

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di laurea specialistica in
“Analisi e gestione dell’ambiente”

**INFLUENZA DEI METODI DI PRODUZIONE
AGRICOLA SULLA QUALITÀ DEI SUOLI IN OLIVETI
SICILIANI**

Tesi di laurea in: Pedologia e gestione del suolo

Relatore:
Dott. Alessandro Buscaroli

Presentata da:
Giovanni Caruso

Correlatore:
Dott. Andrea Pasteris

III sessione

Anno Accademico 2013/2014

INDICE

1	Introduzione	3
1.1	Olivicoltura in Sicilia.....	3
1.2	Metodi di produzione agricola	5
1.2.1	Agricoltura convenzionale	5
1.2.2	Agricoltura integrata.....	6
1.2.3	Agricoltura biologica.....	7
1.3	Metodi produttivi a confronto	8
2	Obiettivi	10
3	Caratteristiche ed importanza del suolo	11
3.1	Proprietà fisiche dei suoli	14
3.1.1	Tessitura	14
3.1.2	Struttura	14
3.1.3	Porosità.....	15
3.1.4	Densità.....	15
3.2	Proprietà chimiche dei suoli	17
3.2.1	pH.....	17
3.2.2	Salinità	18
3.2.3	Calcare totale e calcare attivo	18
3.2.4	Sostanza organica	19
3.2.5	Azoto (N).....	21
3.2.6	Fosforo (P)	22
3.2.7	CSC e basi scambiabili.....	23
3.2.8	Microelementi	24
3.3	Proprietà biologiche dei suoli	25
3.3.1	La struttura di popolamento della pedofauna	26
3.4	Fertilità dei suoli	31
4	Le aree di studio	33
4.1	Inquadramento climatico	34
4.2	Inquadramento geografico.....	36
4.3	Inquadramento pedologico	38
5	Materiali e metodi	43

5.1	Disegno di campionamento e individuazione dei siti di campionamento	43
5.2	Rilevamento pedologico e classificazione dei suoli.....	45
5.3	Modalità di raccolta dei campioni	46
5.3.1	Campionamento per le analisi chimiche	46
5.3.2	Campionamento degli invertebrati del suolo.....	46
5.4	Metodologie analitiche.....	47
5.4.1	Determinazione del pH e della CE	47
5.4.2	Determinazione del contenuto di calcare totale.....	48
5.4.3	Determinazione della distribuzione delle particelle (Tessitura).....	48
5.4.4	Capacità di scambio cationico	49
5.4.5	Basi scambiabili.....	50
5.4.6	Determinazione del carbonio totale (TC), dell'azoto totale (TN) e del carbonio organico totale (TOC) con analizzatore elementare	50
5.4.7	Fosforo assimilabile	51
5.5	Estrazione degli invertebrati del suolo	52
5.5.1	Riconoscimento e tassonomia degli invertebrati.....	53
5.6	Calcolo del QBS-ar e del QBS-ar max.....	54
5.6.1	Le classi di qualità del suolo	58
6	Risultati.....	60
6.1	Profili.....	60
6.2	Caratteristiche chimiche dei suoli	68
6.3	La pedofauna	73
6.3.1	Composizione del popolamento, valori dell'indice QBS-ar , QBS-ar max e classi di qualità del suolo	73
7	Discussione	77
8	Conclusioni	81
9	Bibliografia.....	83
10	Linkografia	87

1 Introduzione

L'olivicoltura è stata da sempre ritenuta parte integrante del patrimonio storico, culturale e sociale del bacino del Mediterraneo. Uno degli aspetti su cui bisogna porre l'attenzione è rappresentato dai caratteri qualitativi e di sostenibilità ambientale che le produzioni devono raggiungere se si vuole salvaguardare questo patrimonio. Per raggiungere livelli qualitativi superiori, sarà necessario ricercare una maggiore interconnessione tra ricerca agronomica ed industriale, approfondendo allo stesso tempo i rapporti tra le tecniche agronomiche e le tecnologie di trasformazione. Per poter tutelare questo patrimonio, inoltre, risulta indispensabile qualificare e tipicizzare i metodi di produzione agricola, per stimarne gli effettivi impatti, al fine di attribuire maggiore valore anche alle caratteristiche peculiari del prodotto finito. Vista l'importanza che l'olivicoltura riveste da secoli in Sicilia, questo lavoro di tesi nasce dalla curiosità di voler fare delle valutazioni sull'influenza che i diversi metodi di produzione agricola possono avere sulla qualità dei suoli, per meglio comprendere come raggiungere livelli di sostenibilità adeguati, in grado di tutelare questo nostro patrimonio storico, culturale e sociale nel tempo.

1.1 Olivicoltura in Sicilia

In Sicilia il comparto olivicolo interessa una superficie di circa 160.000 ettari (6.1% del territorio siciliano) con una produzione totale di poco superiore alle 300.000 tonnellate annue (ISTAT, 2007). La provincia con la più alta percentuale di superficie olivicola risulta quella di Messina, seguita da Palermo, Agrigento e Trapani (Figura 1).

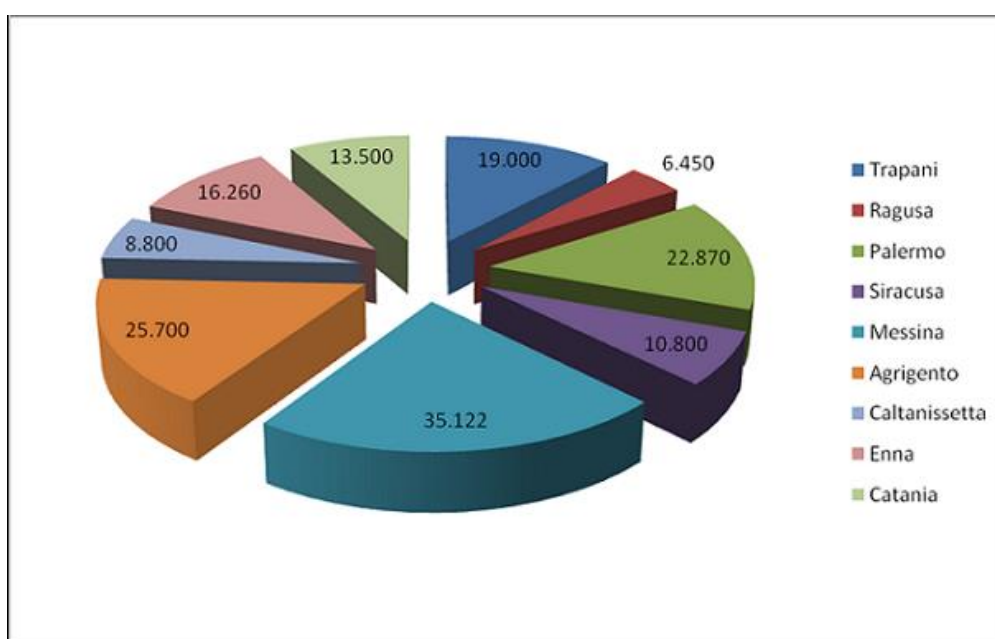


Figura 1 - Superficie olivicola nelle provincie siciliane (ha).

Per quanto riguarda invece le produzioni annue (Figura 2), la provincia siciliana con le più alte produzioni olivicole risulta Agrigento, seguita dalla provincia di Palermo, di Catania e di Trapani.

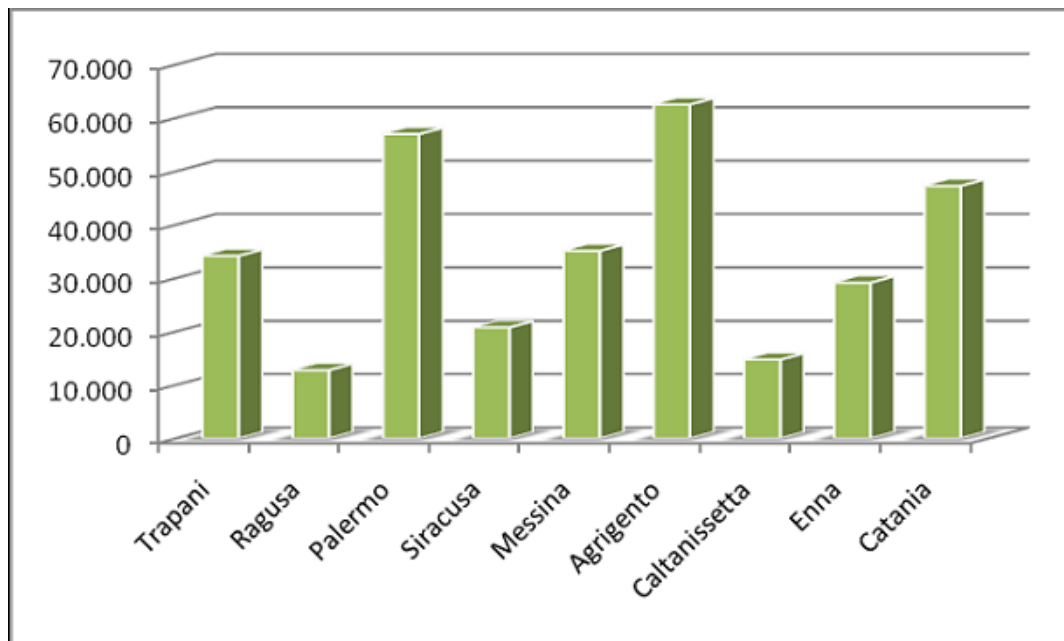


Figura 2 - Produzione olivicola nelle provincie siciliane (ton).

La coltura dell'olivo costituisce uno degli elementi che caratterizzano l'agricoltura e il paesaggio siciliano. A livello regionale in base al 5° Censimento Generale dell'Agricoltura del 2000 (ISTAT, 2000), le aziende olivicole ammontano a poco meno di 199.000, con un incremento rispetto al 1990 del 16.6%, concentrate soprattutto nelle provincie di Agrigento, Caltanissetta e Palermo. L'olivicultura siciliana è caratterizzata da un'elevata polverizzazione aziendale, testimoniata dal fatto che quasi il 70% delle aziende insiste su una superficie minore di due ettari. Solo il 6.2% delle aziende olivicole isolate possono infatti contare su superfici olivicole maggiori di 10 ettari, e sono maggiormente concentrate nelle province di Enna e Ragusa (ISTAT, 2000).

La ricchezza dell'olivicultura siciliana è attestata dalle numerose varietà presenti ("Cerasuola", "Nocellara del Belice" e "Biancolilla", nella Sicilia occidentale; "Moresca", "Tonda Iblea" e "Nocellara Etnea", nella Sicilia orientale). Ad oggi la Sicilia conta ben otto Denominazioni di Origine Protetta (DOP) per la produzione di olio extra vergine di oliva: "Monti Iblei", "Valli Trapanesi", "Val di Mazara", "Monte Etna", "Valle del Belice", "Valdemone", "Colli Nisseni" e "Colline Ennesi" (Tabella 1).

Tabella 1 - DOP oli d'oliva siciliani

DOP	TERRITORIO	SUPERFICE OLIVICOLA (ha)	DATA RICONOSCIMENTO
Monte Etna	CT, EN, ME	4.687	Settembre 2003
Monti Iblei	SR, RG, CT	19.292	Giugno 2003
Val di Mazara	PA, AG	41.171	Marzo 2001
Valdemone	ME	24.036	Marzo 2005
Valle del Belice	TR	7.360	Settembre 2004
Valli Trapanesi	TR	7.747	Ottobre 1998
Colline Ennesi	EN	9.331	Maggio 2008
Colli Nisseni	CL	8.830	Gennaio 2008

Negli ultimi anni, grazie alla promozione del legame olio-territorio siciliano che ha portato alla realizzazione delle “Vie dell’Olio”, si è assistito ad un notevole sviluppo del turismo attraverso la costituzione di itinerari volti a coinvolgere le aziende produttrici a promuovere, oltre alla conoscenza dei prodotti, anche la diffusione del valore ambientale, storico e paesaggistico delle zone di produzione.

1.2 Metodi di produzione agricola

L’evoluzione dell'agricoltura è sempre andata di pari passo con lo sviluppo delle tecnologie, delle conoscenze e delle tecniche di coltivazione. In base a queste è possibile suddividere i sistemi di produzione come segue:

- **Agricoltura convenzionale:** produzione che usa concimi chimici di sintesi e pesticidi.
- **Agricoltura integrata:** coltivazione che fa uso ridotto di pesticidi chimici di sintesi (lista prodotti autorizzati) e concimi.
- **Agricoltura biologica:** conosciuta anche come agricoltura ecologica ed agricoltura organica nei diversi Stati membri non fa uso di pesticidi chimici di sintesi.

1.2.1 Agricoltura convenzionale

Con agricoltura convenzionale, viene definito quel sistema agricolo produttivo in cui vengono effettuate delle lavorazioni sistematiche di tipo meccanico al terreno e dei trattamenti sistematici alle colture utilizzando prodotti chimici: per la difesa delle piante, delle produzioni dai parassiti, per il controllo delle erbe infestanti, per la fertilizzazione del terreno, con grandi vantaggi, in termini di aumento delle produzioni e di risparmio di lavoro derivanti dal loro impiego (Fulton, 1989). L'agricoltura chimica si diffuse e si affermò nel XX secolo grazie ad alcune scoperte scientifiche.

Justus von Liebig nel 1839 aveva scoperto che gli organismi vegetali necessitavano almeno di tre elementi chimici: azoto, fosforo e potassio per poter crescere rigogliosi. La chimica non era ancora così sviluppata per essere usata massicciamente in agricoltura; solo dopo il 1920 ci furono i presupposti per produrre fertilizzanti e insetticidi chimici, che divennero però convenienti solo dopo la Seconda guerra mondiale, per effetto della diminuzione dei costi energetici (Il Giornale della Natura, 2000). Negli ultimi decenni l'uomo inevitabilmente si è trovato ad applicare dei sistemi intensivi, con un largo impiego di capitali provenienti da risorse esterne. Si sono ottenuti risultati molto soddisfacenti in termini di qualità e quantità, con conseguenti vantaggi di tipo economico. Tuttavia non sono mancate le ripercussioni negative per l'ecologia del sistema agricolo e dell'ambiente in genere (inquinamento del terreno e dell'acqua, eliminazione di insetti innocui ma sensibili ai veleni, perdita di fertilità dei suoli, induzione di resistenza agli antiparassitari, appiattimento della biodiversità). Per contrastare e limitare tali inconvenienti, le tendenze più attuali dell'agricoltura convenzionale prevedono una generale razionalizzazione degli interventi, con riduzione del loro numero nell'arco del ciclo colturale. Nello stesso tempo vengono abbassate le dosi somministrate con un duplice scopo: ridurre i pericolosi accumuli di sostanze dannose nel terreno e nelle falde acquifere sottostanti e diminuire i danni sulla vegetazione circostante, sugli insetti utili e sull'ambiente in genere (ARPAV, 2007).

1.2.2 Agricoltura integrata

Questo concetto emerso negli anni Novanta, in alcuni paesi mira a sostituire i trattamenti sistematici con interventi mirati, tenendo conto della valutazione del rischio di danni provocati da attacchi di malattie, insetti o dalla presenza di malerbe. Le norme tecniche di difesa integrata delle colture e controllo delle infestanti, sono parte integrante del Disciplinare regionale di Produzione integrata (DPI) e sono state predisposte per le colture di interesse produttivo per il territorio regionale conformemente alla normativa vigente in materia fitosanitaria ed alle "Linee Guida Nazionali per la Produzione Integrata delle colture: difesa fitosanitaria e controllo delle infestanti", definite dal Comitato Nazionale Produzione Integrata (CNPI) istituito presso il Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (MiPAAF) ai sensi del DM 2722 del 17 aprile 2008 (Regione Siciliana, 2013). La gestione integrata delle colture è una strategia che tiene conto di tutti gli elementi che caratterizzano una specifica realtà agricola: il suolo, la rotazione delle colture, la scelta delle varietà in base alle qualità del terreno, un utilizzo più razionale delle macchine agricole, dei fertilizzanti e dei prodotti fitosanitari. La gestione integrata valuterà di volta in volta la

necessità d'intervenire con lavorazioni, fertilizzazioni, trattamenti fitosanitari o qualsiasi altra pratica colturale in base alle necessità e alla valutazione del rischio.

1.2.3 Agricoltura biologica

L'agricoltura biologica è un metodo di produzione definito dal punto di vista legislativo a livello comunitario con il regolamento CE per l'agricoltura biologica n. 834/2007 (CE, 2007). Il termine "agricoltura biologica" indica un metodo di coltivazione e di allevamento che ammette solo l'impiego di sostanze naturali, presenti cioè in natura, escludendo l'utilizzo di sostanze di sintesi chimica (concimi, diserbanti, insetticidi). Secondo la *European Commission, Agriculture and Rural Development*, agricoltura biologica significa: “sviluppare un modello di produzione che rispetti il ciclo di vita naturale, minimizzando l’impatto antropico sull’ambiente e operando quanto più naturalmente possibile”.

In agricoltura biologica, non utilizzando sostanze chimiche di sintesi, alla difesa delle colture si provvede innanzitutto in via preventiva, selezionando specie resistenti alle malattie e intervenendo con tecniche di coltivazione appropriate, come, per esempio:

- la rotazione delle colture: non coltivando consecutivamente sullo stesso terreno la stessa pianta, da un lato si ostacola l'ambientarsi dei parassiti e dall'altro si sfruttano in modo più razionale e meno intensivo le sostanze nutrienti del terreno;
- la piantumazione di siepi ed alberi che, oltre a ricreare il paesaggio, danno ospitalità ai predatori naturali dei parassiti e fungono da barriera fisica a possibili inquinamenti esterni;
- la consociazione: coltivando in parallelo piante sgradite l'una ai parassiti dell'altra.

In agricoltura biologica si usano fertilizzanti naturali come il letame opportunamente compostato ed altre sostanze organiche compostate (sfalci, scarti alimentari, ecc.) e sovesci, cioè incorporazioni nel terreno di piante appositamente seminate, come le leguminose. In caso di necessità, per la difesa delle colture si interviene con sostanze naturali vegetali, animali o minerali: estratti di piante, insetti utili che predano i parassiti, minerali naturali per correggere struttura e caratteristiche chimiche del terreno e per difendere le coltivazioni dalle infestanti. Il ricorso a tecniche di coltivazione biologiche ricostruisce l'equilibrio nelle aziende agricole; qualora, comunque, si rendesse necessario intervenire per la difesa delle coltivazioni da parassiti e altre avversità, l'agricoltore può fare ricorso esclusivamente alle sostanze di origine naturale espressamente autorizzate e dettagliate dal Regolamento europeo (con il criterio della cosiddetta “lista positiva”) *European Union Register of Feed Additives pursuant to Regulation* (EC, 2003).

1.3 Metodi produttivi a confronto

Nel mettere a paragone i diversi metodi di produzione sul piano della sostenibilità ambientale risulta estremamente utile pensare in termini energetici. La differenza fondamentale riguarda la quantità di energia introdotta nell'agrosistema. Se nell'agricoltura convenzionale, infatti, si impiega una notevole quantità di energia aggiuntiva - proveniente dai fertilizzanti e dall'uso massiccio dei macchinari - l'agricoltura biologica si basa sulla materia organica, sfruttando le proprietà del terreno e della pianta. Si caratterizza, dunque, per un impatto ambientale nettamente inferiore rispetto all'agricoltura convenzionale. Ma questo modo di operare non è semplicemente fine a se stesso: si basa su una visione rispettosa dell'equilibrio naturale e della sostenibilità nel medio-lungo periodo (Altieri, 2008). L'agricoltura biologica limita infatti al minimo le esternalità negative su acqua, aria e terreno, a differenza dell'agricoltura industriale e meccanizzata che ha un impatto molto forte sull'ecosistema (Aimone e Biagini, 1999). L'impatto fra i due modelli di colture è a tal punto diverso che la Confederazione Italiana Agricoltori (CIA) ha evidenziato, in occasione della giornata mondiale della Terra del 2008, come la diffusione delle colture bio potrebbe abbattere le emissioni di gas serra dal 10 al 50%, un notevole contributo alla riduzione dell'effetto serra (FAO, 2007). Nelle coltivazioni bio si considerano soprattutto gli aspetti agronomici e il mantenimento del loro equilibrio. Sull'agricoltura biologica sembrano agire forze che la stanno conducendo fuori dall'ambito di nicchia in cui era stata inizialmente collocata, se ciò risulta vero, si pone il problema di "quantificare" meglio questo reparto agricolo per capire se e quanto sia sostenibile il percorso di sviluppo intrapreso (Zanoli, 2007).

Su questo fronte, di pari passo al processo di evoluzione che ha caratterizzato il settore, si sono moltiplicate negli ultimi anni le iniziative di studio e ricerca per definire i termini generali della sostenibilità e, in base a questi, verificare la sostenibilità dell'agricoltura biologica. Importante ricordare che gli attributi della sostenibilità sono molteplici e interrelati (ambientale, sociale, economico, demografico); inoltre, questi vanno valutati sia rispetto al tempo, poiché fanno riferimento alla disponibilità attuale e futura delle risorse, sia relativamente allo spazio, poiché ciò che può risultare sostenibile in un contesto territoriale potrebbe non esserlo in un altro. Ovviamente lo scopo di questo lavoro è quello di fare soltanto delle considerazioni sull'aspetto ambientale.

Gli obiettivi dell'agricoltura biologica la caratterizzano come un tipo di agricoltura multifunzionale e sostenibile, quantomeno sul piano ambientale, dove i vantaggi di questo metodo di produzione rispetto a quello convenzionale sono più facilmente riconoscibili (in particolare, conservazione della fertilità dei suoli e della biodiversità, riduzione di inquinamento da agrofarmaci, migliore rapporto con le risorse idriche). Resta tuttavia da chiarire quale sia la dimensione

relativa di questi vantaggi e in che misura essi possano effettivamente contribuire allo sviluppo sostenibile. Migliorare la conoscenza sull'agricoltura biologica può significare inoltre rispondere ad una finalità informativa rispetto a quella che possiamo indicare come la sua sostenibilità attesa e che rappresenta la percezione da parte del consumatore dei benefici derivanti dall'uso dei prodotti biologici, benefici non solo ambientali ma anche di tipo salutistico, oltre che edonistico (Gaviglio, 2007). E' evidente che informazioni carenti o distorte possono alterare tale percezione e possono contribuire ad alimentare le polemiche sui presunti *bluff* del biologico di cui si è avuta notizia, anche di recente, sulla stampa. Infatti, il prodotto biologico o, meglio, la sua presunta superiorità rispetto al convenzionale in termini di salubrità e impatto ambientale da cui consegue la disponibilità a pagare un prezzo più alto, è un bene reputazionale. Il consumatore, cioè, ha ben pochi elementi oggettivi per poter davvero valutare esistenza ed entità di tale superiorità. Li presume, piuttosto, dalla reputazione che il prodotto biologico possiede; reputazione che a sua volta il consumatore deduce, dal complesso insieme di informazioni che riceve al proposito.

Dopo l'esplosione del fenomeno dell'agricoltura biologica sono nati degli studi per stimarne l'effettivo valore; in Italia quello più accreditato è stato SABIO. Un progetto di ricerca, finanziato dal MiPAAF, sulla Sostenibilità dell'Agricoltura Biologica, sviluppato sotto il coordinamento di INEA (Istituto Nazionale di Economia Agraria), si inserisce nel dibattito in corso per contribuire a determinare la sostenibilità dell'agricoltura biologica, di cui studia le componenti socio-economiche, ambientali e salutistiche con l'obiettivo ultimo di stimarne il valore aggiunto complessivo. Dal punto di vista ambientale l'indagine è stata finalizzata a costruire indici relativi alle tecniche agronomiche adottate (uso di nutrienti e fitofarmaci, indici di erosione e ruscellamento) ed alla valutazione della biodiversità (Boatto et al., 2008). Questo progetto ha registrato l'impatto del metodo di coltivazione biologica, valutandone il valore aggiunto, esaminando le politiche di settore e fornendo gli strumenti agli *stakeholders* per l'identificazione di strategie finalizzate ad uno sviluppo adeguato del settore. Importanti diventano le ricadute del biologico anche sul piano del risparmio energetico. Dati recenti, forniti dall'inglese *Soil Association*, relativo ad uno studio condotto da scienziati canadesi (Zentner et al., 2011), confermano quanto già si supponeva fin dall'inizio del fenomeno: che si tratta di un metodo produttivo meno "energivoro", il che, risulta essere un dato positivo, in un'epoca che vede le fonti energetiche fossili avviate verso un non lontano esaurimento.

2 Obiettivi

Il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo la valutazione della qualità dei suoli in oliveti siciliani in relazione a differenti metodi di gestione agronomica. In particolare, quello che si è inteso valutare, sono stati gli effetti di sistemi di produzione agricola quali l'agricoltura convenzionale e l'agricoltura biologica sulle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche dei suoli. Lo studio ha inteso rispondere ad alcune domande:

- in termini di sostenibilità ambientale, è possibile riconoscere delle differenze (in particolare, conservazione della fertilità dei suoli e della biodiversità) tra i due differenti metodi di gestione agronomica? Gli obiettivi propri dell'agricoltura biologica che la caratterizzano come un tipo di agricoltura multifunzionale e sostenibile, sono facilmente raggiungibili seguendo il regolamento CE per l'agricoltura biologica (CE, 2007)? I vantaggi ottenibili da questo tipo di gestione agronomica in che misura possono effettivamente contribuire allo sviluppo sostenibile?
- come varia la qualità biologica del suolo, valutata con il metodo QBS-ar (Codurri et al., 2005), tra le due differenti pratiche colturali? E' possibile individuare taxa tipici associati alle due differenti pratiche colturali, oppure taxa sensibili agli stress indotti dalle pratiche colturali?
- E' possibile spiegare le differenze osservate nel popolamento sulla base delle caratteristiche chimiche e fisiche del suolo?

Per dare risposta a questi quesiti è stata organizzata e realizzata un'attività di campionamento di suoli e pedofauna in ambienti caratterizzati da olivicoltura convenzionale e biologica al fine di valutare l'influenza dei differenti metodi di produzione agricola sulla qualità dei suoli.

Questo studio rappresenta una base di valutazione degli impatti e dell'efficienza dei differenti metodi di gestione agronomica sulla qualità dei suoli nel tempo.

Il presente lavoro di tesi ha riguardato i risultati del campionamento estivo, con lo scopo di documentare la condizione del popolamento in un momento dell'anno in cui ci si aspetta siano elevati i fattori di stress dovuti alle caratteristiche climatiche della Sicilia.

3 Caratteristiche ed importanza del suolo

I suoli sono corpi naturali corrispondenti allo strato superficiale della crosta terrestre, costituenti il supporto della vita vegetale e animale e pertanto una risorsa naturale fondamentale. Si possono considerare tre fasi costituenti il suolo: solida, liquida e gassosa. La fase solida comprende una parte organica, derivante dalla decomposizione di organismi vegetali e animali o di loro parti, ed una inorganica, formata da frammenti di roccia, granuli minerali e dai prodotti derivanti dall'alterazione degli stessi. La fase liquida è associata all'acqua presente nel suolo più o meno da esso trattenuta. Infine, la fase gassosa è rappresentata dall'aria con i vari gas quali ossigeno, anidride carbonica e azoto (Giordano, 1999).

Secondo quanto formalizzato da Jenny (1941), alla formazione del suolo concorrono diversi fattori pedogenetici tra loro interagenti che sono: il clima, gli organismi vegetali e animali compreso l'uomo, il materiale derivante dalla roccia madre (materiale incoerente sovrastante la roccia non alterata), la morfologia e il tempo. A questi, possono aggiungersi fattori di importanza locale, quali ad esempio la saturazione idrica o la salinizzazione. Il risultato dell'azione combinata dei fattori della pedogenesi porta alla formazione di strati di suolo aventi caratteri fisici e chimici diversi tra loro, chiamati orizzonti. In base a quanto espresso dalla *Soil Survey Division Staff* (1993), un orizzonte è uno strato, più o meno parallelo alla superficie del suolo, risultante dai processi di formazione del suolo, distinguibile dagli strati adiacenti per delle proprietà caratteristiche.

Sempre secondo la *Soil Survey Division Staff* (1993), i principali orizzonti dei suoli sono:

- orizzonti O (organici), nei quali la componente principale risulta essere il materiale organico, come ad esempio lettiera decomposta o parzialmente decomposta;
- orizzonti A (organo-minerali), formati alla superficie e generalmente sotto un orizzonte O e caratterizzati da sostanza organica umificata frammista alla componente minerale;
- orizzonti E (eluviali), presenti vicino alla superficie, al di sotto di un orizzonte O, questi orizzonti hanno subito la perdita di sostanze in soluzione o sospensione e ne risultano perciò impoveriti;
- orizzonti B (illuviali), formati sotto agli orizzonti A, E o O e caratterizzati dall'accumulo di sostanze provenienti dagli orizzonti superiori;
- orizzonti C, riconducibili principalmente a strati minerali, incoerenti, nulla o poco influenzati dai processi che coinvolgono gli orizzonti O, A, E o B e perciò mancanti delle proprietà degli stessi;

- orizzonti R, costituenti la roccia madre inalterata e coerente;
- orizzonti di transizione, che si trovano tra due differenti orizzonti quando quest'ultimi non hanno una separazione netta, o le proprietà dell'orizzonte sovrastante e di quello sottostante sono sovrapposte, oppure parti di un orizzonte sono incluse in un altro.

Il suolo è una risorsa non rinnovabile, che soddisfa molte funzioni vitali di importanza socio-economica ed ambientale. Il suolo ha un ruolo come habitat e *pool* genetico; funge da basamento per le attività antropiche, il paesaggio e il patrimonio storico e fornisce molte materie prime. Pertanto, il suolo è sottoposto a molte pressioni essendo alla base di una gamma di beni e servizi essenziali che garantiscono e regolano la vita sul pianeta (*Millennium Ecosystem Assessment, 2005*). Questo complesso sistema biogeochimico è non solo un mezzo di supporto per la produzione agricola e forestale, ma soprattutto un componente critico di un insieme diversificato di eco-processi relativi al ciclo dell'acqua, ai flussi di carbonio organico, alla produzione e immagazzinamento di gas ad effetto serra, al ciclo dei nutrienti. Così, come riportato dal *The European Environment State and Outlook 2010* (Jones et al., 2010) in riferimento al comparto suolo, il nostro benessere e la nostra economia dipendono da un moltitudine di funzioni riconducibili al suolo.

- Il suolo è il mezzo che ci permette di produrre il cibo, per noi esseri umani e per gli animali, le fibre naturali, il legname e sostiene la fauna selvatica. Circa il 99% della fornitura globale di cibo per il consumo umano proviene dalla produzione basata sull'agricoltura (FAO, 2007);
- il suolo è un filtro naturale che neutralizza alcuni inquinanti trasformandoli o accumulando e assorbendo la loro tossicità. Inoltre, i suoli sono un fattore importante nella purificazione dell'acqua ed una componente fondamentale per la regolazione delle inondazioni attraverso l'accumulo dell'acqua piovana. L'impermeabilizzazione e la compattazione dei suoli comportano un più rapido afflusso di acqua piovana alla rete fluviale;
- il suolo è un reattore biologico dove spoglie vegetali e animali e altri scarti organici sono decomposti per fornire nutrienti che sostengono la vita, tramite processi di decomposizione guidati da una grande quantità di microrganismi come batteri, funghi, protozoi, nematodi, insetti, ragni, vermi, e apparati radicali. Questo biota è coinvolto nella maggior parte delle funzioni più importanti del suolo: guida i processi fondamentali del ciclo dei nutrienti, regola le comunità vegetali, influenza la degradazione delle sostanze inquinanti e contribuisce alla stabilizzazione della struttura del suolo. Gli organismi del suolo rappresentano anche una

fondamentale risorsa biotecnologica, ad esempio, molte specie di batteri e attinomiceti possono essere fonti di antibiotici e altri farmaci;

- il suolo svolge un ruolo cruciale nel regolare una serie di cicli biologici e chimici a sostegno della vita naturale (azione ecosistemica). Carbonio, azoto e altri nutrienti essenziali vengono continuamente riciclati nel ciclo che coinvolge il suolo, le piante, i depositi geologici, l'acqua e l'atmosfera. L'intensità di questi scambi biogeochimici varia da luogo a luogo ed è regolata dalle specifiche caratteristiche ambientali del suolo;
- il suolo costituisce la base su cui costruire gli edifici, le strade e altre infrastrutture. Oltre a fornire il supporto fisico per la maggior parte delle infrastrutture umane, il suolo fornisce anche una gamma di materie prime come argilla per la ceramica e torba per la produzione di combustibile;
- il suolo conserva il patrimonio storico e archeologico sepolto, preservandolo da danni e impoverimento. Il grado di conservazione dipende dalle caratteristiche del suolo e dalle condizioni locali.

3.1 Proprietà fisiche dei suoli

Riferendosi alla fertilità del suolo occorre considerarne i tre aspetti salienti che la caratterizzano, rappresentati dalla fertilità fisica, chimica e biologica. Le principali proprietà fisiche dei suoli utili ai fini agronomici sono le seguenti:

- *tessitura*;
- *struttura*;
- *porosità*;
- *densità*.

3.1.1 Tessitura

La tessitura è definita come la percentuale relativa delle differenti particelle minerali comprese nella terra fine (< 2 mm), caratterizzate da dimensioni specifiche: sabbia, limo e argilla.

Queste percentuali vengono determinate mediante l'analisi granulometrica di campioni del terreno che vengono effettuate usando setacci di tipo standard e pesando di volta in volta le frazioni che passano attraverso il setaccio con fori di diametro prescelto.

Questo procedimento viene effettuato per granulometrie decrescenti fino alla sabbia grossa (2 - 0.2 mm). Per le frazioni più fini (sabbia fine, limo e argilla) si utilizzano altri metodi; quelli più noti sono il metodo della sedimentazione o densimetrico ed il metodo della levigazione (Violante, 2013). Entrambi si basano sul fatto fisico che una particella solida di forma definita immersa nell'acqua si muove verso il basso con una velocità che dipende dalla sua dimensione e dal suo peso specifico.

3.1.2 Struttura

La struttura rappresenta il prodotto dei processi che aggragano, cementano e compattano i costituenti del suolo. Più precisamente definisce il modo in cui si dispongono tra loro, in condizioni naturali i materiali organici e inorganici presenti nel suolo allo stato colloidale; in più descrive una condizione fisica diversa da quella dei materiali originari dai quali si forma e può essere riferibile ai processi di pedogenesi.

Dipende dalle dimensioni delle particelle che costituiscono il suolo (cioè dalla tessitura) e dal modo con cui si dispongono venendo a contatto tra loro.

La stabilità degli aggregati definisce la resistenza della struttura del suolo al processo di degradazione. Dalla struttura dipendono la quantità e le dimensioni dei pori e quindi la capacità del

terreno di assorbire e di lasciar passare l'acqua e l'aria, il che è importantissimo per l'utilizzazione agricola.

La struttura del terreno è influenzata:

- dagli interventi antropici attraverso le operazioni colturali, che, in relazione alla loro realizzazione, possono migliorare, mantenere o peggiorare tale aspetto;
- dagli agenti esistenti in natura attraverso l'azione meccanica esercitata dalle radici delle piante e dagli animali; le variazioni climatiche; l'azione chimica solvente o coagulante degli ioni (Violante, 2013).

3.1.3 Porosità

La porosità è definita dal rapporto percentuale tra il volume occupato dai pori e il volume del campione (Violante, 2013). Ai fini dello studio dei fenomeni di filtrazione risulta importante quantificare la frazione dei pori nei quali l'acqua può circolare e la frazione dei pori nei quali l'acqua non può di fatto circolare e per questa ragione è stato introdotto il concetto di porosità efficace, che equivale al rapporto fra il volume dei vuoti intercomunicanti nei quali l'acqua può liberamente circolare e il volume totale del terreno. Più precisamente viene definito porosità efficace, usualmente indicata con n_e , il rapporto fra il volume d'acqua rilasciato per gravità da un campione di terreno o di roccia perfettamente saturo e il volume totale del campione. La ritenzione specifica viene invece definita come il rapporto fra il volume d'acqua trattenuto da un campione di terreno saturo dopo aver operato un drenaggio per gravità e il volume totale del campione. La porosità di una roccia o di un terreno è data quindi dalla somma fra la porosità efficace e la ritenzione specifica (Hiscock, 2005).

3.1.4 Densità

Il terreno è una massa discontinua di particelle solide le quali hanno un loro peso specifico. Poichè nel terreno esistono anche degli spazi vuoti, bisogna distinguere un peso specifico assoluto ed un peso specifico apparente. Il peso specifico assoluto corrisponde al peso specifico delle singole particelle di terreno, senza considerare gli spazi vuoti presenti. Esso è il rapporto tra il peso delle sole particelle di terreno ed il volume occupato esclusivamente da esse. Il peso specifico assoluto si misura determinando esattamente il volume di particelle attraverso l'incremento volumetrico che esse determinano quando sono poste in un liquido. Il peso specifico apparente corrisponde al peso delle particelle per unità di volume di suolo in loco. In tale volume sono, perciò inclusi i pori del

terreno. Il peso specifico apparente si misura prelevando un campione di volume noto, essiccandolo e pesandolo (Giordano, 1999).

Il peso specifico assoluto varia con la natura delle particelle solide. Esso raggiunge i valori massimi nei terreni dove la componente minerale è elevata ed i valori minimi nei terreni caratterizzati da elevata presenza di materia organica.

3.2 Proprietà chimiche dei suoli

Le principali proprietà chimiche dei suoli utili ai fini agronomici sono le seguenti:

- *pH*;
- *salinità*;
- *calcare totale e calcare attivo*;
- *sostanza organica*;
- *azoto (N)*;
- *fosforo (P)*;
- *CSC e basi scambiabili*;
- *microelementi*.

3.2.1 pH

Il pH è una misura della concentrazione di idrogenioni $[H^+]$ in una soluzione acquosa; questa caratteristica influenza tutte le reazioni che avvengono in natura. Il pH del terreno misura la concentrazione di idrogenioni nella soluzione circolante, cioè la fase liquida che si trova negli spazi lasciati liberi dalle particelle solide. Dato che questa soluzione interagisce continuamente con le superfici solide del terreno, chiamate comunemente superfici di scambio proprio per la presenza di questi intensi fenomeni di interazione, il pH del terreno dipende soprattutto dalla natura chimica di queste superfici, ed in particolare dal numero di siti di scambio (cariche superficiali positive o negative) e dal loro grado di saturazione e quindi dal numero e dal tipo di basi di scambio (K, Mg, Ca, Na) presenti nel terreno. La possibilità che il pH di un suolo possa modificarsi dipende dalla capacità delle superfici a rilasciare idrogenioni o basi di scambio per contrastare queste variazioni di pH della soluzione circolante (potere tampone); essa dipende dalla quantità e tipo di argille e sostanza organica presenti nel terreno.

Quindi il pH del terreno dipende:

- dalla presenza di idrogenioni nella soluzione circolante;
- dal tipo e dal grado di saturazione dei colloidi argillosi ed organici;
- dalla natura delle basi di scambio.

(ARPAV, 2007).

3.2.2 Salinità

I sali solubili presenti nel terreno sono indispensabili per la nutrizione delle piante, ma a condizione che la loro concentrazione rimanga contenuta entro certi valori. Elevate concentrazioni saline possono, a seconda della specie ionica presente, provocare squilibri nutrizionali, effetti di tossicità per le piante, danni alla struttura del terreno e, in certi casi, modifiche del pH. Tralasciando queste situazioni estreme, un aumento di salinità, in generale, determina un incremento della tensione della soluzione circolante che a sua volta provoca una maggiore difficoltà ad assorbire acqua ed elementi minerali da parte delle piante: questo fenomeno dipende sia dal contenuto in sali solubili, che dalla pressione osmotica da essi esercitata. La conducibilità elettrica (CE) dell'estratto saturo del terreno, o in alternativa di sospensioni suolo/acqua in diversi rapporti, essendo strettamente proporzionale alla pressione osmotica, è un indice efficiente e di facile utilizzo per la diagnosi di salinità. Non è sufficiente considerare la concentrazione di sali solubili per conoscere l'effetto negativo indotto dall'aumento della pressione osmotica sulle piante in quanto bisogna tener conto, a parità di contenuto salino, anche della differente capacità di ritenzione idrica dei terreni, aspetto capace di regolare la concentrazione salina e la pressione osmotica della soluzione del suolo. Le colture inoltre possono presentare una diversa sensibilità alla salinità. Nel momento in cui si rileva una condizione di salinità eccessiva è fondamentale risalire alle cause che la determinano per cercare di rimuoverle. Essa può essere dovuta alla presenza di falde o acque di irrigazione ricche di sali, ad una naturale dotazione del terreno o all'abuso di fertilizzanti soprattutto in colture in cui viene a mancare l'azione dilavante delle piogge. È sempre utile comunque conoscere i componenti della salinità del terreno in quanto vi possono essere specie ioniche che, anche se eccedenti, possono essere eliminate per dilavamento senza comportare problemi se non di tipo ambientale (ad es. l'azoto nitrico); altre invece come il sodio, il cloro, il boro e l'alluminio possono causare squilibri metabolici e/o effetti tossici nei vegetali e deteriorare la struttura del terreno. (ARPAV, 2007).

3.2.3 Calcare totale e calcare attivo

Per calcare totale si intende la componente minerale del terreno costituita fondamentalmente da carbonati di calcio, magnesio e sodio. Dato che il primo è predominante rispetto agli altri e analiticamente non è possibile la distinzione fra le varie forme, per convenzione il calcare del terreno viene espresso come carbonato di calcio (CaCO_3). Esso può costituire in alcuni suoli alcalini più della metà della frazione solida del terreno contribuendo a definirne le proprietà; nei terreni acidi invece esso si presenta raramente e comunque in quantità molto limitate, al punto che quando

il pH è inferiore a 6.5 la determinazione del calcare può essere evitata. Se presente entro certi parametri, la presenza di calcare nel suolo è da considerarsi positiva per la funzione nutrizionale esplicata dal calcio nei confronti delle piante e per gli effetti favorevoli sulla struttura e sulla mineralizzazione delle sostanze organiche. Se però la sua presenza supera certi limiti e soprattutto in forme mineralogiche molto attive, si possono manifestare i tipici inconvenienti dei terreni “costituzionalmente alcalini”. La conoscenza del contenuto in calcare totale non può dare precise indicazioni riguardo alla sua reale capacità di indurre effetti indesiderati; nel suolo infatti la possibilità che i vari componenti siano coinvolti in processi chimici dipende soprattutto da quanto fine sia la dimensione delle loro particelle. Per rimediare a questo limite viene determinato il calcare attivo che rappresenta il calcare presente in forme più finemente suddivise e quindi più idrolizzabili e solubili. Il contenuto in calcare totale condiziona, tanto quanto l’argilla, la velocità di degradazione della sostanza organica del terreno; maggiore è la quantità di calcare presente e maggiore è la staticità del terreno nei confronti di quei processi che trasformano i composti organici (ARPAV, 2007).

3.2.4 Sostanza organica

Come già descritto al paragrafo 3, il terreno è costituito da una fase solida, da una fase liquida ed da una fase gassosa; la fase solida a sua volta si può distinguere in frazione minerale e frazione organica. La frazione organica nei terreni agrari rappresenta in genere l’1-3% in peso, della fase solida, mentre è il 12-15% in volume; questo si traduce in un ruolo fondamentale sia per la nutrizione delle piante che per il mantenimento della struttura del terreno dato che essa costituisce una grossa parte delle superfici attive del suolo. Nei terreni naturali la quantità di sostanza organica può essere anche sensibilmente più elevata e si attesta spesso tra il 5 ed il 10% in peso; il terreno è uno dei grandi serbatoi di carbonio del globo terrestre e tutte le tecniche di gestione del suolo che riducono l’ossidazione e mineralizzazione della sostanza organica contribuiscono a ridurre l’emissione di anidride carbonica in atmosfera e quindi le conseguenze negative legate all’effetto serra. La frazione organica però non è omogenea ma comprende gruppi di composti fra loro diversi per natura e proprietà chimiche. Si possono individuare 4 componenti principali: i residui vegetali ed animali, gli organismi viventi, le sostanze facilmente degradabili e le sostanze stabili. Per residui si intendono quelle sostanze che arrivano al terreno come foglie, parti legnose, essudati radicali, deiezioni animali, ecc. e che pur essendo già in fase di degradazione mantengono la loro struttura fisica originaria. In ambienti naturali costituiscono uno strato superficiale chiamato lettiera. Gli organismi viventi comprendono forme molto diverse, dalle più grandi come insetti e lombrichi che

svolgono un'azione cementante sulla struttura del terreno, alle più microscopiche come funghi e batteri che operano le trasformazioni delle sostanze presenti nel terreno. Questa componente è stata notevolmente rivalutata negli ultimi anni da quando è aumentata l'attenzione nei confronti della biodiversità, proprio perché nel suolo la varietà e diversità degli organismi è molto elevata. La sostanza organica degradabile è l'insieme dei prodotti della rapida trasformazione dei residui operata dagli organismi del suolo; essa è ancora soggetta ad ulteriori alterazioni e modifiche e quindi è destinata ad evolvere in tempi brevi. La sostanza organica stabile è quella che ha subito dei processi tali da resistere alla degradazione da parte di tutti gli organismi e quindi è caratterizzata da tempi di vita elevati; è questa che si definisce sostanza umificata o humus. I processi che regolano l'evoluzione della sostanza organica sono molto complessi ma tutti riconducibili a reazioni di tipo "costruttivo" (umificazione), che portano alla formazione dell'humus, e di tipo "distruttivo" (mineralizzazione) che danno come risultato la disgregazione della sostanza organica ed il rilascio di elementi minerali. Nel sistema suolo-pianta la sostanza organica risulta fondamentale per le funzioni nutrizionali e strutturali che essa svolge.

Funzioni nutrizionali

- La mineralizzazione della sostanza organica provoca il rilascio degli elementi in essa contenuti come azoto, fosforo, potassio, magnesio, calcio, ecc.; questi possono venire assorbiti ed utilizzati dalla pianta;
- alcune classi di microrganismi importanti per la fertilità del suolo necessitano di sostanze organiche per la sopravvivenza;
- composti organici chelano alcuni microelementi quali ferro, boro, manganese, zinco, rame e di fosforo, e fanno in modo che questi siano disponibili per le radici delle piante;
- alcune sostanze organiche sono esse stesse assorbite dalle piante in cui svolgono funzioni ormonali favorendo lo sviluppo di alcuni tessuti vegetali;
- costituisce gran parte del complesso di scambio, cioè di quelle superfici del terreno in grado di trattenere gli elementi nutritivi e di impedirne il dilavamento.

Funzioni strutturali

- Forma con le argille degli aggregati stabili detti complessi umo-argillosi che sono in grado di dare maggior struttura al terreno;
 - nei terreni sabbiosi aumenta la capacità di trattenuta idrica, impedendo il dilavamento dei nutrienti;
 - nei terreni limosi evita la formazione di croste superficiali o di suole di lavorazione ed altri strati impermeabili;
- nei terreni argillosi contrasta i fenomeni di compattamento, di crepacciatura estiva, di erosione nei terreni declivi (ARPAV, 2007).

3.2.5 Azoto (N)

Fra gli elementi assorbiti dalla pianta con le radici l'azoto è quello più comune in tutti i terreni; le forme chimiche più semplici in cui esso è presente sono gli ioni ammoniacale e nitrico. Soprattutto il primo è in grado di formare legami forti con i composti organici e partecipa alla sintesi di sostanze complesse, come proteine ed acidi nucleici. Nel terreno il 97-99% dell'azoto totale è costituito da azoto organico, mentre la restante parte è presente in forma ammoniacale e nitrica. Le piante utilizzano principalmente l'azoto inorganico, soprattutto quello nitrico; dopo essere stato assorbito questo viene riorganizzato per formare nuovi tessuti vegetali. Il ciclo dell'azoto ha il suo ambiente chiave nel terreno, in quanto è proprio in questo ambiente che hanno luogo i due principali processi che regolano la trasformazione dell'azoto in forme più o meno disponibili: la mineralizzazione, cioè la distruzione di strutture complesse fino ai composti più semplici, e l'immobilizzazione, cioè l'utilizzazione delle forme semplici per la sintesi di sostanze complesse. I principali protagonisti di questi processi sono i microrganismi ed in particolare i batteri, dai quali dipende la presenza nel terreno di azoto disponibile. Nel mondo agricolo si ritiene comunemente che l'azoto distribuito con i fertilizzanti chimici, come urea, solfato o nitrato ammonico, rimanga per un certo tempo prontamente assorbibile dalle piante e disponibile per favorire il loro sviluppo. Una ricerca di Nannipieri e Ciardi (1982), confermava i risultati di ricerche svolte su altre colture ed in altre condizioni pedoclimatiche. Tale studio metteva in evidenza come nel prodotto raccolto da un prato fosse presente solo il 25% dell'azoto ureico (marcato con ^{15}N) distribuito come concime, mentre il 60% era rimasto nel terreno, probabilmente in forma organica, ed il 15% era andato perso; inoltre una percentuale variante dal 75 al 99% dell'azoto contenuto nel raccolto era dovuta all'elemento non marcato e dipendeva dall'assorbimento, da parte della coltura, dell'azoto minerale proveniente dal "pool organico" presente nel terreno. Ricerche più recenti sono concordi

nell'indicare che il 10-40% dell'azoto dato con i fertilizzanti viene organicato nel suolo, il 5-10% viene perso per dilavamento, il 10-30% viene perso in forma gassosa e solo il 30-70% viene assimilato dalla pianta. È chiaro quindi che solo una parte dell'azoto distribuito con i fertilizzanti chimici viene direttamente utilizzato dalle piante; una buona parte di esso viene incorporato nelle sostanze organiche del suolo, cioè viene immobilizzato per essere rilasciato in tempi successivi. In particolare questo azoto è costituito da aminoacidi e proteine (25-50%), esosammine (5-10%), acidi nucleici (1%) e da una frazione la cui struttura chimica è sconosciuta (30-40%) (Nannipieri e Ciardi, 1982).

L'azoto nell'agronomia moderna è considerato il fattore principale della produzione soprattutto nel determinare il buon esito di una coltura; ciò è dovuto all'evidente effetto positivo provocato dalle somministrazioni di azoto alle colture nelle varie fasi del loro ciclo. Come conseguenza in alcuni casi si è assistito ad un appiattimento delle dosi distribuite alle diverse colture (da 200 a 300 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) senza tener conto della specificità delle singole colture. Le esigenze in azoto variano notevolmente fra le varie colture; alcune come le leguminose sono autosufficienti grazie alla simbiosi con i batteri azotofissatori che vivono nelle radici e trasformano l'azoto atmosferico in azoto ammoniacale; altre colture presentano fabbisogni variabili: meno esigenti le colture arboree, i fabbisogni aumentano per le orticole, dalle crucifere, alle cucurbitacee, alle solanacee, ed infine le più esigenti sono le graminacee, e in particolare il mais, che, soprattutto con la selezione di ibridi più sensibili alla fertilizzazione azotata, necessita di quantità spesso superiori ai 250 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Il problema della fertilizzazione azotata coinvolge comunque problematiche complesse come quella degli apporti di azoto disponibile per le piante con i materiali organici come liquami, letami ed altri concimi organici, del rilascio di nutrienti nel sottosuolo, della qualità delle produzioni (ARPAV, 2007).

3.2.6 Fosforo (P)

Il fosforo viene abitualmente incluso tra i macroelementi, anche se contenuto nelle piante in quantità molto più modeste dell'azoto, del potassio e del calcio; le rimozioni di fosforo in un anno di produzione per una coltura arborea sono dell'ordine della decina di $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, per le altre colture variano da 20 ad 80 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Da quando la pratica della nutrizione minerale si è diffusa in agricoltura, esso è sempre stato considerato uno degli elementi fondamentali per il mantenimento di un buon livello di fertilità. Questo è legato alla sua scarsa mobilità nel terreno e all'insolubilizzazione cui va incontro facilmente nei terreni non neutri; tali condizioni possono

renderlo un fattore limitante per un'ottimale sviluppo delle piante. Le forme fosfatice presenti nel suolo sono molto stabili; la velocità con cui il fosforo viene immobilizzato in forme insolubili dipende da fattori diversi, quali il pH del suolo, il contenuto in calcio, ferro ed alluminio, la quantità ed il tipo di argilla e di sostanza organica. Il fosforo infatti si trova nel terreno come fosfati minerali, in particolare di ferro, alluminio e calcio la cui presenza relativa dipende da un equilibrio regolato dal pH del suolo, oppure in forma di fosforo organico presente nei residui animali e vegetali. La forma solubile del fosforo, e quindi assimilabile dalle piante, è quella dello ione ortofosfato, dotato di carica negativa; la reattività di questo ione con la matrice minerale del suolo è piuttosto complessa poiché dipende dalla natura ed estensione delle superfici, dalla quantità e natura degli altri ioni disciolti, dalla temperatura, dal pH e dal contenuto in acqua. Le principali reazioni consistono nella formazione di numerosi composti fra ioni ortofosforici e cationi presenti sulle superfici di scambio; esse avvengono in più stadi successivi con la rapida formazione di “complessi fosfatici di adsorbimento” e la lenta cessione degli ioni fosforici presenti sulla superficie adsorbente. Nell'equilibrio fra fosforo insolubilizzato e fosforo solubile importante è il ruolo delle sostanze organiche e dei microrganismi; in particolare gli acidi organici, prodotti dagli apparati radicali delle colture o formati dalla degradazione della sostanza organica del terreno, possono, successivamente all'intervento di ioni positivi, funzionare da trasportatori dei fosfati dai siti di adsorbimento agli apparati radicali della pianta. I microrganismi da parte loro regolano il ciclo del fosforo agendo in particolare sulla demolizione dei composti organici fosforati e l'organizzazione di fosforo minerale. E' stato accertato inoltre come sia molto importante per l'assorbimento del fosforo da parte delle piante, la presenza di particolari organismi fungini in grado di formare con le radici dei vegetali delle simbiosi che prendono il nome di micorrize. Nell'accertare il motivo del maggior sviluppo e vigore delle piante micorrizzate si è visto come l'assimilazione del fosforo sia molto maggiore in queste piante; con molta probabilità le micorrize funzionano da “prolungamento” delle radici, e sono dotate di elevata efficienza per l'assorbimento del fosforo anche in zone in cui l'elemento è presente in maniera limitata nelle forme assimilabili (ARPAV, 2007).

3.2.7 CSC e basi scambiabili

Per elementi scambiabili del terreno si intendono quegli elementi chimici che in notevole quantità interagiscono, con un legame di tipo ionico, con le superfici delle particelle organiche e minerali del suolo; poiché le cariche presenti su queste superfici sono negative per i pH più comuni del suolo, tra valori di 5 e 8.5, questi elementi sono dei cationi. Quello generalmente più presente è il calcio, seguito da magnesio e potassio in quantità simili, mentre il sodio si trova quasi sempre a basse

concentrazioni; la presenza di quest'ultimo in quantità elevate può causare perdita di fertilità (suoli salini-alcalini). Altri elementi con carica positiva e quindi scambiabili (ferro, manganese, zinco, rame ed altri metalli) sono presenti in quantità molto inferiori e quindi considerati microelementi. Questi elementi nel suolo si trovano, come detto, legati alle superfici con carica negativa, quindi colloidali organici ed argillosi; essi si scambiano tra loro, in rapporti che dipendono dal prevalere dell'uno o dell'altro catione, in forma dinamica, dando origine a fenomeni di continuo rilascio nella soluzione del suolo. La presenza di queste sostanze che hanno una superficie esterna con carica negativa genera quindi fenomeni di scambio. La quantità di cariche negative presenti sulla superficie degli scambiatori rappresenta la Capacità di Scambio Cationico (CSC); lo scambio ionico rappresenta uno dei principali meccanismi con cui il terreno trattiene e mette a disposizione delle piante e dei microrganismi elementi quali il calcio, il magnesio, il potassio, l'azoto ammoniacale, perciò la CSC è un indice della potenziale fertilità chimica del terreno. Maggiore è questa capacità e maggiore è la quantità di cationi scambiabili presenti nel terreno. Poiché potassio, magnesio e calcio, insieme al sodio meno presente, costituiscono la grande maggioranza dei cationi presenti nei suoli neutri ed alcalini, la somma delle loro forme scambiabili corrisponde alla CSC del suolo (ARPAV, 2007).

3.2.8 Microelementi

Nel momento in cui gli elementi vengono classificati in funzione della quantità coinvolta nel metabolismo delle piante allora si distingue fra macro e microelementi. Questa distinzione ricopre i livelli degli elementi assimilabili presenti nel terreno. I microelementi essenziali per i vegetali sono ferro, manganese, zinco, rame e molibdeno, mentre il boro è essenziale per molte delle piante coltivate; fra questi zinco, rame e molibdeno sono meno interessanti per la rarità dei fenomeni di carenza riscontrabili nei nostri ambienti, mentre sono considerati fra i metalli pesanti come potenziali inquinanti dei suoli in seguito alla distribuzione ripetuta di fertilizzanti minerali, fanghi, compost, liquami ed antiparassitari. I microelementi hanno delle caratteristiche che li accomunano; spesso possono provocare fisiopatie da carenza, ma talvolta anche da eccesso, e la differenza tra la soglia di sufficienza e quella di tossicità, pur variando da specie a specie, è a volte molto sottile. La loro mobilità nel terreno, e la loro assimilabilità da parte delle piante, sono influenzate dalle condizioni del suolo, in particolare dal pH, dall'umidità, dalla tessitura, dalla temperatura e dalle concentrazioni di carbonati, fosfati e composti organici. Inoltre la loro disponibilità è condizionata dalle escrezioni microbiche e dalla quantità e tipo di sostanze organiche con le quali formano dei composti di coordinazione e di chelazione (ARPAV, 2007).

3.3 Proprietà biologiche dei suoli

Il monitoraggio biologico del suolo è rivolto alla valutazione della qualità del suolo attraverso l'uso di organismi viventi. La fauna del suolo è costituita da organismi sensibili alle alterazioni di origine naturale o antropica e agli equilibri chimico-fisici di questo ambiente; questi organismi si possono di conseguenza considerare dei buoni indicatori (Parisi, 2001). Rispetto ad altre matrici (aria, acqua), la ricerca e l'applicazione di strumenti biologici per identificare la qualità biologica del suolo mostrano ancora un notevole ritardo, riconducibile soprattutto alle carenze conoscitive sugli ecosistemi edafici e sui loro singoli componenti.

L'idea di base della bioindicazione è che la relazione tra fattori e comunità del suolo può essere specifica. In pratica quando i fattori del suolo influenzano la struttura di comunità, la struttura di comunità può contenere informazioni relative alle caratteristiche del suolo. La bioindicazione può essere definita come la lettura di un cambiamento della struttura della comunità o della funzione dei processi biochimici o cellulari, indotto da un'alterazione del sistema e può essere quantificata. Informazioni relative alla qualità ambientale e alle variazioni che avvengono in un ecosistema possono essere ottenute da diversi livelli di organizzazione biologica. I *biomarker*, per esempio, consentono la misura di variabili biochimiche e fisiologiche negli individui e nei loro prodotti di escrezione; i bioindicatori, organismi con specifiche richieste ecologiche, forniscono indicazioni relative ai cambiamenti ambientali; le comunità, che rappresentano i livelli di complessità più elevata, consentono di ottenere informazioni riguardanti l'intera zoocenosi e le relazioni che la caratterizzano; gli indici, complesso di più indicatori, permettono di avere informazioni sintetiche da più parametri, fornendo però un grado di specificità e risoluzione minore. A differenza degli organismi bioindicatori, che sono in grado di fornire indicazioni relative ad un cambiamento all'interno di un ecosistema, gli organismi bioaccumulatori sono organismi che assimilano dal suolo, dall'acqua o dall'atmosfera quantità misurabili di elementi chimici e/o di composti xenobiotici.

L'individuazione di un organismo come bioindicatore è un'operazione complessa, che generalmente richiede conoscenze dettagliate relative alla tassonomia e all'ecologia delle specie individuata come potenzialmente indicatrice. Per lo studio della comunità di viventi del suolo, attualmente sono disponibili un numero limitato di indicatori ed indici i cui protocolli e procedure siano standardizzati e accettati a livello internazionale. Inoltre, nella maggior parte dei casi, non sono ancora disponibili valori di riferimento di suoli definiti di buona qualità, e tali valori possono variare significativamente in relazione alla tipologia di suolo, all'uso al periodo colturale, ecc.. Per questi motivi si rendono necessari ulteriori studi condotti su indicatori a differenti livelli di

organizzazione biologica e in situazioni ambientali anche molto diverse (Bacchi, 2012). E' importante considerare che studi e indicazioni di tipo biologico non possono essere isolate dagli altri due elementi di valutazione dello stato di salute di un suolo: analisi chimiche e fisiche.

3.3.1 La struttura di popolamento della pedofauna

L'insieme della fauna che abita nel suolo (pedofauna) svolge un ruolo fondamentale nella vita e nello sviluppo dello stesso. Ogni individuo, in base al tipo di attività, interagisce in maniera differente con l'ambiente contribuendo alla formazione ed evoluzione del suolo ed alla trasformazione dei nutrienti. Protozoi, batteri, nematodi, funghi, anellidi, aracnidi, insetti e altri artropodi saprofagi svolgono un ruolo fondamentale nella decomposizione e trasformazione della sostanza organica, nel riciclo delle sostanze nutritive, e nel rimescolamento del suolo. I predatori, come acari, pseudoscorpioni, araneidi, alcuni coleotteri e formicidi, contribuiscono a regolare il numero di individui delle altre popolazioni di invertebrati. Come tutti gli animali, anche quelli che vivono nel suolo risentono dei cambiamenti ambientali. Le modificazioni delle componenti chimico-fisiche e biologiche del suolo, della sua aereazione e idratazione e l'immissione di sostanze inquinanti, possono provocare profonde modificazioni nella struttura dei popolamenti. Per questo motivo, gli invertebrati del suolo sono degli ottimi indicatori della qualità dell'ambiente in cui vivono e sempre per questo motivo bisogna porre molta attenzione nella gestione e utilizzo di questo complesso ecosistema (Jeffery et al., 2010).

Dunque le zoocenosi del suolo possono essere considerate importanti descrittori della qualità di questo ambiente. In base ad una classificazione sulla taglia, si possono distinguere quattro categorie: **microfauna** (animali di taglia inferiore agli 0,2 mm) a cui appartengono principalmente protozoi, batteri, nematodi, rotiferi e tardigradi; **mesofauna** (animali di taglia compresa tra gli 0,2 mm ed i 5 mm) (Figura 3) a cui appartengono acari (Figura 4), collemboli (Figura 5), larve di ditteri e di coleotteri, pseudoscorpioni, proturi (Figura 7), dipluri (Figura 8), isopodi (Figura 9), nematodi, anellidi enchitreidi, ecc.; **macrofauna** (animali di taglia compresa tra i 5 mm e gli 80 mm) come gasteropodi, opilioni, araneidi (Figura 10), larve di insetti, formicidi, coleotteri (Figura 11), anellidi lombricidi (Figura 12) e molti altri; **megafauna** (animali di taglia superiore gli 80 mm) rappresentati per lo più da vertebrati come anfibi, rettili, mammiferi insettivori e roditori (Jeffery et al., 2010).

Attualmente non esiste una norma che regoli lo svolgimento delle prove per l'applicazione degli indici biologici di qualità del suolo, quindi le metodologie da utilizzare sono derivate da quanto

presente in letteratura e dall'esperienza. Recentemente, è stata proposta l'applicazione di indici sintetici per la valutazione della qualità biologica del suolo basato sulle caratteristiche dei popolamenti di microartropodi presenti appartenenti alla mesofauna e macrofauna (Parisi, 2001). Tali indici QBS-ar e QBS-c si basano sull'applicazione del criterio delle forme biologiche (Sacchi e Testard, 1971) dei microartropodi edafici, con il duplice intento di dare una valutazione del livello di adattamento alla vita ipogea (Parisi, 1974) e di superare, sotto il profilo operativo, le difficoltà di analisi tassonomica a livello di specie.



Figura 3 - Mesofauna del suolo, foto tratta da *European Atlas of Soil Biodiversity*, (Jeffery et al., 2010).



Figura 4 - Varie morfologie di acari (foto da <http://it.wikipedia.org>).



Figura 5 - Morfologia di un collembolo (*Sminthurus viridis* L.) (foto da <http://agraria.org>).



Figura 6 - Morfologia di uno pseudoscorpione (foto da <http://it.wikipedia.org>).



Figura 7 - Morfologia di un proturo (*Acerentomon spp.*) (foto da <http://agraria.org>).



Figura 8 - Morfologia di un dipluro (foto da <http://agraria.org>).



Figura 9 - Morfologia di un isopode (foto da <http://it.wikipedia.org>).



Figura 10 - Morfologia di un araneide (foto da <http://it.wikipedia.org>).



Figura 11 - Morfologia di un coleottero: (*Melolontha melolontha* L.) (foto da <http://beetles.source.at/>).



Figura 12 - Morfologia di un lombrico: (*Lombricus terrestris*) (foto da <http://it.wikipedia.org>).

3.4 Fertilità dei suoli

La fertilità è definita da Zucconi (1996) come la “capacità dell’ecosistema suolo di creare condizioni di vivibilità per le piante; è una proprietà intrinseca del suolo in grado di contribuire alla crescita delle piante e, in agricoltura, alla loro produttività”. Interessante risulta inoltre ricordare la definizione di Howard (1956), divenuta manifesto del movimento biologico internazionale, che la definisce come “la condizione di un suolo ricco di humus in cui la crescita procede rapidamente, senza ostacoli ed efficientemente; il termine implica quindi abbondanza, alta qualità e resistenza alle malattie”. Quest’ultimo autore sottolinea come in un suolo definito fertile, non ci sia contrapposizione fra produttività, qualità e resistenza alle malattie; condizione che sembra venuta a mancare nell’agricoltura moderna, nella quale, con lo scopo di mantenere alti livelli di produttività, si è agito a scapito della qualità creando spesso squilibri in grado di indebolire il suolo e renderlo più vulnerabile alle malattie.

La fertilità di un suolo risulta dipendente dalle sue proprietà chimiche, fisiche e biologiche, illustrate all’interno dei paragrafi 3.1, 3.2 e 3.3; proprietà che risultano a loro volta dipendenti da un fattore intrinseco, determinante la fertilità del suolo e cioè l’humus. Esso è il prodotto stabile della degradazione organica, ottenuto attraverso processi di polimerizzazione dei cataboliti e dei residui della decomposizione (Zucconi, 1996). L’humus conferisce al suolo delle proprietà che coincidono con le proprietà della fertilità: è un colloide con grande superficie specifica, elevata capacità di assorbire e accumulare l’acqua, capacità di chelare i microelementi, di scambiare microelementi, determina la struttura, quindi micro e macroporosità e infine, coopera con il processo di stabilizzazione dei residui organici. Va sottolineato che l’attività agricola tende a ridurre la fertilità già nel momento in cui si mette a coltura un terreno. La coltivazione, infatti, riduce la diversità e il processo di umificazione, quindi se si vuole coltivare in modo stabile nel tempo occorre recuperare e favorire tutti quei fattori che permettono l’efficienza del processo di umificazione. I fattori dell’umificazione, secondo Zucconi (1996), vanno ricercati nella diversità dei residui organici e nella contemporanea presenza di microrganismi vari in ambiente microaerobico. Migliorare l’umificazione, attraverso un aumento della diversificazione dei residui, consente una sostenibilità più elevata della coltivazione

Ogni terreno presenta caratteristiche proprie ed una specifica dotazione in sostanza organica ed elementi minerali. Ogni pianta possiede le proprie peculiarità, presentando esigenze diverse nei diversi periodi di sviluppo e dell’anno. Con l’analisi chimico-fisica del terreno e la successiva interpretazione agronomica dei risultati si può individuare la dotazione in sostanza organica e la presenza relativa dei vari elementi minerali e la loro disponibilità per le piante. Questo, può essere

utilizzato come strumento per modulare l'apporto di concimi e ammendanti in funzione della dotazione, determinando la fertilità del suolo stesso. (ARPAV, 2007). Ovviamente nel valutare la fertilità dei suoli un errore da non commettere è quello di considerare il suolo come un substrato inerte, ma considerarlo dal punto di vista ecosistemico in cui vi sono interazioni tra biotopo e biocenosi, cioè tra sub-strato in cui vivono gli organismi e la totalità stessa degli organismi. Gli organismi della biocenosi suddivisi nelle tre categorie: produttori, consumatori e decompositori, rappresentano la base per la formazione dell'humus e pertanto rivestono un ruolo fondamentale nella conservazione della fertilità dei suoli.

4 Le aree di studio

Per poter realizzare lo studio, si è reso necessario individuare aziende agricole che presentassero oliveti con metodi di produzione agricolo convenzionale e biologico, al fine di poter realizzare una comparazione. La ricerca ha portato all'individuazione di due aree posizionate rispettivamente nei comuni di Altofonte e Pollina, entrambi in provincia di Palermo (Figura 13). All'interno delle due aree la scelta è ricaduta su: un oliveto a regime convenzionale (comune di Altofonte) in cui vengono effettuati trattamenti fitosanitari per la protezione della coltura, concimazioni chimiche, lavorazioni del terreno (fresatura) e un oliveto biologico (comune di Pollina) in cui vengono soltanto effettuate lavorazioni del terreno (fresatura). Inoltre in prossimità degli oliveti coltivati, sono state campionate altre zone abbandonate in cui in passato si praticava olivicoltura, al fine di poter registrare una condizione di riferimento dell'area in assenza d'intervento antropico.



Figura 13 - Area della provincia di Palermo nel contesto regionale siciliano. Immagine elaborata con Q-GIS.

4.1 Inquadramento climatico

Per quanto riguarda l'aspetto climatico può risultare interessante osservare l'arco temporale degli ultimi 12 anni (2002-2014). Analizzando i dati pluviometrici provinciali del biennio che va da Maggio 2012 ad Aprile 2014 (Figura 14) e confrontandoli rispetto alla media degli ultimi 10 anni (Figura 15) si osservano in modo evidente valori sopra le medie per le province di Trapani, Palermo e Agrigento, inferiori per tutte le altre. La differenza è particolarmente significativa per le province di Siracusa, con il 34% in meno, e di Catania, con il 30% in meno. Anche se con un'anomalia climatica meno marcata, anche i valori delle province occidentali registrano differenze significative, invertendo la consueta gerarchia che vede le aree orientali registrare sempre i valori massimi assoluti. I valori superiori alle medie delle province occidentali confermano che gli ultimi due anni hanno costituito una vera anomalia all'interno di un ciclo climatico relativamente piovoso iniziato dopo la grande siccità del 2002 e che, per il settore occidentale, sembra ancora continuare (Regione Siciliana, 2014).

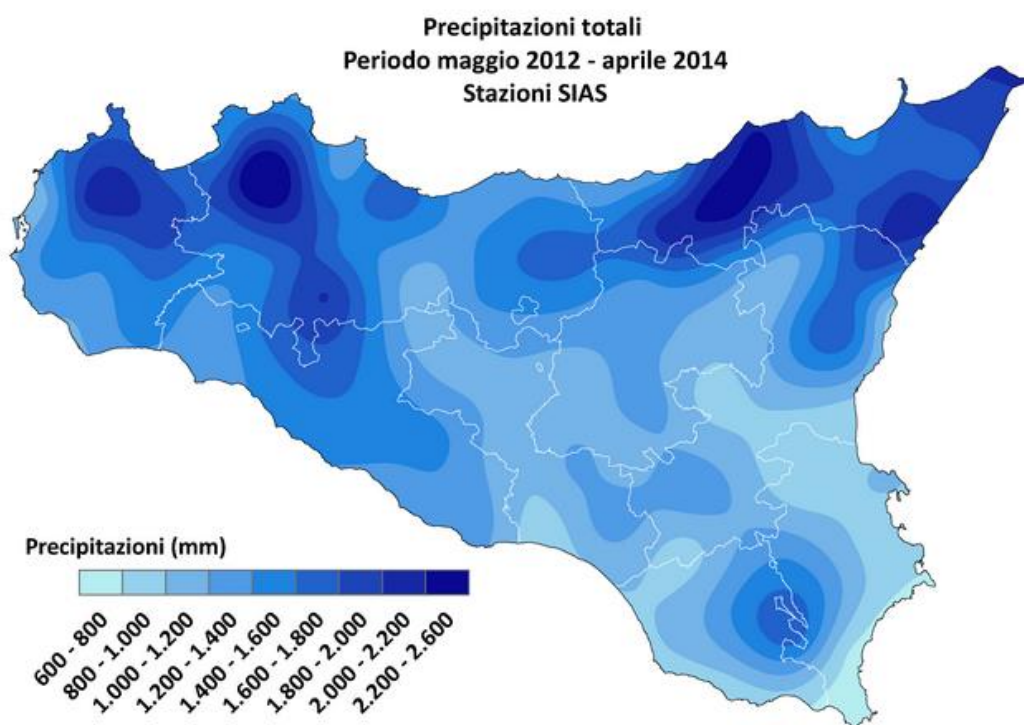


Figura 14 - Precipitazioni anue totali medie da Maggio 2012 ad Aprile 2014. Stazioni SIAS.

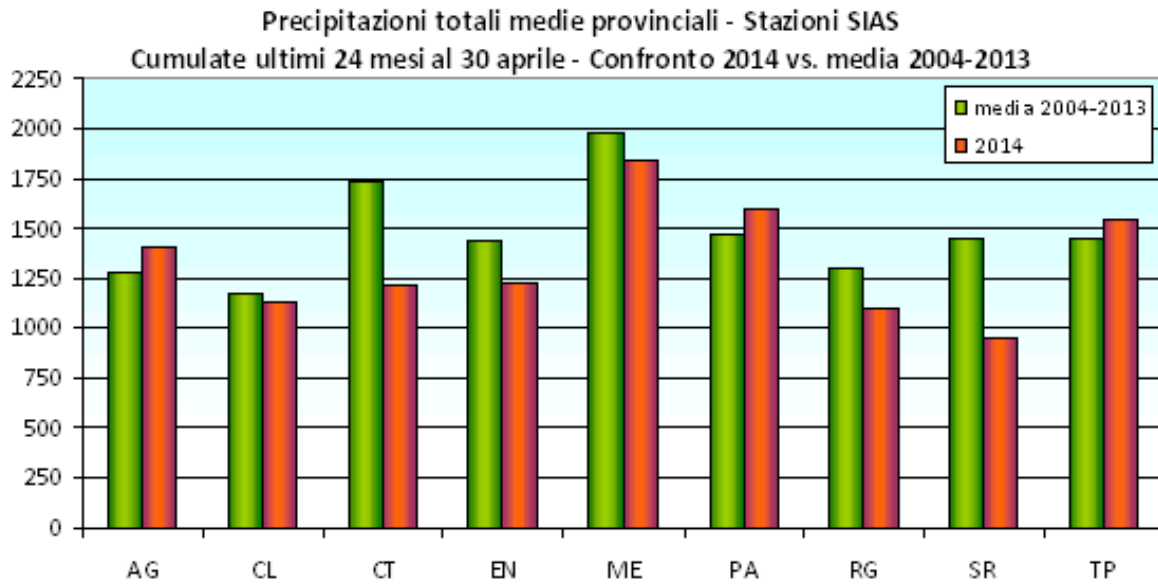


Figura 15 - Precipitazioni totali medie provinciali cumulate nel biennio 2012-2014 e confronto con la media delle precipitazioni 2004-2013. Stazioni SIAS.

La carta delle temperature medie annue (Figura 16) fornisce una buona idea della diversificazione climatica della regione Sicilia.

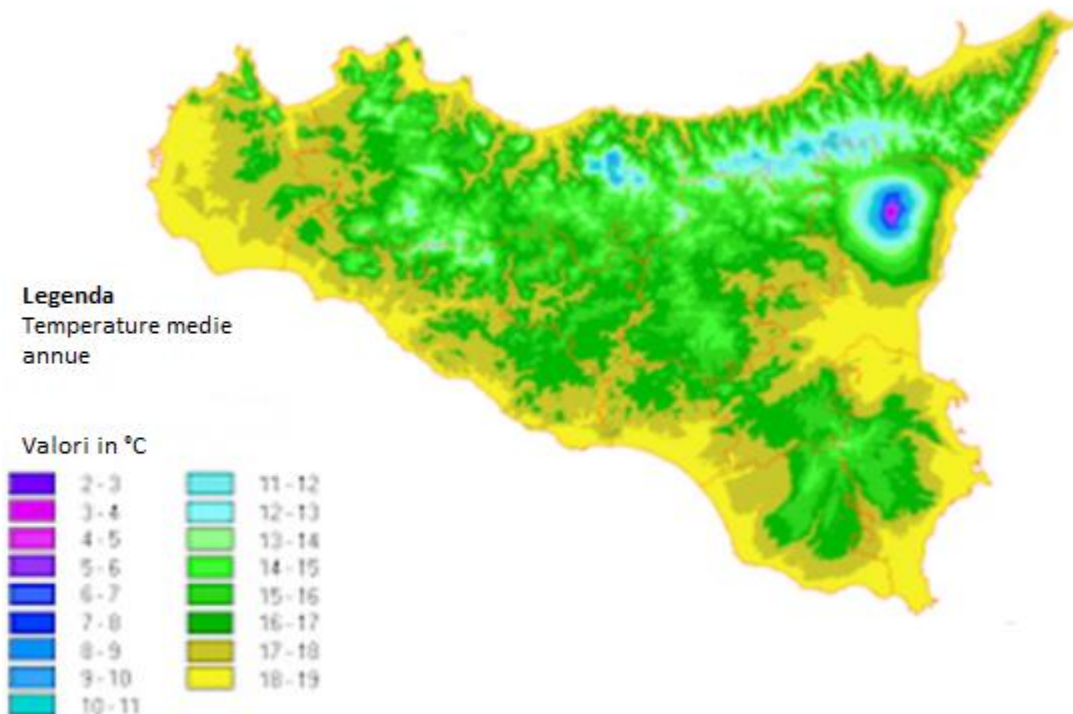


Figura 16 – Carta delle temperature medie annue (Drago, 2005).

4.2 Inquadramento geografico

L'area di studio in cui è stata valutata la qualità del suolo in un oliveto convenzionale ricade all'interno del comune di Altofonte (PA), alle pendici del Parco itinerante della Moarda, situato alle spalle del comune stesso (Figura 17).

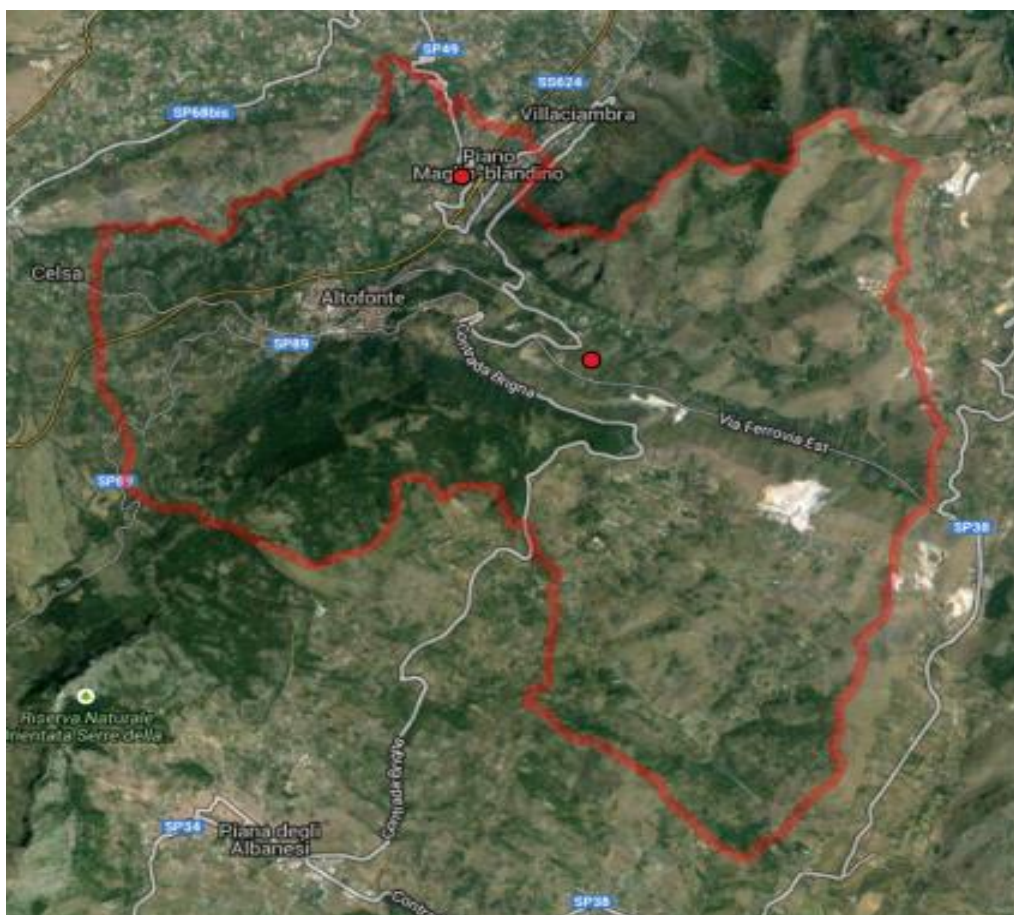


Figura 17- Comune di Altofonte (PA) con siti di campionamento. Immagine elaborata con Q-GIS.

L'area di studio in cui è stata valutata la qualità del suolo in un oliveto biologico ricade all'interno del "Parco delle Madonie" comune di Pollina (PA) (Figura 18); inoltre uno dei punti di campionamento ricade all'interno di una "zona di protezione speciale" (Z.P.S) codice ITA020050. Il Parco delle Madonie è un parco naturale regionale previsto nel 1981 (dalla Legge regionale siciliana n. 98) e istituito il 9 novembre del 1989; comprende quindici comuni della provincia di Palermo in Sicilia (Caltavuturo, Castelbuono, Castellana Sicula, Cefalù, Collesano, Geraci Siculo, Gratteri, Isnello, Petralia Soprana, Petralia Sottana, Polizzi Generosa, Pollina, San Mauro Castelverde, Scillato e Sclafani Bagni). Comprende il massiccio montuoso delle Madonie, situato sulla costa settentrionale siciliana, tra il corso dei fiumi Imera e Pollina. Il parco ospita oltre la metà delle specie vegetali siciliane, e in particolare gran parte di quelle presenti solo in Sicilia (come

Abies nebrodensis in via di estinzione, nel Vallone Madonna degli Angeli). Per la fauna sono presenti oltre la metà delle specie di uccelli, tutte le specie di mammiferi e più della metà delle specie di invertebrati siciliane. Notevoli sono anche le peculiarità geologiche. La geologia delle Madonie è al centro di studi e ricerche avviatisi fin dagli anni sessanta. Proprio per l'interesse geologico del complesso montuoso madonita dal 2003 il Parco delle Madonie è entrato a far parte del *network European Geopark* a cui aderiscono più di venti parchi geologici e non, europei.

Il parco è gestito dall'Ente Parco delle Madonie, ente di diritto pubblico, sottoposto a controllo e vigilanza della Regione siciliana, con sede a Petralia Sottana e si estende per 39.941 ettari, suddivisi in quattro zone a tutela differenziata (<http://www.parcodellemadonie.it/>).

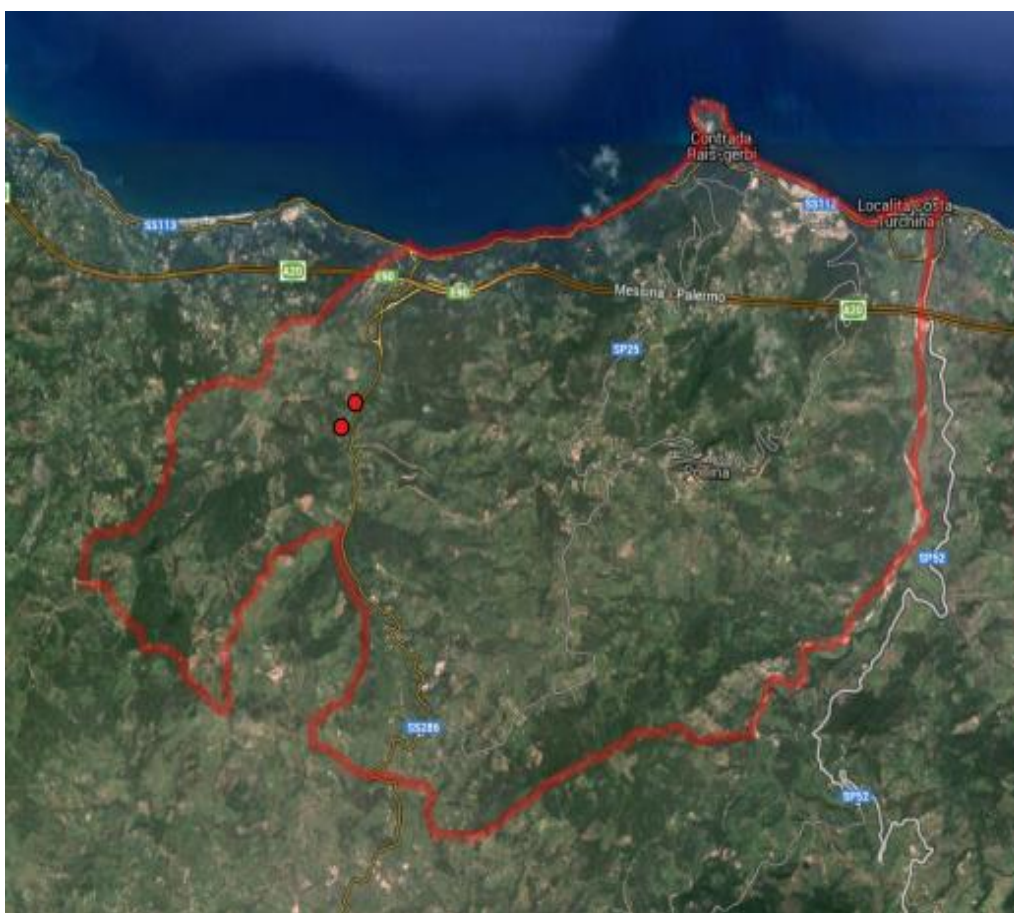


Figura 18- Comune di Pollina (PA) con siti di campionamento. Immagine elaborata con Q-GIS.

4.3 Inquadramento pedologico

In base alla classificazione fornita dalla Carta dei Suoli della Sicilia in scala 1:250.000 (Fierotti et al., 1988), le aree di studio ricadono nell'unità cartografica "13 e 21". Nello specifico:

-L'area di studio dell'oliveto convenzionale in Comune di Altofonte ricade all'interno dell'**associazione 21** in base alla Carta dei Suoli della Sicilia (Fierotti et al. 1988) (Figura 19).



Figura 19- Associazione 21. Estratto dalla Carta dei Suoli della Sicilia di Fierotti et al. (1988). Immagine elaborata con Q-GIS.

Questa associazione è tipica della Sicilia sud-orientale, anche se alcune aree compaiono nella Sicilia occidentale e precisamente a Palermo e nei dintorni di Trapani per un totale di circa 30.250 ha (1.17%). Si rinviene prevalentemente fra 50 e 400 m.s.l.m., anche se nell'insieme si spinge dal livello del mare fino a 650 m. La peculiarità è caratterizzata da una discreta presenza di suoli bruno calcarei e di litosuoli e per la presenza di regosuoli. Nei terreni che si aprono sul mare manifestano una spiccata utilizzazione viticola e arboricola, mentre dove è possibile fruire dell'acqua per l'irrigazione trionfano l'agrumeto, gli ortaggi precoci e la floricoltura. Nell'insieme la potenzialità agronomica dell'associazione è da giudicare da discreta a buona.

Le formazioni pedologiche più ricorrenti sono i Lithic Xerorthents (Litosuoli), i Typic Xerochrepts ed i Lithic Rhodoxeralfs (Terre Rosse) sempre frammisti a roccia affiorante (Rock Outcrop) che costituisce la nota predominante in tutto il paesaggio (Fierotti et al., 1988).

- I **Lithic Xerorthents** (Litosuoli), a profilo A-R, sono poco profondi, soggetti a forti fenomeni erosivi e con struttura appena accennata. I contenuti di sostanza organica, di azoto e di fosforo sono bassi, quelli di potassio leggermente più elevati ma sempre deficitari, notevole invece è la presenza di carbonati. La reazione è sub-alcaina, il complesso di scambio è saturo, la tessitura franca o, franco-argillosa. Sono ben drenati. La potenzialità molto bassa.
- In condizioni morfologiche appena meno accidentate compaiono i **Typic Xerochrepts** (Suoli Bruni) a profilo A-Bw-C o R.
- I **Lithic Rhodoxeralfs** (Terre Rosse) sono i suoli più rappresentati. L'intensa erosione a cui sono soggetti da lungo tempo, ha completamente asportato l'orizzonte superiore; il profilo è del tipo dunque Bt-R. Fatta eccezione per le frequenti doline e per gli spacchi naturali della roccia ove il suolo raggiunge notevoli spessori, la potenza del profilo è limitata solo a qualche decina di centimetri. La struttura è poliedrica sub-angolare grossolana e, qualche volta, anche prismatica con prismi piccoli; la tessitura comunemente argillosa, talora diventa argilloso-franca. I contenuti di sostanza organica, di azoto e di fosforo sono scarsi, buoni sono invece quelli di potassio, mentre i carbonati sono assenti. La reazione si attesta intorno ai valori della neutralità o della sub-acidità ed il complesso di scambio è saturo per risaturazione interna. La vegetazione naturale è costituita prevalentemente dalla macchia mediterranea molto degradata a poche specie prative. Queste soffrono dell'intensa aridità pedologica, tipica delle Terre Rosse, che si accentua nei periodi di massima siccità anche a causa della loro bassa capacità di ritenzione idrica e dell'eccessiva capacità drenante. La potenzialità naturale è bassa.
- Nelle aree pedomontane colluviali, si sono formati potenziali accumuli di **Lithic Rhodoxeralfs** (Terre Rosse), che differiscono da quelli già descritti per il contenuto di scheletro calcareo molto fine e la profondità del profilo che può superare anche i due metri. Essi, potendo usufruire dell'irrigazione, possono accogliere un'agricoltura arborea di pregio.
- In queste ultime condizioni, i consistenti apporti di concimi organici operati negli anni passati, hanno dato inizio nel suolo a processi di brunificazione più o meno intensi, che hanno portato alla formazione di **Typic Haploxeralfs** (Terre rosse brunificate), a profilo Ap-Bt-C ad alta potenzialità agronomica (Fierotti, 1997).

-L'area di studio in cui si colloca l'oliveto biologico ricade all'interno dell'**associazione 13** (Fierotti et al., 1988) (Figura 20).



Figura 20- Associazione 13. Estratto dalla Carta dei Suoli della Sicilia di Fierotti et al. (1988). Immagine elaborata con Q-GIS.

Si trovano prevalentemente negli ambienti montani dei Monti Peloritani e di altri rilievi dell'isola. La natura dei substrati costituiti in prevalenza da rocce metamorfiche quali gneiss, micascisti e filladi o dal flysch, o da arenarie, e la piovosità che in alcune aree può raggiungere una media annua superiore agli 800-900 mm, favoriscono la formazione di questo tipo di suolo il cui profilo di tipo A-B-C ha una profondità che può superare i 60 cm. Il suolo risulta assolutamente privo di carbonati e i valori della reazione oscillano dal sub-acido al nettamente acido. La tessitura è, nella generalità dei casi, franca o franca argillosa; la struttura è grumosa all'orizzonte A che risulta anche ben provvisto di sostanza organica; diviene poliedrica sub-angolare, moderata all'orizzonte B. Discreto il contenuto dei principali elementi della fertilità che comunque sono presenti in maggiore misura nella parte superficiale umifera del solum. La loro potenzialità agronomica è media per le normali colture agrarie ma si esalta per il bosco.

Nel paesaggio madonita si riscontrano due tipologie di suoli differenti in funzione del substrato calcareo o flyscioide. In linea del tutto generale, nelle condizioni morfologiche più acclivi predominano gli Entisuoli (Regosuoli e Litosuoli) associati alla roccia affiorante; mentre in quelle più dolci o nelle frequenti doline carsiche, prevalgono gli Inceptisuoli (Suoli Brunì) e gli Alfisuoli (Suoli Brunì lisciviati e, alle quote medio-basse, Terre Rosse) (Fierotti, 1997).

- Sulle formazioni calcaree e nelle condizioni di giacitura molto ripide ed accidentate, i **Lithic Xerorthent** (Litosuoli) poco o pochissimo profondi e con tessitura franca o franco-sabbiosa, sono associati alla roccia affiorante (Rock Outcrop) che frequentemente diventa prevalente. Il profilo, sempre del tipo A-R, è ricco di scheletro calcareo grossolano e minuto. Alla notevole dotazione di carbonati fa riscontro il complesso di scambio saturo; la reazione sub-alcalina; la spinta deficienza di sostanza organica e dei principali elementi fertilizzanti, ad eccezione del potassio che è sempre ben rappresentato. La struttura è debole. Questi suoli sono sede di un'intensa attività pascolativa che esaspera i già gravi problemi di erosione. La potenzialità è bassa se non addirittura nulla.
- Nelle condizioni morfologiche meno accidentate ai Litosuoli si sostituiscono i **Typic Xerochrepts** (Suoli Brunì), a profilo A-Bw-C o R mediamente profondo. Sono suoli a tessitura franca o franca argillosa e con buon contenuto di sostanza organica negli orizzonti superficiali; la struttura grumosa in superficie diventa poliedrica sub-angolare in profondità. Elevati sono la porosità, il drenaggio ed il contenuto di carbonati. La reazione si stabilizza intorno a valori di sub-alcalinità; il complesso di scambio è saturo; i contenuti di azoto e di fosforo sono quasi sempre inferiori ai valori normali, fatta eccezione per il potassio che presenta valori discreti o buoni. Nei suoli forestali i fenomeni erosivi sono ridotti al minimo, al contrario di quanto si verifica per quelli destinati al pascolo. La potenzialità nei confronti del bosco è elevata; più bassa per le altre colture.
- A quote relativamente basse (600-800 metri), sui detriti calcarei compaiono i **Typic Rhodoxeralfs** (Terre Rosse) molto erosi e dunque, di modesta profondità, fatta eccezione per le zone di accumulo o per le cavità naturali. Il profilo è del tipo Bt-R, la tessitura, sempre argillosa, è temperata da una buona percentuale di sabbia che, assieme all'ottimo drenaggio naturale, agevola lo smaltimento dell'acqua piovana. Caratteristiche di questi suoli sono: l'assoluta mancanza di carbonati; la reazione sub-acida; la sostanza organica assente o comunque poco rappresentata; la struttura poliedrica angolare in superficie che tende a virare in profondità verso forme massive; il complesso di scambio completamente saturo; la deficienza di azoto e di fosforo; il buon contenuto di potassio. La potenzialità è molto scarsa.
- Frammisti ai Rhodoxeralfs si trovano i **Typic Haploxeralfs** (Terre Rosse brunificate) a profilo A-Bt-R. Differiscono dai suoli precedentemente descritti, per la presenza dell'orizzonte A di colore bruno, per il discreto contenuto di sostanza organica e per la maggiore profondità. L'aggregazione grumosa o poliedrica sub-angolare fine dell'orizzonte superiore, passa, nell'orizzonte inferiore, verso forme poliedriche grossolane e talora

prismatiche. La reazione con l'aumentare dello spessore del suolo passa da sub-acida ad acida ed il complesso di scambio da leggermente desaturato a desaturato. I contenuti di elementi fertilizzanti sono deficienti nei confronti dell'azoto e del fosforo, buoni nei confronti del potassio. La potenzialità è elevata per il bosco e il pascolo, bassa in tutti gli altri casi (Fierotti, 1997).

5 Materiali e metodi

5.1 Disegno di campionamento e individuazione dei siti di campionamento

Come detto precedentemente, le aree di studio in cui sono stati individuati i quattro siti di campionamento ricadono all'interno di un oliveto convenzionale nel Comune di Altofonte (PA), un oliveto abbandonato situato a poco più di un chilometro ricadente nel medesimo Comune, un oliveto biologico nel Comune di Pollina (PA) e un oliveto abbandonato a poche centinaia di metri ricadente nel medesimo Comune. Più in dettaglio è stato scelto di eseguire un campionamento all'interno dell'oliveto convenzionale nel Comune di Altofonte e trovare il relativo confronto in un'area con le medesime caratteristiche pedologiche ma in cui non fosse praticata attività agricola; un oliveto biologico nel Comune di Pollina e trovare il relativo confronto in un'area con le medesime caratteristiche pedologiche ma in cui non fosse praticata attività agricola. In Tabella 2 sono riportate le coordinate dei siti di campionamento mentre, in Figura 21, Figura 22 e Figura 23, i medesimi siti su estratto cartografico tratto da Google Earth.

Tabella 2 - Coordinate dei siti di campionamento

Sito	WGS84 UTM 33		Metodo di produzione
	Est (m)	Nord (m)	
PA1	352753	4211428	Oliveto convenzionale
PA2	351597	4213360	Oliveto abbandonato
PO1	420460	4205913	Oliveto abbandonato
PO2	420628	4206202	Oliveto biologico



Figura 21- Oliveto convenzionale, Comune di Altofonte, sito di campionamento PA1. (Immagine di base tratta da Google Earth, Novembre 2014).



Figura 22 - Oliveto abbandonato, Comune di Altofonte, sito di campionamento PA2. (Immagine di base tratta da Google Earth, Novembre 2014).



Figura 23 - Oliveto abbandonato e biologico, Comune di Pollina, siti di campionamento PO1 e PO2. (Immagine di base tratta da Google Earth, Gennaio 2015).

5.2 Rilevamento pedologico e classificazione dei suoli

Il rilevamento pedologico è stato realizzato mediante l'apertura e l'osservazione dei profili pedologici. La descrizione degli elementi morfologici del profilo è stata realizzata mediante la compilazione di una scheda di campagna, seguendo quanto riportato da Schoeneberger et al. (2012). I suoli sono stati classificati secondo la Soil Taxonomy (SSS, 2014).

5.3 Modalità di raccolta dei campioni

5.3.1 Campionamento per le analisi chimiche

Contemporaneamente all'apertura dei profili pedologici, sono stati prelevati i campioni per ciascun orizzonte osservato lungo il profilo, sui quali effettuare in seguito le analisi di: pH, CE, calcare totale, distribuzione delle particelle (tessitura), capacità di scambio cationico (CSC), basi scambiabili (Ca, Mg, K, Na), carbonio totale (TC g·kg⁻¹), carbonio organico totale (TOC g·kg⁻¹), azoto totale (TN g·kg⁻¹), il rapporto tra il contenuto di carbonio e quello di azoto (C/N) e il fosforo assimilabile (P mg·kg⁻¹). Tali campioni, del peso di circa 1 Kg, sono stati prelevati con l'ausilio di una paletta e riposti in sacchetti di plastica opportunamente contraddistinti dalle indicazioni riguardanti la stazione, sigla dello specifico campione, nome del profilo, la profondità dell'orizzonte e allegata la rispettiva scheda di campo. Il profilo è stato aperto con l'ausilio di piccone e vanga per una dimensione di circa 50x50 cm e profondità variabile in base alle caratteristiche pedologiche.

5.3.2 Campionamento degli invertebrati del suolo

In ogni punto di campionamento sono state prelevate tre carote di suolo, dalle quali estrarre in seguito i microartropodi per l'applicazione del metodo QBS-ar (Codurri et al., 2005). Per la raccolta delle carote è stato utilizzato un cilindro in PVC del diametro di 10 cm, inserito nel terreno per tutta la sua lunghezza (Figura 24), arrivando così ad una profondità di 15 cm ottenendo una carota di suolo del volume pari a circa:

$$V = (\pi * r * r) * h = (3.14 * 5 * 5) * 15 = 1177.5 \text{ cm}^3.$$

Le tre carote di suolo sono state raccolte in modo da costituire i vertici di un ipotetico triangolo equilatero di circa 4 metri di lato, dove al centro è stato aperto un profilo per lo studio degli orizzonti. In presenza di lettiera, si è provveduto alla sua raccolta assieme al suolo sottostante. I tre sotto campioni così raccolti sono stati riposti delicatamente in tre singoli sacchetti di plastica, delle dimensioni di 35 cm in larghezza e 50 cm in altezza, avendo cura di mantenere una riserva d'aria e di conservarli in un luogo ombroso, al fine di mantenere l'integrità degli organismi animali sino al momento del trattamento dei campioni. Al fine del riconoscimento dei campioni, su ogni sacchetto è stato indicato: il luogo d'interesse, il codice identificativo del singolo campione, la stazione di raccolta e la data di campionamento. Tali annotazioni sono state riportate anche sui cilindri di campionamento.

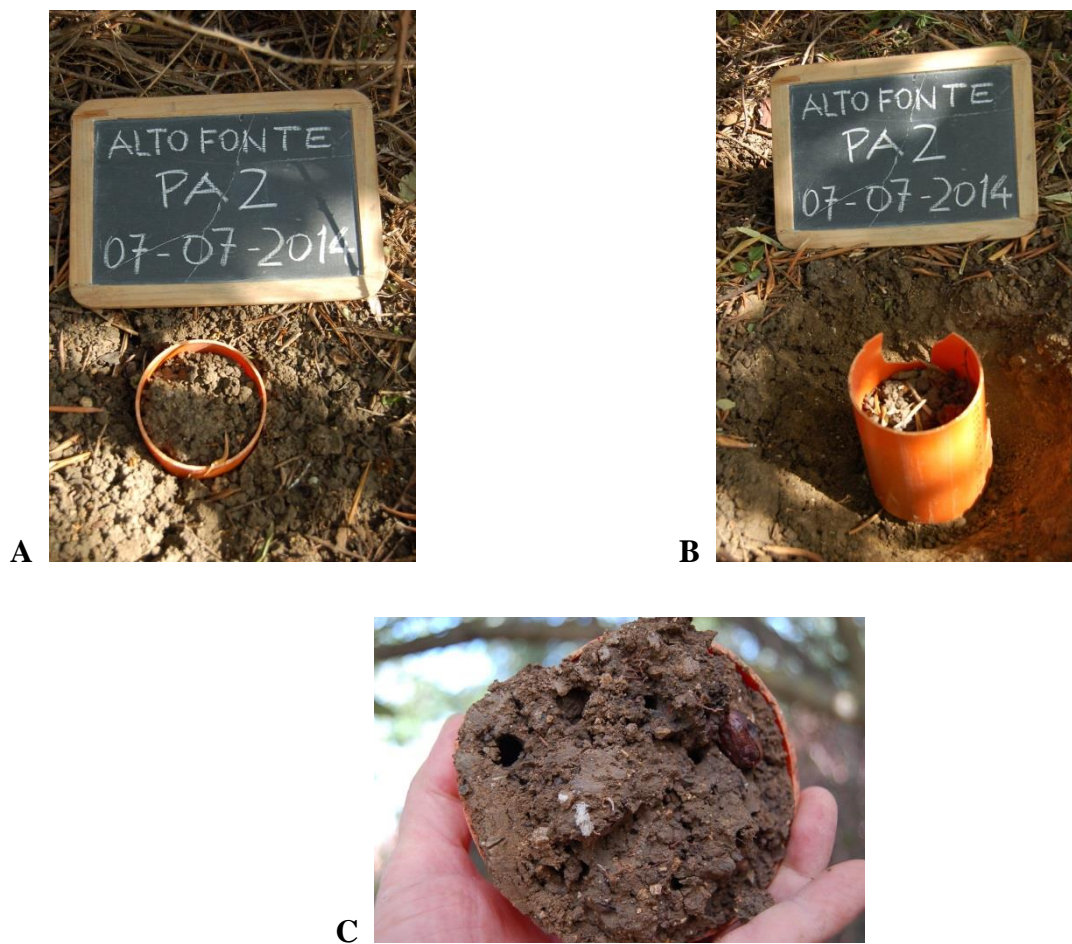


Figura 24 - Il campionamento dei microartropdi; l’inserimento del cilindro in PVC per l’estrazione (A); l’estrazione della carota di suolo (B); particolare della carota di suolo, struttura e porosità creata dalla pedofauna (C).

5.4 Metodologie analitiche

Per ogni orizzonte è stato prelevato un campione di materiale terroso. I campioni sono stati seccati all’aria, macinati a mano e vagliati a 2 mm e sono poi state eseguite le analisi chimiche. Riguardo alle metodiche utilizzate per le analisi chimiche sui suoli si è fatto riferimento ai “Metodi di Analisi Chimica del Suolo” riportati nel manuale del MiPAF (2000) e pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21-10-1999.

5.4.1 Determinazione del pH e della CE

Per la misura del pH è stato applicato il metodo n. III.1 con riferimento ISO 10390 mentre, per la misura della CE, è stato applicato il metodo n. IV.1 con riferimento ISO 11265, utilizzando tuttavia un rapporto suolo acqua 1:2.5 in modo da evitare un’eccessiva saturazione salina. Per quanto riguarda le apparecchiature, sono state utilizzate: il pH-metro *Mettler Toledo SG2-ELK* e il conduttimetro *Delta Ohm HD 8706*.

5.4.2 Determinazione del contenuto di calcare totale

Per la determinazione del contenuto di calcare totale è stato applicato il metodo n V.1 pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21-10-1999.

Il principio su cui si basa il metodo è la determinazione gas-volumetrica della CO₂ che si svolge trattando un campione di terra fine con acido cloridrico.

I reagenti utilizzati sono stati: una soluzione di acido cloridrico (HCl) al 37%.

Per quanto riguarda l'apparecchiatura di laboratorio è stata utilizzata attrezzatura di uso comune e il calcimetro di Dietrich-Frühling (Figura 25).

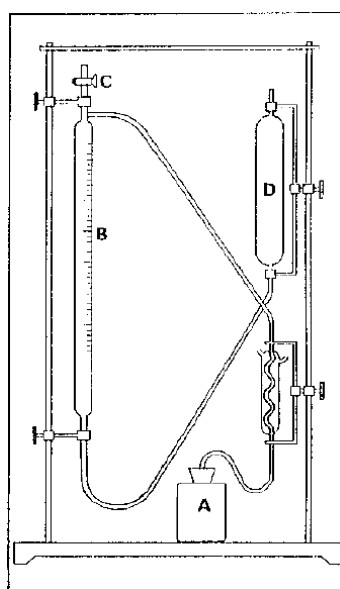


Figura 25 - Calcimetro di Dietrich-Frühling.

5.4.3 Determinazione della distribuzione delle particelle (Tessitura)

Per quanto riguarda la determinazione della distribuzione delle particelle è stato applicato il metodo n. 6 estratto dal D.M. del 11 maggio 1992 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 121 del 25 maggio 1992.

La tessitura viene determinata sulla base delle variazioni nel tempo della densità di una sospensione di suolo. I valori di densità sono messi in relazione in modo empirico alla dimensione delle particelle, in maniera che, scegliendo opportuni tempi, una lettura di densità può essere una misura di una data dimensione di particelle. La densità viene misurata con un idrometro graduato e tarato direttamente in unità di misura g·L⁻¹. Questi valori si riferiscono alla quantità di particelle

inferiori ad un determinato diametro in una sospensione contenente il terreno secco. Il metodo non prevede pretrattamenti per rimuovere la sostanza organica o il carbonato di calcio.

I reagenti utilizzati sono stati: acqua deionizzata, una soluzione ($50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) di sodio esametafosfato (NaPO_3)₆ e alcol etilico come agente antischiuma.

E' stata utilizzata la corrente attrezzatura di laboratorio e in particolare: cilindri per l'idrometro di Bouyoucos, densimetro (idrometro) con scala di Bouyoucos in $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, cronometro, agitatore, disaggregatore, termometro con scala 0 - 50 °C.

5.4.4 Capacità di scambio cationico

Per la determinazione della capacità di scambio cationico è stato applicato il metodo n. XIII.2 pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21-10-1999.

Questo metodo prevede che il campione di suolo venga monosaturato con bario con soluzione di bario cloruro tamponata a pH 8.2. Successivamente, al campione Ba-saturato viene aggiunta una quantità definita di una soluzione a titolo noto di magnesio solfato. La reazione porta alla formazione di bario solfato insolubile e, quindi, allo scambio completo Ba/Mg. L'eccesso di magnesio in soluzione viene determinato per titolazione complessometrica.

Calcolata la quantità di magnesio adsorbito, che corrisponde alla quantità di bario scambiato, si accerta il valore della capacità di scambio cationico.

I reagenti utilizzati sono stati: soluzione di ammonio idrossido 30%, soluzione ($1 \text{ mole}\cdot\text{L}^{-1}$) di acido cloridrico 37%, soluzione di bario cloruro tamponata a pH 8.2, soluzione ($5 \text{ cmoli}\cdot\text{L}^{-1}$) di magnesio solfato, soluzione ($2.5 \text{ cmoli}\cdot\text{L}^{-1}$) di sale bisodico dell'acido etilendiamminotetracetico (EDTA), soluzione tampone a pH 10, indicatore.

E' stata utilizzata apparecchiatura di laboratorio di uso comune, in particolare: agitatore oscillante $120\text{-}140 \text{ cicli x minuto}^{-1}$, centrifuga, tubi da centrifuga da 50 mL con tappo.

5.4.5 Basi scambiabili

Per la determinazione delle basi scambiabili è stato applicato il metodo n. XIII.5 pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21-10-1999.

Il contenuto degli ioni calcio, magnesio, potassio e sodio, rimossi dai siti di scambio con soluzione di bario cloruro tamponata a pH 8.2, viene determinato, secondo tale metodo, per spettrofotometria in assorbimento atomico con atomizzazione a fiamma (FAAS).

I reagenti utilizzati sono stati: acido cloridrico (HCl) 37%, soluzione ($1 \text{ mole}\cdot\text{L}^{-1}$), soluzione di bario cloruro tamponata a pH 8.2, soluzione standard del commercio a titolo garantito ($1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) di calcio (Ca), soluzione standard del commercio a titolo garantito ($1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) di magnesio (Mg), soluzione standard del commercio a titolo garantito ($1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) di potassio (K), soluzione standard del commercio a titolo garantito ($1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) di sodio (Na), soluzione standard diluita ($100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) di magnesio (Mg), soluzione ($50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) di lantanio, soluzione ($12.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) di lantanio, soluzione standard di lavoro di calcio e magnesio, soluzione ($10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) di cesio, soluzione ($1.25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) di cesio, soluzione standard di lavoro di sodio e potassio.

E' stata utilizzata apparecchiatura di laboratorio di uso comune, in particolare: agitatore oscillante a $120\text{-}140$ cicli \times minuto⁻¹, spettrofotometro in assorbimento atomico (FAAS) *Perkin Elmer AAnalyst 100*.

Nei suoli che presentavano CaCO_3 , il calcio scambiabile è stato ottenuto dalla differenza tra la CSC totale e le altre basi di scambio. Questo perchè durante il trattamento di suoli calcarei si potrebbe verificare una dissoluzione di calcio di origine carbonatica e di conseguenza sovrastimare il calcio scambiabile.

5.4.6 Determinazione del carbonio totale (TC), dell'azoto totale (TN) e del carbonio organico totale (TOC) con analizzatore elementare

Per la determinazione del carbonio totale (TC), dell'azoto totale (TN) e del carbonio organico totale (TOC) è stato applicato il metodo n. VII.1 pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21-10-1999.

I diversi analizzatori elementari disponibili in commercio funzionano essenzialmente sulla base del metodo Dumas (1831).

Il metodo analitico originale è fondato sulla completa ed istantanea ossidazione del campione per *flash combustion* con conseguente conversione di tutte le sostanze organiche ed inorganiche in prodotti gassosi. I gas di combustione vengono fatti passare, in corrente di elio, su strato di

opportuno catalizzatore, per completare il processo di ossidazione e, quindi, su strato di rame, per allontanare l'eccesso di ossigeno e per ridurre gli ossidi di azoto ad azoto molecolare (N_2). Successivamente, la miscela gassosa viene separata per gascromatografia e CO_2 , N_2 , H_2O e SO_2 vengono rilevati da un *detector* a conducibilità termica (Figura 26).

Per la determinazione del carbonio organico totale (TOC), i campioni sono stati pretrattati con HCl per rimuovere il calcio carbonato (carbonio di origine carbonatica). L'azoto è stato invece analizzato senza pretrattamento.

I reagenti utilizzati sono stati: acetanilide (N-fenilacetammide), magnesio perclorato anidro $Mg(ClO_4)_2$, soluzione diluita (10%) di acido cloridrico.

E' stata utilizzata apparecchiatura di laboratorio di uso comune, in particolare: analizzatore elementare *Thermo Scientific™ Flash 2000 CHNS/O*, microbilancia, capsule d'argento (\varnothing 8 mm x h 5 mm), supporto di alluminio con alloggiamento per le capsule, micropipetta da 40 μ L, piastra riscaldante, pinzette in acciaio.

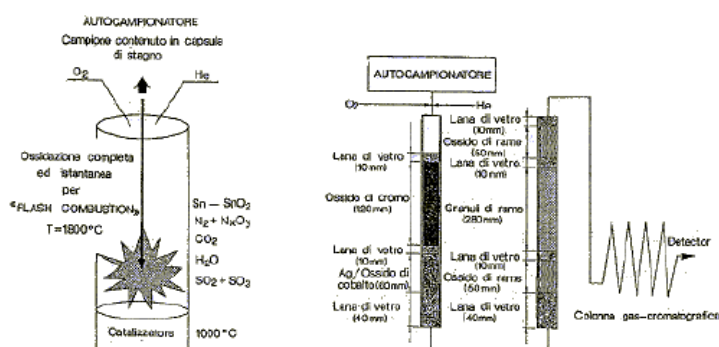


Figura 26 - Schematizzazione di un analizzatore elementare.

5.4.7 Fosforo assimilabile

Per la determinazione del fosforo assimilabile è stato applicato il metodo n. XV.3 pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21-10-1999. Il metodo è applicabile sia ai suoli acidi che a quelli caratterizzati dalla presenza di calcio carbonato.

Il principio su cui si basa il metodo è che la presenza nella soluzione di sodio bicarbonato di ioni carbonato e ossidrilici abbassa l'attività di Ca^{2+} e di Al^{3+} con conseguente incremento della solubilità del fosforo (P).

Nei suoli calcarei, l'aumentata solubilità del calcio fosfato deriva dalla diminuzione della concentrazione del calcio dovuta all'elevata presenza di ioni carbonato ed alla conseguente precipitazione di $CaCO_3$. Nei suoli acidi o neutri, la solubilità dei fosfati di alluminio e di ferro

viene incrementata dall'aumento della concentrazione degli ioni ossidrilici che induce diminuzione della concentrazione di Al^{3+} con formazione di ioni alluminato, e di Fe^{3+} , con precipitazione di ossidi.

Il contenuto di fosforo viene determinato per spettrofotometria con il metodo all'acido ascorbico.

I reagenti utilizzati sono stati: soluzione ($2.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) di acido solforico, soluzione ($1 \text{ mole}\cdot\text{L}^{-1}$) di sodio idrossido, soluzione ($0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) di sodio bicarbonato, carbone attivo, soluzione (0.25%) di p-nitrofenolo, soluzione ($40 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) di ammonio molibdato, soluzione ($1 \text{ mg di Sb}\cdot\text{mL}^{-1}$) di antimonio potassio tartrato, soluzione ($0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) di acido ascorbico, reagente solfomolibdico, soluzione standard ($1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) di fosforo (P), soluzione standard diluita di fosforo (P).

E' stata utilizzata apparecchiatura di laboratorio di uso comune, in particolare: pH-metro *Mettler Toledo SG2-ELK*, agitatore oscillante a 120-140 cicli x minuto⁻¹, filtri a membrana da $0.45 \mu\text{m}$, spettrofotometro *Hach Lange DR/2010*.

5.5 Estrazione degli invertebrati del suolo

Per l'estrazione degli invertebrati si è fatto riferimento al manuale da campo per l'applicazione del metodo QBS-ar (Codurri et al., 2005). In base al metodo del selettore di Berlese-Tullgren, ogni campione è stato collocato all'interno di un imbuto avente il diametro di 26.5 cm, sopra una reticella a maglie di 2 mm circa (Figura 27). Inoltre, per evitare possibili fughe degli invertebrati, è stata posizionata, sopra l'imbuto, una barriera cilindrica in plexiglass. Al di sotto dell'imbuto è stato collocato un recipiente di raccolta riempito per la metà del suo volume con alcool all'80%. Il tutto è stato posto sotto una lampada da 40 W, posta a circa 20 cm di distanza, con lo scopo di provocare l'allontanamento degli organismi animali dalla superficie, in relazione al fatto che questi tendono a fuggire dalla luce, dal calore e dall'essiccazione prodotti dalla lampada e a rifugiarsi nell'ambiente buio, umido e fresco della parte più bassa del campione. In tal modo si spostano verso il basso, in direzione del collo dell'imbuto, fino a cadere nel recipiente sottostante, venendo così fissati. Il campione ottenuto è chiamato selettura. L'estrazione ha avuto una durata totale di quattordici giorni. Inoltre, tramite un controllo giornaliero, si è provveduto all'aggiunta di alcool all'80% quando necessario.



Figura 27 - Estrazione dei micrartropodi dai campioni di suolo con il metodo di Berlese-Tullgren. Inserimento del campione nell'imbutto d'estrazione (A), barriere cilindriche in plexiglass per evitare possibili fughe della mesofauna (B).

5.5.1 Riconoscimento e tassonomia degli invertebrati

Tutte le selezioni sono state osservate al microscopio stereoscopico, separando a vista gli invertebrati dai residui di suolo e detrito organico eventualmente caduti dagli imbuto durante la fase di estrazione. Si è passati quindi al riconoscimento dei microartropodi in conformità alle indicazioni del metodo QBS-ar, secondo il quale gli organismi vengono identificati per grandi gruppi, a livello di phylum, classe o, al massimo, ordine. Sono stati inoltre identificati, sempre a livello di taxa elevati, anche gli invertebrati non appartenenti al phylum Arthropoda e quindi non utilizzati per l'applicazione del QBS-ar. Per tale scopo, è stato utilizzato uno stereoscopio a 40 ingrandimenti con illuminazione radente a lampada. La misurazione della grandezza degli organismi, nei casi in cui è risultata necessaria, è stata effettuata tramite un foglietto di carta millimetrata posto sotto la capsula di Petri. Il riconoscimento è stato reso possibile grazie all'utilizzo delle due chiavi identificative presenti all'interno del manuale da campo per l'applicazione del metodo QBS-ar (Codurri et al., 2005). Inoltre, sono stati utilizzati anche i testi di Coineau et al. (1997), Menta (2008) e di Latella & Gobbi (2008).

5.6 Calcolo del QBS-ar e del QBS-ar max

Terminato l'esame della selettura al microscopio, si sono rilevate le diverse forme biologiche (FB) di microartropodi presenti in ogni campione, assegnando ad ognuna il relativo punteggio (EMI, Indice Ecomorfologico).

In base a quanto definito da Parisi (2001) e riportato nel manuale da campo per l'applicazione del metodo QBS-ar (Codurri et al., 2005), le forme biologiche sono gruppi di organismi caratterizzati dall'avere gli stessi caratteri morfologici convergenti, in conseguenza del processo di adattamento al suolo. Proprio in base al grado di adattamento della forma biologica alla vita nel suolo è definita la scala di riferimento degli EMI, che varia da un minimo di 1 ad un massimo di 20 (Tabella 3).

Tabella 3 - Indici Ecomorfologici (EMI) per il calcolo del QBS-ar (Parisi, 2001)

Gruppo	Punteggio	Note esplicative della tabella 1	
Proturi	20	<p>Per alcuni gruppi sistematici è indicato un solo valore di EMI, in altri casi un intervallo. Nel primo caso si tratta di un valore massimale ritenuto rappresentativo del livello di adattamento al suolo del gruppo stesso, nel secondo caso non si è ritenuto corretto attribuire un unico valore di EMI, data la variabilità di caratteri presenti all'interno del gruppo. Fatta eccezione per i Collemboli, per i quali è stato elaborato un apposito sistema di determinazione del valore di EMI (che andrà diviso per due, in quanto il valore massimo possibile è 40 e non 20 come nel sistema generale), per gli altri gruppi si applica il seguente sistema.</p> <p>Ortotteri In generale il valore EMI è pari a 1, salvo il genere <i>Grillotalpa</i> (di agevole riconoscimento). Si osservi tuttavia che si tratta più propriamente di megafauna e pertanto non andrebbero conteggiati, come del resto i membri della famiglia <i>Grillidae</i>. Per essi l'EMI è uguale a 20.</p> <p>Emitteri Si tratta di forme per la maggior parte epigee o radicolose punti 1</p> <p>Larve delle cicale, per le quali vale l'osservazione fatta per gli Ortotteri punti 10</p> <p>Coleotteri Per le forme chiaramente epigee punti 1</p> <p>I principali adattamenti alla vita endogena rilevabili nell'ispezione diretta degli esemplari sono:</p> <p>a) dimensioni inferiori a 2 mm punti 4</p> <p>b) tegumenti sottili, con colori spesso testacei punti 5</p> <p>c) microatterismo o atterismo (relativamente alle ali metatoraciche, carattere rilevabile per trasparenza) punti 5</p> <p>d) microftalmia o anoftalmia punti 5</p> <p>Nel caso di forme edafobie (che presentano tutti i caratteri sopra esposti) il valore di EMI è 20. Per queste forme è utile la consultazione del lavoro di Coiffait, 1958.</p> <p>Imenotteri In generale punti 1</p> <p>Formicidi punti 5</p> <p>Araneidi Forme superiori ai 5 mm punti 1</p> <p>Forme piccole e scarsamente pigmentate punti 5</p> <p>Diplopodi Forme superiori ai 5 mm punti 10</p> <p>Forme inferiori ai 5 mm punti 20</p> <p>Chilopodi Forme superiori ai 5 mm, ma con zampe ben sviluppate punti 10</p> <p>Altre forme, in particolare i Geofilomorfi punti 20</p>	
Dipluri	20		
Collemboli	1-20		
Microcoryphia	10		
Zygentomata	10		
Dermatteri	1		
Ortotteri	1-20		
Embiotteri	10		
Blattari	5		
Psocotteri	1		
Emitteri	1-10		
Tisanotteri	1		
Coleotteri	1-20		
Imenotteri	1-5		
Ditteri (larve)	10		
Altri olometaboli (larve)	10		
(adulti)	1		
<p>Per gli altri microartropodi viene proposto il seguente punteggio:</p>			
Pseudoscorpioni	20		
Palpigradi	20		
Opilioni	10		
Araneidi	1-5		
Acari	20		
Isopodi	10		
Diplopodi	10-20		
Pauropodi	20		
Sinfili	20		
Chilopodi	10-20		

Quei gruppi tassonomici di microartropodi che comprendono specie tutte con lo stesso grado di adattamento alla vita edifica, corrispondono ad un'unica forma biologica, e perciò hanno un solo valore di EMI. Gli altri gruppi, come ad esempio collemboli e coleotteri, che comprendono specie a diverso grado di adattamento e dunque varie forme biologiche, hanno differenti valori di EMI.

Dopo aver definito gli EMI per i diversi gruppi individuati, si è proceduto con il calcolo dell'indice QBS-ar per ogni singolo campione, utilizzando la scheda apposita, fornita dal manuale (Tabella 4, da Codurri et al., 2005 modificata). L'indice QBS-ar è la sommatoria di tutti gli EMI identificati. In particolare, per i gruppi che presentano diverse forme biologiche, e dunque differenti EMI, si considera solo il valore di EMI maggiore mostrato dal gruppo in un certo campione (Parisi, 2001). In base a quanto stabilito dal metodo, più è grande il valore di questo indice, maggiore è la qualità biologica del suolo.

Dopo aver determinato l'indice QBS-ar per tutti i campioni, si è provveduto a calcolare il valore dell'indice QBS-ar max (QBS massimale), corrispondente alla sommatoria degli EMI associati a tutte le forme biologiche trovate complessivamente nei tre campioni (A, B, C) di ogni stazione.

In particolare, in presenza di taxa contenenti più forme biologiche, è stato considerato solo il valore di EMI maggiore tra quelli trovati nei tre campioni, come indicato dal manuale (Codurri et al., 2005). Ad esempio, se nei tre campioni sono stati trovati individui del gruppo Araneidi corrispondenti sia al valore di EMI 1, sia al valore di EMI 5, nel calcolo dell'indice QBS-ar max è stato considerato solo il valore 5. Per la determinazione dell'indice QBS-ar max è stata utilizzata un'altra scheda (Tabella 5, da Codurri et al., 2005 modificata), fornita sempre dal manuale, nella quale sono stati riportati i valori di EMI definiti per le forme biologiche individuate nei tre campioni (indicati come repliche nella scheda) e i valori dell'indice QBS-ar calcolati per ciascun campione.

Tabella 4 - Scheda per il calcolo dell'indice QBS-ar (EMI totale), relativa ad un singolo campione (da Codurri et al., 2005 modificata)

Sigla	Località	Prelievo	Fine estraz.	Smistamento
	Gruppi	EMI	Presenza/ assenza	N. individui
Pseudoscorpioni		20		
Scorpioni	<i>Forme giovanili</i>	10		
Palpigradi		20		
Opilioni		10		
Araneidi	<i>Forme superiori a 5 mm</i>	1		
	<i>Forme piccole e poco pigmentate</i>	5		
Acari		20		
Isopodi		10		
Diplopodi	<i>Forme superiori a 5 mm</i>	10		
	<i>Forme inferiori a 5 mm</i>	20		
Pauropodi		20		
Sinfili		20		
Chilopodi	<i>Super. a 5 mm con zampe ben sviluppate</i>	10		
	<i>Altre forme (geofilomorfi)</i>	20		
Proturi		20		
Dipluri		20		
Collemboli	<i>Forme epigee: appendici allungate, ben sviluppate. Apparato visivo (macchia ocellare e occhi) ben sviluppato. Dimensioni medie/grandi, presenza di livrea complessa</i>	1		
	<i>Forme epigee non legate alla veget. arborea, buon sviluppo delle appendici, forte sviluppo di setole o squame. Apparato visivo ben sviluppato</i>	2		
	<i>Forme di piccola dimensione con medio sviluppo delle appendici, apparato visivo ben sviluppato, livrea modesta, forme limitate alla lettiera.</i>	4		
	<i>Forme emiedafiche con apparato visivo ben sviluppato, appendici non allungate, livrea con colore.</i>	6		
	<i>Forme emiedafiche con riduzione del numero di ocelli, appendici poco sviluppate con furca ridotta o assente. Presenza di pigmentazione.</i>	8		
	<i>Forme eudafiche con pigmentazione assente, riduzione o assenza di ocelli. Furca presente ma ridotta.</i>	10		
	<i>Forme eudafiche depigmentate, prive di furca, appendici tozze, presenza di pseudopeduncoli, organo postantennale sviluppato (ma non necessariamente presente)</i>	20		
Microcorifi		10		
Zigotomi		10		
Dermatteri		1		
Ortotteri	<i>In generale</i>	1		
	<i>Famiglia Grilladae</i>	20		
Embiotteri		10		
Fasmodei		1		
Mantodei		1		
Mecotteri		1		
Isotteri		10		
Blattari		5		
Psocotteri		1		
Emitteri	<i>Forme epigee</i>	1		
	<i>Larve cicale</i>	10		
Rafidiotteri		1		
Tisanotteri		1		
Coleotteri	<i>Forme epigee</i>	1		
	<i>Dimensioni < 2 mm</i>	+4		
	<i>Tegumenti sottili con colori testacei</i>	+5		
	<i>Microatterismo o Atterismo</i>	+5		
	<i>Microftalmia o anoftalmia</i>	+5		
	<i>Nel caso di forme edafobie</i>	20		
Imenotteri	<i>In generale</i>	1		
	<i>Formicidi</i>	5		
Ditteri	<i>Adulti</i>	10		
Rafidiotteri (larve)		1		
Planipenni (larve)		10		
Mecotteri (larve)		10		
Coleotteri (larve)		10		
Ditteri (larve)		10		
Imenotteri (larve)		10		
Lepidotteri (larve)		10		
Altri olometaboli	<i>Adulti</i>	1		

Tabella 5 - Scheda per il calcolo dell'indice massimale QBS-ar max relativa ad una stazione, (da Codurri et al., 2005 modificata)

Località		Prelievo	Date Fine estrazione		Smistamento	
	EMI	I° replica	II° replica	III° replica	QBS-ar max	
Pseudoscorpioni	20					
Scorpioni	10					
Palpigradi	20					
Opilioni	10					
Araneidi	1					
	5					
Acari	20					
Isopodi	10					
Diplopodi	10					
	20					
Paupodi	20					
Sinfili	20					
Chilopodi	10					
	20					
Proturi	20					
Dipluri	20					
Collemboli	1					
	2					
	4					
	6					
	8					
	10					
	20					
Microcorifi	10					
Zigotomi	10					
Dermatteri	1					
Ortotteri	1					
	20					
Embiotteri	10					
Fasmodei	1					
Mantodei	1					
Mecotteri	1					
Isotteri	10					
Blattari	5					
Psocotteri	1					
Emitteri	1					
	10					
Rafidiotteri	1					
Tisanotteri	1					
Coleotteri	1					
	+4					
	+5					
	+5					
	+5					
20						
Imenotteri	1					
	5					
Ditteri	10					
Rafidiotteri (larve)	1					
Planipenni (larve)	10					
Mecotteri (larve)	10					
Coleotteri (larve)	10					
Ditteri (larve)	10					
Imenotteri (larve)	10					
Lepidotteri (larve)	10					
Altri olometaboli	1					
QBS						

5.6.1 Le classi di qualità del suolo

Dopo aver determinato i valori di QBS-ar max per tutti i siti di campionamento, si è proseguito con l'identificazione delle classi di qualità del suolo. La classificazione è avvenuta sulla base di due schemi: lo schema riportato in Figura 28 (Parisi, 2001 e modificata in seguito da D'Avino, 2002), nel quale sono definite otto classi di qualità (dalla classe 0 alla classe 7), e lo schema riportato in Figura 29 (Parisi, 2001) nel quale sono definite sette classi di qualità (dalla classe 0 alla classe 6) entrambe in ordine crescente di complessità del popolamento in relazione all'adattamento alla vita edafica.

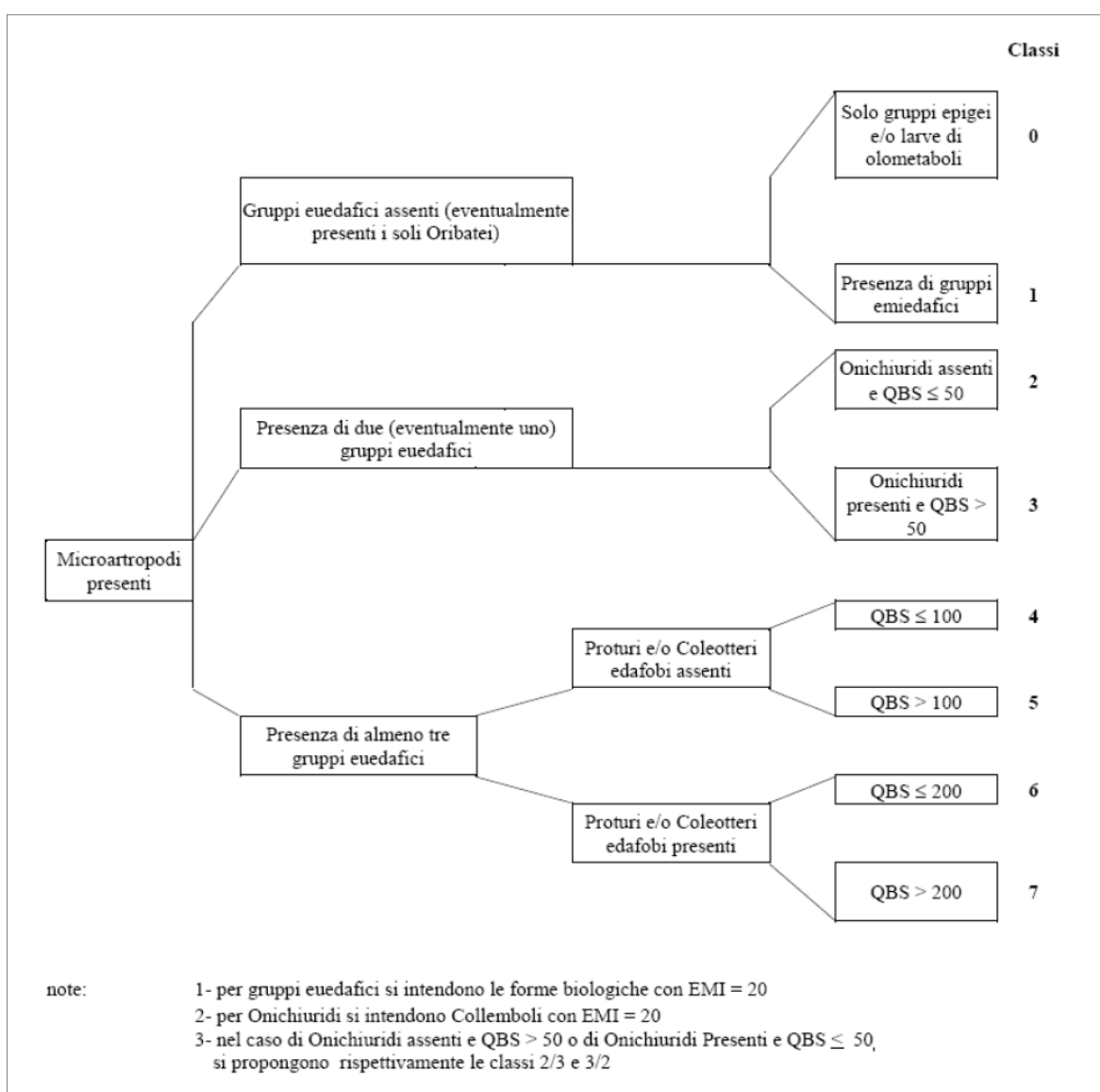


Figura 28 - Suddivisione in classi dei valori di QBS-ar (classificazione definita da Parisi, 2001 e modificata in seguito da D'Avino, 2002).

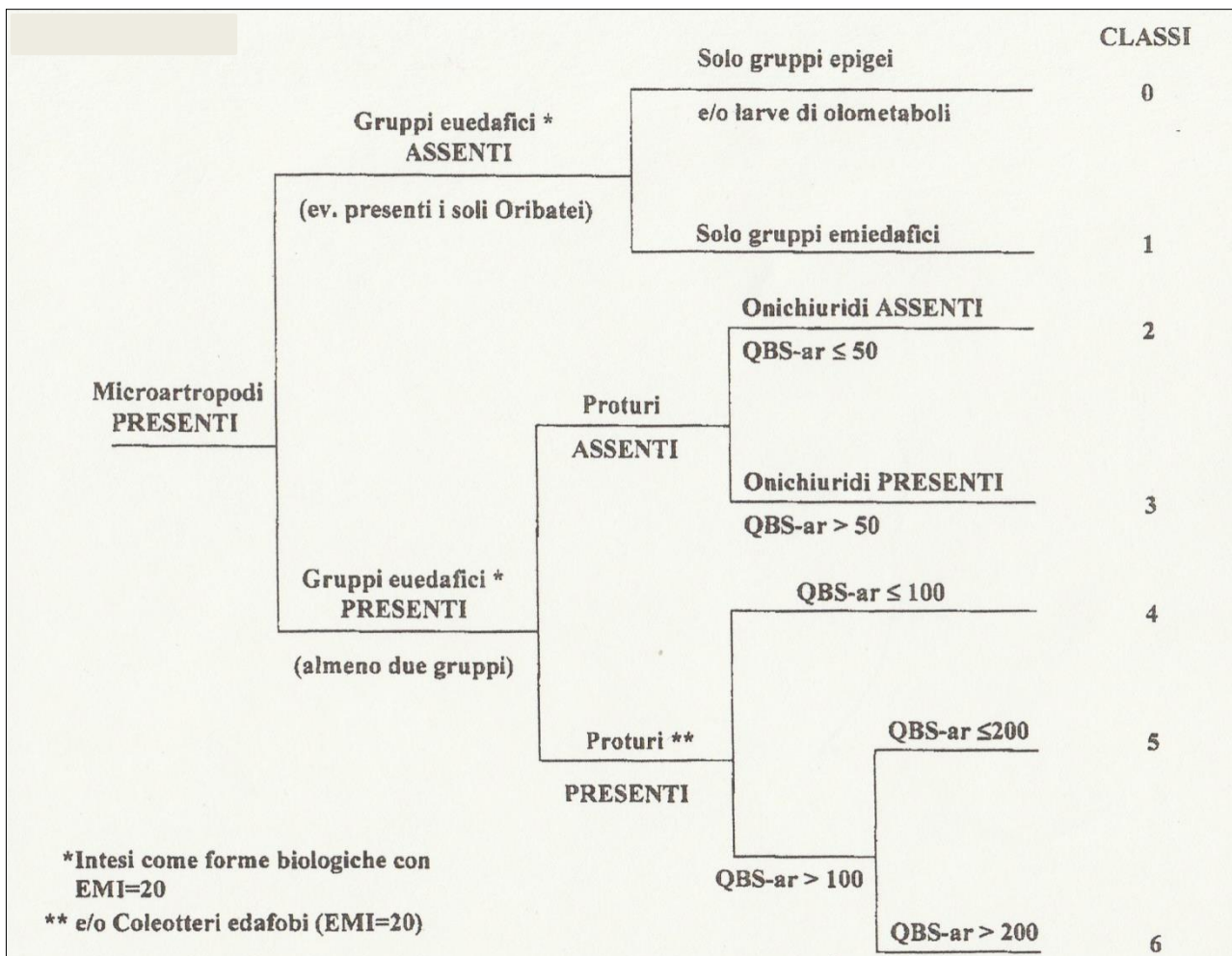


Figura 29 - Suddivisione in classi dei valori di QBS-ar (classificazione definita da Parisi, 2001).

6 Risultati

6.1 Profili

PA 1

Dati di stazione - Rappresentazione e descrizione del profilo



Dati di stazione

Coordinate WGS84 UTM fuso 33:

352753 m EST – 4211428 m NORD

Esposizione: N-NE 38°

Quota: ≈400 m s.l.m

Fisiografia e morfologia:

Paesaggio collinare eterogeneo in condizione di piana con minima pendenza

Uso del suolo/vegetazione:

Oliveto coltivato convenzionalmente, erpicato di recente con copertura erbacea rada

Substrato pedogenetico o litologia:

Calcere e dolomia

R.Umidità: Xerico

R.Temperatura: Termico

Rappresentazione del profilo



Descrizione morfologica del profilo

- ❖ **Ap1:** 0-15 cm; secco; bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4 - secco); tessitura argilloso limosa; struttura poliedrica, di grado forte; adesivo; plastico; radici poche, fini; scheletro 25%, Ø 2-40 mm sub-arrotondato; pori comuni, piccoli; effervescenza molto debole; limite chiaro ondulato.
- ❖ **Ap2:** 15-45 cm; molto poco umido; bruno grigiastro (2.5Y 5/2 - secco); tessitura argillosa; struttura poliedrica sub-arrotondata, di grado medio; adesivo; plastico; scheletro 50%, Ø 2-40 mm; radici arboree, fini, medie e grosse con andamento sub-orizzontale; pori pochi, piccoli; effervescenza debole con rideposizione di carbonati secondari; limite granulare lineare.
- ❖ **Bw:** 45-67 cm; poco umido; bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4 - secco); tessitura argillosa; struttura poliedrica angolare, di grado medio; presenza di slikensides; adesivo; plastico; radici arboree poche, grosse e molto grosse; scheletro 10%; pori pochi, medi; effervescenza debole; rinvenuti due esemplari di lombrico; limite chiaro lineare.
- ❖ **C:** 67-73 cm; umido; bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/4 - secco) con deboli screziature; tessitura argillosa; struttura poliedrica sub-angolare, di grado medio forte; presenza di slikensides; adesivo; plastico; radici arboree poche, fini; scheletro 10%; pori pochi, medi; effervescenza forte; rinvenuto esemplare di lombrico; limite sconosciuto.

Classificazione

VERTIC HAPLOXEREPT, clayey-skeletal, mixed, active, thermic (SSS, 2014).

PA 2

Dati di stazione - Rappresentazione e descrizione del profilo



Dati di stazione

Coordinate WGS84 UTM fuso 33:

351597 m EST – 4213360 m NORD

Esposizione: N-NO 40°

Quota: ≈350 m s.l.m.

Fisiografia e morfologia:

Paesaggio collinare eterogeneo in condizione di piana con minima pendenza

Uso del suolo/vegetazione:

Oliveto abbandonato, con abbondante vegetazione spontanea quali rovi, noce

Substrato pedogenetico o litologia:

Calcere e dolomia

R.Umidità: Xerico

R.Temperatura: Termico

Rappresentazione del profilo



Descrizione morfologica del profilo

- ❖ **Oi:** 0.5-0 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie di ulivo.
- ❖ **A1:** 0-16 cm; secco; bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco); tessitura argilloso limosa; struttura poliedrica sub-arrotondata, media, grado medio forte; poco adesivo; plastico; radici comuni fini e medie; scheletro 10% di Ø 2 -5 mm; pori molti, fini, medi e grossolani; effervescenza molto debole; limite chiaro ondulato.
- ❖ **A2:** 16-35 cm; molto poco umido; bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4 – secco); tessitura argillosa; struttura poliedrica subarrotondata, dimensione media-grossolana, di grado medio; poco adesivo; plastico; comuni crepacciature 3 mm; radici poche molto grosse con andamento sub orizzontale; scheletro 15%; pori molti, fini e medi; effervescenza molto debole; limite chiaro lineare.
- ❖ **Bw:** 35-60+ cm; poco umido; bruno oliva (2.5Y 4/3 – secco); tessitura argillosa; struttura poliedrica sub-angolare, dimensione media, di grado medio; rideposizione di carbonati 2°; poco adesivo; plastico; radici poche, medie; scheletro 15%, Ø 2 -10 mm; pori comuni, medi; effervescenza molto debole; limite sconosciuto.

Classificazione

TYPIC HAPLOXEREPT, fine, mixed, active, thermic (SSS, 2014).

PO 1

Dati di stazione - Rappresentazione e descrizione del profilo



Dati di stazione

Coordinate WGS84 UTM fuso 33:

420460 m EST – 4205913 m NORD

Quota: ≈260 m s.l.m.

Fisiografia e morfologia:

Paesaggio collinare eterogeneo con
giacitura pianeggiante

Uso del suolo/vegetazione:

Oliveto bruciato nei primi anni '90,
adibito a pascolo per asini

Substrato pedogenetico o litologia:

Flysch Numidico con facies Arenacea

R.Umidità: Xerico

R.Temperatura: Termico

Rappresentazione del profilo



Descrizione morfologica del profilo

- ❖ **Oi:** 2-0 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie di olivo e *Quercus Ilex*.
- ❖ **A1:** 0-2 cm; secco;; colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – secco); tessitura franca; struttura poliedrica sub-arrotondata, dimensione fine, di grado medio; non adesivo; non plastico; consistenza dura; radici erbacee comuni fini e poche medie, sub-orizzontali; scheletro 15%; pori comuni fini; effervescenza nulla; limite chiaro lineare.
- ❖ **A2:** 2-15 cm; secco; bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4 – secco); tessitura franca; struttura poliedrica sub-arrotondata, dimensione media, di grado medio; poco adesivo; plastico; radici arboree comuni fini e medie; scheletro 25%; pori comuni medi; effervescenza nulla; limite chiaro ondulato.
- ❖ **Bw:** 15-39 cm; secco; bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4 – secco); tessitura franco argillosa; struttura poliedrica angolare, dimensione media, di grado forte; adesivo; plastico; radici comuni fini e medie con andamento orizzontale; scheletro 20%; pori comuni, medi; effervescenza nulla; limite abrupto lineare.
- ❖ **C:** 39-54+ cm; secco; bruno (10YR 5/3 – secco); tessitura franco argillosa; struttura poliedrica angolare, dimensione media, di grado forte; adesivo; plastico; radici poche, fini, con andamento orizzontale; scheletro grossolano 20%; pori pochi medi; effervescenza nulla; limite sconosciuto.

Classificazione

TYPIC HAPLOXEREPT, fine-loamy, mixed, active, thermic (SSS, 2014).

PO 2

Dati di stazione - Rappresentazione e descrizione del profilo



Dati di stazione

Coordinate WGS84 UTM fuso 33:
420628 m EST – 4206202 m NORD

Quota: ≈250 m s.l.m.

Fisiografia e morfologia:

Paesaggio collinare eterogeneo in
condizione pianeggiante

Uso del suolo/vegetazione:

Oliveto coltivato biologicamente,
nessuna lavorazione superficiale,
pacciamato con sfalci

Substrato pedogenetico o litologia:

Flysch Numidico con facies Arenacea

R.Umidità: Xerico

R.Temperatura: Termico

Rappresentazione del profilo



Descrizione morfologica del profilo

- ❖ **Ap1:** 0-17 cm; secco; bruno giallastro (10YR 5/4 – secco); tessitura franco argillosa; struttura poliedrica, sub-arrotondata grumosa, dimensione media 2 cm, di grado debole; non adesivo; non plastico; radici erbacee comuni fini e molto fini; scheletro 15%; pori comuni fini e medi; effervescenza nulla; limite chiaro ondulato.
- ❖ **Ap2:** 17-37 cm; secco; bruno (10YR 5/3 – secco); tessitura franco argillosa; struttura poliedrica sub-arrotondata, più compatta della precedente, dimensione media, di grado debole; non adesivo; non plastico; radici arboree comuni fini e poche medie; scheletro 20%; pori comuni fini; effervescenza nulla; limite chiaro lineare.
- ❖ **Bw:** 37-50 cm; secco; bruno giallastro scuro (10YR 4/4 – secco); tessitura franco argillosa; struttura poliedrica, dimensione media, di grado medio; non adesivo; non plastico; radici arboree poche fini con andamento orizzontale; scheletro 35% comune spigoloso e a volte arrotondato; pori pochi fini; effervescenza nulla; limite chiaro lineare.
- ❖ **C:** 50-67+ cm; poco umido; bruno (10YR 5/3 – secco), con presenza di screziature rossastre; tessitura franco argillosa; struttura poliedrica angolare, dimensione media, di grado medio; non adesivo; non plastico; radici assenti; scheletro 35% spigoloso; pori pochi, molto fini; effervescenza nulla; limite sconosciuto.

Classificazione

TYPIC HAPLOXEREPT, loamy-skeletal, mixed, superactive, thermic (SSS, 2014).

6.2 Caratteristiche chimiche dei suoli

Sono riportati in Tabella 6 i risultati delle determinazioni analitiche eseguite sui singoli orizzonti dei profili pedologici studiati .

Tabella 6 - Determinazioni analitiche relative ai singoli orizzonti dei profili pedologici studiati

Profilo	Orizzonte	Prof. cm	Sabbia 2000-50 um	Limo 50-2 um	Argilla < 2 um	Tessitur a USDA	Reazione in H ₂ O	Calcare totale	CEa 25°C 1:2,5	CSC	Ca scamb.	Mg scamb.	Kscamb.	Na scamb.	GSB %	TN	TOC	C/N	P- Mg/K assim.	
																				g·kg ⁻¹
PA1	Ap1	0-15	110	463	427	AL	7,65	29,8	0,359	31,3	24	5,8	1,18	0,38	100	2,15	23,17	10,77	207,6	4,9
	Ap2	15-45	233	350	417	A	8,18	74,4	0,173	26,8	20,6	5,6	0,39	0,23	100	1,10	13,49	12,23	76	14,3
	Bw	45-67	133	334	533	A	8,38	58,1	0,185	28,5	19,9	8	0,24	0,28	100	0,80	10,19	12,68	3,9	33,0
	C	67-73	91	380	529	A	8,4	125	0,275	25,1	12,3	11,8	0,52	0,49	100	0,69	7,35	10,72	1,5	22,8
PA2	A1	0-16	190	397	413	AL	7,93	23,8	0,234	31	23,9	5,6	1,13	0,31	100	2,30	25,52	11,08	107,8	5,0
	A2	16-35	253	324	423	A	8,49	37,2	0,163	24,2	18,5	4,8	0,64	0,31	100	1,04	13,37	12,83	40,6	7,4
	Bw	35-60+	193	354	453	A	8,38	13,4	0,161	25,8	20	4,9	0,33	0,52	100	0,83	8,98	10,87	6,9	15,1
PO1	A1	0-2	346	477	177	F	6,72	0	0,163	31,8	27,3	3,1	1,22	0,19	100	4,51	62,65	13,89	50,5	2,5
	A2	2-15	330	430	240	F	6,46	0	0,063	14,8	7,5	1,9	0,84	0,14	70	1,55	19,78	12,76	14,1	2,3
	Bw	15-39	254	466	280	FA	6,4	0	0,041	15,7	7,6	1,9	0,53	0,37	66	1,12	11,53	10,30	13,8	3,6
	C	39-54	244	396	360	FA	6,39	0	0,047	19,1	12,3	2,2	0,54	0,33	81	1,31	12,81	9,75	12,6	4,1
PO2	Ap1	0-17	243	447	310	FA	6,48	0	0,108	20	13,2	3,2	1	0,36	89	1,75	20,41	11,65	9,3	3,2
	Ap2	17-37	293	427	280	FA	6,65	0	0,117	18,1	13,0	2,9	0,92	0,4	96	1,65	19,17	11,60	11,7	3,2
	Bw	37-50	364	356	280	FA	6,65	0	0,08	22,3	13,7	3,1	0,63	0,46	80	1,48	12,95	8,76	7,5	4,9
	C	50-67+	283	347	370	FA	6,58	0	0,079	19,7	14,1	3,2	0,27	0,29	91	1,05	9,90	9,40	5,4	11,9

PA1: la quantità di argilla nel profilo è elevata (da 417 a 533 g·kg⁻¹) e la tessitura degli orizzonti varia da argillosa limosa in superficie ad argillosa nei successivi orizzonti. Il pH degli orizzonti è prossimo alla neutralità e tende ad aumentare lungo il profilo fino a raggiungere valori pari a 8.4 nell'orizzonte C più profondo. Appare evidente che il valore di pH segua l'andamento dei carbonati, raggiungendo valori più elevati dove maggiore è il contenuto di calcare totale che comunque non supera i 125 g·kg⁻¹. I valori di CE variano da 0.173 dS·m⁻¹ ad un massimo di 0.359 dS·m⁻¹ nell'orizzonte superficiale Ap1; questo potrebbe essere legato ad un accumulo di sali solubili per via dell'evapotraspirazione superficiale (non si tratta di un terreno irriguo). Appare evidente inoltre che l'elevata Capacità di Scambio Cationico (da 25.1 a 31.3 cmol·kg⁻¹) sia legata all'alto contenuto di argilla e al discreto contenuto di sostanza organica soprattutto in superficie. Ciò si traduce in un forte potere di ritenzione degli elementi scambiabili. Per quanto riguarda la quantità di basi scambiabili, dal punto di vista agronomico, risultano: il calcio risulta da medio a ricco, il magnesio molto ricco, il potassio da medio a molto ricco, il sodio normale. Il contenuto di azoto totale risulta dal punto di vista del giudizio agronomico (secondo lo schema interpretativo ARPAV) ricco nell'orizzonte Ap1, mediamente dotato l'orizzonte Ap2 e Bw e scarsamente dotato l'orizzonte C. Il tenore di C organico diminuisce con la profondità e comunque i valori sono da buono a ricco (da 7.35 a 23.17 g·kg⁻¹). Il rapporto tra C e N organico con il quale quantifichiamo il livello di umificazione, che in condizioni ottimali dovrebbe stabilizzarsi intorno ad un valore prossimo a 10, risulta essere buono.

PA2: la quantità di argilla nel profilo è elevata (da 413 a 453 g·kg⁻¹) e la tessitura degli orizzonti varia da argillosa limosa in superficie ad argillosa nei successivi orizzonti. Il pH degli orizzonti è prossimo alla neutralità con il valore massimo nell'orizzonte A2 pari a 8.49. Appare evidente che il valore di pH segua l'andamento dei carbonati, raggiungendo valori più elevati dove maggiore è il contenuto di calcare totale che comunque non supera i 37.2 g·kg⁻¹. I valori di CE variano da 0.161 dS·m⁻¹ ad un massimo di 0.234 dS·m⁻¹ nell'orizzonte superficiale A1, questo potrebbe essere legato ad un accumulo di sali solubili. Appare evidente inoltre che l'elevata Capacità di Scambio Cationico (da 24.2 a 31 cmol·kg⁻¹) sia legata all'alto contenuto di argilla e al discreto contenuto di sostanza organica soprattutto in superficie, ciò si traduce in un forte potere di ritenzione degli elementi scambiabili. Per quanto riguarda la quantità di basi scambiabili, dal punto di vista agronomico, risultano: il calcio risulta da buono a ricco, il magnesio molto ricco, il potassio da buono a molto ricco, il sodio normale. Il contenuto di azoto totale risulta dal punto di vista del giudizio agronomico (secondo lo schema interpretativo ARPAV) ricco l'orizzonte A1, mediamente

dotato l'orizzonte A2 e Bw. Il tenore di C organico diminuisce con la profondità e comunque i valori sono da buono a ricco (da 8.98 a 25.52 g·kg⁻¹). Il rapporto tra C e N organico con il quale si quantifica il livello di umificazione, che in condizioni ottimali dovrebbe stabilizzarsi intorno ad un valore prossimo a 10, risulta essere buono.

Tentando di fare un confronto a coppie è possibile notare delle leggere differenze di carattere chimico fisico tra l'oliveto convenzionale PA1 e l'oliveto abbandonato PA2 aventi uguale pedotipo. Entrambi presentano degli ottimi parametri chimici, si possono leggere soltanto delle sottili differenze come: una conduttività elettrica poco più bassa nell'oliveto abbandonato, una leggera quantità in più di carbonio organico (TOC), azoto totale (TN) e una leggera dotazione in più di potassio (K). Dal punto di vista fisico è stata riscontrata, nell'oliveto abbandonato, una maggiore porosità superficiale creata dai lombrichi e altra pedofauna, il che si traduce in un maggior potere di ritenzione idrica da parte del suolo, di mobilità della soluzione circolante e gas tellurici all'interno del suolo.

PO1: la quantità di limo nel profilo è elevata (da 396 a 477 g·kg⁻¹) e la tessitura degli orizzonti varia da franca in superficie a franca argillosa nei successivi orizzonti. Il pH degli orizzonti è prossimo alla neutralità e tende a rimanere costante lungo tutto il profilo. I valori di CE variano da 0.041 dS·m⁻¹ ad un massimo di 0.163 dS·m⁻¹ nell'orizzonte superficiale A1, questo potrebbe essere legato ad un maggiore accumulo di sali solubili per via dello stress idrico. Appare evidente inoltre che l'elevata Capacità di Scambio Cationica (31.8 cmol·kg⁻¹) del primo orizzonte sia legata al fatto che si tratti di un orizzonte di appena due cm di spessore; tale valore potrebbe essere legato all'elevata quantità di sostanza organica, mentre i successivi orizzonti presentano valori ben più bassi (da 14.8 a 19.1 cmol·kg⁻¹). Per quanto riguarda la quantità di basi scambiabili, dal punto di vista agronomico, risultano: il calcio risulta da scarso a molto ricco, il magnesio da ricco a molto ricco, il potassio da ricco a molto ricco, il sodio normale. Il contenuto di azoto totale risulta dal punto di vista del giudizio agronomico (secondo lo schema interpretativo ARPAV) molto ricco l'orizzonte A1, ben dotato negli orizzonti A2 e C e mediamente dotato l'orizzonte Bw. Il tenore di C organico è molto elevato nel primo orizzonte (62.65 g·kg⁻¹), ma sempre legato al fatto che si tratta di un orizzonte di soli 2 cm, diminuisce con la profondità nei successivi orizzonti, con valori variabili (da 11.53 a 19.78 g·kg⁻¹). Il rapporto tra C e N organico con il quale quantifichiamo il livello di umificazione, che in condizioni ottimali dovrebbe stabilizzarsi intorno ad un valore prossimo a 10, risulta essere buono.

PO2: la quantità di limo nel profilo è elevata (da 347 a 447 g·kg⁻¹) e la tessitura degli orizzonti risulta essere franco argillosa. Il pH degli orizzonti è prossimo alla neutralità e tende a rimanere costante lungo tutto il profilo. I valori di CE variano da 0.079 dS·m⁻¹ ad un massimo di 0.117 dS·m⁻¹. Lungo il profilo si registra una buona Capacità di Scambio Cationica (da 18.1 a 22.3 cmol·kg⁻¹). Per quanto riguarda la quantità di basi scambiabili, dal punto di vista agronomico, risultano: il calcio risulta medio, il magnesio molto ricco, il potassio da medio a molto ricco, il sodio normale. Il contenuto di azoto totale risulta dal punto di vista del giudizio agronomico (secondo lo schema interpretativo ARPAV) ben dotati gli orizzonti Ap1, Ap2, Bw e mediamente dotato l'orizzonte C. Il tenore di C organico è più elevato nei primi due orizzonti (da 19.17 a 20.41 g·kg⁻¹), diminuisce con la profondità nei successivi orizzonti, (da 9.90 a 12.95 g·kg⁻¹). Il rapporto tra C e N organico con il quale quantifichiamo il livello di umificazione, che in condizioni ottimali dovrebbe stabilizzarsi intorno ad un valore prossimo a 10, risulta essere buono.

Tentando di fare sempre un confronto a coppie è possibile notare delle leggere differenze di carattere chimico fisico tra l'oliveto abbandonato PO1 e l'oliveto biologico PO2 aventi uguale substrato. Appare evidente che l'elevata Capacità di Scambio Cationico (31.8 cmol·kg⁻¹) del primo orizzonte (A1) dell'oliveto abbandonato sia legata al fatto che si tratti di un orizzonte di appena 2 cm di spessore; tale valore potrebbe essere legato all'elevata quantità di sostanza organica. Eliminando il fatto che, dato lo spessore così effimero, il primo orizzonte del profilo PO1 non è direttamente confrontabile con il primo orizzonte del profilo PO2, tutti gli altri parametri risultano molto simili; soltanto il fosforo assimilabile risulta molto carente nell'oliveto biologico, questo potrebbe essere giustificato dal fatto che le pratiche agricole effettuate siano troppo intensive rispetto alla naturale capacità del suolo di ristabilire valori buoni di fertilità (non viene effettuata nessun tipo di concimazione da anni).

Per quanto riguarda le caratteristiche chimico fisiche del suolo si osserva che i campioni di Altofonte (PA1 e PA2) si presentano piuttosto distinti dai campioni di Pollina (PO1 e PO2). Infatti tali pedotipi presentano una tessitura che varia da argillosa limosa ad argillosa rispetto ad una tessitura che varia da franca a franca argillosa per i pedotipi di Pollina. Questo si traduce in una maggiore Capacità di Scambio Cationico per i pedotipi di Altofonte rispetto a quelli di Pollina. Un altro aspetto che distingue i pedotipi di Altofonte dai pedotipi di Pollina è legato alla presenza, nei primi, di calcare totale derivante dalla presenza di Dolomia, che risulta invece assente nel secondo sito. Questo si traduce in un pH leggermente più alcalino nei primi pedotipi, per via dell'effetto tampone effettuato dal calcare e una maggiore presenza di calcio e magnesio scambiabile. I valori relativi al potassio e sodio scambiabile, TN, TOC e C/N risultano invece abbastanza omogenei in

entrambi i siti. Una differenza da evidenziare, confrontando le aree degli oliveti coltivati e le aree abbandonate, risulta essere la presenza di lettiera in quest' ultime e la totale assenza nelle prime. Essa sembra dare un contributo maggiore nel rifornimento di sostanza organica rispetto agli oliveti coltivati. Infatti, osservando i valori di TOC, se ne registrano i valori più elevati proprio negli orizzonti superficiali delle aree abbandonate; inoltre è possibile osservare in questi orizzonti superficiali valori leggermente più alti di C/N, indice che vi è un processo di umificazione in fase di stabilizzazione, nel quale l'azoto risulta leggermente in deficit rispetto all'apporto di carbonio se paragonato con le aree coltivate.

6.3 La pedofauna

6.3.1 Composizione del popolamento, valori dell'indice QBS-ar , QBS-ar max e classi di qualità del suolo

Nella Tabella 7 e Tabella 8 sono riportati i taxa dei microartropodi ritrovati nei campioni di suolo e i relativi conteggi degli indici QBS-ar e QBS-ar max.

Tabella 7 - Taxa di microartropodi del suolo ritrovati nei campioni prelevati nel sito **PA1** (oliveto convenzionale) e **PA2** (oliveto abbandonato) nel Comune di Altofonte

Gruppi tassonomici	PA1 A QBS-ar	PA1 B QBS-ar	PA1 C QBS-ar	PA1 QBS-ar max
Proturi				
Dipluri		20		20
Collemboli	2	2	2	2
Microryphia				
Zygentomata				
Dermatteri				
Ortotteri				
Embiotteri				
Blattari				
Psocotteri				
Emitteri				
Tisanotteri				
Coleotteri	5	10	5	10
Imenotteri	5	5	5	5
Ditteri (larve)	10	10	10	10
Altri olometaboli (larve)	10		10	10
Altri olometaboli (adulti)	1	1	1	1
Pseudoscorpioni	20	20	20	20
Palpigradi				
Opilioni				
Araneidi		5	5	5
Acari	20	20	20	20
Isopodi	10	10		10
Diplopodi	10		10	10
Pauropodi				
Sinfili	20			20
Chilopodi		10	10	10
Totale	113	113	98	153

Gruppi tassonomici	PA2 A QBS-ar	PA2 B QBS-ar	PA2 C QBS-ar	PA2 QBS-ar max
Proturi		20	20	20
Dipluri	20		20	20
Collemboli	10	20	20	20
Microryphia		10		10
Zygentomata				
Dermatteri	1			1
Ortotteri				
Embiotteri	10	10		10
Blattari				
Psocotteri				
Emitteri	1	1	1	1
Tisanotteri			1	1
Coleotteri	10		10	10
Imenotteri	5	5	5	5
Ditteri (larve)		10	10	10
Altri olometaboli (larve)	10		10	10
Altri olometaboli (adulti)	1	1	1	1
Pseudoscorpioni	20	20	20	20
Palpigradi				
Opilioni				
Araneidi	5	5	5	5
Acari	20	20	20	20
Isopodi	10		10	10
Diplopodi	20	20		20
Pauropodi				
Sinfili	20		20	20
Chilopodi				
Totale	163	142	173	214

Le tre repliche nei due siti PA1 e PA2 (Tabella 7) presentano valori abbastanza omogenei, ciò può significare che la procedura di campionamento, l'estrazione e il riconoscimento dei microartropodi è avvenuta in maniera abbastanza precisa. Osservando i punteggi di QBS-ar max totalizzati nei siti PA1 e PA2 appare evidente come il valore ottenuto nell'oliveto convenzionale (PA1) risulti essere nettamente inferiore rispetto al valore ottenuto nell'oliveto abbandonato (PA2). Andando ad analizzare la struttura di popolamento nei due siti appare evidente che nel sito PA1 diminuisce prima di tutto il numero complessivo di gruppi tassonomici rinvenuti, quindi vi è una diminuzione in termini di biodiversità. Infatti, rispetto al sito PA2 non sono stati rinvenuti: Proturi, Microcorifi,

Dermatteri, Embiotteri, Emitteri e Tisanotteri. Inoltre, è da notare come le forme biologiche edafobie risultino essere più sensibili; infatti appaiono in misura minore nelle tre repliche del sito PA1 e in gruppi sistematici come i Collemboli e i Diplopodi esse non si presentano affatto, presentandosi solo le forme epigee.

Tabella 8 - Taxa di microartropodi del suolo ritrovati nei campioni prelevati nel sito **PO1** (oliveto abbandonato) e **PO2** (oliveto biologico) nel Comune di Pollina

Gruppi tassonomici	PO1 A QBS-ar	PO1 B QBS-ar	PO1 C QBS-ar	PO1 QBS-ar max	Gruppi tassonomici	PO2 A QBS-ar	PO2 B QBS-ar	PO2 C QBS-ar	PO2 QBS-ar max
Proturi			20	20	Proturi				
Dipluri	20		20	20	Dipluri		20		20
Collemboli	10	10	5	10	Collemboli	4	4	4	4
Microryphia					Microryphia				
Zygentomata					Zygentomata				
Dermatteri					Dermatteri				
Ortotteri					Ortotteri				
Embiotteri		10		10	Embiotteri	10		10	10
Blattari					Blattari				
Psocotteri		1		1	Psocotteri				
Emitteri	1		1	1	Emitteri	1	1	1	1
Tisanotteri					Tisanotteri				
Coleotteri	20	10	10	20	Coleotteri		5	5	5
Imenotteri	5	5	5	5	Imenotteri	5		5	5
Ditteri (larve)	10	10	10	10	Ditteri (larve)				
Altri olometaboli (larve)	10	10	10	10	Altri olometaboli (larve)	10	10	10	10
Altri olometaboli (adulti)		1	1	1	Altri olometaboli (adulti)	1	1	1	1
Pseudoscorpioni	20	20	20	20	Pseudoscorpioni	20	20	20	20
Palpigradi					Palpigradi				
Opilioni		10		10	Opilioni				
Araneidi	5	5	5	5	Araneidi	5	5	5	5
Acari	20	20	20	20	Acari	20	20	20	20
Isopodi					Isopodi				
Diplopodi		10	10	10	Diplopodi				
Pauropodi					Pauropodi				
Sinfili	20			20	Sinfili				
Chilopodi					Chilopodi				
Totale	141	122	137	193	Totale	76	86	81	101

Anche le tre repliche nei due siti PO1 e PO2 (Tabella 8) presentano valori abbastanza omogenei, ciò può significare che la procedura di campionamento, l'estrazione e il riconoscimento dei microartropodi è avvenuta in maniera abbastanza precisa. Osservando i punteggi di QBS-ar max totalizzati nei siti PO1 e PO2 appare evidente come il valore ottenuto nell'oliveto biologico (PO2) risulti essere nettamente inferiore rispetto al valore ottenuto nell'oliveto abbandonato (PO1). Andando ad analizzare la struttura di popolamento nei due siti appare evidente che nel sito PO2 diminuisce prima di tutto il numero di gruppi tassonomici rinvenuti, quindi vi è una diminuzione in termini di biodiversità. Infatti rispetto al sito PO1 non sono stati rinvenuti: Proturi, Psocotteri, Ditteri (larve), Opilioni, Diplopodi e Sinfili. Inoltre è da notare come le forme biologiche edafobie sono quelle risultare essere più sensibili, infatti appaiono in misura minore nelle tre repliche del

sito PO2 e in gruppi sistematici come i Collemboli e i Coleotteri esse non si presentano affatto, presentandosi solo le forme epigee.

Cercando di fare un paragone tra i siti PA e PO è possibile evidenziare qualche differenza. Prima di tutto, il risultato che merita di essere evidenziato risulta essere la diminuzione percentuale, attesa, del QBS-ar max negli oliveti coltivati in confronto a quelli abbandonati. Esso diminuisce del 28.5% nell'oliveto convenzionale rispetto all'oliveto abbandonato, mentre, cosa che risulta essere contro ogni aspettativa, diminuisce del 48% nell'oliveto biologico, sempre rispetto all'oliveto abbandonato. In termini di biodiversità, invece, in entrambe le aree coltivate, sia convenzionale che biologica, si registra una diminuzione di 6 gruppi sistematici tra la “selettura”, gruppi che risultano essere tutti differenti tra loro tranne che per i Proturi, i quali scompaiono in entrambi i casi.

Applicando il sistema di valutazione descritto da Parisi (2001), come modificato da D'Avino (2002), sulla base dei valori di QBS-ar max ottenuti, sono state definite le classi di qualità del suolo per i quattro siti di campionamento come riportato in Tabella 9.

Tabella 9 - Classi di qualità dei suoli esaminati nei quattro siti di campionamento secondo il sistema di valutazione di D'Avino (2002)

Sito	Metodo di coltivazione	Classe di qualità	Località
PA1	Oliveto convenzionale	5	Altofonte
PA2	Oliveto abbandonato	7	Altofonte
PO1	Oliveto abbandonato	6	Pollina
PO2	Oliveto biologico	5	Pollina

La qualità biologica dei suoli risulta buona in tutte le aree considerando la suddivisione in classi (da 0 a 7), gli oliveti coltivati si discostano di poco dalle rispettive aree abbandonate di confronto. Non si registrano grosse diminuzioni qualitative nelle aree coltivate.

Applicando il sistema di valutazione descritto da Parisi (2001), nella sua versione originale, sulla base dei valori di QBS-ar max ottenuti, sono state definite le classi di qualità del suolo per i quattro siti di campionamento come riportato in Tabella 10.

Tabella 10 - Classi di qualità dei suoli esaminati nei quattro siti di campionamento secondo il sistema di valutazione di Parisi (2001)

Sito	Metodo di coltivazione	Classe di qualità	Località
PA1	Oliveto convenzionale	2	Altofonte
PA2	Oliveto abbandonato	6	Altofonte
PO1	Oliveto abbandonato	5	Pollina
PO2	Oliveto biologico	2	Pollina

Utilizzando la versione originale del sistema di valutazione di Parisi (2001), la qualità biologica dei suoli presenta delle differenze più marcate tra le aree coltivate e le loro rispettive aree di confronto considerando la divisione in classi (da 0 a 6). Infatti, le aree abbandonate raggiungono una classe di qualità alta, equiparabile alla classe di qualità assegnata con il sistema di valutazione di D'Avino (2002), invece, le aree coltivate raggiungono una classe di qualità bassa, cosa che non avveniva con il sistema di valutazione di D'Avino (2002).

Nell'assegnare le classi di qualità, un ruolo fondamentale è svolto nel sistema di valutazione di Parisi (2001) dalla presenza dei gruppi sistematici dei Proturi e/o Coleotteri edafobi. Essi fanno da ago della bilancia per il passaggio alle classi di qualità che identificano una buona qualità biologica del suolo, cosa che non avviene con il sistema di valutazione di D'Avino (2002) nel quale la presenza di altri gruppi sistematici edafobi permette di assegnare una qualità biologica più alta.

7 Discussione

Non sono stati trovati degli studi precedenti che mettessero in relazione caratteristiche chimico fisiche con il popolamento dei microartropodi nell'area di campionamento oggetto del nostro studio, tuttavia esistono numerosi studi nei quali è stato utilizzato, come parametro biologico nella valutazione qualitativa dei suoli, un metodo biologico basato sui microartropodi, grazie ai quali è possibile fare delle considerazioni di carattere più generale.

Dal 2004 al 2006 Arpa Piemonte ha condotto una vasta indagine sul territorio regionale esaminando 317 campioni e definendo intervalli di valori di QBS-ar per varie tipologie di uso del suolo (RSA, 2007). Da queste indagini emerge che i valori di QBS-ar risultano correlati con la presenza di condizioni pedologiche stabili, ovvero favorevoli ed evolute (suoli ben strutturati, superficie vegetata stabile). E' sufficiente la stabilizzazione di suolo con vegetazione per riscontrare valori maggiori rispetto a suoli prevalentemente nudi o polverizzati. Proprio facendo riferimento alle caratteristiche morfologiche dei suoli indagati, in cui il pedotipo PA presenta una tessitura che varia da argillosa limosa ad argillosa, ed in cui è possibile riscontrare una struttura grumosa e una maggiore porosità, rispetto al pedotipo PO che presenta una tessitura che varia da franca a franca argillosa, nel quale la struttura risulta più incoerente e la porosità minore, i valori di QBS-ar max ottenuti risultano perfettamente in linea con l'indagine condotta da Arpa Piemonte (RSA, 2007). Infatti nel pedotipo PA (QBS-ar max = 214) sono stati riscontrati valori più alti rispetto al pedotipo PO (QBS-ar max = 193) a parità di condizione di gestione (oliveto abbandonato) ma differenti caratteristiche morfologiche del pedotipo.

I suoli di vari tipi di boschi non disturbati in Italia, sono caratterizzati da alta attività biologica con valori di QBS-ar maggiori di 200 (Blasi et al., 2013). Il valore dell'indice QBS-ar di un suolo che presenta differenti comunità vegetali, è chiaramente più alto di quelli osservabili in campi coltivati (generalmente minore di 150, Tabaglio et al., 2008, 2009), in prati di pianura (intervallo medio di valori da 70 a 200 (Gardi et al., 2002; Menta et al., 2008, 2011). Un precedente studio (Callaham et al., 2006) ha indicato una chiara diminuzione di diversità dei microinvertebrati del suolo, secondo gradiente partendo da boschi di angiosperme ai boschi di gimnosperme, seguendo per i pascoli e campi coltivati. I nostri risultati confermano che un sistema eterogeneo, come un area abbandonata che tende ad evolvere verso la sua condizione di equilibrio (climax), è caratterizzata da più alti livelli di biodiversità tipici e di una comunità di microartropodi ben strutturata, tipica degli ecosistemi stabili. In riferimento ai valori assoluti di QBS-ar è stata riscontrata nel nostro studio una notevole diminuzione del punteggio nei due oliveti coltivati rispetto alle aree abbandonate di confronto; esso diminuisce del 28.5% (da 214 a 153) nell'oliveto convenzionale, mentre, cosa che

risulta essere contro ogni aspettativa, diminuisce del 48% (da 193 a 101) nell'oliveto biologico. Rifacendoci a questi studi uno dei fattori che potrebbe contribuire a questa diminuzione potrebbe essere legato al fatto che gli oliveti coltivati siano a regime monocolturale, mentre le rispettive aree abbandonate di confronto presentino un'elevata fito-diversità costituendo un vero e proprio ecosistema.

E' appurato che in ecosistemi mediterranei la presenza degli invertebrati segua la stagionalità con picchi massimi in inverno e un declino in estate (Touloumis & Stamou, 2009). Secondo lo studio di Blasi et al. (2013), dato che il QBS-ar è basato su un'analisi qualitativa dei dati della fauna del suolo, i boschi decidui (caratterizzati da estati siccitose) sembrano non essere soggetti a cambiamenti stagionali, fungendo da buon indicatore della qualità del suolo. Tuttavia sono necessarie altre ricerche in ecosistemi afflitti da estati siccitose persistenti (macchia e pineta mediterranea) per confermare che la stagionalità non è significativamente influente sull'indice. In particolare, in condizioni microambientali annuali stabili di bosco, la comunità di microartropodi (esprimendo la presenza della forma con l'EMI), sotto uno strato spesso di lettiera, risulta meno colpita dai cambiamenti stagionali. Al contrario, in campi coltivati la comunità di microartropodi (Neave & Fox, 1998) risulta fortemente influenzata dalla stagionalità come misurato dai valori di QBS-ar (Tabaglio et al., 2009). Anche se nel nostro caso risulta impossibile fare un confronto temporale, risulta tuttavia possibile fare una considerazione importante: pur avendo eseguito il campionamento nel mese più caldo dell'anno in Sicilia (luglio) e quindi nella situazione di maggior stress climatico per la pedofauna in ecosistemi mediterranei, sono stati registrati dei valori molto alti di QBS-ar nelle aree abbandonate. I valori risultano essere 214 per PA1 e 193 per PO, in linea con i valori dello studio di Blasi S. et al. (2013) che descrive come i boschi decidui (caratterizzati da estati siccitose) sembrano non essere soggetti a cambiamenti stagionali. Facendo sempre riferimento agli studi citati (Blasi et al., 2013; Neave & Fox, 1998; Tabaglio et al., 2009), le considerevoli diminuzioni registrate negli oliveti coltivati, del 28.5% e 48% , potrebbero essere legate alla mancanza di uno spesso strato di lettiera e all'influenza della stagionalità di cui risentono i campi coltivati.

Uno studio di Bedano et al. (2006) mostra come Proturi, Sinfili e Pauropodi siano gruppi sistematici tipici legati a condizioni ambientali stabili, legati al suolo non disturbato. Inoltre recenti studi sugli effetti dello sfruttamento del terreno (Addison, 2007) rivelano che Sinfili, Dipluri e Diplopodi siano i gruppi sistematici più sensibili non rinvenibili in aree disturbate. In particolare, i Miriapodi è stato dimostrato essere assenti in suoli degradati (Menta et al., 2008) e sporadicamente presenti in bassa densità in campi coltivati (Tabaglio et al., 2009). Secondo lo studio di Blasi et al.

(2013) Proturi, Dipluri, Coleotteri (adulti), Pauropodi, Diplopodi, Sinfili, Chilopodi, Ditteri (larve), e Opilioni reagiscono negativamente alla degradazione e compattazione del suolo. In particolare Proturi, Dipluri, Sinfili e Pauropodi sono gruppi tassonomici legati a suoli non disturbati. Nel nostro caso, nel sito PA scompaiono Proturi, Microcorifi, Dermatteri, Embiotteri, Emittori e Tisanotteri (gruppi che secondo di Blasi et al. (2013), escludendo i Proturi, non reagiscono negativamente alla degradazione e compattazione del suolo). Mentre nel sito PO scompaiono Proturi, Psocotteri, Ditteri (larve), Opilioni, Diplopodi e Sinfili ritrovando quindi 5 dei gruppi sistematici che più reagiscono negativamente alla degradazione e compattazione del suolo. Tenendo in considerazione questo studio recente, che evidenzia come dei gruppi sistematici possano essere discriminanti di un determinato fattore di stress, risulta emergere come i valori bassi di QBS-ar nell'oliveto biologico possano essere legati ad una cattiva gestione delle proprietà fisiche del suolo. In particolare si pensa possa dipendere dalle eccessive lavorazioni del suolo, nello specifico la fresatura che oltre a provocare una perdita di struttura del suolo non permette lo sviluppo di copertura vegetale e quindi un accumulo sufficiente di sostanza organica, con il risultato di un suolo estremamente compatto. Cosa che paradossalmente non succede nell'oliveto convenzionale, in cui la pedofauna risulta essere stressata da altri fattori (condizione monocolturale, mancanza di copertura vegetale, mancanza di lettiera). Quindi si evidenzia come i microartropodi siano particolarmente sensibili alle lavorazioni meccaniche del suolo e come un utilizzo limitato di diserbanti chimici e trattamenti fitosanitari potrebbe non ripercuotersi sensibilmente sulla popolazione.

Dato che la compattazione del suolo si traduce in una minore porosità e minore ritenzione idrica, è un target che deve essere monitorato e gestito in un contesto agronomico. Si potrebbe ipotizzare che gli stessi gruppi sistematici potrebbero essere studiati più profondamente al fine di creare indici di naturalezza maggiormente discriminanti.

Considerando poi le classi di qualità biologica del suolo, definite sulla base dei valori di QBS-ar max ottenuti, si è deciso di utilizzare due sistemi di valutazione. Utilizzando il sistema di valutazione descritto da Parisi (2001) come modificato da D'Avino (2002) otteniamo: un valore di classe 5 per l'oliveto convenzionale, un valore di classe 7 per il corrispettivo confronto in oliveto abbandonato, un valore di classe 5 nell'oliveto biologico e valore di classe 6 nel corrispettivo confronto in oliveto abbandonato, corrispondenti ad una qualità biologica piuttosto elevata in tutti i casi. Utilizzando invece la versione originale del sistema di valutazione descritto da Parisi (2001) otteniamo: un valore di classe 2 per l'oliveto convenzionale, un valore di classe 6 per il corrispettivo confronto in oliveto abbandonato, un valore di classe 2 nell'oliveto biologico e valore di classe 5 nel corrispettivo confronto in oliveto abbandonato, corrispondenti ad una qualità

biologica piuttosto elevata per gli oliveti abbandonati e una qualità biologica piuttosto bassa per entrambi i sistemi di gestione agricola (sia convenzionale che biologico). Tuttavia, va sottolineato che tali valori devono essere considerati solo delle indicazioni di massima, poiché il metodo per definirle è ancora in fase di messa a punto (Parisi, 2001).

Andando ad analizzare le strutture di popolamento, entrambi gli oliveti coltivati hanno registrato una diminuzione di presenza di 6 gruppi sistematici, tutti diversi tranne che per il gruppo dei Proturi, il quale invece non viene rinvenuto in entrambi i casi. Si ritiene quindi si possa trattare di un gruppo sistematico discriminante, come già evidenziato da Parisi (2001) nell'assegnazione della classe di qualità biologica. Inoltre in linea con il principio su cui si basa il metodo QBS-ar si è riscontrata una diminuzione delle forme biologiche edafobie, l'unica eccezione risultano essere gli Acari e gli Pseudoscorpioni che sono stati rinvenuti in tutte le aree oggetto di studio, evidenziando una maggiore resistenza ai fattori di stress da noi tenuti in considerazione (lavorazioni del terreno, uso di prodotti fitosanitari, condizioni climatiche).

8 Conclusioni

Il presente studio evidenzia come gli obiettivi propri dell'agricoltura biologica che la caratterizzano come un tipo di agricoltura multifunzionale e sostenibile rischiano di svanire e di come questo metodo di produzione possa diventare impattante tanto quanto l'agricoltura convenzionale dal punto di vista della conservazione della fertilità dei suoli e della biodiversità nel momento in cui viene a mancare una gestione che tenga conto delle caratteristiche intrinseche di un agroecosistema, degli apporti e perdite della sostanza organica, degli equilibri dinamici e delle interazioni tra la componente biotica e abiotica.

Dallo studio approfondito dei dati, emerge, inoltre, come gli obiettivi propri dell'agricoltura biologica non siano facilmente raggiungibili seguendo il regolamento CE per l'agricoltura biologica (CE, 2007), anzi si evidenzia un limite del regolamento stesso. Il limite risulta essere, la mancanza di un programma obbligatorio di lavorazioni meccaniche del terreno, da allegare al piano di gestione aziendale che invece risulta essere obbligatorio per le rotazioni agrarie in conformità e/o equivalenza all'articolo 63 del regolamento n. 889 (CE, 2008). Questo non sembra essere sufficiente per il mantenimento della fertilità del suolo nel tempo in quanto non si tiene conto di come le proprietà fisiche, chimiche e biologiche siano strettamente complementari e interconnesse tra loro e di come, il venir meno di una di esse possa compromettere le altre.

Per quanto riguarda la qualità biologica valutata con il metodo QBS-ar (Codurri et al., 2005), si è assistito a delle variazioni tra i due sistemi di gestione agricola analizzati. Si sono ottenute delle classi di qualità elevate con il sistema di valutazione descritto da D'Avino (2002) in entrambe le gestioni agronomiche ma delle classi di qualità basse se riferite al sistema di valutazione di Parisi (2001). L'ostacolo più grande nella valutazione della qualità dei suoli è rappresentato dalle carenze conoscitive e dalla necessità di definire regole precise sull'acquisizione ed elaborazione dei dati. Tutto questo è superabile soltanto avviando una rete di monitoraggio nazionale sul suolo. Riguardo all'indicatore di qualità biologica del suoli QBS-ar, uno dei limiti nell'assegnazione della classe di qualità, è rappresentato dal fatto che ogni valore dell'indice ottenuto non discrimina una classe in maniera univoca, ma i diversi Enti che utilizzano questo indicatore (ARPA, Università) hanno elaborato a livello interno i criteri per l'assegnazione della classe (Arpa Piemonte, nel Rapporto sullo Stato dell'Ambiente in Piemonte 2007, usa solo 4 classi di qualità biologica). E' stato inoltre possibile validare maggiormente l'ipotesi dello studio di Blasi et al. (2013) secondo il quale alcuni gruppi sistematici possano essere più sensibili di altri a stress indotti dalla compattazione dei suoli. Nel nostro studio questi gruppi sistematici risultano essere: Proturi, Ditteri (larve), Opilioni, Diplopodi e Sinfili.

Negli oliveti coltivati, sia convenzionale che biologico, si sono riscontrati dei buoni valori chimici, delle differenze di carattere fisico nella tessitura, struttura e porosità che si è visto in che misura possono influenzare la struttura di popolamento dei microinvertebrati del suolo. E' stato possibile spiegare le differenze osservate nel popolamento sulla base delle caratteristiche fisiche del suolo, ma niente sembra emergere in relazione alle caratteristiche chimiche.

Coltivare in maniera biologica, senza l'utilizzo di pesticidi, non necessariamente significa essere sostenibili se non si pensa all'agrosistema come un agroecosistema. Se le uscite risultano essere maggiori dell'entrata tutto rischia di diventare insostenibile. Cercare di pensare al sistema in termini energetici può essere un metodo efficiente per mantenere buoni livelli di sostenibilità. Di contro, in agricoltura convenzionale, possiamo trovarci in una condizione di fertilità apparente, in quanto i parametri chimici potrebbero risultare ottimali sino a quando si integra con le concimazioni chimiche, per poi diminuire drasticamente nel momento in cui queste vengono interrotte, proprio per una perdita di capacità di resilienza del terreno. Non bisogna neanche sottovalutare il degrado della qualità fisica del suolo legata maggiormente alla perdita di sostanza organica e alle lavorazioni del terreno. Lavorazione del terreno, è un termine generico utilizzato in agricoltura, che descrive diversi interventi praticati dall'uomo con l'uso di utensili e macchine nella gestione del terreno per la coltivazione. Tali attività possono portare ad effetti sfavorevoli come la compattazione del suolo, la perdita di sostanza organica, il degrado degli aggregati del suolo e la perturbazione degli organismi del suolo. Proprio perché ci si comincia a rendere conto della dimensione di questi effetti negativi, che negli ultimi anni, alcuni agricoltori cominciano ad intraprendere nuovi percorsi sostenibili di gestione agricola come il *No-till farming* (chiamato anche "zero lavorazione del terreno"). Esso è un modo di coltivare il terreno che, anno dopo anno, in assenza di disturbo del suolo attraverso le arature, può aumentare la capacità di ritenzione idrica, ridurre l'erosione e portare ad un aumento della quantità e varietà di vita nel suolo stesso, vita in grado di incrementare la fertilità del suolo grazie alla sua capacità di avviare il processo di trasformazione della sostanza organica verso la mineralizzazione e avviare i processi di umificazione.

Obiettivo di questo studio è stato la valutazione dell'influenza dei metodi di produzione agricola sulla qualità dei suoli. Proprio per cercare di valutare la qualità dei suoli nel modo più obiettivo possibile si è proceduto con un approccio olistico, integrando alle analisi chimico fisiche anche un metodo biologico basato sui microartropodi. Deve però essere sottolineato che di per sé avere evidenziato differenze correlate ad un metodo di produzione agricola, non significa dimostrare realmente una relazione di causa-effetto. Dal momento che lo studio ha riguardato soltanto quattro siti di campionamento, i risultati non possono essere generalizzati prima di ulteriori verifiche.

9 Bibliografia

- Addison J., (2007). Green tree retention: a tool to maintain ecosystem health and function in second-growth coastal forests. In D. W. Langor (Ed.), *Arthropods of Canadian forest* (p. 25). Ottawa: Natural Resources Canada, Canadian Forest Service.
- Aimone S., Biagini D., (1999). Le esternalità dell'agricoltura. Un primo approccio alle problematiche della valutazione a scala locale, working paper n. 128, IRES Piemonte.
- Altieri M. D., (2008). Agroecology: the science to transition organic farming towards a truly sustainable and equitable form of agriculture in: the XXI century, comunicazione al 16mo Congresso IFOAM, Modena 16-20 Giugno 2008.
- ARPA Piemonte AA.VV. (2002). Tecniche di biomonitoraggio della qualità del suolo.
- ARPA Veneto (2007). L'interpretazione delle analisi del terreno, strumento per la sostenibilità ambientale.
- Bacchi S., (2012). Effetti della Salinizzazione sugli Invertebrati del suolo, [Dissertation thesis], Alma Mater Studiorum Università di Bologna. Dottorato di ricerca in Scienze ambientali: tutela e gestione delle risorse naturali, 24 Ciclo. DOI 10.6092/unibo/amsdottorato/4693.
- Bedano J. C., Cantú M. P., Doucet M. E., (2006). Soil Spring-tails (Hexapoda: Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda: Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina). *European Journal of Soil Biology*, 42(2), 107–119.
- Blasi S., Menta C., Balducci L., Conti F. D., Petrini E., Piovesan G., (2013). Soil microarthropod communities from Mediterranean forest ecosystems in Central Italy under different disturbances. *Environ Monit Assess.* 185(2):1637-55.
- Boatto V., Menguzzato A., Rossetto L., (2008). Valutazione monetaria dei benefici esterni dell'agricoltura biologica, Working Paper SABIO n. 6, Roma.
- Breure A. M., Mulder C., Rutgers M., Schouten T., de Zwart D., Bloem J., (2003). A Biological Indicator for Soil Quality. OECD - paper soil quality indicator. Wageningen University and Research Center, Wageningen, The Netherlands.
- Callaham M. A., Richter D. D., Coleman D. C., Hofmockel M., (2006). Long-term land-use effects on soil invertebrate communities in Southern Piedmont soils, USA. *European Journal of Soil Biology*, 42, 150–156.

- CE (2007). Regolamento (CE) n. 834/2007 del Consiglio, del 28 giugno 2007, relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici e che abroga il regolamento (CEE) n. 2092/91.
- CE (2008). Regolamento (CE) n. 889/2008 della Commissione, del 5 settembre 2008, recante modalità di applicazione del regolamento (CE) n. 834/2007 del Consiglio relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici, per quanto riguarda la produzione biologica, l'etichettatura e i controlli.
- Codurri M., Truzzi A., Bertonazzi M. C., (2005). Microartropodi del terreno, manuale da campo per il riconoscimento dei microartropodi del terreno come indicatori della qualità biologica del suolo (metodo QBS-ar), Calvatone.
- Coineau Y., Cléva R., Du Chatenet G., (1997). Ces animaux minuscules qui nous entourent. Delachaux et Niestlé.
- D'Avino L., (2002). Esposizione del metodo di Vittorio Parisi per la valutazione della Qualità Biologica del Suolo (QBS) e proposta di standardizzazione delle procedure. Museo di Storia Naturale, Dip. di Biologia Evolutiva e Funzionale, Università degli studi di Parma.
- Drago A., (2005). Atlante Climatologico della Sicilia – Seconda Edizione. Rivista Italiana di Agrometeorologia 67-83 (2) 2005.
- EC (2003). Regulation (European Commission) No 1831/2003. European Union Register of Feed Additives. Edition 185. Appendixes 3, 4 - 12/05/2014. European Union legislation on feed additives: http://ec.europa.eu/food/food/animalnutrition/feedadditives/legisl_en.htm
- FAO (2007). The state of food and agriculture. Disponibile sul sito: <http://www.fao.org/docrep/010/a1200e/a1200e00.htm>
- Fierotti G., (1997). I suoli della Sicilia. Con elementi di genesi, classificazione, cartografia e valutazione dei suoli. Dario Flaccovio editore.
- Fierotti G., Dazzi C., Raimondi S., (1988). “Carta dei Suoli della Sicilia” 1:250.000, Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente – Università degli Studi di Palermo, Facoltà di Agraria, Istituto di Agronomia Generale, Cattedra di Pedologia. Palermo.
- Fulton R. T., (1989). Enciclopedia del Novecento, I Supplemento.
- Gardi C., Tomaselli M., Parisi V., Petraglia A., Santini C., (2002). Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. European Journal of Soil Biology, 38, 103–110.
- Gaviglio A., (2007). L'evoluzione delle principali determinanti di acquisto dei prodotti da agricoltura biologica, 3° workshop GRAB-IT su Sostenibilità e Qualità delle produzioni agricole biologiche, Roma, 22 maggio 2007.

- Giordano A., (1999). *Pedologia*. Utet, Torino.
- Hiscock K. M., (2005). *Hydrogeology: principles and practice*. Blackwell Publishing.
- Howard A., (1956). *An Agriculture Testament*.
- *Il Giornale della Natura*, n. 129, gennaio 2000.
- ISTAT (2000). *5° Censimento agricoltura 2000*.
- ISTAT (2007). *Agricoltura e ambiente. L'indagine 2007 sulla struttura e le produzioni delle aziende agricole*.
- IUSS Working Group WRB (2006). *World reference base for soil resources 2006*. 2nd edition. *World Soil Resources Reports No. 103*. FAO, Rome.
- Jacomini C., Nappi P., Sbrilli G., Mancini L., (2000). *Indicatori e indici ecotossicologici e biologici applicati al suolo*. ANPA, Roma. RTI CTN_SSC 3/2000.
- Jeffery S., Gardi C., Jones A., Montanarella L., Marmo L., Miko L., Ritz K., Peres G., Römcke J. and van der Putten W. H. (eds.), (2010). *European Atlas of Soil Biodiversity*. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Jenny H., (1941). *Factors of Soil Formation*. McGraw-Hill, New York.
- Jones A. (lead author) (European Commission JRC); Barcelo S., Bouraoui F., Bosco C., Dewitte O., Gardi C., Hervás J., Hiederer R., Jeffery S., Montanarella L., Panagos P., Penizek V., Tóth G., Van Den Eeckhaut M., Liedekerke M.V., Verheijen F. (European Commission DG JRC); Marmo L., Köhne John Maximilian, Köhne S., Šimůnek J., (2010). *A review of model applications for structured soils: a) Water flow and tracer transport*. *Journal of Contaminant Hydrology*.
- Knoepp J. D., Coleman D. C., Crossley Jr D. A., Clark J. S., (2000). *Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use*. *Forest Ecology and Management* 138: 357-368.
- Latella L., Gobbi M., (2008). *La fauna del suolo: tassonomia, ecologia e metodi di studio dei principali gruppi di invertebrati terrestri italiani*, Museo Tridentino Scienze Naturali.
- Menta C., (2008). *Guida alla conoscenza della biologia e dell'ecologia del suolo. Funzionalità, diversità biologica, indicatori*, Perdisa, Oasi Alberto.
- Menta C., (2008). *Guida alla conoscenza della Biologia e Ecologia del Suolo—Funzionalità, Degrado, indicatori*. (p. 265) Bologna: Gruppo Perdisa Editore. ISBN 978-88- 8372-454-1.
- Menta C., Leoni A., Bardini M., Gardi C., Gatti F., (2008). *Nematode and microarthropod communities: comparative use of soil quality bioindicators in covered dump and natural soils*. *Environmental Bioindicators*, 3(1), 35–46.

- Menta C., Leoni A., Gardi C., Conti F. D., (2011). Are grasslands important habitats for soil microarthropod conservation? *Biodiversity and Conservation*, 20(5), 1073–1087.
- Millennium Ecosystem Assessment, (2005). *Ecosystems and Human Well-being. Synthesis*. Island Press, Washington D.C.
- Nannipieri P., Ciardi C., (1982). La problematica relativa ai processi di mineralizzazione ed immobilizzazione dell'azoto nel terreno: una introduzione. *Informatore botanico italiano*, vol. 14 pp. 134-136.
- Neave P., Fox C. A., (1998). Response of soil invertebrates to reduced tillage systems established on a clay loam soil. *Applied Soil Ecology*, 9, 423–428.
- Parisi V., (1974). *Biologia ed Ecologia del suolo. Tecniche di ricerca*, Boringhieri.
- Parisi V., (2001). The Biological Quality of soil. A Method Based on Microarthropods. *Acta Naturalia de «L'Ateneo Parmense»*, 37, nn. 3/4: 105-114.
- Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C., Mozzanica E., (2005) – “Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 05: 323-333.
- Regione Siciliana (2013). *Disciplinare regionale di produzione integrata: norme tecniche di difesa integrata delle colture e controllo delle infestanti*. Allegato alla circolare 11 Aprile 2013, n. 9. Assessorato delle risorse agricole e alimentari, Dipartimento Regionale degli Interventi Strutturali per l'Agricoltura.
- Regione Siciliana (2014). *Assessorato Risorse Agricole ed Alimentari, Dipartimento Interventi Infrastrutturali. Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano*. Disponibile sul sito: <http://www.sias.regione.sicilia.it/>
- RSA (2007). *Rapporto sullo Stato dell'Ambiente in Piemonte*. ARPA Piemonte.
- Sacchi F., Testard P., (1971). *Ecologie animale*. Doin Editore, Parigi.
- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., and Soil Survey Staff. (2012). *Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE*.
- Soil Survey Division Staff (1993). *Soil survey manual*. Soil Conservation Service. Handbook 18. U.S. Department of Agriculture.
- Soil Survey Staff (2014). *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed., USDA- NRCS, Washington, D.C.

- Tabaglio V., Gavazzi C., Menta C., (2008). The influence of no-till, conventional tillage and nitrogen fertilization on physico-chemical and biological indicators after three years of monoculture barley. *Italian Journal of Agronomy*, 3(4), 233–240.
- Tabaglio V., Gavazzi C., Menta C., (2009). Physicochemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize. *Soil & Tillage Research*, 105(1), 135–142.
- Touloumis K., Stamou G. P., (2009). A metapopulation approach of the dynamics of arthropods from Mediterranean-type ecosystems. *Ecological Modelling*, 220(8), 1105–1112.
- Violante P., (2013). *Chimica e fertilità del suolo*, “Edagricole - Edizioni Agricole de Il Sole 24 ORE SPA”.
- Zanolì R., (2007). La politica per l’agricoltura biologica in Italia: situazione nazionale e analisi di alcune esperienze regionali, *Convegno PRIN*, Roma, 23 maggio 2007.
- Zentner R. P., Basnyat P., Brandt S. A., Thomas A. G., Ulrich D. J., Campbell C. A., Nagy C. N., Frick B. L., Lemke R. L., Malhi S. S., and Fernandez M. R., (2011). Effects of input management and crop diversity on non-renewable energy use efficiency of cropping systems in the Canadian Prairie., *European Journal of Agronomy*, 34(2), pp. 113-123.
- Zucconi F., (1996). *Declino del suolo e stanchezza del terreno*.

10 Linkografia

- (<http://agraria.org>).
- (<http://beetles.source.at/>).
- (<http://ec.europa.eu/agriculture/>).
- (<http://it.wikipedia.org>).
- (<http://www.agrinovazione.regione.sicilia.it>).
- (<http://www.cia.it/>).
- (<http://www.inea.it/>).
- (<http://www.ismea.it/>).
- (<http://www.parcodellemadonie.it/>).
- (<http://www.soilassociation.org/>).
- (<https://www.politicheagricole.it/>).