



# **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

## **SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA**

TERRITORIO, AMBIENTE, RISORSE e SALUTE

INDIRIZZO:

TECNOLOGIE MECCANICHE DEI PROCESSI AGRICOLI E FORESTALI

XX CICLO

## **Effetti delle lavorazioni del terreno sugli apparati radicali e la crescita di una coltura di mais: studio triennale e simulazione a lungo termine nel Bacino scolante nella laguna di Venezia**

Direttore della Scuola: Ch.mo Prof. VASCO BOATTO

Coordinatore d'Indirizzo: Ch.mo Prof. CESARE DE ZANCHE

Supervisore: Ch.mo Prof. LUIGI SARTORI

Correlatore: Ch.mo Prof. BRUNO BASSO

Dottorando: Dott. Matteo Rota



## **Effetti delle lavorazioni del terreno sugli apparati radicali e la crescita di una coltura di mais: studio triennale e simulazione a lungo termine nel Bacino Scolante nella laguna di Venezia.**

### **Riassunto**

Il lavoro di tesi ha riguardato l'effetto di tre diverse tecniche di gestione del suolo (lavorazione convenzionale, la minima lavorazione e non lavorazione) su alcune caratteristiche biometriche della coltura del mais. La sperimentazione, della durata di tre anni e svolta presso un'azienda situata nel bacino scolante della Laguna di Venezia, ha avuto l'obiettivo di capire come le diverse attrezzature e quindi le diverse gestioni dei terreni influenzassero l'accrescimento della pianta e se in qualche modo vi fossero ripercussioni anche sulla produzione.

L'attività di rilevamento dei dati è stata concentrata nei primi due anni, mentre nel terzo sono continuati i rilievi per eseguire un monitoraggio più completo al fine di ottenere un quadro complessivo dettagliato degli effetti ottenibili con l'adozione delle diverse tecniche.

I parametri posti sotto osservazione sono stati alcune caratteristiche del terreno (densità, umidità) a diverse profondità, biomassa, sviluppo fogliare, accrescimento radicale, per quanto concerne la pianta. I rilievi sono avvenuti durante tutto l'arco dell'anno (2005/2006) quando si riteneva opportuno e specialmente in corrispondenza di 3 fasi ben specifiche, e cioè a 2-3 foglie, a 7-8 foglie e in fioritura per poter confrontare i dati nelle diverse annate. Si sono monitorate anche la velocità di emergenza, l'investimento alla raccolta e le produzioni divise per tipologia di lavorazione.

Parallelamente, tutti i dati raccolti inerenti al clima, al terreno del sito di prova e alle altre operazioni colturali eseguite sono serviti per tarare il modello di simulazione "Salus", che comprende un pacchetto specifico inerente le lavorazioni del terreno, e che consente di stimare la risposta della pianta, gli impatti ambientali e l'evoluzione del suolo al variare dell'andamento climatico. Le risposte del modello, dapprima utilizzate per la taratura dello stesso nei due anni di coltivazione, sono poi state utilizzate per valutare le risposte nel lungo periodo (15 anni) dei tre sistemi di lavorazione nei confronti delle produzioni, dell'accumulo di carbonio e di alcune caratteristiche del terreno.

# **"LAND MANAGEMENT EFFECTS ON THE ROOTS AND GROWTH OF A CORN CULTURE: A TREE YEAR STUDY AND A LONG TERM SIMULATION IN A DRAINING BASIN IN THE VENETIAN LAGOON"**

## **Abstract**

The work regards the effect of three different land management techniques (conventional tillage, minimum tillage and no-tillage) on some biometric characteristics of a corn culture. This tree year work, done in a farm located in a draining basin of the Venetian lagoon, had the aim to individuate the influences of the different tools and of the different management techniques on the plant growth and if there could be some feedbacks on the production.

The data have been collected during the first two years, while during the third one the surveys continued to have a global and precise view of the effects obtainable with the different techniques. The collected data, for what concerns the plant, regard some soil properties (bulk density, humidity) at different depths, biomass, foliar development and root growth. The surveys, when considered suitable, have been done all year round (2005/2006) and especially during tree specific phases, when the plant had 2-3 leaves on, at 7-8 leaves end during blooming so it was possible to compare different years. Even the emerging speed, the seed density and the different productions divided by working techniques were collected.

At the same time all the data collected on the climate, on the soil and on the other cultural operations done were needed to calibrate the simulation model "Salus", that contains a special package on the different working techniques, and that permits to estimate the plant responses, the environmental impacts and the soil evolution at each climatic change. The results of the model, first of all used to calibrate the model itself, have been then used to evaluate the answers in a long term (15 years) of the three different working techniques on the production, on the Carbon heap and on some soil characteristics.

<b>Indice</b>	<b>Pagina</b>
1 – Introduzione	1
1.1 – Premessa	1
1.2 – L’agricoltura convenzionale	2
1.2.1 – Problematiche legate alle lavorazioni	4
1.2.1.1 – Compattamento e movimento dell’acqua nel suolo	4
1.2.1.2 – Carbonio e sostanza organica nel terreno	8
1.2.1.3 – Erosione	14
1.2.2 – Effetti delle lavorazioni sulla erosione dei suoli	17
1.2.3 - Effetti delle lavorazioni sulla struttura dei suoli	18
1.2.4 - Effetti delle lavorazioni sulla distribuzione della energia solare e sul regime termico del suolo	21
1.2.5 - Effetti sul contenuto di acqua dei suoli	23
1.2.6 - Effetto delle lavorazioni sulla infiltrazione di acqua nei suoli	25
1.2.7 - Effetto delle lavorazioni nella evaporazione di acqua dai suoli	27
1.2.8 - Influenza dei residui sulla evaporazione	29
1.3 - Alcune proposte nell’ambito dell’agricoltura conservativa	32
1.3.1 - Agricoltura conservativa	34
1.3.2 - Le lavorazioni del terreno	35
Bibliografia	43
2 – Descrizione del sito	47
2.1 – Descrizione del sito e dell’azienda	47
2.2 – Caratteristiche del terreno	49
3 - Umidità del terreno e densità volumica: evoluzione in 2 anni di prova legati alle diverse tecniche di lavorazione e allo strato del suolo considerato	52
3.1 – Umidità del terreno	52
3.2 – Metodologia	53
3.3 – Risultati	57
3.3.1 – Umidità del terreno	57
3.3.2 – Densità volumica del terreno	65
4 - Rilievo dello sviluppo radicale nella coltura del Mais nelle tre tecniche di gestione del suolo	69
4.1 - Accrescimento e sviluppo radicale	69
4.2 – Metodologia	76
5 - Influenza delle diverse tipologie di lavorazione sull’investimento e sull’emergenza della coltura	81
5.1 – Introduzione	81
5.2 – Metodologia	83
5.2.1 – Velocità d’emergenza	83
5.2.2 - Precisione ed uniformità di semina	84
5.2.3 – Profondità di semina	85
5.2.4 - Rilievi delle produzioni	85
5.3 – Risultati	85
5.3.1 – Velocità d’emergenza	85

5.3.2 – Investimento	
5.3.3 – Produzioni	88
5.4 - Conclusioni	92
6 - Simulazione dell'impatto di alcuni sistemi di lavorazione sulle proprietà biofisiche del suolo utilizzando il modello SALUS.	92
6.1 – Metodologia	97
6.1.2 – Componenti lavorazioni e residui con il modello di simulazione SALUS	99
6.1.3 – Copertura del suolo con residui	101
6.1.4 – Effetti sul bilancio idrico	101
6.1.5 – Effetti sui parametri del suolo	102
6.2 – Risultati	103
6.3 - Conclusioni	107
6.4 - Bibliografia	114
	115

# **1 - INTRODUZIONE**

## **1.1 - Premessa**

La coltivazione del suolo agrario è effettuata da moltissimo tempo attraverso l'inversione degli strati del terreno per mezzo di attrezzature 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 terreno attraverso l'erosione con il risultato finale della desertificazione, come riscontrato negli USA negli anni '30 (Holland J.M., 2004). 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; 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)

La scelta dei mezzi e delle modalità con cui eseguire le lavorazioni del terreno deve essere operata non solo seguendo la strada della maggior produttività, ma anche facendo un'attenta valutazione in termini di reddito per l'agricoltore. In un'epoca in cui si sente sempre più l'esigenza di puntare verso un maggiore rispetto dell'ambiente, a fronte di un sempre crescente aumento dei prezzi di acquisto dei mezzi tecnici (carburanti, lubrificanti, sementi, concimi, agrofarmaci, etc.), e a una instabilità dei prezzi di vendita dei prodotti agricoli, nonché dai nuovi scenari delineati dalla nuova Politica Agricola Comunitaria, l'agricoltore deve sempre più cercare di realizzare il maggiore profitto possibile; tale obiettivo, comunque, non sempre è ravvisabile con una maggiore produzione, ma bensì nell'ottenere un più basso rapporto fra costi e benefici. D'altro canto, la salvaguardia dell'ambiente, il ridotto impatto ambientale e i prodotti di qualità sono invece le esigenze dei consumatori che vogliono una agricoltura, rispettosa dell'ambiente e produttrice di qualità e questo può essere attuato mediante un'attenta gestione delle risorse a

disposizione della produzione e con lo sviluppo di una visione imprenditoriale da parte dell'agricoltore stesso.

## **1.2 – L'agricoltura convenzionale**

Per decenni l'idea di agricoltura è stata associata all'aratura, in quanto consentiva la messa a coltura di enormi distese 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).

La continua inversione degli strati del terreno che viene eseguita con le tradizionali tecniche di lavorazione, porta però ad una progressiva perdita e degradazione del suolo, accentuato dal fenomeno del compattamento e tutto questo porta ad una progressiva perdita di materiale organico dal suolo con una diminuzione delle fertilità. L'impatto delle lavorazioni sulla moderna agricoltura è il fattore principale da considerare e gestire se si intende procedere ad una semplificazione dei cantieri del processo colturale. Di sicuro il primo passaggio per la semplificazione delle operazioni riguarda l'adozione di attrezzature meno impattanti nei confronti del suolo; si utilizzano quindi particolari configurazioni che come primo approccio devono prevedere il rispetto e mantenimento della struttura del suolo senza modificarne la stratigrafia quindi senza andare a invertire gli strati di terreno (Holland J.M., 2004)

E' evidente che l'aumento della produttività agricola si è ottenuto intensificando l'uso dei mezzi di produzione (input), i quali hanno generato risultati desiderati, ma anche alcuni di 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 (Elias Fereres Castiel, 1996).

Il fino ad ora seguito modello convenzionale di fare agricoltura poggia su principi quali la semplificazione dell'ecosistema agrario e la massimizzazione delle condizioni ambientali per la pianta coltivata. A tali principi corrispondono perciò pratiche quali la rimozione e la bruciatura dei residui colturali, l'aratura e la fresatura, la deforestazione, la monosuccessione colturale e l'elevato uso di fertilizzanti, fitofarmaci ed erbicidi. L'esecuzione di

tali pratiche ha però portato ad una serie di problemi ambientali che oramai hanno raggiunto livelli preoccupanti. Fra questi:

- L'erosione è uno dei problemi ambientali che si riscontra spesso in agricoltura, nonché della sostenibilità e della capacità produttiva dei terreni agricoli. Questo fenomeno, che si verifica in particolari condizioni, comporta la perdita del suolo agrario sia per effetto del vento (erosione eolica) che dell'acqua (erosione idrica). In particolare l'erosione idrica è visibile con l'intorbidimento delle acque di scorrimento superficiali, nelle quali sono presenti i sedimenti di terra erosa. Oltre a questo, le ripercussioni sul terreno possono essere identificate con una perdita di nutrienti, un minor approfondimento dell'apparato radicale e una minor capacità di trattenere l'acqua (Pisante M., Stagnari F., 2007). Un terreno privo di residui e lavorato troppo finemente presenta scarsa scabrosità ed una maggiore suscettibilità alla formazione della crosta superficiale; ciò impedisce l'infiltrazione dell'acqua piovana a favore dello scorrimento superficiale e quindi dei fenomeni erosivi.
- Il fenomeno del compattamento è una problematica che spesso non viene preso con la giusta considerazione e può essere imputato principalmente alla meccanizzazione in agricoltura. I sistemi convenzionali di fare agricoltura portano, quasi sempre, ad una intensificazione delle lavorazioni ed operazioni colturali. Ciò porta ad un intenso traffico di macchine ed attrezzi nei terreni con ripercussioni negative sulla struttura e su altri parametri fisici dei suoli. Questo facilita la degradazione dei suoli, portandoli ad una maggiore suscettibilità all'azione degli agenti atmosferici e ad un ambiente meno ospitale per la crescita della pianta coltivata.
- La contaminazione delle acque con nitrati e fosfati che vengono persi dal terreno danneggiano l'ecosistema accentuando fenomeni di eutrofizzazione oltre all'intossicazione della fauna e della flora acquatica.
- L'aumento dell'immissione di gas serra nell'atmosfera (in particolare di CO<sub>2</sub>): a livello ambientale questo è ritenuto essere uno dei principali problemi che si sono avuti con lo sviluppo della tecnologia. I numerosi passaggi e le elevate potenze richieste da attrezzature sempre più grandi hanno innalzato il livello di consumo del combustibile; altro fenomeno che va ad alimentare l'innalzamento del livello di CO<sub>2</sub> è legato alla rapida mineralizzazione della materia organica contenuta nel terreno, dovuta a pratiche di bruciatura e dei residui colturali o al loro profondo interrimento.

- La perdita di fertilità dei suoli: le lavorazioni intensive del suolo infatti determinano una perdita di carbonio di oltre il 50 % in 20-30 anni di coltivazione. Un declino della materia organica danneggia la struttura e la stabilità del suolo, la capacità di ritenzione idrica, la capacità di azione regolatrice del terreno, l'attività biologica, la ritenzione e lo scambio di sostanze nutritive. La perdita di qualità del suolo inoltre può facilitare erosione, compattamento del terreno, acidificazione, salinità, mancanza di sostanze nutritive e siccità.
- Riduzione della biodiversità: un suolo per molto tempo scoperto non fornisce alimenti e protezione per la fauna selvatica (uccelli, piccoli mammiferi, rettili e invertebrati come nematodi, lombrichi e microartropodi). Una biodiversità estremamente ridotta può inoltre favorire l'invasione di parassiti della specie coltivata, a causa dell'assenza nell'ambiente agrario di eventuali antagonisti naturali.

Sulla base di questi rischi si rende perciò 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.

### **1.2.1 – Problematiche legate alle lavorazioni**

#### **1.2.1.1 - Compattamento e movimento dell'acqua nel suolo**

Il fine principali dell'adozione di tecniche di lavorazione del suolo è la formazione di un substrato ottimale per la coltivazione e quindi per l'accrescimento e lo sviluppo delle piante coltivate. Quando un terreno ha superato le fasi di messa a coltura e ha acquisito le caratteristiche idonee a permettere la coltivazione, bisogna attuare tutte quelle operazioni che creino le condizioni ideali alla coltura, ma che allo stesso tempo non comportino un'alterazione delle caratteristiche pedo-genetiche del terreno con conseguenti ripercussioni negative.

Il terreno è un equilibrio fra le fasi solide, liquide e aeriformi. Il rapporto corretto, ma allo stesso tempo modificabile, di queste tre fasi, è di fondamentale importanza per la vita delle piante. La tendenza, e quello che si vorrebbe ottenere con le lavorazioni, è quindi di intervenire per cercare di ripristinare i suoi valori ottimali. Il passaggio di attrezzature sul terreno tendono ad addensarlo modificandone la struttura, creando il così detto fenomeno del compattamento o costipamento. Come risaputo, il compattamento e le conseguenti

variazioni delle caratteristiche di immagazzinamento, nonché, di movimento dell'acqua nel suolo, influiscono e sono influite dalle caratteristiche di macro e microporosità caratterizzanti un determinato terreno. Queste caratteristiche non sono regolate singolarmente, ma derivano dall'equilibrio creato nell'intero "sistema suolo" sia a carico di proprietà fisiche che chimiche. Infatti i diversi rapporti fra la macro e micro porosità sono dovuti principalmente alla genesi da qui è derivato il suolo e dalla tessitura, ma oltre a essere influenzati, influenzano il livello di fertilità, la reazione e il potenziale idrico dello stesso.

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 F. et al., 1997). Nel caratterizzare le proprietà di un terreno, il valore assoluto della porosità non ha molta importanza, mentre ben più 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  $\emptyset < 10 \mu\text{m}$ . 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  $\emptyset > 10 \mu\text{m}$ . 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.

In un terreno ideale, ai fini della crescita ottimale delle piante, si reputa indispensabile che 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  $150 - 300 \mu\text{m}$  al fine di garantire una agevole penetrazione delle radici (Bonciarelli F. et al., 1997).

La forza di gravità, l'azione battente dell'acqua piovana e il transito delle macchine operatrici, tendono a diminuire i valori di porosità e aerazione del suolo soprattutto a carico della macroporosità. 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.

Il terreno agrario, come qualsiasi materiale, è soggetto alle sollecitazioni esterne di: compressione, trazione, flessione, torsione e taglio. Queste sollecitazioni derivano dall'applicazione ad esso di forze esterne, alle quali il terreno reagisce deformandosi: dapprima elasticamente, con proporzionalità diretta fra forze e deformazioni, poi, plasticamente, ossia con deformazioni permanenti. Le deformazioni nel campo elastico non inducono problemi di carattere agronomico, in quanto al termine della sollecitazione il terreno si riporta nelle condizioni iniziali senza modificazioni nella sua struttura. Purtroppo, questo si verifica soltanto in rare e particolari situazioni. Normalmente ci si trova in presenza di deformazioni permanenti che tendono a compromettere la struttura del terreno con conseguente indispensabile ricorso alla lavorazione. Oltre che dipendere dalla struttura, dalla tessitura e dal rapporto fra le fasi solida, liquida e gassosa, nella realtà di campo, sono influenzate soprattutto dalla presenza e dalla forma degli apparati radicali e dal contributo offerto dai microrganismi che vivono nel terreno.

In definitiva, i valori massimi si riscontrano in presenza di un terreno tenace, mentre quelli sciolti presentano una coesione minima o nulla; inoltre, in uno stesso terreno si rileva il valore di coesione massima in corrispondenza a un valore di umidità compreso fra il 70 e l'80% del limite plastico.

La coesione e la resistenza di attrito intervengono con una reazione uguale e contraria a una forza esterna (nel caso reale un peso che si scarica al suolo a mezzo degli organi di propulsione) che comprime il terreno. L'intero complesso viene definito sollecitazione di pressione, alla quale il terreno, come già accennato, reagisce addensandosi e riducendo la porosità. La sollecitazione di pressione agisce inizialmente con una sollecitazione ai bordi dell'area assoggettata alla compressione, ad essa il terreno si oppone con la forza detta di legame chimico sino a quando, all'aumentare della sollecitazione, si verifica una vera e propria azione di taglio. L'azione di taglio avviene quando una sezione di terreno scorre sull'altra, ed è accompagnato sempre, nelle sezioni immediatamente vicine, da una contemporanea azione di flessione. La sollecitazione di pressione può essere schematizzata nella figure 4 e 5.

La pressione (forza per unità di superficie –  $N/cm^2 = kPa$ ) indicata con  $\sigma$ , in linea orientativa, il campo delle deformazioni accettabili risulta, nei terreni a struttura compatta:

- terreni asciutti:  $\sigma \leq 30 \text{ kPa}$
- terreni tenaci con  $0,7 \text{ LP} \leq \text{H}_2\text{O} \leq \text{LL}$ :  $\sigma \leq 6 \text{ kPa}$
- terreni di medio impasto con  $0,7 \text{ LP} \leq \text{H}_2\text{O} \leq \text{LL}$ :  $\sigma \leq 12 \text{ kPa}$

- terreni sciolti con  $H_2O \leq LL$ :  $\sigma \leq 15 \text{ kPa}$

dove: LP = limite plastico

LL = limite liquido

Nel caso, invece, di terreni asciutti a struttura lacunare (letto di semina) occorre assicurarsi che:  $\sigma \leq 6 \text{ kPa}$ .

Il superamento di tali valori provocano forti deformazioni permanenti con riflusso laterale del terreno stesso: le così dette ormaie, le quali, se evidenti, possono creare problemi allo svolgimento delle operazioni soprattutto nel caso in cui venga attuata la non lavorazione.

Comunque, i valori precedentemente elencati sono riferiti a quanto avviene nel primo contatto fra forze esterne e terreno. Infatti, il passare più volte con analoghe pressioni sullo stesso terreno riduce progressivamente la deformazione aggiunta secondo curve che tendono asintoticamente all'orizzontale.

Il transito dei mezzi meccanici per le operazioni delle lavorazioni, 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. (Flowers and Lal, 1998).

Una possibile soluzione, anche se non definitiva a questo problema, è dato dalle tecniche di minima o non lavorazione, le quali oltre a limitare il transito dei mezzi sulla superficie di coltivazione limitando le lavorazioni (Radford et al., 2007), 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. La maggiore macroporosità nel suolo lavorato con sistemi alternativi, è dovuta alla presenza di un numero più elevato di pori di trasmissione a forma allungata. Allo stesso modo, anche la microporosità, all'interno degli aggregati, aumenta nel suolo lavorato con minima lavorazione. Si è visto che, in un singolo ciclo di coltivazione, circa il 100% della superficie adibita alla coltivazione è sottoposta alla pressione da parte dei pneumatici nel caso di una gestione convenzionale, mentre si passa ad un calpestamento pari al 60% se si opera con minima lavorazione per arrivare al 30% nel caso di tecniche di non lavorazione (Tullberg 1990). Come già menzionato in precedenza, anche il momento d'intervento risulta essere fondamentale, in quanto il primo passaggio sul terreno è quello che maggiormente compromette la struttura aumentandone il compattamento ((Alakukku, 1996); se oltre a questo si va ad operare in condizione di elevata umidità del terreno, il fenomeno risulta essere ancor più accentuato in seguito alla mancanza di portanza da parte del terreno nei

confronti delle macchine operatrici, soprattutto su terreni con bassa strutturalità (Kirby and Kirchhoff, 1990). Molto spesso, un alto livello di compattamento del suolo, oltre a rendere più difficoltosa la crescita e lo sviluppo di una coltura, ha anche ripercussioni gravi sulle produzioni finali comportando in certi casi anche notevoli costrizioni delle rese (Voorhees et al., 1995).

Andando a considerare nello specifico le attrezzature utilizzate per la lavorazione del terreno, è possibile affermare che anche le modalità con cui queste sono costruite, influiscono sul livello di compattamento del terreno (Sánchez-Girón et al., 2005); è importante per questo tenere presente e fare scelte opportune dei mezzi meccanici al fine di rendere più semplici le operazioni di lavorazione e limitare al massimo le sollecitazioni al terreno (Gebresembet and Jönsson, 1992; Abernathy and Porterfield, 1969).

Quanto fin qui espresso conferma che è possibile adottare sistemi di lavorazione alternativa per prevenire la degradazione fisica del suolo e che l'applicazione di materia organica è essenziale per accrescere la qualità della struttura del suolo.

#### **1.2.1.2 - Carbonio e sostanza organica nel terreno**

Nel terreno agrario, come in quello naturale, la frazione solida non è tutta minerale ma include una parte costituita da materiali organici. Al terreno ritornano tutti i resti degli organismi che in esso sono cresciuti e vissuti (residui vegetali, deiezioni e spoglie degli animali, etc.) i quali vanno incontro ai processi di decomposizione e trasformazione. Tali processi sono operati da svariati microrganismi terricoli che attaccano e trasformano i detriti traendone l'energia necessaria ai loro processi vitali, producendo composti utili per la nutrizione delle piante e per le caratteristiche della struttura del suolo.

L'intera componente organica di un suolo viene definita con il termine di sostanza organica (s.o.). La sostanza organica è di varia origine e si può trovare nel terreno a diversi stadi di evoluzione. Proprio per questo si possono distinguere tre raggruppamenti:

- *residui organici* ancora indecomposti. Essi sono costituiti da organismi animali (mesofauna e microfauna non più vitali) o vegetali (radici, foglie, parti di fusto, microflora). Tali composti verranno più o meno rapidamente attaccati da microrganismi e seguiranno un certo tipo di evoluzione in funzione della loro natura e dell'ecosistema nel quale vengono a trovarsi;

- *prodotti intermedi* della decomposizione. Sono anche definiti *humus labile*. Essi derivano dalla decomposizione dei residui organici e sono rappresentati da proteine, amminoacidi, carboidrati più o meno semplici, alcoli aromatici, grassi, vitamine, etc. Essi possono servire ai microrganismi per la sintesi dei composti umici, o evolversi verso la mineralizzazione, caso in cui si ha la immediata messa a disposizione di principi nutritivi unitamente alla produzione di acqua e anidride carbonica;
- *Humus o humus stabile*. Deriva dalla condensazione dei composti intermedi originati della decomposizione dei residui organici. E' un prodotto chimico di natura complessa, dotato di buona stabilità all'attacco microbico e con caratteristiche colloidali.

Da questo si può dire che sono i residui organici che permettono il perpetuarsi di un certo tasso di sostanza organica nel terreno in equilibrio con la mineralizzazione.

I vari livelli di trasformazioni della sostanza organica sono influenzati dalle varie tecniche di lavorazione del suolo, in quanto esse vanno a variare l'ambiente del "sistema suolo" agendo sul contenuto in aria e acqua e influenzando la temperatura, le quali sono alla base dell'attività dei microrganismi. Con la variazione della tecnica agronomica, quindi, e con il progressivo trascorrere del tempo, uno stesso terreno può variare il proprio contenuto in sostanza organica.

In un determinato ecosistema, il tasso di humus tende sempre a stabilizzarsi su valori che dipendono dalla presenza o assenza dell'attività agricola e su valori tipici per ciascuna tecnica agronomica impiegata. È importante considerare che la messa a coltura di un terreno naturale porterà ad abbassamento del livello di humus portandolo comunque a un livello stabile e permanente seppur inferiore. Il cambiamento fra le diverse tecniche agronomiche, e quindi il raggiungimento dei rispettivi livelli di humus, fanno sì che il terreno attraversi un periodo più o meno lungo definito fase transitoria.

La sostanza organica quindi esplica numerose funzioni nel terreno. Queste possono essere riassunte in:

- nutrizione, sia per assorbimento diretto dei composti organici sia, soprattutto, per la messa in circolo di elementi nutritivi che possono essere utilizzati dalle piante.
- Riduzione del tasso di P e K fissati nel terreno e resi poco disponibili per le piante.
- Aumento della C.S.C. del terreno, vista la natura colloidale dell'humus.

- Stimolo dell'accrescimento radicale e dell'assorbimento degli elementi nutritivi, grazie alla presenza di composti intermedi quali amminoacidi, nucleotidi, vitamine, antibiotici, auxine, etc.
- Azione sulla microfauna, microflora e sulle loro attività.
- Interazione con composti organici di sintesi, come ad esempio influenza l'efficacia dei diserbanti.
- Miglioramento delle proprietà fisiche del suolo attraverso la formazione di aggregati stabili, aumento della permeabilità dei terreni argillosi e della capacità di trattenuta idrica in quelli sabbiosi, riduzione della coesione e della tenacità nei terreni ricchi nella componente argillosa.

Oltre a tutte le caratteristiche positive appena enunciate, non bisogna trascurare anche alcuni aspetti sfavorevoli che si possono incontrare, quali:

- bloccaggio di alcuni elementi minerali, in particolare l'N, durante l'umificazione;
- sottrazione di ossigeno o formazione di alcuni composti tossici;
- conservazione dell'attività di alcuni parassiti animali o vegetali;
- azione sfavorevole alla struttura in mezzo riduttore umido.

La sostanza organica del terreno tende praticamente sempre a evolversi verso la mineralizzazione. Tuttavia, prima di tale processo, essa può trovarsi allo stadio di humus stabile e di humus labile per periodi più o meno lunghi. I fattori che condizionano tale evoluzione sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo, sono:

- a) il tipo di sostanza organica. Essa influenza innanzitutto il tipo di microflora e microfauna presente, nonché la loro attività, e quindi anche il risultato finale. Inoltre la composizione determina l'attitudine della sostanza organica ad essere umificata o mineralizzata, a possedere cioè un coefficiente isoumico alto o basso. A tal proposito è di fondamentale importanza il rapporto C/N oltre al rapporto fra costituenti di facile o difficile degradazione e la presenza nei tessuti di sostanze biologicamente attive
- b) il clima. Esso interviene prima nel determinare il tipo di sostanza organica e la quantità prodotta annualmente, e poi nell'orientare la sua evoluzione nel terreno.
- c) il tipo di terreno. Esso gioca un ruolo fondamentale in relazione alla sua tessitura, alla ricchezza in basi e al rapporto acqua/aria contenuta. In generale, una forte aerazione favorisce l'eremacausi (rapida mineralizzazione) mentre un equilibrato

rapporto acqua/aria favorisce il maggior rendimento in humus, mentre il ristagno può portare alla torbificazione.

- d) l'intervento dell'uomo. Si esplica attraverso un complesso di azioni (lavorazioni, concimazioni, sistemazioni, irrigazioni, avvicendamenti, etc.) le quali modificano il livello di sostanza organica nel suolo portandolo a livelli permanenti e caratteristici di ciascuna tecnica agronomica.

Nel momento in cui si parla di sostanza organica è obbligatorio considerare anche il carbonio. Quest'ultimo è un elemento chimico costituente tutti i composti di natura organica. Tutte le trasformazioni a carico dell'ecosistema sono regolate dal ciclo del carbonio.

Un particolare sguardo deve essere rivolto alla CO<sub>2</sub> atmosferica, in quanto esse aumenta sempre più a causa soprattutto delle emissioni gassose dalla combustione dei carburanti di origine fossile e della deforestazione.

La fissazione del carbonio atmosferico, è vista come una via di eliminazione parziale delle emissioni atmosferiche dei carburanti fossili; richiede la modificazione delle pratiche di gestione del terreno, in quanto si deve ottimizzare l'uso degli antiparassitari, dell'irrigazione e della meccanizzazione. L'associazione fra le emissioni di carbonio e il cambiamento delle pratiche agricole, tradizionalmente non sono state associate alle analisi di fissazione del carbonio. Sulla base della media degli inputs delle colture, la non lavorazione emette meno CO<sub>2</sub> delle operazioni colturali convenzionali, rispettivamente 137 e 168 Kg C Ha<sup>-1</sup> all'anno. Il cambiamento dalla lavorazione convenzionale alla non lavorazione porta all'affermazione sia dell'aumento della fissazione del carbonio che alla diminuzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

La frazione di carbonio organico e di sostanza organica presenti nel terreno sono i più importanti indicatori per quella che è la qualità di un suolo. Studi effettuati nel lungo periodo hanno mostrato come gli apporti di materiale organico, adeguate fertilizzazioni e rotazioni delle colture possono mantenere i livelli produttivi con un incremento della quantità di C immessa nel terreno. L'aumento del livello tecnologico disponibile oggi in agricoltura e le diverse soluzioni a livello di input che è possibile immettere nel processo produttivo, consentono con sempre maggior frequenza di andare a sopperire a carenze produttive dovute ad una diminuzione delle qualità intrinseche del suolo. Un aumento dei fattori produttivi immessi nel processo rischia quindi di portare a effetti negativi a livello ambientale con una progressiva diminuzione delle caratteristiche oltre ad avere una

riduzione della sostenibilità economica dell'intero processo. Per sopperire a quelle che sono le crescenti esigenze di un terreno sottoposto a lavorazioni intensive e impoverimento molto spesso si cerca di tamponare a situazioni limite con interventi che vanno ad intaccare il già ridotto margine di guadagno che è possibile desumere dalla coltivazione di una coltura (D.W. Reeves, 1997).

Parlando in termini pratici si possono individuare una serie di parametri che presi nel complesso hanno la funzione di dare un'indicazione su quello che è lo stato del terreno e le risposte che può dare. Fra questi troviamo la frazione di carbonio e sostanza organica, la capacità idrica, il livello di infiltrazione, la formazione di aggregati del terreno e la loro stabilità, la densità del suolo, la resistenza del suolo alla penetrazione, la capacità di scambio cationico, gli enzimi e il livello di bioindicatori presenti nel terreno. Se non vi sono apporti di C mediante una gestione ragionata dei residui colturali o mediante la reintegrazione utilizzando fertilizzante organico, le pratiche di agricoltura conservativa possono solo rallentare il processo di perdita di carbonio organico dal terreno. Se però la gestione sostenibile delle colture prevede anche una reintegrazione della frazione organica, la combinazione delle due tecniche porta ad un progressivo aumento del livello della componente organica nel suolo con un miglioramento della fertilità e delle caratteristiche del terreno a vantaggio delle piante coltivate (P.P. Chivenge et al., 2006).

La presenza di una buona dotazione di sostanza organica è un fattore determinante per valutare se un terreno risulta essere dotato o meno di una buona fertilità, parametro che avrà una forte influenza sull'accrescimento della pianta. L'evoluzione del quantitativo di sostanza organica di cui è dotato il terreno è fondamentalmente influenzata dal tipo di gestione del terreno come ad esempio le lavorazioni che vengono effettuate, l'effetto benefico che possono avere i residui quando presenti e gli eventuali apporti di fertilizzante organico con cui viene integrata la situazione iniziale.

La rimozione dei residui o la perdita della loro interazione positiva con la dinamica del terreno porta ad una diminuzione progressiva del contenuto di sostanza organica e carbonio organico nel terreno, fenomeno che risulta accentuato soprattutto su superfici gestite con le tecniche convenzionali di lavorazione del suolo. Le lavorazioni infatti giocano un ruolo fondamentale nella gestione dei nutrienti del terreno e conseguentemente anche sulla sostanza organica presente nel terreno stesso. Le maggiori perdite a livello di elementi nutritivi si hanno con l'adozione di tecniche convenzionali; si va incontro quindi ad una perdita di C fissato nel terreno oltre che all'N che viene facilmente dilavato. Oltre

alla perdita di nutrienti si ottiene anche una accelerazione dei processi di mineralizzazione, in quanto i residui vengono interrati in profondità, a scapito dei processi di umificazione con una progressiva diminuzione della sostanza organica presente nel suolo.

La presenza di sostanza organica nel suolo è anche legata oltre che alla diversa gestione della tecnica colturale anche al tipo di terreno nella quale ci si trova ad operare e in particolar modo al quantitativo di argilla contenuto in esso. In queste situazioni infatti risulta più conveniente infatti cercare di disturbare il meno possibile il terreno per limitare al massimo le perdite di C organico. Le maggiori perdite in termini di contenuto di sostanza organica si hanno su terreno che presentano una composizione più grossolana, quindi con prevalenza di sabbia, mentre nel caso la frazione di argilla risulti essere preponderante le perdite sono ridotte. La presenza di limo e argilla nella composizione del terreno facilitano l'immobilizzazione di sostanza organica andando a formare aggregati che hanno il compito di mantenerla nel terreno evitando le perdite. In terreni che presentano un buon contenuto di argilla la mineralizzazione del carbonio è ridotta. Oltre alla formazione di aggregati porta anche alla formazione di una certa strutturalità del profilo interessato dalle radici con risvolti positivi bei confronti dell'accrescimento della pianta. Proprio per questo motivo, la tipologia di lavorazione incide molto su quella che è la struttura del suolo. Andando a gestire in modo convenzionale l'appezzamento, con lavorazioni che prevedono un rivoltamento degli strati di terreno e con i successivi passaggi per compiere l'affinamento, si vanno a distruggere tutti quegli aggregati che si sono formati compromettendo la struttura del suolo. Se ogni anno si ripete questo percorso colturale non è possibile pensare di ottenere un miglioramento a livello strutturale progressivo; tutto questo si riflette anche sul contenuto di sostanza organica in quanto si va a facilitare la perdita della stessa dal terreno e quindi si ha un continuo impoverimento e perdita di fertilità.

È possibile stabilire quindi che con un minore disturbo del suolo legato ad una semplificazione delle lavorazioni è possibile limitare le perdite di materiale organico e incrementare la formazione di aggregati stabili nel terreno (Chivenge et al., 2006).

Le lavorazioni conservative, specialmente la semina diretta, danno luogo a suoli con maggiore contenuto di sostanza organica, grazie ad una maggiore stabilità degli aggregati e all'incremento della proporzione di macroaggregati, che proteggono efficacemente la sostanza organica dalla sua decomposizione (Fernandez P.

### **1.2.1.3 - Erosione**

L'erosione è un fenomeno complesso e solitamente sottovalutato dall'agricoltore alla ricerca di sempre maggiori produttività ottenibili dalle colture. Essa costituisce una delle cause principali di degradazione del suolo agricolo e, benché sia un fenomeno naturale, la sua intensità viene notevolmente accelerata dalle pratiche di coltivazione.

Con il termine erosione si indica lo spostamento, più o meno consistente, di particelle terrose superficiali ad opera di agenti esogeni. Quando il processo erosivo avviene a opera dell'azione del vento viene denominata erosione eolica, mentre nel caso tale azione venga esplicata dall'acqua, si parla di erosione idrica. Correlata all'erosione vi è la sedimentazione, in quanto i materiali asportati verranno successivamente depositi ad una distanza più o meno diversa a seconda del tipo di azione e della sua intensità.

#### *Erosione eolica*

Il processo di erosione eolica si verifica con maggior facilità nelle zone percorse da venti violenti caratterizzate da notevole ampiezza, assenza di vegetazione o con copertura vegetale rada e discontinua, e con terreno prevalentemente secco e particelle elementari prive di coesione. L'erosione eolica si manifesta attraverso tre meccanismi distinti a seconda della granulometria delle particelle. Le particelle più fini ( $\varnothing < 0,05 - 0,1$  mm) si muovono formando nubi in sospensione, le particelle medie ( $\varnothing$  tra 0,1 e 0,5 mm) si muovono per salti successivi, mentre per le particelle più grosse ( $\varnothing$  fino a 2 mm o più) il movimento avviene per strisciamento o per rotolamento sulla superficie del suolo. La distanza a cui possono essere trasportate tali particelle, e il modo in cui avviene questo, dipende, oltre che dal loro diametro, dalla velocità del vento, dalla densità e soprattutto dalla coesione.

#### *Erosione idrica*

L'erosione idrica avviene ad opera dell'azione dell'acqua presente in diversi stati e fasi sul terreno. Sui terreni agrari, ma non solo, l'erosione idrica può manifestarsi nelle due forme qui di seguito descritte:

- Erosione per incisione: avviene per asportazione del terreno da parte di piccoli rivoli d'acqua che si formano durante lo scorrimento superficiale. Tale fenomeno, inizialmente, è visibile soprattutto nei terreni arati sui quali si osservano incisioni poco profonde e anastomizzate fra loro (erosione a reticolo). Una fase successiva comporta l'approfondimento di alcune di tali incisioni per tutto lo strato attivo e oltre; questo tipo di fenomeno è accentuato nel caso sia presente una certa pendenza sul terreno.
- Erosione laminare: per questo tipo di erosione si possono ricordare due meccanismi spesso coesistenti. Il primo è imputabile all'acqua che fluisce uniformemente sulla superficie e che trascina con sé le particelle di terreno. Questo fenomeno è favorito dall'azione disperdente sui materiali argillosi e limosi; da non sottovalutare è l'azione abrasiva operata dallo stesso materiale in sospensione che tende ad incrementare la frazione erosa. Il secondo tipo di erosione laminare è da ricondurre all'effetto della caduta delle gocce su di un terreno in pendio. Queste ultime determinano, attraverso schizzi di materiale fangoso, uno spostamento (fenomeno detto "splashing") asimmetrico delle particelle terrose verso valle. Naturalmente la consistenza pratica di tale fenomeno è data dall'enorme numero di gocce cadute con la pioggia e un fattore che influenza la consistenza del fenomeno è legato all'intensità di pioggia.

Gli inconvenienti che si possono avere in seguito a fenomeni di erosione sono molteplici e fra questi ricordiamo: la riduzione dello strato attivo del suolo con conseguente diminuzione della fertilità, la formazione di strati di erosione e di sedimentazione omogenei per tessitura visto che il vento opera una vera e propria cernita granulometrica, il trasporto di semi di malerbe, lo scalzamento delle colture in atto o asportazione dei loro semi, il danneggiamento della vegetazione in seguito all'urto delle particelle trasportate con l'aria, il ricoprimento di appezzamenti e piante in seguito a sedimentazione, intasamento di manufatti vari (strade, rete scolante, etc.) con intralcio alla loro funzionalità.

Gli inconvenienti legati a questo fenomeno possono essere vari: peggioramento della fertilità (nel caso in cui il materiale depositato possieda caratteristiche poco favorevoli all'agricoltura), intasamento di canali e manufatti, nonché impaludamenti, etc.

Per quanto riguarda le tecniche di prevenzione e/o limitazione dell'erosione esse possono essere ricondotte principalmente ai ruoli sostenuti dalla topografia, dalla copertura vegetativa e dalle tecniche agronomiche attuate. Il ruolo sostenuto dalle caratteristiche topografiche è molto importante in quanto la pendenza del suolo, la larghezza del pendio e la sua uniformità influenzano grandemente la massa d'acqua che fluisce in superficie, la sua velocità, l'effetto dello splash (solo la pendenza) e quindi la quantità di materiale eroso.

In aiuto a ciò può venire incontro una corretta gestione della regimazione delle acque, ma soprattutto l'intervento di maggiore controllo del fenomeno erosivo è operato dalla copertura vegetativa, la quale interviene attraverso:

- assorbimento parziale dell'energia cinetica delle gocce e attenuazione, più o meno efficace dell'azione battente;
- rallentamento dell'afflusso dell'acqua sul terreno con conseguente rallentamento del deflusso superficiale o profondo della stessa;
- ritenzione parziale dell'acqua con successiva evaporazione o assorbimento e quindi tale acqua non arriva al terreno.

Nel momento in cui l'acqua arriva al suolo, il fenomeno erosivo è contrastato ancora una volta dalla presenza delle piante, attraverso:

- miglioramento generale delle proprietà del suolo (struttura, permeabilità, capacità di campo, etc.) ad opera delle radici e della sostanza organica in genere;
- intralcio allo scorrimento superficiale dell'acqua;
- imbrigliamento delle particelle terrose ad opera delle radici.

È chiaro quindi che risulta necessaria la copertura del terreno per un maggior periodo lungo tutto l'arco dell'anno per evitare gli inconvenienti appena affrontati.

Le tecniche di lavorazione conservativa danno la possibilità di garantire un'ottimale gestione dei residui colturali (abbinandole magari alle cover crop), un posticipo della lavorazione primaria in prossimità della semina, affinamento adeguato del terreno (da evitare comunque l'eccessiva affinatura), miglioramento della porosità e quindi della capacità di infiltrazione aumentando il contenuto in sostanza organica, e limitazione dei fenomeni di compattamento.

La scelta delle tecniche di lavorazione più opportune deve essere fatta tenendo in considerazione anche la precessione colturale e lo stato dell'appezzamento, sia in superficie, che in profondità. Bisogna tenere conto della presenza dei residui colturali,

quantità, consistenza e stato di decomposizione, possono ostacolare l'azione di un certo tipo di attrezzatura fino a renderla inutilizzabile. Cereali autunno-vernini, mais da granella, sorgo, prati lasciano sul campo molti residui colturali a differenza del girasole, soia, cereali di cui si è raccolta la paglia, mais raccolto allo stato ceroso, barbabietola, patate ecc. Tuttavia, per ovviare al problema della consistente presenza di residui, basta effettuare una accurata trinciatura degli stessi ed una accurata distribuzione sulla superficie.

### **1.2.2 - Effetti delle lavorazioni sulla erosione dei suoli**

Se si considera che il meccanismo dell'erosione idrica è rappresentato dal distacco delle particelle di terreno, dal loro trasporto e dal successivo deposito, si può comprendere come i principali agenti erosivi siano costituiti dall'impatto delle gocce di pioggia e dallo scorrimento superficiale dell'acqua. La forza di tali agenti erosivi e, di conseguenza, l'incidenza dell'erosione idrica, possono essere notevolmente influenzati dalle condizioni della superficie su cui si svolge il fenomeno. A tal riguardo, le lavorazioni conservative del terreno costituiscono gli strumenti più efficaci per il controllo dell'erosione e il mantenimento della qualità dell'acqua di scorrimento in uscita dagli appezzamenti. Attraverso le lavorazioni conservative ed i processi di meccanizzazione adottati per la loro esecuzione, è possibile condizionare lo stato della superficie del terreno e, in particolare, la rugosità superficiale, il compattamento del terreno e la presenza di residui colturali in superficie, i quali si dimostrano in grado di influenzare lo scorrimento superficiale mediante il controllo dei seguenti elementi:

- velocità di scorrimento. Viene ridotta all'aumentare della rugosità superficiale che, a sua volta, può essere aumentata riducendo l'intensità di lavorazione, il numero di passaggi e con la corretta gestione dei residui colturali;
- superficie di accumulo. Le pratiche che aumentano la superficie di accumulo generalmente riducono il volume totale perso per scorrimento e aumentano l'infiltrazione;
- conducibilità e accumulo di umidità. Le lavorazioni conservative del terreno ed il controllo del traffico dei veicoli sugli appezzamenti, aumentano il numero e il diametro dei macropori, i quali possono incrementare la conducibilità e l'infiltrazione;

- la forza dell'impatto delle gocce di pioggia. Tale elemento, oltre a provocare il distacco delle particelle di terreno, contribuisce alla formazione della crosta superficiale che, molto spesso, è un fattore limitante l'infiltrazione.

La continua riduzione della copertura vegetale presente sul suolo aumenta i fenomeni erosivi e di conseguenza la lisciviazione dei nutrienti con un incremento progressivo dell'eutrofizzazione.

In caso di fenomeni piovosi, la presenza di copertura vegetale o di residui della coltura precedente, consente di ridurre l'effetto dovuto all'impatto della particella di acqua sul terreno e di conseguenza diminuisce l'azione di trasporto che avviene ai danni delle frazioni di terreno andando a costituire quelle che sono le basi per l'agricoltura conservativa.

L'influenza positiva della copertura superficiale, sia essa costituita da residui o da vere e proprie colture di copertura, nei riguardi del controllo dei fenomeni di ruscellamento, si esercita mediante i seguenti meccanismi:

- Riduzione dell'azione battente della pioggia con dissipazione dell'energia cinetica in attriti e lavoro di deformazione degli organi epigei e/o dei residui;
- Diminuzione della velocità di scorrimento per la maggiore scabrezza della superficie e per il percorso più tortuoso in cui l'acqua è costretta a circolare con conseguente riduzione anche del trasporto solido e della perdita di elementi nutritivi;
- Trattenimento del suolo ad opera della parte ipogea delle piante, in particolare in caso delle colture di copertura. Si evidenzia inoltre un miglioramento della struttura ad opera sia delle radici viventi che, indirettamente, dell'apporto di sostanza organica umificata riscontrabile nel favorevole regime biotico sodivo (Bortolin E. et al., 1992).

### **1.2.3 - Effetti delle lavorazioni sulla struttura dei suoli**

L'alterazione dello spazio fra i pori del suolo è una delle caratteristiche più evidenti che si possono avere dopo che sono state eseguite le lavorazioni, le quali, oltre a mettere in evidenza un disturbo sulla superficie, influiscono sulla disposizione interna di pori ed aggregati, influenzando così la struttura del terreno. Da essa dipendono i rapporti fra la fase solida, liquida e gassosa del terreno, o meglio dal tipo di struttura dipende la porosità, la quale è il principale fattore dell'infiltrazione e drenaggio profondo dell'acqua, oltre che del potenziale con la quale viene trattenuta, della aerazione del suolo, dello sviluppo ed

approfondimento radicale delle piante oltre che della riuscita della semina e di una buona germinazione (Braunack and Dexter, 1989; Freitas et al., 1999). Si può comprendere, quindi, come uno dei principali scopi dell'esecuzione delle lavorazioni sia il ripristino della porosità del suolo, in quanto le attività agricole intensive tendono, generalmente, a destrutturare il suolo stesso, cioè a ridurre la porosità e la struttura presenti. Di pari passo diventa però importante anche la valutazione degli effetti che le lavorazioni hanno sulla struttura, attraverso il calcolo della porosità e dimensione di pori, l'analisi di immagini di suolo per la valutazione della continuità della porosità, infine, la valutazione della conducibilità idraulica e della stabilità degli aggregati. Attraverso tali valutazioni si determina, infatti, il successo o l'insuccesso di una lavorazione. I numerosi studi condotti sulla efficacia delle lavorazioni nei suoli hanno però messo in dubbio l'azione benefica delle lavorazioni sulla struttura. Contrariamente a quanto si pensa, la struttura che deriva dalla adozione di metodi convenzionali di lavorazione, pur presentando una buona porosità, non risulta caratterizzata da un rapporto ottimale tra le fasi solida, liquida e gassosa, dato che con le lavorazioni primarie si formano generalmente macroaggregati di terreno compresso inframmezzati da spazi di grandi dimensioni. L'esecuzione intensiva di lavorazioni può inoltre distruggere gli aggregati di maggiori dimensioni, aumentando così l'instabilità delle particelle, o piccoli aggregati del terreno, di fronte all'impatto con diversi agenti degradanti, quali la goccia di pioggia, l'acqua, il passaggio di macchinari, ecc. La maggiore suscettibilità a questi agenti e la necessità di rimuovere i sintomi delle attività agricole precedenti, comporta così l'instaurazione di un ciclo lavorazioni-destrutturazione-lavorazioni-destrutturazione che porta ad una maggiore intensificazione delle lavorazioni e che non risolve del tutto il problema, anzi aggrava alcuni inconvenienti connessi con la stabilità della struttura stessa (ad esempio la riduzione del contenuto sostanza organica) (Bortolin E. et al., 1992).

Diversi sono gli effetti della non-lavorazione: alcuni studi condotti in suoli argillosi misero, infatti, in risalto come nonostante la porosità totale fosse maggiore nei suoli lavorati che nei non lavorati, la proporzione di pori da 30 a 500  $\mu\text{m}$  era maggiore in questi ultimi. Con la non-lavorazione, inoltre, i pori erano più regolari, facilitando così l'accesso delle radici ad un maggiore volume di suolo.

A conclusioni simili arrivarono altri studi condotti in un suolo franco-sabbioso nel quale le lavorazioni, pretendendo di aumentare la disponibilità di acqua per la pianta, distruggendo la struttura favorirono la dispersione delle particelle inducendo la formazione di una crosta

superficiale che impedi l'infiltrazione di acqua. Il mantenimento di una copertura vegetale e la riduzione delle lavorazioni evitarono invece la formazione della crosta, oltre ad aumentare la macroporosità del suolo non lavorato: alla fine dell'ottavo anno di sperimentazione esso, infatti, presentava un maggior numero di pori con dimensione maggiore di 175  $\mu\text{m}$ .

Il non interrimento dei residui permette una migliore strutturazione degli strati superficiali, in quanto la sostanza organica originatisi dalla naturale decomposizione dei residui permette la formazione di aggregati di varie dimensioni, ai quali corrisponde una migliore proporzione fra macro e microporosità. La copertura che il residuo esercita sul terreno impedisce, inoltre, che il terreno dissechi velocemente evitando così, alla esecuzione di una eventuale lavorazione, una rottura più intensa degli aggregati.

Questi risultati confermano che è possibile adottare sistemi di lavorazione alternativi per prevenire la degradazione fisica del terreno e che l'applicazione di materiali organici è essenziale per incrementare la qualità strutturale del terreno.

#### **1.2.4 - Effetti delle lavorazioni sulla distribuzione della energia solare e sul regime termico del suolo**

La radiazione solare che arriva al suolo passando attraverso l'atmosfera, si compone di una parte ricevuta in forma diretta e di un'altra ricevuta in forma diffusa. Tale radiazione è, per i suoli, l'unica fonte di energia, è quindi importantissima in quanto condiziona positivamente il regime termico e l'evaporazione dei suoli stessi, oltre che la traspirazione delle piante. L'insieme della radiazione ad onda corta e ad onda lunga intercettata dal suolo, oltre che ad altri fattori non modificabili (quali l'esposizione e la posizione del suolo in esame), può essere modificato dal coefficiente di riflessione, o coefficiente di albedo, che la superficie del terreno può presentare. Un terreno con basso potere riflettente assorbe molta più radiazione, quindi presenta una maggiore regime termico ed una maggiore intensità dei fenomeni evapotraspirativi. I diversi tipi di suoli e superfici agricole possono riflettere in maniera differente le radiazioni ricevute, dato che in natura non esiste una superficie ove sia assente un certo potere riflettente.

A parità di suolo, le differenze tra i coefficienti di riflessione dei suoli lavorati dipende dal tipo di lavorazione eseguita. A lavorazioni che esponano il suolo sottostante o aumentino l'asprezza superficiale corrisponde una diminuzione del coefficiente di riflessione, in quanto il suolo sottostante si presenta generalmente più scuro, oltre ad essere maggiore la possibilità che la radiazione riflessa dalle diverse superfici delle zolle creatisi, resti intercettata nel terreno stesso. Quindi quando un suolo si lavora diminuisce la riflessione; al contrario, quando questo viene lavorato troppo finemente, la quantità di radiazione riflessa aumenta, seppur in piccola forma. A titolo di esempio, un terreno arato presenta un minore potere riflettente, seguito dalla sequenza aratro-erpice a dischi e terminando con la sequenza aratro-erpice a dischi-rullo compattatore. Altri fattori che possono modificare il potere riflettente e che possono essere influenzati dalle lavorazioni sono la presenza di acqua nel suolo (un suolo umido riflette meno che un suolo secco), la presenza di sostanza organica (che tende ad aumentare l'assorbimento della radiazione solare, seppur modestamente) e la presenza di colture o residui vegetali. In quest'ultimo caso, è difficile caratterizzare il loro potere riflettente, resta comunque fermo il concetto secondo il quale un suolo coperto tende a riflettere più radiazione solare che non un suolo nudo. Generalmente, tale potere riflettente aumenta in funzione dell'aumento della densità della copertura sulla superficie, anche se esso può variare dal tipo di copertura: una coltura di

frumento a maturazione riflette molto più di un terreno lasciato a set-aside, come, con l'avanzamento dello stato di decomposizione dei residui della coltura precedente, diminuisce notevolmente il potere riflettente di questi.

Da quanto detto qui sopra si può capire quindi che un terreno lavorato o scoperto riflette meno di un terreno che presenta nella sua superficie colture o residui colturali, da ciò deriva che un terreno lavorato assorbe più energia. La presenza di un maggiore regime termico può comportare dei vantaggi, ma anche svantaggi: esso infatti può permettere una migliore emergenza della coltura, ma può anche accelerare i fenomeni evapotraspirativi, i quali portano ad un più rapido svuotamento idrico del suolo, soprattutto nelle zone semiaride o nei mesi estivi.

Altra caratteristica importante che la copertura di residui vegetali può influenzare sul regime termico del suolo è la trasmittanza, o capacità di trasmettere al suolo l'energia ricevuta dalla radiazione solare. Ebbene, alcuni studi scoprirono che la copertura con residui vegetali di mais o di avena aveva una trasmittanza relativamente bassa, la quale può da luogo a differenze notabili di temperatura fra la superficie esterna, esposta all'atmosfera, e la superficie interna, a contatto con il suolo. A tutti gli effetti si può dire quindi che la copertura vegetale ha un effetto protettivo sul regime termico del suolo, esponendolo meno alle variazioni di temperatura dell'atmosfera, in particolare al calore dei mesi estivi.

Il calore ricevuto dai residui può essere trasmesso al suolo oltre che per radiazione, per conduzione (attraverso le molecole di uno stesso corpo in contatto con il suolo) e per convezione (muovendosi congiuntamente con qualche fluido). Generalmente gran parte del calore si trasporta, dal residuo al suolo e all'interno del suolo stesso, per conduzione o per convezione; in condizioni di elevato calore, diventa però predominante la trasmissione del calore per radiazione. Si può capire, quindi, che una lavorazione che modifichi la disposizione di particelle, aggregati e pori ha un effetto importantissimo sulla conduzione e convezione del calore all'interno del suolo, quindi, anche da questo punto di vista, la lavorazione influisce notevolmente sul regime termico del suolo.

La conduzione in un mezzo è regolata da 2 parametri: la conduttività termica, che rappresenta il quoziente tra l'intensità del flusso di calore in un mezzo ed il gradiente termico, e la capacità calorifica, che è la conversione del calore trasmesso in incremento di temperatura. In un suolo di differente composizione, ambo i parametri dipendono dalle proprietà dei singoli componenti del suolo le quali sono variabili.

La capacità calorifica del suolo è nell'insieme una media ponderata delle rispettive capacità dei componenti con la frazione volumetrica occupata da ciascuno. La maggiore o minore porosità, provocata dalla lavorazione, modifica la capacità calorifica di un suolo, anche se la maggiore modificazione è nella conduttività termica. La conduttività termica si stima come conduttività media globale del suolo ed è la media ponderata delle conduttività rispettive nel mezzo continuo, composto da acqua o da aria, nel quale stanno disperse le particelle solide. La modificazione dello spazio poroso cambia notevolmente il valore della conduttività termica. Nei suoli dotati di una certa espansibilità, il disseccamento forma grandi fessure che si aprono verso l'esterno: lo spazio poroso cambia di volume e la frazione gassosa acquista molta importanza. La continuità verticale creata dalle fessure ha un effetto simile alla continuità di un materiale solido, conferendo al suolo valori di conduttività simili ai suoli rigidi. Se il suolo si sminuzza con una lavorazione intensa, si riduce la conduttività termica, a causa della rottura della continuità della frazione solida. Da qui la definizione che il lavoro cambia apprezzabilmente le proprietà termiche di un suolo. Diminuendo le lavorazioni aumenta la conduttività, tanto da non apprezzare differenze notabili nella capacità calorifica. Il cambio di conduttività termica dipende, infatti, dalla diversa disposizione delle particelle dopo il passaggio di un attrezzo.

Da studi sulla temperatura di campioni di suolo ben strutturati ed astrutturati (dopo l'esecuzione di una lavorazione molto energica), dopo che questi sono stati sottoposti a cicli successivi di irrigazione e disseccamento, i campioni ben strutturati dimostrarono una conduttività termica maggiore che non i suoli astrutturati, nonostante la capacità calorifica si mantenne con valori molto prossimi in ambo i casi (Giraldez Cervera J. V., 1996).

### **1.2.5 - Effetti sul contenuto di acqua dei suoli**

L'acqua è un elemento base per la produzione agricola in quanto è la principale risorsa limitante per il rendimento delle colture. Se a questo si aggiunge che le precipitazioni atmosferiche sono le principali forme di rifornimento idrico per le colture, si può facilmente comprendere come l'acqua è anche una risorsa limitata che non può essere modificata dall'uomo. Da questa considerazione deriva quindi l'importanza economica ed anche etica di una utilizzazione efficiente di tale risorsa, migliorando la sua captazione e la sua distribuzione, sia in ambienti irrigui che non irrigui. In questi ultimi ambienti, ove la quantità massima di acqua disponibile corrisponde con la quantità totale fornita dalle

precipitazioni, la massimizzazione della produzione per unità di acqua piovana può essere raggiunta attraverso:

- l'incremento della capacità di captazione del suolo, cioè l'aumento della propria capacità di campo e la diminuzione delle perdite per scorrimento e drenaggio profondo;
- la riduzione delle perdite per evaporazione diretta, conseguita con la protezione del suolo dall'azione seccante del sole e con la diminuzione delle perdite per capillarità e per trasferimento di vapore acqueo dal suolo all'atmosfera.

Diverse sono le strategie che si utilizzano per incrementare l'acqua disponibile per le colture in ambienti non irrigui, fra queste risaltano: misure di sistemazione e miglioramento fisico del suolo, la rotazione colturale lasciando a riposo i terreni per certi periodi, la copertura del terreno con residui o colture di copertura, la selezione di cultivar adatte, l'uso razionale di fertilizzanti in funzione della disponibilità del suolo e del consumo di acqua da parte delle colture, il controllo di malerbe ed i diversi sistemi di lavorazione del terreno. Tra queste questi ultimi i sistemi raggruppati nelle lavorazioni conservative hanno raggiunto risultati interessanti dal punto di vista del risparmio dell'acqua.

Il risparmio di acqua che si ottiene con le lavorazioni conservative, si ottiene dai diversi effetti che produce il mantenimento della copertura di residui vegetali che si potrebbero dividere in effetti diretti ed indiretti.

Il primo effetto diretto afferisce alla riduzione dell'acqua dai suoli nelle prime fasi del processo evaporativo ed è dovuto alla riduzione del trasferimento del vapore acqueo all'atmosfera per la presenza della copertura vegetale. Un secondo aspetto diretto è l'incremento della quantità di acqua infiltrata nel suolo attraverso la limitazione della velocità di scorrimento superficiale dell'acqua e l'aumento della possibilità per l'acqua di circolare fino alle zone profonde del profilo del suolo. Un terzo aspetto diretto è l'effetto protettivo che la copertura ha su di un terreno nudo: la copertura, infatti, limita la disgregazione degli aggregati e la conseguente formazione della crosta superficiale, la quale si forma dall'azione battente della goccia di pioggia e grava negativamente sulla riduzione della velocità di infiltrazione.

Gli effetti indiretti positivi sono quelli relazionati ad una buona presenza della sostanza organica e alla buona strutturazione fisica dei suoli. La buona struttura dello strato superficiale di un suolo è quasi sempre conseguenza di una maggiore accumulazione della sostanza organica, la quale aumenta la resistenza fisica alla disgregazione degli aggregati

e aiuta a combattere la formazione della crosta superficiale. La buona strutturazione negli strati medi e profondi del suolo suppone un incremento nell'immagazzinamento dell'acqua, oltre ad una buona circolazione a zone profonde dove l'acqua può essere solo a disposizione della coltura e non della evaporazione diretta. L'ultimo aspetto indiretto avviene attraverso della riduzione della erosione. Il suolo infatti è un magazzino di acqua, se si perde il suolo si perde la capacità di immagazzinare.

### **1.2.6 - Effetto delle lavorazioni sulla infiltrazione di acqua nei suoli**

Il volume totale di acqua infiltrata può essere incrementato prolungando il tempo di permanenza della stessa sopra la superficie e/o aumentando la capacità di infiltrazione del suolo. In funzione del tipo di utensile, la lavorazione influenza in maniera diversa le proprietà dello strato lavorato. Generalmente, si producono cambi nei microrilievi o rugosità della superficie e nella densità apparente: aumenta la rugosità e diminuisce la densità. Questi cambiamenti hanno un carattere temporale e la loro persistenza dipende dalla stabilità strutturale del suolo e dalla aggressività degli agenti esterni. L'aumento della rugosità incrementa la capacità di immagazzinamento di acqua nella superficie a valori che raramente superano i 10 mm. La diminuzione di densità si traduce in un aumento della porosità totale e in particolare del numero di macropori, che favoriscono l'entrata dell'acqua. Per esempio, una lavorazione di 20 cm che provoca un aumento del 20% nel volume di pori può provocare che l'acqua piovana infiltrata aumenti a 20 mm, sempre che i cambiamenti si mantengano inalterati durante il persistere della la pioggia.

Quando mediante una lavorazione si rompe o si altera la geometria dello spazio poroso di uno strato di terreno poco permeabile, si favorisce notevolmente la velocità di infiltrazione a scapito dello scorrimento superficiale, aumentando così il volume di acqua infiltrata. Tuttavia, l'impatto positivo della lavorazione nel volume totale di acqua infiltrata è limitato e dovuto esclusivamente ad un aumento della capacità di immagazzinamento nello strato lavorato fino alla saturazione dello stesso. L'esistenza di questa limitazione nel volume immagazzinato è quasi sempre conseguenza dell'uso sbagliato o dell'abuso della lavorazione. Inoltre, i sistemi che contribuiscono alla incorporazione dei residui prima della lavorazione, oltre a favorire la rapida mineralizzazione della sostanza organica ed il conseguente deterioramento della stabilità strutturale degli aggregati, lasciano la superficie del suolo totalmente esposta alle aggressioni dirette della pioggia e del vento.

Infatti, l'impatto meccanico delle gocce di pioggia e le alternanze umido/secco contribuiscono alla disgregazione ed alla successiva dispersione delle particelle del terreno, facilitando la creazione di uno strato sottile che sigilla la superficie del terreno. Con il disseccamento, tale strato si indurirà e formerà una crosta con alta impedenza meccanica a qualsiasi tipo di penetrazione, la quale limiterà l'infiltrazione dell'acqua nelle piogge successive e, se si manterrà secca, renderà difficile l'emergenza delle piante.

Altra conseguenza frequente della lavorazione è la formazione di una suola di lavorazione. Questo strato diminuisce la capacità di infiltrazione del suolo nel suo profilo, oltre ad essere un ostacolo per la penetrazione del sistema radicale. Per romperla e per ovviare ai suoi effetti bisogna ricorrere alla ripuntatura ed al cambiamento del sistema di lavorazioni che si eseguono nei terreni, poiché se non vengono modificate le pratiche lavorative, lo strato tenderà a consolidarsi di nuovo e gli effetti correttivi della ripuntatura non si manifesteranno prima di uno o più anni.

Da quanto visto, gli effetti a lungo termine delle lavorazioni sulla infiltrazione di acqua nel suolo sono frequentemente negativi, al contrario la non-lavorazione, oltre a produrre risultati nettamente migliori sulla infiltrazione dell'acqua, migliora la conduttività idraulica, la densità apparente, la percentuale di aggregazione e la capacità di scambio cationico nello stato superficiale del suolo.

Un altro effetto non desiderato della lavorazione è la rottura dei biopori creati dalle radici delle colture precedenti e dalla mesofauna del suolo (lombrichi, formiche, ecc.), oltre a tutte quelle piccole fessure che costituiscono le vie preferenziali per l'entrata dell'acqua piovana nel suolo. Ciò è importante soprattutto quando l'intensità di pioggia supera la capacità di infiltrazione: questi macropori infatti facilitano il drenaggio dell'acqua piovana e permettono che essa penetri nel sottosuolo inumidendo tutto il suo profilo con rapidità. Se mediante le lavorazioni si rompesse la continuità di questi condotti, il fenomeno descritto smetterebbe di riprodursi a favore di una minore ricarica idrica del profilo del suolo e di un maggior scorrimento superficiale.

La non-lavorazione permette invece che tali macropori (fig. 3.5) rimangano intatti oltre a favorire, con il mantenimento dei residui sulla superficie e nel suolo, il nutrimento della mesofauna utile per la loro formazione. L'assenza di lavorazione infatti ritarda il processo di decomposizione delle radici delle colture precedenti, permettendo che i lombrichi la utilizzino come alimento e proliferino con il passare del tempo.

Un effetto derivato dalla meccanizzazione è il compattamento prodotto dal traffico delle macchine: infatti, al di sotto delle ormaie incrementa la densità apparente e l'impedenza meccanica alla penetrazione delle radici, soprattutto, quando tali passaggi si verificano immediatamente dopo di una lavorazione. Ciò può portare ad un calo della porosità totale e nella conduttività a saturazione, effetti che quasi sempre peggiorano l'infiltrazione dell'acqua nel suolo a favore di un maggior scorrimento superficiale, in particolare in corrispondenza delle ormaie. Questo rischio non esiste nei sistemi di non-lavorazione, pur realizzando alcune pratiche comuni ai sistemi convenzionali quali la semina, la fertilizzazione, il trattamento chimico e la raccolta. I terreni lavorati con tecniche conservative infatti presentano una migliore struttura la quale, oltre a ad essere meno suscettibile al compattamento, mantiene una buona permeabilità anche dopo un buon numero di passaggi.

L'abbandono di residui della coltivazione precedente sulla superficie contribuisce consideratamente ad aumentare la capacità di infiltrazione dei suoli. Ciò si deve principalmente alla costituzione di una vera e propria protezione fisica contro l'azione meccanica della goccia di pioggia, la quale, con la sua azione battente, tende a cementare la superficie dei terreni. Infatti, in un terreno coperto da residui vegetali si producono perdite per scorrimento superficiale di molto inferiori rispetto a terreni nudi o nei quali le stoppie sono state interrate o bruciate e ciò si ripercuote favorevolmente nella erosione idrica dei suoli.

### **1.2.7 - Effetto delle lavorazioni nella evaporazione di acqua dai suoli**

L'influenza della lavorazione nella evaporazione è la conseguenza diretta dei cambiamenti prodotti nella superficie e nelle proprietà idrofisiche dello strato di terreno interessato. Per avere una migliore conoscenza degli effetti prodotti è prima di tutto indispensabile conoscere il processo evaporativo. Infatti, ponendo una umidità del suolo iniziale pari alla capacità di campo ed una domanda evaporativa costante, il processo di evaporazione dell'acqua dai suoli si caratterizza per tre fasi:

**1° fase:** Non essendovi limitazioni della disponibilità di acqua nella superficie, la quantità di acqua del suolo evaporata dipende dalla sola domanda evaporativa dell'atmosfera, la quale è l'unico fattore limitante. Mano a mano che l'acqua evapora, l'umidità della superficie tende a diminuire creando un gradiente che si accentua con il passare del

tempo; di conseguenza si produce un flusso dagli strati inferiori del suolo, che tende a sostituire l'acqua persa dalla superficie, provocando così a sua volta una perdita di umidità di questi ultimi. Il graduale disseccamento del suolo provoca inoltre una rapida diminuzione della conducibilità idrica, la quale condiziona negativamente il flusso di umidità verso la superficie, accelerando così il disseccamento di quest'ultima. Si arriva così ad un momento in cui il grado di umidità della superficie è talmente basso che si approssima a quello dell'atmosfera, ed è da questo momento in poi che la quantità di acqua evaporata inizierà a diminuire.

**2° fase:** A partire dal momento appena descritto, la quantità di acqua evaporata non dipende più dall'atmosfera, bensì dalle proprietà dei suoli. Infatti, la conducibilità idrica che regola il flusso di umidità dagli strati inferiori, diminuisce in funzione della diminuzione della umidità e del tipo di terreno. Diminuendo il flusso di umidità, diminuisce la ricarica idrica e quindi l'evaporazione dalla superficie. Tale diminuzione di flusso è costante e tende ad annullarsi, mentre la quantità di acqua evaporata tende a stabilizzarsi a valori molto bassi. Il flusso di umidità verso la superficie tende inoltre a cambiare in stato dell'acqua trasportata: partendo da un flusso con acqua prevalentemente a stato liquido si passa ad un flusso con acqua prevalentemente allo stato di vapore. Con il procedere di tali effetti nella superficie si forma generalmente una specie di auto-pacciamatura che contribuisce a frenare le perdite per evaporazione con efficacia maggiore rispetto a qualsiasi altro tipo di pacciamatura naturale od artificiale.

**3° fase:** In questa ultima fase i valori di evaporazione tendono a stabilizzarsi a valori molto bassi. Il flusso ascendente è quasi nella totalità allo stato di vapore. Il profilo del terreno continua a seccarsi, però molto lentamente.

Da quanto detto si può capire che, pur avendo durate maggiori, la seconda e la terza fase presentano valori in evaporazione accumulata molto minori rispetto alla prima. Un controllo efficace dell'evaporazione dei terreni nella prima fase può quindi risultare fondamentale per il mantenimento di una certa umidità nei terreni stessi.

Le lavorazioni primarie, in particolare quelle che provocano il rivoltamento del suolo, aumentano sensibilmente la rugosità della superficie e riducono l'albedo: ciò provoca, rispettivamente, una diminuzione della resistenza al passaggio del vapore acqueo ed un aumento del regime termico del suolo. Ambo gli effetti contribuiscono ad aumentare il tasso di evaporazione, soprattutto nella prima fase del processo.

Alla vista delle considerazioni fatte precedentemente, pare logico supporre che un modo per ridurre le perdite di acqua per evaporazione sarebbe mediante l'interruzione della prima fase del processo, anticipando l'inizio della seconda. Ciò si può conseguire tramite una lavorazione, eseguendola però nei momenti giusti: infatti, tanto più sarà vicina al momento in cui il terreno è alla capacità di campo, tanto maggiore risulterà la riduzione nell'evaporazione accumulata. Questa riduzione può raggiungere un massimo (in alcuni terreni per lavorazioni eseguite entro le 24 ore a partire dalla capacità di campo, sono state riscontrate riduzioni superiori al 50 %), a partire dal quale diminuirà continuamente. Al contrario, tanto più tardiva sarà la esecuzione della lavorazione, tanto più si ritarderà l'apparizione di questo massimo di riduzione e minore sarà il suo valore. Quindi, le lavorazioni possono essere utili per conservare l'acqua preventivamente immagazzinata nel suolo, sempre che:

- si eseguano con la tempera adeguata, ossia, quando lo stato superficiale non è né molto umido, il quale provocherebbe una distruzione della struttura, né molto secco, giacché in tal caso l'efficacia della lavorazione risulterebbe eccessivamente bassa. L'ideale è eseguirla nel terreno con una umidità poco al di sotto della capacità di campo;
- gli intervalli di tempo tra le piogge siano gli adeguati: se fossero eccessivamente lunghi la riduzione nella perdita conseguita con la lavorazione sarebbe molto piccola o quasi nulla, se, al contrario, le piogge sono eccessivamente frequenti, l'efficacia sarebbe ridotta.

Gli stessi risultati che si conseguono con le lavorazioni tardive (rispetto alla capacità di campo), possono essere ottenuti in un terreno non lavorato: infatti, proprio per la non alterazione ed esposizione dello strato superficiale, viene incentivata fin dalla prima fase del processo evaporativo, la formazione di quella auto-pacciamatura precedentemente descritta per il rapido disseccamento dei primi cm di terreno.

### **1.2.8 - Influenza dei residui sulla evaporazione**

Tanto la lavorazione conservativa quanto la non lavorazione implicano l'abbandono dei residui della coltura precedente sulla superficie. Questa pratica, oltre ad avere una notevole importanza dal punto di vista della erosione del suolo, contribuisce consideratamente a conservare l'acqua. Infatti, con copertura dei residui secca, l'acqua

che evapora dalla superficie del suolo si diffonde verso l'atmosfera attraverso i residui stessi e questo provoca un aumento considerabile della resistenza al flusso. I residui possono inoltre influenzare il regime termico dei suoli (il quale influenza positivamente l'evaporazione): essi aumentano l'albedo e filtrano la radiazione solare che raggiunge la superficie del suolo, oltre a comportarsi come un isolante che altera il regime termico. Tali effetti contribuiscono perciò a diminuire l'energia disponibile per l'evaporazione, in funzione dello spessore della copertura di residui.

I residui agiscono sulla evaporazione diminuendo la sua intensità ed allungando la prima fase del processo. In questo senso, il loro effetto è simile a quello provocato da una diminuzione della domanda evaporativa: se infatti si riducesse lo spessore dello strato di residui, aumenterebbe proporzionalmente la quantità di acqua evaporata nella prima fase e si accorcerebbe la durata di questa. La differenza tra l'evaporazione accumulata nel suolo nudo e quella prodotta nel suolo coperto da residui può aumentare con il tempo fino a raggiungere un massimo, a partire dal quale diminuisce tendendo ad annullarsi. Quanto maggiore sarà lo spessore dello strato di residui, tanto maggiore sarà questo massimo ed il prolungamento dei suoi effetti nel tempo. Nella riduzione della evaporazione dai suoli non conta solo la presenza e lo spessore dello strato di residui: l'efficacia di tale riduzione dipende anche dalla frequenza delle precipitazioni atmosferiche, le quali dovrebbero prodursi quando la differenza (tra il suolo coperto e quello nudo) nella evaporazione accumulata sia massima.

L'esistenza di una relazione diretta tra lo spessore dello strato di residui e la durata della prima fase ha la sua implicazione pratica dal punto di vista della emergenza e dell'inizio dello sviluppo della plantula. I residui, infatti, permettono che la superficie del suolo rimanga umida e mantenga per più tempo un ambiente favorevole alle prime fasi di sviluppo della coltura. Il mantenimento dello strato di residui permette inoltre una migliore destinazione dell'acqua con coltura in atto: nel processo di prosciugamento dei terreni è maggiore la quantità di acqua traspirata dalle colture rispetto all'acqua persa per evaporazione, il che si traduce in un maggiore attività delle colture stesse ed in un maggiore rendimento.

Anche la disposizione dei residui nella superficie ha influenza nella evaporazione: i residui lasciati in piedi hanno un più efficace controllo che gli stessi trinciati e distribuiti uniformemente nella superficie. Questa differenza è da attribuire al ruolo che questi giocano nella attenuazione della velocità del vento in prossimità della superficie del suolo:

quanto più alti saranno i residui, tanto più accentuato sarà questo effetto (Cantero Martinez et al., 1996).

Una possibile alternativa per lasciare una copertura del terreno che non provenga dai residui della coltura dopo il ciclo produttivo può prevedere l'introduzione di una specie che viene destinata appositamente al ripristino delle caratteristiche fisiche e biologiche del suolo. Tecnica attuata ormai largamente nei Paesi del Sud-America (Argentina e Brasile), prevede la messa a dimora nel periodo di riposo del terreno di alcune colture definite "cover-crops";

L'evoluzione che si è verificata nel comparto agricolo nella seconda metà del secolo scorso ha portato ad una progressiva ma costante modernizzazione del parco macchine aziendale sia per quanto riguarda le attrezzature che le macchine intese come trattrici. Nello specifico si è cercato di aumentare la capacità di lavoro con un incremento corrispondente in termini di potenza richiesta per eseguire le lavorazioni.

L'esigenza di utilizzare tecniche sempre meno impattanti a livello ambientale sta diventando un'esigenza ormai consolidata anche nel campo agricolo per cercare di rendere più sostenibile l'intero processo produttivo, una sostenibilità che deve essere considerata sia a livello ambientale che tecnico-economico. Questa necessità è ormai comprovata anche dall'introduzione in maniera sempre più incisiva di leggi su diversa scala che regolamentano e stabiliscono limiti per cercare di salvaguardare l'ambiente.

L'adozione di tecniche che prevedono la semplificazione dei cantieri necessari alle lavorazioni e quindi tecniche di gestione con minime lavorazioni sono in continua crescita e rapida diffusione. Largamente utilizzate da diversi anni nel continente Americano per incrementare il rispetto del suolo, contenere i fenomeni erosivi ed il compattamento, conservare l'umidità del terreno e avere una riduzione dei costi, sta prendendo piede anche in Europa seppure con una diffusione meno rapida. Nelle nostre realtà il fattore che ha spinti verso una semplificazione delle lavorazioni è stato principalmente una diminuzione dei costi di produzione delle colture mentre ora si stanno considerando anche gli effetti positivi che si possono ottenere fra cui la riduzione dell'erosione e il mantenimento dell'umidità all'interno del suolo.

La continua inversione degli strati del terreno che viene eseguita con le tradizionali tecniche di lavorazione porta ad una progressiva perdita e degradazione del suolo, accentuato dal fenomeno del compattamento e tutto questo porta ad una progressiva

perdita di materiale organico dal suolo con una diminuzione delle fertilità. L'impatto delle lavorazioni sulla moderna agricoltura è il fattore principale da considerare e gestire se si intende procedere ad una semplificazione dei cantieri del processo colturale. Di sicuro il primo passaggio per la semplificazione delle operazioni riguarda l'adozione di attrezzature meno impattanti nei confronti del suolo; si utilizzano quindi particolari configurazioni che come primo approccio devono prevedere il rispetto e mantenimento della struttura del suolo senza modificarne la stratigrafia quindi senza andare a invertire gli strati di terreno. (J.M. Holland,, 2004).

### **1.3 - Alcune proposte nell'ambito dell'agricoltura conservativa**

Le lavorazioni conservative sono praticate in tutto il mondo, con predominanza nel Nord e Sud America, e un significativo incremento in Sud Africa, Australia e in altre aree semi-aride del mondo (Holland J.M., 2004). Tali pratiche sono principalmente adottate come mezzi di protezione del suolo dall'erosione e dal compattamento, per la conservazione della fertilità e per avere un contenimento dei costi di produzione. In Europa, le aree coltivate usando la minima lavorazione sono incrementate soprattutto sotto la spinta della necessità della riduzione dei costi di produzione, oltre alla prevenzione dell'erosione e alla conservazione della fertilità. (Holland J.M., 2004).

La lavorazione conservativa può migliorare la struttura del suolo e la stabilità attraverso un drenaggio più facilitato e una maggiore capacità di ritenzione idrica. Inoltre viene ridotto il rischio di lisciviazione superficiale e inquinamento delle acque di superficie con sedimenti, pesticidi e nutrienti. Con la riduzione dell'intensità della lavorazione del suolo, si abbassano i consumi di energia e le emissioni di biossido di carbonio, mentre l'adsorbimento del carbonio è aumentato attraverso l'incremento di sostanza organica nel terreno. Da segnalare anche, che un suolo lavorato con tecniche conservative sviluppa molti più microrganismi i quali possono incrementare il riciclaggio dei nutrienti, e questo può anche aiutare a combattere gli animali dannosi e le malattie. Con le lavorazioni conservative si crea una grande disponibilità di residui colturali e di semi di malerbe, i quali vanno a incrementare le riserve di cibo per insetti, uccelli e piccoli mammiferi. Nessuno studio dettagliato può essere condotto sul piano europeo, perciò alcune scoperte devono essere trattate con cautela fino a quando verranno verificate su larga scala di aree, clima, colture e condizioni del suolo (Holland J.M., 2004).

Nonostante le importanti funzioni svolte dalle lavorazioni, bisogna anche considerare gli inconvenienti che ad esse sono collegati. Le lavorazioni tradizionali hanno inconvenienti quali: un'alto consumo di energia, un eccessivo interrimento della sostanza organica con la sua dispersione nel terreno, accentuazione dell'ossidazione della sostanza organica con conseguente diminuzione della stabilità strutturale, pericolosa esposizione del suolo all'erosione durante i periodi di assenza della copertura vegetale, peggioramento dello stato strutturale in caso di lavorazioni non tempestive con terreno non in tempera, eccessive perdite di acqua del suolo per evaporazione, e da altri inconvenienti minori. Si deve inoltre aggiungere che l'introduzione dei diserbanti chimici e la loro continua evoluzione nel controllo della flora infestante hanno fatto sì che si riducesse l'importanza delle lavorazioni come mezzo di controllo delle malerbe. La tecnica agronomica e quindi la meccanizzazione ad essa connessa si è orientata verso lo studio di lavorazioni che mirano a portare un miglioramento per tutti gli aspetti negativi riscontrabili con l'applicazione delle normali tecniche di lavorazione.

Per questo, nel caso dei lavori preparatori, sono state messe a punto delle nuove tecniche che vanno sotto il nome di:

- minima lavorazione o "minimum tillage";
- non lavorazione o "zero tillage" o "no tillage" o semina diretta

La tecnica della minima lavorazione consiste nel manipolare il terreno meccanicamente per lo strato più superficiale ad esso (50 – 150 mm max.) per far sì che possano operare le normali seminatrici, e che la coltura possa avere un corretto sviluppo soprattutto nelle prime fasi di crescita. Tale tecnica può essere messa in atto utilizzando diverse attrezzature che svolgono ciascuna i lavori più appropriati possibili con l'obiettivo di ridurre gli inconvenienti delle lavorazioni tradizionali; tali attrezzature sono ravvisabili in aratri a disco, vangatrici, discissori, ripuntatori, scarificatori, erpici e frese.

La non lavorazione o semina diretta prevede che non venga effettuato nessun tipo di lavorazione a carico del suolo e che attraverso l'utilizzo di particolari seminatrici venga posto comunque il seme nelle condizioni migliori per il suo sviluppo. Nel qual caso siano presenti infestazioni di malerbe o residui vitali della coltura precedente (es. prato), si deve operare, prima della semina, l'intervento con prodotti diserbanti ad azione totale privi di effetto residuo. Questa tecnica è la più rispettosa dell'ambiente sia sotto il punto di vista pedologico che della riduzione dei costi di produzione.

Per la produzione di una coltura erbacea è necessaria una grande quantità di energia se si considerano i processi che sono coinvolti dall'esecuzione delle lavorazioni, alla produzione e distribuzione di input aziendali fino alla costruzione di macchine ed attrezzature. È necessario però che vi sia una corretta gestione di questi input per evitarne sprechi e il risparmio può essere eseguito cercando soluzioni alternative alle classiche lavorazioni che ne permettano la semplificazione e ne velocizzino i tempi per l'esecuzione. Se si riesce ad effettuare una riduzione dei consumi è possibile, di conseguenza, diminuire l'emissione di anidride carbonica nell'atmosfera visto che gli input impiegati per il funzionamento delle macchine sono di origine fossile. L'utilizzo di queste sostanze per il combustibile comporta una perdita di carbonio che passa all'atmosfera sottoforma di CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> e altri gas serra contribuendo all'effetto gas serra nell'atmosfera (Borin, et al 1997); una notevole percentuale sul totale dei gas immessi nell'atmosfera è da imputare all'uso intensivo dell'agricoltura su scala mondiale e in parte dalla progressiva deforestazione (Mazzoncini et al, 2004).

Le lavorazioni conservative con le tecniche annesse rappresentano una valida alternativa per il controllo e la gestione di queste problematiche.

### **1.3.1- Agricoltura conservativa**

L'evoluzione che si è verificata nel comparto agricolo nella seconda metà del secolo scorso ha portato ad una progressiva ma costante modernizzazione del parco macchine aziendale sia per quanto riguarda le attrezzature che le macchine intese come trattrici. Nello specifico si è cercato di aumentare la capacità di lavoro con un incremento corrispondente in termini di potenza richiesta per eseguire le lavorazioni. Di pari passo si è sviluppata anche un'ampia gamma di tecnologie a supporto dell'imprenditore agricolo per facilitare l'espletamento delle diverse operazioni colturali massimizzando i tempi e soprattutto gli input immessi nel processo produttivo. A fianco di queste tematiche è stata registrata anche l'esigenza di utilizzare tecniche sempre meno impattanti a livello ambientale anche nel settore agricolo per cercare di rendere più sostenibile l'intero processo produttivo, andando a rispettare tutta una serie di normative che in questo ambito si stanno evolvendo con estrema rapidità. La situazione che si presentava aveva già superato i livelli critici e le misure che sono state prese mirano ad un progressivo miglioramento,

anche se lento, delle condizioni di impiego dei fattori utilizzati nella produzione per cercare di riportare la filiera agricola in un contesto di sostenibilità.

L'adozione di tecniche che prevedono la semplificazione dei cantieri necessari alle lavorazioni e quindi tecniche di gestione con minime lavorazioni sono in continua crescita e rapida diffusione. Largamente utilizzate da diversi anni nel continente Americano per incrementare il rispetto del suolo, contenere i fenomeni erosivi ed il compattamento, conservare l'umidità del terreno e avere una riduzione dei costi, sta prendendo piede anche in Europa seppure con una diffusione meno rapida. Nelle nostre realtà il fattore che ha spinto verso una semplificazione delle lavorazioni è stato principalmente una diminuzione dei costi di produzione delle colture mentre ora si stanno considerando anche gli effetti positivi che si possono ottenere fra cui la riduzione dell'erosione e il mantenimento dell'umidità all'interno del suolo. Sempre considerando l'aspetto economico, a parità di ore annue il coltivatore ha potenzialmente la possibilità di gestire un numero maggiore di ettari con l'adozione di tecniche semplificate (Mahdi e Mark, 2001).

### **1.3.2 - Le lavorazioni del terreno**

In seguito all'evoluzione tecnologica che si è avuta con il passare degli anni, è cresciuta nell'uomo l'esigenza di aumentare la produttività delle proprie coltivazioni migliorando, tecniche ed attrezzature. Il primo passo per raggiungere tale obiettivo è stato quello di migliorare le tecniche di preparazione del letto di semina, poiché, per ottenere alte rese colturali sono necessari terreni ben strutturati e fertili. Le lavorazioni occupano un ruolo importante nel creare un ambiente il più favorevole possibile, per facilitare la riuscita della coltura dalle prime fasi, sino alla raccolta. Questo diviene possibile, adottando quelle tecniche agronomiche, ritenute da moltissimi anni indispensabili ed irrinunciabili per l'ottenimento di elevate produzioni. L'obiettivo prevalente di queste particolari lavorazioni è quello di gestire la sofficietà del terreno utilizzando particolari strumenti che hanno lo scopo di rompere l'apparente continuità della massa del suolo in elementi più piccoli.

Le lavorazioni del terreno sono da considerare come il presupposto di qualsiasi attività agricola propriamente detta e la base indispensabile per la produzione (Bonciarelli F. e U., 1997); lo scopo delle lavorazioni, attraverso la modificazione dello stato fisico del suolo (rapporto tra le fasi solide-liquide-gassose), è quello di costituire, ricostituire o mantenere

le migliori condizioni di abitabilità per gli apparati radicali delle piante coltivate per facilitarne la crescita e lo sviluppo.

Il corretto svolgimento delle diverse fasi di sviluppo della pianta è determinato da numerosi fattori fisico, chimici e biologici che si verificano nel terreno e dall'interazione che vi è fra di essi; è importante che vi sia un equilibrio e che questo venga quanto più possibile rispettato e tutelato per ottenere un corretto funzionamento del sistema "pianta-terreno" e nel caso questo fosse stato precedentemente compromesso è importante che si punti ad un suo ripristino immediato.

Si può dire quindi che le lavorazioni abbiano diversi scopi e fra questi quelli più importanti, secondo la scuola classica di pensiero, sono:

- **modificare e migliorare la porosità del suolo:** un terreno sottoposto all'attività agricola tende a passare dallo stato di struttura grumosa (soffice) a quello strutturale (compatto). Questo passaggio di stato è dovuto al susseguirsi delle operazioni sul suolo ed è accentuato in terreni che sono gestiti con tecniche convenzionali. Come è facile intuire, in tali condizioni non è possibile effettuare con successo la coltivazione in quanto sono annullati gli spazi necessari per l'immagazzinamento di acqua e aria all'interno del suolo e si crea un ambiente asfittico e sfavorevole per la crescita delle radici. Si fa quindi ricorso a lavorazioni periodiche che hanno come scopo l'aumento della macroporosità e microporosità in modo da favorire l'infiltrazione, il drenaggio profondo, l'aerazione, lo sviluppo e l'approfondimento radicale.
- **affinare il terreno** per la preparazione di un ambiente idoneo per la semina: per fare questo è necessario che nei primi 50-100 mm superficiali siano presenti zolle di ridotte dimensioni per favorire un buon contatto seme-suolo e vi sia una disponibilità adeguata di umidità necessaria per la germinazione. Allo stesso tempo le dimensioni delle zolle non devono risultare eccessivamente ridotte per evitare di incorrere in fenomeni che portano alla formazione della crosta superficiale in seguito ad una rapida perdita d'acqua dovuta a fenomeni di evaporazione.
- **favorire la penetrazione e l'espansione delle radici** nella massa terrosa aumentando la porosità e l'aerazione del terreno per consentire alla coltura di avere la possibilità di accrescere l'apparato radicale e favorire il reperimento di acqua infiltrata e nutrienti.

- **favorire l'infiltrazione dell'acqua nel suolo:** effettuando lavorazioni con modalità e profondità adeguate viene aumentata la quantità di acqua che si può infiltrare; questo fa sì che vi sia una riduzione dello scorrimento superficiale e quindi dell'erosione e che non si formino zone con ristagno idrico superficiale favorendo così l'immagazzinamento di acqua che si infila fino agli strati più profondi del suolo.
- **ridurre le perdite di acqua per evaporazione:** questo effetto può essere perseguito favorendo la creazione di uno strato smosso e secco in superficie (es. sarchiatura) che limita l'evaporazione degli strati umidi sottostanti, favorisce la chiusura delle spaccature che si formano nei terreni argillosi durante i periodi secchi, consente di eliminare o contenere la vegetazione avventizia e riduce la capillarità superficiale che risulta particolarmente pericolosa nei periodi siccitosi.
- **incorporare nel terreno materiali di diversa natura:** fra essi si annoverano i concimi organici e minerali, i residui delle colture e residui organici di diversa natura, i composti ammendanti, gli erbicidi volatili, i geodisinfestanti, etc.
- **controllare lo sviluppo delle erbe infestanti:** il controllo della flora infestante può essere attuato con le lavorazioni attraverso l'estirpo o l'arresto dell'accrescimento, la devitalizzazione degli organi di moltiplicazione che portati in superficie dissecano, l'interramento profondo dei propagali e l'agevolazione nell'occupazione del suolo da parte delle piante coltivate aumentando quindi il potere competitivo.

Affinché questi parametri risultino rispettati e siano soddisfatte sia le esigenze agronomiche che quelle economiche, è necessario considerare l'epoca più adatta alla loro esecuzione, alla loro più efficiente realizzazione, adattandole alle richieste delle colture che saranno coltivate ed alla tempestività di esecuzione (Peruzzi A., Sartori L., 1999). Non è possibile fare quindi una generalizzazione degli interventi con le lavorazioni, ma sarà necessario valutare il giusto periodo di intervento in base al tipo di terreno da lavorare. Tra le soluzioni proposte nell'ambito di un'agricoltura sostenibile, il modello agronomico conservativo da tempo riscuote notevole successo anche se difficilmente è adottato come sistema efficace per ovviare a numerosi problemi. Nel nostro Paese sta prendendo piede negli ultimi anni ma non solo per i benefici ormai assodati che è possibile riscontrare dalla sua adozione; molte volte, infatti, ciò che spinge un imprenditore agricolo a modificare

l'utilizzo di macchine e la gestione del processo produttivo è un riscontro economico che si può rapidamente ottenere (Peruzzi et al., 1999).

Dare una definizione completa all'agricoltura conservativa non è semplice e univoco, in quanto raggruppa al suo interno una moltitudine di concetti e pratiche, anche se l'accostamento dei termini "Agricoltura" e "Conservativa" può far comunque intuire che tale modello agronomico ha come fine la realizzazione di una agricoltura proficua nel rispetto di quelle che sono le risorse naturali. Fare agricoltura conservativa, infatti, vuol dire applicare tecniche che consentono una migliore gestione del terreno agrario senza produrre sostanziali modifiche alla sua composizione, alla sua struttura ed alla biodiversità presente. Si evitano (o si limitano) quindi tutte quelle condizioni che possono portare ad una perdita di fertilità agronomica con conseguente degradazione del suolo, creando allo stesso tempo i presupposti di un agro ecosistema simile a quello naturale, ma pur sempre produttivo ed economicamente conveniente (Peruzzi A., Sartori L., 1997).

All'atto pratico perciò l'Agricoltura Conservativa poggia su tre principi: arrecare il minimo disturbo al suolo, mantenere sullo stesso una copertura vegetale permanente ed attuare adeguate rotazioni e pratiche colturali.

Al principio conservativo di alterare il meno possibile il sistema suolo, seguono le logiche dell'abbassamento dell'intensità di utilizzo dell'input suolo e della semplificazione delle tecniche di lavorazione. Seguendo quest ultimo concetto l'agricoltura conservativa propone diverse tecniche di lavorazione che possono essere classificate in base ad un gradiente di progressiva semplificazione del cantiere messo in atto (Bertocco M. e Rota M., 2006):

- Lavorazione del terreno a due strati: è il primo passo verso una graduale riduzione dell'intensità delle lavorazioni rispetto alla tecnica tradizionale di coltivazione. Si basa principalmente sull'esecuzione nello stesso tempo di due lavorazioni tradizionali che però vengono attuate a diversa profondità: un esempio può essere una ripuntatura più profonda affiancata ad un'aratura superficiale. Questo consente al terreno di meglio adattarsi ad un passaggio più graduale verso tecniche che presentano una maggior sostenibilità.
- Minima lavorazione: con tale termine si intende generalmente l'insieme di tecniche colturali che puntano ad una ulteriore semplificazione dell'intensità delle lavorazioni. Generalmente è conosciuta anche come lavorazione ridotta ma questo deve essere riferito esclusivamente alla riduzione dell'intensità con cui viene lavorato il terreno. Può essere differenziata in profonda e superficiale a seconda della tipologia di

attrezzatura che viene impiegata e della profondità che si vuole raggiungere. Nel primo caso ci si avvale di attrezzature con una struttura molto più robusta e con elementi che raggiungono una profondità di lavorazione anche di 50 cm e sono consigliate per andare a sanare delle situazioni o problematiche che non si presentano sempre ma solo in seguito a eventi particolari (alto compattamento, formazione di suolo sottostante...); per ottenere un risultato ottimale si necessita però di potenze di trazione abbastanza considerevoli. Nel caso di minime lavorazioni superficiali invece lo strato di terreno interessato arriva al massimo a 30 cm anche se spesso risulta essere minore; essendo meno invasive sono operazioni che hanno una minor richiesta in termini di potenza e possono essere adottate più spesso rispetto alle precedenti.

Essa consiste nella fessurazione verticale del terreno, cui può essere abbinata una parziale azione di taglio orizzontale che va a completare l'effetto di dirompimento conseguente al passaggio degli utensili. In questo caso gli utensili verticali possono essere dotati di alette laterali che, poste a diversa altezza e con forme diverse incrementano l'effetto dirompente anche in profondità. L'effetto che si ottiene in seguito al passaggio di queste attrezzature è un ripristino delle condizioni iniziali di porosità che potevano essere state alterate dal passaggio delle macchine operatrici, senza però che vi sia l'inversione degli strati del suolo. Tale intervento può provocare la formazione di macroziosità che può essere distribuita lungo il profilo verticale del suolo lavorato o maggiormente accumulata nei primi centimetri di suolo; la differenza fra queste due possibilità è dovuta fondamentalmente alla forma e all'inclinazione che hanno gli utensili con cui si va ad eseguire la lavorazione, oltre al tipo e all'umidità del terreno.

Nel caso infatti venga utilizzato un'attrezzatura con profilo dell'ancora diritto, si ottiene una omogenea distribuzione delle parti più grossolane rispetto a quelle più sottili, mentre se vi è l'adozione di ancore a profilo ricurvo in avanti si ha un riporto della macroziosità in superficie con un accumulo di zolle più piccole in profondità. Anche questi sono aspetti da considerare nel momento in cui si va a pianificare il processo colturale in quanto è possibile riscontrare una diminuzione nei consumi con l'adozione di un'ancora a profilo ricurvo ma allo stesso tempo si rende necessario un ulteriore passaggio per affinare il terreno prima della messa a dimora del seme.

La tendenza dimostrata dai costruttori negli ultimi anni è quella di combinare questa tipologia di utensile con dischi e rulli, diversi per numero, dimensioni, profilo del margine e del disco ed eventualmente anche a dei rulli per avere una maggior polivalenza delle attrezzature e far sì che possano essere utilizzate in qualsiasi condizione ci si trovi ad operare.

- Lavorazione delle stoppie e gestione dei residui colturali: questo intervento è finalizzato fondamentalmente a un rimescolamento dei residui colturali in superficie con il primo strato di terreno (10-20 cm), una riduzione delle dimensioni dei residui per una miglior gestione, una omogenea distribuzione sulla superficie per agevolare i cantieri che andranno a susseguirsi e per facilitare la loro successiva disgregazione, oltre alla contemporanea lotta alle malerbe. Questo tipo di operazione diventa importante nel caso si debba intervenire su residui colturali di mais o sorgo da granella che presentano una quantità consistente di biomassa che permane sul suolo dopo la raccolta. Allo stesso tempo anche cereali da granella autunno vernini presentano la caratteristica, pur se meno consistenti in termini di quantità, di essere molto tenaci e difficili da disgregare. Per quanto concerne invece le colture da foraggio o insilato, il problema è meno marcato in quanto si ha un'alta asportazione, quasi totale, della parte epigea della pianta. Il fatto che la profondità di lavoro sia generalmente contenuta comporta che si possa abbinare tale intervento ad un affinamento della zollosità superficiale che si viene a creare in fase di lavorazione, così da preparare il letto di semina e ridurre gli interventi in campo. In questo caso l'intervento assume maggiormente i connotati di una minima lavorazione del terreno.
- Semina diretta: questa tecnica, che può essere annoverato fra le fila delle minima lavorazione superficiale, in pratica consiste nell'effettuare l'operazione di semina su terreno ancora non lavorato con seminatrici dedicate che prima di deporre il seme eseguono anche la lavorazione superficiale del terreno. Con questa soluzione si va a ridurre il numero di passaggi sul terreno ad uno solo avendo una semplificazione del numero di lavorazioni e un vantaggio per l'ambiente oltre che per il terreno. Questa tipologia di seminatrice è dotata quindi di organi, che precedono gli assolcatori per la deposizione del seme, che possono ricevere il movimento direttamente dalla trattrice mediante la presa di potenza (erpici rotanti) o montare organi che ricevono il movimento solo grazie all'avanzamento della macchina (erpici

a dischi); lo scopo è quello di andare a lavorare i primi 8-10 cm di terreno su tutto il fronte operativo della macchina per creare un ottimale letto di semina in vista della deposizione immediata del seme.

- Semina su sodo: questa tecnica di coltivazione rappresenta il massimo livello di semplificazione nella gestione del terreno e il massimo rispetto delle risorse naturali con il massimo beneficio a carico del reddito aziendale dal momento che si ha un considerevole contenimento dei costi. E' importante sottolineare però come questa tecnica vada gestita in maniera oculata, inserendola ed integrandola nell'intero processo di coltivazione attuato dall'azienda (ad esempio, gestione dei residui colturali, controllo del traffico dell'appezzamento, ecc.), tanto da rappresentare non il punto di partenza per la semplificazione delle lavorazioni, ma il punto di arrivo di un percorso più lento e graduale. Le attrezzature che vengono adottate per questa operazione sono studiate per far sì che sia possibile andare a deporre il seme su terreno non lavorato e che presenti anche abbondanti quantità di residuo colturale in superficie.

Per riuscire a perseguire l'obiettivo di una costante copertura vegetale permanente sul terreno è necessario:

- evitare la bruciatura o l'interramento dei residui vegetali delle colture precedenti come ancora è in uso in alcune gestioni convenzionali del terreno;
- introduzione della pratica delle colture di copertura;
- introduzione del secondo raccolto, anche non da reddito ma con il solo fine di integrare la biomassa vegetale.

Con l'introduzione di queste pratiche, infatti, il terreno rimane costantemente protetto dall'azione degli agenti erosivi da una copertura vegetale viva o morta e questo risulta essere fondamentale per il mantenimento degli aggregati del suolo (Roth et al., 1986, Castro Filho et al., 1991). Inoltre esso si arricchisce in materia organica in quanto si evita la rapida mineralizzazione della stessa.

In termini più generali con le tecniche conservative il suolo è protetto dall'impatto della pioggia ed è meno esposto al deflusso superficiale delle acque quindi al processo d'erosione; inoltre migliora ed aumenta la formazione di aggregati, con conseguente aumento del contenuto di sostanza organica e della fertilità agronomica globale anche in relazione alla minore compattazione dovuta al passaggio delle macchine agricole. Anche

l'inquinamento delle acque superficiali si riduce per il ridotto sedimento, come si riducono le emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, mentre aumenta la biodiversità.

Concludendo, si può affermare che, con il termine di lavorazione conservativa, si intendono quelle tecniche di lavorazione del terreno che non implicano l'inversione degli strati, ma bensì una permanenza superficiale dei residui colturali e un contenimento delle operazioni al livello più basso possibile, le quali cercano di provocare il meno possibile l'alterazione della naturale composizione del suolo.

## **BIBLIOGRAFIA**

**Balesdent J., A. Mariotti, D. Boisgontier**, 1990. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from <sup>13</sup>C abundance in maize fields. *Journal of soil science* 41: 587-596

**Bertocco M., Oliviero G.**, 2003, Il mais in versione sostenibile, Speciale lavorazioni del terreno, *Terra e Vita*, 27: 50-58.

**Bonari E., M. Mazzoncini, C. Di Bene, A. Coli, M. Petri**, 2005. Esperienze di semina su sodo del frumento in Italia. *L'Informatore Agrario* 24: 33-36.

**Bonciarelli F., U. Bonciarelli**, 1997. *Agronomia*, Edagricole, Bologna, Italia.

**Castrignanò A., R. Colucci, D. De Giorgio, V. Rizzo, M. Stellati**, 1997. Tillage effects on plant extractable soil water in a silty clay vertisol in Southern Italy. *Soil & Tillage Research* 40: 227-237.

**Catizone P., G. Zanin**, 2001. *Malerbologia*, Pàtron Editore, Bologna, Italia.

**Catt J.A., K.R. Howse, D.G. Chriatian, P.W. Lane, G.L. Harris, M.J. Goss**, 2000. Assesment of tillage strategies to decrease nitrate leaching in the Brimstone Farm Experiment, Oxfordshire, UK. *Soil and Tillage Research* 53: 185-200

**Cavalli R., Sartori L.**, 1988, Analisi qualitativa di una attrezzatura combinata per la lavorazione ridotta del terreno, *Rivista di Ingegneria Agraria-Quaderno n.10*,: 798-805.

**Cera M., Peruzzi A., Sartori L.**, 1999, *Attrezzi per la lavorazioni del terreno*, edizioni L'Informatore Agrario, Vol. II, Verona, ISBN 88-7220-110-1

**Demaldè R.**, 2005. Scelta dei cantieri per razionalizzare i costi di lavorazione del terreno. *L'Informatore Agrario* 24: 29-32.

**Ferrari U.**, 1998. *Genio rurale*, Edagricole, Bologna, Italia

**Flieûbach A., P. MaÈ der, U. Niggli**, 2000. Mineralization and microbial assimilation of <sup>14</sup>C-labeled straw in soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 1131-1139.

**Franzluebbers A.J., F.M. Hons, D.A. Zuberer**, 1995. Tillage and crop effect on seasonal dynamics of soil CO<sub>2</sub> evolution, water content, temperature, and bulk density. *Applied Soil Ecology* 2: 95-109.

**Giardini L.**, 1992. *Agronomia generale ambientale e aziendale*, Pàtron Editore, Bologna, Italia.

**Holland J.M.**, 2004. The environmental consequence of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 103: 1-25

**Sánchez-Girón V., J.J. Kort J., M. Collins, D. Ditsch,** 1998. A review of soil erosion potential associated with biomass crops. *Biomass and Bioenergy* 14: 351-359.

**Lal R., J.M. Kimble,** 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49: 243-253.

**Longsdon Sally D., Douglas L. Karlen,** 2004. Bulk density as a soil qualità indicator during conversion to no-tillage. *Soil & Tillage Research* 78: 143-149.

**Maresca A., Frondoni U.,** 2002, Malerbe, il controllo fisico è un'alternativa possibile, *Macchiane e motori agricoli* 10:32-38

**Mas M.T., A.M.C. Verdú,** 2003. Tillage system effects on weed communities in a 4-year crop rotation under Mediterranean dryland conditions. *Soil & Tillage Research* 74: 15-24.

**Pagliai M., N. Vignozzi, S. Pellegrini,** 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil & Tillage Research* 79: 131-143.

**Pellizzi G.,** 1998. *Meccanica agraria* Vol. 1-2, Edagricole, Bologna, Italia.

**Pellizzi G.,** 1996. *Meccanica e meccanizzazione agricola*, Edagricole, Bologna, Italia.

**Peruzzi A.,** 2003. Le moderne attrezzature per la lavorazione del terreno. *L'Informatore Agrario* 24: 39-45.

**Ramirez, J.J. Litigo, J.L. Hernanz,** 2004. Effect of soil compaction and water content on the resulting forces acting on three seed furrow openers. *Soil & Tillage Research*.

**Sartori L., L. Benvenuti,** 2004. Le tecnologie blu in agricoltura. *Suppl. Terra e Vita* 37: 6- 47.

**Sartori L., M. Bertocco,** 2003. Una significativa evoluzione per i decompattatori. *L'Informatore Agrario* 42: 79-87.

**Shipitalo M.J., W.A. Dick, W.M. Edwards,** 2000. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil and Tillage Research* 53: 167-183.

**Streit B., S.B. Rieger, P. Stamp, W. Richner,** 2002. The effect of soil tillage intensity and time of herbicide application on weed communities and populations in maize in central Europe. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 92: 211-224.

**Tørresen K.S., R. Skuterud,** 2002. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. IV. Changes in the weed flora and weed seedbank. *Crop Protection* 21: 179-193.

**Verdú A.M.C., M.T. Mas,** 2004. Comparison of *Polygonum aviculare* L. seedling survival under different tillage systems in Mediterranean dryland agroecosystems. *Acta Oecologica* 25: 119-127.

**Wahl N.A., O. Bens, U. Buczko, E. Hangen, R.F. Hüttl,** 2004. Effect of conventional and conservation tillage on soil hydraulic properties of a silty-loamy soil. *Physics and Chemistry of the Earth* 29: 821-829.

**West T.O., G. Marland,** 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 91: 217-232.

**Young I.M., K. Ritz,** 2000. Tillage, habitat space and function of soil microbes. *Soil and Tillage Research* 53: 201-213.

**Holland J.M.,** "The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence", *Agriculture ecosystem & environment*, 103, pp.1-25 (2004);

**Upendra M. Sainju a, Harry H. Schomberg, Bharat P. Singh, Wayne F., Whitehead, P. Glynn Tillman, Sharon L. Lachnicht-Weyers,** "Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton", *Soil and Tillage Research*, 96, pp 205-218, (2007);

**Chivenge et al.,** 2006, "Long-term impact of reduce tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implication for conservation agriculture on contrastino soils", *Soil and Tillage Research*,

**Dick W.A., Durkalski J.T.,** 1997, "No-tillage production agriculture and carbon sequestration in a typic Fragiuudalf soil of Northeastern Ohio", *CRC Lewis Publisher, Boca Raton*, pp 59-71,;

**Pisante M.,** 2007, "Agricoltura Blu: la via italiana dell'agricoltura conservativa; Principi, tecnologie e metodi per una produzione sostenibile", *Edagricole*,;

**D.W. Reeves,** 1997, "The role of soil organic matter in maintaining soil qualità in continuous cropping system", *Soil and Tillage Research* 43, , 131-167.

**P.P. Chivenge et al.,** 2006, "Long-term impact of reduce tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implication for conservation agriculture on contrastino soils", *Soil and Tillage Research*,.

## **Capitolo 2**



## Capitolo 2

### 2.1 - Descrizione del sito e dell'azienda

Lo studio è stato condotto in mais (*Zea mays*, L.) nel corso di due stagioni colturali (2005 e 2006) su un appezzamento con terreno di medio impasto, tendenzialmente sciolto, ed un contenuto di sostanza organica mediamente pari a 1%, presso un'azienda agricola privata, situata a Mira (Venezia).

L'azienda ha una superficie complessivamente coltivata di circa 600 ha, destinati a colture estensive (barbabietola da zucchero, mais, sorgo, frumento, soia). Gli appezzamenti sono regolari e pianeggianti, in parte drenati e irrigui. L'avvicendamento colturale prevede l'impiego di colture di copertura intercalari, quali il rafano nella barbabietola, mentre la scelta delle lavorazioni del terreno messe in atto si basa fundamentalmente sulla tipologia di terreno presente nei singoli appezzamenti e sulle esigenze delle diverse colture, con gli interventi più onerosi riservati ad esempio alla barbabietola da zucchero ed al mais nei terreni argillosi (es., aratura, ripuntatura) e le pratiche maggiormente semplificate (minima lavorazione, semina su sodo) nei restanti casi, così da ottenere una vera e propria rotazione degli interventi di lavorazione.

Lo schema sperimentale ha interessato una superficie complessiva di 4,5 ha, suddivisi in tre tesi di uguale estensione (circa 1,5 ha) lavorate in maniera differente (fig. 1):

- lavorazione del terreno convenzionalmente adottata nella zona (definita in seguito CT, Conventional Tillage), basata sull'aratura autunnale e l'erpicoltura primaverile;
- minima lavorazione (definita in seguito MT, Minimum Tillage), che ha previsto la sostituzione dell'aratura con la fessurazione verticale del profilo lavorato e la successiva lavorazione mediante dischi, seguita da erpicatura primaverile;
- semina su sodo (definita in seguito NT, No-Tillage).

Per quanto concerne l'andamento climatico dell'area, sono stati considerati i dati meteorologici di 15 anni (1992-2007) (forniti da ARPAV- stazione di Mira) (fig. 2 ): le precipitazioni annuali pur essendo distribuite durante tutto l'anno, presentano valori più elevati in corrispondenza dei mesi di aprile (90.6 mm), luglio (86.23 mm), ottobre (119.39 mm) e novembre (82.84 mm) (figura 3.8), mentre per quanto riguarda le temperature si hanno dei picchi a carico dell'andamento termico nei mesi estivi ed un abbassamento dei

valori giornalieri medi nei mesi invernali (gennaio e febbraio), con valori medi pari a 13°C nell'arco dell'intera stagione.



Figura 1: campi sperimentali: nell'immagine da satellite sono stati messi in evidenza gli appezzamenti gestiti con diverse tecniche di lavorazione; in rosso quelli condotti con tecniche convenzionali (CT), in giallo quelle con minima lavorazione (MT) e in verde quelli con non lavorazione e semina su sodo (NT).

Le diverse operazioni colturali (tab.1) sono state effettuate per tutti e tre gli anni nelle diverse tesi; le operazioni si sono ripetute sia per intensità che per quantità di input utilizzato a differenza del momento di semina che è stato diverso nei tre anni (30 marzo 2005, 4 aprile 2006 e 26 aprile 2007).

Itinerario tecnico mais	
<p><b>CT</b></p> <p>aratura 35 cm            concimazione            preparazione letto di semina vibro 2-3 cm            semina            diserbo            concimazione copertura+sarchiatura</p>	<p>5-13-6 (N,P,K) 720 kg</p> <p>post emergenza graminicida e dicotiledonica            21-0-0 (N,P,K) 720 kg</p>
<p><b>MT</b></p> <p>discatura top down 35 cm            concimazione            preparazione letto di semina vibro 2-3 cm            semina            diserbo            concimazione copertura + sarchiatura</p>	<p>5-13-6 (N,P,K) 720 kg</p> <p>post emergenza graminicida e dicotiledonica            21-0-0 (N,P,K) 720 kg</p>
<p><b>NT</b></p> <p>semina            concime localizzato            diserbo            copertura localizzata no sarchiatura</p>	<p>disseccante presemina, post emergenza graminicida, antipiralide 0,8 l/ha            21-0-0 (N,P,K) 840 kg</p>

Tabella 1: operazioni colturali effettuate nelle 3 tesi nei tre anni.

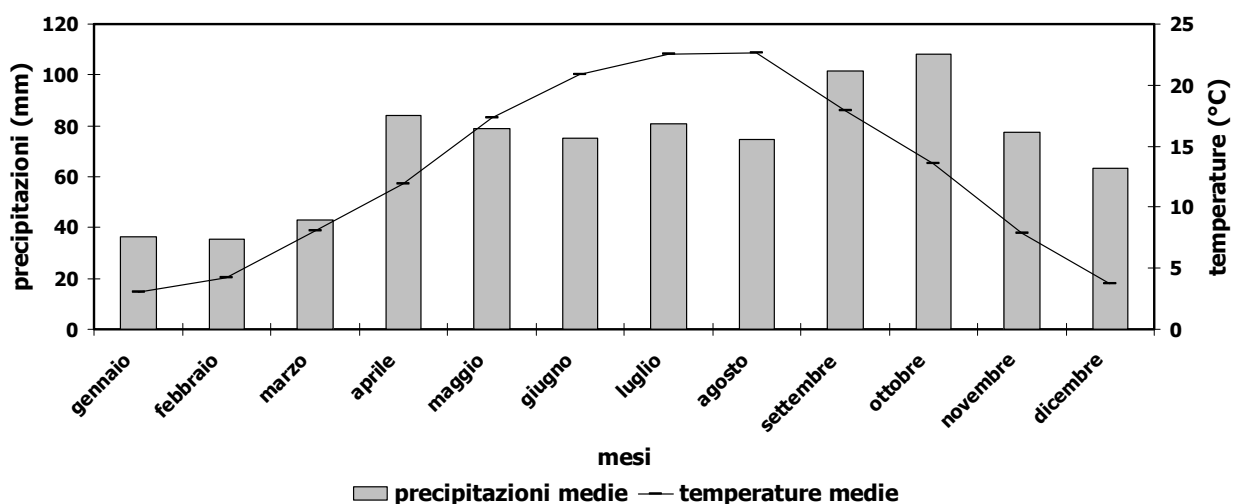


Figura 2: Climatogramma relativo all'andamento delle precipitazioni mensili (totale medio del periodo 1992- 2007) e alle temperature medie mensili (periodo di riferimento 1992-2007).

## 2.2 - Caratteristiche del terreno

Il prelievo dei campioni di terreno da sottoporre alla determinazione della tessitura e del contenuto di sostanza organica (fig. 3) è stato eseguito con trivella collegata alla trattrice, ed ha interessato il profilo del terreno suddiviso per strati. In tutte e tre le tesi sono stati prelevati campioni mediati di terreno sugli strati 0-30 cm, 30-60 cm e 60-90 cm.

Le analisi sono state condotte presso il Laboratorio di analisi del Suolo del Dipartimento di Agronomia e Produzioni Vegetali e il Dipartimento TeSAF, secondo i metodi ufficiali riportati in "Metodi di Analisi Chimica del Suolo". In particolare per la determinazione delle componenti granulometriche è stato utilizzato il metodo dell'idrometro, classificando poi i terreni secondo la classificazione proposta dall'USDA, oltre alla classificazione ISSS (fig.4), mentre per la determinazione del contenuto di C organico si è seguito il metodo Walkley-Black (Walkley-Black, 1934).

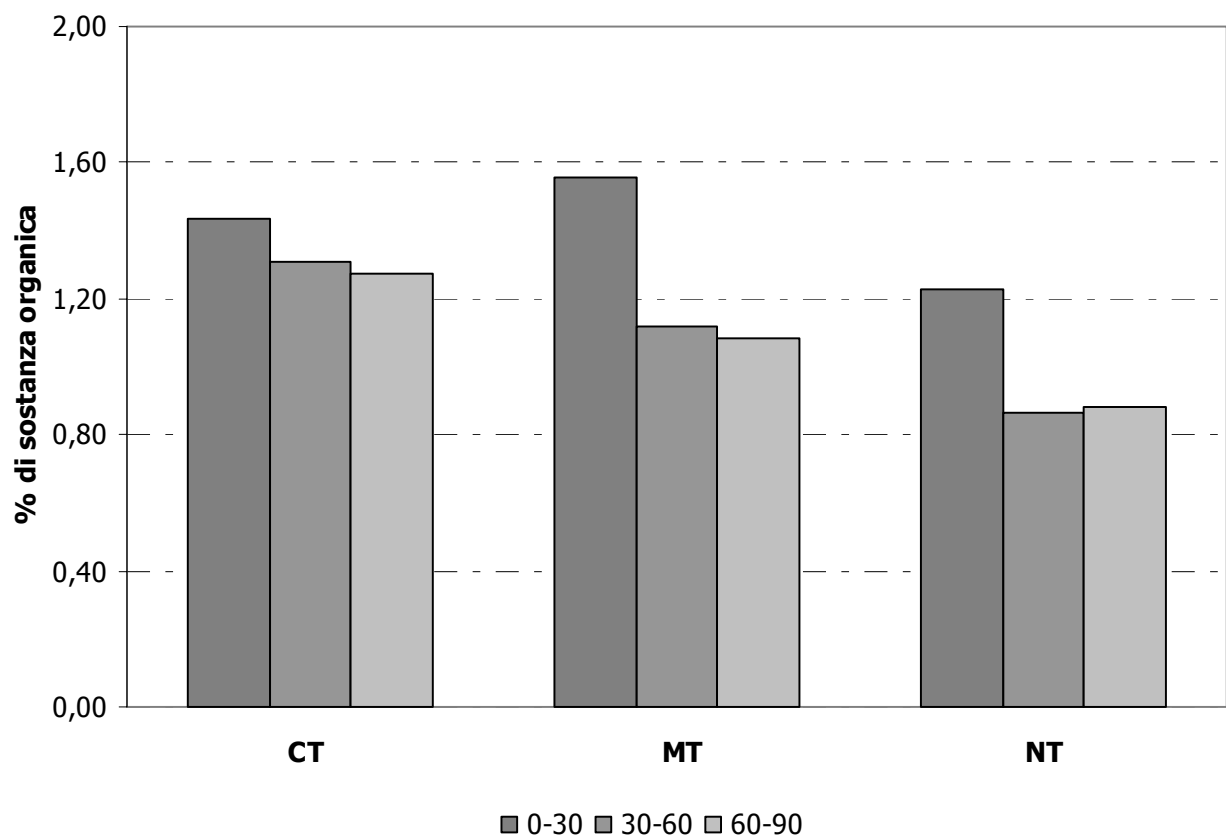


Figura 3: dotazione di sostanza organica sui terreni di prova all'inizio della sperimentazione (2005), differenziati in 3 strati di profondità da 0 a 30 cm, da 30 a 60 cm e da 60 a 90 cm.

Tesi	Strato	ISSS			USDA		
		sab	limo	arg	sabbia	limo	arg
CT	0-30	61,76091	23,63224	14,60685	48,36816	37,02499	14,60685
CT	30-60	54,7982	30,44995	14,75185	42,31596	42,93219	14,75185
CT	60-90	47,19398	32,92727	19,87875	31,60178	48,51947	19,87875
MT	0-30	42,99469	40,12043	16,88488	31,67887	51,43625	16,88488
MT	30-60	26,96607	44,0493	28,98464	12,73654	58,27882	28,98464
MT	60-90	17,33831	45,75289	36,90881	3,098824	59,99237	36,90881
NT	0-30	64,0782	22,05558	13,86622	50,24028	35,8935	13,86622
NT	30-60	42,42327	40,45739	17,11934	27,16725	55,71341	17,11934
NT	60-90	35,4094	37,89021	26,70039	19,57542	53,7242	26,70039

Figura 4: risultati dall'analisi del terreno per la tessitura sui terreni di prova all'inizio della sperimentazione (2005) differenziati in 3 strati di profondità da 0 a 30 cm, da 30 a 60 cm e da 60 a 90 cm.

## **Capitolo 3 - Umidità del terreno e densità volumica: evoluzione in 2 anni di prova legati alle diverse tecniche di lavorazione e allo strato del suolo considerato**

### **3.1 - Umidità del terreno**

La gestione dell'acqua nel suolo è fortemente influenzata dalle caratteristiche del solco di semina, dalla tipologia di terreno, dall'azione degli attrezzi deputati alla semina e dalla rugosità del solco di semina.

Tale parametro risulta molto importante in quanto fondamentale per la germinazione dei semi e la successiva emergenza delle plantule oltre che per il loro sviluppo; l'operazione di semina influenza la quantità di acqua presente nel suolo in quanto, il disturbo arrecato al suolo dall'utensile, favorisce la perdita d'acqua per evaporazione e quindi l'essiccazione dei primi centimetri di terreno. In generale si può affermare che la percentuale di umidità aumenta con l'aumentare della profondità: in fase di semina si dovrebbe perciò puntare ad un disturbo minimale del terreno, così da favorire la risalita dell'acqua presente nella parte sottostante del terreno fino alla zona di deposizione del seme, limitandone però nello stesso tempo le perdite per evaporazione. Nel caso del disturbo minimale arrecato dall'assolcatore, questo viene ottenuto con l'utilizzo di un attrezzo a dischi, mentre per ottenere un'incremento di umidità del terreno nei primi 3 cm risulta essere più adatto l'impiego di assolcatori ad ancora rispetto a quanto accade con quelli a disco (Wilkins et al., 1983). Questo può essere considerato un vantaggio se prendiamo in esame l'acqua a disposizione del seme, visto che solitamente il seme è deposto a 2,5 cm di profondità, ma allo stesso tempo può essere un problema perché così facendo andiamo a favorire la perdita di acqua per evaporazione. Nel caso dell'assolcatore a doppio disco invece questo limita in maniera più apprezzabile le perdite di umidità per evaporazione lungo il profilo lavorato nel corso del tempo ma risulta anche inferiore l'umidità che si rende disponibile per il seme. Inoltre, in presenza di terreni particolarmente umidi, l'assolcatore ad ancora può non garantire una corretta chiusura del solco di semina.

Un'altra considerazione da fare nel caso ci si trovi ad operare in un ambiente particolarmente ricco di precipitazioni, prende in esame la lunghezza e le dimensioni dei residui correlandoli con l'umidità: si può correre il rischio infatti che l'acqua caduta con le piogge resti troppo a lungo in superficie, assorbita ed intrappolata nel materiale organico e

a lungo andare si possono verificare attacchi di patogeni, quali funghi, dannosi per la coltura.

### **3.2 - Metodologia**

Per monitorare il contenuto di acqua presente nel suolo sono stati eseguiti dei campionamenti di terreno, in diverse epoche durante il ciclo colturale del mais, nei tre anni (2005, 2006, 2007), adottando per i primi due una metodologia diversa rispetto all'ultimo anno di sperimentazione.

Negli anni 2005 e 2006 per rilevare l'acqua presente nel suolo sono stati eseguiti dei prelievi di terreno fatti a tre stadi diversi e cioè in corrispondenza dello stadio delle 2-3 foglie, 7-8 foglie e in fioritura e contemporaneamente sono stati rilevati anche gli altri parametri riguardanti la pianta. I prelievi di terreno che sono stati eseguiti hanno avuto 2 diverse modalità: nel primo stadio (2-3 foglie) è stato utilizzato un campionatore a mano portatile (Eijkelkamp, Glesbeek NL), avente una cella di campionamento con diametro di 8 cm ed altezza di 5 cm, mentre negli altri 2 stadi (7-8 foglie e fioritura) è stato utilizzato un campionatore in acciaio con cella di campionamento in alluminio del diametro di 7 cm ed altezza di 100 cm.

Al primo stadio il campionamento è stato fatto a strati di 5 cm fino a 35 mentre per i due successivi gli strati sono stati eseguiti ogni 10 cm fino ad un metro di profondità.

La determinazione dell'umidità gravitazionale del suolo è stata eseguita presso il laboratorio del Dipartimento Te.S.A.F., sulla base della seguente equazione (eq. 2):

$$[(PU-PS)/PS]*100 \quad (\text{eq. 2})$$

nella quale:

*PU* = Peso Umido tal quale;

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

Nel 2007 sono state posizionate sulle parcelle di sperimentazione delle sonde in pvc per la rilevazione dell'umidità lungo il profilo del suolo, una per ciascun sito di raccolta dati. La rilevazione del contenuto di acqua nel suolo è stata fatta con uno strumento (Diviner 2000) costituito da un'unica sonda portatile che viene fatta scorrere, con un movimento rapido ed uniforme, all'interno del pozzetto in PVC e ne legge i valori di umidità ad

intervalli regolari di 10 cm di profondità a partire dalla superficie. I dati vengono letti e memorizzati sul display del data logger che fa da corredo alla sonda, e successivamente possono vengono scaricati su computer per ulteriori elaborazioni.

Con questa strumentazione è stato possibile monitorare il quantitativo di acqua su tutto il profilo del suolo senza dover prelevare campioni di terreno e questo ha consentito di incrementare maggiormente il numero di rilevazioni totali nel 2007 (tab. 1).

<b>Anno</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
Date rilevazione	11/05	17/05	23/04
	21/06	17/06	08/05
	28/07	24/07	17/05
			23/05
			30/05
			08/06
			15/06
			20/06
			22/06
			27/06
			04/07
			12/07
			25/07
			01/08
			08/08
			30/08
			24/09
			05/10

Tabella 1: date dei rilievi effettuati per il monitoraggio dell'acqua presente nel suolo per i 3 anni. Per il 2007 le rilevazioni sono state molto più numerose in quanto è stata cambiata la modalità di campionamento.

Le precipitazioni, nel 2005, sono state abbastanza distribuite nel periodo estivo con il picco di precipitazione mensile registrato nel mese di ottobre. Per quanto riguarda le temperature si sono avuti periodi con alte temperature nei mesi estivi, con picco a luglio, che hanno fatto registrare alte temperature medie nel periodo giugno-agosto (fig. 1).

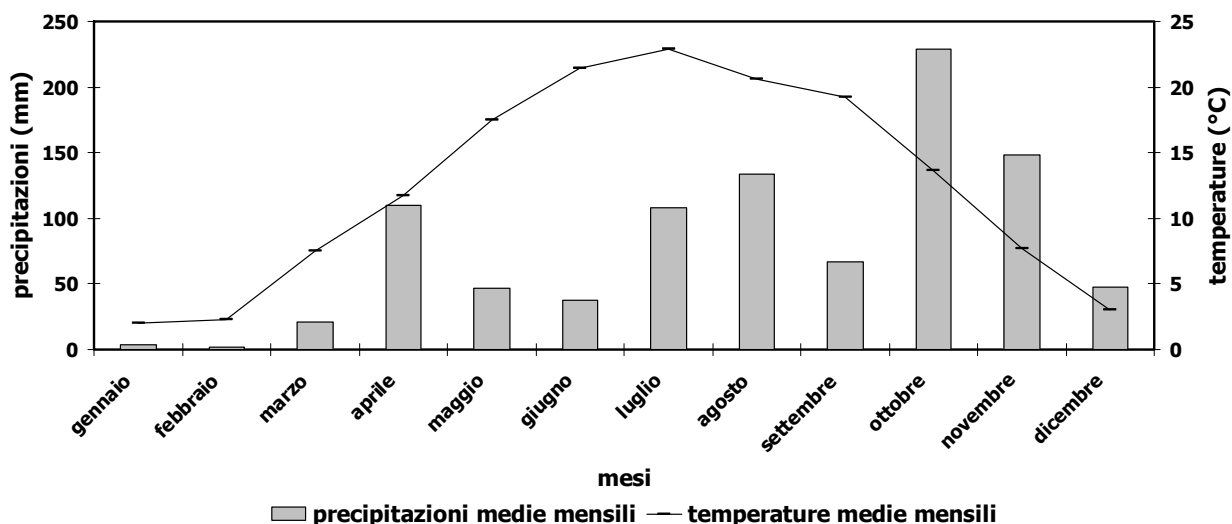


Figura 1: precipitazioni medie mensili e temperature medie mensili per l'anno 2005 rilevati presso la stazione meteorologica dell' ARPAV situata nel comune di Mira (VE) in cui ha sede l'azienda interessata dalla sperimentazione.

Nel 2006, le precipitazioni sono state molto basse nel periodo giugno-luglio con una circa 40 giorni consecutivi di assenza di eventi piovosi in questi mesi e questo spiega il basso livello di acqua presente nel suolo in corrispondenza del terzo campionamento (fig. 2).

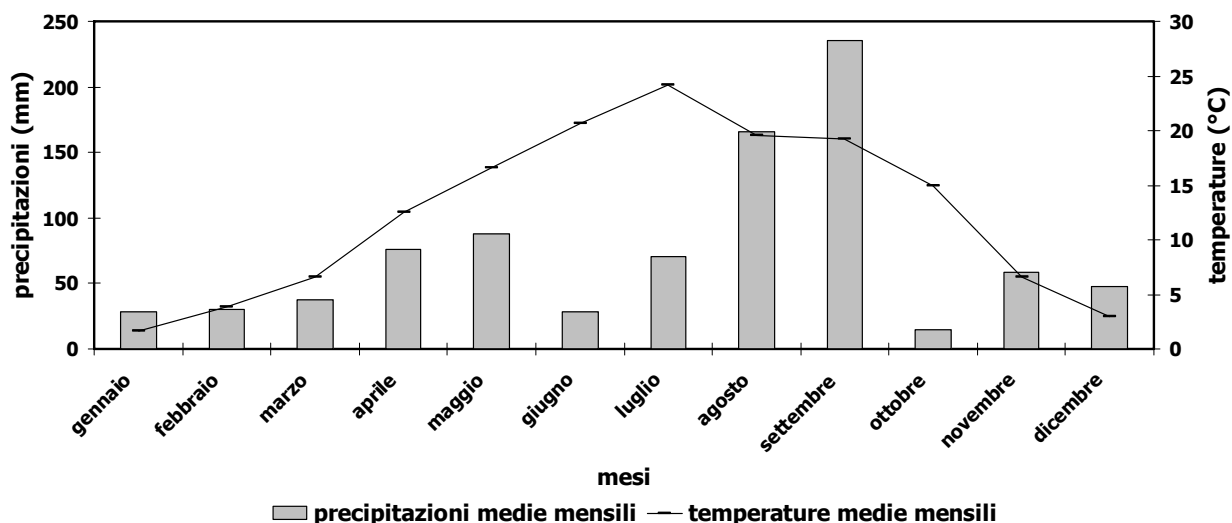


Figura 2: precipitazioni medie mensili e temperature medie mensili per l'anno 2006 rilevati presso la stazione meteorologica dell' ARPAV situata nel comune di Mira (VE) in cui ha sede l'azienda interessata dalla sperimentazione.

Infine, gli eventi piovosi che si sono registrati nel 2007 sono stati abbastanza distribuiti a parte un evento anomalo nel mese di settembre. Le temperature medie non hanno subito

grandi variazioni e nel periodo estivo sono state pressoché stabili, anche se al di sotto delle medie degli altri anni di riferimento (fig. 3).

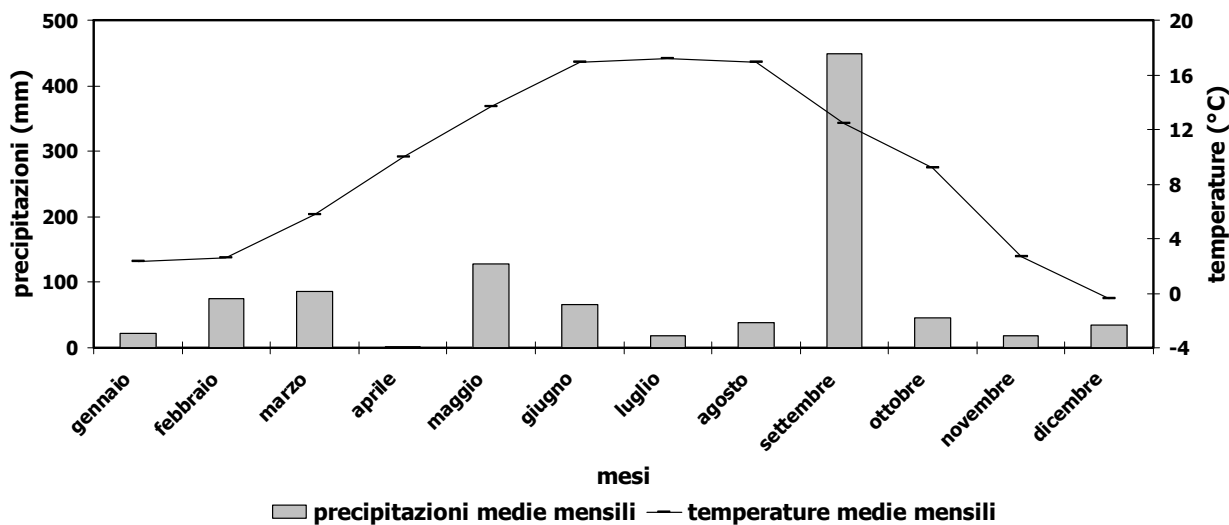


Figura 3: precipitazioni medie mensili e temperature medie mensili per l'anno 2007 rilevati presso la stazione meteorologica dell' ARPAV situata nel comune di Mira (VE) in cui ha sede l'azienda interessata dalla sperimentazione.

Per la determinazione della densità volumica del suolo sono stati prelevati dei campioni di terreno in concomitanza con i rilievi eseguiti per la determinazione dell'umidità del terreno. La strumentazione per il prelievo dei campioni è stata la medesima utilizzata in precedenza ma per la determinazione della densità volumica si è rapportato il peso secco di ciascun campione al volume della cella di campionamento del campionatore, pari a 253,2 cm<sup>3</sup> per il primo stadio e 384,65 per i restanti due stadi, sulla base della seguente equazione (eq. 3):

$$[PU-(PU-PS)]/V \tag{eq. 3}$$

nella quale :

*PU* = Peso Umido tal quale;

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

*V* = Volume noto della cella del campionatore (253,2 cm<sup>3</sup> e 384,65 cm<sup>3</sup>).

### 3.3 - Risultati

#### 3.3.1 – Umidità del terreno

Alla prima data di rilevazione per il 2005, il quantitativo d'acqua presente nel suolo per le tre lavorazioni era pressoché il medesimo con una differenza più marcata al secondo momento d'intervento di MT nei confronti delle altre 2 lavorazioni. Alla terza rilevazione le tesi MT ed NT risultavano avere, come ci si attendeva, un maggior contenuto d'acqua immagazzinato nelle precipitazioni registrate nella seconda metà del mese, grazie alla capacità di queste 2 tecniche di gestione di limitare le perdite d'acqua (fig. 4).

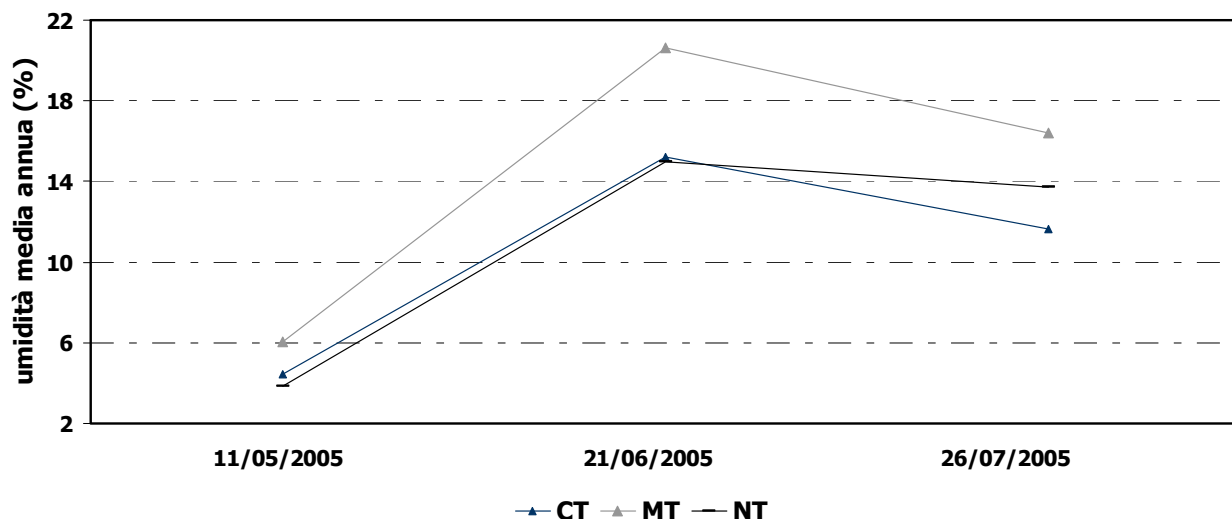


Figura 4: grafico riassuntivo con dati medi del contenuto di acqua presente nel terreno per l'anno 2005 in 3 diversi momenti del ciclo colturale della pianta per tipologia di lavorazione; i tre stadi a cui sono state eseguite le rilevazioni corrispondono alle fasi fenologiche di 2-3 foglie (11 maggio), 7-8 foglie (21 giugno) e fioritura (26 luglio) considerati momenti di particolare interesse.

Nel 2006, considerando i primi due momenti di campionamento, i livelli d'acqua presente nel suolo sono rimasti pressoché invariati e simili fra loro, mentre al momento del terzo campionamento, come si è verificato nel 2005, il livello di acqua della tesi CT è stato quello che ha risentito maggiormente nel periodo estivo (fig. 5).

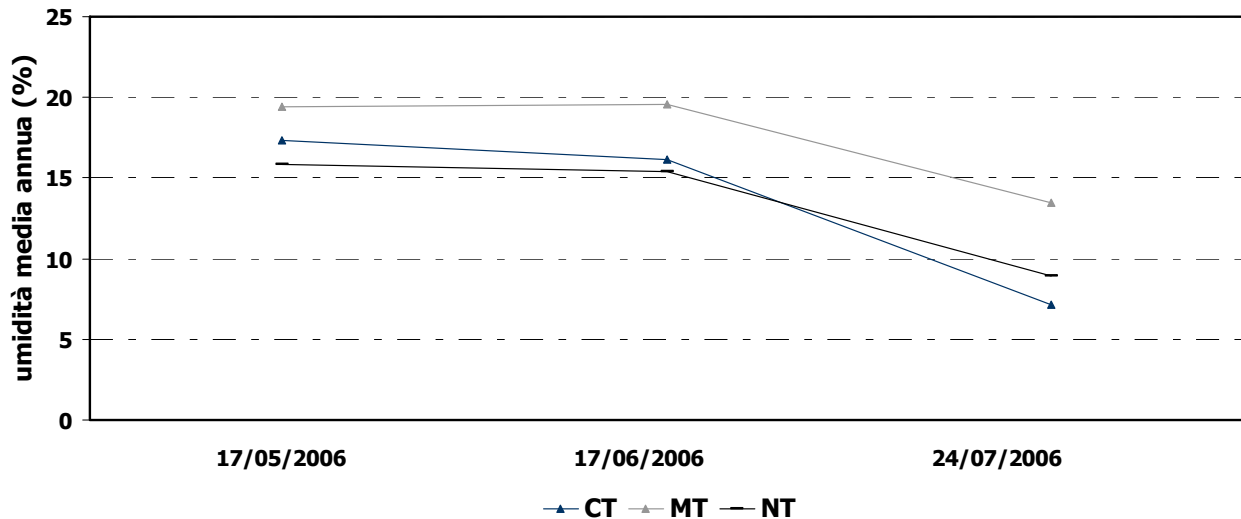


Figura 5: grafico riassuntivo con dati medi del contenuto di acqua presente nel terreno per l'anno 2006 in 3 diversi momenti del ciclo colturale della pianta per tipologia di lavorazione; i tre stadi a cui sono state eseguite le rilevazioni corrispondono alle fasi fenologiche di 2-3 foglie (17 maggio), 7-8 foglie (17 giugno) e fioritura (24 luglio) considerati momenti di particolare interesse.

Analizzando i dati, è stato considerato dapprima l'effetto della stagione e dell'anno sul tipo di lavorazione in funzione dell'acqua presente nel terreno; per quanto riguarda il modello di gestione con CT, si è visto che vi sono differenze fra i dati rilevati nei 2 anni (2005-2006) e differenze significative sono state registrate fra le diverse date di rilevazione (valore di F di 63.26 a fronte di una media quadratica di 127 con un valore di  $P < 0.0001$ ). Per quanto riguarda la gestione con MT, è stata osservata una differenza, seppur minore rispetto alla precedente, fra gli anni (2005-2006) mentre anche per questo parametro sono state rilevate differenze significative per il livello di acqua presente nel suolo fra le diverse date di rilevazione (valore di F di 25.69 a fronte di una media quadratica di 145.7676 con un valore di  $P < 0.0001$ ). Infine considerando la tesi NT, anche in questo caso è stata riscontrata una differenza fra gli anni e significativamente anche fra le date (valore di F di 39.73 a fronte di una media quadratica di 111.7587 per un valore di  $P < 0.0001$ ) (fig. 6).

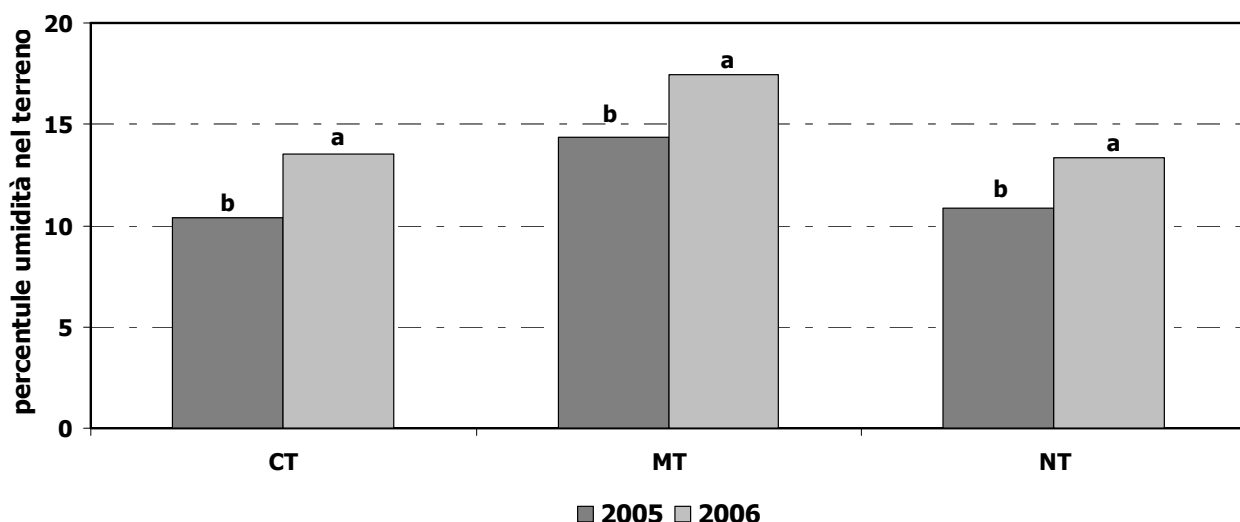


Figura 6: andamento del contenuto d'acqua nel terreno in percentuale per lavorazione, nei 2 anni considerati.

Considerando il livello di acqua nel suolo, la dotazione è risultata essere ad un buon livello grazie alle precipitazioni invernali per subire una leggera contrazione (maggiormente marcata in NT) nel periodo primaverile, ma attestandosi comunque su buoni livelli di dotazione per la coltura. Il periodo estivo ha fatto registrare comunque un buon livello di acqua presente nel suolo ad esclusione del mese di agosto in cui si sono registrati valori minimi per l'assenza di precipitazioni. Ad ogni modo, anche nel 2007 come per le annate precedenti, in condizioni di limitata disponibilità idrica, le tecniche di gestione con MT ed NT hanno dimostrato una maggior capacità di immagazzinamento d'acqua (fig. 7).

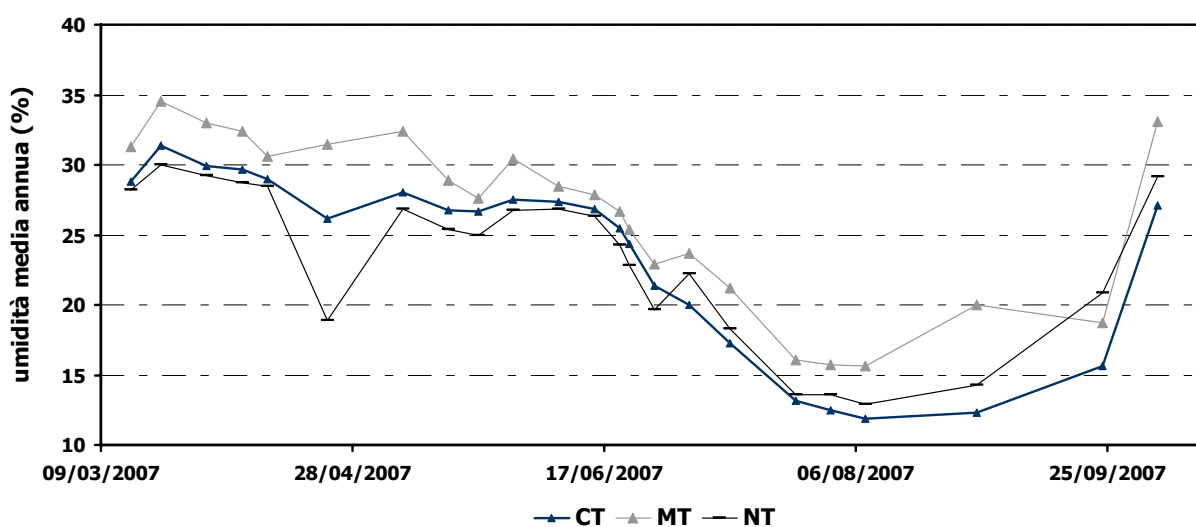


Figura 7: grafico riassuntivo con dati medi del contenuto di acqua presente nel terreno per l'anno 2007. i rilievi in questo anno sono stati in numero maggiore in quanto è stato cambiato il sistema di rilevamento, dotandosi di nuova strumentazione.

Come evidenziato dall'andamento dei grafici, in situazioni di mancato apporto di acqua in seguito ad evento piovoso, i terreni gestiti con tecniche di minima lavorazione e non lavorazione hanno mostrato una miglior capacità di stoccaggio idrico; questo fenomeno, che si è accentuato sui terreni di prova gestiti con minima lavorazione, in parte è giustificato anche dal fatto che quest'ultimo presenta un maggior quantitativo di argilla lungo il profilo e quindi risulta più avvantaggiato rispetto agli altri 2 in termini di immagazzinamento d'acqua (fig. 8).

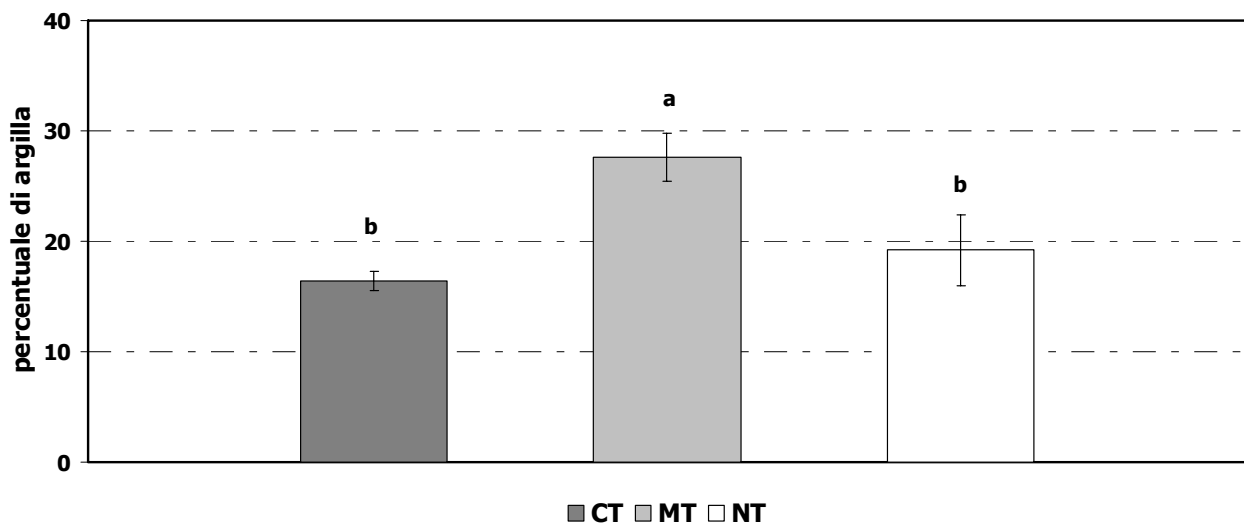


Figura 8: contenuto percentuale di argilla rilevato nelle 3 tesi. Le barrette verticali indicano l'errore standard del quantitativo di argilla nel terreno. Le diverse lettere indicano la significatività statistica sulla differenza in termini di percentuale di argilla fra le diverse tesi.

Considerando la correlazione esistente fra la quantità d'argilla presente nel suolo e l'umidità media registrata nei 2 anni (2005 e 2006) è risultata esserci una correlazione diretta solo nel caso della tesi MT ( $R^2=0,66$ ), mentre non è stata confermata per CT ed NT (rispettivamente  $R^2=0,19$  ed  $R^2=0,23$ ) (fig. 9).

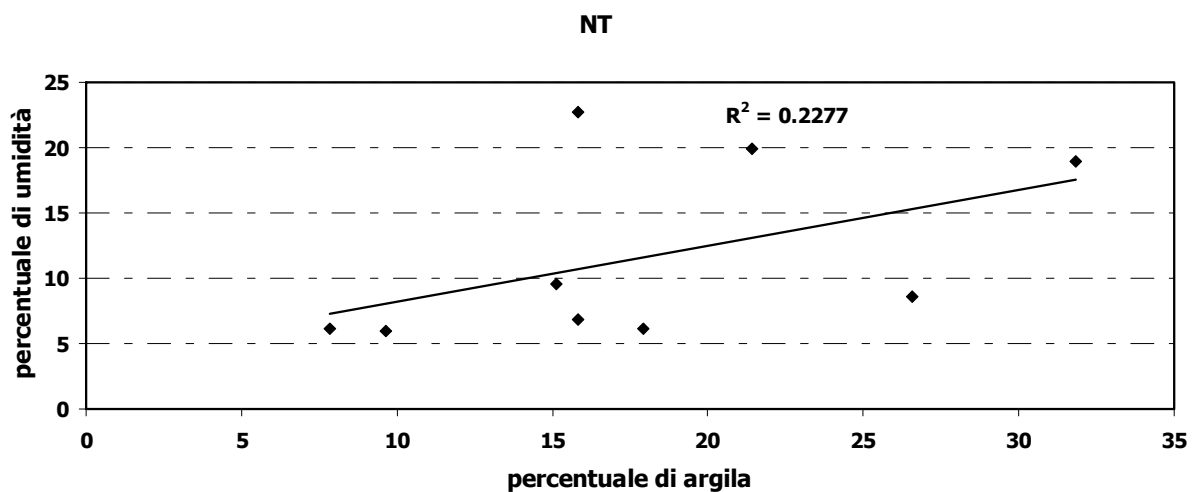
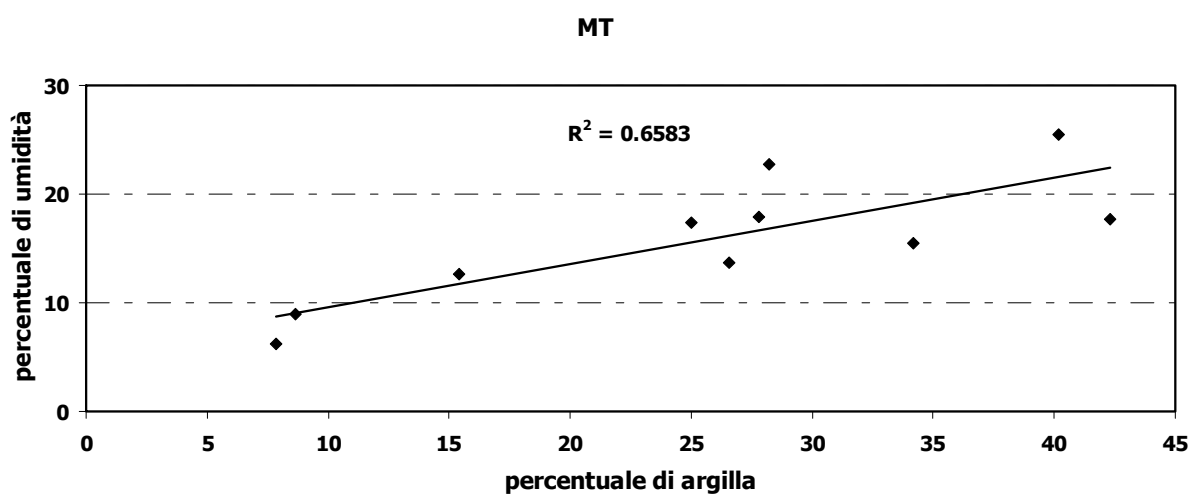
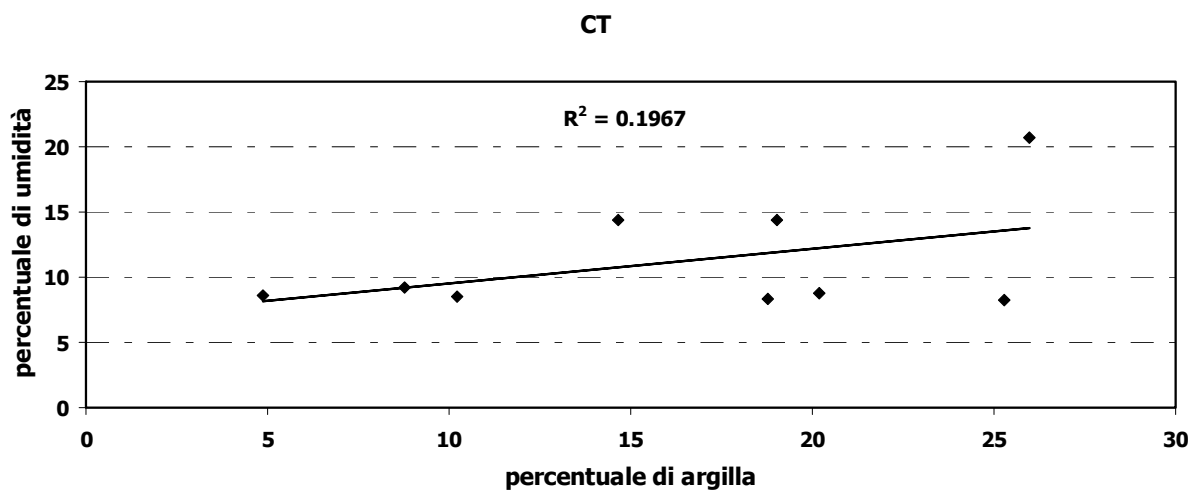


Figura 9: correlazione fra la percentuale di argilla e di acqua presente (mediata per i 2 anni, 2005 e 2006) nel terreno per le 3 tesi.

Andando nello specifico a considerare i singoli anni e la quantità d'acqua presente nel suolo per singolo strato, è possibile vedere come in base allo stadio colturale in cui si è andati ad eseguire il campionamento, è variato il contenuto idrico presente nel suolo.

Nel 2005, allo stadio di 2-3 foglie (fig. 10), confrontando i dati è emerso che non vi sono particolari differenze considerando i diversi strati di terreno, mentre differenze statisticamente significative risultano esservi fra le diverse tecniche di gestione: la tesi MT si discosta considerevolmente dalle altre due che invece risultano essere simili fra di loro (valore di F di 25.13 a fronte di una media quadratica di 44.96 per un valore di  $P < 0.0001$ ). Non è stata invece rilevata alcuna differenza significativa nell'interazione che lega la variazione di profondità in base al tipo di lavorazione eseguita.

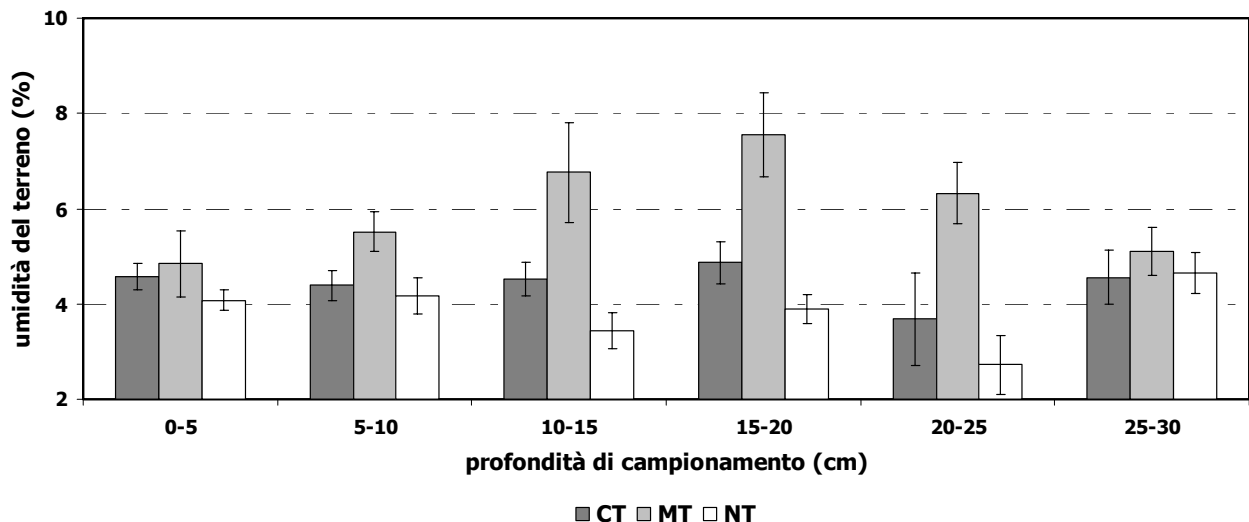


Figura 10: Percentuale d'umidità nel terreno diviso per tesi con campionamento alla 2<sup>^</sup>-3<sup>^</sup> foglia (11 maggio 2005).

Per il secondo momento di campionamento del 2005, alla fase di 7<sup>^</sup>-8<sup>^</sup> foglia (21 giugno), le differenze fra le diverse gestioni e in relazione alla profondità di campionamento sono state in tutti i casi significative. Considerando l'effetto della lavorazione sul terreno è stata accertata una differenza statisticamente significativa fra la tesi MT nei confronti delle altre 2, la CT e l'NT (con un valore di F di 34.84 a fronte di una media quadratica di 319.96 con un valore di  $P < 0.0001$ ). Allo stesso tempo è risultata anche esserci una significativa differenza legata al diverso strato di terreno preso in considerazione e al suo livello di acqua presente (valore di F di 37.74 a fronte di una media quadratica di 346.5586 per un valore di  $P < 0.0001$ ). Infine, considerando l'interazione che può esserci fra la variazione di profondità connessa al diverso tipo di

lavorazione di ciascuna tesi, è stata riscontrata una differenza statistica significativa anche in questi termini (valore di F di 4.80 a fronte di una media quadratica di 44.0997 con un valore di  $P < 0.0001$ ) (fig. 11).

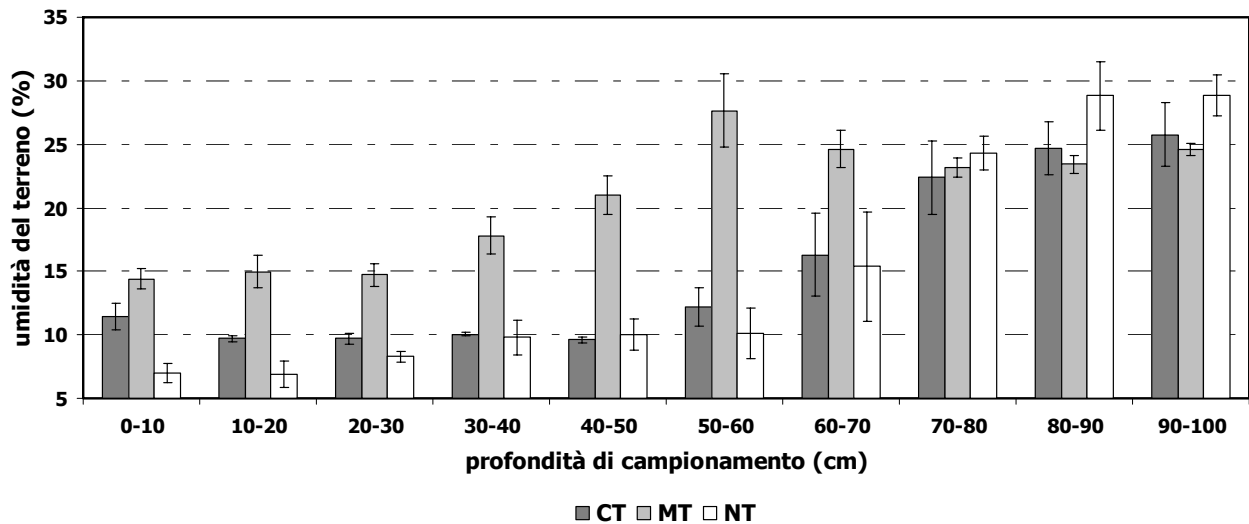


Figura 11: Percentuale d'umidità nel terreno diviso per tesi con campionamento alla 7<sup>a</sup>-8<sup>a</sup> foglia (21 giugno 2005).

Al terzo momento di campionamento del 2005, in fioritura (26 luglio), l'unica differenza significativa degna di nota è stata in termini di profondità di campionamento (valore di F di 15.70 a fronte di una media quadratica di 326.80757 per un valore di  $P < 0.0001$ ); non sono state riscontrate infatti particolari differenze fra i diversi tipi di gestione del suolo e neanche nell'interazione fra tipologia di gestione e profondità di campionamento (fig. 12).

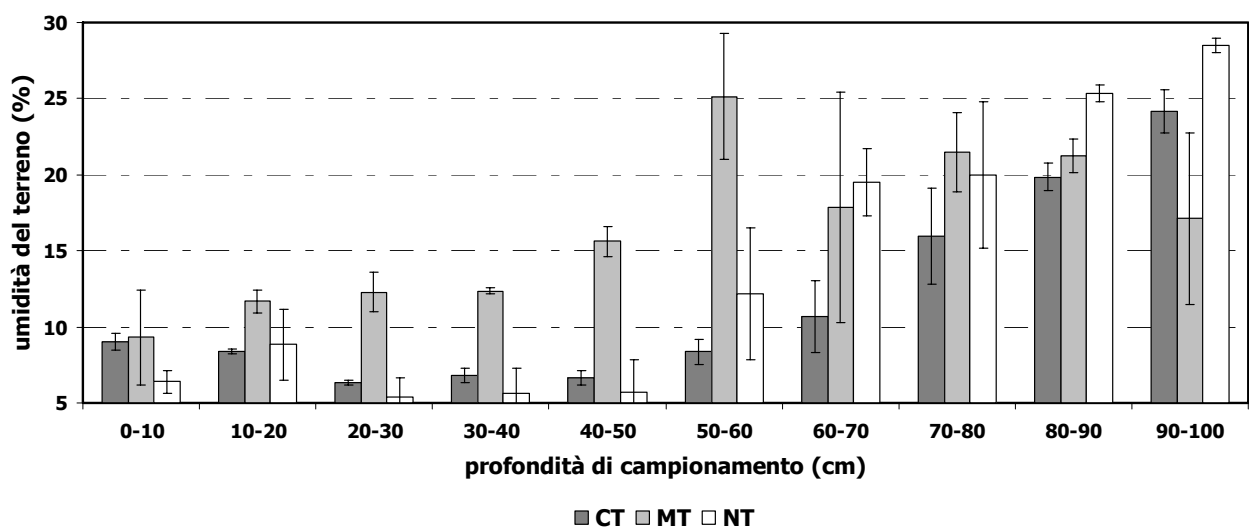


Figura 12: Percentuale di umidità nel terreno diviso per tesi con campionamento in fioritura (26 luglio 2005).

Passando ai rilievi eseguiti nel 2006, il primo si è ripetuto per lo stadio di 2-3 foglie (17 maggio), e in questo caso si è potuto osservare una differenza statisticamente significativa solo in termini di diversa gestione del suolo. È stata infatti giustificato in parte il maggior contenuto di acqua presente nei terreni gestiti con MT rispetto a quelli con NT e CT, differenza notata soprattutto nei due strati di campionamento più profondi (valore di F di 39.73 a fronte di una media quadratica di 111.7587 con un valore di  $P < 0.0001$ ) (fig.13).

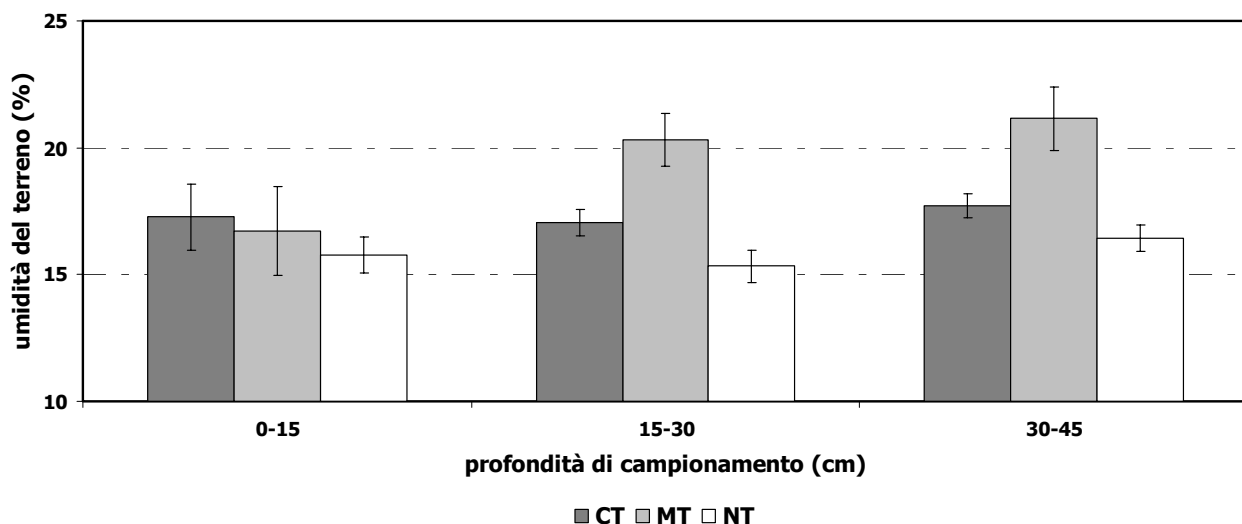


Figura 13: Percentuale di umidità nel terreno diviso per tesi con campionamento alla 2<sup>a</sup>-3<sup>a</sup> foglia (17 maggio 2006).

Il secondo campionamento del 2006 a 7-8 foglie (17 giugno), ha messo in luce che non ci sono state differenze significative fra le diverse tipologie di gestione (fig. 14), mentre è stata riscontrata una differenza particolarmente significativa fra le diverse profondità (valore di F di 16.00 a fronte di una media quadratica di 323.2556 per un valore di  $P < 0.0001$ ).

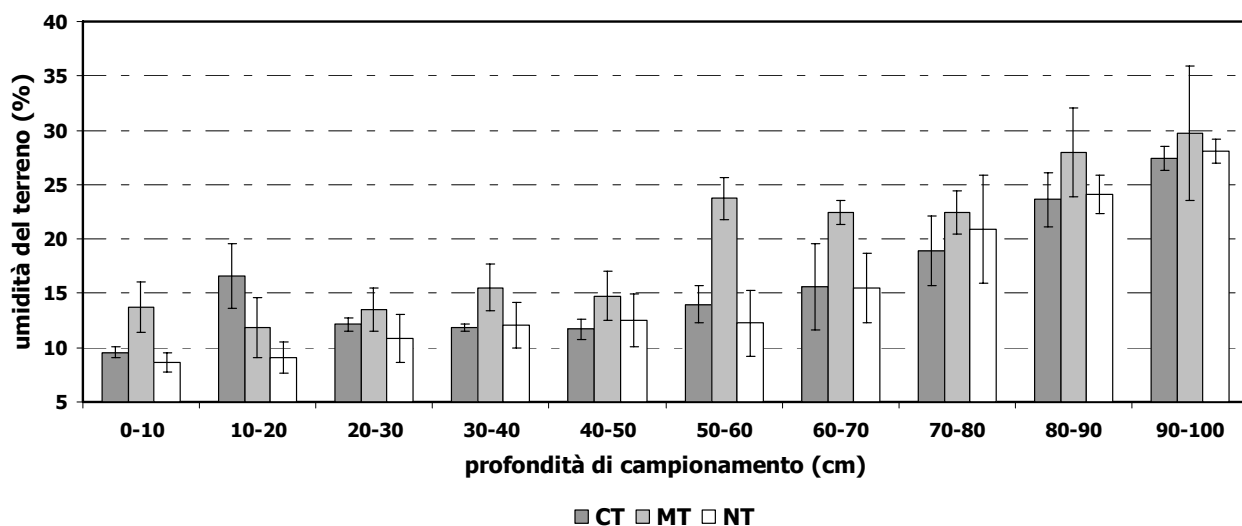


Figura 14: percentuale di umidità nel terreno diviso per tesi con campionamento alla 7<sup>a</sup>-8<sup>a</sup> foglia (17 giugno 2006).

Al momento della fioritura (24 luglio 2006), è stata osservata una differenza significativa fra le tre tesi (fig. 15) considerando la profondità di campionamento (valore di F di 23.98 a fronte di una media quadratica di 443.028 per un valore di  $P < 0.0001$ ) e le diverse tipologie di gestione (valore di F di 17.21 a fronte di una media quadratica di 328.0562 per un valore di  $P < 0.0001$ ): non è stata invece significativa l'interazione presente fra la diversa profondità di campionamento in relazione alla diversa tecnica di gestione del terreno.

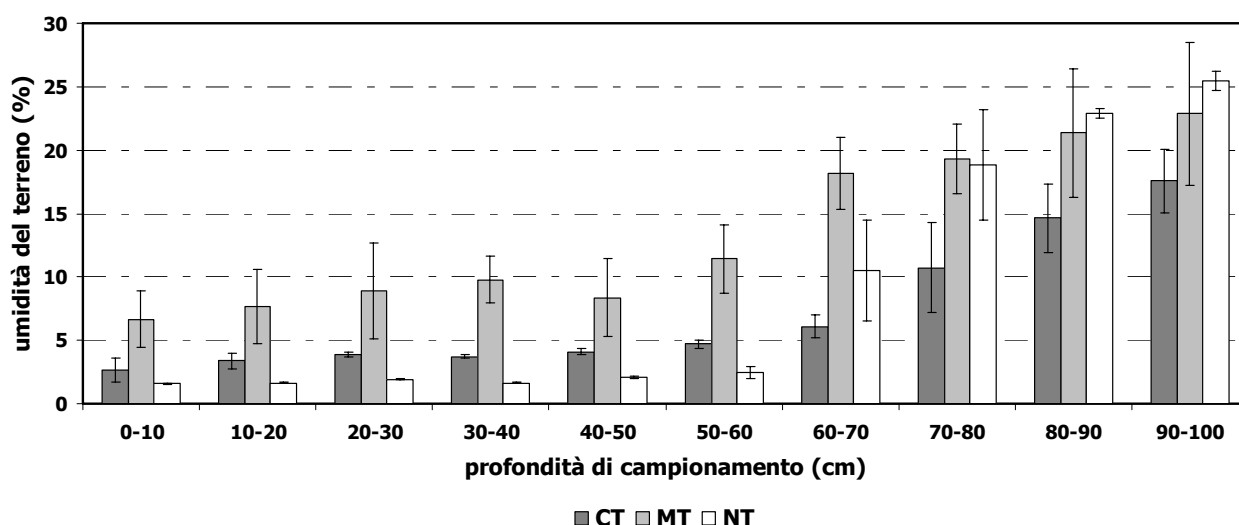


Figura 15: percentuale di umidità nel terreno diviso per tesi con campionamento in fioritura (24 luglio 2006).

### 3.3.2 - Densità volumica del terreno

Passando a considerare la densità volumica del suolo ( $\text{g cm}^{-3}$ ), questa è stata considerata per singolo stadio di campionamento, differenziato per tipologia di lavorazione e in base allo strato di terreno considerato.

Alla prima rilevazione per il 2005, in corrispondenza del rilievo per l'umidità del suolo, la densità del terreno (fig. 16), non ha evidenziato particolari differenze fra le lavorazioni e nessuna differenza significativa è stata riscontrata fra i diversi strati di campionamento del suolo.

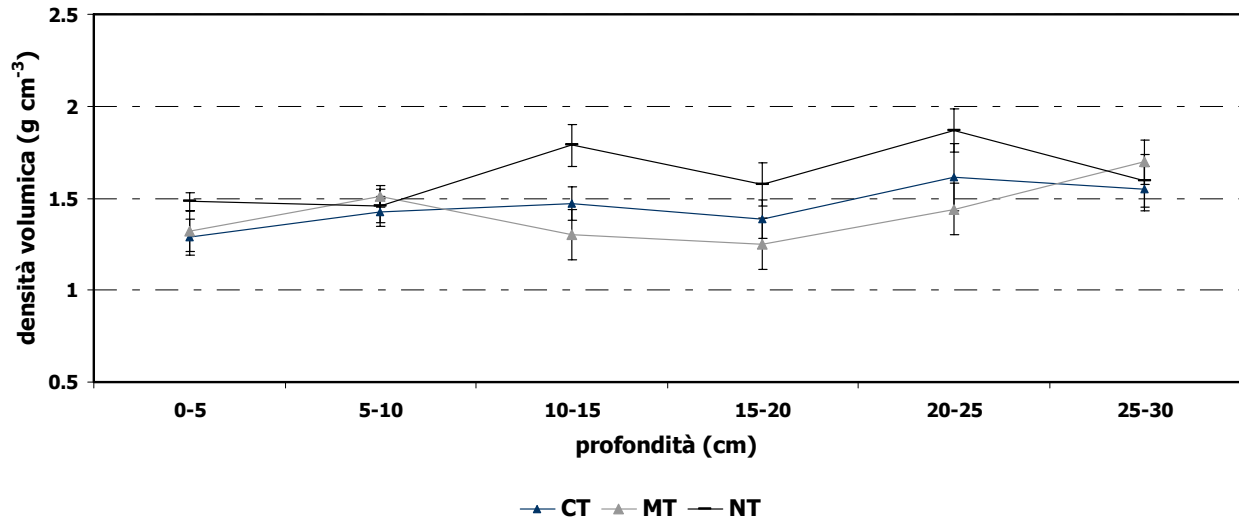


Figura 16: densità volumica del terreno allo stadio di 2-3 foglie (11 maggio 2005).

Anche nel secondo rilievo del 2005, allo stadio di 7-8 foglie (fig. 17), nonostante la discrepanza sia marcata per la lavorazione MT rispetto alla CT ed alla NT, non vi è una differenza statistica significativa che spieghi questo dato.

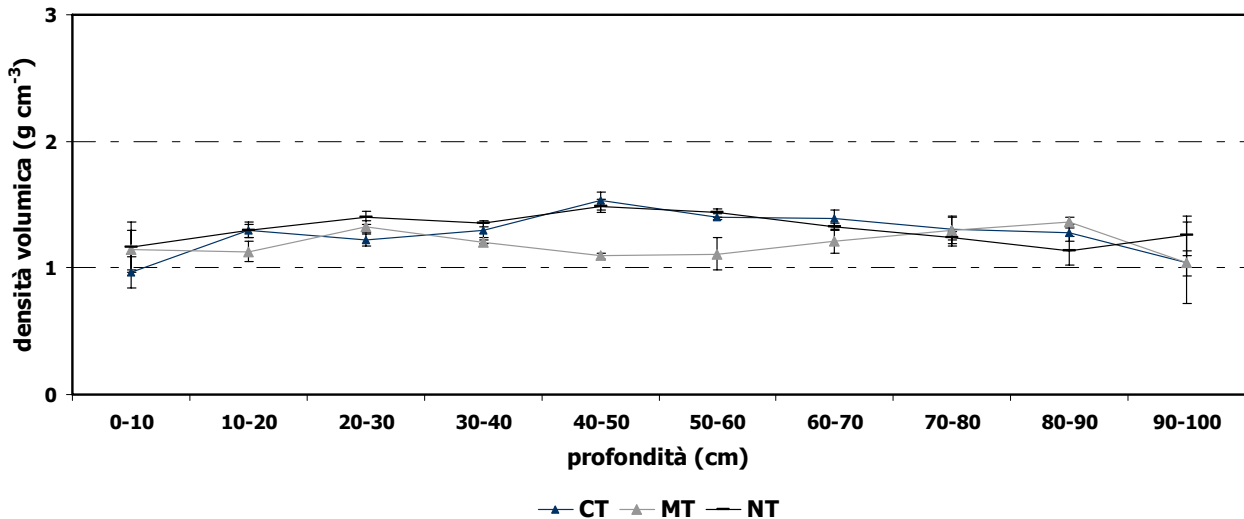


Figura 17: densità volumica rilevata durante il ciclo colturale della coltura 7-8 foglie 2005.

Anche l'ultimo rilievo del 2005, infine, non si è discostato dai due precedenti dello stesso anno andando ad evidenziare una certa differenza fra la lavorazione MT su qualche strato, ma non giustificando una significativa differenza (fig.18).

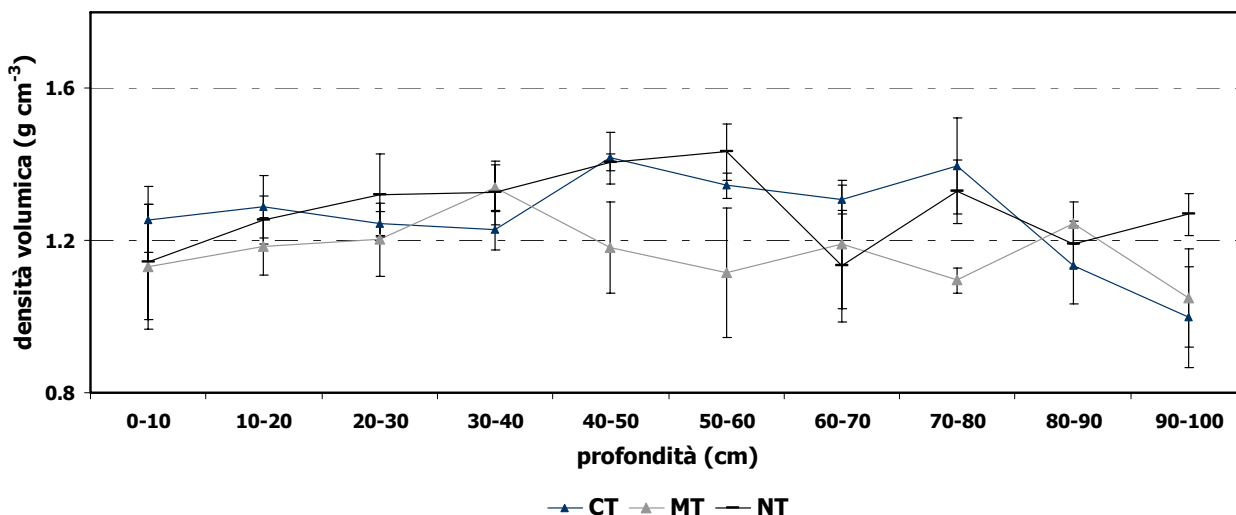


Figura 18: densità volumica del terreno allo stadio di fioritura (26 luglio 2005)

Per i campionamenti eseguiti nel 2006, al primo stadio considerato non sono state riscontrate differenze significative in base alla tipologia di lavorazione, che per strato di terreno lavorato che per interazione di questi due, anche se una certa differenza è comunque stata messa in risalto per il primo strato di campionamento (0-15 cm) rispetto agli altri 2 (fig.19).

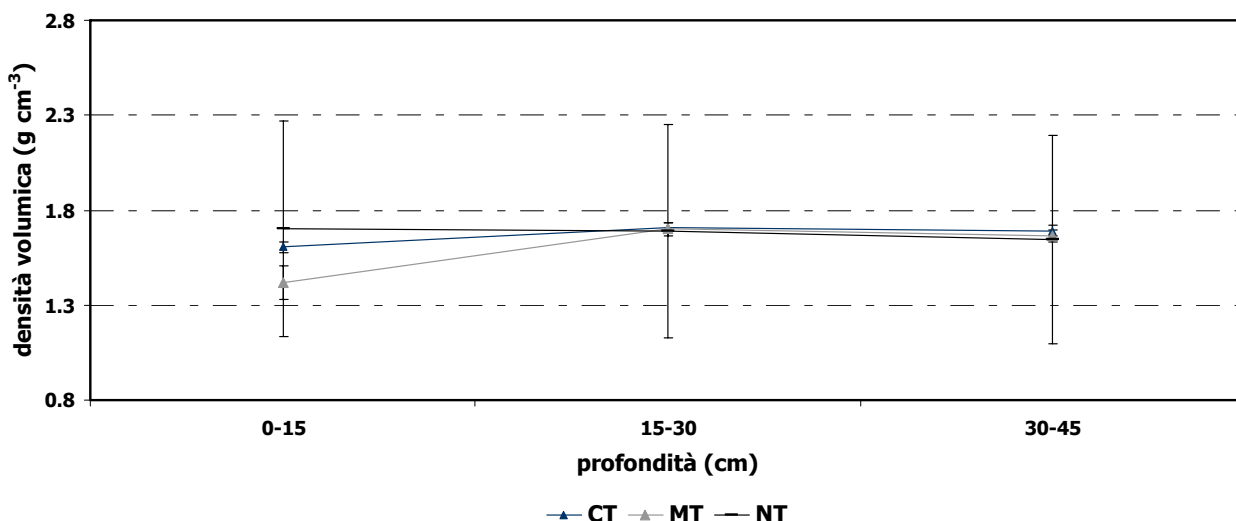


Figura 19: densità volumica del terreno allo stadio di 2-3 foglie (17 maggio 2006)

Al secondo momento di campionamento sono stati considerati i medesimi parametri e non sono state trovate differenze rilevanti fra la tipologia di lavorazione e nell'interazione fra lavorazione e profondità. È stata altresì osservata un significativa differenza (valore di F di

6.29 a fronte di una media quadratica di 0.1481 per un valore di  $P < 0.0001$ ) per quanto riguarda i diversi strati a cui sono stati eseguiti i campionamenti (fig. 20).

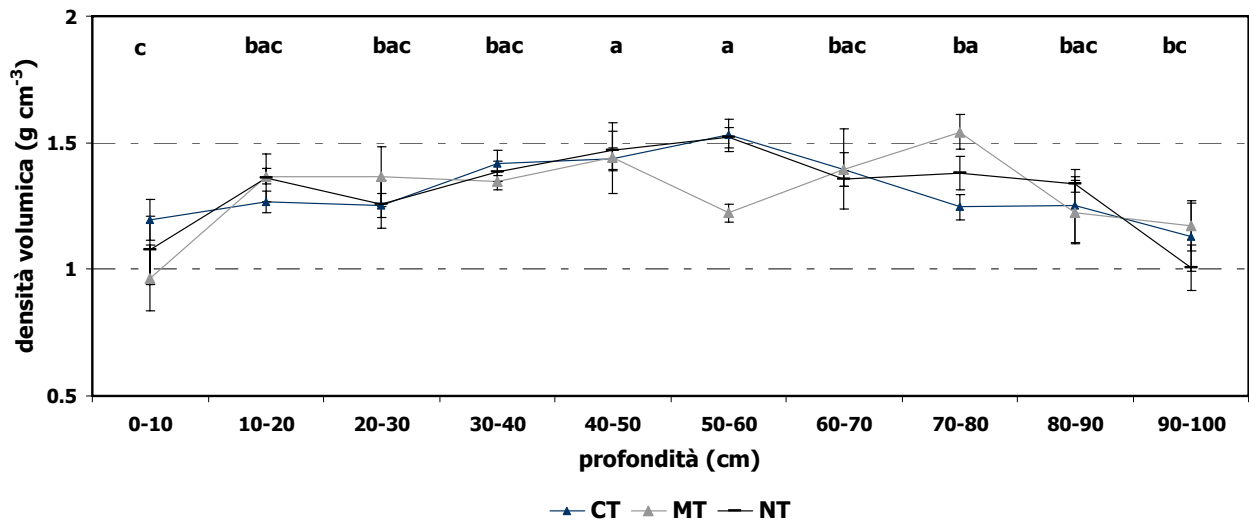


Figura 20: densità volumica del terreno allo stadio di 7-8 foglie (17 giugno 2006).

Nell'ultimo campionamento, in fase di fioritura, sono state riscontrate alcune differenze, anche se non significative, per tipologia di lavorazione mentre non ve ne sono state di particolarmente significative neanche lungo il profilo di campionamento e sull'interazione dei 2 parametri (fig. 21).

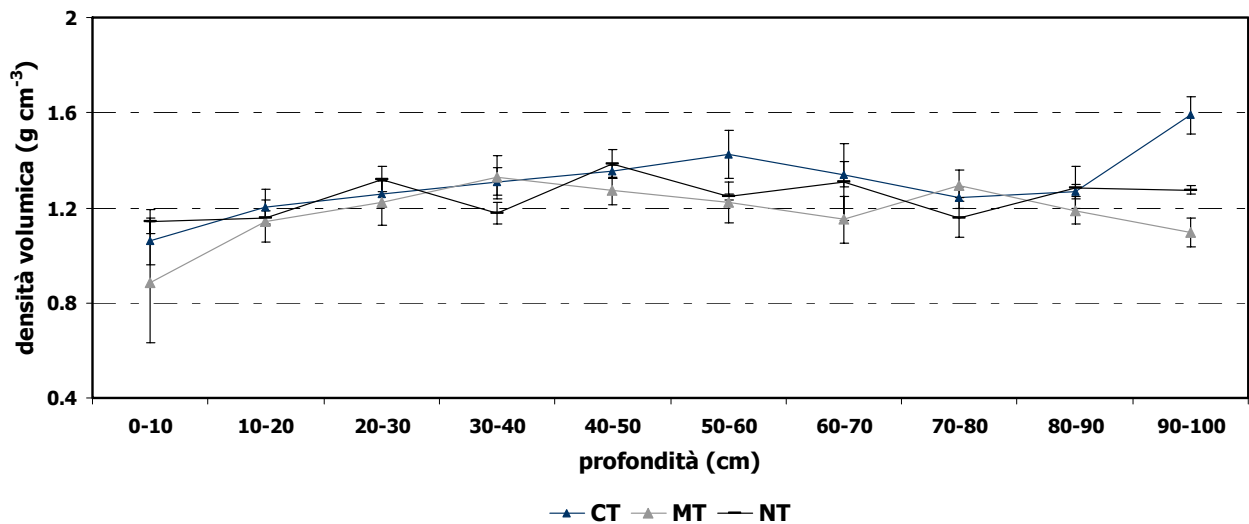


Fig 21: densità volumica del terreno allo stadio di fioritura (24 luglio 2006).

## Capitolo 4 – Rilievo dello sviluppo radicale nella coltura del Mais nelle tre tecniche di gestione del suolo

### 4.1 - Accrescimento e sviluppo radicale

Tra i fattori che ostacolano lo sviluppo radicale (contenuto di nutrienti, presenza di acqua, tenore di ossigeno, fattore termico... ) l'impedenza meccanica opposta dal suolo all'accrescimento radicale, intesa come la forza che il suolo è in grado di opporre alla forza di penetrazione esercitata dalle radici, riveste un ruolo non trascurabile, e risulta legato a molteplici aspetti, influenti sulla formazione di uno strato maggiormente compattato, alcuni dei quali dipendenti dalle caratteristiche del terreno della coltura oggetto d'analisi, mentre altri risultano collegati al tipo di gestione cui l'appezzamento in questione è sottoposto. In particolare, si possono individuare i seguenti punti:

- **sviluppo radicale** se scarso si ha una minore intercettazione di nutrienti, soprattutto in stagioni poco piovose e con temperature al di sotto della media stagionale, in relazione alle necessità fenologiche della coltura; riduzione dell'allungamento radicale sia in prossimità allo strato compattato che nelle regioni attigue ad esso .
- **densità volumica apparente**: tale parametro, assume valori crescenti all'aumentare della profondità considerata nel caso di un terreno non lavorato, mentre può risentire della presenza di una suola di lavorazione nel caso di un terreno lavorato, con la conseguente presenza, lungo il profilo del terreno, di strati maggiormente compattati; la radice quindi, nelle fasi di approfondimento e di espansione, incontra una resistenza alla penetrazione crescente o localizzata (Taylor H M, et Al 1966); a tal proposito è interessante osservare come la densità volumica apparente sia legata al contenuto di argilla, in quanto aumentando il tenore di questa componente granulometrica si ha una diminuzione del valore di densità riscontrato, con conseguenti effetti sull'impedenza del suolo alla penetrazione .
- **il potenziale matriciale**: all'aumentare della forza di attrazione esercitata dai colloidi nei confronti delle molecole d'acqua si ha un incremento. della resistenza del terreno alla penetrazione ( Taylor H M, et Al 1966).
- **la tessitura**: nel caso in cui si operi in presenza di un potenziale matriciale corrispondente all'intervallo acqua disponibile, si ha che all'aumentare del contenuto in

argilla la densità apparente tende a diminuire rispetto ad un terreno limoso-sabbioso: il maggior contenuto di colloidali si accompagna ad una superiore capacità di trattenuta idrica, oltre alla migliore struttura del suolo in grado di garantire oltre ad una buona disponibilità di acqua disponibile anche una soddisfacente aerazione; non solo, una buona struttura comporta un maggior numero di micropori, attraverso i quali le radici possono insinuarsi continuando nel loro processo di crescita (C.J. Gerard, 1982); Al contrario, l'assenza di una buona struttura e la maggiore forza d'attrito tra le particelle di sabbia, oltre alla ridotta capacità di trattenuta, sono all'origine della maggiore forza opposta dal suolo alla penetrazione. In corrispondenza di un potenziale matriciale elevato, con poca acqua disponibile, si ha una maggiore impedenza meccanica in un terreno argilloso, a seguito delle forze di attrazione che si vengono a creare tra i singoli colloidali: pur in presenza di densità apparenti inferiori si ha comunque un incremento della resistenza alla penetrazione, come dimostra la presenza di uno strato compattato superficiale nel caso di un terreno argilloso-limoso, per il quale si hanno valori limite di resistenza alla penetrazione più bassi (C.J Gerard, 1982). L'incidenza delle singole componenti granulometriche sulla resistenza del terreno alla penetrazione si traduce nella presenza, all'interno dello stesso appezzamento, di una differente situazione sulla base della variabilità della tessitura, tanto da poter ipotizzare la costruzione di curve di isodensità apparente con le quali risalire, a seconda della diversa incidenza delle componenti granulometriche sulla tessitura, alla resistenza alla penetrazione incontrata nei diversi punti dalle radici della coltura (Daddow R.L. and Warrington G.E., 1983);

- **interazione acqua tessitura:** la resistenza del suolo alla penetrazione subisce delle variazioni a seguito delle modifiche che si vengono a determinare a carico delle principali proprietà del terreno: una riduzione della densità volumica apparente nel caso della soia su terreno sabbioso-argilloso è risultata essere più incisiva di un aumento del potenziale matriciale in quanto nel primo caso si ha una diminuzione dei micropori e dei vani vuoti del terreno attraverso i quali la radice si può accrescere; molto importante risulta anche la combinazione di differenti fattori, con la resistenza alla penetrazione che aumenta ulteriormente a seguito di un innalzamento della densità apparente e di una riduzione dell'acqua adsorbita ai colloidali (Yapa L.G.G., 1988);
- **tipo di coltura:** un asse radicale è in grado di esercitare in fase di crescita una forza di penetrazione pari a 0.9-1.3 MPa, a seconda della specie considerata, mentre il dato

misurato con penetrometro sovrastima il limite di resistenza alla penetrazione radicale fornendo un risultato pari a 0.8-5 MPa; ciò è spiegato sulla base della diversa modalità di penetrazione esercitata da una radice rispetto alla sonda penetrometrica ed al differente contatto che si instaura tra il terreno e la stessa sonda in fase di approfondimento: da un lato infatti la sonda impiegata segue un percorso lineare e si approfondisce ad una velocità molto elevata rispetto a quanto accade per una radice, la quale invece segue un percorso tortuoso, sfruttando eventuali vani vuoti, deformando il suolo ad una velocità inferiore e incontrando una variabilità spaziale, riferita all'impedenza meccanica del suolo, superiore alla capacità di rilevazione della sonda, la quale fornisce un dato medio delle differenze incontrate nell'intorno del sito di approfondimento. Molto importante in proposito risulta anche la forza di attrito che si genera tra il terreno e la superficie laterale della sonda, aspetto trascurabile nel caso di una radice, la quale attenua l'incidenza di questa componente grazie anche alla produzione di essudati in prossimità dell'apice radicale. Il dato penetrometrico è comunque molto utile nel fornire un'indicazione sulle condizioni di resistenza che la radice incontra nella fase di approfondimento lungo il profilo del terreno, fenomeno a seguito del quale si ha una riduzione dell'allungamento radicale con un incremento del diametro della radice: il tutto è spiegato con un incremento del numero di cellule per unità di radice ed un maggior diametro delle singole cellule in corrispondenza della regione corticale. Le differenze esistenti tra le singole colture si manifestano nella differente attitudine alla penetrazione radicale, caratteristica che è legata alla forza di penetrazione dell'asse radicale e allo stesso tempo al diametro dell'asse medesimo: di conseguenza specie diverse sono in grado di reagire in modo differente alle medesime condizioni di resistenza alla penetrazione ( Materechera S.A. et al., 1992);

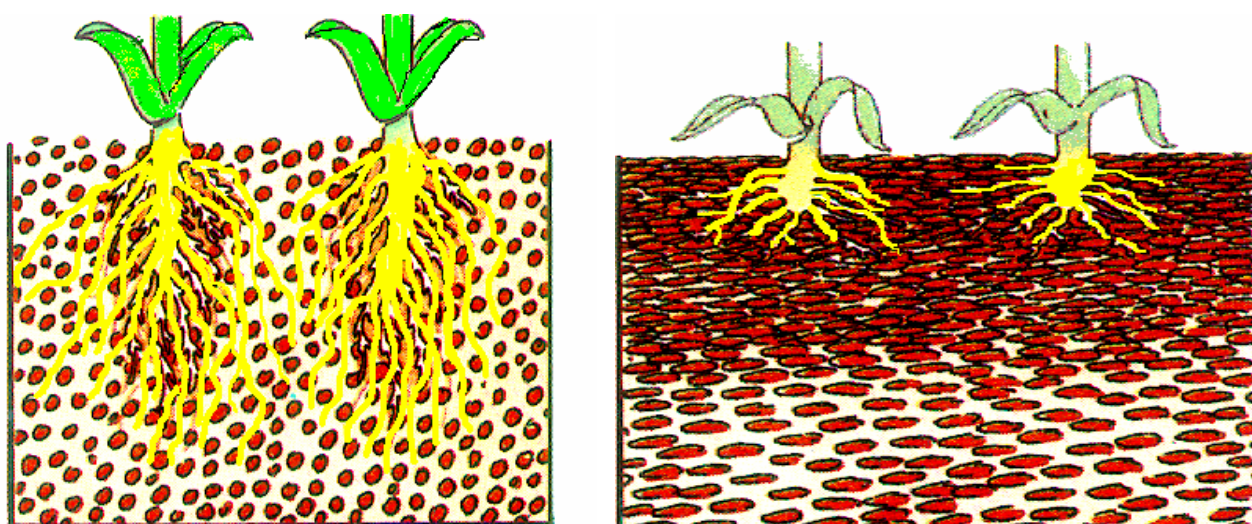


Fig. 2- Sviluppo tra: radici in suoli compattati e non compattati.

Infine, accanto all'interazione tra i singoli aspetti fin qui schematizzati, si deve prendere in considerazione l'incidenza del *fattore tempo*: nel corso del ciclo colturale la radice, approfondendosi lungo il profilo di terreno, si viene a trovare a contatto con strati differenti, per i quali possono variare le principali caratteristiche responsabili di una maggiore resistenza alla penetrazione, con una risposta diversa da parte dello stesso apparato radicale, a seguito anche dell'instaurarsi di condizioni esterne di diversa natura ed entità, tra cui le precipitazioni e le lavorazioni. In corrispondenza di un incremento della densità apparente del terreno si assiste ad un insieme di modificazioni (tenore di ossigeno, vani vuoti, acqua disponibile..) la cui entità può subire delle variazioni nel corso del ciclo colturale; qualora infatti si sia individuata la presenza di uno stato compattato lungo il profilo del terreno (es. suola di lavorazione), esso può rappresentare un ostacolo allo sviluppo radicale nel caso in cui le radici della pianta lo raggiungano in breve tempo, mentre può anche non rappresentare un serio impedimento all'allungamento radicale se nel momento in cui le radici si approssimano ad esso si ha una riduzione dell'entità della resistenza alla penetrazione, come accade a seguito di un evento piovoso. Molto importante quindi, al momento di decidere quali interventi colturali sostenere, è la considerazione della probabile evoluzione dell'entità della resistenza alla penetrazione radicale nel corso del tempo: nella situazione opposta alla precedente infatti si sarebbe potuto decidere di non lavorare il terreno in presenza di uno strato lievemente compattato non ritenendolo un ostacolo per lo sviluppo radicale, mentre l'approfondimento delle radici

in prossimità di tale strato in corrispondenza di una stagione poco piovosa avrebbe potuto costituire un problema al fine del conseguimento di una buona resa ottimale. Conseguentemente, l'attenzione si deve concentrare su due aspetti fondamentali: la valutazione dell'effetto che un intervento di lavorazione può esercitare a carico della resistenza alla penetrazione, e la determinazione di un, limite soglia per lo sviluppo radicale sul quale decidere quale lavorazione eseguire.

Per quel che concerne il primo punto, la localizzazione della lavorazione primaria del terreno in corrispondenza delle aree del campo ed alla profondità in cui sia presente uno strato maggiormente compattato, si basa sulla determinazione di un valore limite della resistenza alla penetrazione al fine di modulare l'intervento agronomico sulla variabilità spaziale della resistenza alla penetrazione all'interno dell'appezzamento. A tal proposito i diversi interventi possono avere una differente incidenza sulla presenza di uno strato compattato lungo il profilo del suolo: l'aratura e la discatura infatti non sempre riescono a raggiungere profondità superiori a quella alla quale è localizzato uno strato compattato, anzi in alcuni casi questi stessi interventi di lavorazione possono determinare la formazione di una suola di lavorazione; al contrario, una ripuntatura o la fessurazione verticale del terreno con coltivatore pesante eseguite annualmente, possono avere un'azione positiva, in grado di prolungare i propri effetti anche nell'annata successiva (Busscher WA, 1986).

L'aspetto principale diviene perciò il secondo punto, sul quale le differenti fonti considerate riportano limiti non concordi, differenti soprattutto a seconda della coltura considerata: una resistenza alla penetrazione di 2.0 MPa è risultata in grado di bloccare lo sviluppo radicale del cotone (Guarnirei A, Fabbri A, Liberati P, 1997); un valore di 1 MPa ha portato alla riduzione del 23% della lunghezza radicale su terreno argilloso-limoso, mentre su terreno limoso un valore di 1.4 MPa ha portato ad un decremento del 32% della lunghezza radicale nel caso del mais; per la stessa coltura è indicato un limite indicativo di 2.0 MPa (Clark R.L., 1994), valore che varia nel caso della soia (1.5-2.0 MPa, Busscher WJ, 1986) in relazione alle condizioni colturali: in presenza di acqua disponibile infatti un'impedenza meccanica pari a 1.2 MPa si traduce in un decremento del 50% della capacità di penetrazione radicale, risultato che si ottiene in corrispondenza di 0.5 MPa nel caso in cui il potenziale matriciale sia più elevato. Dei valori limite confrontabili sono stati rinvenuti anche per altre colture, evidenziando come i principali aspetti che si devono considerare siano legati alle proprietà del terreno da un lato ed al tipo di coltura dall'altro (tabella 2): un valore di resistenza di 1.9 MPa ha portato ad una riduzione del 50% dello sviluppo

radicale normale nel caso dei pisello (Bengough A.G., 1993), mentre si può evitare una contrazione della resa nel caso della barbabietola se si assicura alla coltura una resistenza alla penetrazione tutt'al più pari a 1.75 MPa nei primi 30 cm e 2.9 MPa tra 30 cm e 60 cm, lungo il profilo del terreno (Pabin J., 1991). In relazione a tale aspetto perciò, la determinazione

di un valore univoco da prendere in considerazione al fine di impostare il tipo di lavorazione del terreno non sembra di facile soluzione: a tal proposito però l'obiettivo non è l'individuazione di un valore preciso all'interno delle singole aree dell'appezzamento ma di un valore soglia di riferimento in base al quale condurre le considerazioni sulla variabilità spaziale della resistenza alla. Sulla base di quanto riportato in bibliografia (1.0 MPa Bengough A.G., 1990; 2-2.5 MPa, Castrignanò A., 2001; 6 MPa in terreno grossolano e 0.8 MPa in terreno argilloso Gerard CJ et al., 1982) e dell'indicazione fornita dal triangolo tessitura/ densità limite ( $C_i < 1.6$  MPa, su terreno sabbioso-limoso per il mais;  $C_i < 0.8$  MPa per mais e soia su terreno limoso (Daddow R.L. e Warrington G.E., 1983), in base al quale si hanno densità limite più basse per i terreni argillosi, si ritiene perciò di adottare, con approccio cautelativo, come limite di resistenza alla penetrazione radicale il valore di 1,1 MPa sia per il mais che per la soia.

Tab. 3.a- Valori di CI dannosi alle varie tipologie di coltura.

Coltura	Terreno	Limite MPa	Effetto sulle radici
Cotone	limoso-sabbioso	2-2.5	blocco della crescita
Cotone	argilloso	2	blocco della crescita
Mais	argilloso-limoso	1	- 23% della crescita
mais	limoso	1.4	- 32% della crescita
Mais	sabbioso-limoso	1.6	crescita limitata
Soia	sabbioso-limoso	1.5-2	crescita limitata
Soia	sabbioso-argilloso	0.5-1.2	- 50% della crescita
Soia	limoso	0.8	crescita limitata
Girasole	argilloso	1.46-1.63	crescita limitata
Girasole	sabbioso	1.75	crescita limitata
Limiti generali			
0.8-1 MPa Stibbe and Terpstra, 1982 (fourage crop)			
1.0 MPa Bengough, 1990			
2.0 MPa R.L.Clark, 1994			

Le piante come abbiamo visto risultano essere molto sensibili alla presenza di strati compattati.

Questo non avviene solo perché nel terreno è presente una forza di opposizione alla penetrazione molto alta ma, anche perché, gli apparati radicali non sempre hanno una conformazione tale da riuscire ad insinuarsi all'interno di strati di suolo compattati..

L'uso di piante dotate di radici vigorose che riescono a migliorare le proprietà del sottosuolo

compattato possono essere paragonate a degli attrezzi meccanici in quanto offrono una rottura più uniforme dello strato compattato. La presenza nel terreno della bioporosità realizzata da (lombrichi) e fessurazioni lasciate da radici di raccolti precedenti , favoriscono l'espansione in profondità delle radici. Specie come (Notatum di Paspalum) hanno radici in grado di penetrare un strato di suolo

compattato, dove altre specie sono rallentate nella crescita. Anche il pisello (Pisum Sativum) mostra un'allungamento radicale più alto rispetto al cotone in presenza di suoli compattati.

Specie come Notatum di Paspalum riescono ad alleviare il compattamento portando ad un aumento di produttività del cotone del 80%, lo stesso si può dire per il (Lupino Blu) dove, si è visto che la sua semina in rotazione, porta ad un aumento di produzione nella coltura

di frumento che gli è succeduta, in quei terreni dove non entrava nella rotazione non si è registrato nessun aumento della produzione di frumento. Questo risultato lo si può ottenere grazie alla morfologia radicale di cui sono dotate queste specie e dalla capacità di infiltrazione di questi apparati radicali all'interno di strati di terreno compattati (Rosolem.C.A, Foloni J.S.S and Tiritan C.S, 2001).

## **4.2 - Metodologia**

Nel 2005 è stato eseguito un campionamento per determinare l'accrescimento dell'apparato radicale della coltura del mais e per vedere se vi fossero differenze significative fra le piante delle diverse tesi di lavorazione. Sono stati fatti 2 rilievi in corrispondenza dello stadi a 2-3 foglie e a 7-8 foglie, rispettivamente a 41 e 82 giorni dalla semina avvenuta il 30 marzo.

Il primo prelievo è avvenuto utilizzando un campionatore a mano portatile (Eijkelkamp, Glesbeek NL), avente una cella di campionamento con diametro di 8 cm ed altezza di 5 cm; sono stati eseguiti campioni ogni 5 cm fino ad una profondità di 35 cm andando a posizionare il campionatore in corrispondenza della pianta e prelevando 2 campioni per parcella per un totale di 6 campioni per tesi per un totale complessivo di 126 campioni.

Per il secondo prelievo invece è stato utilizzato un campionatore in acciaio con cella di campionamento in alluminio del diametro di 7 cm ed altezza di 100 cm. In questo caso il campionamento è avvenuto fino ad una profondità di un metro dividendo gli strati di campionamento ogni 10 cm e ripetendo i prelievi con la stessa numerosità dei precedenti per un totale di 180 campioni.

I campioni sono stati conservati a  $-18^{\circ}\text{C}$  e successivamente sono stati lavati iniziando con la loro immersione (della durata di 2 ore) in una soluzione di acido ossalacetico (2% v/v). dopo questa prima operazione, le particelle di suolo sono state separate con un setacciatore-centrifugatore idraulico (500- $\mu\text{m}$  la misura delle maglie del setaccio) (Cahoon e Morton, 1961); i campioni di radice sono stati ulteriormente puliti mediante la sedimentazione in acqua per 2 minuti dalle particelle pesanti e poi immagazzinati in una soluzione di etanolo al 10% (v/v) a  $4^{\circ}\text{C}$ .

Per ogni campione sono state fatte una o più immagini digitali con una risoluzione di 300-DPI (11.8 pixel  $\text{mm}^{-1}$ ) dell'apparato radicale ed eventuali oggetti estranei (per esempio piccoli ciottoli, residui di raccolto e semi di infestanti). Se l'apparato radicale risultava

troppo lungo sono state fatte due acquisizioni per migliorare la definizione della scansione digitale. Per questo motivo, le radici sono state fatte galleggiare su un carrello trasparente di plexiglass dello spessore di 3 mm, contornato da una guarnizione per trattenere l'acqua e con una superficie di utilizzo per il rilevamento di 26,5x17,4 cm. All'interno del carrello, sopra la superficie utile, è stato posizionato uno strato di acqua di 3mm per migliorare la separazione e la differenziazione delle radici con i residui indesiderati. Successivamente le immagini sono state elaborate con il software KS 300 Rel. 3.0 (Carl Zeiss Vision GmbH, la München-Germania) (figura 3.14), collegato con un foglio di calcolo elettronico per la registrazione di dati.



Figura 3.- Immagine rilevata con lo scanner del campione di radice prelevata in campo ed utilizzata per la definizione della densità radicale per ciascuna piantina in fase di post emergenza.

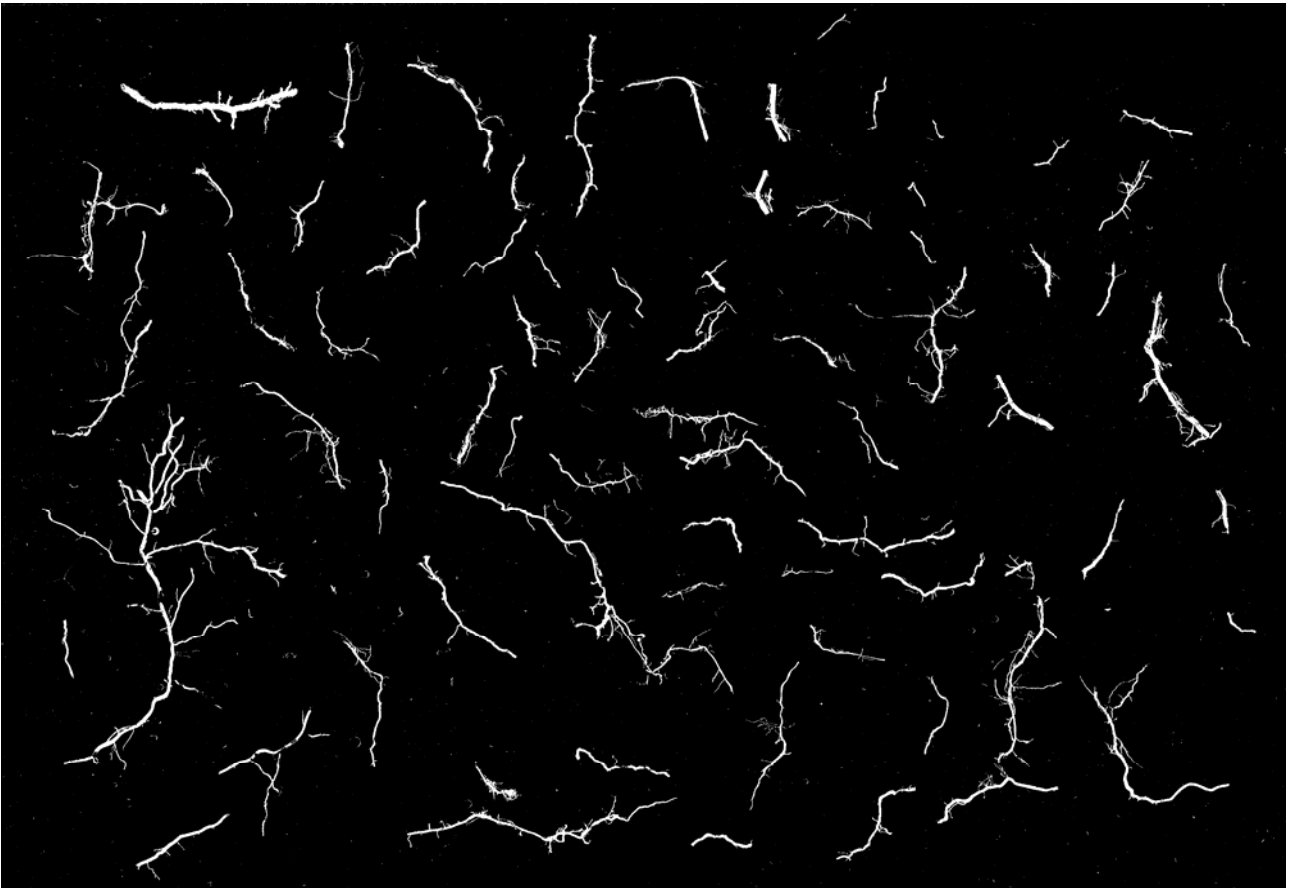


Figura 4.- Immagine rilevata con lo scanner del campione di radice prelevata in campo ed utilizzata per la definizione della densità radicale per ciascuna piantina in fase di fioritura.

La lunghezza della radice è stata determinata con l'algoritmo FbL (il fibrelength) disponibile su software KS 300 ed opportunamente modificate (Vamerali et al., 2003) come segue:

$$FbL = \frac{PERIM + \sqrt{PERIM^2 - 16 AREA}}{4}$$

dove, PERIM ed AREA sono rispettivamente perimetro ed area degli oggetti considerati con la possibile presenza di zone vuote.

Per differenziare le radici rispetto agli oggetti estranei, è stato utilizzato un Indice di Allungamento (i.e. rapporto tra perimetro quadrato ed area) pari a 75 durante

l'elaborazione dell'immagine, mentre un'area di 16 pixel è stata considerata come limite minimo per ridurre il rumore di fondo.

La densità di lunghezza radicale (RLD) è stato calcolato riferendosi alla lunghezza di ciascun campione rispetto al volume standard di terreno (252,3 cm<sup>3</sup> nel caso del primo campionamento e 358 per il secondo campionamento).

Il diametro radicale è stato calcolato come rapporto tra l'area di proiezione e la lunghezza del campione di radice.

## **BIBLIOGRAFIA**

**Bengough A., et al.**, Penetrometer Techniques in Relation to Soil Compaction and Root Growth, cap.10, pp.377-403, 2001;

**Castrignanò A., Maiorana M.,Fornaio F.**, L'impedenza del suolo: un utile indicatore della qualità del suolo,Società italiana della scienza del suolo, supplemento speciale al numero 50, pp 41-53. 2001;

**Clark R.L.**, Soil strength variability within fields; in P.C.Robert, W.E.Larsen (editors); Proceedings of the third international conference on precision agriculture, june 23-26, 1996, Minneapolis, Minnesota; pp.201-210;

**Daddow Richard L., and Gordon E. W.**, Growth limiting soil bulk densities as influenced by soil texture, WSDG Report. 1983;

**Gerard C J., Sexton P. Shaw G.**, Physical factors influencing soil strength and root growth. Agronomy Journal, 74:875-879. 1982;

**Guarnieri A., Fabbri A., Liberati P.**, Trafficità del suolo. Metodi di analisi fisica del suolo, Parte sesta,4 29-41. 1997;

**Materechera S A, A.M. Alston, J.M. Kirby and A.R. Dexter.**,Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. Geobase pp. 297-303. 1992;

**Pabin J., Sienkiewicz J. and Wlodek S.**, Effect of loosening and compacting on soil physical properties and sugar beet yield, Soil and tillage Research, 19, pp. 345-350, 1991;

**Perumpral J.V., Ayers P. D.**, Moisture and Density Effect on Cone Index.production, B.D. Soane and C. Van Ouwerkerk (authors), cap.9, pp.191-214, 1994;

**Taylor H M., Roberson G M.and Parker JJ.**, Soil strength root penetration relation for medium to coarse textured soil materials. Soil Sci., 102: 18-22. 1966 ;

**Yapa L.G.G., Fritton D.D. and Willatt S.T.**, Effect of soil strengtgh on root growth under different water conditions, Plant and Soil, 100, pp. 9-16, 1988;

**Morrison, J.E.**, 2002. Compatibilità among three tillage system and types of planter press whhels and furrow openers for vertisol clay soils, Appl. Eng. Agric. (3), 293-295.

## **Capitolo 5 - Influenza delle diverse tipologie di lavorazione sull'investimento e sull'emergenza della coltura**

### **5.1 - Introduzione**

Il mantenimento di una profondità di lavoro costante rappresenta un aspetto di notevole interesse in quanto le variazioni delle condizioni operative (abbondanti residui mal distribuiti, profilo superficiale non uniforme) spesso si accompagnano ad una disomogenea profondità di lavoro. Ogni seminatrice è provvista di dispositivi che si prefiggono di mantenere una uniforme profondità di semina in fase di lavoro e di regolazioni che si possono effettuare sugli organi di attacco o di compressione di ogni organo assolcatore (molle di mantenimento dello sforzo, parallelogrammi elastici, ruote di profondità).

Per quanto riguarda le regolazioni queste vengono fatte agendo direttamente sull'attacco a tre punti della trattrice o modificando la compressione della molla che supporta gli organi, per permettere una migliore adesione dell'attrezzo al terreno. Sull'assolcatore, in presenza di terreni che risultano leggermente sciolti, possono essere applicati degli appositi pattini o slitte che limitano l'approfondimento eccessivo dell'organo di semina e lo mantengono costante. Come ultima possibilità, possono essere disposte sul telaio delle ruote di appoggio che durante l'operazione della semina mantengono la macchina e quindi gli assolcatori alla profondità desiderata. Queste ruote possono anche essere presenti per ogni singolo assolcatore e per il relativo supporto dello stesso; è importante che la deposizione avvenga con il massimo della precisione e che i semi messi a dimora vengano collocati tutti alla stessa profondità: una semina troppo profonda può portare ad uno sviluppo stentato in quanto la piantina fatica ad emergere, mentre una semina troppo superficiale può comportare una non perfetta copertura del seme con terra fine o la presenza di terreno non abbastanza umido per la pronta germinazione dei semi. Due fattori che possono alterare il costante mantenimento della profondità di semina sono la presenza di abbondanti residui colturali e di scheletro, in quanto in entrambi i casi viene compromessa la capacità dell'assolcatore di mantenere la profondità di lavoro. Una delle caratteristiche dell'assolcatore che deve essere correttamente valutata è quindi la capacità di seguire il profilo del terreno e superare al meglio le asperità che si incontrano, al fine di garantire una deposizione uniforme.

Un'emergenza ottimale delle plantule è necessaria per ottenere il massimo raccolto, in modo particolare se si esegue la semina su terreno non lavorato. Alcune volte però le performance della semina su sodo possono essere compromesse da diversi fattori e si rischia di non ottenere i benefici che si cercava di perseguire (Tessier et al., 1990). L'ottenimento di un raccolto soddisfacente è direttamente correlato con la percentuale di piantine che nascono dai semi messi a dimora; tanto maggiore sarà il numero di semi germinati tanto più sarà il prodotto che noi andremo a raccogliere. Il tempo che necessita una piantina a germinare e la percentuale di germinazione sono direttamente correlate con un'adeguata presenza di terra fine a contatto con il seme all'interno del solco di semina; infatti quanto più un assolcatore riesce a creare un ambiente favorevole alla germinazione, tanto più rapida sarà l'emergenza e la percentuale di piante emerse maggiore (Iqbal et al., 1998).

Alcuni terreni ricevono un compattamento a livello del seme che in alcuni casi può essere utile per migliorare il contatto seme-suolo. Un'adeguata compattazione a livello del seme può avere riscontri positivi sull'emergenza del raccolto mentre compattamenti eccessivi della superficie del suolo fin giù in profondità possono avere influenze negative. Una componente che potrebbe portare ad una riduzione della percentuale di piante emerse, è l'utilizzo di macchine troppo pesanti non correttamente bilanciate che esercitano una pressione eccessiva sulle ruote chiudi solco con conseguente eccessivo compattamento del suolo. Il compattamento del suolo nella zona attorno al seme dipende comunque principalmente dalle condizioni e caratteristiche del terreno anche se si può dire che in linea di massima questo valore risulta inferiore con l'adozione di un attrezzo a dischi rispetto ad uno a falconi (Tessier et al., 1990).

Oltre alla capacità dell'assolcatore di creare terra fine nella zona del seme, è importante considerare la gestione dei residui che vengono ad accumularsi lungo la linea di semina. Se vi è una presenza troppo consistente di questi sopra la zona del seme, al momento della fuoriuscita della piantina si potrebbero avere inconvenienti con conseguenti perdite di produzione. Allo stesso tempo la presenza di residui non deve essere troppo accentuata anche all'interno del solco di semina in quanto potrebbe portare a morte il seme ancora prima che questo riesca a germinare. La percentuale di germinazione inoltre è legata alla conducibilità idrica del suolo: anche per questo motivo è importante la preparazione del terreno da parte dell'assolcatore oltre che per la terra fine, anche per le dimensioni degli aggregati che consentono la circolazione di acqua e sostanze nutrienti all'interno del

terreno. Nella semina su terreno non lavorato i diversi attrezzi possono portare uno spostamento del terreno dopo l'apertura del solco andando a modificare la profondità di deposizione dei semi. Si può considerare quindi che la profondità di semina è uno dei fattori più importanti che influenzano l'emergenza e la crescita delle piante; per questo, tanto più un assolcatore risulta preciso nella deposizione, tanto migliore sarà il risultato finale (Du et al., 2004).

Da prove in campo effettuate è risultato che eliminando le ruote chiudisolco dalla seminatrice, su terreno asciutto si otteneva una diminuzione della percentuale di germinazione mentre su suolo umido la percentuale di piante emerse aumentava portando anche un aumento della velocità di crescita. In linea di massima, se utilizzate con un terreno ottimale, le ruote chiudisolco migliorano l'emergenza perché migliorano il contatto seme suolo (Chena et al., 2003).

## **5.2 - Metodologia**

### **5.2.1 - Velocità d'emergenza**

I rilievi delle emergenze sono avvenuti a partire da 15 giorni successivi alla semina; per ogni parcella sono state considerate 4 file di mais per una lunghezza di 10 metri e si è tornati a fare le rilevazioni dopo alcuni giorni finché si è visto che il numero delle piante non è divenuto stabile. Ad emergenza conclusa è stata verificata la distanza di deposizione effettiva dei semi sulla base delle piante realmente emerse per confrontarle con l'investimento teorico atteso.

La rilevazione per monitorare la velocità di emergenze sono state 5 per il 2005 e 6 per il 2006, a 21,23,28,30 e 37 giorni dopo aver seminato (DAS) nel 2005 e 15, 18, 22, 24, 33 e 43 dopo la semina (DAS) nel 2006 (tab. 1).

2005	2006
20-apr	19-apr
22-apr	22-apr
27-apr	24-apr
29-apr	28-apr
6-mag	17-mag

Tabella 1: Date delle rilevazioni effettuate nel 2006 e 2007 per le velocità di emergenza

La percentuale di emergenza è stata determinata come rapporto tra il numero di giovani piante emerse contate ogni volta in riferimento al loro numero finale, pari a quello rilevato nell'ultima data di osservazione. Per valutare il tempo trascorso ( $x = \text{tempo}$ ) dall'emergenza ( $Y$ ), il modello più appropriato è risultato essere quello di Gompertz, come riportato in seguito (eq. 1):

$$Y = c * e^{-e^{-b * (x - m)}} \quad (\text{eq. 1})$$

nella quale  $c$ ,  $b$  ed  $m$  sono i coefficienti di regressione utilizzati ed indicano graficamente il massimo valore di  $Y$  ( $c$ ), il valore di  $x$  a metà  $c$  ( $m$ ) e la pendenza della curva ( $b$ ).

### 5.2.2 - Precisione ed uniformità di semina

Secondo la definizione standard ISO-7256, l'uniformità di deposizione del seme è stata valutata classificando i semi in tre classi: deposizione regolare, deposizioni perse o duplici deposizioni rispettivamente per semi che superavano le distanze di 0,5-1,5 volte,  $> 1,5$  volte o  $< 0,5$  volte la distanza teorica sulla fila. Dato che la percentuale di semi che non è emersa è risultata trascurabile, l'uniformità di deposizione è stata valutata direttamente sulle giovani piante considerando 4 replicazioni (in entrambe gli anni), ognuno su una fila di 10 m di lunghezza.

### **5.2.3 - Profondità di semina**

Al termine dell'emergenza delle plantule e rispettivamente il 6 maggio per il 2005 e il 17 maggio per il 2006, all'interno delle parcelle di studio sulle file di semina, sono state estratte alcune plantule, per consentire la misurazione della porzione di stelo clorotico, posto pari alla profondità di semina. L'uniformità nella profondità di deposizione è stata calcolata come coefficiente di variazione della profondità, dato dal rapporto tra la deviazione standard dei dati misurati e la profondità di semina teorica, impostata in entrambi gli anni di prova pari a 3 cm.

### **5.2.4 - Rilievi delle produzioni**

Nel 2005 la raccolta è avvenuta il 15 settembre ed è stata eseguita manualmente con il prelievo di 5 spighe per parcella, in successione lungo la fila di semina e successiva sgranatura a mano per la valutazione dei parametri di peso e umidità percentuale della granella. Il dato è stato poi mediato e riportato all'intera superficie per ottenere una produzione media (t/ha) finale.

Nel 2006 e nel 2007 la raccolta è avvenuta a pieno campo con una mietitrebbia John Deere CTS munita di sistema di monitoraggio delle produzioni e software per la mappatura dei dati di raccolta.

È da sottolineare come per il 2005 e 2006, la semina sia avvenuta con la medesima seminatrice, adatta per terreni minimamente lavorati (Gaspardo MT), mentre nel 2007, per la tesi NT, sia stata impiegata una seminatrice dedicata alla semina su sodo (Sfoggia).

## **5.3 – Risultati**

### **5.3.1 – Velocità di emergenza**

Considerando l'emergenza delle piante, si è osservato, per entrambe gli anni (2005-2006), un ritardo progressivamente maggiore man mano che si è passati da CT, ad MT fino ad NT. La deposizione del seme su terreno finemente preparato ha favorito la velocità di emergenza delle piante, soprattutto nella lavorazione CT nel 2005 (fig. 1).

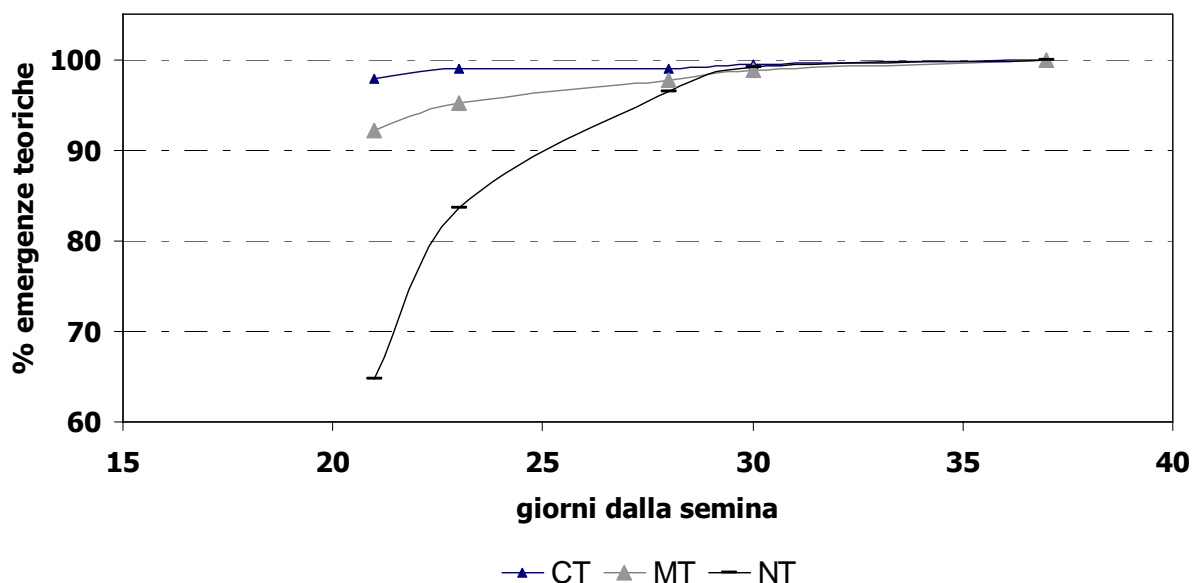


Figura 1: velocità di emergenza teoriche delle 3 lavorazioni per il 2005.

Se si va a considerare l'emergenza teorica ottenuta nell'anno 2006 (fig. 2), si può vedere come il divario fra le lavorazioni CT ed MT sia notevolmente ridotto e l'emergenza delle plantule risulti lineare. Nel caso invece della gestione NT si denota un certo ritardo rispetto alle altre 2 tesi soprattutto nei primi 2 giorni dopo la semina ma un consistente incremento dell'emergenza fra i 20 e i 25 giorni dopo la deposizione, imputabile ad un aumento della temperatura del terreno e ad una maggior disponibilità d'acqua.

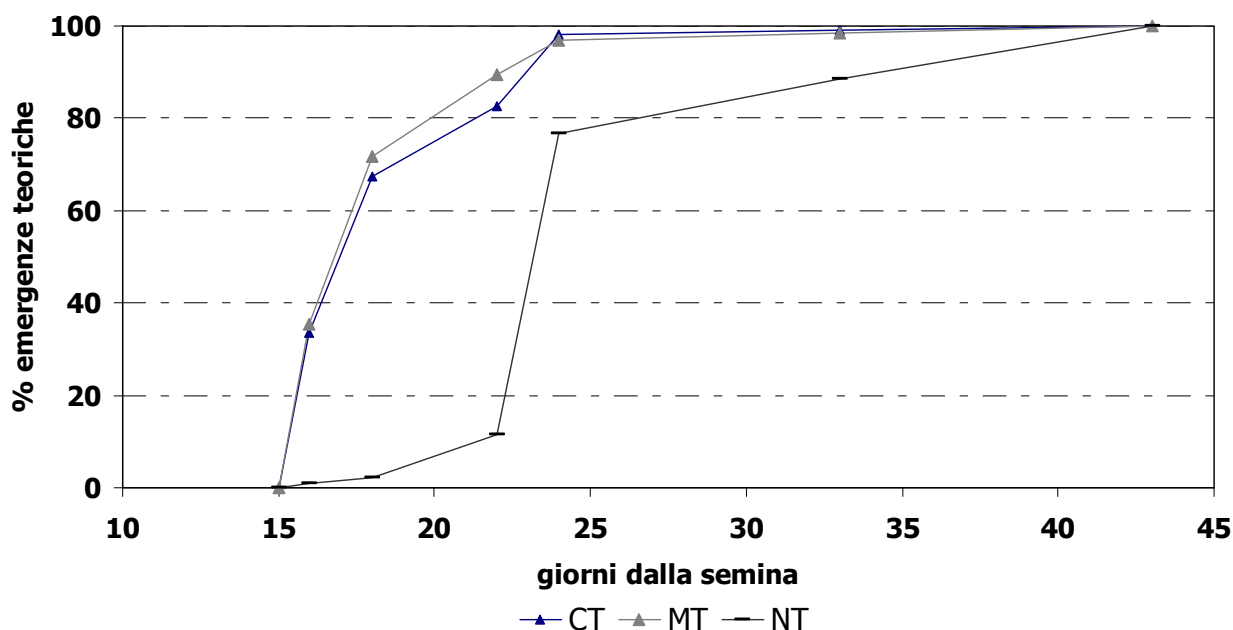


Figura 2: velocità di emergenza teoriche delle 3 lavorazioni per il 2006.

Considerando invece le differenze ottenute sull'emergenza finale fra le 3 tesi, si nota come la corrispondenza fra le piante attese e quelle effettivamente ottenute sia quasi uguale per la lavorazione CT e diminuisca per MT fino ad un 10% in meno nel caso della lavorazione con NT (fig. 3).

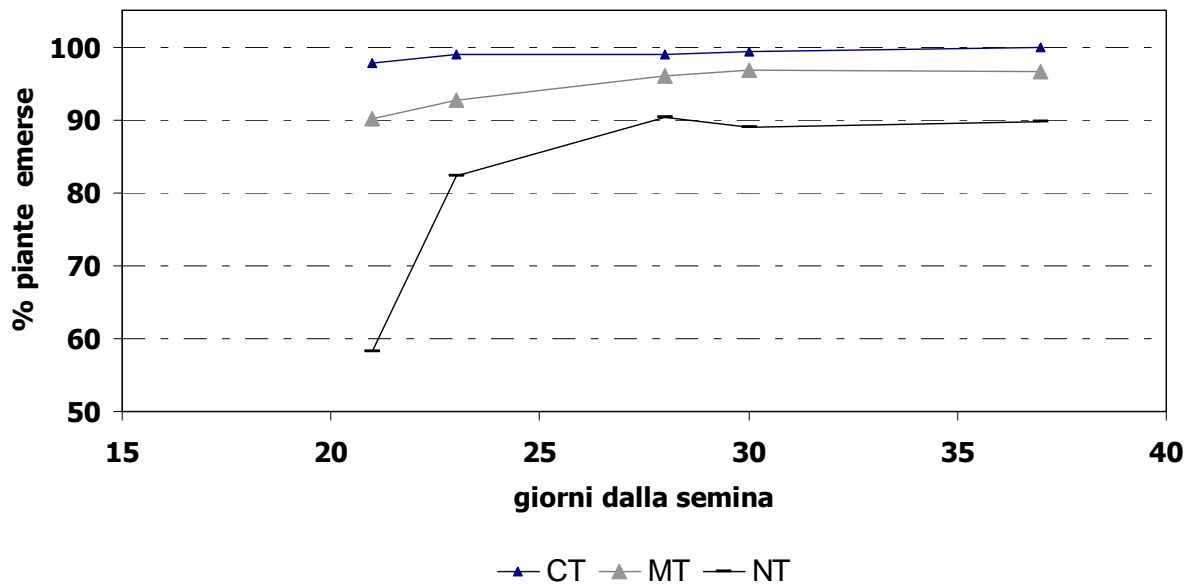


Figura 3: velocità di emergenza effettive per le 3 lavorazioni 2005

Per il 2006, le piante realmente emerse nel caso delle 2 lavorazioni CT ed MT sono state molto simili mentre per NT in numero di piante emerse ha raggiunto circa la metà di quelle attese, nelle aree di saggio (fig. 4).

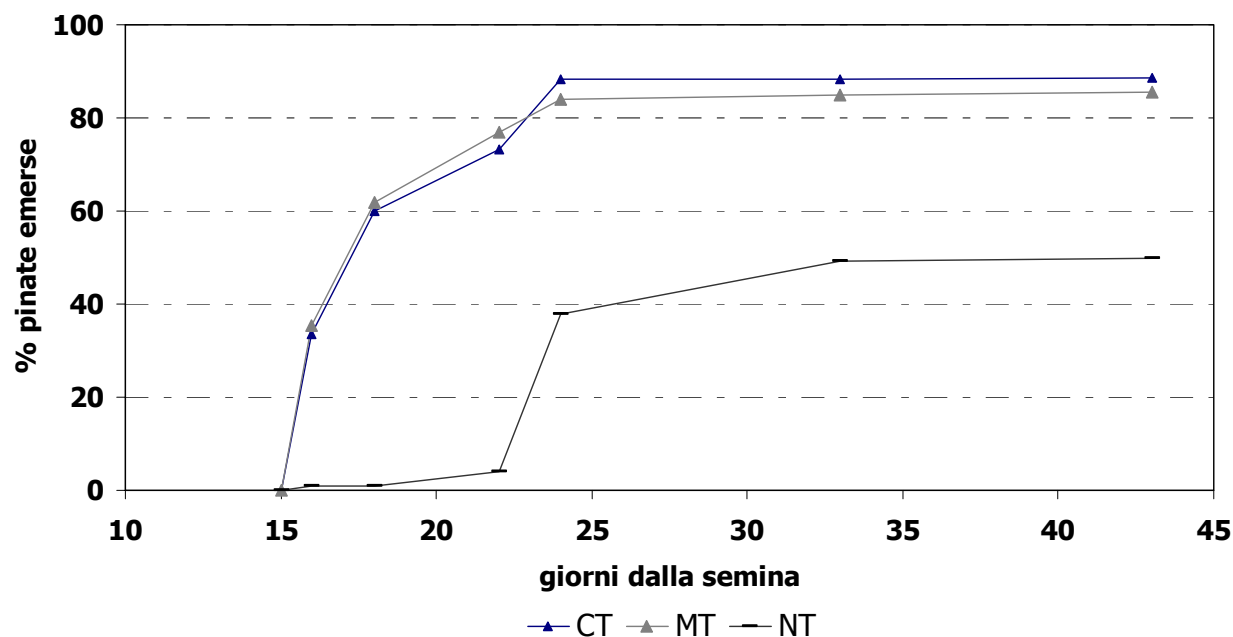


Figura 4: velocità di emergenza effettive per le 3 lavorazioni 2006

È da tenere in considerazione che il basso numero di piante emerse per la lavorazione NT nell'anno 2006 è legato alla mancanza di semi e non ad una mancata emergenza; questo problema si è verificato perché il seme è stato deposto troppo superficialmente e non è stato correttamente chiuso il solco di semina e quindi si è avuta una mancanza di seme in seguito all'azione degli uccelli.

### 5.3.2 - Investimento

Prendendo in esame i dati delle tre tesi al momento della semina, per il 2005 si può notare come la precisione migliore al momento della deposizione sia stata ottenuta con lavorazioni convenzionali; presenta infatti il dato più basso in termini di doppie deposizioni assieme ad MT, una miglior deposizioni in termini di deposizioni regolari con un basso valore di mancate deposizioni. Di conseguenza quindi l'investimento finale alla raccolta risulta essere molto vicino a quello teorico di 7,5 piante a m<sup>2</sup> per CT, leggermente inferiore per MT e consistentemente più basso (quasi una pianta in meno a m<sup>2</sup>) per NT (fig. 5).

	CT	MT	NT
<b>Doppie deposizioni</b>	3.8	3.8	5.1
<b>Deposizioni regolari</b>	85.7	82.3	80.3
<b>Mancate deposizioni</b>	10.6	13.9	14.7
<b>Investimento teorico</b>	7.5	7.5	7.5
<b>Investimento finale alla raccolta</b>	7.39	7.31	6.61

Figura 5: rilevazioni sugli investimenti dopo la semina per le tre tesi di lavorazione nell'anno 2005.

Nel 2005, la seminatrice utilizzata per la deposizione del seme nelle 3 tesi, ha dimostrato una buona efficienza depositando in maniera regolare non meno dell'80% dei semi (fig. 6). Tali valori sono in linea con le prestazioni delle seminatrici di precisione.

Nelle tesi MT ed NT, si notano anche mancate deposizioni in misura leggermente maggiore rispetto alla tesi CT, fenomeno che si è poi ripercosso sull'investimento finale alla raccolta con un calo di produzione.

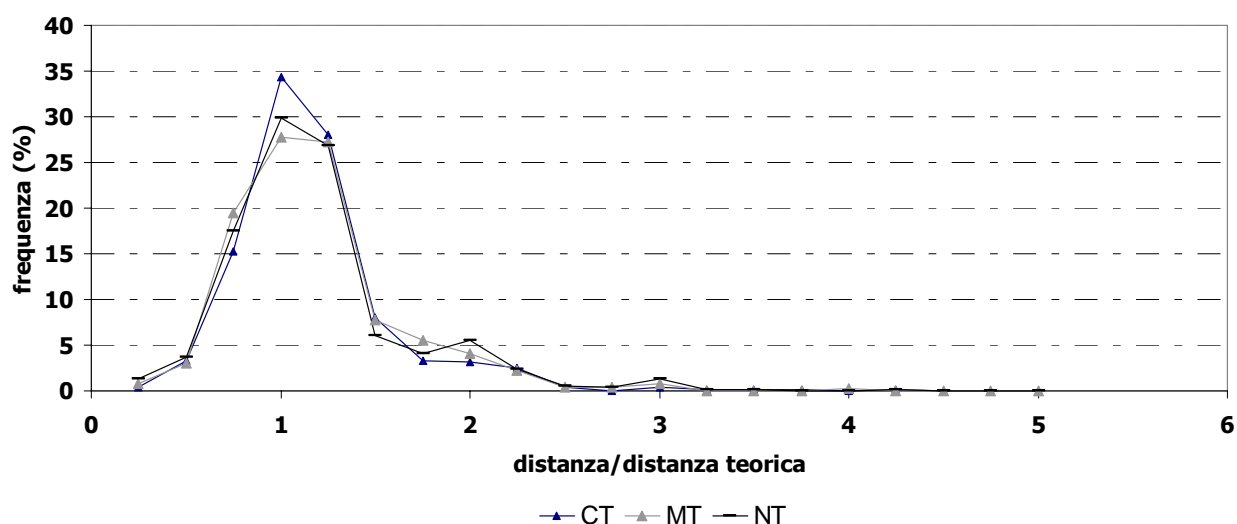


Figura 6: precisione di deposizione per le 3 tesi di lavorazione nell'anno 2005.

Nel caso dei rilevamenti del 2006 si è riscontrato un peggioramento nella deposizione per tutte e 3 le tipologie di lavorazione; i valori delle doppie deposizioni sono stati simili per tutte le tesi ma le deposizioni regolari e le mancate deposizioni hanno fatto registrare un notevole deficit per NT rispetto alle altre due (fig. 7). Il grande divario registrato fra l'investimento teorico e quello realmente misurato è imputabile anche al fatto che dopo la deposizione parte dei semi sulla tesi NT sono stati mangiati dagli uccelli.

	CT	MT	NT
<b>Doppie deposizioni</b>	2.9	3.1	3.2
<b>Deposizioni regolari</b>	85.8	83.5	75.8
<b>Mancate deposizioni</b>	11.3	13.5	21.0
<b>Investimento teorico</b>	7.5	7.5	7.5
<b>Investimento finale alla raccolta</b>	6.68	5.53	5.01

Figura 7: rilevazioni sugli investimenti dopo la semina per le tre tesi di lavorazione nell'anno 2006.

In effetti le deposizioni regolari sono scese al 75,8% ma soprattutto è stata elevata la percentuale del numero di semi non deposto (20%) (fig. 8). Tutto questo ha portato alla riduzione del numero di piante raccolte rispetto all'investimento teorico. Occorre però sottolineare come le mancate deposizioni non siano esclusivamente a carico della seminatrice, ma anche dalla possibilità da parte di un seme deposto di venir attaccato da patogeni o agenti esterni.

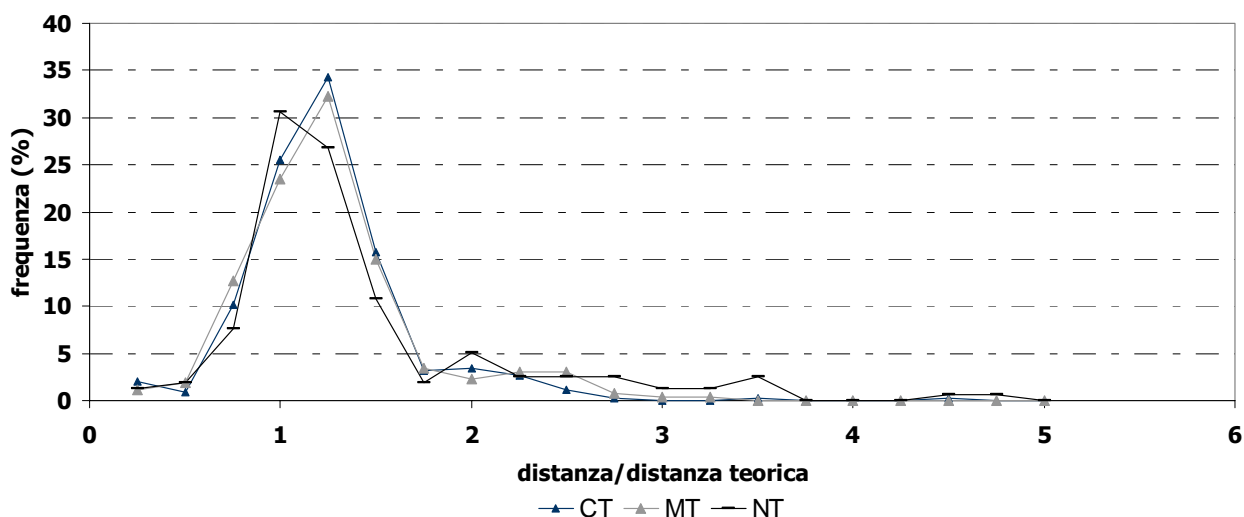


Figura 8: precisione di deposizione per le 3 tesi di lavorazione nell'anno 2006.

Per quanto riguarda la profondità di deposizione del seme al momento della semina, nel 2005 la media ha mostrato come la tesi MT abbia valori medi che più si avvicinano a quelli attesi nonostante non vi sia una differenza statisticamente significativa fra le 3 tipologie di lavorazione considerate (fig 9-10).

	<b>profondità media (cm)</b>	<b>deviazione standard</b>
<b>CT</b>	1.66	0.33
<b>MT</b>	1.83	0.34
<b>NT</b>	1.367	0.47

Figura 9: profondità media di deposizione del seme per le 3 tecniche di lavorazione nell'anno 2005.

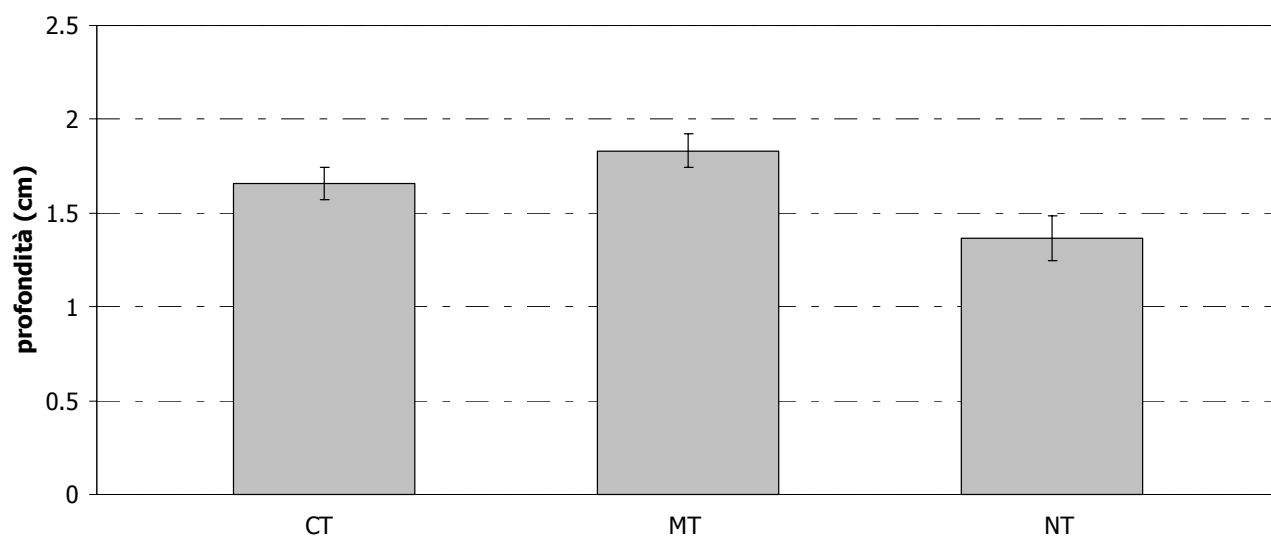


Figura 10: profondità media di deposizione per le 3 tesi di lavorazione nell'anno 2005.

La profondità di deposizione per il 2006 è stata maggiore in termini di approfondimento nel caso della tesi gestita con CT; questo ha messo in evidenza le diversità riscontrate fra le tesi di lavorazione con differenze statisticamente significative fra le 3 (valore di F di 15.68 a fronte di una media quadratica di 6.2519 per un valore di  $P < 0.0001$ ) (fig. 11-12).

	<b>profondità media (cm)</b>	<b>deviazione standard</b>
<b>CT</b>	2.43	0.44
<b>MT</b>	1.98	0.26
<b>NT</b>	1.48	0.84

Figura 11: profondità media di deposizione del seme per le 3 tecniche di lavorazione nell'anno 2006.

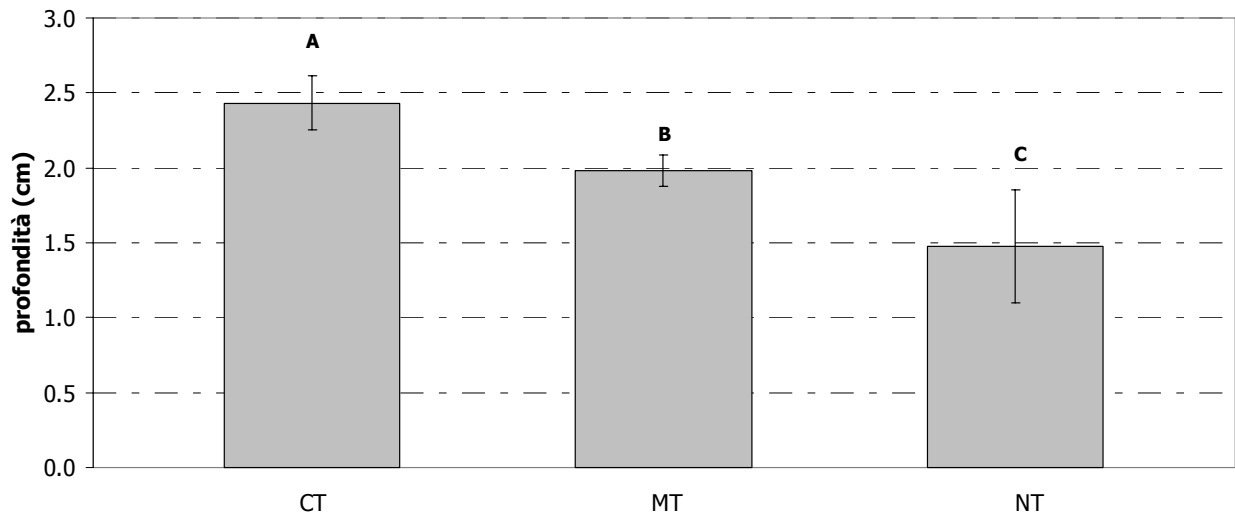


Figura 12: profondità media di deposizione per le 3 tesi di lavorazione nell'anno 2006.

Parte delle differenze legate al ritardo nelle emergenze delle 3 lavorazioni e alla diversità nella profondità di deposizione che hanno compromesso in parte la resa finale, è da imputare al mancato utilizzo di una seminatrice dedicata per la semina su sodo. Impiegando infatti una seminatrice che può lavorare sia su terreni preparati che minimamente lavorati, non si riesce ad ottenere una ottimale deposizione su terreno sodi o non lavorati.

### 5.3.3 - Produzioni

Considerando le produzioni suddivise per anno, nel 2005 (fig. 13) la tesi CT è risultata avere una produzione in t/ha (su granella secca allo 0% di umidità) nettamente superiore rispetto alle altre due lavorazioni. Le differenze della tesi gestita con tecniche convenzionali ha mostrato una differenza statisticamente significativa (valore di F di 39.69 per un valore di  $P < 0.0001$ ) rispetto alle altre 2 tesi.

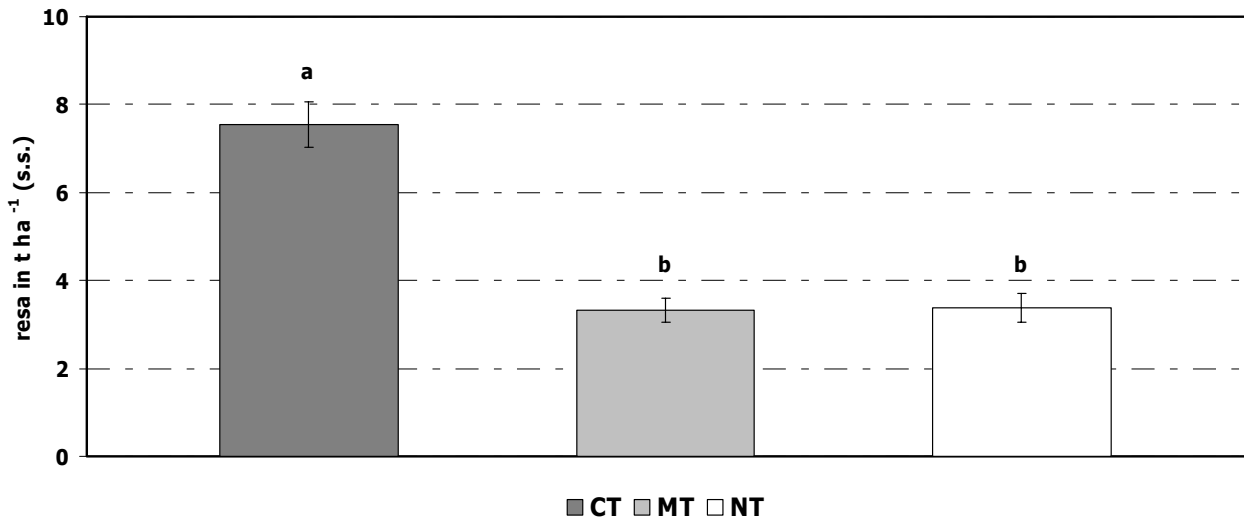


Figura 13: rese in t/ha di granella secca prodotta per l'anno 2005 nelle tre tesi prese in considerazione.

Per l'anno 2006 si sono registrate produzioni inferiori generalizzate per tutte e 3 le tesi (fig. 14) con rese in t/ha (espressa in granella secca allo 0% di umidità) che non hanno raggiunto le 4 t. in questo caso le differenze sono state fra CT ed MT nei confronti di NT significativamente inferiore ( $F=4.90$  per un valore di  $P<0.05$ ).

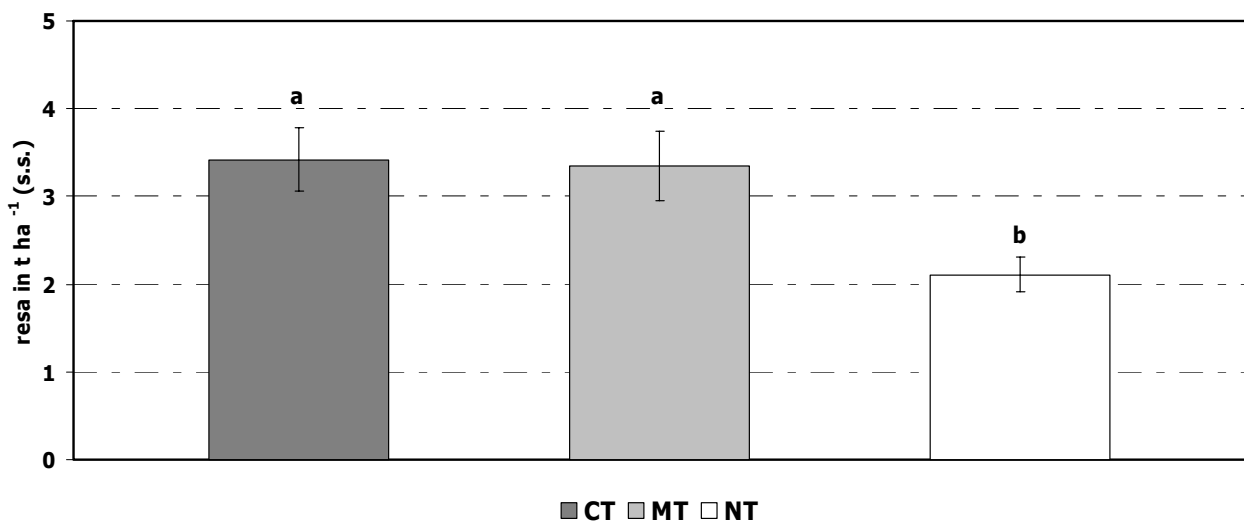


Figura 14: rese in t/ha di granella secca prodotta per l'anno 2006 nelle tre tesi prese in considerazione.

Nel 2007 infine (fig. 15), si sono registrate rese nettamente superiori rispetto agli altri anni con una netta distinzione fra le diverse tesi;

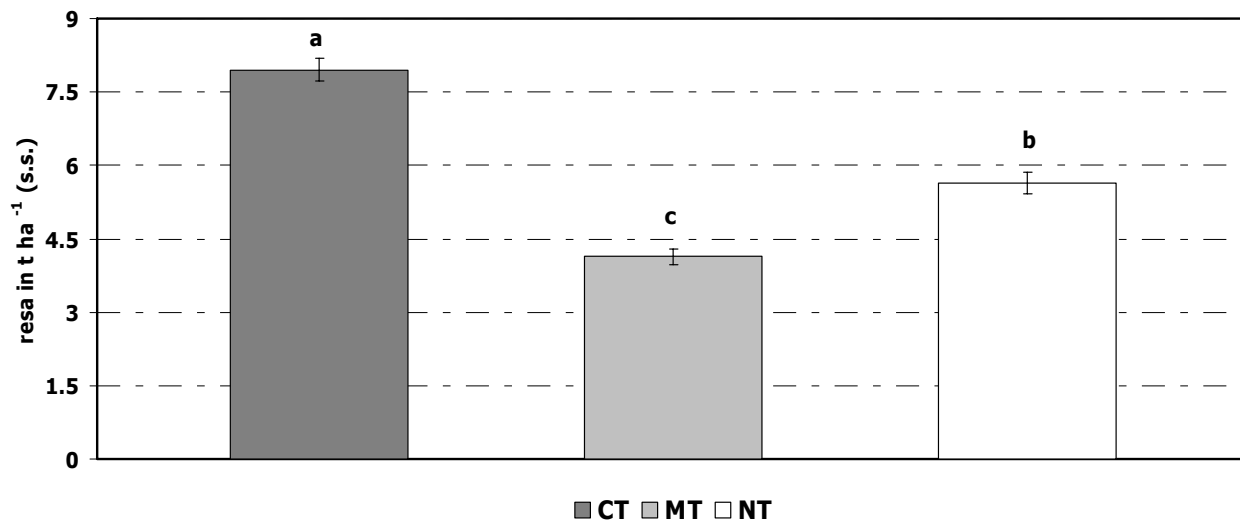


Figura 15: rese in t/ha di granella secca prodotta per l'anno 2007 nelle tre tesi prese in considerazione.

Considerando infine complessivamente i dati di resa per i 3 anni per le 3 tipologie di lavorazione, è emerso che c'è una differenza altamente significativa ( $F=13.07$  per un valore di  $P<0.0001$ ) nelle produzioni fra gli anni. Allo stesso tempo, confrontando i diversi sistemi di lavorazione sono state rilevate differenze fra le tesi MT ed NT rispetto al testimone CT:

#### 5.4 - Conclusioni

Considerando i diversi parametri monitorati nei diversi anni, risultata evidente come in queste condizioni climatiche e pedologiche la coltura del mais tragga maggior beneficio da una gestione convenzionale, soprattutto in termini di emergenza della coltura, intesa come velocità di emergenza e piante emerse su quelle attese. Per quanto riguarda la precisione di deposizione del seme nelle diverse tesi, è emerso come sia necessario l'impiego di un'attrezzatura appositamente studiata e pensata per ogni condizione di terreno; è evidente, soprattutto nel caso della lavorazione NT come sia risultata difficile la deposizione precisa del seme nel terreno.

In termini di produzione finale è stato osservato che l'altalenante andamento della produzione è influenzato dal tipo di lavorazione e dall'andamento climatico; nel 2007, in particolare per la gestione NT, è stato possibile notare come l'impiego di una seminatrice

dedicata per la semina su sodo abbia favorito l'ottimale sviluppo delle piante che poi è stato seguito da un'elevata produzione. Oltre a questa considerazione, è importante sottolineare come nel caso di terreni seminati su sodo, ci si attenda una inflessione delle produzioni nei primi 2-3 anni per poi avere una ripresa successivamente, fenomeno che si è verificato in queste condizioni.

## 5.4 - Bibliografia

**Du B., Bekele A., Morrison J. E. Jr,** 2004, Drill furrow opener effects on wheat and sorgum establishment in no-till fields, American Society of Agricultural Engineers;

**Iqbal M., Marley S.J., Erbach D.C., Kaspar T.C.,** An Evalutation of Seed Furrow Smearing, American Society of Agricultural Engineers, vol. 41(5): 1243-1248, 1998;

**Mahdi Al-kaisi, Mark Hanna,** 2001, Departiment of Agronomy, Iowa State University, Soil Fertility, No-till;

**Metodi di Analisi Chimica del Suolo,** 2002. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del Suolo;

**Tessier S., Saxton K.E., Hyde G.M., Papendick R.I.,** 1990, Seed Row Compaction and Crust Meter, American Society of Agricultural Engineers, vol 33(1), 91-94;

**Tessier S., Saxton K.E., Papendick R.I., Hyde G.M.,** 1990, Zero-tillage furrow opener effects on seed enviroment and wheat emergence, Soil & tillage research, vol 21, 347-360;

## Capitolo 6

### **Simulazione dell'impatto di alcuni sistemi di lavorazione sulle proprietà biofisiche del suolo utilizzando il modello SALUS.**

Il contenuto di carbonio organico nel suolo è un parametro molto spesso valutato negli studi di lungo periodo essendo esso un importante indicatore della qualità del terreno e della sostenibilità agronomica in quanto ha una grande influenza sugli indicatori di qualità chimici, fisici e biologici. (Reeves, 1997).

Una gestione sostenibile del suolo è stata definita come il sistema di gestione che consente di mantenere i livelli produttivi, ridurre i rischi nel tempo e preservare la qualità di acqua e suolo. Studi di lungo periodo hanno chiaramente mostrato come sia importante l'aumento del livello del contenuto di C nel suolo. Talvolta, nonostante le rotazioni colturali e l'apporto di materiale organico al terreno, i risultati produttivo hanno mostrato ugualmente un calo del contenuto di C organico, nonostante l'importanza di questo fenomeno vada ad interessare il sistema suolo, il clima e l'ambiente (Rasmussen et al., 1998). Il ripristino del quantitativo di carbonio nel suolo è fondamentale per un miglioramento della qualità del terreno, mantenere e migliorare i livelli produttivi, mantenere pulite le acque e ridurre le immissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera (Robertson et al., 2000). La gestione dell'agricoltura con sistemi convenzionali assieme a quelli che prevedono l'interramento dei residui conseguentemente all'inversione degli strati, provocano un continuo peggioramento dell'ambiente (Basso et al., 2002). Queste tecniche vanno ad aumentare le modificazioni a carico del suolo tramite il compattamento dello stesso, accentuando i fenomeni di erosione e la contaminazione delle acque con sedimenti, fertilizzanti e pesticidi.

L'agricoltura conservativa rispetto alle tradizionali tecniche di produzione consente di gestire in maniera + sostenibile il terreno adibito a coltivazioni agricole, modificando la sua composizione, la struttura e la biodiversità salvaguardandolo da una progressiva erosione e degradazione (Basso et al. 2000, Basso 2003).

L'agricoltura conservativa comprende la semina diretta, le minime lavorazioni, la non lavorazione e la semina su sodo, la non incorporazione dei residui colturali nel terreno o il parziale interrimento sui primi centimetri di suolo e l'utilizzo di colture annuali e pluriennali per il mantenimento della copertura del terreno. La presenza di piante e copertura vegetale ha anche lo scopo di andare a migliorare la fertilità del terreno e incrementare il

quantitativo di sostanza organica presente nel suolo che con le tecniche di gestione convenzionale viene costantemente depauperato.

In generale, con una gestione conservativa del terreno, si ha una protezione dello stesso da fenomeni di scorrimento superficiale ed erosione; gli aggregati del terreno, la sostanza organica e il livello naturale di fertilità aumentano con l'adozione di queste tecniche, oltre a migliorare anche le proprietà di portanza nel terreno nei confronti delle forze esercitate dal passaggio delle macchine operatrici in fase di lavoro (Lal 2004)

Lasciando i residui vegetali dopo la raccolta sul terreno si ottiene un aumento del contenuto di carbonio nel suolo, ma tutti i benefici che si possono avere vengono annullati se la copertura vegetale viene incorporata nel terreno stesso con le lavorazioni in quanto i microrganismi degradano rapidamente la componente in C del residuo a CO<sub>2</sub> (Reicosky et al., 1995, Borin et al. 1997) e i nutrienti essenziali che sono a contatto con la SOC vengono dispersi. Di conseguenza l'agricoltore, per cercare di mantenere un certo livello produttivo, deve cercare di sopperire a queste perdite andando ad integrare con irrigazioni, fertilizzanti e pesticidi, innalzando notevolmente i costi di produzione con un conseguente assottigliamento del reddito finale, oltre ai danni a livello di impatto ambientale.

Alcuni studi hanno dimostrato che suoli lavorati con tecniche tradizionali sono responsabili di una maggiore immissione di anidride carbonica nell'atmosfera, oltre che per la minor fissazione anche per l'aumento dei passaggi su terreno che si rendono necessari per assicurare una adeguata sistemazione del letto di semina (Lal 1997).

Storicamente, la gestione con tecniche convenzionali, evidenziano una sostanziale perdita di C dal suolo in quantitativi che variano dal 30 al 504 a seconda del tipo di terreno, delle diverse condizioni in cui si opera e del tipo di lavorazione che viene eseguita (Davidson 1993).

Queste perdite di CO<sub>2</sub> sono in stretta relazione con la rottura degli aggregati del terreno che consente così una più facile perdita di CO<sub>2</sub> dal suolo e di conseguenza anche l'ossigeno contenuto in esso (Lal 2004, Reicoisky et al., 1997).

Nelle applicazioni scientifiche non esistono molti modelli per le simulazioni che tengano in considerazione del diverso tipo di lavorazione e quindi i limiti di questi sono molto accentuati. Un modello revisionale deve tenere in debita considerazione la crescita della coltura, considerare quanto influiscono i diversi aspetti della gestione sulla resa finale e di conseguenza sull'impatto ambientale e dovrebbe aiutare l'agricoltore fornendogli delle

indicazioni per indirizzare le sue decisioni, per ottenere un miglior coordinamento degli inputs che entreranno in gioco nel sistema produttivo. A questo riguardo il modello può avvalersi di strumenti che considerano l'impatto di diverse tecniche di gestione e lavorazione sulla crescita e sviluppo della pianta e sulla produzione finale della coltura.

Sono già presenti modelli per la determinazione dell'incidenza e dei risvolti che hanno le lavorazioni sulle proprietà del suolo ma richiedono una consistente mole di dati di base o si interessano solo di alcune componenti di sviluppo della pianta. Dadoun (1993) sviluppò CERES-TILL, un modello revisionale che considerava l'influenza della copertura vegetale sulla superficie del suolo e sullo sviluppo stesso della pianta. Andales et al. (2000) aggiunsero una componente a CERES-TILL ossia CROPGRO-SOYBEAN; il modello testato su realtà americane ha dato buone previsioni su un caso studio considerato nell'Iowa.

L'obiettivo che si vuole perseguire con questo lavoro è quello di descrivere le funzionalità del modello revisionale SALUS e nello specifico considerare la componente legata alle lavorazioni, vedendo come variano le risposte produttive e ambientali nella coltivazione di mais (*Zea Mais L.*) con le diverse tecniche di gestione, convenzionale (CT), minima lavorazione (MT) e di non lavorazione (NT).

## **6.1 - Metodologia**

Il modello revisionale SALUS (System Approach to Land Use Sustainability) è stato pensato per riuscire a simulare le condizioni ambientali e di crescita della coltura, del suolo, dell'acqua e dei nutrienti con diverse strategie di gestione per diversi anni.

Queste tecniche di gestione utilizzate per effettuare le simulazioni possono prevedere e considerare rotazioni colturali, date di semina in periodi diversi e varie densità di investimento, modalità di irrigazione e distribuzione dei fertilizzanti oltre alle tecniche di gestione e quindi diverse tipologie di lavorazioni.

La simulazione da parte del programma considera la crescita delle piante e le variazioni delle condizioni del suolo ogni giorno, sia durante il periodo di crescita della coltura che nel quando il terreno non è coltivato. per ciascuna simulazione considerata vengono considerati e combinati contemporaneamente diversi parametri e diverse tecniche di gestione. Valutando le diverse strategie contemporaneamente è possibile notare come gli effetti sulla coltura e sul suolo siano influenzati dal susseguirsi dei fenomeni meteorologici.

Ogni volta che viene fatta una previsione su una tecnica di gestione e le sue possibili variazioni, devono essere considerate tutte le maggiori variabili che entrano in gioco per quanto riguarda la coltura, il suolo e l'acqua. Fra le variabili troviamo le tecniche di gestione, il bilancio idrico, la sostanza organica, l'evoluzione e il movimento di azoto e fosforo, il bilancio termico, l'accrescimento della pianta ed il suo sviluppo.

Il bilancio idrico considera lo scorrimento superficiale che si può avere in seguito ad un evento piovoso consistente, l'infiltrazione dell'acqua, l'evaporazione superficiale, la saturazione o meno del terreno da parte del flusso d'acqua, il drenaggio, l'assorbimento dell'acqua da parte delle radici, l'evaporazione e la traspirazione di acqua dal suolo.

Il modello di simulazione considera la sostanza organica presente di cui il terreno è dotato e gli elementi nutritivi presenti, la decomposizione della sostanza organica, la mineralizzazione dell'N, le perdite per volatilizzazione e le dinamiche del fosforo. Lo sviluppo e la crescita della pianta tengono conto anche di temperatura e fotoperiodo che vengono utilizzate per ipotizzare la percentuale di crescita potenziale della pianta stessa. Questo effetto sulla crescita può essere modificato andando a gestire diversamente i livelli di acqua e azoto.

Il modello biofisico SALUS è composto da 3 componenti principali: il primo è un modello che prende in considerazione lo sviluppo della coltura, il secondo un modulo che analizza il ciclo degli elementi nutritivi e la sostanza organica e il terzo valuta il bilancio idrico e la temperatura del suolo.

I modelli di crescita della coltura derivano dal CERES (Ritchie et al., 1989) e IBSNAT (Jones e Ritchie 1991) sviluppati in origine per singolo anno e per singolo tipo di coltura. L'algoritmo che determinava la crescita della coltura presente nel modello di crescita è stato collegato con l'acqua presente nel suolo, i nutrienti e i sottomoduli che ne organizzano la gestione.

Le variabili ambientali (gradi giorno, fotoperiodo...) influenzano lo sviluppo e vengono considerate mediante coefficienti genetici specifici varietali. L'assimilazione del carbonio e la produzione di sostanza secca sono in funzione della crescita potenziale (considera l'intercettazione di luce e parametri che definiscono la crescita potenziale della varietà) i quali diminuiscono se vi sono carenze d'acqua o di azoto. Un altro input esterno da considerare nella crescita della pianta oltre ai coefficienti genetici della varietà è la radiazione solare.

La sostanza organica nel terreno e il modulo dell'azoto derivano dal modello Century e sono aggiustati con un numero di correzione. Il modello simula la sostanza organica e l'N mineralizzato/immobilizzato

Il modulo per il bilancio idrico nel terreno si basa sull'utilizzo del modello CERES congloba e calcola un maggior quantitativo di parametri fra cui l'infiltrazione, il drenaggio, l'evaporazione e lo scorrimento superficiale. Nel SALUS, il tempo di ristagno è utilizzato per fare le previsioni sullo scorrimento e l'infiltrazione basandosi sulla curva SCS dello scorrimento superficiale.

### **6.1.2 – Componenti lavorazioni e residui con il modello di simulazione SALUS**

Il modello delle lavorazioni presente nel SALUS è basato sul CERES-TILL (Dadoun 1993), un modello utilizzato per prevedere l'influenza del residuo colturale sullo strato superficiale del suolo e delle lavorazioni sulla proprietà che questo strato del terreno assume in relazione allo sviluppo della pianta. Il modello come dati iniziali richiede le date precise in cui si sono svolte le lavorazioni, la tipologia di lavorazione che è avvenuta e la profondità a cui la stessa è stata eseguita.

Shelton et al. (1990) e Buckingham e Pauli (1993) proposero di utilizzare la percentuale di residuo rimasta in superficie dopo le operazioni di lavorazione del terreno per riuscire a determinare la biomassa finale rimanente sul suolo.

I valori in percentuale di residuo che si può trovare sulla superficie del suolo sono stati stimati considerando la tipologia di lavorazione che è avvenuta.

In tabella 1 sono riportati i valori minimi e massimi per quanto riguarda l'incorporamento dei residui nel terreno. Andando a moltiplicare il coefficiente per ciascuna operazione attuata è possibile stimare la quantità in percentuale di residuo che sarà possibile individuare sulla superficie del suolo.

### **6.1.3 – Copertura del suolo con residui**

La parte di superficie coperta con residuo colturale rimanente sul terreno dopo la lavorazione ( $F_c$ ) è calcolata come:

$$FC = 1.0 - \text{EXP}(-AM * \text{Mulch}) \quad (1)$$

dove AM è l'area coperta per unità di peso secco di residuo ( $\text{ha kg}^{-1}$ ) ed è legato alla tipologia di residuo e MULCH è il quantitativo di residuo che rimane sulla superficie dopo la lavorazione ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

L'equazione è basata sulla probabilità di ciascuna parte di residuo che resta in superficie. Dadoun (1993) ha dato i valori di AM per le colture maggiormente coltivate (tabella 2).

FC è usato nei calcoli successivi per l'albedo e l'effetto dell'energia cinetica che ha la pioggia nella modificazione delle proprietà del suolo.

Lo spessore del residuo è determinante per stabilire la diminuzione dell'evaporazione di acqua dal terreno dovuto alla presenza del residuo in superficie. L'algoritmo per la stima dello spessore medio del residuo considera che questo sia disposto su più strati, ciascuno con una dimensione definita per il residuo, e la copertura di ogni strato viene descritta dall'Eq. 1.

Lo spessore totale del residuo superficiale è ottenuto dalla sommatoria del peso dell'area di ciascuno strato sul totale della biomassa del residuo stesso, rapportando quindi la superficie intesa come area occupata al volume del residuo stesso.

#### **6.1.4 – Effetti sul bilancio idrico**

La presenza di residui colturali influenza il bilancio idrico del suolo per quanto concerne l'intercettazione dell'acqua piovana ed il contenimento di fenomeni di evaporazione dal suolo.

Il massimo quantitativo di acqua che può essere trattenuta dai residui vegetali è direttamente proporzionale alla massa di residuo stesso. Dadoun (1993) ha mostrato come sia possibile che il residuo accumuli una quantità d'acqua pari a 3,8 volte il peso del residuo stesso. La quantità di precipitazione intercettata dal residuo viene considerata come la frazione disponibile per l'evaporazione. L'energia disponibile per l'evaporazione dal suolo, (potenziale di evaporazione del suolo) è definito come sommatoria di 2 processi: la perdita di acqua per evaporazione dai residui e l'evaporazione di acqua dal terreno.

Il potenziale di evaporazione dal suolo (EOS, mm) diminuisce con l'aumentare dell'acqua evaporata dai residui e il contenuto di acqua rimanente è così aggiornato.

### 6.1.5 – Effetti sui parametri del suolo

Il modello revisionale SALUS ipotizza la percentuale di sviluppo della pianta utilizzando il modello sviluppato da Vinocur e Ritchie (1998) per prevedere la temperatura meristemica del terreno e la temperatura dell'aria per prevedere la fenologia negli stadi di sviluppo della pianta con meristema ipotetico a 1-2 cm dalla superficie del suolo (mais e grano).

Il SALUS include quindi il modello di Vinocur e Ritchie (1998) ma al suo interno ha una modificazione che prende in considerazione il modello di temperatura del suolo CERES che tiene conto se sulla superficie del suolo sono presenti o meno residui colturali.

Le quattro proprietà del suolo che nel modello tendono a variare cambiando tipologia di lavorazione sono la densità ( $\text{g cm}^{-3}$ ), la conducibilità idrica del terreno ( $\text{cm giorno}^{-1}$ ), la capacità di trattenuta ed il contenuto di acqua in situazione di saturazione ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

Le condizioni del suolo dopo le lavorazioni sono intese come inputs e cambiamenti dinamici che avvengono in seguito alle precipitazioni. Il fenomeno che prevede la modificazione della densità volumica e della conducibilità idrica seguono alcuni schemi. Il parametro cambia da un valore iniziale a un valore stabile seguendo l'andamento di una curva esponenziale che è in funzione dell'energia cinetica totale della caduta d'acqua dopo che è avvenuta l'ultima lavorazione:

$$Xvar = Xstl + (Xtill - Xstl) * \text{EXP} (-RSTL * \text{SUMKE}) \quad 2)$$

dove Xvar rappresenta le proprietà dinamiche del suolo, Xtill è il valore che si ha dopo la lavorazione, Xstl il valore stabilizzato della proprietà, RSTL è la percentuale di cambiamento avvenuto sulla proprietà del suolo ( $\text{J cm}^{-2}$ ) di energia cinetica dell'evento piovoso e SUMKE è la sommatoria dell'energia cinetica dopo che è avvenuta l'ultima lavorazione ( $\text{J cm}^{-2}$ ).

La percentuale di cambiamento delle proprietà del suolo è assunto essere in funzione della stabilità degli aggregati del suolo (AS, 0.0-1.0). l'acqua stabile negli aggregati (AS) è correlata con la sostanza organica presente nel suolo (Tisdall e Oades,1982);

$$AS = 0.005 * OC (L) \quad 3)$$

$$RSTL = 10 * (1-AS) \quad 4)$$

dove OC(L) è la percentuale di carbonio organico contenuto sullo strato del suolo L. La stabilità degli aggregati non è misurabile in termini assoluti. Esprime la resistenza alla rottura di aggregati che sottostanno a diversi processi come ad esempio la pioggia intermittente (Hiller, 1982).

L' Eq. 3 normalizza il valore della stabilità degli aggregati che con valori di 1.0 rappresenta la miglior stabilità, mentre un valore pari a 0.0 rappresenta una situazione in cui gli aggregati del suolo non presentano alcuna resistenza alle forze distruttive che sono applicate al terreno. È stata utilizzata una relazione per stimare l'energia cinetica totale dell'intera precipitazione (Wishmeier et al. 1978).

$$KE = (3.812+0.812*\ln(RAIN/TIME))*RAIN \quad 5)$$

La copertura superficiale (SOILCOV) con i residui (FC) e la struttura della pianta (CANCON) diminuisce il quantitativo di energia ricevuta sulla superficie del suolo proporzionalmente alla superficie coperta (Wishmeier et al. 1978).

$$SOILCOV = CANCOV + FC * (1- CANCOV) \quad 6)$$

L'effetto della pioggia battente diminuisce d'intensità con l'approfondimento lungo il profilo del suolo. La diminuzione dell'effetto segue una curva esponenziale con la profondità (profondità, cm) ed il coefficiente utilizzato, 0.15 annulla l'intensità sul fondo dello strato lavorato (26 cm). Così l'intensità cumulata è calcolata per i primi 4 strati.

$$SUMKE (L) = \sum(1-SOILCOV)KE*EXP(-0.15*depth) \quad 7)$$

Ogni volta che la densità volumica del suolo cambia, la saturazione del contenuto di acqua per ciascuno strato L (SAL(L)) è calcolata usando l'equazione che mette in relazione la porosità e la densità:

$$SAT (L) = 0.92*(1-BD(L)/2.66) \quad 8)$$

Dove  $\rho(L)$  è la densità dello strato L ( $\text{g cm}^{-3}$ ), la densità del suolo nello specifico è assunta essere  $2.66 \text{ g cm}^{-3}$ , e 92% la porosità totale assunta come quella effettivamente presente (Dadoun 1993).

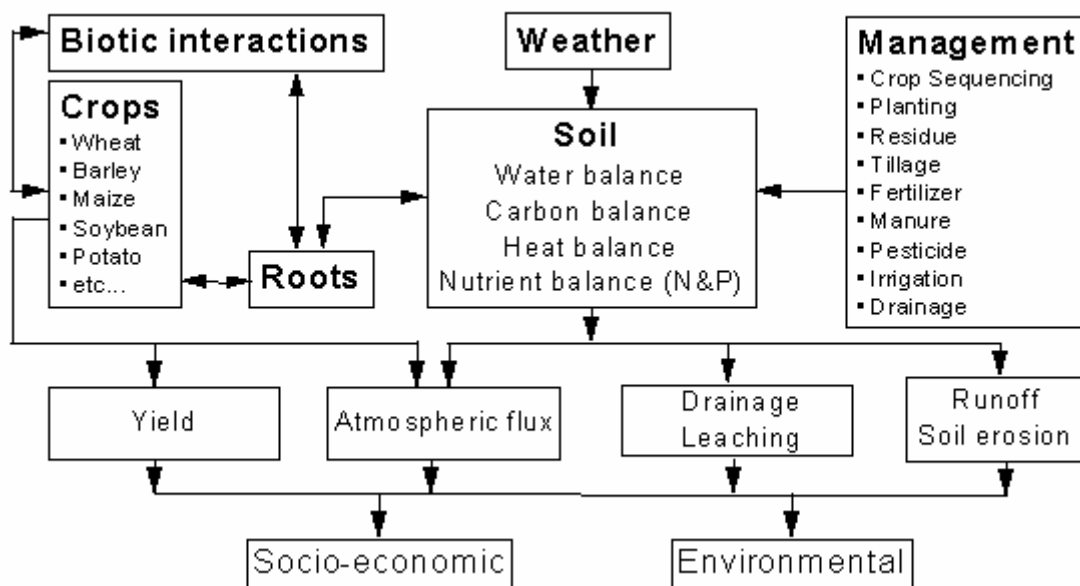


Diagramma esemplificativo delle componenti che costituiscono il SALUS.

Tabella 1: percentuale di incorporazione dei residui durante operazioni eseguite in campo (rivisto da Buckingham e Pauli, 1993)

Operation	Type of residue	
	Non-Fragile <sup>a</sup>	Fragile
<i>Plows</i>		
Moldboard plow	90-100	95-100
<i>Chisel plows with:</i>		
Sweeps	15-30	40-50
Straight spike points	20-40	40-60
Twisted points or shovels	30-50	60-70
<i>Combination chisel plows</i>		
Coulter-chisel plow with:		
Sweeps	20-40	50-60
Straight spike points	30-50	60-70
Twisted points or shovels	40-60	70-80
<i>Disk-chisel plow with:</i>		
Sweeps	30-40	50-70
Straight spike points	40-50	60-70
Twisted points or shovels	50-70	70-80
<i>Field cultivators (including leveling)</i>		
Field cultivator as primary tillage		
Sweeps 30-50 cm wide	10-20	25-45
Sweeps or shovels 15-30 cm	20-30	30-50
Duckfoot points	30-40	45-70
<i>Row cultivators 76 cm wide rows</i>		
Single sweep per row	10-25	30-45
Multiple sweeps per row	15-25	35-45
Finger wheel cultivator	25-35	40-50
Rolling disk cultivator	45-55	50-60
Ridge till cultivator	60-80	75-95
Row planters		
Conventional planters with		
Runner openers	5-15	10-20
Staggered disk openers	5-10	5-15
Double disk openers	5-15	15-25
No till planters with		
Smooth coulters	5-15	10-25

Ripple coulters	10-25	15-30
Fluted coulters	15-35	20-45

<sup>a</sup> Non-fragile residues are generally more difficult to incorporate due to their large size, greater resistance to breakage and decomposition (i.e. maize and wheat) in contrast to fragile residues that are relatively small and easily incorporated (soybean and peanuts)

Tabella 2: Values of average mass to area conversion for residue

Crop	Am (ha kg <sup>-1</sup> )	Source
Maize	0.00032	Van Doren and Allmaras, 1978
Maize	0.00040	Gregory, 1982
Wheat	0.00054	Gregory, 1982 data from Wishmeier et al., 1978
Winter wheat stem	0.00027	Greb,1967
Wheat	0.00045	Gregory, 1982
Winter wheat stems	0.00027	Greb,1967
Soybean	0.00032	Gregory,1982
Grain sorghum stems	0.00006	Greb,1967
Sunflower	0.00020	Gregory,1982

## 6.2 - Risultati

Andando a considerare il breve periodo e confrontando i dati medi rilevati nei 3 anni di interesse con quelli simulati con il modello revisionale SALUS (fig. 1), è possibile vedere come ci sia uno scostamento minimo in certi casi fra i due e un po' più accentuato in altri casi. Per l'umidità del terreno ad esempio, negli anni 2005 e 2005 i dati simulati hanno un certo scostamento rispetto a quelli rilevati; questo perché in questi casi i dati riportati sono la media di 3 campionamenti che quindi rappresentano in parte l'andamento, mentre nel caso del 2007 i dati simulati e rilevati sono abbastanza simili in conseguenza al fatto che per questo anno la numerosità dei campioni è stata molto maggiore, grazie al nuovo sistema di acquisizione dati.

	<b>2005</b>					
	<b>CT</b>		<b>MT</b>		<b>NT</b>	
<b>Parametro considerato</b>	<b>simulati</b>	<b>rilevati</b>	<b>simulati</b>	<b>rilevati</b>	<b>simulati</b>	<b>rilevati</b>
Densità volumica (g/cm <sup>3</sup> )	1.34	1.33	1.35	1.26	1.37	1.4
Umidità del terreno (%)	23.97	10.42	24.07	14.34	24.56	10.84
Produttività (kg/ha)	7682	7563.7	3034	3789.06	3491	2922.84
	<b>2006</b>					
	<b>CT</b>		<b>MT</b>		<b>NT</b>	
<b>Parametro considerato</b>	<b>simulati</b>	<b>rilevati</b>	<b>simulati</b>	<b>rilevati</b>	<b>simulati</b>	<b>rilevati</b>
Densità volumica (g/cm <sup>3</sup> )	1.35	1.43	1.36	1.36	1.37	1.41
Umidità del terreno (%)	22.33	13.54	23.07	17.47	24.35	13.38
Produttività (kg/ha)	4524	2421.14	3355.6	3337.98	3193.7	2105.08
	<b>2007</b>					
	<b>CT</b>		<b>MT</b>		<b>NT</b>	
<b>Parametro considerato</b>	<b>simulati</b>	<b>rilevati</b>	<b>simulati</b>	<b>rilevati</b>	<b>simulati</b>	<b>rilevati</b>
Densità volumica (g/cm <sup>3</sup> )	1.36	--	1.36	--	1.37	--
Umidità del terreno (%)	21.15	23	21.84	26	22.58	23
Produttività (kg/ha)	6788.7	6842.07	2714.7	3560.4	5165	4851.52

Figura 1: confronto fra dati medi rilevati in campo nelle diverse tesi e dati medi ottenuti mediante simulazione con il modello SALUS.

Andando a considerare la relazione fra le rese rilevate e quelle simulate con il modello SALUS (fig. 2), si è visto come il divario fra i due dati, ad esclusione di qualche rilevamento, è minimo. La risposta del modello è buona per la maggior parte delle situazioni. La sovrastima rispetto ai dati rilevati può essere dovuta ai fattori non considerati dal modello come ad esempio le infestanti e anomali situazioni idriche dovuti a mancati approvvigionamenti da falda.

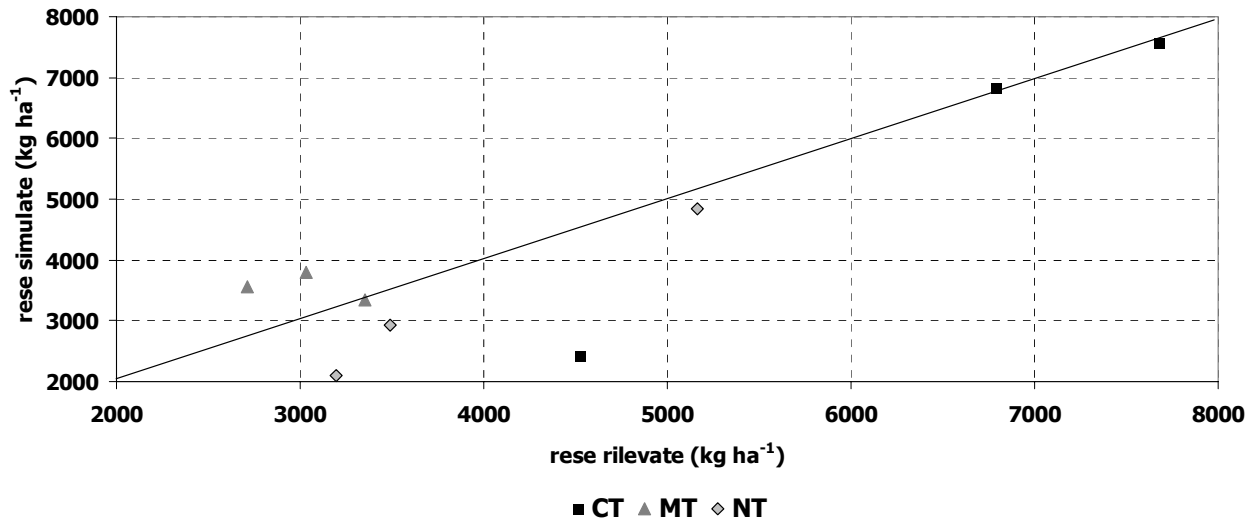


Figura 2: relazione tra le rese medie rilevate in campo nei 3 anni (2005-2006-2007) e quelle simulate con il modello SALUS per le tre lavorazioni.

Mettendo in relazione i dati medi di produzione rilevati in campo e quelli simulati dal modello per singolo anno, è possibile notare come ci siano delle differenze più o meno marcate fra valori della stessa tesi. Nel 2005 (fig. 3) la simulazione ha avuto uno scostamento percentuale medio assoluto pari a 13.6; nel 2006 (fig. 4) lo scostamento è stato pari a 27, mentre nel 2007 (fig. 5) si è attestato su valori.

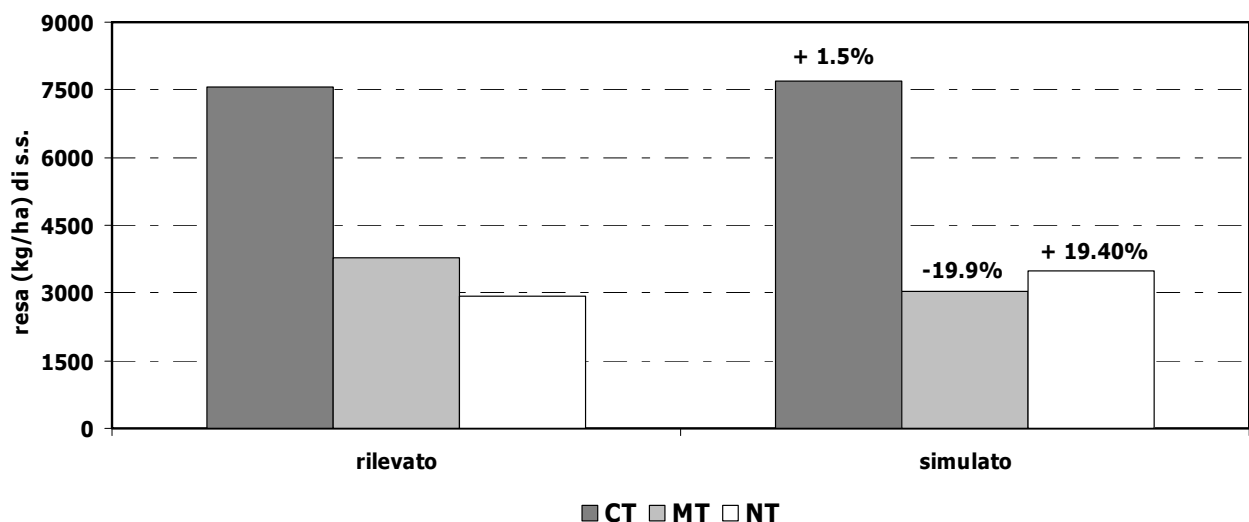


Figura 3: comparazione fra la resa rilevata e quella simulata per le tre lavorazioni nell'anno 2005.

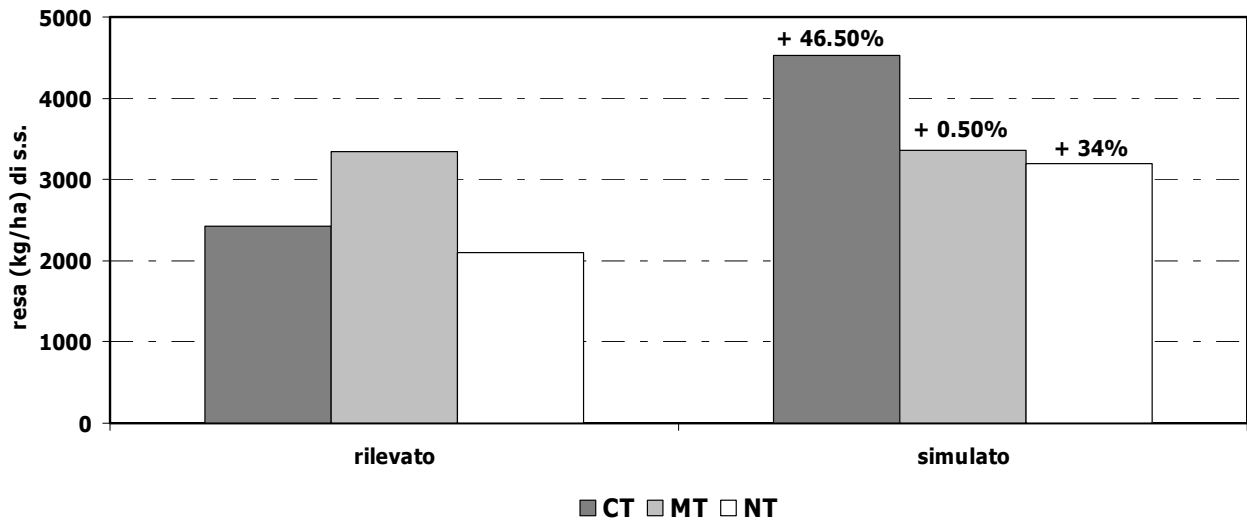


Figura 4: comparazione fra la resa rilevata e quella simulata per le tre lavorazioni nell'anno 2006.

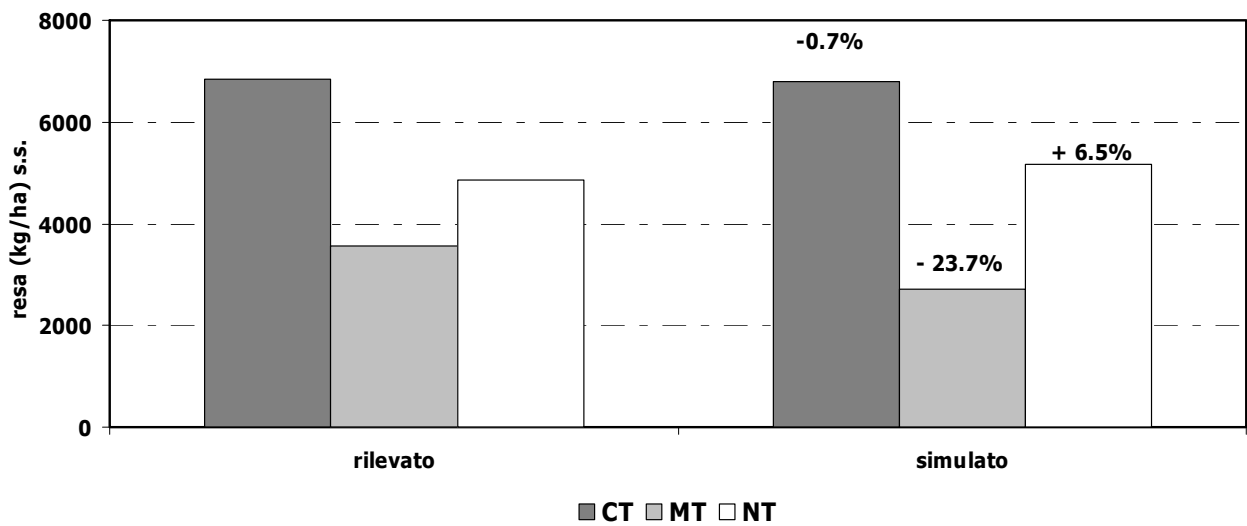


Figura 5: comparazione fra la resa rilevata e quella simulata per le tre lavorazioni nell'anno 2007.

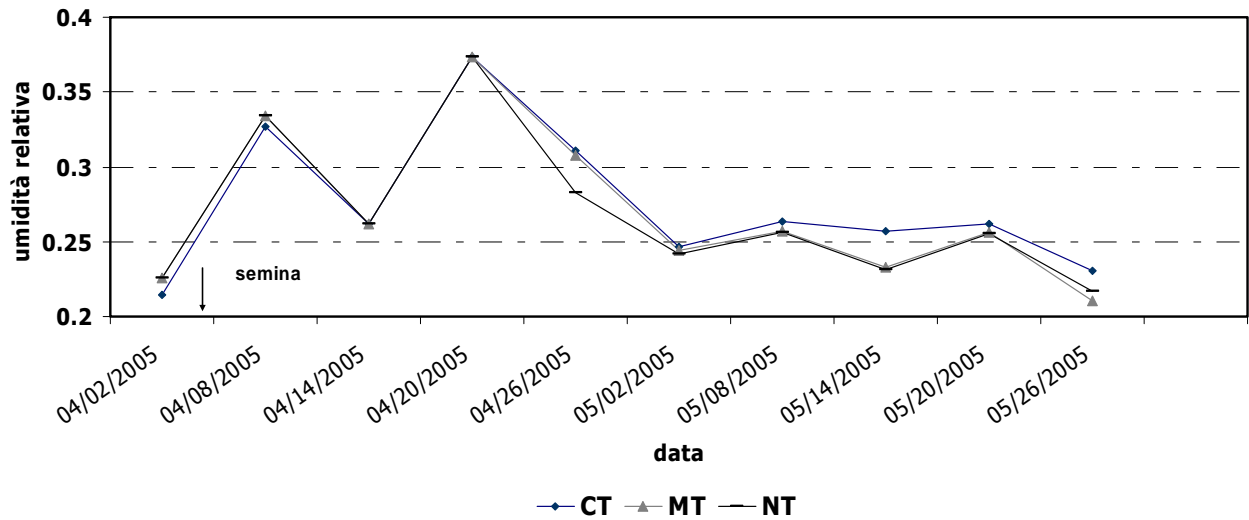


Figura 6: andamento dell'umidità relativa ( $m^3 m^{-3}$ ) simulata per l'anno 2005 nei mesi di aprile e maggio nello strato da 2 a 7 cm.

In entrambe le annate le umidità del terreno negli strati superficiali seguono andamenti simili per le 3 lavorazioni soprattutto nei periodi in cui sono assenti precipitazioni. Le leggere piogge cadute dopo la semina hanno avuto l'effetto di aumentare l'umidità del suolo nei terreni lavorati (CT ed MT), mentre si osserva una scarsa infiltrazione nel terreno non lavorato. In media, leggermente maggiore è l'umidità dello strato superficiale nelle tesi CT (fig. 6 e 7).

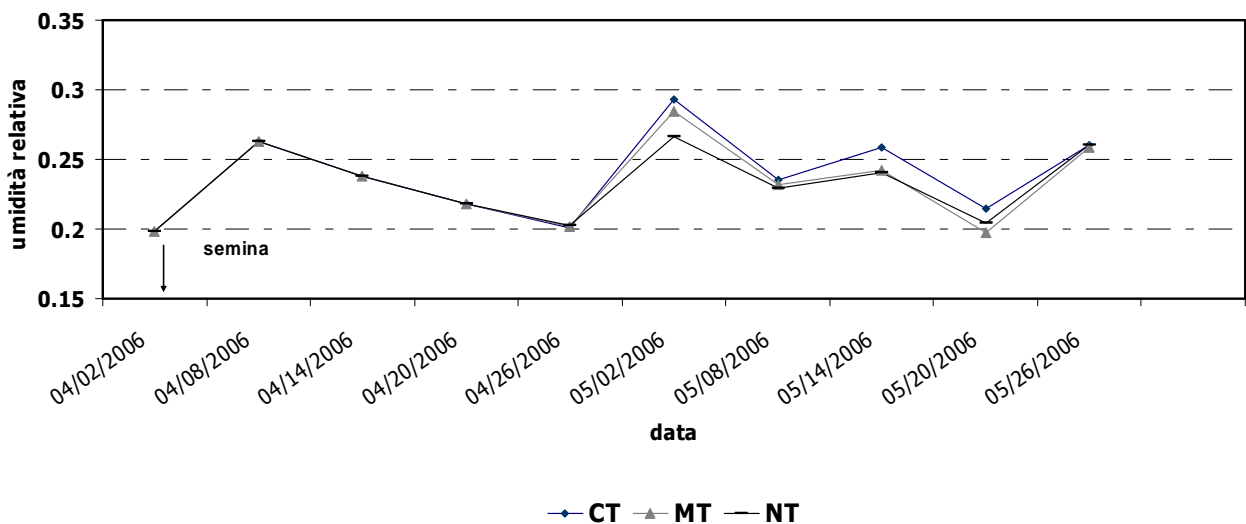


Figura 7: andamento dell'umidità relativa ( $m^3 m^{-3}$ ) simulata per l'anno 2006 nei mesi di aprile e maggio nello strato da 2 a 7 cm.

L'andamento della temperatura dei primi strati di terreno per tutte le tesi e all'interno delle 2 stagioni è pressoché il medesimo, come mostrano le figure 9 e 10. evidentemente i primi strati di terreno, a prescindere dalla loro gestione, sono fortemente influenzati dalla temperatura dell'aria e dall'insolazione.

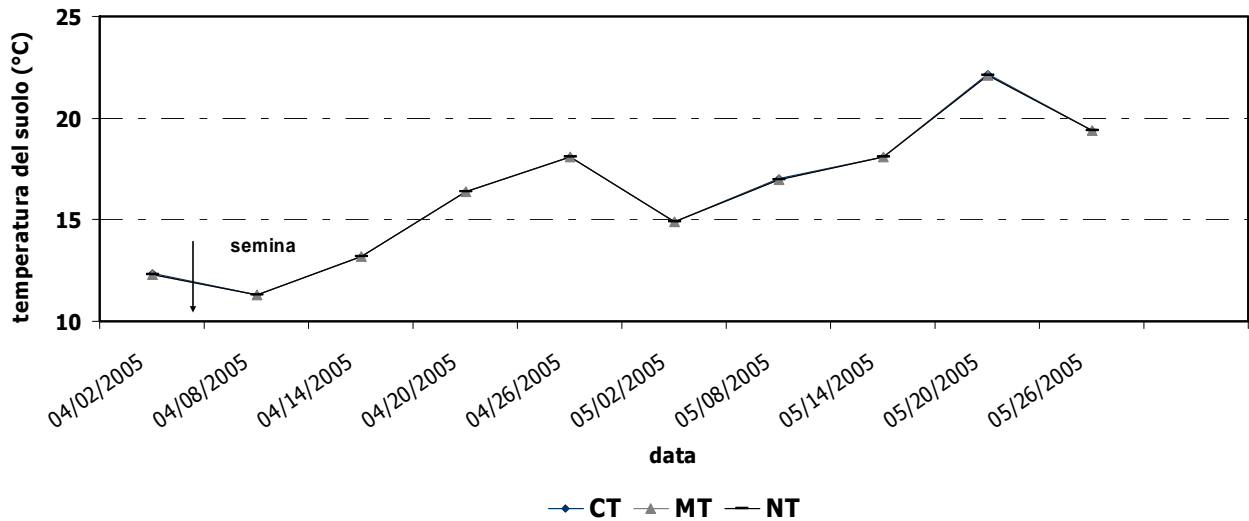


Figura 9: andamento della temperatura del suolo nei primi 7 cm simulata per i mesi di aprile e maggio 2005.

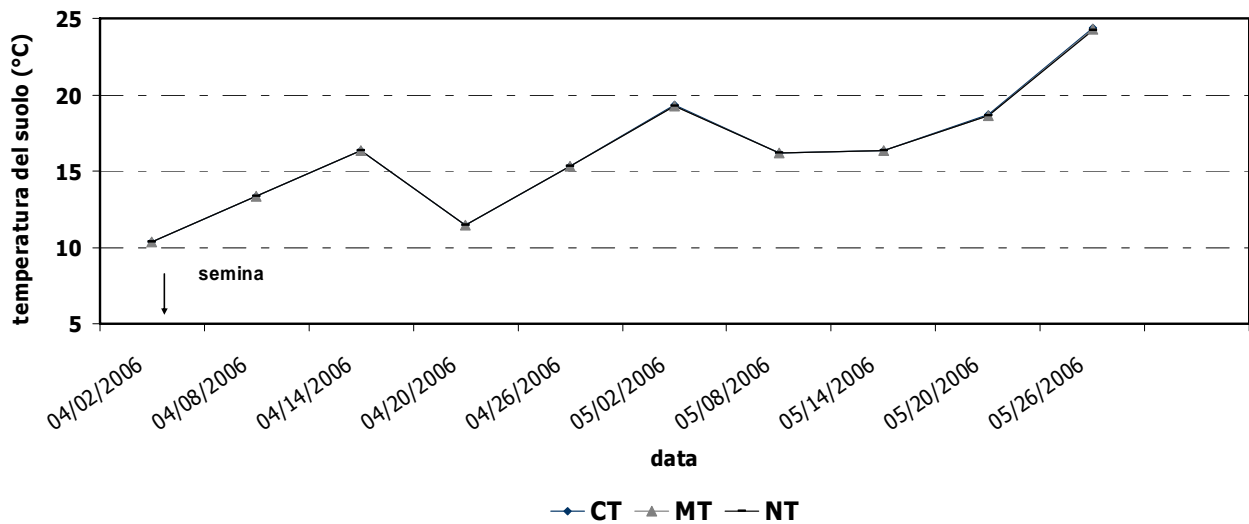


Figura 10: andamento della temperatura del suolo nei primi 7 cm simulata per i mesi di aprile e maggio 2006.

L'influenza delle condizioni climatiche (temperatura e piovosità) sull'emergenza del seme nei 3 tipi di lavorazione si manifesta nella temperatura e nell'umidità del suolo nei primi 7 cm di profondità. Con lo scopo di individuarne l'entità sono stati simulati questi parametri nel periodo successivo alla semina e utilizzando per il confronto 2 indici: la somma termica e l'umidità cumulata ottenuti sommando i valori a partire dalla semina fino alle complete emergenze. Inoltre per eliminare le differenze tra le tesi dovute all'investimento finale è stata considerata la percentuale dei semi emersi rispetto all'emergenza totale, anziché il numero assoluto di semi emersi. In figura 11 è rappresentata la percentuale di emergenze in relazione alla somma termica del periodo. Dal momento che non si sono evidenziate differenze di temperatura nelle 3 tesi in entrambi gli anni, l'andamento delle emergenze non differisce di molto da quello riportato sul capitolo relativo. Dalla stessa figura emerge come nei suoli CT e MT, sia sufficiente per raggiungere l'80% di emergenze un livello termico inferiore (250-270 °C giorno) rispetto ad NT (280-320°C giorno), probabilmente dovuto a cause legate alla consistenza del terreno.

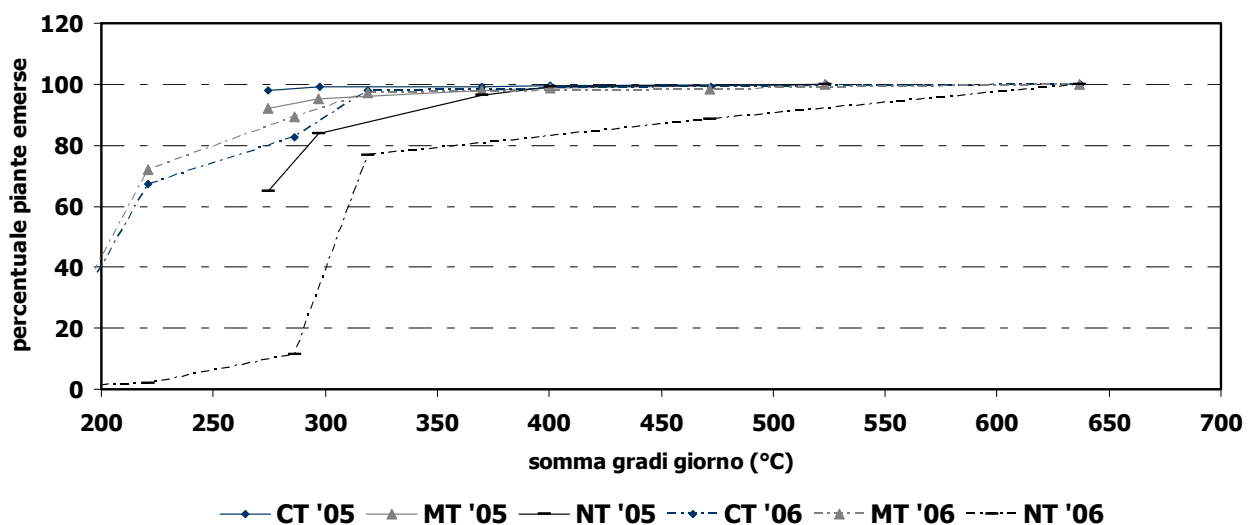


Figura 11: percentuali di emergenze per le tre lavorazioni nei 2 anni (2005-2006) in relazione ai gradi giorno simulati con il modello SALUS:

### **6.3 Conclusioni**

Considerando il modello di simulazione SALUS per quanto concerne le rese, si è notata una certa contrapposizione fra i valori della stessa tesi all'interno dello stesso anno con discrepanze significative: per rendere più omogenei i dati e avere valori maggiormente attendibili è necessaria una taratura più accurata che tenga in considerazione parametri specifici della tecnica adottata. Per quanto riguarda la velocità di emergenze, si è notato che questa oltre ad essere influenzata dal tipo di lavorazione è in parte influenzata anche dalla temperatura del periodo e quindi dalla somma termica.

## 6.4 - Bibliografia

**Andales, A.A., W.D. Batchelor, C.E. Anderson, D.E. Farnham, D.K. Whigham.** 2000. Incorporating tillage effects into a soybean model. *Agric. Systems* 66 69:98

**Allmaras, R.R., E.A. Hallauer, W.W. Nelson and S.D. Evans.** 1977. *Agric. Ext. Stn. Techn. Bull* n°306. St. Paul, Minn.

**Arrue, J.L.** 1997. Effect of conservation tillage in the CO<sub>2</sub> sink effect of the soil, pp 189-200. In: L. García-Torres and P. González-Fernández (eds.), *Conservation agriculture: agronomic, environmental and economic bases* (in Spanish), Spanish Association for Conservation Agriculture (AEAC/ SV), Cordoba, Spain, pp. 372.

**Ball, B.C., Tebrügge, F., Sartori, L., Giraldez, J.V., and Gonzalez, P.** 1998. Influence of no-tillage on physical, chemical and biological soil properties. In: *Experiences with the applicability of no-tillage crop production in the west-European countries, Final report of Concerted Action n. AIR 3 – CT 93-1464*, edited by F. Tebrügge and A. Böhrnsen, (Fachverlag Köhler, Giessen, D), p. 7-27.

**Basso, B.** 2003. Perspectives of Precision Agriculture in Conservation Agriculture. In Garcia Torres L., Benitez J., Martinez Vilela A. (Eds.) *Conservation Agriculture*, Kluwer, pp. 255-262.

**Basso, F., M. Pisante, B. Basso.** 1996. Influenza dei residui colturali e delle lavorazioni sull'umidità del terreno, sull'accrescimento e produzione del favino da seme (*Vicia Faba Minor Beck*) e frumento duro (*Triticum Durum Desf.*). *Riv. Agron.* 3: 212-221.

**Basso, F., A.S. De Franchi, M. Pisante, B. Basso, G. Landi.** 2000. Influenza della modalità di lavorazione del terreno sul processo erosivo e sulla produzione di sistemi colturali nella collina meridionale. *Riv. Agron.* 34: 296-305.

**Basso, F., M. Pisante, B. Basso.** 2002. Chapter 25: Soil erosion and land degradation. In N.A. Geeson, C.J. Brandt, J.B. Thornes (Eds.) *Mediterranean Desertification: A Mosaic Of Processes And Responses*. John Wiley & Sons Ltd, pp.347-359.

**Batchelor, W.D., B. Basso, J.O. Paz.** 2002. Examples of strategies to analyze spatial and temporal yield variability using crop models. *Eur. J. Agron.* Vol. 18, pp. 141-158.

**Borin, M., Menini, C., and Sartori, L.** 1997. Effects of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. *Soil & Tillage Research* 40 209-226.

**Bouma, J.** 2002. Land quality indicators of sustainable land management across scales. *Agriculture, Ecosyst and Environ.* 88 129-136

**Broadbridge, P., and I. White.** 1987. Time-to-ponding: Comparison of analytic, quasi-analytic and approximate predictions. *Water Resour. Res.* 23: 2302-2310.

**Broadbridge, P., J.H. Knight, and C. Rogers.** 1988. Constant Rate Rainfall Infiltration in a Bounded Profile: Solutions of a Nonlinear Model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1526-1533.

**Buckingham, F., Pauli, A.W.,** 1993. Tillage. Deere and Company, Moline, IL, pp. 41:43.

**Cole, C.V.** 1996a. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions. Chapter 23. p. 745-771. In «Climate Change 1995: Impacts, Adaptation and Mitigation of Climate Change: Scientific Technical Analyses», IPCC Working Group II, Cambridge University Press, UK.

**Cole, C.V.** 1996b. Intergovernmental Panel on Climate Change. 1995. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions IPCC Workgroup II. Chapter 23, Washington, D.C.

**Davidson, E.A. and I.L. Ackerman,** 1993; Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 20: 161-193.

European Environment Agency. 1998. Soil Degradation, chapter 11, p.231-246.; chapter 2, climate change, p. 37-59. In: Europe's Environment: The Second Assessment, Elsevier Science Ltd., pp.

**Dadoun, F.A.** 1993. Modeling tillage effects on soil physical properties and maize development and growth. Ph.D. thesis, Michigan State University, MI. USA.

**Franzluebbers, A.J.** 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Res* (66) 197-205

**Greb, B.W.** Percent soil cover by six vegetative mulches. *Agron. J.* 59:610-611.

**Gregory, J.M.** 1982. Soil cover prediction with various amounts and type of crop residue. *Trans. ASAE* 1333-1337

**Griffith, D.R., J.V. Mannering and W.C. Modenhauer.** 1977. Conservation tillage in Eastern Corn Belt. *J. Soil Water Conserv.* 32 20-29

Kyoto Protocol/ United Nations. 1998. Framework Conventions on Climate Change, <http://www.un/ccc.de/> Jones, J.W., and J.T. Ritchie. 1991. Crop growth models. In: G.J. Hoffman, T.A. Howell, and K.H. Soloman (eds.), *Management of farm irrigation systems.* ASAE, St. Joseph, MI.

**Lal R.** 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. *Soil & Tillage Research.* 43(1-2):81-107, 1997

**Lal, R.** 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 604, 1623-1627

**Lal, R.** 2004. Managing Soil Carbon. *Science* 304, 393

- Langdale, G.W., West, L.T., Bruce, R.R., Miller, W.P., Thomas, A.W.,** 1992. Restoration of eroded soil with conservation tillage. *Soil Technol.* 5, 81–90.
- Mankin, K.R., Ward, A.D., Boone, K.M.** 1996. Quantifying changes in soil physical properties from soil and crop management: a survey of experts. *Transactions of the ASAE* 39 (6) 2065-2074.
- Paustian K. , Cole CV., Sauerbeck D. , Sampson N.** 1998. CO2 mitigation by agriculture: An overview, *Climatic Change* 40(1):135-162, 1998
- Raper, R.L., Reeves, C.H., Burmester, C.H., and Schwab, E.B.** 2000. Tillage depth, tillage timing and cover crop effects on cotton yield soil strength and tillage requirements. *Applied Engineering in Agriculture* (16): 379-385.
- Rasmussen. K.J.** 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil & Tillage Res.* (53) 3-14
- Rasmussen, P.E., K.W.T. Goulding, J.R. Brown, P.R. Grace, H.H. Janzen, M. Korschens.** 1998. Long-term Agroecosystem Experiments: Assessing Agricultural Sustainability and Global Change. *Science*, 282 893-896
- Reeves, D.W.** The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Res* (43) 131-167
- Reicosky D.C., D.K. Cassel, R.L. Blevins, W.R. Gill and G.C. Naderman.** 1977. Conservation tillage in the southeast. *J. Soil Water Conserv.* 32: 13-20
- Reicosky D.C.** 1995. Impact of tillage on soil as a carbon sink p. 50-53. In: *Farming for a Better Environment, A White Paper*, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, pp.67.
- Reicosky, D.C., Kemper, W.D., Langdale, G.W., Douglas Jr., C.L., Rasmussen, P.E.,** 1995. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *J. Soil Water Conserv.* 50, 253-262
- Riley, H., Børresen, T., Ekeberg, E., Rydberg, T.,** 1994. Trends in reduced tillage research and practice in Scandinavia. In: Carter, M.R. (Ed.), *Cons. Till. in Temp. Agroecosystems*. Lewis Publishers, pp. 23±45.
- Ritchie J.T., D.C. Godwin, and S. Otter-Nacke.** 1985. *CERES-Wheat: A simulation model of wheat growth and development*. Texas A&M University Press, College Station, TX.
- Ritchie, J.T., and U. Singh, D.C. Godwin and L. Hunt.** 1989. *A user's guide to CERES Maize-V.2.10- Muscle Shoals, AL*. International Fertilizer Development Center.
- Ritchie, J.T., B.Basso, A. Gerakis, I.White.** 2005. Incorporating Seasonal Rainfall Intensity and Soil Properties into a Daily Surface Runoff Model. *Agronomy Abs.* 2005

Salus software. System Approach for Land Use Sustainability. <http://salus.gis.fcu.edu.tw>.

**Sartori, L., B. Basso, M. Bertocco.** 2006. Site-specific conservation tillage gross margins in maize (*Zea mays*, L.): field studies and simulations in NE Italy. Submitted to Soil Tillage and Res.

**Shelton, D. P., E.C. Dickey, P.J. Jasa.** 1990. Estimating percent residue cover. In E.C. Dickey and P.J. Jasa (ed) Conservation tillage proceeding n°9. University of Nebraska, Cooperative extension, Nebraska. USA.

**Smith P., Powlson DS. , Glendining MJ., Smith JU.** 1998. Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. *Global Change Biology* 4(6):679-685, 1998

**Tisdall J.M., J.M.Oades.** 1982. Organic matter and water stable aggregates. *J. Soil Sci.* 33, 141-163

**Van Doren Jr, D.M and R.R. Allmaras.** 1978. Effect of residue management on the soil physical environment, microclimate and plant growth. In Oschwald W.R. (ed) "Crop residue management systems. Houston, Texas, USA, Nov. 28-Dec 3, 1976. ASA-CSSA-SSSA, Madison WI, USA.

**Vinocur M., J.T. Ritchie.** 2001. Maize Leaf Development Biases Caused by Air–Apex Temperature Differences. *Agron. J.* 93:767–772.

**White, I., M.J. Sully, and M.D. Melville.** 1989. Use and hydrological robustness of Time-to-incipient-ponding. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 29: 1343-1346.

**Wishmeier, W.H. and D.D. Smith.** 1978. Predicting rainfall-erosion-a guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook 537.

Idati riportati potrebbero subire delle variazioni tra questa versione e la finale.