



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Dottorato in Sistemi Agro-Ambientali
Indirizzo: Tecnologie per la Sostenibilità e il Risanamento Ambientale
Dipartimento Scienze Agrarie e Forestali
Settore Scientifico Disciplinare AGR/09

APPLICAZIONE DI UN PROTOTIPO DI MOTOVANGATRICE PER PRESERVARE LA FERTILITÀ DEL SUOLO

IL DOTTORE
DOTT. GIOACCHINO FRANCESCO ARGENTO

IL COORDINATORE
PROF. SEBASTIANO CALVO

IL TUTOR
PROF. PIETRO CATANIA

CO TUTOR
DOTT. ING. MARIANGELA VALLONE

DOTT. VITO ARMANDO LAUDICINA

INDICE

ABSTRACT	3
1. INTRODUZIONE	5
1.1 Il Clima Mediterraneo	8
1.2 Le lavorazioni convenzionali del terreno	10
1.3 Principali macchine impiegate per la lavorazione del suolo	12
1.3.1 La zappatrice rotativa.....	12
1.3.2 Il coltivatore.....	14
1.3.3 La vangatrice	15
1.4 Principali effetti delle pratiche di gestione dei suoli	17
1.4.1 Effetti sulla fertilità del suolo	17
1.4.2 Il compattamento del terreno.....	23
1.5 Il prototipo di motovangatrice semovente Agrotec.....	26
1.5.1 Scelte progettuali della macchina	27
1.5.2 Descrizione della macchina dal primo prototipo	28
1.5.3 Avanzamento dei lavori nella realizzazione della motovangatrice....	29
1.5.4 La motovangatrice nella sua versione finale.....	34
2. MATERIALI E METODI.....	35
2.1 Descrizione del sito.....	35
2.2 Macchine impiegate nella sperimentazione	37
2.3 Disegno sperimentale	38
2.4 Determinazione della penetration resistance (PR).....	39
2.5 Metodi di analisi di laboratorio	41

2.5.1 Determinazione dell'umidità.....	41
2.5.2 Determinazione del grado di reazione (pH), della conduttività elettrica e della densità apparente.	43
2.5.3 Determinazione del carbonio organico totale (TOC) (Metodo Walkley-Black)	44
2.5.4 Carbonio della Biomassa Microbica (MBC)	47
2.5.5 Frazionamento degli aggregati del suolo	49
2.6 Analisi statistica.....	51
3. RISULTATI E DISCUSSIONI.....	52
3.1 Resistenza alla penetrazione (PR) e umidità	52
3.2 Analisi di laboratorio	62
3.3 Aggregati strutturali del suolo	73
4. CONCLUSIONI.....	76
BIBLIOGRAFIA.....	78

ABSTRACT

In environments characterized by steep slopes or arranged in terraces, among the shallow tillage systems, rototilling is extensively used. However, the effect of the repeated use of rototilling has a considerable influence on soil characteristics; it appears finely powdered, soft and without structure. In order to limit these inconveniences, an innovative self-propelled machine equipped with working tools as a spade, to be used in steep slopes or arranged in terraces areas, was designed by the Mechanics Section of the Department of Agricultural and Forest Sciences, University of Palermo, in cooperation with Agrotec company, Padua, Italy.

The aim of this study is to compare the effects of three machines for shallow tillage: a chisel plough (CP), a rototilling (RT) and a spading machine (SM) on penetration resistance in semi-arid environments of the Mediterranean basin. No tillage (NT) was also included. Penetration resistance (PR) was surveyed for all the treatments to a depth of 300 mm with an electronic dynamometer; the machinery used quality working was also evaluated with laboratory analysis.

The study was carried out in 2009-2014. The treatments consisted in the execution of a shallow tillage to a depth of 150 mm. SP treatment allowed us to obtain PR lower values throughout the tillage profile than RT, CP and NT. It follows that the type of machine used influences soil PR, and then the soil water storage capacity, key factor for the agricultural productions in semi-arid environments as in Sicily.

Keywords: soil compaction, penetration resistance, spading machine, tillage, soil C pools.

RIASSUNTO

Negli ambienti caratterizzati da forti pendenze o sistemati a terrazze, nell'ambito delle lavorazioni superficiali, viene impiegato diffusamente il motocoltivatore provvisto di zappatrice rotativa. Tuttavia, l'effetto dell'uso ripetuto della zappatrice per lavorazione del terreno ha una notevole influenza sulle caratteristiche del terreno, che si presenta finemente polverizzato, soffice e astrutturato. Al fine di limitare tali inconvenienti, è stata progettata dalla sezione Meccanica del Dipartimento Scienze Agrarie e Forestali dell'Università di Palermo, in collaborazione con la ditta costruttrice Agrotec di Padova, una macchina innovativa semovente provvista di organi di lavoro del tipo a vanga, impiegabile in aree a forte declività o terrazzate.

Scopo di questo studio è comparare l'effetto di tre macchine per le lavorazioni superficiali: un coltivatore (CP), una zappatrice rotativa (RT) e una vangatrice (SM), sulla resistenza alla penetrazione negli ambienti semi-aridi del bacino del Mediterraneo. Il no tillage è stato incluso nella sperimentazione.

La resistenza alla penetrazione (PR) è stata eseguita su tutti i trattamenti fino alla profondità di 300 mm con un dinamometro elettronico; la qualità lavorativa delle macchine usate è stata inoltre valutata mediante analisi di laboratorio.

Lo studio è stato condotto dal 2009 al 2014. Le tesi hanno previsto l'esecuzione delle lavorazioni fino alla profondità di 150 mm.

La tesi SM ha consentito di ottenere valori di PR sul profilo interessato dalle lavorazioni inferiori rispetto alle tesi RT, CP e NT.

Ne deriva che il tipo di macchina impiegata influenza la PR del suolo, e di conseguenza la capacità di ritenzione idrica del terreno, fattore chiave per le produzioni agricole negli ambienti semi-aridi come in Sicilia.

Parole chiave: compattazione del suolo, resistenza alla penetrazione, vangatrice, lavorazione, pools di C nel suolo.

NOMENCLATURA

SM: Vangatrice

RT: Zappatrice Rotativa

CP: Coltivatore Pesante

NT: No Tillage

PR: Resistenza alla penetrazione

TOC: Carbonio organico totale

MBC: Carbonio della biomassa microbica

EOC: Carbonio organico estraibile

1. INTRODUZIONE

Il suolo ha un ruolo essenziale per le produzioni agricole, tuttavia la sua degradazione a mezzo dell'erosione è una delle principali cause di riduzione della fertilità in molti paesi (Greenland & Szabolcs, 1994; Pierce & Lal, 1994; Syers, 1997; Brunner et al., 2008).

Nel 2006 la Commissione Europea, con la “Thematic strategy on the protection of soil” ha individuato nell'erosione una delle principali cause di degradazione del suolo, responsabile di 38 miliardi €/anno di perdite economiche (Van Camp et al., 2004), con oltre il 15% di suoli ormai degradati permanentemente (Oldeman et al., 1991).

La Convenzione delle Nazioni Unite ha definito, inoltre, la desertificazione come *“il degrado delle terre nelle zone aride, semi-aride e sub-umide secche, risultante da vari fattori, tra cui le variazioni climatiche e le attività umane”* (UNEP, 1994).

Le regioni europee del Mediterraneo sono caratterizzate da una grande erodibilità del suolo (Kairis O. et al., 2013), che, in assenza di opportune tecniche di gestione delle superfici agricole, potrebbe generare una serie di effetti sull'ambiente che localmente possono favorire irreversibili processi di degradazione del suolo. Un ruolo fondamentale sui processi erosivi è svolto dalla struttura del suolo; la struttura del suolo è, infatti, un fenomeno dinamico che riguarda il meccanismo di riunione delle particelle di terreno a formare degli aggregati, ossia gruppi di particelle di terreno che aderiscono tra loro con forza maggiore rispetto alle particelle circostanti. La stabilità degli aggregati di un suolo è definita in base alla

risposta della struttura dello stesso alle forze distruttive esterne, sia fisico-chimiche che meccaniche; è ben noto che la presenza di aggregati stabili migliora il suolo in termini di porosità, permeabilità e resistenza agli interventi meccanici (resistenza al costipamento), riducendo così il rischio di ruscellamento e di erosione. È ben noto che le diverse tecniche di lavorazione influiscono direttamente sulla stabilità strutturale del suolo. La coltivazione del suolo agrario è effettuata da moltissimo tempo attraverso l'inversione degli strati del terreno per mezzo di macchine operatrici quali l'aratro. L'inversione continua può, in alcune situazioni, portare a una degradazione della struttura che ha come conseguenza la formazione di fenomeni di compattamento del suolo e un abbassamento del tasso di sostanza organica in esso contenuto. Tali suoli sono molto propensi alla perdita di particelle di terreno attraverso l'erosione con il risultato finale della desertificazione, come riscontrato negli USA negli anni '30. Questo processo può, direttamente o indirettamente, portare a diverse problematiche di tipo ambientale. Per limitare la perdita di suolo e preservare la sua fertilità sono state sviluppate delle tecniche di lavorazione conservativa (Holland J.M., 2004).

Questa evoluzione delle pratiche di gestione del suolo minimizza la degradazione della struttura del terreno, la sua composizione e la naturale biodiversità, oltre a ridurre la contaminazione dell'aria e dell'acqua. In ogni caso, il processo produttivo altera, per quanto poco, il naturale ecosistema: dove ci sarebbe stata una vegetazione spontanea, composta quasi sempre da una comunità di specie in equilibrio tra loro e con altri organismi, si sviluppa invece una coltura che fornirà generalmente risultati tanto più apprezzabili quanto minori saranno le pressioni competitive o parassitarie da parte di altre specie (Giardini, 1992).

Tuttavia, in particolari ambienti sensibili ai processi erosivi, caratterizzati da forti pendenze o sistemati a terrazze, nell'ambito delle "shallow tillage", viene ad oggi impiegato diffusamente il motocoltivatore provvisto di zappatrice rotativa. Ciò perché tale macchina consente, con un solo passaggio, di ottenere il suolo privo di erbe infestanti, ben amminutato ed in ottime condizioni per le successive operazioni; inoltre si può regolare per valorizzare al meglio l'accoppiamento con la trattrice (Pezzi, 2005). L'effetto dell'uso ripetuto della zappatrice per lavorazione del terreno ha una notevole influenza sulle caratteristiche del terreno,

che si presenta finemente polverizzato, soffice e astrutturato. La polverizzazione del suolo comporta condizioni di astrutturalità e ciò ha come effetto immediato la perdita della sua capacità di immagazzinamento della riserva idrica e, conseguentemente, della sua fertilità alterando le proprietà fisiche dello stesso (Pipitone et al., 2011).

1.1 Il Clima Mediterraneo

Secondo il sistema di classificazione Koppen-Geiger, nel bacino del Mediterraneo il clima è mediterraneo (CSA, CSB) (Peel et al., 2007; Fig. 1). Durante l'estate, le regioni del clima mediterraneo sono dominate da aria di alta pressione subtropicale, mentre durante l'inverno il flusso polare e le relative tempeste periodiche vanno a raggiungere le latitudini più basse delle zone del Mediterraneo, portando pioggia e neve a quote più elevate. Di conseguenza, le aree con questo clima ricevono precipitazioni annuali concentrate nella stagione invernale (da novembre a febbraio), e possono avere da 4 a 6 mesi (da aprile a settembre), nessuna precipitazione significativa durante l'estate.

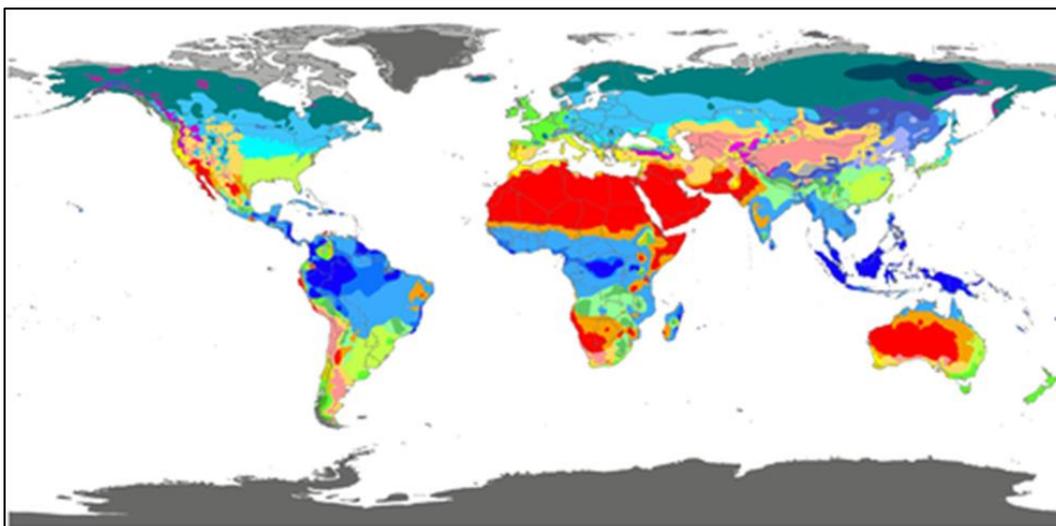


Figura 1 - Classificazione climatica mondiale secondo il sistema Koppen-Geiger:
■ Clima temperato umido con estate molto calda, il mese più caldo è superiore a 22 °C (Csa); ■ Clima temperato umido con estate calda, il mese più caldo è inferiore a 22 °C (Csb).

La maggior parte delle regioni con climi mediterranei ha in media inverni miti ed estati molto calde. Tuttavia, le temperature invernali ed estive possono variare notevolmente tra le diverse regioni a clima mediterraneo. Poiché la maggior parte delle regioni a clima mediterraneo stazionano vicino a grandi masse d'acqua, le temperature sono generalmente moderate, con un range relativamente piccolo di

temperature tra inverno ed estate. Di conseguenza, le temperature durante l'inverno occasionalmente scendono al di sotto del punto di congelamento, con nevicate generalmente rare, mentre in estate le temperature variano da miti a molto elevate, a seconda della distanza da una grande massa d'acqua, dell'altitudine e della latitudine.

Le scarse ed irregolari precipitazioni, insieme all'elevata evapotraspirazione, portano ad una bassa produzione di biomassa vegetale delle colture e quindi ad un apporto limitato di residui organici nel suolo (Alvaro-Fuentes et al., 2008 a,b). I sistemi di coltivazione intensivi, combinati con l'uso di lunghi maggesi nudi (16-18 mesi tra colture successive) e la rimozione dei residui delle colture per l'alimentazione del bestiame, sono alcuni dei fattori che giocano un ruolo chiave nella riduzione degli input di sostanza organica (Austin et al., 1998; Hernanz et al., 2009).

Per esempio, nel Sud Italia, i paesaggi rurali sono spesso caratterizzati da agricoltura intensiva, con l'utilizzo di grandi quantità di fertilizzanti e di acque di irrigazione (Laudicina et al., 2011 a). Inoltre, in tali ambienti, una pratica comunemente utilizzata dagli agricoltori per aumentare l'infiltrazione dell'acqua, soprattutto in terreni argillosi, è l'aratura profonda prima del periodo delle piogge (Vidhana Arachchi, 2009). Questa pratica, insieme alle caratteristiche del clima mediterraneo (estati calde e secche ed inverni miti e umidi), ha accelerato i processi di degradazione della SOM, con diminuzione significativa della fertilità del suolo.

1.2 Le lavorazioni convenzionali del terreno

Per lavorazioni del terreno si intendono tutti gli interventi meccanici sul suolo atti a rendere le sue condizioni più favorevoli ad accogliere le colture.

Per decenni l'idea di lavorazione del terreno è stata associata all'aratura, in quanto consentiva la messa a coltura di vaste aree che prima erano impiegate per altri usi (pascoli e boschi) ed ha avuto buoni riscontri produttivi anche grazie al fatto che nello stesso periodo di adozione si è registrato anche una grande crescita a livello tecnologico e di conoscenze agronomiche (Dick e Durkalski, 1997).

Di norma è definita "lavorazione convenzionale" un sistema di lavorazioni basato su un intervento primario profondo (solitamente con aratro a vomere e versoio), seguito da un intervento secondario di affinamento (non oltre i 15 cm di profondità) ed eseguito mediante l'uso di diverse tipologie di erpici ad elementi fissi o azionati dalla p.d.p., combinati o meno con diverse tipologie di rulli. La funzione dell'intervento secondario è chiaramente quello di ridurre la zollosità, livellare la superficie, sradicare le eventuali plantule di infestanti già emerse e rendere così il terreno idoneo per le successive operazioni colturali.

È evidente che il costante aumento della produttività agricola ottenuto negli anni è stato reso possibile da un costante incremento dell'uso dei mezzi di produzione (input), i quali, se da un lato hanno generato risultati desiderati, dall'altro hanno avuto effetti non desiderati. Sebbene si conoscessero i rischi associati ad un uso intensivo degli input, l'esigenza di dare una risposta agli stessi si è resa evidente negli ultimi anni, costituendo un insieme di problematiche importanti che si dovranno confrontare con l'agricoltura attuale.

Al fine di descrivere le risposte dei suoli ad impatti o disturbi di vario tipo è stato introdotto di recente in materia di ecologia del suolo il concetto di resilienza e di resistenza.

La resilienza del suolo è comunemente definita come la capacità di recuperare la sua integrità funzionale e strutturale dopo un disturbo esterno continuando a svolgere regolarmente le sue funzioni.

Per resistenza del suolo si intende, invece, la capacità del suolo di mantenere invariate le proprie funzioni a seguito di un disturbo esterno.

Se il disturbo è troppo drastico o il suolo ha una elevata fragilità costituzionale si può avere una degradazione irreversibile in cui viene meno il recupero delle sue capacità funzionali in tempi ragionevoli (lo spazio della vita dell'uomo). In questo caso si ha, infatti, il superamento delle capacità di resilienza del suolo con un danno permanente oppure la necessità di un intervento di ripristino specializzato e costoso (APAT, 2008).

Per ovviare a tali problematiche è, dunque, necessario rivedere il modello produttivo convenzionale, creando così i margini di un nuovo sistema di fare agricoltura che sia sostenibile e compatibile con l'ambiente, ma che allo stesso tempo garantisca a chi opera in tale settore una buona redditività.

1.3 Principali macchine impiegate per la lavorazione del suolo

1.3.1 La zappatrice rotativa

La zappatrice rotativa è costituita da un organo rotativo che provoca lo sminuzzamento e il rimescolamento degli strati superficiali. In particolare l'organo rotativo è costituito da una serie di lame curve, dette coltelli, (4 o 6) installate su flange distanziate di circa 30-50 cm su un unico albero di rotazione. La rotazione ad alta velocità provoca con l'avanzamento l'erosione di uno strato di terreno sminuzzandolo in zollette che vengono rimescolate e stratificate subito dietro l'attrezzo. Per impedire che le zollette erose siano scagliate a distanza, la parte posteriore del telaio dell'attrezzo è dotata di un carter che favorisce altresì la stratificazione del terreno lavorato.

Rispetto all'aratro e ad altre macchine, la zappatrice rotativa ha i seguenti vantaggi:

- ottimo controllo delle piante infestanti annuali;
- buon adattamento alla lavorazione di terreni in pendio;
- elevato rimescolamento di tutto il profilo lavorato per una distribuzione omogenea dei concimi minerali;
- sminuzzamento dei residui colturali in dimensioni più adatte alla decomposizione e all'umificazione.

Tuttavia i principali difetti associati a questa tipologia di lavorazione sono i seguenti:

- creazione di una suola di lavorazione. La lavorazione superficiale crea uno strato di suolo compatto sotto la superficie lavorata non consentendo il drenaggio delle acque superficiali;
- richiesta di potenze elevate. Le lavorazioni di fasce larghe richiedono la disponibilità di trattori di elevata potenza;
- elevati costi di manutenzione. Gli organi lavoranti sono soggetti ad una rapida usura, rendendo necessario frequenti sostituzioni;

- elevato rischio di degradazione del terreno. Il suolo dopo la lavorazione si presenta, infatti, finemente polverizzato, soffice e astrutturato;
- scarso controllo delle infestanti perenni. La lavorazione provoca la frammentazione e lo spargimento dei rizomi favorendo la diffusione delle infestanti rizomatose.

1.3.2 Il coltivatore

I coltivatori sono attrezzi portati che svolgono un ruolo importante nelle lavorazioni tanto da rappresentare, nell'agricoltura convenzionale, uno dei principali interventi con il quale si predispongono il terreno per le successive operazioni colturali.

L'azione di fessurazione è svolta da ancore la cui conformazione varia a seconda della funzione attesa, con altezze comprese tra 0,6 e 0,7 m, con una distanza reciproca tra 30 e 60 cm ed una profondità di lavorazione che varia tra i 20 e 40 cm (Bodria et al., 2006).

Le ancore dritte offrono una buona penetrazione senza rivoltare gli strati e la frantumazione del terreno è funzione delle caratteristiche geometriche del dente, inoltre si può avere la presenza di alette laterali che eseguono un taglio altresì ortogonale del terreno sollevando, senza rimescolare, lo strato interessato.

L'ancora curva, invece, favorisce una selezione dimensionale delle zolle associata ad un rivoltamento dello strato interessato dalla lavorazione. Una lavorazione profonda con questo tipo di ancora produce un rivoltamento eccessivo, motivo per cui questa tipologia di ancora è di norma utilizzata solo per lavorazioni superficiali.

Un'altra tipologia è costituita da un'ancora dritta il cui fusto ha una lieve inclinazione nella parte prossimale al telaio, ed una più accentuata nella parte distale. Quest'ultima soluzione ha consentito di migliorare l'assetto dell'attrezzo durante le operazioni colturali, limitando l'azione di rimescolamento al solo strato superficiale.

1.3.3 La vangatrice

La vangatrice è una macchina agricola destinata al dissodamento del terreno, dotata di una serie di vanghette trapezoidali, di diversa tipologia a seconda del tipo di lavoro che dovranno effettuare, vincolate ad un albero a gomiti, ognuna delle quali compie nello spazio una traiettoria pressoché ellittica (Figg. 2-3) in grado di “affettare” e ribaltare le zolle del terreno fino ad una profondità di circa 35-40 cm (Ferrari U., 1998). Concettualmente è un attrezzo che tende a riprodurre meccanicamente gli schemi e i movimenti della lavorazione manuale con la vanga.

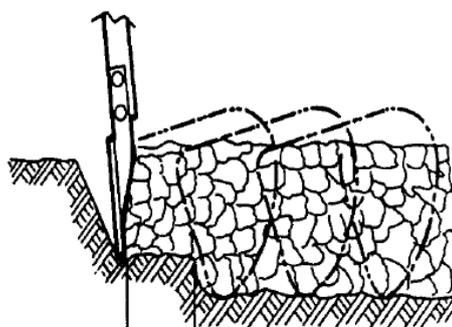
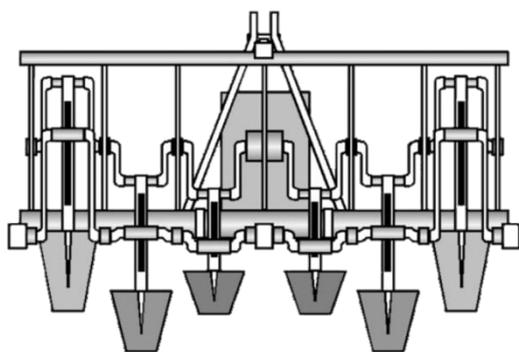


Figura 2 - Rappresentazione delle vanghette vincolate all'albero a gomiti

Figura 3 - Schema di funzionamento della vangatrice

Lo strappo della fetta di terra ed il suo lancio avviene in direzione opposta rispetto a quella di avanzamento, inoltre quest'ultima, per poter consentire all'attrezzo di compiere efficacemente il proprio lavoro, deve avere una velocità piuttosto contenuta con valori compresi tra 1 e 2,5 km/h.

Rispetto agli aratri e ad altri attrezzi meccanici, la vangatrice non determina la formazione di suola sul fondo della lavorazione (Peruzzi A. e Sartori L., 1997), con conseguenti benefici sulla struttura del suolo stesso e sulla sua capacità di immagazzinamento delle risorse idriche. Ulteriori vantaggi della vangatrice sono (Bodria et al., 2006):

- maggior livellamento superficiale,
- amminutamento del terreno 2-3 volte superiore,

- accoppiamento centrato rispetto all'asse longitudinale del trattore, rendendo possibile la marcia su terreno sodo,
- assenza di richiesta di forza di trazione, con possibili accoppiamenti con trattori a due ruote motrici.

Tuttavia la vangatrice presenta i seguenti limiti operativi:

- mediocre rivoltamento delle zolle,
- bassa velocità di avanzamento
- fondo di lavorazione cuspidato con problemi di sgrondo dell'acqua nei terreni tenaci.

1.4 Principali effetti delle pratiche di gestione dei suoli

1.4.1 Effetti sulla fertilità del suolo

Analogamente al terreno naturale, in quello agrario la frazione solida non è tutta minerale ma include una parte di materiale organico costituito dai resti degli organismi che in esso sono cresciuti e vissuti (residui vegetali, deiezioni e spoglie degli animali, etc.). Nel terreno agrario la sostanza organica è sempre presente in quantità variabile e lo stadio di evoluzione ne influenza le caratteristiche. La presenza del materiale organico è da considerarsi una delle componenti fondamentali per la fertilità del terreno, in quanto rappresenta un substrato nutritivo ed energetico per gli organismi del suolo, ma anche una fonte di nutrienti per le piante (Hernanz et al., 2001). Regola inoltre la ritenzione dell'acqua, influenza la biodegradabilità, la persistenza e la reattività degli xenobiotici e contribuisce a limitare il fenomeno dell'erosione stabilizzando la struttura del suolo. Infine, costituisce un importante serbatoio di carbonio, in equilibrio dinamico con gli altri comparti nel ciclo globale del carbonio. In definitiva, la sostanza organica ha un ruolo trasversale nel suolo essendo in grado di influenzarne le proprietà fisiche, chimiche e biologiche (Fig. 4), l'insieme delle quali costituisce la fertilità del suolo.

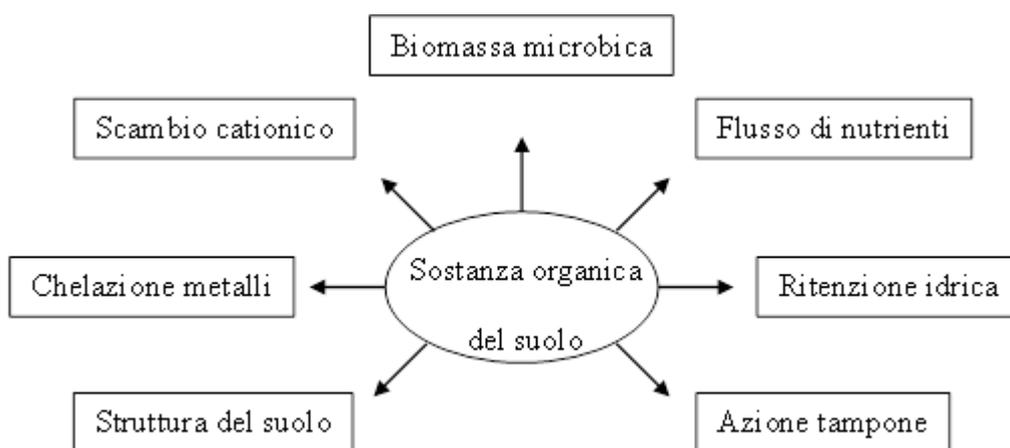


Figura 4 - Relazioni tra sostanza organica del suolo ed altre proprietà e processi del suolo (da Dell'Abate, 2000).

La sostanza organica è composta dai residui organici che, in seguito ai processi di mineralizzazione, li rendono sostanze complesse che espletano varie azioni quali, nutrizione, strutturazione e permeabilità del terreno (Giardini, 2002). Tali processi sono operati da svariati microrganismi che nell'insieme costituiscono la biomassa microbica. Metaforicamente la biomassa microbica si può immaginare come “la cruna dell'ago attraverso cui tutta la sostanza organica del suolo deve passare affinché gli elementi nutritivi in essa contenuti siano resi disponibili per l'assorbimento vegetale e per la biomassa microbica stessa” (Fig. 5).

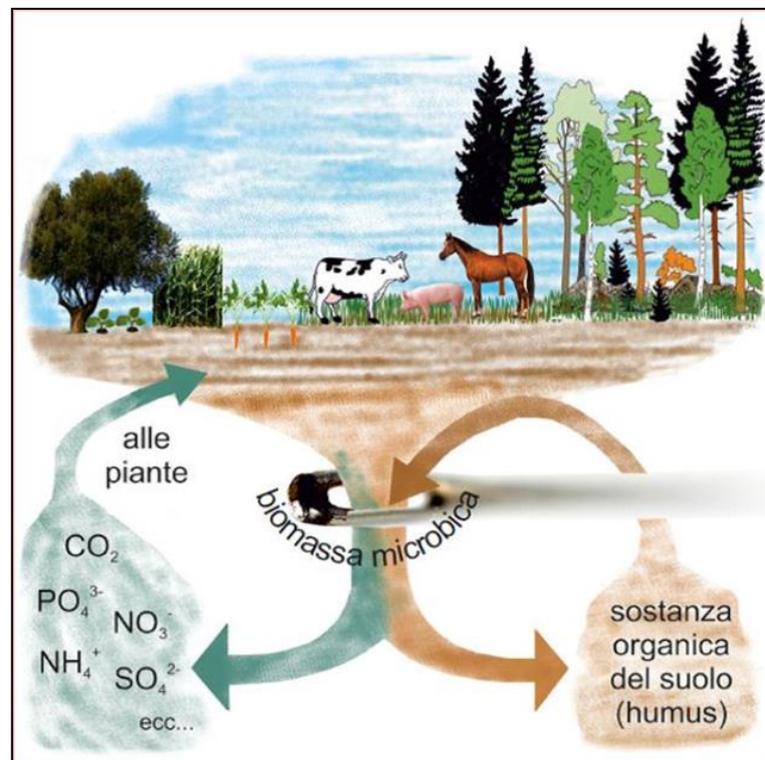


Figura 5 - Rappresentazione metaforica della biomassa microbica

L'aratura è una delle pratiche più utilizzate in agricoltura. Tuttavia le lavorazioni del terreno, ed in particolare l'aratura, può causare grandi perdite di N (come ossidi) e di carbonio organico totale (TOC) (come CO₂), cioè di gas ad effetto serra in atmosfera (Blanco-Canqui e Lal., 2008; López-Garrido et al., 2011).

La lavorazione conservativa (assente o minima) contribuisce senz'altro ad una riduzione dell'uso di combustibili fossili per le macchine agricole, e quindi delle emissioni di gas ad effetto serra, grazie al minor numero di operazioni di lavorazione del terreno. Un altro vantaggio è anche la conservazione dei macro-aggregati del suolo. Una riduzione dell'intensità di lavorazione è stata ampiamente riconosciuta come una strategia efficace per ridurre le perdite di carbonio della sostanza organica (Halvorson et al., 2002; West e Post, 2002). Analogamente, in totale assenza di aratura, la mancanza di disturbo del suolo produce una modifica delle condizioni di ossigenazione del terreno di superficie, riducendo l'attività microbica e quindi la decomposizione della sostanza organica (Mielke et al., 1986).

Diversi studi hanno misurato maggiori valori di densità reale del suolo dopo la riduzione della lavorazione del terreno (Kay e Van den Bygaart, 2002). Esperimenti effettuati in Spagna (Tab.1) e Sud Italia, in cui la lavorazione convenzionale è stata paragonata alla minima o nessuna lavorazione del terreno, in un vasto range di sistemi di rotazione delle colture, hanno mostrato una concentrazione significativamente maggiore di carbonio della sostanza organica col sistema di non lavorazione sulla superficie del suolo (Àlvaro-Fuentes, 2007; Barbera et al, 2010).

Tabella 1 - Contenuto in C organico totale in suoli di un ambiente semiarido in Spagna (dati da Alvaro-Fuentes et al., 2007).

Località	Selvanera	Agramunt	Penaflo
Latitudine	41° 50' N	41° 48' N	41° 44' N
Longitudine	1° 17' E	1° 07' E	1° 46' E
Altitudine (m)	475	330	270
Temperatura media annua (°C)	13.9	14.2	14.5
Precipitazione media annua (mm)	475	430	390
SOC (0-20 cm; kg m⁻²)			
No lavorazione	2,9	3,1	2,7 ^a ; 2,3 ^b
Lavorazione ridotta	-	2,9	2,3 ^a ; 2,2 ^b
Lavorazione convenzionale (fino a 25	2,9	2,6	-
Lavorazione convenzionale (fino a 40	2,9	2,5	2,3 ^a , 2,0 ^b

Tuttavia, tali autori hanno riportato che sotto i 10 cm la concentrazione di carbonio della sostanza organica (SOC) in no tillage è simile o minore rispetto a quella di altri sistemi di lavorazione (Luo et al., 2010); hanno eseguito un'analisi dei dati di 69 esperimenti accoppiati e hanno trovato che la lavorazione per più di 5 anni ha determinato una perdita di SOC di oltre 20 t ha^{-1} nei primi 60 cm della superficie del suolo. La conversione da convenzionale a non lavorazione ha alterato in modo significativo la distribuzione verticale del C all'interno del profilo del suolo, con conseguente aumento di SOC nella strato compreso tra 0-10 cm e una diminuzione nello strato successivo tra 10-40 cm. Questi risultati confermano quanto ipotizzato da Baker et al. (2007) che le lavorazioni conservative, che favoriscono l'input di C possono essere in molti casi, semplicemente un artefatto della metodologia di campionamento. Altri autori hanno ipotizzato che le basse differenze tra sistema convenzionale e non lavorazione potrebbero essere attribuite all'alto contenuto di argilla nel suolo (Ouédraogo et al., 2005, Barbera et al., 2010) che protegge la SOM da una rapida degradazione sotto un uso più intensivo del suolo. La variazione di distribuzione di SOC all'interno del profilo del suolo è probabilmente il risultato di due cause: la redistribuzione in superficie di SOC e la crescita delle radici. In primo luogo, lo strato di terreno superficiale trattiene la maggior parte di SOC e in sistemi convenzionali l'aratura raggiunge gli strati più profondi del suolo. In secondo luogo, l'aratura profonda, a 50 cm di suolo, provoca cambiamenti delle condizioni fisiche ma migliora la crescita delle radici delle colture, aumentando in tal modo l'input di C attraverso la senescenza delle radici (Luo et al., 2010). Al contrario, la non lavorazione porta ad una maggiore copertura del suolo, un minore disturbo e una maggiore resistenza dello stesso. La non lavorazione può anche aumentare l'umidità e ridurre l'evaporazione, causando dei cambiamenti nella crescita delle radici delle colture e di altri processi del suolo legati alla decomposizione della SOC nello strato superficiale del terreno.

Recentemente, Gonzalez-Chavez et al. (2010) hanno riportato uno studio della durata di 28 anni per gli effetti della non lavorazione del terreno sul C della biomassa microbica (MB), azoto (MB) e fosforo (MB) in Texas. Essi hanno

trovato che MBC e MBN erano quasi raddoppiati, considerando che MBP è stata di 2,5 volte superiore rispetto ai trattamenti di lavorazione convenzionale. Balota et al. (2004) hanno rilevato gli effetti a lungo termine della lavorazione del terreno e la rotazione delle colture sulla SMB in un ambiente subtropicale e hanno trovato che la non lavorazione del terreno aumenta la MBC in rotazioni di: soia/grano, mais/grano e cotone/grano (11-98%) ad una profondità del suolo (0-5, 5-10 e 10-20 cm) rispetto alla lavorazione convenzionale. Recentemente, Laudicina et al. (2011a) hanno accertato l'aumento della MBC e MBN in un ambiente semiarido, dove l'effetto della lavorazione convenzionale e minima lavorazione è stato confrontato in un appezzamento ammendato con due dosi di compost. Doran (1980) suggerisce che, in ambienti tropicali o arido/semiarido, il maggiore contenuto di SMB in terreni lavorati o minimamente lavorati se confrontati con suoli lavorati convenzionalmente, è dovuto al fatto che la lettiera superficiale può abbassare la temperatura del suolo e aumentare il contenuto di acqua e l'aggregazione dei contenuti di C. Così, i terreni non coltivati, non sono solo ricchi di substrati disponibili, ma anche più umidi, freschi e meno variabili rispetto alla loro temperatura e ai regimi di umidità. Queste condizioni stimolano la crescita dei microrganismi del suolo, in particolare negli strati superficiali (Balota et al 2004; Ferreira et al 2000).

Alcuni autori riportano che in ambienti con clima arido/semiarido, il MBC è maggiore in terreni non coltivati, o poco coltivati rispetto a terreni caratterizzati da una gestione del suolo convenzionale, dovuto al fatto che la lettiera superficiale può abbassare la temperatura del suolo, aumentare l'aggregazione del suolo e il contenuto di C. Pertanto, terreni non coltivati presentano non solo un alto contenuto di substrato disponibile, ma anche più umido, più fresco e meno variabile rispetto alla loro temperatura e regimi di umidità. Queste condizioni stimolano la crescita dei microrganismi del suolo, in particolare negli strati superficiali (Balota et al 2004; Ferreira et al 2000).

La biomassa microbica può anche rappresentare un utile indicatore per le modifiche indotte dalle diverse lavorazioni.

In alcuni casi l'aratura stimola l'attività microbica del suolo a causa della maggiore aerazione del terreno rispetto ad una gestione di tipo conservativa. Con

lavorazione convenzionale, aumenta l'MBC e anche la mineralizzazione potenziale del carbonio in superficie, a causa di una migliore aerazione del terreno e uniforme distribuzione di carbonio organico (Piovanelli et al. 2006).

La distribuzione di MBC può essere correlata al collocamento dei residui colturali. Melero et al. 2009 hanno osservato una certa correlazione tra la stratificazione nel suolo e la biomassa microbica in conseguenza della diversa gestione del suolo osservando valori più elevati di biomassa microbica nei primi 5 cm di profilo del suolo sotto no tillage che sotto conventional tillage dopo un anno di gestione della conservazione.

È noto inoltre che le pratiche di coltivazione possono influenzare l'emissione di anidride carbonica (CO₂) dal suolo in differenti modi. L'effetto della lavorazione del suolo sulle emissioni di CO₂ è di particolare importanza in quanto i suoli giocano un importante ruolo nel ciclo globale del C e contribuiscono ai cambiamenti della concentrazione di gas effetto serra nell'atmosfera. L'aratura stimola l'attività microbica del suolo a causa di una maggiore aerazione del terreno rispetto alle lavorazioni conservative e per la distruzione dei macro-aggregati del suolo (Angers et al., 1993).

1.4.2 Il compattamento del terreno

Il terreno è una massa discontinua di particelle solide che lasciano interposti tra loro spazi di forma e dimensione variabili: il volume complessivo di questi spazi in posto fatto uguale a 100, costituisce la porosità (Bonciarelli et al., 1997). Nel caratterizzare le proprietà di un terreno, il valore assoluto della porosità non ha molta importanza, mentre ben maggiore è l'importanza data dalla loro dimensione, forma e distribuzione. Proprio da questo deriva la necessità di classificare i pori in micro e macro e di definire quindi:

- Microporosità (o porosità capillare) il volume totale dei pori o interstizi aventi dimensioni $\varnothing < 10 \mu\text{m}$. Tale dimensione fa sì che l'acqua al loro interno tendi a risalire per capillarità andando contro all'azione della forza di gravità.
- Macroporosità (o porosità non capillare) il volume totale dei pori o interstizi aventi dimensioni $\varnothing > 10 \mu\text{m}$. Tali dimensioni fanno sì che l'acqua in essi contenuta non sia trattenuta e che quindi defluisca più o meno rapidamente lasciando lo spazio all'aria.

Si ritiene che nelle condizioni ideali per la crescita delle piante la microporosità debba essere pari al 60%, mentre la macroporosità rappresenti il restante 40% della porosità totale. Da non sottovalutare, nell'ambito della macroporosità, è la necessità di avere un certo numero di pori con un diametro di almeno $50 \mu\text{m}$ al fine di garantire un rapido drenaggio delle acque gravitazionali di percolazione, mentre allo stesso tempo è importante anche la presenza di pori con diametro di $150\text{--}300 \mu\text{m}$ al fine di garantire una agevole penetrazione delle radici (Bonciarelli et al., 1997).

Il transito dei mezzi meccanici per l'esecuzione delle lavorazioni, associato alla forza di gravità e all'azione battente della pioggia, provocano un effetto di diminuzione della macro e micro porosità, con conseguenze di riduzione della fertilità a causa di fenomeni di asfissia radicale e di ridotto contenuto idrico; tuttavia allo stesso tempo, esistono anche altri fattori che invece la possono fare aumentare, quali: il movimento degli organismi terricoli, il dirompimento provocato con le lavorazioni, la crepacciatura, ed altri ancora.

L'impiego di macchine sempre più grandi con performance lavorative migliori per la coltivazione di aree sempre più vaste è la principale causa del costante aumento del peso delle trattrici agricole che possono arrivare a carichi di 4 t per ruota per trattori che superano i 150 kW e addirittura a 12 t per ruota per macchine semoventi per la raccolta meccanizzata. Il principale rischio che implica un tale aumento dei pesi consiste in un maggiore carico sul terreno, che può determinare fenomeni di compattamento del suolo ed in molti casi anche del sottosuolo.

Il compattamento è una riduzione permanente del volume apparente del terreno dovuta ad una sollecitazione di compressione provocata dall'azione lavorante di un attrezzo o dall'organo di propulsione di un veicolo (Pezzuolo e Sartori, 2012); in queste condizioni, il danno che ne deriva è la compattazione dello strato più superficiale del terreno, di entità variabile a seconda della capacità portante (o compattabilità) del suolo, (correlato quindi ad una diversa suscettibilità dello stesso al compattamento) e delle caratteristiche degli pneumatici utilizzati (Soane et al., 2012).

Le alterazioni della struttura del suolo causata dalla compattazione da meccanizzazione, influisce su molte proprietà del suolo che controllano la produzione delle colture e la qualità dell'ambiente (Soane e Ouwerkerk, 1995).

Gli effetti negativi della compattazione del sottosuolo sono persistenti e possibilità di allentamento sono deludenti (Håkansson e Reeder, 1994; Horn et al, 2000; Van den Akker et al, 2003). È dunque necessaria una migliore conoscenza degli effetti per individuare migliori strategie di prevenzione.

In particolare alcune colture, come ad esempio i vigneti, sono soggetti ad un'elevata meccanizzazione, frequentemente associata alle lavorazioni del terreno, all'applicazione di prodotti chimici ed alla vendemmia. In una viticoltura altamente meccanizzata, il numero di passaggi di un trattore, in un anno, può essere fino a 22 (con tecniche di gestione tradizionali) ed il 20% in meno nel caso di vigneti con inerbimento (Lisa et al., 1995).

Negli ultimi anni il problema è andato via via aggravandosi man mano che la meccanizzazione agricola si orientava verso l'introduzione di attrezzature con dimensioni e massa sempre maggiori. Se da un lato è comprensibile che non

sempre sia facile conciliare il tentativo di non entrare in campo quando il terreno non è transitabile, dall'altro è importante considerare anche i possibili effetti che si procurano quando si opera in condizioni al limite del praticabile (Pezzuolo e Sartori, 2012).

Gli effetti negativi del compattamento sono:

- Riduzione della porosità e della permeabilità del terreno
- Aumento degli effetti erosivi
- Riduzione dell'aerazione
- Riduzione della temperatura (suoli più freddi)
- Condizioni sfavorevoli alla crescita dell'apparato radicale
- Difficile assorbimento degli elementi nutritivi
- Riduzione della produttività
- Incremento di energia richiesta per le lavorazioni causata da una maggiore resistenza al taglio
- Minore entità dei processi di ossidoriduzione
- Minore vitalità microbica

Una possibile soluzione, anche se non definitiva a questo problema, potrebbe essere dato dall'impiego di tecniche alternative de gestione del suolo che, oltre a limitare il transito dei mezzi sulla superficie di coltivazione, cercano di esaltare le caratteristiche naturali di porosità e più in generale di cercare il giusto equilibrio fra le esigenze della pianta e la sua coltivazione meccanizzata, ciò a conferma che è possibile adottare sistemi di lavorazione innovativi per prevenire la degradazione fisica del suolo.

1.5 Il prototipo di motovangatrice semovente Agrotec

La motovangatrice semovente Agrotec è stata ideata per sopperire al fabbisogno di un'attrezzatura di moderna concezione per la lavorazione principale del terreno, tramite "vangatura", in grado risolvere le più importanti problematiche legate alle condizioni operative in ambienti difficili caratterizzati da forti pendenze o sistemati a terrazze, particolarmente diffusi nelle isole minori siciliane.

In tali ambienti, infatti, viene impiegato diffusamente il motocoltivatore provvisto di zappatrice rotativa, che si è rapidamente diffuso poiché consente, in un solo passaggio, di ottenere il suolo privo di erbe infestanti, ben amminutato ed in ottime condizioni per le successive operazioni, ma che tuttavia, ha una notevole influenza negativa sulle caratteristiche del terreno, che si presenta finemente polverizzato, soffice e astrutturato. Ciò ha come immediato effetto negativo la perdita della capacità di immagazzinamento della riserva idrica e, conseguentemente, della sua fertilità.

1.5.1 Scelte progettuali della macchina

Il progetto “Motovangatrice semovente” (Fig. 8), è stato sviluppato sulla base dei principi costruttivi dei comuni motocoltivatori e realizzato tramite moderni sistemi informatici. Questa macchina operatrice evidenzia una struttura compatta, comandata manualmente dall’operatore, dotata di trazione a cingoli in gomma e trasmissione oleodinamica azionata da un motore endotermico a ciclo Diesel di piccola cilindrata. Nella parte sottostante la struttura a ponte della macchina sono posti gli utensili di lavoro, costituiti da vanghe a forca, il cui particolare posizionamento consente di ridurre gli ingombri complessivi. Tale soluzione rende la macchina particolarmente stabile ed in grado di lavorare su terreni di superficie estremamente ridotta, come i terrazzamenti delle zone collinari tipiche delle fasce costiere mediterranee.

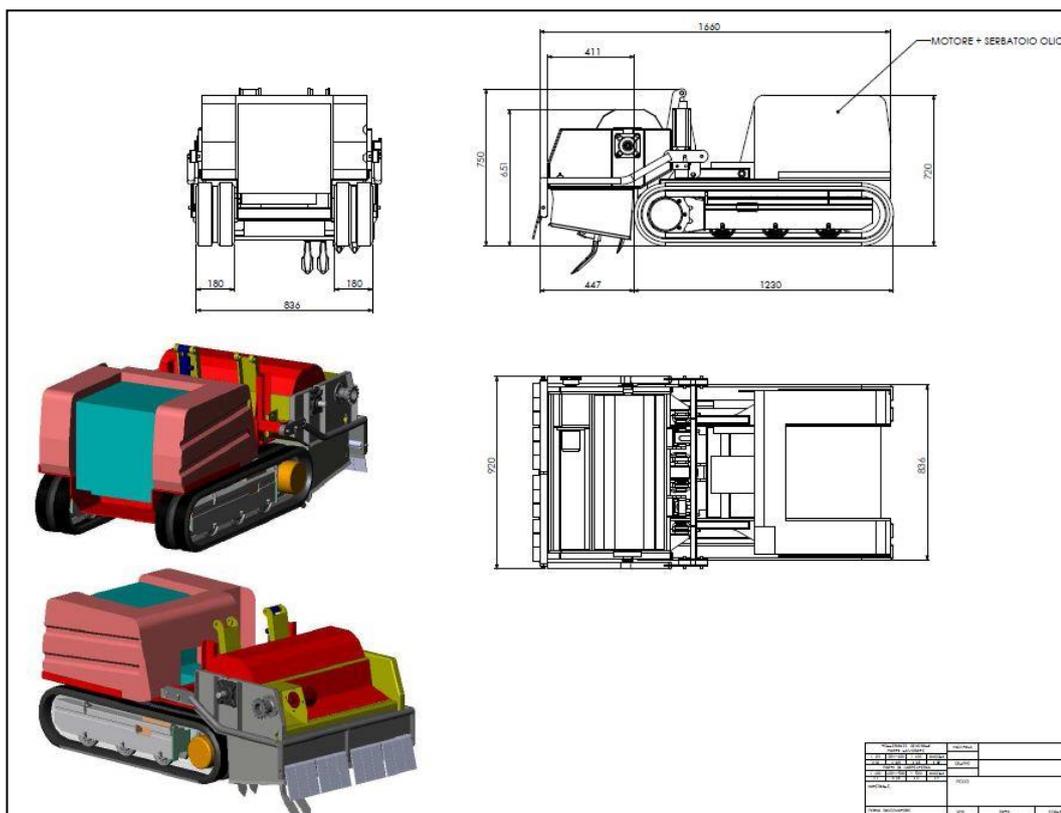


Figura 6 – Il progetto della “motovangatrice semovente Agrotec”

1.5.2 Descrizione della macchina dal primo prototipo

La “Motovangatrice semovente” è costituita da un telaio a ponte portante gli organi di trazione, di guida e gli utensili di lavoro. Sul telaio sono state imbullonate le flange di supporto degli organi di propulsione della macchina, costituiti da due sottocarri con cingoli in gomma. Ciascuno è costituito da un telaio rigido sul quale è imperniata la ruota dentata di trazione, azionata da un motore oleodinamico orbitale, la ruota di tensione e tre rulli di supporto dei cingoli. Sul telaio portante è stato montato un motore endotermico che ha la funzione di generare la potenza necessaria all’azionamento di due pompe idrauliche, poste assialmente all’albero di rotazione dello stesso motore, che alimenteranno a loro volta un impianto oleodinamico necessario alla movimentazione dei cingoli e del cinematismo degli utensili di lavoro.

In base alle dimensioni di ingombro degli organi di propulsione, del manovellismo degli utensili di lavoro, del motore endotermico e del gruppo pompe del circuito oleodinamico, sono state realizzate le restanti parti del telaio della macchina. In particolare sono stati predisposti un controtelaio di supporto degli organi principali della macchina (motore endotermico, riduttore angolare, asse degli eccentrici, bielle, etc.) sopra il quale è stato posto un telaio di protezione.

L’organo di lavoro, invece, è costituito da un quadrilatero articolato piano che porta due vanghe costituite ciascuna da una forca a quattro denti. Completano la macchina i necessari organi di comando e direzione, con il relativo telaio di sostegno ed appoggio per il comando della macchina.

1.5.3 Avanzamento dei lavori nella realizzazione della motovangatrice

La costruzione del mezzo, dopo il primo assemblaggio delle parti, ha previsto le seguenti fasi di realizzazione:

- ✓ costruzione dei biellismi necessari alla movimentazione degli utensili di lavoro della motovangatrice ed il loro successivo montaggio sul telaio portante della macchina già predisposto.
- ✓ installazione di un circuito oleodinamico necessario per la trasmissione del moto agli utensili di lavoro della macchina alla struttura della macchina e assemblaggio dei gruppi di comando della motovangatrice.
- ✓ installazione del motore endotermico e delle pompe necessarie per la movimentazione ed il funzionamento della macchina.

In particolare, durante l'assemblaggio degli assiemi di carpenteria e dei componenti commerciali sono state apportate delle ulteriori modifiche, alcune di sostanziale rilievo emerse da necessità di funzionamento non considerate inizialmente. Il gruppo "porta utensili" è stato semplificato eliminando i sistemi di sicurezza a molla dei singoli utensili in quanto sono risultati troppo elaborati ed inutili allo scopo: si è optato verso un unico sistema di richiamo a molla per tutti gli utensili di ciascun manovellismo.

La messa in rotazione dei manovellismi, durante le prove in officina, ha prodotto notevoli vibrazioni all'intero gruppo rotante: sono stati aggiunti in opera dei contrappesi alle bielle principali per bilanciare il sistema, oltre ad interporre un giunto para strappi tra la scatola ad ingranaggi ed il motore oleodinamico.

La modifica sostanziale eseguita prima della prova in campo ha riguardato il gruppo di trasmissione ed il gruppo porta comandi per la conduzione della vangatrice. Il gruppo porta comandi è stato sostituito con un manubrio tramite il quale l'operatore comanda l'avanzamento della vangatrice; il manubrio è stato reso solidale al gruppo di trasmissione che è stato incernierato al telaio della macchina per consentirgli di ruotare, alzando di conseguenza gli utensili dal livello del suolo. L'alzata del gruppo di trasmissione è necessaria per la conduzione durante gli spostamenti del mezzo nelle fasi di non lavoro.

Concluse le modifiche sono state eseguite delle prove di funzionamento in campo, in seguito alle quali si è provveduto alla immediata sostituzione degli utensili con altri di forma diversa che hanno comportato un miglioramento dello strappo e del sollevamento della terra.

Da ulteriori prove eseguite sono emerse altre necessità di modifiche costruttive in quanto l'operatore è risultato soggetto a continue vibrazioni conseguenti alla penetrazione degli utensili nel terreno. La conduzione del mezzo risulta quindi difficoltosa e le vibrazioni al sistema mano-braccia ed al corpo intero sono risultate maggiori dei valori limite di esposizione. Di conseguenza sono state apportare modifiche costruttive al gruppo di trasmissione ed al sistema di guida per evitare le vibrazioni all'operatore e migliorare la posizione di trasferimento della macchina.

In seguito alle prime prove di lavorazione in campo condotte in Sicilia ad aprile 2009 sul primo prototipo di motovangatrice semovente, il gruppo di ricerca, pur accertando la validità di funzionamento della macchina ed in particolare del sistema di "vangatura", hanno convenuto di considerare i seguenti interventi sulla macchina per renderla più manovrabile, sicura e compatta, maggiormente flessibile e polivalente consentendo le applicazioni di altre attrezzature utili alle micro aziende locali. A tal fine è stato predisposto un nuovo progetto particolareggiato, che ha previsto i seguenti interventi:

- 1) Trasferimento degli organi lavoranti nelle parte posteriore della macchina onde evitare di lasciare strisce non lavorate ed evitare anche il calpestio dei cingoli al terreno già lavorato; con tale modifica, gli organi di lavoro, avranno la stessa larghezza della macchina;
- 2) Utilizzo di un motore endotermico con maggiore potenza rispetto a quella attuale per poter effettuare la lavorazione anche su terreni molto tenaci e umidi come quello trovato durante l'esecuzione della prova;
- 3) Dimensionamento dell'impianto oleodinamico in funzione della maggiore potenza installata;
- 4) Aumento del regime di rotazione degli organi di lavoro: sfruttare "l'effetto volano" delle masse in rotazione incrementando la capacità di penetrazione;

- 5) Creazione di quattro gruppi porta utensili, ognuno portanti due soli coltelli anziché i denti provati, sfalsati di 90° tra di loro e distanziati uniformemente su tutta la larghezza dell'attrezzatura, che misura cm 80;
- 6) Creazione di un gruppo "vangante" indipendente da applicare posteriormente al sottocarro cingolato, dotato di due cilindri oleodinamici per permettere il sollevamento del gruppo stesso durante la fase di trasporto (minimo 15 cm da terra) e per permettere la penetrazione degli utensili di una quota registrabile;
- 7) Applicazione del motore endotermico su una base traslante sopra il sottocarro cingolato: si rende così più flessibile la macchina dal punto di vista degli spazi disponibili per l'applicazione di altre attrezzature utili (pala, trivella, compressore);
- 8) Prevedere la possibilità di applicare delle zavorre per il bilanciamento dei pesi (antiribaltamento);
- 9) Predisporre il gruppo comandi idraulici polifunzionali in modo da poter essere spostato in funzione del tipo di attrezzatura applicata su una nuova console con attacchi rapidi e trasferibili.

Terminato a fine Marzo 2010 il nuovo progetto, è stata così avviata la fase di costruzione del secondo prototipo in tutti i suoi assiemi, inteso come assemblaggio in carpenteria, che ha visto il suo completamento a maggio 2010.

In particolare, per assiemi si intendono:

- ✓ telaio sottocarro portante l'attrezzatura zappante e le eventuali altre attrezzature di possibile utilizzo;
- ✓ telaio manovellismo, sul quale viene montato l'albero a gomiti;
- ✓ telaio guida sollevamento.

Il manovellismo porta utensili è stato affidato a terzisti, secondo quanto previsto dagli elaborati tecnici completi di tutte le indicazioni costruttive necessarie. Il sottocarro cingolato risulta completato di tutte le sue parti, compresi i motori oleodinamici per la movimentazione, ed assemblato al telaio sottocarro tramite collegamenti bullonati.

Il motore endotermico diesel risulta completo di campana e gruppo pompe oleodinamiche per l'erogazione di potenza idraulica.

Tutti gli assiemi costituenti la macchina, compreso il manovellismo porta utensili, sono stati assemblati prima di eseguire i trattamenti superficiali previsti (verniciatura e zincatura), per verificare gli accoppiamenti esatti tra le parti. Il prototipo è stato infine sottoposto a prove di controllo al banco della durata di circa 40 ore.

Una volta completata la costruzione del secondo prototipo, questo è stato sottoposto nell'estate del 2010 a prove di lavorazione in campo. In particolare, è stato sottoposto alle seguenti prove:

1) verifica di funzionamento del meccanismo di vangatura applicato posteriormente al carro cingolato di pari larghezza della macchina: la prova è stata effettuata su un terreno non coltivato, molto compatto, erboso e di difficile penetrazione. Il movimento degli organi zappanti (n° 5 con due fendenti cadauno) è risultato ottimo, la penetrazione degli elementi nel terreno armoniosa ed efficace. La lavorazione del terreno è risultata soddisfacente, nella profondità di penetrazione degli utensili (12-15 cm), nello strappo e nel rivoltamento delle zolle. La copertura del terreno lavorato è risultata pari alla larghezza massima della macchina;

2) verifica della stabilità della macchina in lavoro ed in trasferimento: la ditta costruttrice seguendo le indicazioni ricevute dal gruppo di ricerca durante le prove con il primo prototipo, ha rispettato le massime misure di ingombro stabilite per tale macchina; cm 160x80. Il rispetto di tali misure e l'esigenza di stabilità della motovangatrice durante la fase di lavoro e di trasferimento si è dimostrata di non semplice fattibilità, a tal punto che si è deciso di riprogettare il sottocarro cingolato e predisporlo all'assemblaggio degli organi di propulsione e lavorazione in posizione tale da abbassare il più possibile il centro di massa.

Da un primo studio a disegno si evidenzia la possibilità di incrementare di circa il 25% la superficie d'appoggio dei cingoli al terreno non variando le misure d'ingombro precedenti e la luce libera a terra. L'abbassamento, l'arretramento a sbalzo dell'organo vangante e la riduzione del peso, riequilibra la macchina in

oggetto. È stato previsto inoltre di inserire, all'interno della struttura della macchina e precisamente fra il vano motore e l'organo lavorante, una postazione con sedile per consentire la guida idraulica anteriore con uomo a bordo; tale postazione sarà provvista di struttura di protezione costituita da un semplice arco abbattibile.

3) potenza generata e utilizzata: il nuovo motore bicilindrico diesel da 12 kW garantisce l'utilizzo della motovangatrice senza alcuna perdita di giri lavorando in coppia come da indicazione del costruttore.

4) verifica dell'impianto oleodinamico: alimentato da due pompe in asse a circuito separato, l'impianto fornisce ai sottocarri cingolati la potenza necessaria per superare pendenze massime del 25÷30%, e avanzare a velocità massima di 4-5 km/h. Attraverso il diffusore a 12 prese rapide, diffonde la potenza necessaria ai motori oleodinamici delle varie attrezzature previste (trivella, irroratrice, contenitore per trasporto materiali, lama livellatrice, decespugliatore, interrassasi). Le leve di comando hanno risposto positivamente in funzione del sollevamento dell'arresto automatico della vangatrice. Si dovrà migliorare la sensibilità del comando di guida (unico comando per quattro funzioni non elettrico).



Figura 7 – L'avanzamento dei lavori per la realizzazione della motovangatrice Agrotec

1.5.4 La motovangatrice nella sua versione finale

In seguito alle ulteriori modifiche apportate, la macchina nella sua versione finale è costituita da:

- un motore endotermico che fornisce il moto alle pompe oleodinamiche;
- da un organo propulsore costituito da due cingoli che ricevono il moto rotatorio attraverso motori oleodinamici;
- da cinque organi di lavoro, del tipo a vanga con due fendenti ciascuno, anch'essi azionati da motore oleodinamico e costituiti da manovellismi di bielle e manovelle montate su alberi con boccole autolubrificanti ed ermeticamente protette;
- dieci utensili finali semicurvi, in modo da poter tagliare la porzione di terreno senza frammentarlo o polverizzarlo. Questa particolare lavorazione evita il deterioramento della struttura del suolo e la compattazione dello strato sottostante a quello lavorato.

La macchina può muoversi a velocità variabile, con regolazione direzionali a 360° particolarmente indicata per lavorazioni su terrazzamenti, serre, vivai e terreni declivi.

La piattaforma polivalente della motovangatrice è studiata in modo tale da potervi applicare altre macchine operatrici utili quali trivelle, decespugliatori, pale frontali ed irroratrici ecc.

Tabella 2 - Caratteristiche tecniche della Vangatrice Agrotec

Passo [m]	0,90
Carreggiata [m]	0,94
Altezza [m]	1,10
Potenza [kW]	12
Massa [kg]	360
N. utensili [n]	5
Lunghezza totale [m]	1,70

2. MATERIALI E METODI

2.1 Descrizione del sito

Le prove sono state condotte in un'area pianeggiante della provincia di Palermo in Sicilia, in un campo sperimentale del Dipartimento Scienze Agrarie e Forestali (SAF) dell'Università degli Studi di Palermo.

Il campo oggetto della sperimentazione è impiantato con un vigneto con un sesto d'impianto di 1,5 m sulla fila e di 2,5 m sull'interfila, con una lunghezza dei filari di 100 m. Topograficamente è situato al 38°06'N e 13°20'E, ad un'altitudine di 48 m s.l.m (Fig. 8).



Figura 8 - Campo oggetto della sperimentazione

Il clima è di tipo mediterraneo (Classificazione dei climi di Köppen: Csa), con inverni miti e umidi (media annuale delle precipitazioni è di 610 mm), mentre le estati sono calde (temperatura media annua è 18,5°C) e secche (Peel et al., 2007) (1981-2010 periodo di osservazione). L'esperimento è stato condotto su un suolo pedologicamente identificabile come Typic Haploxerept.

Il terreno è impiantato a vigneto con lavorazioni convenzionale di cui effettuate con coltivatore ad una profondità di 20 cm e due zappatrice rotativa a una profondità di 15 cm l'anno. Non sono mai stati utilizzati erbicidi per il controllo delle infestanti.

Prima dell'inizio delle prove sono state determinate le principali proprietà fisiche e pedologiche del suolo oggetto della sperimentazione (Tab. 3).

Tab. 3 - Proprietà del suolo

Tessitura	pH	Conducibilità elettrica [$\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$]
franco-argilloso-sabbioso	6.88	0.203

Analisi delle caratteristiche fisiche del suolo oggetto della sperimentazione.

Come si evince dalla tabella 3 il suolo oggetto della sperimentazione risulta essere di medio impasto con un pH neutro ed una conducibilità elettrica nella media per questa tipologia di suoli.

2.2 Macchine impiegate nella sperimentazione

Per la sperimentazione sono state impiegate tre macchine di cui la prima, la vangatrice semovente (SM), le altre due sono una zappatrice rotativa (RT) e un coltivatore pesante (CP), macchine comunemente impiegate nelle lavorazioni tradizionali.

- Vangatrice (SM): è la macchina semovente innovativa prima descritta provvista di 5 organi lavoranti del tipo a vanga con due fendenti ciascuno mossi dal circuito idraulico della macchina;
- Zappatrice rotativa (RT): è una macchina portata che presenta 8 elementi, inseriti nel rotore centrale, mossi dalla p.d.p. del trattore;
- Coltivatore pesante (CP): è una macchina portata provvista di 5 vomeri disposti su due file.

Il no tillage (NT), attuato tramite l'impiego di un decespugliatore a spalla con utensile di taglio di tipo a testina con filo nylon per il controllo della flora infestante, è stato inoltre incluso nella sperimentazione (Fig. 9).



Figura 9 - Macchine impiegate durante le prove: a) Vangatrice (SM), b) zappatrice rotativa (RT), c) Coltivatore (CP), d) No Tillage.

2.3 Disegno sperimentale

La sperimentazione ha previsto l'esecuzione di una serie di lavorazioni superficiali fino alla profondità di 150 mm, iniziate nella primavera del 2011.

La valutazione qualitativa delle diverse tecniche impiegate nello studio è stata eseguita mediante analisi di campo, finalizzate alla determinazione della penetration resistance (PR) del suolo, rilevata per tutte le tesi mediante l'applicazione del penetrometro fino alla profondità di 300 mm, e mediante analisi di laboratorio condotte su campioni di suolo prelevati alla profondità di 0-150 mm e di 150-300 mm. Sia i rilievi penetrometrici che i campionamenti sono stati eseguiti in epoche prestabilite.

Per quanto riguarda i rilievi penetrometrici, sono stati eseguiti prima dell'inizio delle lavorazioni (epoca T0), quindi ripetute dopo l'esecuzione delle lavorazioni rispettivamente nell'aprile del 2011 (epoca T1), nel maggio del 2012 (epoca T2) e a giugno del 2013 (epoca T3).

Per il monitoraggio delle caratteristiche fisico-chimiche del suolo nel lungo periodo, sono stati prelevati campioni per le prove di laboratorio due anni prima dell'inizio delle lavorazioni nel giugno del 2009, ed in seguito alle lavorazioni nel giugno del 2011, 2012 e 2014, al fine di determinare il carbonio organico totale (TOC), il carbonio della biomassa microbica (MBC), il quoziente microbico e quoziente metabolico, ed inoltre il frazionamento degli aggregati del suolo.

Per ogni periodo di campionamento sono stati prelevati tre campioni di suolo per ogni tesi alle profondità di 0-15 e 15-30 cm.

2.4 Determinazione della penetration resistance (PR)

Il penetrometro impiegato durante la sperimentazione è costituito da un dinamometro elettronico (IMADA, DPS 5R – USA) in grado di rilevare forze fino a 5.0 MPa, collegato ad uno stativo meccanico (IMADA MX2-500N - L). I valori rilevati, registrati tramite il software IMADA ZP Recorder, sono stati in seguito importati su foglio di calcolo elettronico per le successive elaborazioni (Fig. 10).



Figura 10 - Il penetrometro impiegato durante la sperimentazione

La punta usata per i rilievi, montata al dinamometro tramite una barra in acciaio del diametro di 6 mm, è di forma conica con base di 10mm di diametro (Fig. 11).

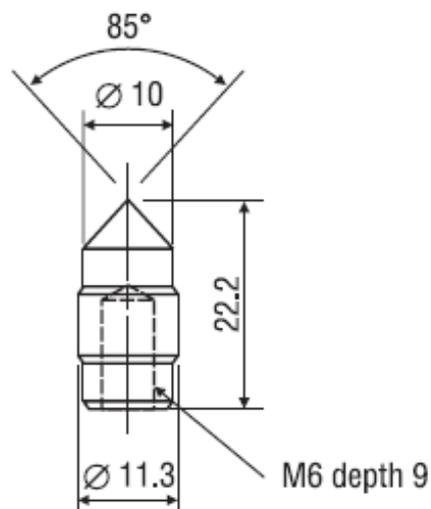


Figura 11 - Sezione del cono del penetrometro utilizzato per i rilievi della PR

Le prove sono consistite nell'esecuzione di due lavorazioni superficiali del terreno alla profondità di 150 mm impiegando le tre tipologie di macchine. I trattamenti sono stati eseguiti in tre repliche secondo uno schema a blocchi randomizzati. La prima serie di lavorazioni è avvenuta prima dell'inizio delle lavorazioni (T0), quindi ripetute dopo l'esecuzione delle lavorazioni rispettivamente nell'aprile del 2011 (T1), nel maggio del 2012 (T2) e a giugno del 2013 (T3).

Su tutte le 4 tesi, SP, RT, CP e NT sono state eseguite le prove penetrometriche fino alla profondità di 300 mm.

2.5 Metodi di analisi di laboratorio

Le analisi di laboratorio sono state eseguite secondo le metodologie ufficiali di seguito riportate.

2.5.1 Determinazione dell'umidità

Il contenuto in acqua è di norma definito come il rapporto tra la massa dell'acqua presente nel suolo e la massa del suolo secco o attraverso il volume d'acqua presente nell'unità di volume di suolo. In entrambi i casi la precisione delle determinazioni è legata ad una sicura individuazione delle condizioni di "suolo secco".

Il contenuto di acqua nel suolo è un fattore molto importante poiché influisce, in fase di semina la germinazione dei semi e la successiva crescita delle piante, in fase di produzione l'accrescimento qualitativo e quantitativo dei frutti.

Il disturbo arrecato al suolo dagli utensili degli attrezzi agricoli durante le fasi di gestione del suolo per il controllo delle infestanti, favorisce la perdita d'acqua per evaporazione e quindi l'essiccazione dei primi centimetri di terreno; in generale si può dunque affermare che la percentuale di umidità aumenta all'aumentare della profondità.

Le tecniche di gestione del suolo dovrebbero dunque puntare ad un disturbo minimale del terreno, tale da favorire sia la risalita dell'acqua presente dalla parte sottostante del terreno fino alla rizosfera, che una riduzione delle perdite di acqua per evaporazione.

In questo studio il monitoraggio del contenuto di acqua presente nel suolo è avvenuto contemporaneamente ai rilievi penetrometrici, al fine di verificare l'influenza dell'umidità del suolo sulla PR, sullo stesso strato di suolo interessato dai rilievi.

La determinazione dell'umidità è stata effettuata prelevando campioni di suolo ad ogni 5 cm di profondità fino al raggiungimento della profondità interessata dai rilievi penetrometrici. Per ogni tesi sono stati effettuati tre campionamenti.

Il metodo si basa sulla misura delle riduzioni di peso di un campione di suolo posto in stufa ad una prefissata temperatura (105 °C) e per un tempo stabilito.

La determinazione dell'umidità gravitazionale è stata eseguita sulla base della seguente equazione:

$$[(PU - PS)/PS] \times 100$$

dove:

PU = Peso Umido tal quale;

PS = Peso Secco rilevato sul campione messo in stufa (105°C per 48 ore).

2.5.2 Determinazione del grado di reazione (pH), della conduttività elettrica e della densità apparente.

pH

Il metodo consiste nella determinazione diretta (strumentale) del pH determinato per via potenziometrica, dopo taratura del sistema di misura, su sospensione di suolo-acqua.

Conduttività elettrica

Il metodo consiste nella determinazione diretta (strumentale) della conduttività elettrica in estratti acquosi del suolo. Per la misurazione della conduttività elettrica è stato utilizzato un conduttimetro che fornisce direttamente i valori di conduttività espressi in $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Densità apparente

La densità apparente è stata determinata in accordo con la metodologia descritta da Blake e Hartge (1986), da campioni non disturbati prelevati usando cilindri di acciaio del volume di 100cm^3 (diametro 5cm, e altezza 5cm).

2.5.3 Determinazione del carbonio organico totale (TOC) (Metodo Walkley-Black)

Il metodo Walkley-Black si basa sul principio che il carbonio organico viene ossidato ad anidride carbonica, in condizioni standardizzate, con soluzione di potassio bicromato in presenza di acido solforico. La velocità della reazione viene favorita dall'innalzamento della temperatura conseguente alla brusca diluizione dell'acido. Dopo un tempo stabilito, la reazione viene interrotta per aggiunta di opportuna quantità di H₂O e la quantità di potassio bicromato che non ha reagito viene determinata per titolazione con una soluzione di ferro (II) solfato eptaidrato. Il punto finale della titolazione viene accertato con l'aggiunta di un opportuno indicatore di ossidoriduzione o per via potenziometrica utilizzando un elettrodo di platino.

Il contenuto di carbonio organico è espresso in g·kg⁻¹.

Per il calcolo viene utilizzata l'espressione

$$C = \frac{3}{2} \times \frac{(B - A)}{1000} \times \frac{MFe_{(II)}}{6} \times 12 \frac{1000}{M} \times 1.30$$

dove:

C = contenuto di carbonio organico, espresso in g x kg⁻¹

$3/2$ = rapporto molare della reazione di ossidoriduzione (2 moli di potassio bicromato reagiscono con 3 moli di C)

B = volume della soluzione di ferro (II) solfato utilizzato nella titolazione della prova in bianco, espresso in mL

A = volume della soluzione di ferro (II) solfato utilizzato nella titolazione della soluzione del campione, espresso in mL

$MFe_{(II)}$ = molarità effettiva della soluzione di ferro (II) solfato

12 = massa atomica del carbonio, espressa in g x mole⁻¹

$1,30$ = fattore di correzione empirico che tiene conto della parziale ossidazione (70 %) del carbonio organico

M = massa del campione di suolo, espressa in grammi.

da cui

$$C = 3.9 \times \frac{(B - A)}{M} MFe_{(II)}$$

Per la valutazione del contenuto di sostanza organica, si considera pari al 58% il contenuto medio di carbonio nella sostanza organica del suolo, ed è dunque possibile utilizzare il fattore 1,724 per trasformare i $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ di carbonio organico accertati nel corrispondente contenuto di sostanza organica:

$$\text{Sostanza organica} = C \times 1,724$$

Il contenuto di sostanza organica è correlato positivamente con la capacità di scambio cationico, con la formazione e la stabilità della struttura del suolo, con il valore di pH, con la quantità di macro (azoto, fosforo, zolfo) e di micro-nutrienti.

La dotazione in sostanza organica di un suolo può essere valutata utilizzando gli schemi riportati nelle Figure 12 e 13 (Soltner, 1988).

Nella Figura 12, semplificata, il livello in sostanza organica, in suoli privi di calcare, viene valutato solamente in funzione del contenuto di argilla.

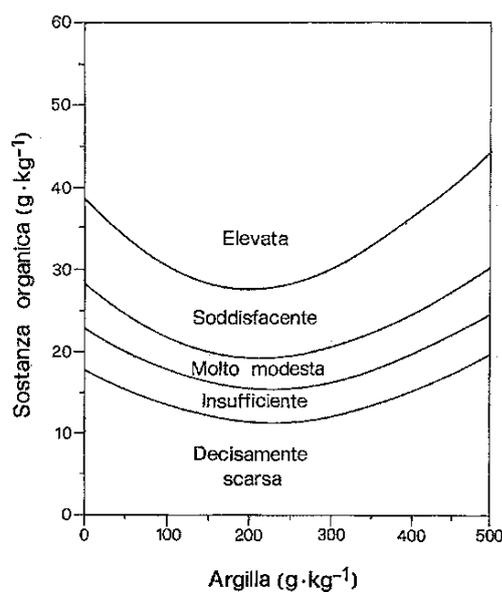


Figura 12 - Schema per la valutazione della sostanza organica in funzione dell'argilla

Nella Figura 13, completa, viene preso in considerazione anche il contenuto di carbonato di calcio.

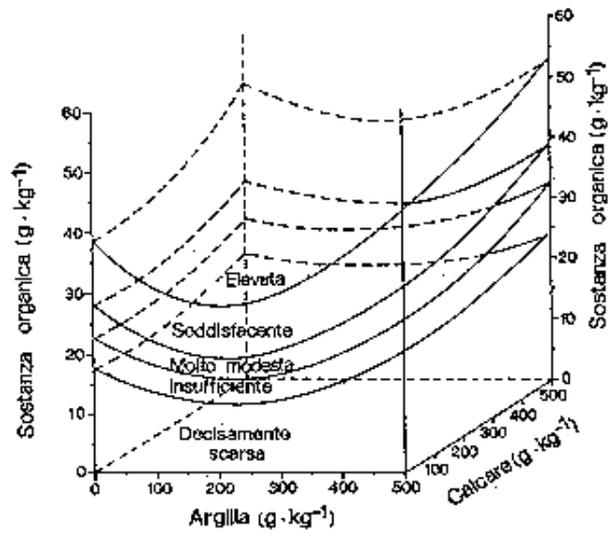


Figura 13 - Schema per la valutazione della sostanza organica in funzione dell'argilla e dei carbonati

2.5.4 Carbonio della Biomassa Microbica (MBC)

Il carbonio della biomassa microbica è stato determinato in accordo al metodo di fumigazione-estrazione, proposto da Vance et al. (1987).

La fumigazione con cloroformio consiste nel mantenere il campione di suolo in un'atmosfera di cloroformio per 20-24 ore, al buio ed a 25°C. Si introduce in un ampio essiccatore un beaker di vetro con 50 g di ogni campione di suolo al 50% della capacità di ritenzione idrica. Poggiare quindi tutti i beaker con i suoli sulla piastra di porcellana forata dell'essiccatore (circa 30 cm di diametro), sul cui fondo sia stato già messo un beaker contenente circa 50 ml di CHCl_3 per cromatografia, cioè stabilizzato con 2-amino-butene e qualche pallina antiebollizione. Sul fondo e ai lati dell'essiccatore è bene sistemare anche qualche striscia di carta bibula imbevuta di acqua in modo da evitare l'abbassamento dell'umidità dei suoli durante la fumigazione. Quindi azionare la pompa rotante da vuoto per creare un'atmosfera di CHCl_3 all'interno dell'essiccatore. Una volta che si formano numerose bollicine nel CHCl_3 , si lascia funzionare la pompa ancora per un minuto. Quindi, chiuso l'essiccatore, si incuba per 20-24 ore al buio e a 25°C. Dopo tale lasso di tempo il CHCl_3 deve essere completamente rimosso dai pori del terreno. Per questo occorre aprire l'essiccatore, rimuovere il beaker con il CHCl_3 (se la fumigazione è stata condotta bene il livello del CHCl_3 dopo le 24 ore si è notevolmente abbassato), riporre i suoli fumigati dentro l'essiccatore; quindi, sempre con la pompa da vuoto, si effettuano 8 successive evacuazioni di 2 minuti ciascuna, intercalate da reimmissioni di aria per 30 secondi.

Successivamente i campioni di suolo vengono estratti con K_2SO_4 0.5M e posti su agitatore orizzontale per 30 min a 200 rpm. Contemporaneamente vengono estratti campioni di suolo simili ma non sottoposti a fumigazione in atmosfera di cloroformio, usati come controllo. Tutti i campioni di suolo estratti vengono quindi filtrati con carta Whatman 42 e sottoposti ad analisi per il C organico per ossidazione con dicromato di potassio.

Il carbonio della biomassa microbica (MBC) è determinato per differenza tra i campioni fumigati e quelli non fumigati, moltiplicati per un kEC of 2.64 (Vance et al. 1987).

Il quoziente microbico è la percentuale di carbonio organico totale (TOC) presente sotto forma di MBC. La respirazione basale del suolo è stata determinata dalla misurazione dell'evoluzione di CO₂. 10g di suolo al 50% della capacità idrica di campo sono stati messi in bottiglie di vetro da 125 ml a 25°C, quindi, i livelli di CO₂ sono stati determinati con un gas cromatografo dopo 1, 3, 6 e 10 giorni dall'incubazione.

Il quoziente metabolico (qCO₂) è stato determinato come $\mu\text{g CO}_2\text{-C h}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{MBC}$ ($\mu\text{g CO}_2\text{-C emessa in 10 giorni g}^{-1} \text{d.s.})/240/(\text{mg MBC g}^{-1} \text{d.s.})$.

2.5.5 Frazionamento degli aggregati del suolo

In questo studio la stabilità degli aggregati è stata determinata mediante un frazionamento degli stessi eseguito con setacciatura ad umido di 100.0 g di suolo, di campioni precedentemente essiccati all'aria e setacciati a secco a $\phi < 4$ mm.

Tramite setacciatura ad umido sono state distinte le seguenti 6 classi dimensionali: ϕ 4-2, 2-1, 1-0.50, 0.50-0.25, 0.25-0.063 e <0.063 mm, grazie alle quali si è potuto verificare l'incidenza di macro- (ϕ 4-0.25 mm) e di micro-aggregati ($\phi < 0.25$ mm).

La percentuale di aggregati stabili in acqua (%WSA) è stata determinata secondo la metodologia descritta da Kemper e Rosenau (1986) come di seguito:

$$\%WSA = \left(\sum_{i=1}^n \frac{W_{i(a+s)} - W_{i(s)}}{W_t - \sum_{i=1}^n W_{i(s)}} \right) \times 100$$

dove:

- $W_{i(a+s)}$ is the dry weight of the particles on sieve i,
- $W_{i(s)}$ is the dry weight of sand or gravel on sieve i,
- W_t is the total dry weight of the soil (i.e. 100 g),
- n is the number of aggregate fractions (i.e. 6).

La media pesata dei diametri (MWD, mm) è stata determinata secondo la metodologia descritta da Kemper e Rosenau (1986) come di seguito:

$$MWD = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \bar{X}_i$$

dove:

- \bar{X}_i is the arithmetic mean of aggregates size on sieve i,
- w_i is the fraction of stable aggregates on sieve i, calculated using:

$$w_i = \frac{W_{i(a+s)} - W_{i(s)}}{\sum_{i=1}^n W_{i(a+s)} - \sum_{i=1}^n W_{i(s)}}$$

La media geometrica dei diametri (GMD, mm) è stata determinata secondo la metodologia descritta da Kemper e Rosenau (1986) come di seguito:

$$GMD = \exp\left(\sum_{i=1}^n w_i \log \bar{X}_i\right)$$

2.6 Analisi statistica

L'analisi della varianza (ANOVA) ($p=0,05$) è stata applicata per comparare tutte le diverse tesi oggetto di studio, in particolare l'analisi ha riguardato il confronto dei valori medi di umidità e di PR ottenuti in corrispondenza degli strati 0-50, 51-100, 101-150, 151-200, 201-250 e 251-300 mm. Il confronto fra le medie è stato fatto utilizzando test di Tukey.

Per quanto riguarda le analisi di laboratorio, i dati riportati sono la media aritmetica di tre campioni di campo, calcolati su suolo secco (105°C). Prima di eseguire l'analisi statistica parametrica, è stata verificata la distribuzione della varianza e l'omogeneità dei dati rispettivamente mediante l'impiego dei test di Kolmogorov-Smirnoff e di Levene. L'analisi statistica è stata eseguita tramite ANOVA a due vie utilizzando come fattori le **Tesi** (SM, vangatrice; CP, coltivatore; RT, zappatrice rotativa; NT, no tillage) e il **Tempo** (anno 2009, 2010, 2012, 2014).

Le differenze statisticamente significative, su tutte le variabili (lavorazione o tempo di campionamento) sono state stabilite dalla prova SHD Tukey per $P < 0,05$.

I valori di Fisher (F) sono stati usati per individuare il diverso grado di varianza nelle proprietà del suolo indagate, spiegate come fattori sperimentali singoli o interagenti. Le correlazioni lineari tra le proprietà del suolo sono state testate utilizzando il coefficiente di correlazione di Pearson (r).

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software STATGRAPHICS Centurion XV version 15.2.00.

3. RISULTATI E DISCUSSIONI

3.1 Resistenza alla penetrazione (PR) e umidità

Le figure 14 e 15 mostrano l'andamento della PR e dell'umidità prima dell'impiego delle diverse tecniche di gestione del suolo (T0)

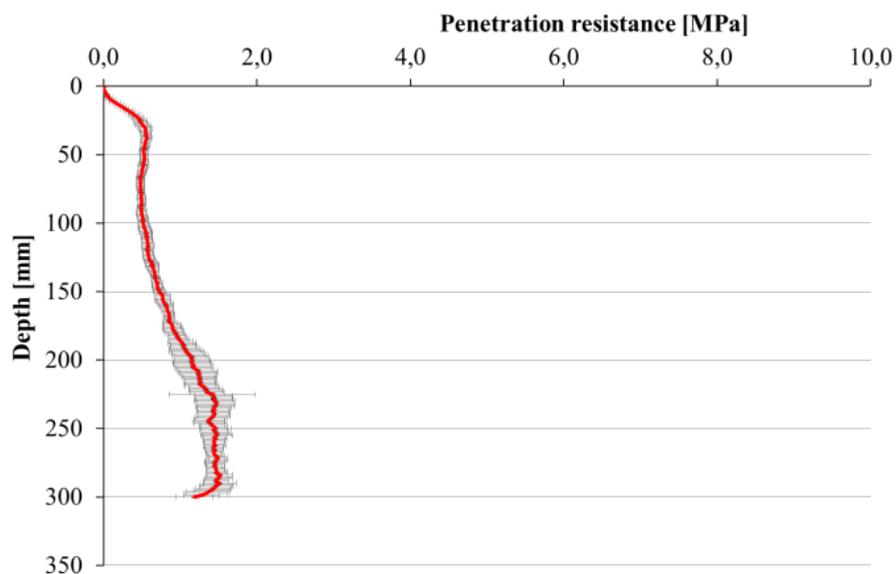


Figura 14 - Andamento della PR prima della lavorazione del terreno (T0). I valori riportati rappresentano la media \pm dev. st. delle repliche.

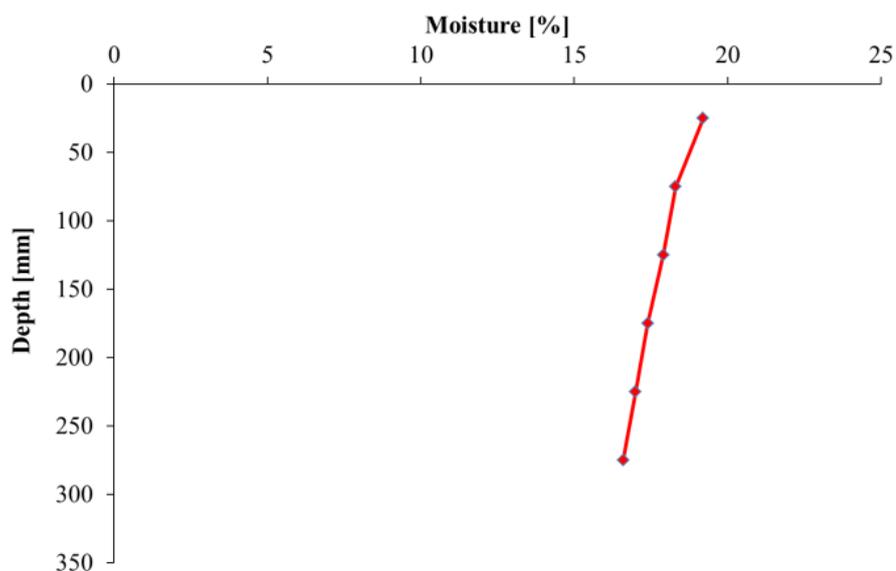


Figura 15 - Andamento dell'umidità prima della lavorazione del terreno (T0). I valori riportati rappresentano la media \pm dev. st. delle repliche.

Come si evince dalle figure 14 e 15, a T0, l'andamento dell'umidità decresce all'aumentare della profondità passando dal valore di $19.1 \pm 0.3\%$ fino al valore di $16.5 \pm 0.6\%$ con un decremento di circa del 13.6%.

Per ciò che concerne i rilievi penetrometrici, effettuati nello stesso periodo ed in analoghe condizioni, la PR mostra un andamento crescente all'aumentare della profondità fino al raggiungimento del valore medio massimo di $1.5 \pm 0.16 \text{MPa}$.

Dall'osservazione di entrambi gli andamenti è possibile dedurre che vi è una correlazione tra l'umidità del suolo e la forza di penetrazione in quanto, come si può osservare dalla stessa figura, al ridursi dell'umidità vi è un incremento di PR.

Le figure 16 e 17 mostrano i risultati dei rilievi penetrometrici e delle analisi dell'umidità eseguiti a T1, ovvero in seguito alle prime lavorazioni.

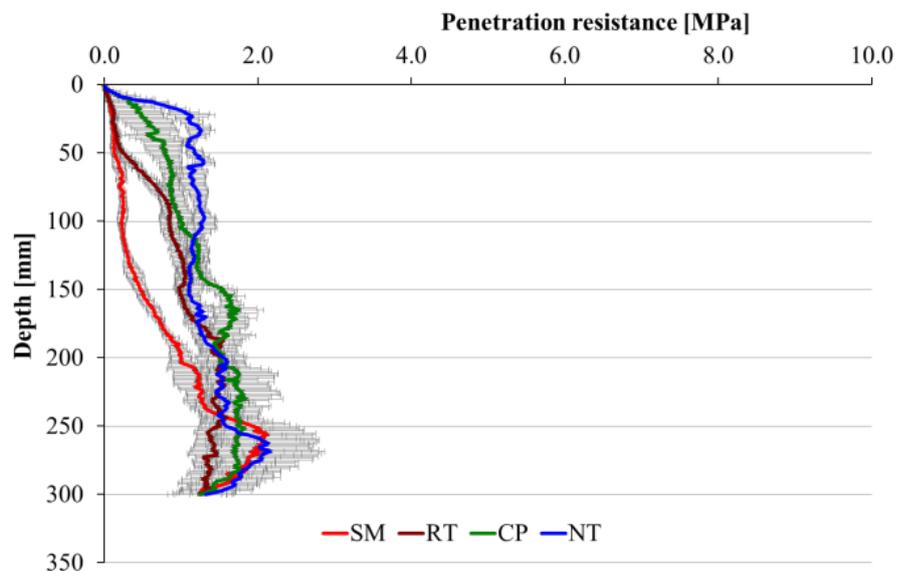


Figura 16 - Andamento della PR a T1. I valori riportati rappresentano la media \pm dev. st. delle repliche.

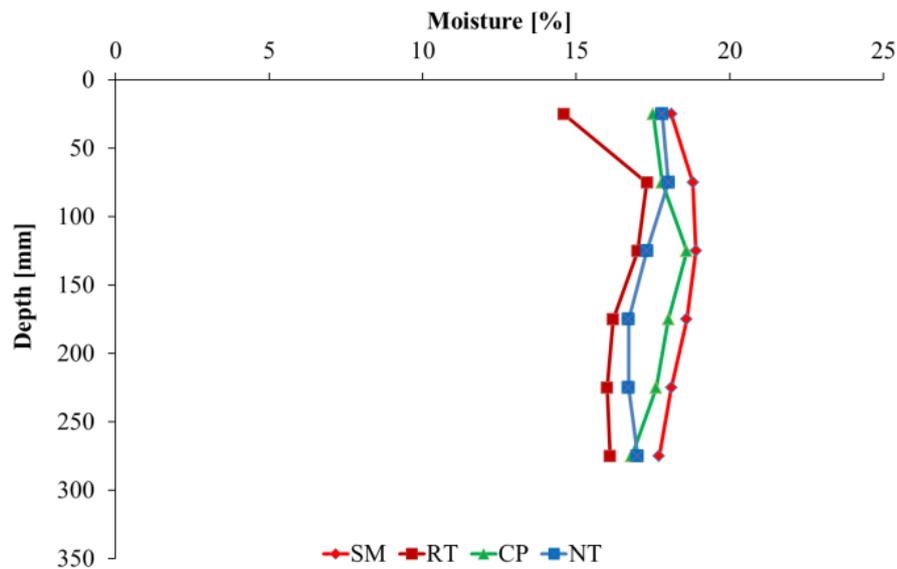


Figura 17 - Andamento dell'umidità a T1. I valori riportati rappresentano la media \pm dev. st. delle repliche.

Dalle figure 16 e 17 si evince che l'andamento dell'umidità, nello strato di suolo interessato dal rilievo mostra una variabilità riconducibile al tipo di tecnica impiegata.

Nello strato di suolo maggiormente interessato dalle lavorazioni (0-150 mm), la tesi che ha mostrato una maggiore capacità di ritenzione idrica è stata la tesi SM, con un valore massimo del 18,9% nello strato di suolo compreso tra 100 e 150 mm. La tesi CP ha raggiunto un valore massimo del 18,6% nello strato di suolo compreso tra 100 e 150 mm, cui seguono le tesi NT e RT, rispettivamente con le percentuali del 18 e 17,3% nello strato di suolo compreso tra 50 e 100 mm.

I valori di PR inferiori si riscontrano nella tesi SM, seguono i valori delle tesi RT e CP ed infine quelli della tesi NT.

Fino alla profondità di 150 mm si nota che, nella tesi SM, i valori medi di PR registrati presentano differenze statisticamente significative rispetto a quelli registrati alle stesse profondità dalle altre tesi.

In particolare si nota che tali differenze si hanno per uno strato pari al 50% di quello interamente lavorato. Alla profondità di 75 mm, i valori medi ottenuti dalla SM sono inferiori di circa il 62% di quelli della RT, il 74% di quelli della CP e

l'80% di quelli della NT; alla profondità di 150 mm i valori medi ottenuti dalla tesi SM sono inferiori di circa il 52% della RT, il 70% della CP e il 58% della NT.

Nelle figure 18 e 19 si riportano la resistenza alla penetrazione (PR) delle quattro tesi, rilevate fino alla profondità di 300 mm, dopo l'esecuzione delle lavorazioni del terreno a T2.

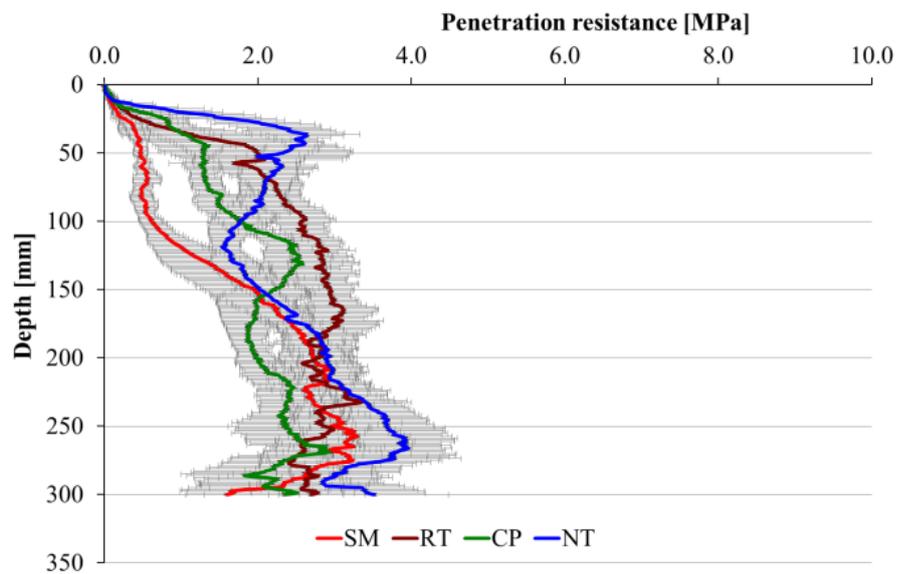


Figura 18 - Andamento della PR a T2. I valori riportati rappresentano la media \pm dev. st. delle repliche.

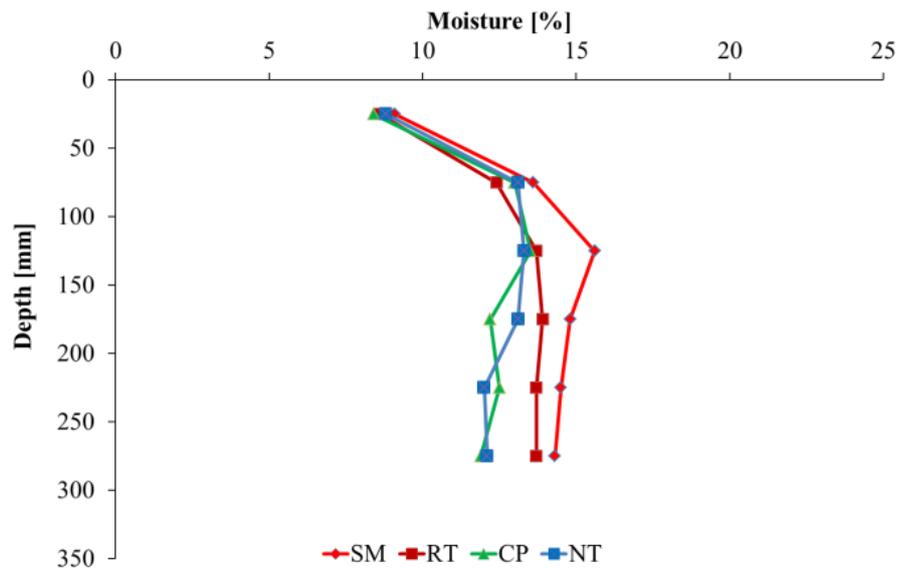


Figura 19 - Andamento dell'umidità a T2. I valori riportati rappresentano la media \pm dev. st. delle repliche.

Dalle figure 18 e 19 si nota che, in tutte le tesi, si registra una diminuzione percentuale di umidità nel suolo. In particolare, nello strato di suolo maggiormente interessato dalle lavorazioni (0-150 mm), si può osservare che la tesi SM raggiunge il valore massimo del 15,6%, confermando una maggiore capacità di ritenzione idrica rispetto le altre tesi. Segue la tesi RT con il 13,7%, e le tesi CP e NT rispettivamente con il 13,5 e il 13,3%.

Per ciò che concerne la PR, la tesi SM registra valori medi inferiori statisticamente significativi, rispetto ai valori medi di tutte le altre tesi nello strato di terreno compreso fra i 50 ed i 110 mm, pari al 40% della fascia lavorata (0-150 mm).

In particolare si nota che alla profondità di 50 mm, i valori medi ottenuti dalla SM sono inferiori di circa il 77% di quelli della RT, il 64% di quelli della CP e l'80% di quelli della NT; alla profondità di 100 mm i valori medi ottenuti dalla tesi SM sono inferiori di circa il 76% di quelli della RT, il 66% di quelli della CP e il 65% di quelli della NT. Infine dal confronto fra i valori medi di PR registrati dalle tesi RT, CP e NT non vi sono, fra loro, differenze statisticamente significative.

La figura 7 mostra i risultati dei rilievi penetrometrici e delle analisi dell'umidità eseguiti a T3.

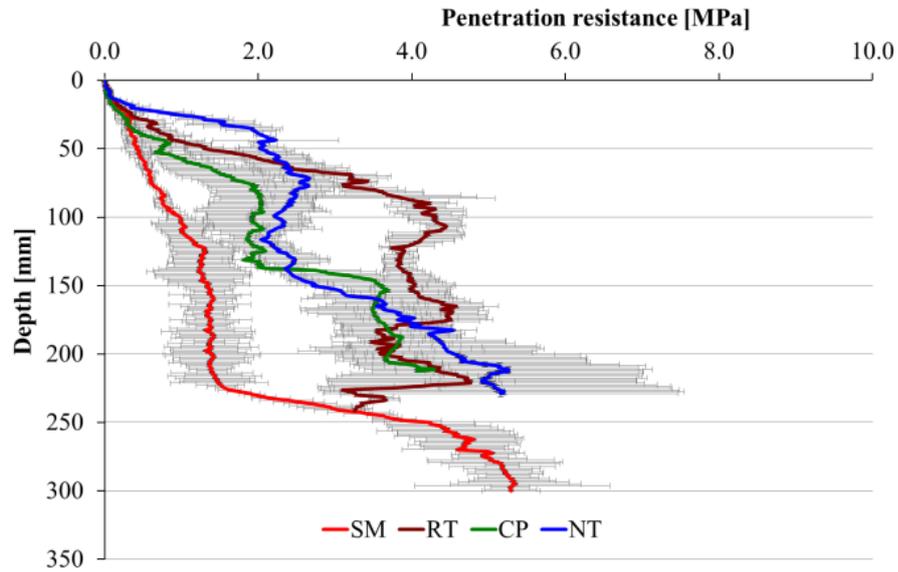


Figura 20 - Andamento della PR a T3. I valori riportati rappresentano la media \pm dev. st. delle repliche.

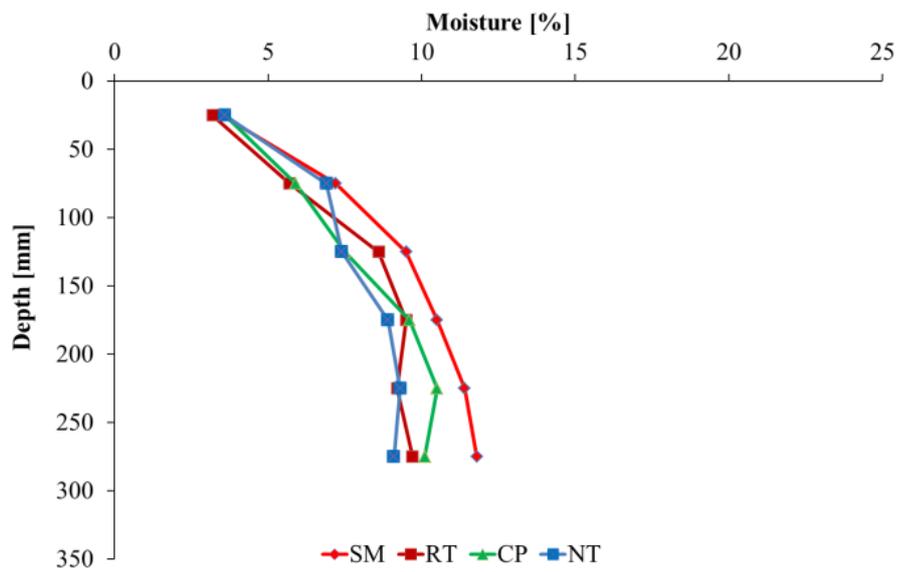


Figura 21 - Andamento dell'umidità a T3. I valori riportati rappresentano la media \pm dev. st. delle repliche.

Dalle figure 20 e 21 si nota che, a T3, la tesi SM continua a mostrare una migliore capacità di ritenzione idrica con significative differenze rispetto le altre tesi.

In particolare, nello strato di suolo maggiormente interessato dalle lavorazioni (0-150 mm), si può osservare che la tesi SM raggiunge il valore massimo del 9,6%, confermando una maggiore capacità di ritenzione idrica rispetto le altre tesi. Segue la tesi RT con l'8,6%, e le tesi CP e NT rispettivamente con il 7,5 e il 7,4%.

Dalla stessa figura si evince, inoltre, che i valori di PR inferiori si riscontrano nella tesi SM, l'unica tesi in cui è stato possibile il raggiungimento della profondità di 300 mm; in tutte le altre tesi i valori di PR ottenuti hanno superato il limite massimo della cella di carico impedendo il raggiungimento della profondità prefissata.

Nella fascia di suolo interessata dalle lavorazioni, la tesi SM ha mostrato valori di PR inferiori rispetto ai valori medi di tutte le altre tesi nello strato di terreno compreso fra i 60 ed i 150 mm, pari al 60% della fascia lavorata (0-150 mm).

In particolare si nota che alla profondità di 75 mm, i valori medi ottenuti dalla SM sono inferiori di circa l'81,5% di quelli della RT, del 67,8% di quelli della CP e del 76,5% di quelli della NT. È opportuno notare che nella fascia lavorata la tesi RT ha raggiunto il picco massimo di circa 4,4 MPa alla profondità di 110 mm, superando di circa 4 volte il valore della tesi SM e di circa 2 volte i valori delle tesi CP e NT.

Infine dal confronto dei valori medi di PR registrati dalle tesi CP e NT non vi sono, fra loro, differenze statisticamente significative.

Nella tabella 4 si riportano, per ogni tesi, i dati di PR rilevati in tutte le epoche di rilievo alle profondità di 50, 100, 150, 200, 250 e 300 mm.

Tab. 4 - Andamento della PR delle quattro tesi a confronto, nei tempi T1, T2, T3, T4 e T5. SM: Vangatrice; RT: Zappatrice Rotativa; CP: Coltivatore Pesante; NT: No Tillage

Tesi	Prof. [mm]	T0	T1	T2	T3
SM	0-50	0.36±0.21 c	0.09±0.04 a	0.25±0.18 b	0.23±0.15 b
	51-100	0.50±0.02 b	0.22±0.03 a	0.53±0.04 b	0.66±0.15 c
	101-150	0.62±0.06 b	0.32±0.08 a	1.22±0.40 c	1.19±0.12c
	151-200	0.92±0.12 b	0.75±0.17 a	2.40±0.25 d	1.37±0.03 c
	201-250	1.34±0.10 a	1.32±0.22 a	2.83±0.13 c	2.14±0.90 b
	251-300	1.44±0.06 a	1.81±0.25 b	2.79±0.49 c	4.94±0.33 d
RT	0-50	0.36±0.21 bc	0.11±0.06 a	0.71±0.68 d	0.45±0.39 c
	51-100	0.50±0.02 a	0.64±0.20 a	2.23±0.23 b	3.18±0.87 c
	101-150	0.62±0.06 a	0.97±0.07 b	2.79±0.12 c	4.04±0.20 d
	151-200	0.92±0.12 a	1.25±0.19 b	2.92±0.13 c	4.01±0.36 d
	201-250	1.34±0.10 a	1.50±0.04 b	2.89±0.19 c	-
	251-300	1.44±0.06 b	1.36±0.05 a	2.65±0.15 c	-
CP	0-50	0.36±0.21 ab	0.48±0.25 bc	0.66±0.48 c	0.28±0.27 ab
	51-100	0.50±0.02 a	0.88±0.05 b	1.43±0.15 c	1.64±0.44 c
	101-150	0.62±0.06 a	1.21±0.12 b	2.32±0.21 c	2.28±0.59 c
	151-200	0.92±0.12 a	1.58±0.08 b	1.95±0.07 c	3.65±0.12 d
	201-250	1.34±0.10 a	1.71±0.08 b	2.30±0.13 c	-
	251-300	1.44±0.06 a	1.65±0.15 b	2.38±0.26 c	-
NT	0-50	0.36±0.21 a	0.85±0.44 ab	1.41±1.05 c	1.01±0.86 bc
	51-100	0.50±0.02 a	1.21±0.06 b	2.07±0.14 c	2.40±0.15 d
	101-150	0.62±0.06 a	1.15±0.05 b	1.73±0.13 c	2.34±0.17 d
	151-200	0.92±0.12 a	1.27±0.12 b	2.57±0.27 c	3.91±0.49 d
	201-250	1.34±0.10 a	1.54±0.04 b	3.25±0.29 c	-
	251-300	1.44±0.06 a	1.85±0.21 b	3.48±0.38 c	-

I dati riportati rappresentano la media±deviazione standard dei valori medi rilevati negli strati di suolo 0-50, 51-100, 101-150, 151-200, 201-250 e 251-300 mm. (-) indica l'assenza del valore a causa del superamento del limite massimo della cella di carico (5.0 MPa).

Nella tabella 5 si riportano, per ogni tesi, i dati di umidità rilevati in tutte le epoche di rilievo alle profondità di 50, 100, 150, 200, 250 e 300 mm.

Tab. 5 - Andamento percentuale dell'umidità nelle quattro tesi a confronto, nei tempi T1, T2, T3, T4 e T5. SM: Vangatrice; RT: Zappatrice Rotativa; CP: Coltivatore Pesante; NT: No Tillage

Tesi	Prof. [mm]	T0	T1	T2	T3
SM	0-50	19.2 ± 0.3 c	18.1 ± 0.6 c	9.1 ± 0.3 b	3.5 ± 0.2 a
	51-100	18.3 ± 0.7 c	18.8 ± 0.6 c	13.6 ± 0.4 b	7.2 ± 0.2 a
	101-150	17.9 ± 0.3 c	18.9 ± 0.4 d	15.6 ± 0.5 b	9.5 ± 0.3 a
	151-200	17.4 ± 0.6 c	18.6 ± 0.2 d	14.8 ± 0.4 b	10.5 ± 0.5 a
	201-250	17.0 ± 0.1 c	18.1 ± 0.3 d	14.5 ± 0.4 b	11.4 ± 0.4 a
	251-300	16.6 ± 0.7 c	17.7 ± 0.3 d	14.3 ± 0.1 b	11.8 ± 0.3 a
RT	0-50	19.2 ± 0.3 d	14.6 ± 0.4 c	8.6 ± 0.4 b	3.2 ± 0.4 a
	51-100	18.3 ± 0.7 c	17.3 ± 0.6 c	12.4 ± 0.5 b	5.7 ± 0.3 a
	101-150	17.9 ± 0.3 c	17.0 ± 0.1 c	13.7 ± 0.8 b	8.6 ± 0.5 a
	151-200	17.4 ± 0.6 c	16.2 ± 0.5 c	13.9 ± 0.8 b	9.5 ± 0.0 a
	201-250	17.0 ± 0.1 c	16.0 ± 0.1 c	13.7 ± 0.7 b	9.2 ± 0.6 a
	251-300	16.6 ± 0.7 c	16.1 ± 0.1 c	13.7 ± 0.4 b	9.7 ± 0.7 a
CP	0-50	19.2 ± 0.3 d	17.5 ± 0.7 c	8.4 ± 0.8 b	3.6 ± 0.9 a
	51-100	18.3 ± 0.7 c	17.8 ± 0.3 c	13.0 ± 0.3 b	5.9 ± 0.5 a
	101-150	17.9 ± 0.3 c	18.6 ± 0.5 c	13.5 ± 0.5 b	7.5 ± 0.8 a
	151-200	17.4 ± 0.6 c	18.0 ± 0.4 c	12.2 ± 0.5 b	9.6 ± 0.3 a
	201-250	17.0 ± 0.1 c	17.6 ± 0.2 c	12.5 ± 0.5 b	10.5 ± 0.7 a
	251-300	16.6 ± 0.7 c	16.8 ± 0.3 c	11.9 ± 0.4 b	10.1 ± 0.6 a
NT	0-50	19.2 ± 0.3 d	17.8 ± 0.5 c	8.8 ± 0.3 b	3.6 ± 0.7 a
	51-100	18.3 ± 0.7 c	18.0 ± 0.9 c	13.1 ± 0.6 b	6.9 ± 0.7 a
	101-150	17.9 ± 0.3 c	17.3 ± 0.7 c	13.3 ± 0.7 b	7.4 ± 0.5 a
	151-200	17.4 ± 0.6 c	16.7 ± 0.6 c	13.1 ± 0.5 b	8.9 ± 0.4 a
	201-250	17.0 ± 0.1 c	16.7 ± 0.6 c	12.0 ± 0.1 b	9.3 ± 0.2 a
	251-300	16.6 ± 0.7 c	17.0 ± 0.8 c	12.1 ± 0.3 b	9.1 ± 0.3 a

I dati riportati rappresentano la media±deviazione standard dei valori medi di umidità rilevati negli strati di suolo 0-50, 51-100, 101-150, 151-200, 201-250 e 251-300 mm.

Dal confronto fra i valori medi della PR registrati in tutti i rilievi si evince che la tesi che subisce il maggiore incremento è la tesi RT. I valori medi, infatti, hanno un incremento con differenze statisticamente significative. La tesi SM ha registrato valori medi di PR, con differenze statisticamente significative, in tutti i tempi esaminati, solo al superamento di 130 mm di profondità, con un valore medio di 1 MPa. Nelle tesi CP e NT, si registrano incrementi di PR meno evidenti rispetto alle altre tesi.

I valori di PR registrati sono conformi a quelli ottenuti da numerosi autori riscontrati in letteratura. In particolare nello studio condotto da Budiman Minasny (2012), i valori di PR registrati fino alla profondità di 30 cm si sono attestati su circa 2 MPa. Nello studio condotto da Irma Vásquez García *et al.* (2011), i valori

di PR ottenuti a 15 cm di profondità sono di circa 1 MPa. Nello studio di Van den Putte A. *et al.* (2012) l'effetto delle "conservation tillage" ha fatto riscontrare valori alla profondità di 30 cm valori di circa 2 MPa. Altri studi (Domsch H. *et al.*, 2006) hanno riscontrato valori di circa 3 MPa a 30 cm di profondità.

3.2 Analisi di laboratorio

Le figure 22 e 23 mostrano i risultati della determinazione della densità apparente nello strato di suolo 0-15 e 15-30 cm. In particolare nella figura 22 si può osservare che nello strato 0-15 cm, il valore di densità apparente avuto all'inizio della sperimentazione è stato di circa $13,4 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$; tuttavia a fine sperimentazione i valori rilevati nelle tesi SM e NT sono stati rispettivamente $1,25$ e $1,20 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$, invece, nello stesso periodo i valori ottenuti nelle tesi CP e RT sono stati rispettivamente di $1,35$ e $1,32 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$.

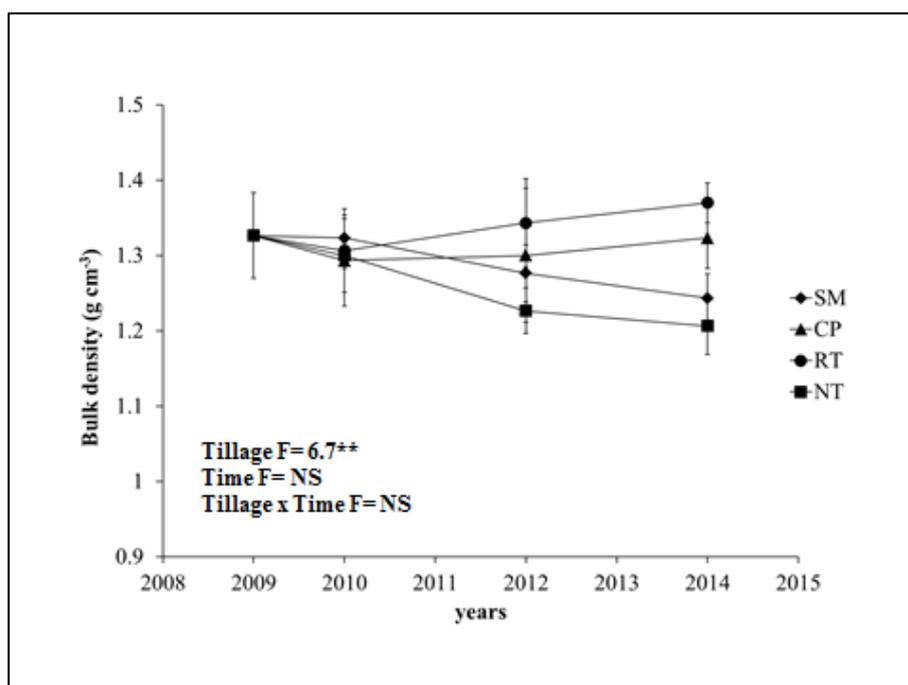


Figura 22 - Andamento della densità apparente nello strato 0-15 cm

Dalla figura 23 si può notare che, nello strato 15-30 cm, dal valore iniziale di $1,35$, a fine sperimentazione, le tesi SM e NT hanno raggiunto valori di densità apparente rispettivamente di $1,26$ e $1,24 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$; invece i valori di ottenuti nelle tesi CP e RT sono stati $1,32$ e $1,38 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$.

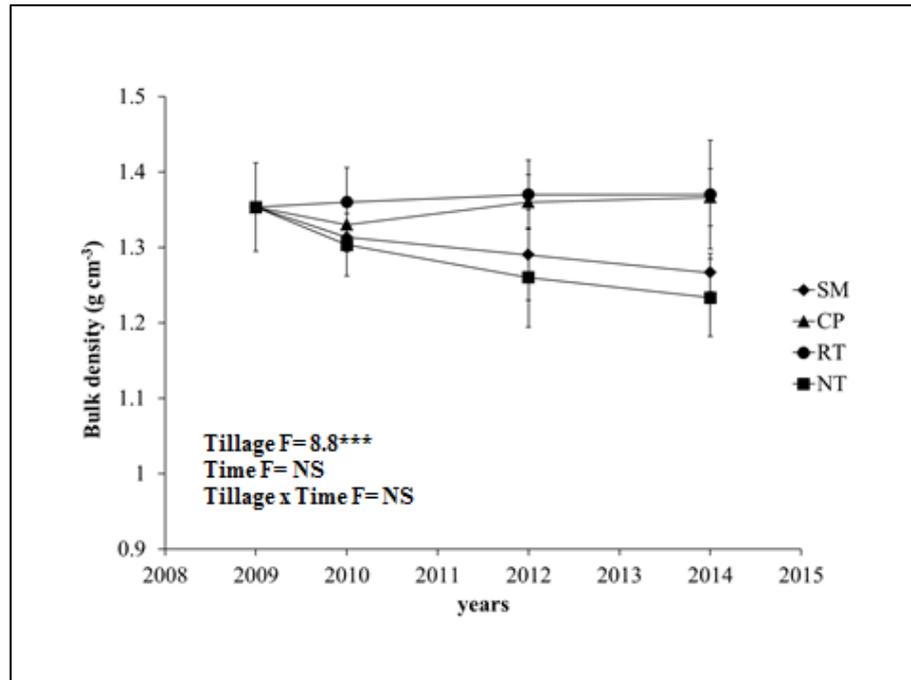


Figura 23 - Andamento della densità apparente nello strato 15-30cm

Per quanto riguarda il contenuto di C organico totale (TOC), il valore ottenuto nello strato di suolo 0-15 cm (Fig. 24), ad inizio prova è stato di circa 15 g kg^{-1} ; rispetto al valore iniziale nella tesi RT il quantitativo di TOC a fine sperimentazione è stato di $14,9 \text{ g kg}^{-1}$; nelle tesi CP, SM e NT, i valori di TOC sono stati rispettivamente di $15,5$, $15,6$ e $15,7 \text{ g kg}^{-1}$. Andamento analogo si è verificato inoltre nello strato di suolo 15-30 cm, nel quale i valori di TOC sono aumentati da $11,1 \text{ g kg}^{-1}$ a $12,6$, $13,5$ e $14,1 \text{ g kg}^{-1}$ rispettivamente nelle tesi CP, NT e SM (Fig. 25).

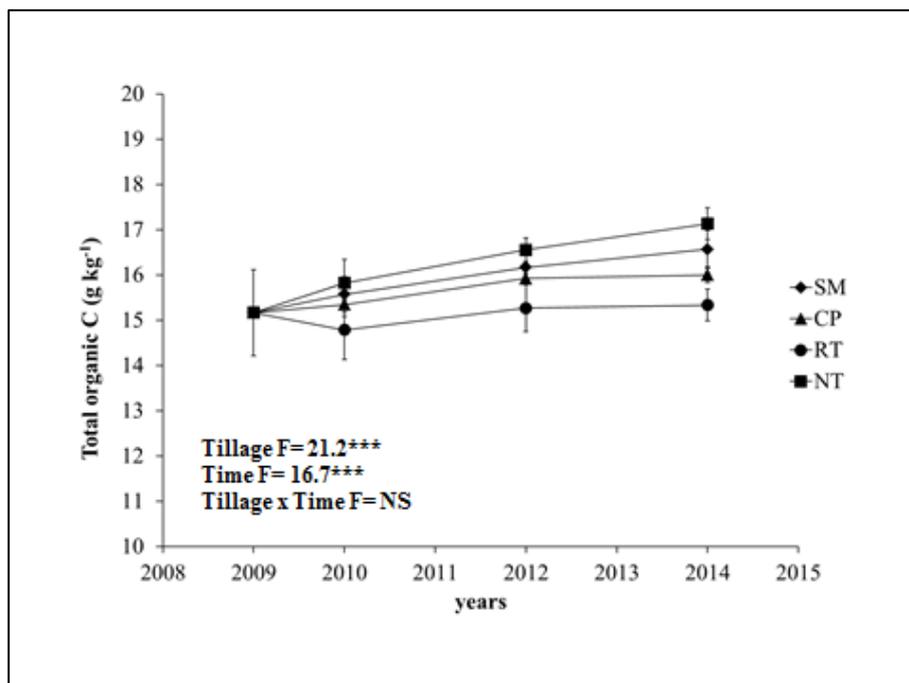


Figura 24 – Andamento del carbonio organico totale nello strato 0-15cm

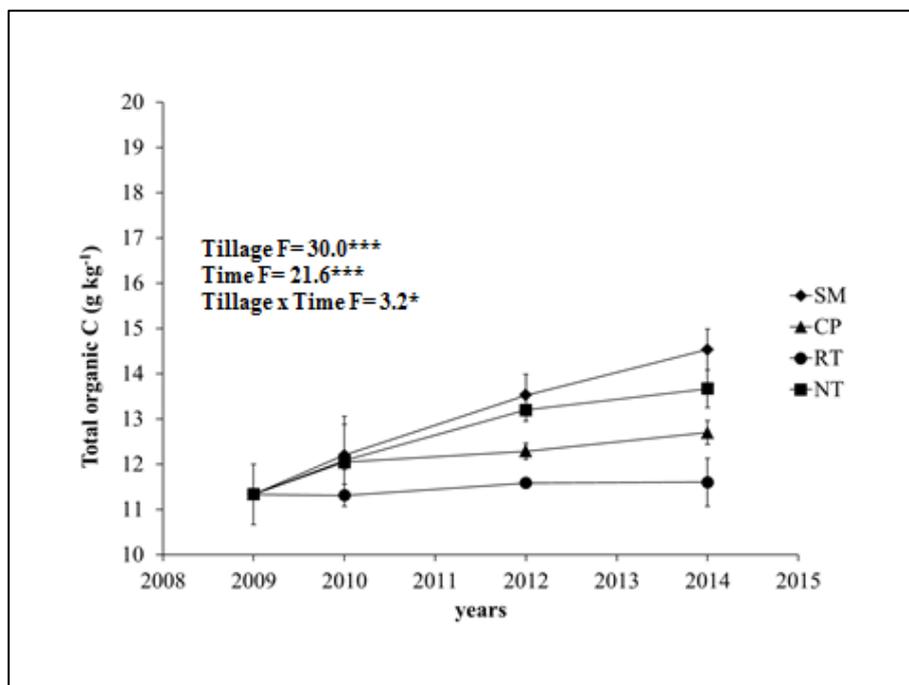


Figura 25 – Andamento del carbonio organico totale nello strato 15-30cm

Il carbonio organico estraibile (EOC), nello strato di suolo 0-15 cm (fig. 26), è stato influenzato dalle Tesi ($F=102.2^{**}$). Confrontato al contenuto iniziale (70 mg kg^{-1}), a fine sperimentazione, il valore della tesi NT è stato di circa 130 mg kg^{-1} , quello della tesi SM è stato 105 mg kg^{-1} e infine il valore della tesi CP è stato $97,5 \text{ mg kg}^{-1}$; nel corso della sperimentazione dal confronto dei valori di EOC della tesi RT registrati nelle diverse epoche non hanno avuto differenze statisticamente significative.

Inoltre il carbonio organico estraibile (EOC) è stato influenzato sia dalle Tesi sia dall'azione del tempo, ed il suo aumento si è verificato soprattutto dopo il primo anno di sperimentazione.

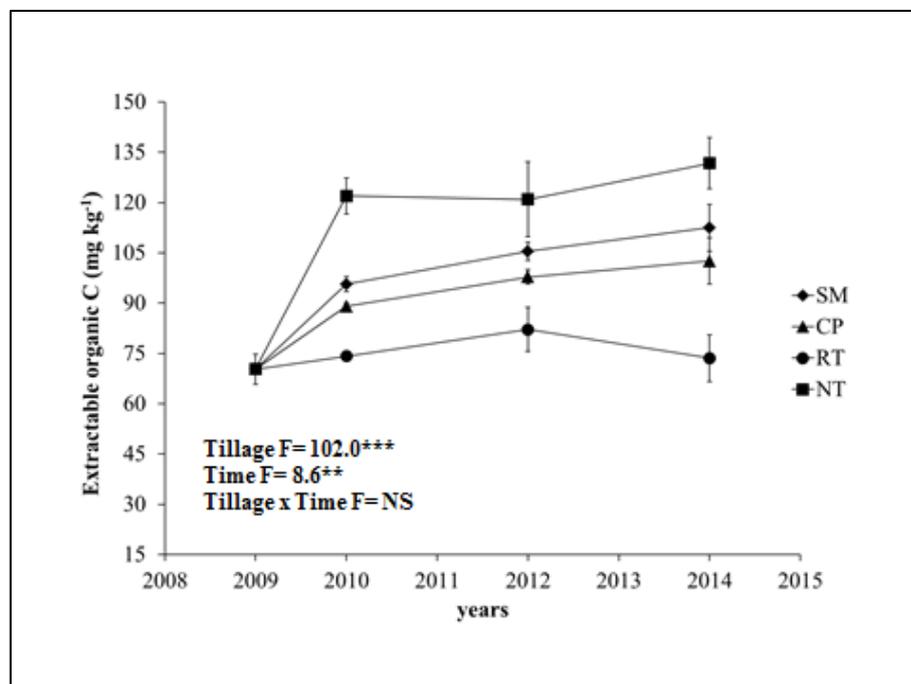


Figura 26 - Andamento del carbonio organico estraibile nello strato 0-15cm

Nello strato 15-30 cm, i valori di EOC, registrati nelle diverse epoche, sono stati inferiori rispetto a quelli registrati dalle stesse tesi nello strato 0-15 cm; il valore più elevato di EOC si è avuto nella tesi NT dove dal valore iniziale di circa $22,5 \text{ mg kg}^{-1}$ si è passati a fine sperimentazione al valore di circa 45 mg kg^{-1} .

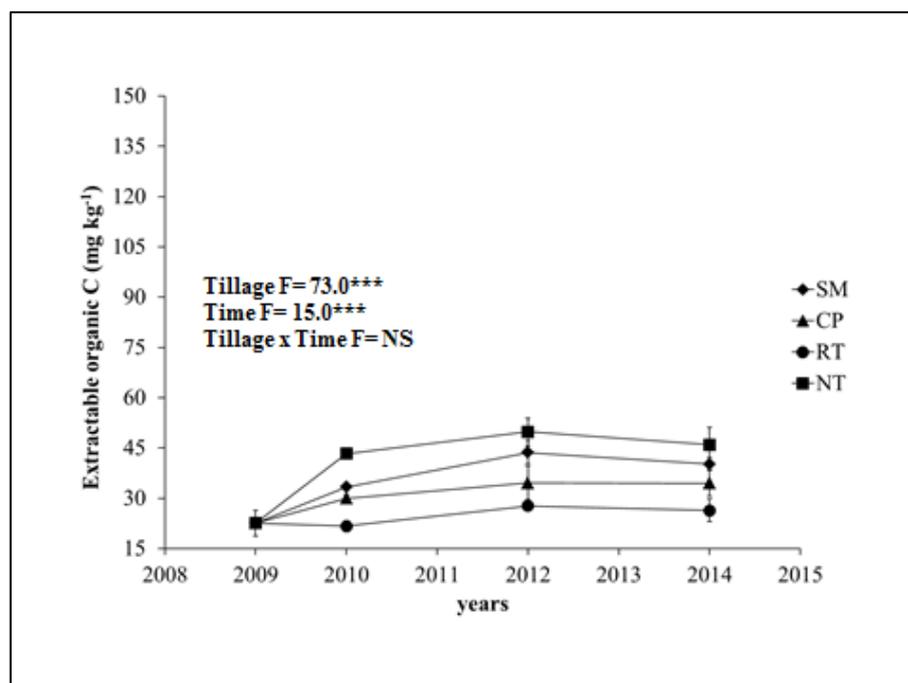


Figura 27 - Andamento del carbonio organico estraibile nello strato 15-30 cm

Il contenuto in carbonio della biomassa microbica (MBC) presente nello strato 0-15 nel corso degli anni oggetto della ricerca, è stato influenzato principalmente dalla tipologia di Tesi e marginalmente dal Tempo e dall'interazione Tesi×Tempo (fig 28). Anche in questo caso, l'incremento maggiore si è verificato nella tesi NT, nella quale, dal valore iniziale di circa 210 mg kg⁻¹, si è passati al valore di circa 360 mg kg⁻¹, seguita dalla tesi SM (280 mg kg⁻¹). I valori della tesi CP, ottenuti a fine sperimentazione, non hanno mostrato differenze statisticamente significative rispetto al corrispettivo valore iniziale. Nella tesi RT invece, a fine sperimentazione, si è avuta una riduzione del valore raggiunto (140 mg kg⁻¹) rispetto al valore iniziale di circa 210 mg kg⁻¹.

Nello strato 15-30 cm (fig. 29), i valori delle tesi NT e SM non hanno mostrato differenze statisticamente significative, fra loro, raggiungendo, entrambi, il valore medio di circa 220 mg kg⁻¹. Analogamente nello strato 0-15 cm, i valori della tesi RT, rispetto al valore iniziale, sono diminuiti raggiungendo la soglia degli 80 mg kg⁻¹.

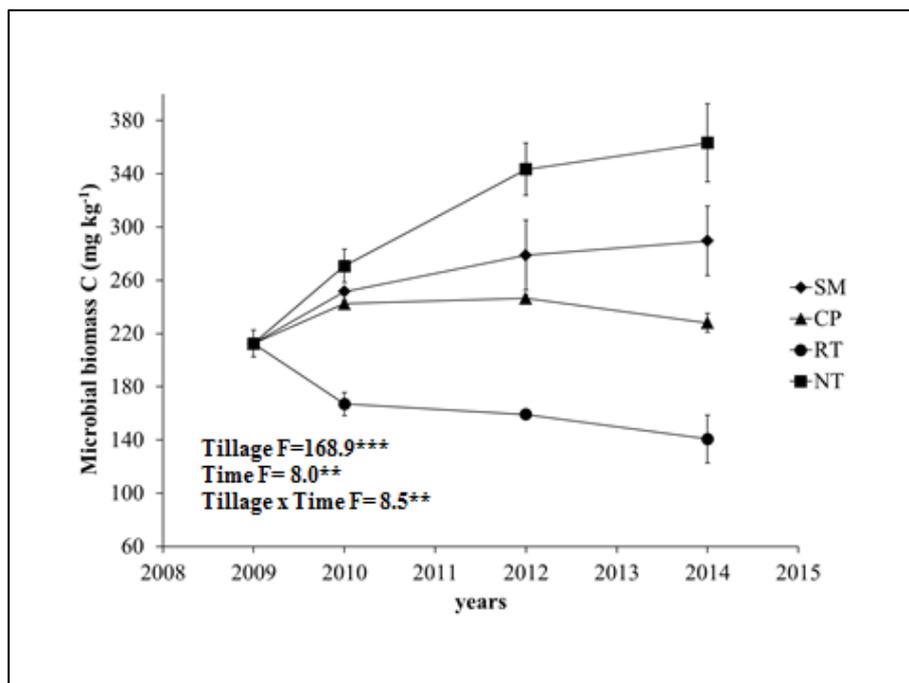


Figura 28 - Andamento del carbonio della biomassa microbica (MBC) nello strato 0-15 cm

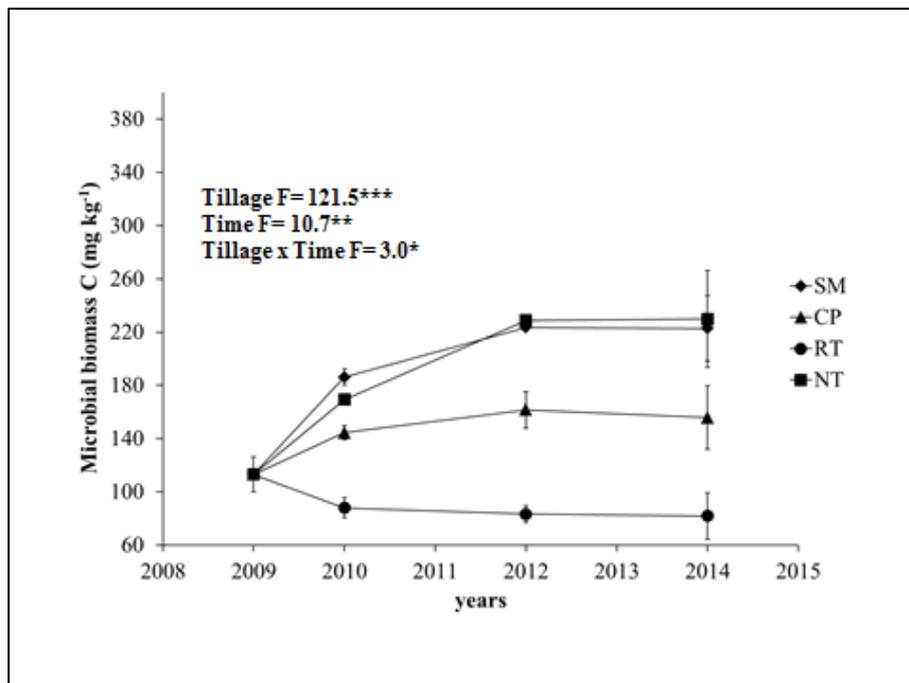


Figura 29 - Andamento del carbonio della biomassa microbica (MBC) nello strato 15-30 cm

Per quanto riguarda il carbonio mineralizzato, nello strato 0-15 cm, i valori registrati da tutte le tesi impiegate negli anni di sperimentazione, non mostrano, fra loro, differenze statisticamente significative (fig. 30). Nello strato 15-30 cm, invece, dal confronto dei valori registrati nelle diverse tesi, si notano differenze statisticamente significative ($P < 0.05$) fra le tesi RT e NT (fig. 31).

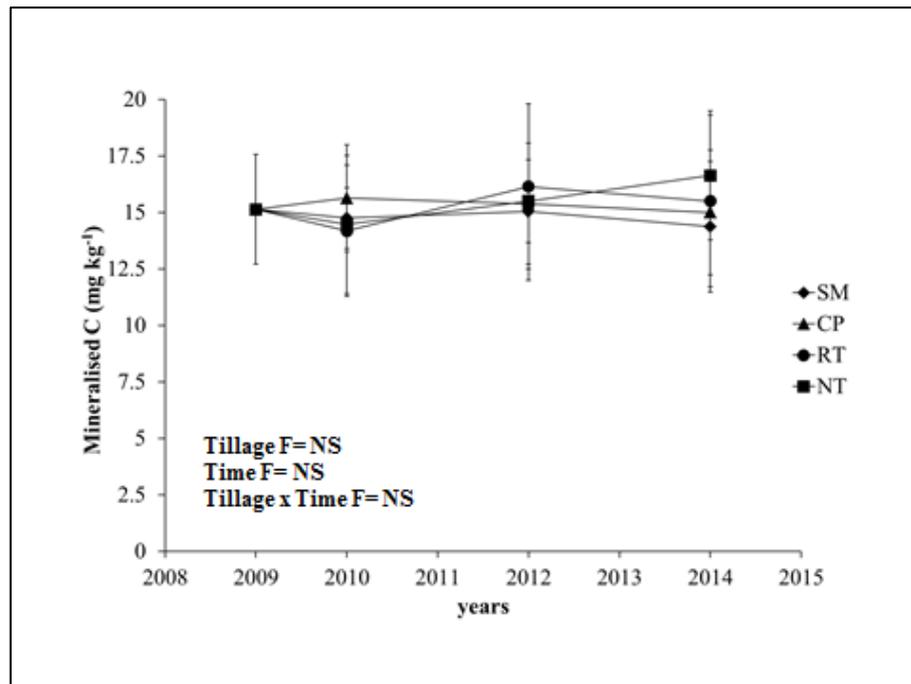


Figura 30 - Andamento del carbonio mineralizzabile nello strato 0-15 cm

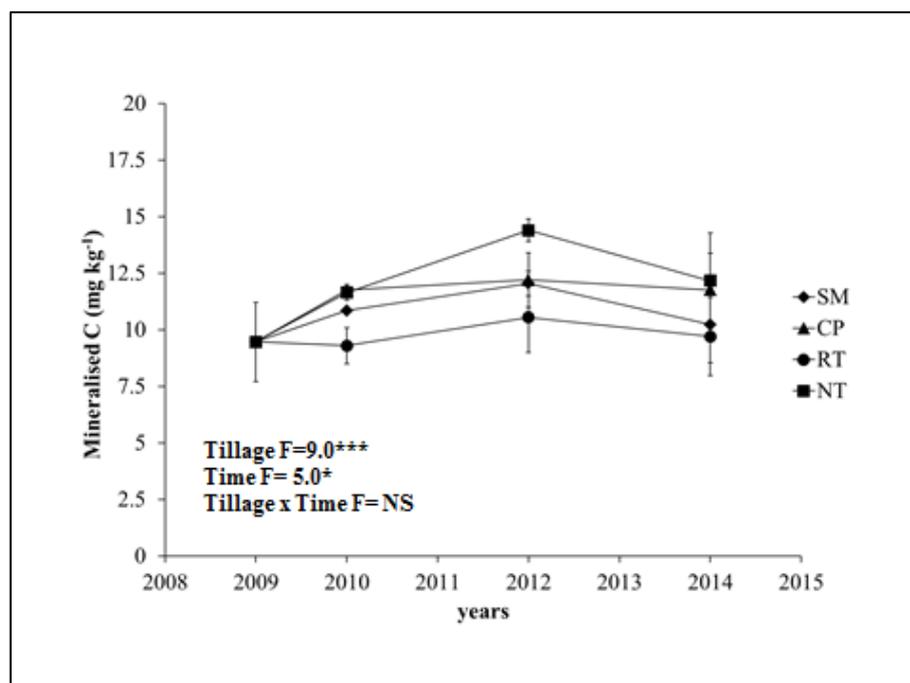


Figura 31 - Andamento del carbonio mineralizzabile nello strato 15-30 cm

Il quoziente microbico è stato influenzato dalla Tesi ($F=152,7^{***}$) e dall'interazione Tesi \times Tempo ($F=7.1^{***}$). Esso è infatti diminuito secondo il seguente ordine: NT > SM > CP > RT.

Nello strato 0-15 cm, dal confronto fra la percentuale del quoziente microbico registrata all'inizio della sperimentazione (1,4%) e la percentuale dello stesso ottenuta alla fine della sperimentazione si nota una riduzione nella tesi RT (0,9%), e un incremento nelle tesi NT e SM, con valori percentuali rispettivamente di 2,1 e 1,7 (fig. 32).

Nello strato di suolo 15-30 cm, i valori percentuali del quoziente microbico hanno registrato, in tutte le tesi, un andamento simile a quelli ottenuti nello strato 0-15 cm. In particolare si notano a fine sperimentazione valori pari a 0,7% nella tesi RT, 1,2% nella tesi CP, e 1,6% circa nelle tesi SM e NT, rispetto al valore iniziale dell'1% uguale per tutte le tesi (fig. 33).

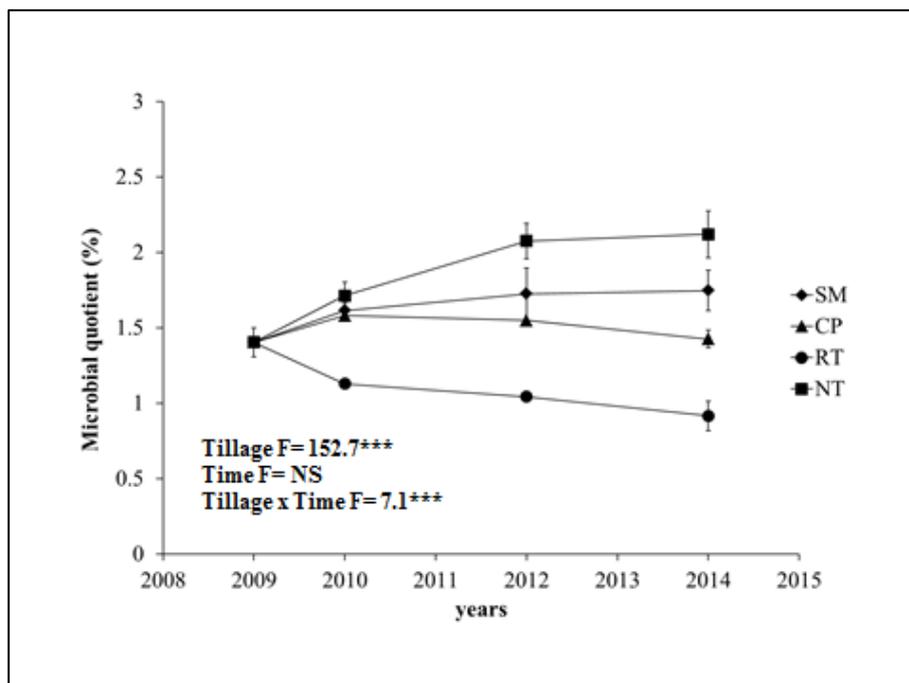


Figura 32 - Andamento del quoziente microbico nello strato 0-15 cm

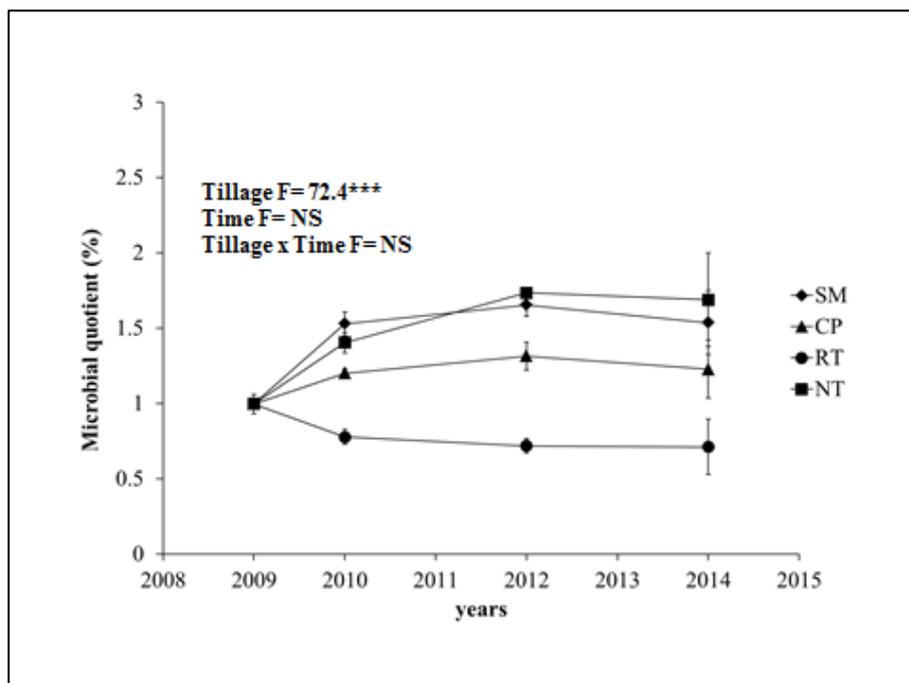


Figura 33 - Andamento del quoziente microbico nello strato 15-30 cm

Il quoziente metabolico sia nello strato 0-15 cm (fig. 34) che nello strato 15-30 cm (fig. 35) è stato influenzato solo dalle tesi impiegate, mostrandosi più elevato nella tesi RT.

In particolare nello strato 0-15 cm, tale parametro, dall'inizio della ricerca, con un valore di $3 \text{ mg CO}_2\cdot\text{C g}^{-1} \text{ MBC}\cdot\text{h}^{-1}$, alla fine della sperimentazione ha registrato un incremento solo nella tesi RT ($4,5 \text{ mg CO}_2\cdot\text{C g}^{-1} \text{ MBC}\cdot\text{h}^{-1}$). Nelle tesi SM e NT i valori si sono ridotti, raggiungendo circa $2 \text{ mg CO}_2\cdot\text{C g}^{-1}\cdot\text{MBC}\cdot\text{h}^{-1}$, mentre nella tesi CP il valore registrato risulta simile a quello iniziale.

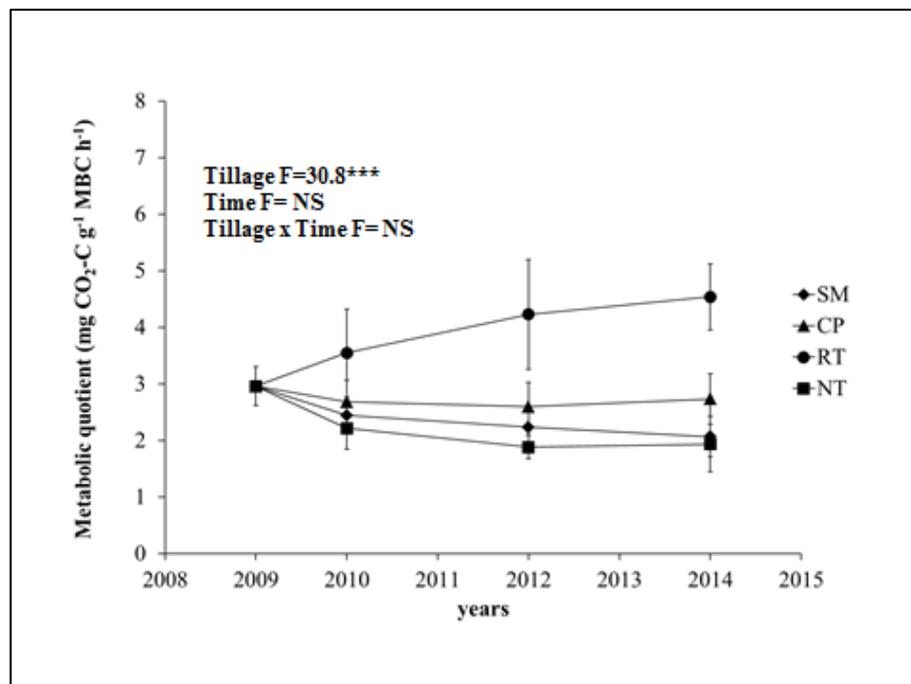


Figura 34 - Andamento del quoziente metabolico nello strato 0-15 cm

Nello strato 15-30 cm (fig. 35), dal valore iniziale di $3,5 \text{ mg CO}_2\cdot\text{C g}^{-1}\cdot\text{MBC}\cdot\text{h}^{-1}$, la tesi RT ha raggiunto il valore medio di circa $5 \text{ mg CO}_2\cdot\text{C g}^{-1}\cdot\text{MBC}\cdot\text{h}^{-1}$, in tutte le altre tesi, invece, i valori si sono ridotti, raggiungendo i valori medi di circa $2 \text{ mg CO}_2\cdot\text{C g}^{-1}\cdot\text{MBC}\cdot\text{h}^{-1}$ nelle tesi SM e NT e di circa $3 \text{ mg CO}_2\cdot\text{C g}^{-1}\cdot\text{MBC}\cdot\text{h}^{-1}$ nella tesi CP.

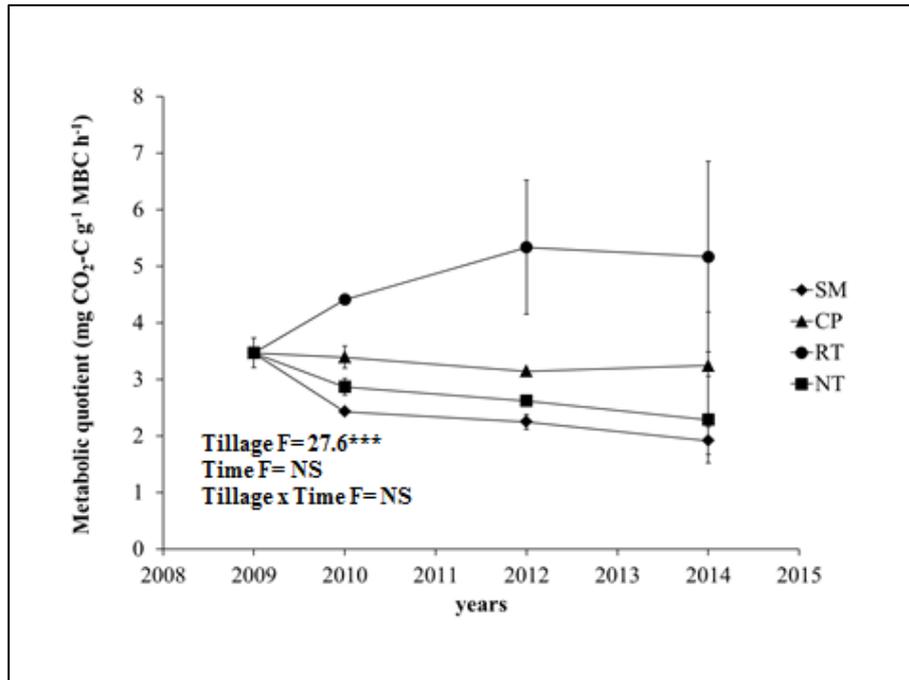


Figura 35 - Andamento del quoziente metabolico nello strato 15-30 cm

3.3 Aggregati strutturali del suolo

Le analisi sul frazionamento degli aggregati sono state eseguite nelle epoche T1, T2 e T3 per valutare l'impatto delle lavorazioni sulla stabilità degli aggregati stabili in acqua (%WSA).

I risultati hanno mostrato differenze statisticamente significative fra le diverse tecniche di gestione del suolo, sia nello strato di suolo direttamente interessato dalle lavorazioni (0-15 cm), sia in quello più profondo (15-30 cm).

La figura 36 mostra i risultati ottenuti nello strato di suolo 0-15 cm dal metodo applicato (Kemper e Rosenau 1986), per la determinazione della percentuale di aggregati stabili in acqua (%WSA).

Dalla figura si può notare che nell'epoca T1 i valori più alti di %WSA sono rappresentati dalle tesi NT (51.7 ± 3.9) e SM (49.3 ± 3.4), dal loro confronto non si registrano differenze statisticamente significative, riscontrabili invece dal confronto fra i valori delle tesi CP (33.7 ± 4.6) e RT (24.8 ± 2.3).

Nell'epoca T2 tutti i valori delle tesi mostrano tra loro differenze statisticamente significative, il valore più elevato si è ottenuto nella tesi NT (59.6 ± 2.9) cui seguono in ordine i valori della tesi SM (48.4 ± 3.0), della tesi CP (38.2 ± 2.7) e infine della tesi RT (28.3 ± 0.8).

Andamento simile si è avuto anche nell'epoca T3 in cui il valore più elevato di %WSA è stato rilevato nella tesi NT (63.5 ± 4.0), seguito dalle tesi SM (52.2 ± 2.7), dalla tesi CP (42.6 ± 4.8) ed infine dalla tesi RT (31.9 ± 0.6).

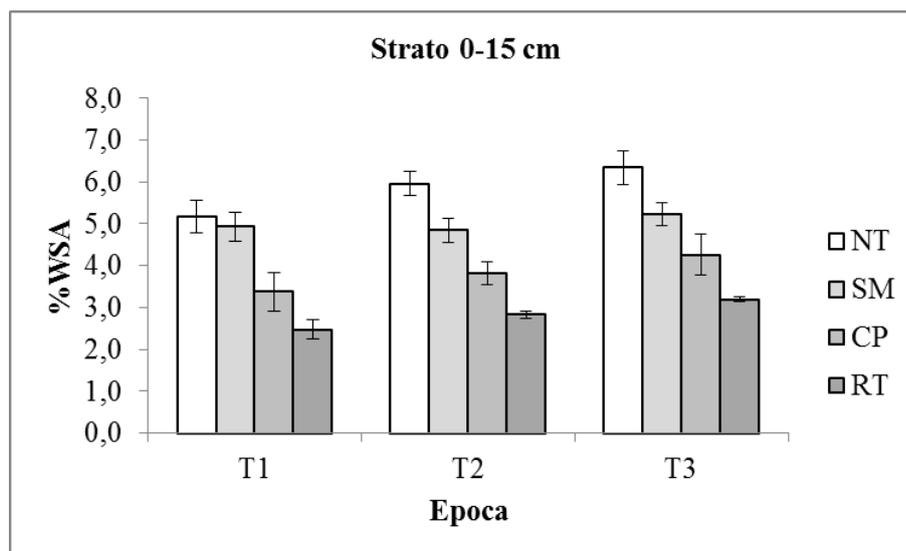


Figura 36 – Andamento della %WSA nelle quattro tesi a confronto nello strato di suolo 0-15 cm. I valori sono la media±dev.st. di tre repliche.

La figura 37 mostra i risultati dei calcoli per la determinazione della percentuale di aggregati stabili in acqua (%WSA), nello strato di suolo 15-30 cm. Dalla figura 37 si nota che nell'epoca T1 i valori più alti di %WSA sono rappresentati dalla tesi NT (59.1 ± 4.2). Seguono i valori delle tesi SM (45.0 ± 1.9), CP (44.0 ± 1.4) e RT (39.6 ± 1.7). Dal confronto fra i valori registrati dalle singole tesi non si evincono differenze statisticamente significative.

Nell'epoca T2 tutti i valori delle tesi mostrano tra loro differenze statisticamente significative; il valore più elevato si è ottenuto nella tesi NT (55.0 ± 4.0) cui seguono in ordine i valori della tesi SM (44.2 ± 4.9), della tesi CP (36.6 ± 0.6) e infine della tesi RT (33.7 ± 1.8).

Nell'epoca T3 i valori delle tesi NT e SM, rispettivamente di 46.8 ± 4.4 e 49.4 ± 2.1 , non hanno mostrato differenze statisticamente significative; differenze statisticamente significative sono state riscontrate, invece, nel confronto dei valori ottenuti nelle tesi CP e RT rispettivamente di 34.5 ± 0.9 e 29.6 ± 2.3 .

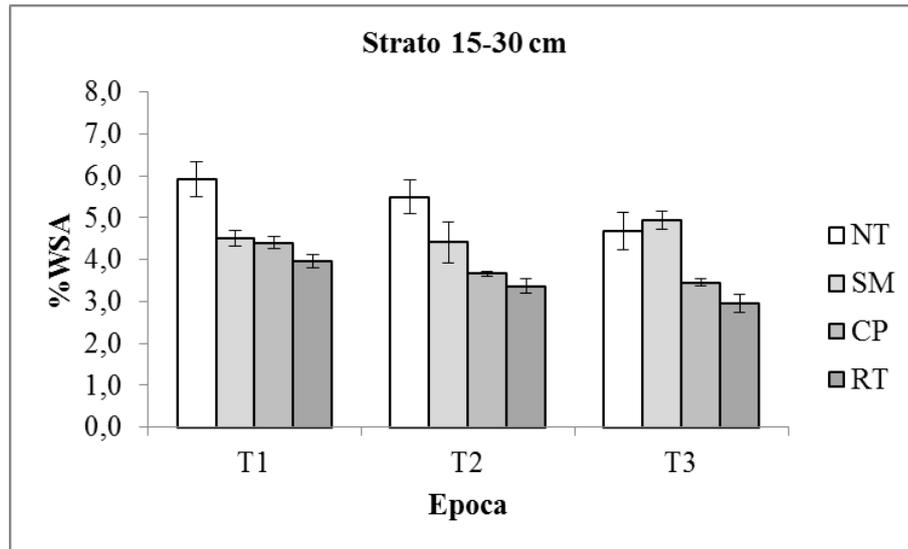


Figura 37– Andamento della %WSA nelle quattro tesi a confronto nello strato di suolo 15-30 cm. I valori sono la media±dev.st. di tre repliche.

Nell'ambito della stessa tesi, il fattore Epoca risulta trascurabile, poichè dal confronto fra i valori registrati dalle singole Tesi con quelli ottenuti dalle stesse nelle diverse Epoche, non mostrano differenze statisticamente significative.

4. CONCLUSIONI

Scopo di questo studio è stata la comparazione degli effetti di macchine operatrici per le lavorazioni secondarie sulle caratteristiche fisiche, chimiche e biochimiche del suolo negli ambienti semi-aridi del bacino del Mediterraneo.

Per la sperimentazione sono state impiegate tre macchine di cui la prima, una vangatrice semovente, è una macchina di moderna concezione, le altre due una zappatrice rotativa e un coltivatore pesante, sono macchine comunemente impiegate nelle operazioni colturali più tradizionali. Il no tillage (NT), attuato tramite l'impiego di un decespugliatore a spalla, è stato inoltre incluso nella sperimentazione.

Per ciò che concerne i valori di resistenza alla penetrazione (PR), in tutte le epoche di rilievo, l'impiego della vangatrice (SM) ha permesso di ottenere valori di PR, su tutto il profilo interessato da rilievi, inferiori rispetto a quelli ottenuti con l'impiego della zappatrice rotativa (RT), del coltivatore (CP) e del no tillage (NT); in particolare, per quanto riguarda i valori di PR ottenuti lungo il profilo del suolo maggiormente interessato dall'azione degli organi lavoranti (0-150 mm) durante la sperimentazione, è emerso che:

- nella tesi SM la PR non ha mai superato il valore di 2 MPa;
- nella tesi RT il valore di PR raggiunto a circa 150 mm di profondità è stato di 4 MPa;
- nella tesi CP il valore di PR raggiunto a circa 150 mm di profondità è stato di 4 MPa;
- nella tesi NT il valore di PR raggiunto a circa 150 mm di profondità è stato di 2.5 MPa.

Ne consegue che il tipo di macchina utilizzata influenze notevolmente la PR del suolo, e di conseguenza la capacità di ritenzione idrica del terreno, fattore chiave per le produzioni agricole negli ambienti semi-aridi come in Sicilia.

Le analisi di laboratorio hanno inoltre dimostrato che, in ambiente mediterraneo, la lavorazione eseguita con la vangatrice, ha migliorato la fertilità chimica e biochimica del suolo. Infatti, il contenuto in sostanza organica è risultato più elevato oltre che nel no tillage nel suolo lavorato con la vangatrice semovente. Conseguentemente, anche la comunità microbica del suolo è stata positivamente influenzata, mostrando valori di biomassa microbica più elevati e una migliore efficienza nell'utilizzo dei substrati organici. I risultati hanno dimostrato che le lavorazioni condotte con l'impiego di RT e CP hanno causato un'aerazione eccessiva del terreno e dei substrati organici superiori rispetto alla lavorazione ridotta prodotta dalla vangatrice, accelerando così la mineralizzazione della sostanza organica ad opera della biomassa microbica del suolo.

Si può dunque concludere, che le diverse tecniche di gestione del suolo impiegate nella sperimentazione hanno avuto un ruolo determinante sulle proprietà fisiche, chimiche e biochimiche del suolo, influenzando i parametri pedologici investigati in maggior misura rispetto al tempo nell'ambito della stessa tecnica di gestione.

BIBLIOGRAFIA

- Alvaro-Fuentes J., Cantero-Martínez C., Lòpez M. V., Arrùe J. L., 2007. Soil carbon dioxide fluxes following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems. *Soil and Tillage Research*. 96: 331-341
- Alvaro-Fuentes J., Lòpez M. V., Arrùe J. L., Cantero-Martínez C., 2008a. Management effects on soil carbon dioxide fluxes under semiarid Mediterranean conditions. *Soil Science Society of American Journal*. 72: 194-200.
- Alvaro-Fuentes J., Lòpez M. V., Cantero-Martínez C., Arrùe J. L., 2008b. Tillage effects on soil organic carbon fractions in Mediterranean Drylandagroecosystems. *Soil Science Society of American Journal*. 72: 541-547.
- Angers, D.A., Bissonnette, N., Légère, A., Samson, N., 1993. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science* 73: 39-50
- APAT, 2008. *Il suolo – La radice della vita*. Roma
- Austin R. B., Cantero-Martínez C., Arrùe J. L., Playàn E., Cano-Marcellàan P., 1998. Yield-rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain. *European Journal of Agronomy*. 8: 239-248.
- Baker J. M., Ochsner T. E., Venterea R. T., Griffis T. J., 2007. Tillage and soil carbon sequestration – What do we really know?. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 118: 1-5.

- Balota E. L., Kanashiro M., Filho A. C., Andrade D. S., Dick R. P., 2004. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems. *Braz. J. Microbiol.* 35: 300-306.
- Barbera V., Poma I., Gristina L., Novara A., Egli M., 2010. Long-term cropping systems and tillage management effects on soil organic carbon stock and steady state level of C sequestration rates environment. *Land Degradation and Development.* 21: 1-10.
- Blake G. R., Hartge K. H., 1986. Bulk Density, in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph no. 9, 2nd ed.*, 363-375.
- Blanco-Canqui H. e Lal R., 2008. No tillage and soil profile carbon sequestration: an on-farm assessment. *Soil Science Society of America Journal.* 72: 693-701.
- Bodria L., Pellizzi G. e Piccarolo P., 2006. *Meccanica agraria. Volume I. Il trattore e le machine operatrici.* Edagricole
- Brunner, A.C., Park, S.J., Ruecker, G.R. & Vlek, P.L.G. 2008. Erosion modelling approach to simulate the effect of land management options on soil loss by considering catenary soil development and farmers perception. *Land Degradation & Development*, 19, 623.
- Budiman Minasny, 2012. Contrasting soil penetration resistance values acquired from dynamic and motor-operated penetrometers. *Geoderma* [177-178], 57-62.
- Celik I., Gunal H., Budak M., Akpinar C., 2010. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 160, pp. 236–243.

- Conyers, M. K. e Davey, B.G., 1988. Observations on some routine methods for soil pH determination. *Soil Sci.* 145 : 29-36.
- Davey, B.G. e Conyers, M.K., 1988. Determining the pH of acid soils. *Soil Sci.* 146: 141 - 150.
- Dick W.A., Durkalski J.T., 1997, “No-tillage production agriculture and carbon sequestration in a typic Fragiudalf soil of Northeastern Ohio”, CRC Lewis Publisher, Boca Raton. 59-71.
- Domsch H., Ehlert D., Giebel A., Witzke K., Boess J., 2006. Evaluation of the soil penetration resistance along a transect to determine the loosening depth. *Precision Agric* 7:309-326.
- Doran, J.W., 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal.* 44: 764-771
- Ferrari U., 1998. *Genio rurale.* Ed Agricole.
- Ferreira, M.C., Andrade D.S., Chueire, L.M.O., Takemura, S.M., Hungria, M., 2000. Effects of tillage method and crop rotation on the population sizes and diversity of bradyrhizobia nodulating soybean. *Soil Biol Biochem.* 32: 627–637
- Gardner W.H., 1986. Water content. In: *Methods of soil analysis, part 1; second edition* (Klute, A., ed.). Am. Soc. Agron., Madison, WI, pp., 493-544.
- Giardini L., 1992. *Agronomia generale ambientale e aziendale.* Pàtron Editore, Bologna, Italia.
- Giardini L., 2002. *Agronomia Generale,* Patron Editore
- Gonzalez-Chavez, M.A., Aitkenhead-Peterson, J.A., Gentry, T.J., Zuberer, D., Hons, F., Loeppert, R., 2010. Soil microbial community,

C, N, and P responses to long-term tillage and crop rotation. *Soil Till Res.* 106: 285-293

- Greenland, D.J. & Szabolcs, I. 1994. *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. CAB International, Wallingford. pp. 41–67.
- Halvorson A. D., Peterson G. A., Reule C. A., 2002. Tillage system and crop rotation effects on dryland crop yields and soil carbon in the central Great Plains. *Agronomy Journal*. 94: 1429-1436.
- Håkansson, I., Reeder, R.C., 1994. Subsoil compaction by vehicle with high axle load-extent, persistence and crop response. *Soil Till. Res.* 29, 277–304.
- Hemmat A., Yaghoubi-Taskoh M., Masoumi A., Mosaddeghi M. R., 2014. Relationships between rut depth and soil mechanical properties in a calcareous soil with unstable structure. *Biosystems Engineering*, 118, pp. 147-155.
- Hendrick J.G., 1980. A powered rotary chisel. *Transactions of the ASAE*, 1349-1352.
- Hernanz J.L, Lopez R., Navarrete L., Sanchez-Giron V., 2001. Long-term effects of tillage system and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil & Tillage Research*. 66: 130-141.
- Hernanz J. L., Sanchez-Giron V., Navarrete L., 2009. Soil carbon sequestration and stratification in a cereal/leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions. *Agriculture, Ecosystems and Enviroments*. 133: 114-122.
- Holland J.M., 2004. The environmental consequence of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 103: 1-25

- Horn, R., van den Akker, J.J.H., Arvidsson, J. (Eds.), 2000. Subsoil Compaction—Distribution, Processes and Consequences. *Advances in Geocology*, vol. 32. Catena, Reiskirchen, Germany, pp. 1–462.
- Kairis O., Karavitis C., Kounalaki A., Salvati L., Kosmas C., 2013. The effect of land management practices on soil erosion and land desertification in an olive grove. In: *British Society of Soil Science, Soil Use and Management*, 29, pp. 597–606.
- Kay B. D., Van den Bygaart A. J., 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research*. 66: 107-118.
- Kemper, W.D., Rosenau, R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Agron. Monog. 9. 2nd ed. ASA/SSSA, Madison, WI, pp. 425–442.
- Lapen D. R., Topp G.C., Edwards M.E., Gregorich E.G., Curnoe W.E., 2004. Combination cone penetration resistance/water content instrumentation to evaluate cone penetration–water content relationships in tillage research. *Soil & Tillage Research*, 79: 51–62.
- Laudicina V. A., Badalucco L., Palazzolo E., 2011a. Effects of compost input and tillage intensity on soil microbial biomass and activity under Mediterranean conditions. *Biology and Fertility of Soils*. 47: 63-70.
- Lisa, L., Parena, S., Lisa, L., 1995. Working times and production cost of grapes in grass covered or tilled vineyards of Piedmont. In: *Proceedings of the VIII GESCO Meeting, Vairão, Portugal, 3–5 July 2000*. 325–330.
- López-Garrido R., Deurer M., Madejón E., Murillo J. M., Moreno F., 2008. Tillage influence on biophysical soil properties: The example of

a long-term tillage experiment under Mediterranean rainfed conditions in South Spain. *Soil and Tillage Research*. 118: 52-60.

- Luo, Z.K., Wang, E., Sun, O.J., 2010. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 139: 224–231
- Melero S., Lòpez-Bellido R. J., Lòpez-Bellido L., Muñoz-Romero V., Moreno F., Murillo J.M., 2009. Conservation tillage: Short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research*. 104: 292-298.
- Mielke L. N., Doran J. W., Richards K.A., 1986. Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil and Tillage Research*. 7: 355-366.
- Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombroek W.G., 1991. World map of the status of human-induced soil degradation, an explanatory note. 2nd revised edition. *Global Assessment of Soil Degradation (GLASDOD)*, ISRIC, Wageningen, UNEP, Nairobi.
- Ouédraogo E., Mando A., Stroosnijder L., 2006. Effects of tillage, organic resources and nitrogen fertiliser on soil carbon dynamics and crop nitrogen uptake in semi-arid West Africa. *Soil and Tillage Research*. 91: 57-67.
- Peech, M., 1965. Hydrogenion activity. In: *Methods of Soil Analysis*. 2nd part. (C.A. Black, Ed.) Agron. Monogr. no 9. ASA and SSSA, Madison, WI p. 914-926.
- Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A., 2007. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*. 11:1633-1644
- Peruzzi A. e Sartori L., 1997. Guida alla scelta ed all'impiego delle attrezzature per la lavorazione del terreno. Ed Agricole

- Pezzi F., 2005. Traditional and new deep soil tillage techniques in Italy. *Transactions of the ASAE* [48(1)], 13-17.
- Pezzuolo A. e Sartori L., 2012. Ridurre i costi Tecniche agronomiche e ambientali. 12–57. Agricoltori srl. Rovigo
- Pierce, F.J. & Lal, R. 1994. Monitoring soil erosion's impact on crop productivity. In: *Soil Erosion Research Methods* (eds R. Lal & I.A. Ankeny), pp. 235–263. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA.
- Piovaneli C., Gamba C., Brandi G., Simoncini S., Batistoni E., 2006. Tillage choices affect biochemical properties in the soil profile. *Soil & Tillage Research*. 47: 197-205.
- Pipitone F., Catania P., Vallone M. e Spartà G., 2011. Prime prove di lavorazione del terreno impiegando un prototipo di motovangatrice per preservare la fertilità del suolo. Convegno di Medio Termine dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, Belgirate, 22-24 settembre 2011.
- Syers, J.K. 1997. Managing soils for long-term productivity. In: *Land Resources: On the Edge of the Malthusian Precipice?* (eds D.J. Greenland, P.J. Gregory & P.H. Nye), pp. 151–161. CAB International, Wallingford, and the Royal Society, London.
- Soane B. D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F. e Roger-Estrade J., 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil & Tillage Research* 118: 66–87
- Soane, B.D., Ouwerkerk, C., 1995. Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. *Soil Till. Res.* 35, 5–22.

- Soltner D., 1988. Le bases de la production vegetale. Tome 1: Le sol. 16 editione. Collection Sciences et Techniques Agricoles. Sainte Gemmes Sur Loire, Angers.
- UNEP 1994. Use of terms – cf. United Nations Convention to Combat Desertification, Art.1, pp.4. Available at: <http://www.unccd.int>; accessed 14/01/2013.
- Van-Camp L., Bujarrabal S., Genillo A.R., Jones J.R.A., Montanarella L., Olazábal C., Selvaradjou S.K., 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/2, 872 pp., Official Publ. of European Communities, Luxembourg.
- Van den Akker, J.J.H., Arvidsson, J., Horn, R. (Eds.), 2003. Experiences with the Impact and Prevention of Subsoil Compaction in the European Union. Soil Till. Res. Spec. Iss, vol. 73, No. 1/2. pp. 1–182 (Special issue).
- Van den Putte A., Govers G., Diels J., Langhans C., Clymans W., Vanuytrecht E., Merckx R., Raes D., 2012. Soil functioning and conservation tillage in the Belgian Loam Belt. Soil & Tillage Research 122: 1-11.
- Vásquez García I., Gómez Guerrero A., Velázquez Martínez A., Aldrete A., Fierros-González A. M., 2011. A dynamic penetrometer for measuring mechanical resistance in forest soils. RCHSCFA 17(2): 293-302.
- Vidhana Arachchi L. P., 2009. Effect of deep ploughing on the water status of highly and less compacted soils for coconut (*Cocos nucifera* L.) production in Sri Lanka. Soil & Tillage Research. 103: 350-355.
- West T. O., Post W. M., 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. Soil Science Society of America Journal. 66: 1930-1946.
- Wikipedia, 2014. [http://it.wikipedia.org/wiki/Fresatura_\(agricoltura\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Fresatura_(agricoltura))