0844
V15/9b	Vallevecchia	Conv 1	Frumento	134,859	9,530	1,5718	0,1052	39,9062	0,0570	1,1362
V15/9a	Vallevecchia	Conv 1	Frumento	108,993	2,850	1,0440	0,0833	39,6241	5,7005	1,1392
V15/10b	Vallevecchia	Azione 1	Frumento	102,423	10,902	1,5407	0,1047	118,6429	8,6524	1,1428
V15/10a	Vallevecchia	Azione 1	Frumento	107,558	7,843	1,5304	0,1769	129,4554	18,0742	1,1302
V13/6b	Vallevecchia	Azione 1	Colza	144,135	9,287	1,6349	0,3196	54,8424	8,4284	1,1500
V13/6a	Vallevecchia	Azione 1	Colza	75,540	21,536	1,5074	0,0142	49,8830	6,1272	1,1417
V13/5b	Vallevecchia	Conv 1	Colza	53,319	9,631	1,4780	0,2059	69,7839	8,8388	1,1200
V13/5a	Vallevecchia	Conv 1	Colza	71,187	10,126	1,7068	0,0947	126,1093	11,4819	1,1288
V12/3b	Vallevecchia	Azione 1	Soia	102,511	10,693	0,8003	0,0686	45,5289	2,0506	1,1722
V12/3a	Vallevecchia	Azione 1	Soia	107,081	16,409	0,6983	0,1201	39,5995	5,3077	1,1911
V12/2b	Vallevecchia	Conv 1	Soia	116,666	9,862	0,9837	0,1333	40,8490	3,5292	1,1587
V12/2a	Vallevecchia	Conv 1	Soia	116,081	32,059	0,8290	0,1626	57,6768	1,7016	1,1740
S99b	Sasserami	Azione 1	Soia	372,756	18,273	0,4312	0,1122	63,2829	8,6974	1,2007
S99a	Sasserami	Azione 1	Soia	415,770	54,862	0,3003	0,0730	56,1743	9,1787	1,1857
S91b	Sasserami	Azione 1	Colza	183,982	8,050	0,5879	0,0243	116,0711	8,6144	1,1145
S91a	Sasserami	Azione 1	Colza	239,833	16,329	0,5405	0,0358	109,7808	6,3427	1,1175
S83b	Sasserami	Conv 1	Colza	100,597	7,887	0,2843	0,0415	40,0372	0,2739	1,1466
S83a	Sasserami	Conv 1	Colza	69,267	10,306	0,2559	0,0030	37,4673	3,7241	1,1449
S82b	Sasserami	Conv 1	Frumento	171,979	4,767	0,3892	0,0162	52,2575	8,5081	1,1098
S82a	Sasserami	Conv 1	Frumento	100,776	16,452	0,3626	0,0419	62,4435	5,7573	1,1138
S78b	Sasserami	Azione 1	Frumento	214,876	13,009	0,4438	0,1215	69,5966	0,4247	1,1136
S78a	Sasserami	Azione 1	Frumento	288,468	5,153	0,3305	0,0245	124,2288	10,4760	1,1266

Etichetta	Azienda	Trattamento	Coltura	C biom.	Err. St.	FDA	Err. St.	β -glucosidasi	Err. St.	Umidità
S115b	Sasserami	Azione 1	Mais	330,704	11,991	1,1128	0,1048	80,0291	10,2530	1,1695
S115a	Sasserami	Azione 1	Mais	387,110	30,009	1,3017	0,1017	51,9066	6,3427	1,1856
S114b	Sasserami	Conv 1	Mais	321,827	30,402	0,3966	0,0857	26,5113	4,3235	1,1638
S114a	Sasserami	Conv 1	Mais	244,535	46,203	0,1942	0,0235	26,4250	3,3714	1,1646
S100b	Sasserami	Conv 1	Soia	331,752	33,207	0,2135	0,0065	42,5820	4,2820	1,1935
S100a	Sasserami	Conv 1	Soia	287,959	14,257	0,2302	0,0755	28,4836	2,0245	1,1944
D63b	Diana	Conv 1	Colza	123,566	43,880	1,3247	0,1766	55,3404	11,4974	1,1690
D63a	Diana	Conv 1	Colza	149,812	12,004	1,0343	0,3379	57,4929	24,3718	1,1821
D62b	Diana	Azione 1	Colza	182,791	16,213	1,4276	0,0587	73,7781	4,5620	1,1616
D62a	Diana	Azione 1	Colza	108,893	11,385	0,7738	0,4125	96,6559	17,1634	1,1686
D44b	Diana	Conv 1	Soia	233,960	30,572	0,3269	0,0787	36,6596	6,8752	1,1741
D44a	Diana	Conv 1	Soia	236,491	56,066	0,4403	0,0090	60,0843	0,6785	1,1690
D42b	Diana	Azione 1	Soia	273,999	34,226	0,4278	0,0589	79,7916	5,3956	1,1720
D42a	Diana	Azione 1	Soia	259,569	25,945	0,5887	0,0905	77,6242	12,5872	1,1632
D37b	Diana	Azione 1	Frumento	187,322	21,759	1,7149	0,0857	126,1471	4,0902	1,2134
D37a	Diana	Azione 1	Frumento	178,441	15,250	1,1032	0,3808	147,8339	14,6605	1,2291
D36b	Diana	Conv 1	Frumento	169,112	16,016	1,1334	0,1704	83,7256	25,2235	1,2090
D36a	Diana	Conv 1	Frumento	90,267	11,005	0,5796	0,0259	72,5223	13,2031	1,2142
D30b	Diana	Azione 1	Mais	274,837	20,457	0,8947	0,1591	48,5534	3,2667	1,1534
D30a	Diana	Azione 1	Mais	274,163	10,198	1,1217	0,1202	57,4175	0,3657	1,1572
D29b	Diana	Conv 1	Mais	380,418	33,410	0,5970	0,0660	51,7767	1,7146	1,1810
D29a	Diana	Conv 1	Mais	385,395	39,364	0,3978	0,0253	62,8945	5,8672	1,1871
S79a	Sasserami	Azione 2	Frumento	168,248	28,868					1,1118
S84a	Sasserami	Azione 2	Colza	95,855	13,243					1,1609
D54a	Diana	Azione 2	Colza	163,943	9,251					1,1748
D55a	Diana	Conv 2	Colza	155,465	19,408					1,1988
D73a	Diana	Azione 2	Frumento	222,067	26,181					1,2299
D74a	Diana	Conv 2	Frumento	123,696	17,427					1,2260
V13/3a	Vallevecchia	Azione 2	Colza	92,599	13,104					1,1288
V13/4a	Vallevecchia	Conv 2	Colza	89,715	12,684					1,1189
V15/7a	Vallevecchia	Azione 2	Frumento	124,196	32,120					1,1467
V15/8a	Vallevecchia	Conv 2	Frumento	112,180	4,655					1,1420

Etichetta	Azienda	Trattamento	Coltura	C biom.	Err. St.	FDA	Err. St.	β -glucosidasi	Err. St.	Umidità
S81a	Sasserami	Azione 2	Soia	493,783	8,410					1,1761
S113a	Sasserami	Azione 2	Mais	276,864	13,759					1,1872
D12a	Diana	Conv 2	Soia	266,186	31,760					1,1819
D11a	Diana	Azione 2	Soia	293,033	40,165					1,1763
D26a	Diana	Conv 2	Mais	191,155	28,715					1,1705
D27a	Diana	Azione 2	Mais	147,987	15,743					1,1927
V2/11a	Vallevecchia	Azione 2	Soia	157,770	19,082					1,1503
V2/12a	Vallevecchia	Conv 2	Soia	141,234	4,633					1,1773
V16/13a	Vallevecchia	Conv 2	Mais	107,723	7,778					1,0819
V16/14a	Vallevecchia	Azione 2	Mais	58,646	15,516					1,0857
S82a	Sasserami	Conv 2	Frumento	100,776	16,452					1,1138
S83a	Sasserami	Conv 2	Colza	69,267	10,306					1,1449
S100a	Sasserami	Conv 2	Soia	287,959	14,257					1,1944
S114a	Sasserami	Conv 2	Mais	244,535	46,203					1,1646

Tabella 3: Riassunto dei dati raccolti e degli errori standard (n=3). I dati sono espressi in mg C / Kg ss (C biomassa), in μg fluoresceina $\text{g ss}^{-1} \text{h}^{-1}$ (FDA) e in μg PNP $\text{g ss}^{-1} \text{h}^{-1}$ (β -glucosidasi).

I dati analitici risultano in linea come valori e come errori standard con quelli riportati in letteratura per condizioni agronomiche e ambientali confrontabili (Vance et al., 1987; Tejada and Gonzalez, 2007; Lagomarsino et al., 2009).

Lo schema sperimentale del progetto prevedeva la determinazione del carbonio della biomassa per i suoli di entrambe le "azioni"; la valutazione delle attività enzimatiche esclusivamente per i suoli sottoposti ad Azione 1 e relativi controlli.

5.1 Carbonio della Biomassa

Il carbonio della biomassa rappresenta un indicatore dello stato di salute del suolo, poiché è legato direttamente al numero ed all'attività dei microrganismi del suolo e quindi alla decomposizione dei composti organici e al rilascio dei nutrienti nel suolo (Trasar-Cepeda et al., 2008; Bastida et al., 2008).

In figura 1 sono riportate le medie del carbonio della biomassa nelle quattro situazioni a confronto. I dati sono mediati su tutte le aziende e sulle quattro colture in rotazione. I dati non mostrano differenze significative tra le gestioni agronomiche, ma

evidenziano comunque valori più elevati di carbonio della biomassa nei suoli condotti in maniera conservativa.

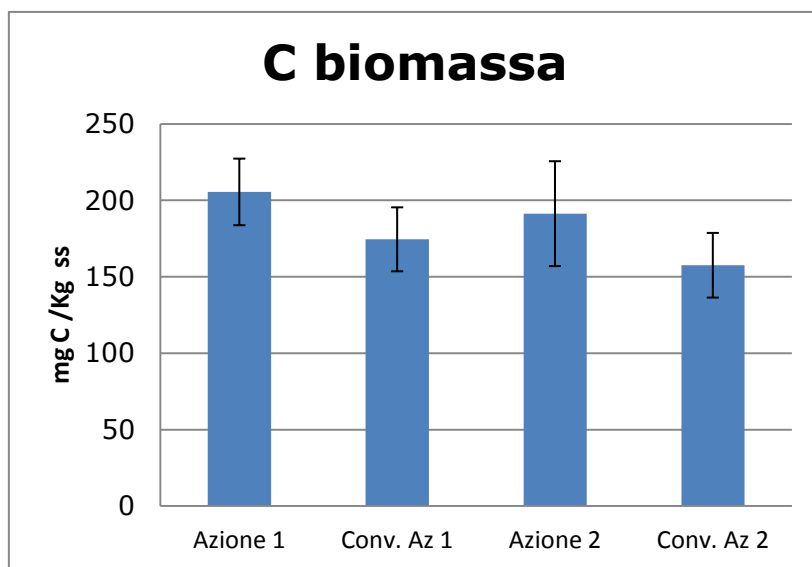


Figura 2: Confronto tra suoli gestiti in maniera conservativa (Azione 1, 2) e maniera Convenzionale. Per $p < 0,05$ non sono state evidenziate differenze significative.

L'assenza di differenze significative da un lato può essere imputato all'elevata variabilità che le medie presentano, essendo ottenute da situazioni molto diverse come coltura e azienda; dall'altro può indicare una situazione in evoluzione ancora non sufficientemente diversificata a seguito della gestione conservativa.

Allo scopo di verificare eventuali differenze nei livelli di carbonio della biomassa nelle tre aziende in figura 3 sono riportati i valori per i suoli di Sasse-Rami, Vallevecchia e Diana. I valori mostrano una differenza significativa per i suoli dell'azienda Vallevecchia rispetto a quelli delle altre aziende. I suoli di Vallevecchia risultavano a causa della sua posizione geografica, a tessitura prevalentemente sabbiosa. Questo può giustificare i livelli di carbonio di biomassa mediamente più bassi nei suoli di questa azienda. Il test ANOVA a 2 vie non ha evidenziato effetti di interazione tra azienda e trattamento.

Dato che i livelli di carbonio della biomassa sono significativamente diversi nelle tre aziende il confronto tra le tesi è stato effettuato mediando separatamente i dati di ogni singola azienda (figura 4).

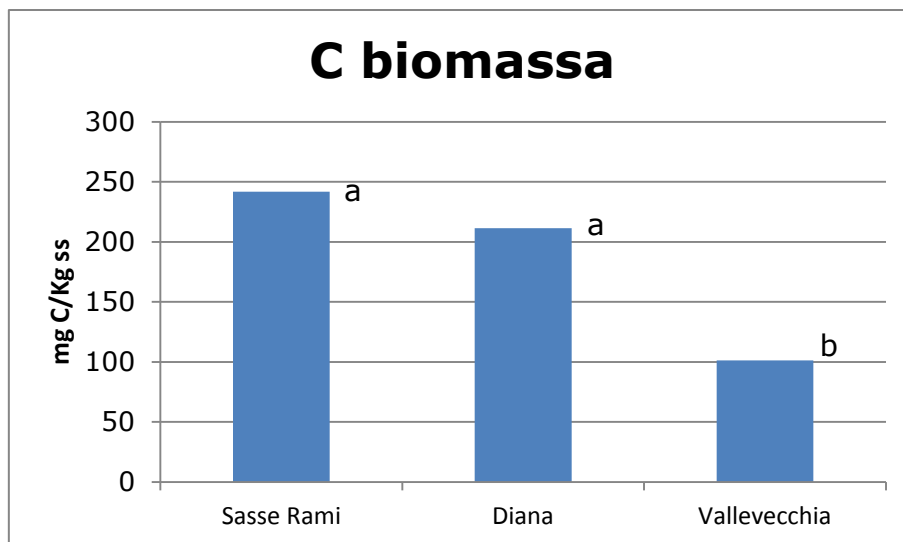


Figura 3: Confronto tra suoli delle tre aziende oggetto di studio. Lettere diverse indicano medie significativamente differenti per $p < 0,05$; Test post-hoc Student-Newman-Keuls.

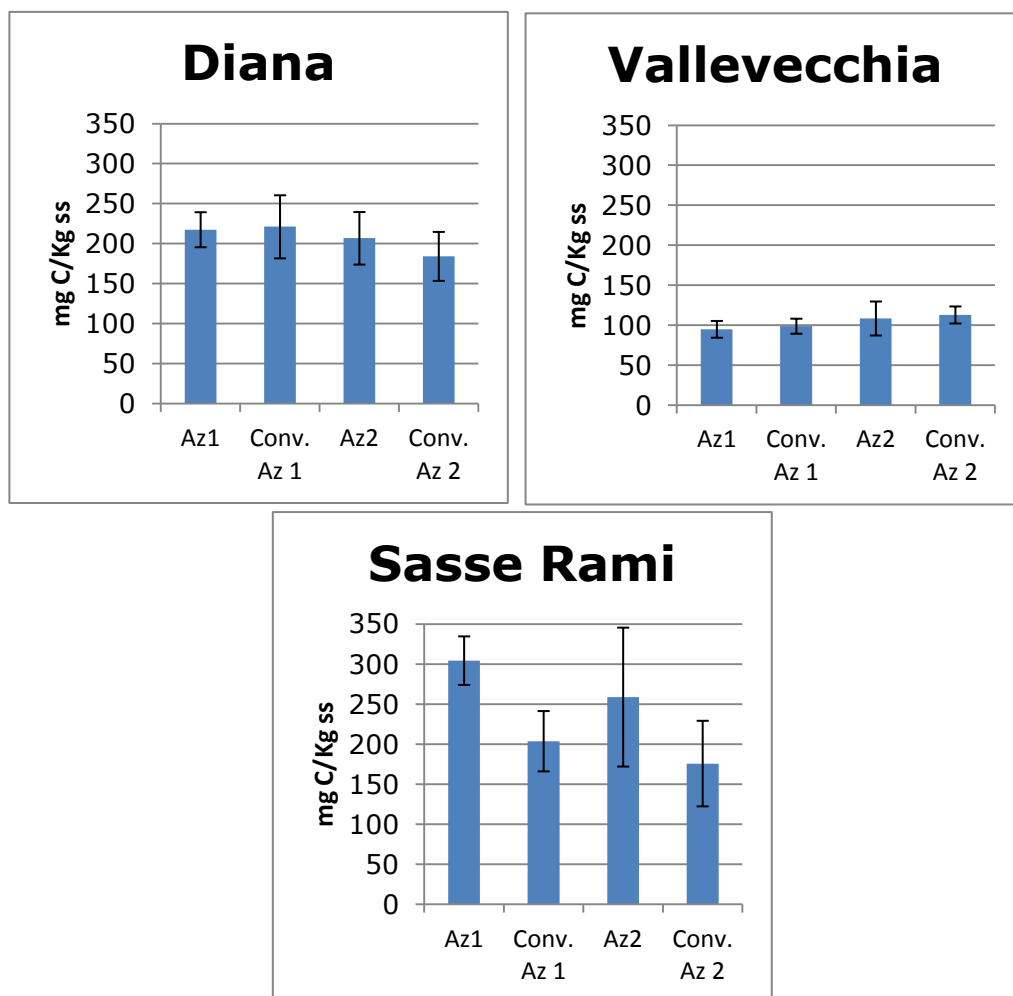


Figura 4: Confronto tra suoli gestiti in maniera convenzionale o Azione 1, Azione 2 nelle tre aziende oggetto di studio. Medie \pm Errore standard (n=8).

Analizzando separatamente nelle tre aziende gli effetti della gestione sul carbonio della biomassa a due anni dall'inizio della sperimentazione si nota come nelle aziende Vallevecchia e Diana i valori medi nei suoli ad agricoltura conservativa mostrino rispetto ai terreni a gestione convenzionale differenze inferiori all'errore sperimentale. I Valori dell'azienda Sasse Rami, pur non essendo significativi, hanno un andamento più variabile con dati medi superiori nei suoli ad Azione 1 e 2. Nei primi anni di cambio della gestione verso l'agricoltura conservativa è stato riportato un calo nella fertilità edafica (COMAGRI 2007-2009). Nei suoli delle aziende Diana e Vallevecchia malgrado non si sia registrato un aumento dei parametri studiati, non si è verificato l'effetto negativo che è stato in altri casi evidenziato. Infine l'effetto delle diverse colture sui livelli di carbonio della biomassa è stato valutato (figura 5).

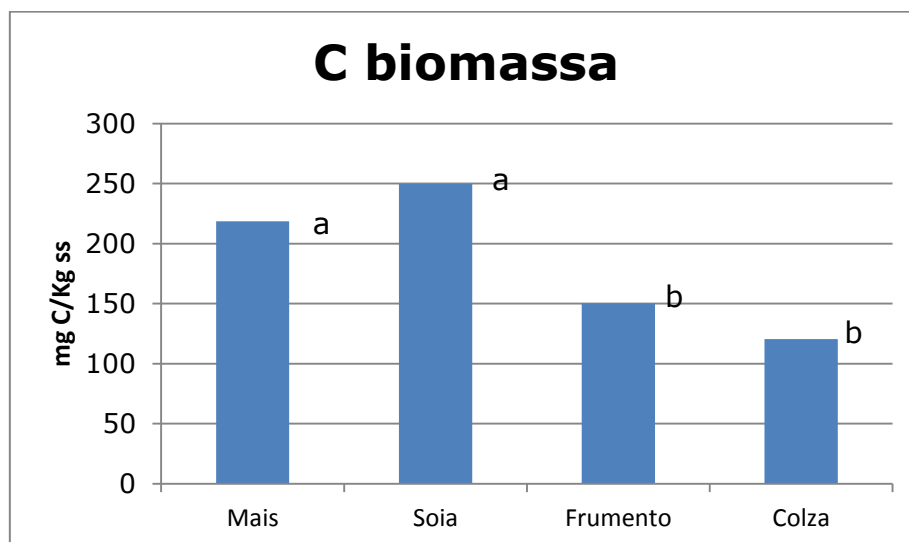


Figura 5: Confronto tra suoli delle quattro diverse colture. Lettere diverse indicano medie significativamente differenti per $p < 0,05$; Test post-hoc Student-Newman-Keuls.

La variabilità del sistema potrebbe essere almeno in parte dovuta all'impianto sperimentale della prova che prevede una rotazione in ognuno degli appezzamenti oggetto di studio. Gli effetti rilevati, quindi, potrebbero essere ricondotti sia alla coltura coltivata al momento del campionamento sia alla coltura precedente nello stesso appezzamento. Un quadro più completo ed ampio potrebbe delinearsi al termine dei tre anni di progetto. Inoltre i campionamenti sui suoli coltivati a Mais e Soia sono stati effettuati a ottobre, mentre i suoli coltivato a Frumento e Colza sono stati campionati a maggio. L'attività biologica dei suoli, compresa la biomassa microbica è nota per essere strettamente legata a vari parametri, tra cui quelli climatici come l'umidità e la temperatura del suolo (Ge et al., 2010). Quindi le

differenze rilevate potrebbero essere collegate alle fluttuazioni stagionali del carbonio della biomassa.

Tramite test ANOVA a due vie è stata verificata l'assenza di effetti di interazione tra coltura e gestione.

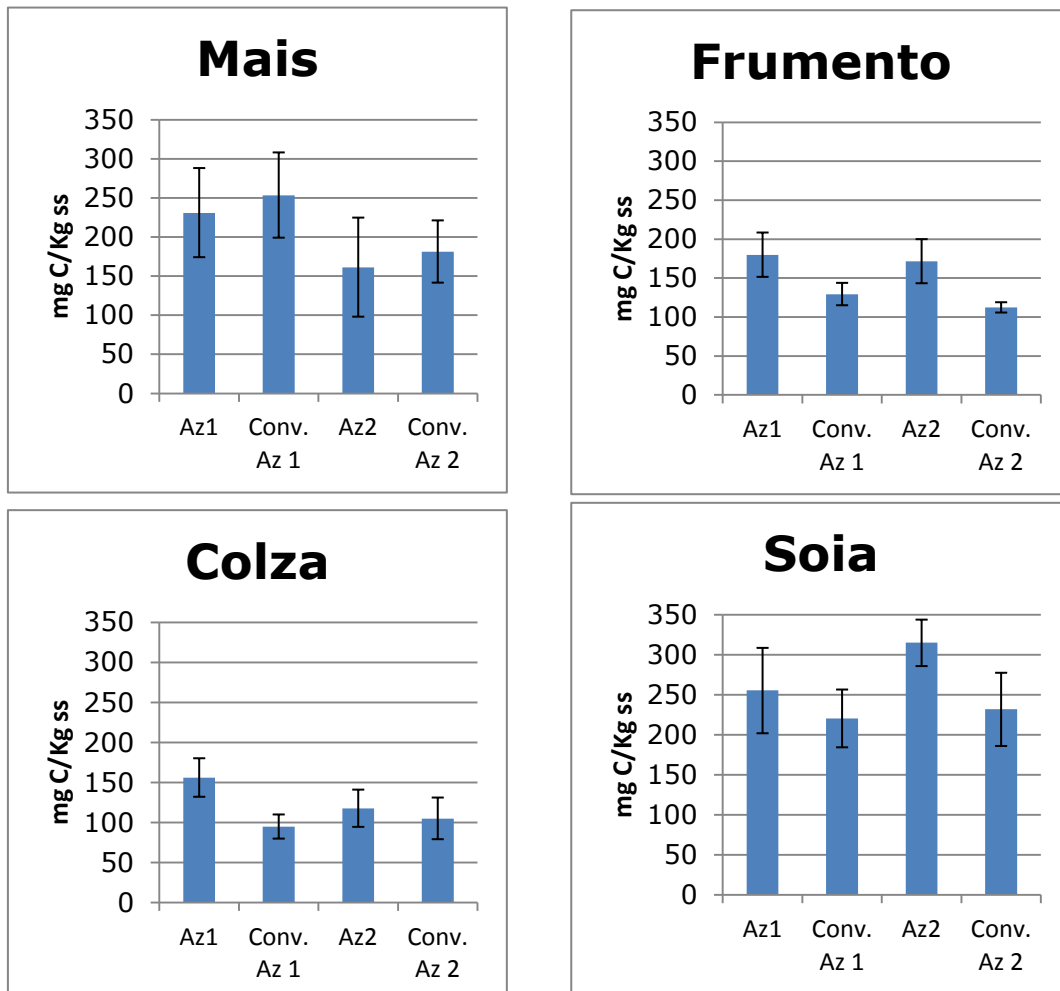


Figura 6: Confronto tra suoli gestiti in maniera convenzionale o Conservativa nelle quattro colture oggetto di studio. Medie \pm Errore standard (n=6).

L'effetto della gestione nelle diverse colture è evidenziato nella figura 6. Anche in questo caso non sono stati evidenziati valori significativamente diversi nei suoli a gestione più conservativa rispetto a quelli trattati in maniera convenzionale. In generale quindi il parametro del carbonio della biomassa non è cambiato dopo due anni di gestione conservativa dei suoli. I dati in figura 6 mostrano comunque un diverso andamento nelle colture prese in esame con valori più elevati nei suoli a gestione convenzionale (1 e 2) nel caso dei suoli coltivati a mais. All'opposto nei suoli con le altre colture la biomassa microbica è risultata maggiore nei suoli meno disturbati, Azione 1 e 2, come riportato dalla letteratura (Fließbach e Mader, 2000).

5.2 Attività Enzimatiche

Nel presente piano sperimentale i valori di attività enzimatica dei suoli sono stati rilevati esclusivamente nei terreni sottoposti alla gestione dettata dall'Azione1 del progetto Monitamb 214I e rispettivi controlli gestiti in maniera convenzionale.

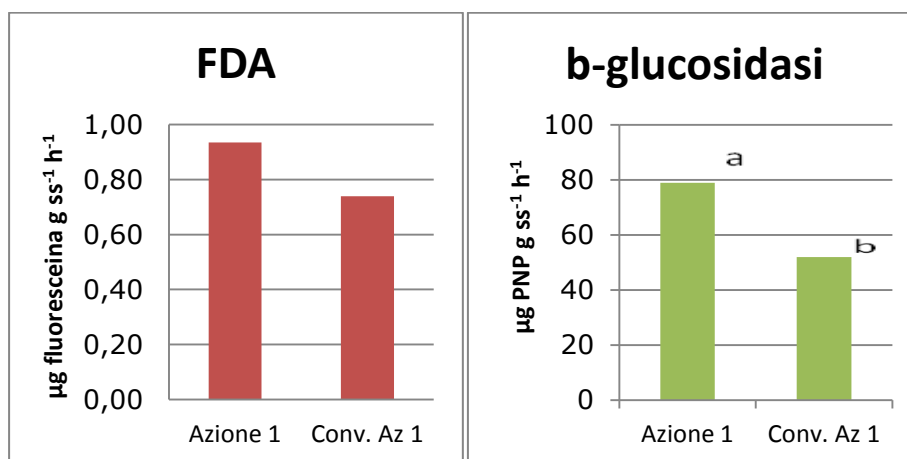


Figura 6: Confronto tra suoli gestiti in maniera conservativa (Azione 1) e maniera Convenzionale. Lettere diverse indicano medie significativamente differenti per $p < 0,05$.

Dal confronto di tutti i dati (figura 6), indipendentemente dall'azienda ne dalla coltura risulta che in generale i valori di attività enzimatica mostrano valori maggiori nei terreni gestiti in maniera conservativa (Figura 2). Tuttavia solo il dato dell'attività β -glucosidasica risulta significativamente diverso. Questa attività enzimatica è, anche in letteratura, nota come parametro in grado di rilevare prontamente gli effetti sul suolo della gestione agronomica (Bandick and Dick, 1999). Inoltre, questo andamento conferma i valori evidenziati per il carbonio della biomassa ed indica che la gestione conservativa, seppur proseguita per soli due anni, inizia ad influenzare positivamente i parametri biologici della fertilità del suolo. Questa azione appare, però, nelle sue fasi iniziali e quindi non abbastanza spinta da indurre differenze sostanziali in tutti i parametri considerati. L'aumento relativo nei suoli gestiti ad Azione 1 rispetto ai convenzionali per il dato medio di Carbonio della biomassa (figura 1) e per il dato relativo alla FDA (+ 15% e + 20% rispettivamente) evidenzia una risposta simile per entrambi i parametri (Adam, 2001). Il test ANOVA a 2 vie non ha evidenziato effetti di interazione tra azienda e trattamento. Le differenze tra la gestione conservativa e non sono state quindi studiate a livello di singola azienda (Figura 7).

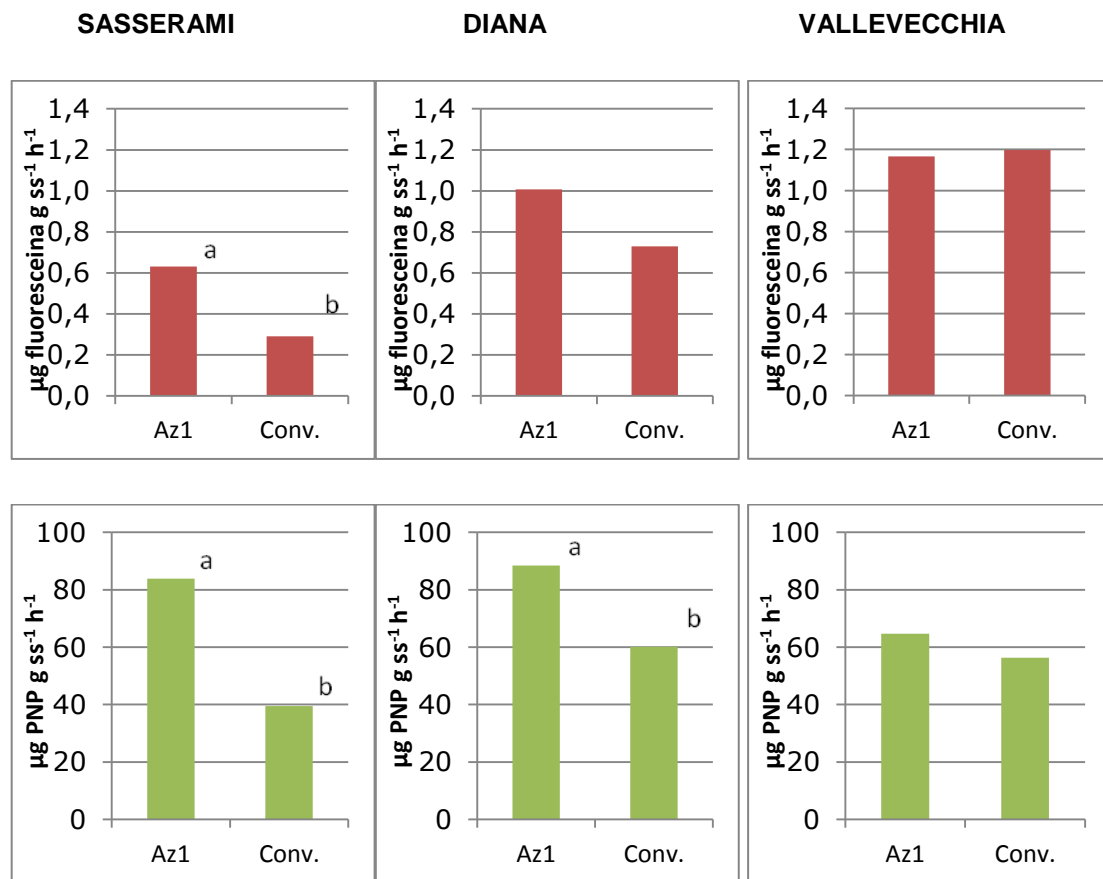


Figura 7: Confronto tra suoli gestiti in maniera convenzionale o Azione 1 nelle tre aziende oggetto di studio. Lettere diverse indicano medie significativamente differenti per $p < 0,05$.

La diversa gestione degli appezzamenti nell'azienda Vallevecchia non ha contribuito ad un significativo miglioramento per i parametri oggetto di studio come mostrato per il carbonio della biomassa (figura 4); il valore di attività β -glucosidasica risultava significativamente maggiore nei suoli a gestione conservativa dell'azienda Diana; nell'azienda Sasse Rami tutti i parametri studiati risultano maggiori nei suoli ad Azione 1 con differenze significative per le due attività enzimatiche.

Il suolo risponde in maniera diversa alle pratiche gestionali a seconda delle sue caratteristiche intrinseche e dell'ambiente circostante (Andrews et al., 2006). Nel nostro caso di studio appare che i suoli dell'azienda Sasse Rami si trovino in una condizione pedoclimatica che permette una risposta significativa in termini di attività enzimatiche del terreno anche nel breve periodo (2 anni).

Le precessioni colturali influenzano direttamente i parametri biologici e di attività enzimatiche dei suoli (Dick, 1994). Allo scopo di verificare gli effetti delle quattro diverse colture sui parametri in esame le medie relative sono state sottoposte a test ANOVA (Figura 8).

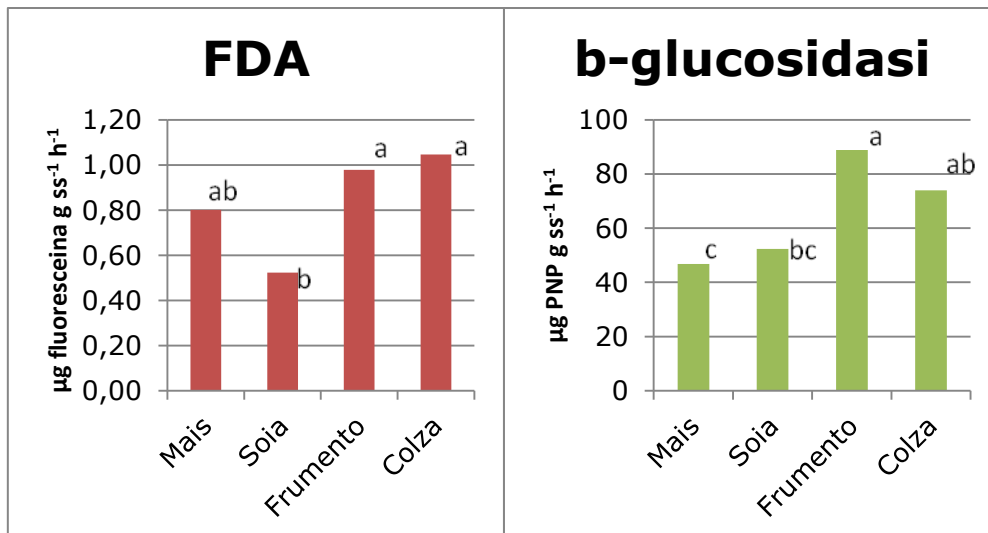
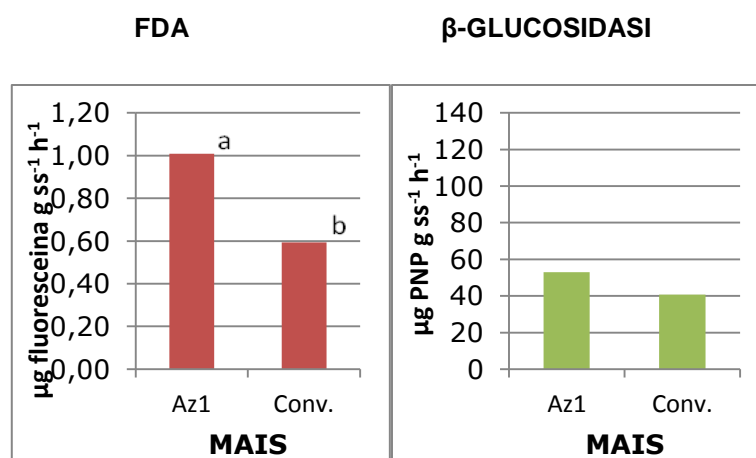


Figura 8: Confronto tra suoli delle quattro diverse colture. Lettere diverse indicano medie significativamente differenti per $p < 0,05$; Test post-hoc Student-Newman-Keuls.

I dati di attività enzimatica rilevati nei suoli seminati con le quattro colture mostrano un andamento opposto a quello evidenziato per il carbonio della biomassa (cfr. figura 5). Questo risultato può essere ricondotto come nel caso del carbonio della biomassa a variazioni stagionali (Ge et al., 2010) ma evidenzia come i singoli parametri rispondano in maniera diversa, con un calo dei valori medi di attività enzimatica nei suoli campionati a maggio (Mais e Soia) a fronte di valori più elevati di carbonio della biomassa.

Le differenze evidenziate giustificano l'analisi degli effetti della gestione separatamente per ognuna delle colture (Figura 9).



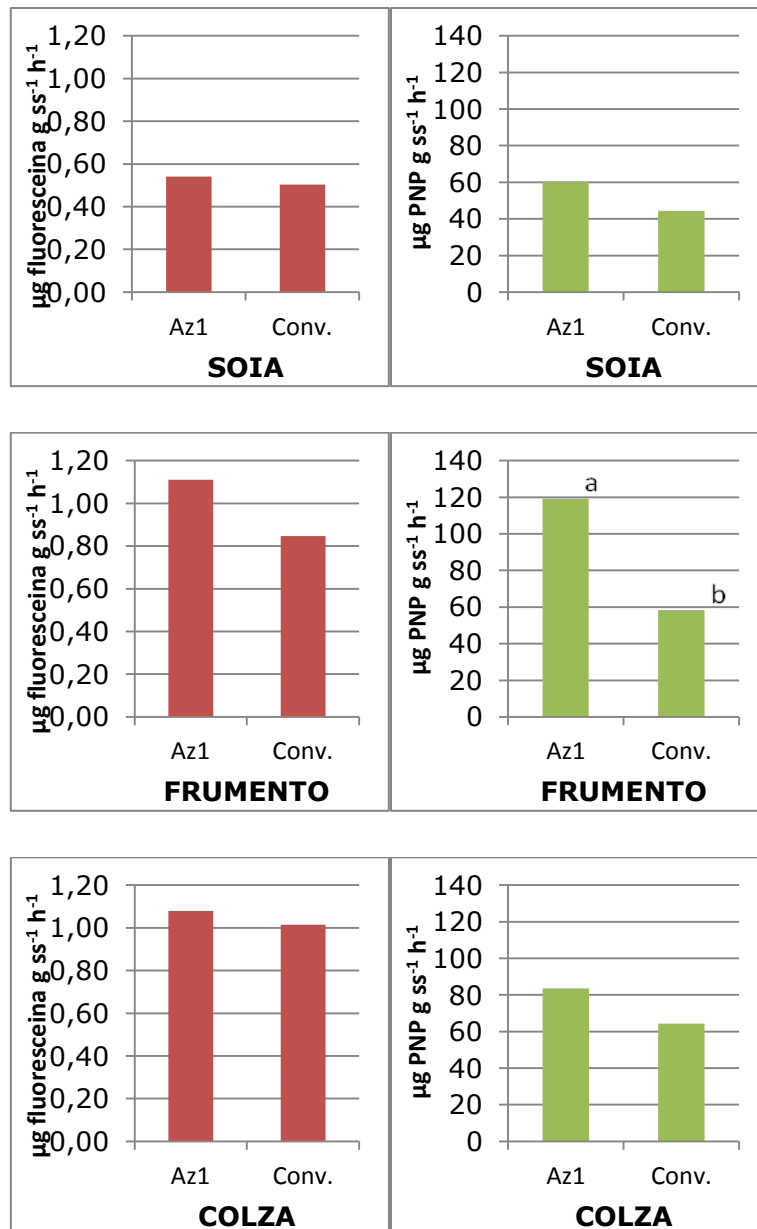


Figura 9: Confronto tra suoli gestiti in maniera convenzionale o Azione 1 nelle quattro colture oggetto di studio. Lettere diverse indicano medie significativamente differenti per $p < 0,05$.

Le attività enzimatiche si sono rivelate significativamente diverse fra i suoli gestiti con i parametri dell'azione 1 rispetto ai convenzionali solo per l'attività FDA idrolasica dei suoli coltivati a Mais e per la β -glucosidasi nei terreni con Frumento a dimora. Negli altri casi, in maniera non statisticamente significativa, i valori delle attività nei suoli coltivati con lavorazioni convenzionali risultano più bassi rispetto a quelli gestiti in maniera conservativa. Questo sembra confermare quanto evidenziato per il dato del carbonio della biomassa con una situazione solo iniziale del miglioramento edafico legato alla gestione conservativa. Infine il quadro complessivo dei parametri studiati e

delle tesi prese in considerazione indica come gli effetti della gestione dipendano da un insieme complesso di variabili agronomiche e ambientali che concorrono sinergicamente alla definizione dei parametri della qualità del suolo.

6. Conclusioni

Nella valutazione dell'impatto della gestione conservativa sulla fertilità del suolo è di fondamentale importanza l'analisi dei parametri relativi alla biologia del suolo come il carbonio della biomassa e le attività enzimatiche del terreno.

Questi parametri sono stati analizzati all'interno del progetto MONITAMB 214I gestita da Veneto Agricoltura, che prevedeva lo studio in tre differenti aziende in terreni con quattro diverse colture che nel complesso formavano una rotazione.

I dati raccolti risultavano in linea con i dati di letteratura. In generale il parametro del carbonio della biomassa non è cambiato significativamente dopo due anni di gestione conservativa dei suoli anche se mostra un lieve aumento nei suoli sottoposti ad azione 1 e 2.

La β -glucosidasi è risultato il parametro più sensibile alla diversa gestione dei suoli evidenziando differenze significative sia nell'analisi dell'intero pool di dati sia all'interno delle singole aziende.

Inoltre i suoli delle tre aziende hanno dato risultati diversi con un chiaro miglioramento dei parametri di fertilità biologica a seguito della gestione conservativa solo nel caso dell'azienda Sasse Rami. Nelle altre due aziende non si è verificato il peggioramento delle condizioni edafiche a seguito del cambio di gestione riportato in letteratura.

Nel complesso i risultati mostrano un'evoluzione del sistema verso condizioni di miglior fertilità edafica che però è ancora in progresso e non risulta significativa in tutte le condizioni studiate.

Lo studio protratto nel tempo di questi parametri, previsto dal progetto, sarà funzionale alla comprensione degli effetti sul lungo periodo della diversa gestione e dell'influenza dei fattori pedoclimatici nell'instaurarsi di un nuovo equilibrio.

7. Bibliografia

- Adam, G., Duncan, H., 2001. "Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of Soils". *Soil Biology & Biochemistry* 33, 943-951.
- Andrea Giordano, *Pedologia*, Torino, UTET, 1999.
- Andrews, S., Archuleta, R., Briscoe, T., Kome, C. E., Kuykendall, H., 2006. <http://soils.usda.gov/sqi/sqteam.html>.
- Antonio Saltini, "Storia delle scienze agrarie", 4 voll., Bologna 1984-89.
- ARPAV Veneto, "Il Suolo – formazione, proprietà e funzioni".
- Bandick, A. K., Dick, R. P., 1999. "Field management effects on soil enzyme activities". *Soil Biology and Biochemistry* 31, 1471-1479.
- Bastida, F., Zsolnay, A., Hernandez, T., Garcia, C., 2008. "Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective". *Geoderma* 147, 159-171. Burns, R. G., 1982. "Enzyme activity in soil: Location and a possible role in microbial ecology". *Soil Biology and Biochemistry* 14, 423-427.
- Carta Europea del Suolo, Consiglio d'Europa, 1972.
- COMAGRI (Commissione Europea Agricoltura e Sviluppo Rurale), 2007-2009. "Sustainable agriculture and soil conservation".
- Davide Ciccarese, "Il libro nero dell'agricoltura", edizioni Inchieste, 2012.
- Dick, R. P., 1994. "Soil enzyme activities as indicators of soil quality". In: Doran, J. W., Coleman, D. C., Bezdicek, D. F., Stewart, B. A. (Eds.), "Defining soil quality for a sustainable environment". Soil Science Society of America, 107-124.
- Esen, A., 1993. "b-Glucosidases: overview". *American Chemical Society* 533,1-14.
- Fliessbach, A., Mader, P., 2000. "Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems". *Soil Biol. Biochem.* 32, 757-768.
- Friedel, J. K., Munch, J. C., Fischer, W. R., 1996. "Soil microbial properties and the assessment of available soil organic matter in a haplic luvisol after several years of different cultivation and crop rotation". *Soil Biology and Biochemistry* 28, 479-488.
- G. Gisotti, "Principi di geopedologia", Bologna, Calderini, 1988.
- Ge, G.F., Li, Z.J., Fan, F.L., Chu, G.X., Hou, Z.A., Liang, Y.C., 2010. "Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers". *Plant Soil* 326, 31-44.

- Gil-Sotres, F., Trasar-Cepeda, C., Leiros, M. C., Seoane, S., 2005. "Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties". *Soil Biology and Biochemistry* 37, 877–887.
- Houghton R. A., Hoggie, J. E., Melillo, J. M., Moore, B., Peterson, J. B., Shaver, G. R., Woodwell, G. M., 1983. "Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere". *Ecological Monographs* 53, 235–262.
- Jenny H (1961) "Derivation of state factor equations of soils and ecosystems". *Soil Sci Soc Am J* 25:385–388.
- Kirchener, M. J., Wollum II, A. G., King, L. D., 1993. "Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems". *Soil Science Society of America Journal* 57, 1289-1295.
- Ladd, J. N., 1978. "Origin and range of enzymes in soil". In: Burns, R.G. (ed.), "Soil Enzymes". Academic Press,. 51-96.
- Lagomarsino, A., Moscatelli, M. C., Di Tizio, A., Mancinelli, R., Grego, S., Marinari, S., 2009. "Soil biochemical indicators as a tool to assess the short-term impact of agricultural management on changes in organic C in a Mediterranean environment". *Ecological Indicators* 9, 518-527.
- Paolo Sequi, "Chimica del suolo", Bologna, Pàtron, 1989.
- Paul Bairoch, "Economics and World History: Myths and Paradoxes", University of Chicago Press, 1993.
- Paul, E. A., Ladd, J. N., 1981. "Soil biochemistry, vol 5". Dekker.
- Powlson, D. S., 1994. "The soil microbial biomass: before, beyond and back". In: Ritz, K., Dighton, J., Giller, G. E. (eds.), "Beyond The Biomass". John Wiley & Sons, pp. 3–20.
- Sparling, G. P., West, A. W., 1988. "A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells". *Soil Biology and Biochemistry* 20, 337-343.
- Stubberfield, L. C. F., Shaw, P. J. A., 1990. "A comparison of tetrazolium reduction and FDA hydrolysis with other measurements of microbial activity". *Journal of Microbiological Methods* 12, 151-162.
- Tabatabai, M. A., Weaver, R. W., Augle, S, Bottomly, P. J., Bezdicek, D., Smith, S., Wollum, A., 1994. "Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties, No. 5". Soil Science Society of America, 775-833.
- Trasar-Cepeda, C., Leiros, M.C., Gil-Sotres, F., 2008. "Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality". *Soil Biol. Biochem.* 40, 2146-2155.

Tejada, M., Gonzalez, J. L., 2007. "Application of different organic wastes on soil properties and wheat yield". *Agronomy. Journal* 99, 1597–1606.

UNEP, "L'attuale ciclo del carbonio - cambiamenti climatici, livelli e flusso del carbonio".

Vance, E. D., Brookes, P. C., Jenkinson, D. S., 1987. "An extraction method for measuring soil microbial biomass-C". *Soil Biology and Biochemistry* 19, 703-707.

Violante, P., 2002. "Chimica del suolo e della nutrizione delle piante". Edagricole.