

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

DIPARTIMENTO DI
GEOLOGIA E INGEGNERIA MECCANICA, IDRAULICA E NATURALISTICA PER IL TERRITORIO

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA
MECCANICA AGRARIA - XXI CICLO.

**Tecnologie meccaniche adoperate in Agricoltura Conservativa per la protezione del
suolo agrario dai fenomeni erosivi e dalla compattazione.**

**- Valutazione in campo e sviluppo di un protocollo di prova europeo per le
macchine della lavorazione del terreno -**

SETTORE SCIENTIFICO-DISCIPLINARE AGR09

Coordinatore: Prof. Danilo Monarca

Firma

Tutor: Ing. Giovanni Santoro

Firma.....

Dottorando: Ing. agr. Raffaele Talarico

Firma

A Nicoletta e Tobia

Indice.....	I
Elenco delle figure.....	III
Elenco dei grafici.....	IV
Elenco delle tabelle.....	V
1. Introduzione.....	1
1.1. Considerazioni sulla certificazione e sulle prove volontarie.....	4
1.2. Scopo della tesi.....	7
2. Il suolo.....	8
2.1. Caratteristiche del terreno, fertilità e produttività.....	8
2.2. La granulometria.....	9
2.3. La struttura.....	12
2.3.1. Generalità e tipi di struttura.....	12
2.3.2. Porosità.....	14
2.3.3. Il compattamento del terreno.....	15
2.3.3.1. La suola di aratura.....	19
2.3.4. Attrezzi per la decompattazione.....	21
2.4. Erosione del suolo.....	23
2.4.1. Erosione idrica.....	26
2.4.1.1. I processi erosivi.....	28
2.4.1.2. Pratiche antierosive e criteri di lotta contro l'erosione idrica.....	29
2.4.2. Erosione eolica.....	31
3. Le lavorazioni del terreno.....	34
3.1. Classificazione delle lavorazioni del terreno.....	35
3.1.1. Le lavorazioni convenzionali.....	36
3.1.1.1. Aratura - principali operazioni e schematizzazione del lavoro.....	36
3.1.1.2. Aratura e umidità del terreno.....	38
3.1.1.3. Profondità di aratura.....	39
3.1.1.4. Considerazioni sul lavoro di aratura.....	40
3.1.2. Le lavorazioni conservative.....	43
3.1.2.1. Le attrezzature per la lavorazione.....	45
3.1.2.1.1. Coltivatori.....	45
3.1.2.1.2. Erpici a dischi.....	49
3.1.2.1.3. Utensili complementari.....	50
3.1.2.2. La scelta della profondità in funzione degli obiettivi.....	51
3.1.3. Le seminatrici.....	53
3.1.3.1. Le seminatrici combinate.....	54
3.1.4. La semina su sodo.....	58
3.1.4.1. Caratteristiche tecnologiche specifiche.....	59
3.1.4.1.1. Utensili per lo spostamento del residuo.....	60
3.1.4.1.2. Utensili per il taglio del residuo.....	60
3.1.4.1.3. Assolcatori.....	61
3.1.4.1.4. Organi per la regolazione della profondità.....	63
3.1.4.1.5. Elementi chiudisolcho.....	63
4. Considerazioni di natura economica.....	65
4.1. Gli impatti economico-gestionali dell'adozione dell'AC nell'azienda agricola.....	65
4.1.1. La produzione.....	66
4.1.1.1. I costi di produzione.....	66
4.1.1.2. Adeguamento del parco macchine aziendale.....	66
4.1.1.3. La maggiore rilevanza delle operazioni di diserbo.....	67
4.1.1.4. Il modello aziendale.....	68
4.1.2. L'impatto economico per alcune colture di rilievo.....	69
4.1.2.1. Mais.....	70
4.1.2.2. Grano tenero.....	71
4.1.2.3. Grano duro.....	73

5.	Materiali e Metodi	75
5.1.	Protocollo di prova per la valutazione delle macchine utilizzate per le minime lavorazioni del terreno.....	75
5.1.1.	Valutazione delle prestazioni operative	75
5.1.2.	Caratterizzazione del terreno.....	79
5.1.3.	Valutazione della qualità del lavoro svolto dalle macchine.	80
6.	VSA (Visual Soil Assessment)	85
6.1.	Il metodo	85
6.2.	Informazioni sul sito	87
6.2.1.	Tessitura	88
6.2.2.	Zollosità.....	89
6.2.3.	Porosità.....	90
6.2.4.	Colore	91
6.2.5.	Colore e numero delle zone di riduzione	92
6.2.6.	Numero di lombrichi.....	93
6.2.7.	Approfondimento radicale potenziale	94
6.2.8.	Ristagno superficiale	95
6.2.9.	Formazione di crosta e copertura del suolo	96
6.2.10.	Erosione.....	98
6.3.	Score Card	100
7.	Descrizione della prova	101
7.1.	Descrizione delle macchine	102
7.2.	Dati tecnici.....	104
8.	Risultati e discussione	104
8.1.	Velocità e capacità di lavoro	104
8.2.	Fabbisogno energetico	105
8.3.	Consumo di Carburante.....	107
8.4.	Densità apparente (6 cm)	109
8.5.	Resistenza alla penetrazione.....	110
8.6.	Affinamento del terreno.....	111
8.7.	Presenza di residui colturali nello strato lavorato	113
9.	Agricoltura conservativa – rivediamo l'evidenza.	114
10.	Bibliografia.....	128
11.	Allegati.....	141

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1: Aratura con aratro versatile polivomere	1
Figura 2: Semina diretta con sistema cross slot (Nuova Zelanda).....	1
Figura 3: Le otto minacce per il suolo.	2
Figura 4: Superfici soggetti ad erosione in Europa	2
Figura 5: Classificazione dei terreni	9
Figura 6: Calanchi in Basilicata (MT)	11
Figura 7: Colline di Crotona (KR)	11
Figura 8: Assetto cubico (A) e assetto piramidale (B).....	12
Figura 9: Zollette di terreno con buona struttura glomerulare.....	12
Figura 10: (A) un normale strato coltivato; (B) un orizzonte compattato.....	15
Figura 11: Carico meccanico, sollecitazione e compattamento del terreno.....	15
Figura 12: Ristagni d'acqua nelle zone di compattazione.....	16
Figura 13: Malformazioni della barbabietola dovute a strati compatti.....	17
Figura 14: Effetti della lavorazione del terreno sulla compattazione.....	17
Figura 15: Numero di lombrichi in funzione dell'intensità di lavorazione.....	18
Figura 16: Capacità di resistenza del terreno in funzione delle lavorazioni	18
Figura 17: Misure penetrometriche (suola di aratura a 25 cm)	19
Figura 18: La gemellatura delle ruote.....	19
Figura 19: Pneumatici a bassa pressione	20
Figura 20: Cingoli in gomma per i trattori di elevata potenza.....	20
Figura 21: Ripartizione del carico.....	21
Figura 22: Sistema per la regolazione della pressione	21
Figura 23: Ancora di un ripuntatore.....	21
Figura 24: Particolare di una coppia di ancora alla francese	22
Figura 25: Calanco soggetto a processi di erosione accelerata	23
Figura 26: Letto e foce del fiume Tacina presso Botricello (CZ).....	24
Figura 27: Le fasi del processo di erosione idrica.....	27
Figura 28: Erosione Laminare (Sheet erosion)	28
Figura 29: Erosione incanalata (rill erosion).....	28
Figura 30: Erosioni tra solchi (interrill erosion).....	29
Figura 31: Erosione per burroni (gully erosion).....	29
Figura 32: Effetto delle pratiche antierosive	30
Figura 33: Effetto dell'erosione eolica	31
Figura 34: Effetti delle lavorazioni del terreno (Tebrügge et al., 2001)	34
Figura 35: I cantieri della lavorazione del terreno	35
Figura 36: Organi lavoranti dell'aratro	36
Figura 37: Schematizzazione del lavoro di aratura.	36
Figura 38: Rapporto tra profondità di aratura e larghezza della fetta.	37
Figura 39: Correlazione tra diverse forme di versoi	37
Figura 40: Strato compatto con residui colturali non decomposti	40
Figura 41: Esempificazione dell'andamento delle curve di coesione e di plasticità.....	38
Figura 42: Il lavoro di aratura non prepara il terreno per ricevere.....	42
Figura 43: Le attrezzature trainate.....	44
Figura 44: Lavorazione condotta a 33 cm profondità e velocità di 6,5 km/h	45
Figura 45: La parte dell'ancora che opera fuori terra è ricurva.	46
Figura 46: Esempio di coltivatore pesante	46
Figura 47: Alette pronunciate montate sul piede dell'ancora	47
Figura 48: Coltivatore con ancore sigmoidali	47
Figura 49: Le alette molto pronunciate.....	48
Figura 50: Coltivatore con ancore quasi dritte, disposte su tre ranghi.....	48
Figura 51: Posteriormente alle ancore sono sempre presenti degli organi disco	48
Figura 52: Erpice a dischi caratterizzato da un'elevata velocità di lavoro	49
Figura 53: Esempio di dischi lisci e dentati.	50
Figura 54: Erpice a dischi indipendenti o	50
Figura 55: Esempi di organi assolcatori	53
Figura 56: Particolare degli elementi di semina a disco.....	55
Figura 57: Rullo gommato per la ripartizione dei carichi sul terreno.....	55
Figura 58: La profondità di semina è determinata da un parallelogramma articolato.....	56
Figura 59: Esempio di combinata compatta.....	56

Figura 60: La combinata con erpice rotante.....	57
Figura 61: I dischi tagliando il residuo colturale evitano problemi di ingolfamento.....	57
Figura 62: Utensile a larga zampa d'oca che provvede a sollevare il terreno.....	57
Figura 63: Seminatrice.....	58
Figura 64: Esempio di elemento di semina.....	59
Figura 65: Singolo utensile spartitore anteposto al disco preparatore.....	60
Figura 66: Disco con ondulazioni molto pronunciate.....	61
Figura 67: Seminatrice di precisione.....	61
Figura 68: Seminatrice a righe con assolcatore a disco singolo.....	62
Figura 69: Esempi di elemento per la semina a righe.....	62
Figura 70: Seminatrice di precisione con assolcatore a doppio disco.....	63
Figura 71: Seminatrice a righe con assolcatore a doppio disco.....	64
Figura 72: Chiudisolco.....	64
Figura 73: Chiudi solco a doppia ruota dentata.....	64
Figura 74: Attacco a tre punti sensibilizzato.....	78
Figura 75: Postazione fotografica (sinistra) e griglia a maglie (destra).....	80
Figura 76: Elaborazione foto.....	80
Figura 77: Campionatura con cilindri.....	81
Figura 78: Penetrometro standard.....	81
Figura 79: Profilometro.....	82
Figura 80: Valutazione visiva della distribuzione nello strato lavorato.....	83
Figura 81: Esempi di valutazione visiva della distribuzione dei residui colturali.....	84
Figura 82: Punteggio Visivo Zollosità.....	90
Figura 83: Punteggio Visivo Porosità.....	91
Figura 84: Punteggio Visivo Colore.....	92
Figura 85: Punteggio Visivo Zone di riduzione.....	93
Figura 86: Punteggio Visivo Lombrichi.....	94
Figura 87: Approfondimento radicale potenziale.....	94
Figura 88: Ristagno superficiale.....	96
Figura 89: Formazione di crosta e copertura del suolo.....	97
Figura 90: Erosione.....	99

ELENCO DEI GRAFICI

Grafico 1: Fabbisogno energetico [kW] - Primo passaggio.....	105
Grafico 2: Fabbisogno energetico [kW] - Secondo passaggio.....	105
Grafico 3: Consumo di carburante [l/ha] - Primo passaggio.....	107
Grafico 4: Consumo di carburante [l/ha] - Secondo passaggio.....	107
Grafico 5: Densità apparente [g/cm ³].....	109
Grafico 6: Resistenza alla penetrazione [N/cm ²].....	110
Grafico 7: Precipitazioni necessarie [mm] per la distruzione degli aggregati in funzione del loro diametro.....	113

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Effetto dell'interramento degli stocchi di mais e della concimazione azotata	13
Tabella 2: Comparazione fra diversi sistemi di lavorazione.	40
Tabella 3: Comparazione fra diversi sistemi di lavorazione.	41
Tabella 4: Ipotesi base per la stima dei costi in tecniche di Agricoltura Conservativa.....	69
Tabella 5: Nord-Ovest: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di mais in pianura	70
Tabella 6: Nord-Est: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di mais in pianura	70
Tabella 7: Riduzione dei costi per l'adozione di tecniche di Agricoltura Conservativa nel mais.....	71
Tabella 8: Nord-Ovest: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero in pianura (Pisante, 2007)	71
Tabella 9: Nord-Ovest: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero in collina (Pisante, 2007)	71
Tabella 10: Nord-Est: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero in pianura (Pisante, 2007)	72
Tabella 11: Centro, Collina: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero (Pisante, 2007)	72
Tabella 12: Riduzione dei costi per l'adozione di tecniche di Agricoltura Conservativa nel grano tenero	73
Tabella 13: Centro, Collina: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero	73
Tabella 14: Centro, Collina: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero	73
Tabella 15: Riduzione dei costi per l'adozione di tecniche di Agricoltura Conservativa nel grano duro	74
Tabella 16: Parametri valutati e metodi applicati	101
Tabella 17: Velocità [km/h], Capacità [ha/h] e Profondità di lavoro - primo passaggio.....	104
Tabella 18: Velocità [km/h] e Capacità [ha/h] di lavoro - secondo passaggio.....	104
Tabella 19: Consumo di energia per alcune operazioni in agricoltura (Leake, 2000).....	106
Tabella 20: Consumo di carburante per alcune operazioni di lavorazione del terreno (Mumme e Hörner, 2006)	108
Tabella 21: Tipi di rulli e le loro caratteristiche (Talarico, 2005).....	110
Tabella 22: Velocità [km/h] e profondità di lavoro [cm], Affinamento del terreno (Classi percentuali) - lavorazione superficiale	111
Tabella 23: Velocità [km/h] e profondità di lavoro [cm], Affinamento del terreno (Classi percentuali) - lavorazione profonda	112
Tabella 24: Interramento dei residui colturali - secondo passaggio.....	113

Abstract

Conservation tillage (CT) is practised on 95 million ha world-wide, predominantly in North and South America but its uptake is also increasing in South Africa, Australia and other semi-arid areas of the world. It is primarily used as a means to protect soils from erosion and compaction, to conserve moisture and reduce production costs. In Europe, the area cultivated using minimum tillage is increasing primarily in an effort to reduce production costs, but also as a way of preventing soil erosion and retain soil moisture. A large proportion of Europe's cultivated land is also prone to soil degradation but farmers and governments are being slow to recognise and address the problem, despite the widespread environmental problems that can occur when soils become degraded. Conservation tillage can improve soil structure and stability thereby facilitating better drainage and water holding capacity that reduces the extremes of water logging and drought. These improvements to soil structure also reduce the risk of runoff and pollution of surface waters with sediment, pesticides and nutrients. Reducing the intensity of soil cultivation lowers energy consumption and the emission of carbon dioxide, while carbon sequestration is raised though the increase in soil organic matter. Under conservation tillage, a richer soil biota develops that can improve nutrient recycling and this may also help combat crop pests and diseases.

Keywords: Soil; Conservation Tillage, Non – Inversion Tillage Systems, Run-Off, Erosion, Soil Compaction.

La lavorazione conservativa (CT) viene adottata su scala mondiale su 95 milioni di ettari, principalmente nelle Americhe ma l'utilizzo sta aumentando in Sudafrica, in Australia ed in altre zone semiaride del mondo. Viene utilizzato soprattutto come mezzo per proteggere i terreni da erosione e dal compattamento, per conservare il contenuto idrico e ridurre i costi di produzione. In Europa, l'area coltivata utilizzando la lavorazione conservativa sta aumentando soprattutto per ridurre i costi di produzione, ma anche per impedire l'erosione del terreno. Gran parte della terra coltivata in Europa è incline alla degradazione del terreno ma gli agricoltori ed i governi sono lenti a riconoscere e contrastare il problema, nonostante i gravi problemi ambientali e sociali che accompagnano il degrado del terreno. La lavorazione conservativa migliora la struttura e la stabilità del terreno, facilita l'assorbimento e la ritenzione idrica riducendo così i fenomeni di siccità. Questi miglioramenti della struttura del suolo inoltre riducono il rischio di ruscellamento superficiale e l'inquinamento delle falde con sedimenti, agrofarmaci e sostanze nutrienti. La riduzione dell'intensità di lavorazione del terreno abbassa il consumo di energia e l'emissione dell'anidride carbonica, mentre il sequestro del carbonio risulta elevato dovuto all'aumento nella sostanza organica nel suolo. Sotto lavorazione conservativa si osserva una fauna terrestre più ricca che può migliorare il riciclo delle sostanze nutrienti.

Parole chiave: Suolo; Lavorazioni conservative; non-inversione degli strati; Ruscellamento superficiale; Erosione; Compattazione del terreno.

1. Introduzione

L'aratura per secoli è stata sinonimo di agricoltura (DICK e DURKALSKI, 1997) perché ha consentito la messa a coltura di estese superfici destinate ad altri usi (pascoli e boschi) e per lungo tempo ha favorito l'incremento delle produzioni unitarie per la contemporanea evoluzione delle tecnologie e delle pratiche agronomiche (Figura 1).



Figura 1: Aratura con aratro versatile polivomere.

L'Agricoltura Conservativa (Figura 2) rappresenta un sistema di produzione agricola sostenibile per la protezione dell'acqua e del suolo agrario che integra aspetti agronomici, ambientali ed economici diffuso a scala mondiale su una superficie di oltre 95 milioni di ettari (DERPSCH, 2005). Anche in Europa l'Agricoltura

Conservativa va progressivamente affermandosi con un incremento costante delle superfici fino all'attuale 15% dei terreni agricoli coltivati (JONES et al., 2006).

Figura 2: Semina diretta con sistema cross slot (Nuova Zelanda).

Fino al 2002 non esisteva una politica specifica di protezione del suolo a livello comunitario; con la decisione n. 1600/2002/CE è stato istituito il 6° Programma Comunitario d'Azione in materia di ambiente (2002-2010) che prevede, tra i suoi obiettivi, la tutela delle risorse naturali e l'incentivo ad un utilizzo



sostenibile del suolo al fine di arrestarne il degrado e invertire le tendenze in atto. Il suolo è tuttavia sottoposto a crescenti minacce da numerose attività umane che ne compromettono la disponibilità e la redditività a lungo termine. Quando più minacce si verificano contemporaneamente, il loro effetto tende ad essere amplificato e in assenza di interventi possono provocare il degrado del suolo, stadio in cui il suolo diventa incapace di assicurare le proprie funzioni. Si calcola che nell'UE 52 milioni di ettari di terreno (oltre il 16% della superficie totale), siano colpite da gravi forme di degrado. Quando si verifica in zone secche, il degrado del suolo prende il nome di desertificazione ed è il risultato di condizioni climatiche e attività umane. Le zone a rischio di desertificazione sono la Spagna centrale e meridionale, l'Italia centrale e meridionale, la Francia e il Portogallo meridionali e vaste zone della Grecia (PISANTE, 2007). Nella comunicazione "*Verso una strategia tematica per la protezione del suolo*" (COM (2002) 179), la Commissione ha messo in evidenza i processi di degrado più gravi. Per semplicità, di seguito sono indicate separatamente, mentre in realtà spesso sono correlate. (Figura 3)

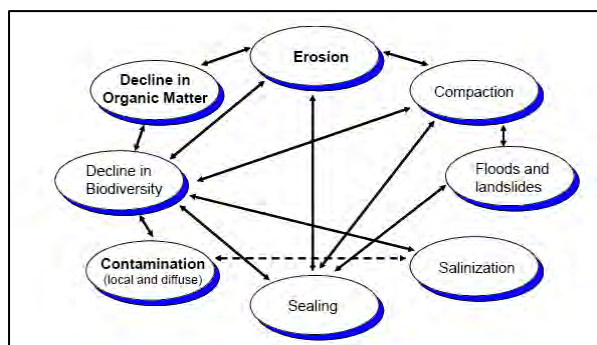


Figura 3: Le otto minacce per il suolo.

- **Erosione**

Secondo le stime dell'Agenzia europea dell'ambiente, 115 milioni di ettari, pari al 12% della superficie totale delle terre emerse europee, sono soggetti ad erosione idrica, mentre 42 milioni

di ettari sono colpiti dal fenomeno dell'erosione prodotta dal vento, di cui il 2% in maniera grave (Figura 4).

Figura 4: Superfici soggette ad erosione in Europa (KIRKBY et al, 2004).



- **Diminuzione della sostanza organica**

La sostanza organica contenuta nel suolo svolge un ruolo fondamentale nel ciclo del carbonio. Si calcola che circa il 45 % dei suoli europei presenta un contenuto scarso o molto scarso di sostanza organica (compreso fra lo 0 % e il 2 % di carbonio organico) e il 45 % un contenuto medio (2 – 6 %); questa situazione riguarda in particolare l'Europa meridionale, ma colpisce anche aree agricole della Francia, della Germania, del Regno Unito e della Svezia.

- **Compattazione**

Le stime sulle superfici a rischio di compattazione sono variabili. Secondo alcuni autori circa il 36 % dei sottosuoli europei è sensibile o molto sensibile a questo fenomeno; altre fonti classificano il 32 % dei suoli come altamente vulnerabili e il 18 % come moderatamente colpiti dal fenomeno.

- **Salinizzazione**

Si tratta dell'accumulo di sali solubili nel suolo, principalmente di sodio, magnesio e calcio, che colpisce circa 3,8 milioni di ettari in Europa. Le regioni più colpite sono la Campania e la Sicilia in Italia, la Valle dell'Ebro in Spagna, il Grande Alföld in Ungheria, ma anche zone della Grecia, del Portogallo, della Francia, della Slovacchia e dell'Austria.

- **Smottamenti**

Questi fenomeni avvengono con maggiore frequenza in zone che presentano suoli altamente erodibili, sottosuolo argilloso, forti pendenze, precipitazioni intense e abbondanti, abbandono delle terre, come le regioni alpine e del Mediterraneo.

- **Impermeabilizzazione**

Mediamente, la superficie di suolo coperta da materiale impermeabile è pari a circa il 9% della superficie totale degli Stati membri. Nel decennio 1990 - 2000 la superficie interessata da questo fenomeno nell'UE 15 è aumentata del 6% e la domanda di nuove infrastrutture di trasporto e di nuove costruzioni rese necessarie dalla maggiore proliferazione urbana è in continua crescita.

La sfida a cui sarà chiamata l'agricoltura nel prossimo futuro, sarà produrre i beni necessari nel massimo rispetto dell'ambiente. Questo obiettivo potrà essere raggiunto individuando un insieme di strumenti che permetta di conservare, migliorare e rendere più efficiente l'uso delle risorse naturali, combinando la gestione del suolo, l'acqua e la sostenibilità delle risorse naturali. Questi obiettivi rappresentano alcuni dei presupposti fondamentali per l'importanza che rivestono i processi di degrado del suolo e per i meccanismi di responsabilità ambientale che possono porre rimedio all'inquinamento locale, attraverso un adeguato trasferimento dei risultati della ricerca, volto a superare gli ostacoli operativi e metodologici, per indirizzare gli operatori agricoli e quindi le aziende verso le innovazioni tecnologiche (PISANTE, 2007). Partendo dal presupposto dell'agricoltura sostenibile, si può osservare che alcuni Paesi dell'Europa meridionale e mediterranea, in particolare Italia, Spagna e Portogallo, presentano come problema prioritario quello dell'erosione accelerata del suolo, che ne pregiudica drasticamente la fertilità. Principalmente l'erosione dovuta alle pratiche convenzionali, alla bruciatura dei residui colturali e soprattutto alla troppa spinta specializzazione aziendale, che non contempla il riciclo dei residui organici, comportando una progressiva perdita della fertilità agronomica dei suoli (PISANTE, 2002). In alcune aree del nostro Paese sono presenti sistemi colturali molto eterogenei e nonostante l'aggravarsi del problema dell'erosione del suolo è difficile convincere gli operatori e amministratori locali ad una maggiore attenzione dell'agricoltura al territorio attraverso idonee politiche per favorire adeguate azioni di protezione. L'Agricoltura convenzionale, contraddistinta da lavorazioni intensive, arature profonde con inversione degli strati (per consentire la monosuccessione di alcuni sistemi colturali sostenuti da sussidi comunitari) bruciatura dei residui colturali, compattamento del suolo, riduzione della sostanza organica (ARSHAD et al., 1990), contribuisce notevolmente ai processi di erosione del suolo. A seguito dell'introduzione di sistemi conservativi del suolo rispetto all'impiego di un aratro a versoio, il no-till può ridurre l'erosione fino al 90% ed il ridge-till fino al 70%. Si stima che complessivamente negli USA l'utilizzo di tecniche conservative preservi mediamente più di un miliardo di tonnellate di suolo coltivato all'anno; l'erosione del suolo causata dal ruscellamento è diminuita dal 1982 al 1997 del 30%, e quella dovuta all'azione del vento, nello stesso periodo, è diminuita del 31% (SBELTON et al., 2000).

A questo punto si presenta un modello molto semplice, basato su due principi fondamentali:

- **La permanente copertura del suolo da residui colturali per almeno il 30% della superficie;**
- **La minima o la non-lavorazione del suolo;**

L'integrazione di questi fondamentali principi favorisce condizioni ottimali per la funzionalità e lo sviluppo radicale, un maggiore approfondimento ed un regolare approvvigionamento di acqua e di nutrienti. (GEBHART et al., 1994, KAY & VAN DEN BYGAART, 2002; TEBRÜGGE, 2001; UNGER et al.). Inoltre, la gestione dei residui colturali in superficie riduce l'evaporazione dalla superficie del terreno e il gradiente della velocità del vento e l'attività suolo-interfaccia atmosferica. Il mantenimento della sostanza organica nelle regioni semiaride è uno dei maggiori problemi nello sviluppo di agroecosistemi sostenibili (STEWART e ROBINSON, 1997). I principi fondamentali, applicabili mediante le molteplici scelte tecniche disponibili per l'adozione dell'agricoltura conservativa, confermano che non esiste una tipologia applicativa unica ma differenziata per ogni ambiente, per ogni sistema colturale, escludendo pratiche estreme. Purtroppo la diffusione delle tecniche conservative, seppur semplificate, stenta ad affermarsi perché in alcuni casi non vengono rispettati i principi fondamentali.

1.1. Considerazioni sulla certificazione e sulle prove volontarie

Il settore della meccanizzazione agricola è interessato negli ultimi anni da un complesso insieme di cambiamenti di natura politica, tecnica, normativa e sociale contraddistinti da un forte grado di interdipendenza reciproca. A livello europeo, il mercato di riferimento è caratterizzato dalla crescente domanda, proveniente dal comparto agricolo, di sostituzione e di aggiornamento tecnologico delle macchine, fattore determinante per il mantenimento di livelli di efficienza produttiva adeguati, e dalla conseguente necessità di intervenire sul versante dell'offerta attraverso l'immissione sul mercato di modelli caratterizzati da elevate specificità produttive e funzioni d'uso sempre nuove. Tale spinta verso la specializzazione e la diversificazione sembra inoltre destinata ad accrescersi in virtù delle ricadute che deriveranno dalla progressiva implementazione della riforma della Politica Agricola Comunitaria (PAC), fortemente improntata al perseguimento del duplice obiettivo del contenimento dei costi di produzione e dell'innalzamento della quota di valore aggiunto a discapito della massimizzazione dei livelli produttivi. Recependo le richieste del mondo agricolo, il settore agro-meccanico, ha pertanto avviato un processo di profondo rinnovamento indirizzandosi verso una produzione ispirata ai principi dell'innovazione e della differenziazione qualitativa dei propri prodotti, al fine di soddisfare il crescente bisogno di tecnologie sempre più perfezionate che coniughino efficienza, sicurezza e sostenibilità ambientale. In tale contesto, il comparto può contare oggi su un radicato riconoscimento dell'importanza della costruzione di un sistema di regolamentazione e standardizzazione dei requisiti tecnici delle macchine. Si tratta però di un sistema ancora solo parzialmente strutturato ed oggetto di un'azione continua di armonizzazione della normativa vigente al livello nazionale, europeo ed

internazionale. La definizione di regole certe è, infatti, uno degli elementi fondamentali per il superamento delle barriere che si frappongono alla commercializzazione dei prodotti su mercati sempre più ampi. D'altra parte, la possibilità di poter fare riferimento a norme chiaramente definite consente ai produttori di operare consapevolmente la scelta dei mercati sui quali effettuare il proprio posizionamento, tanto in termini di tipologia di prodotto quanto di localizzazione geografica ed ampiezza del mercato stesso. A fronte di un quadro così complesso, è evidente come le risposte al cambiamento vadano cercate su piani diversi: a livello politico, ad esempio, attraverso la promozione di politiche per l'ulteriore regolamentazione del settore, lo sviluppo di accordi e dispositivi per il riconoscimento delle certificazioni delle macchine; a livello delle imprese, accrescendo l'impegno nelle attività di Ricerca e Sviluppo e il dialogo continuo con i diversi soggetti esterni capaci di supportare il processo di adeguamento organizzativo, tecnologico e produttivo (Università, Centri di competenze, Centri per il Trasferimento dell'Innovazione, ecc.). Le complesse interazioni tra leggi, norme e certificazioni e le loro ricadute sul commercio internazionale, sono oggetto di un crescente dibattito, alimentato dall'elevato numero di imprese, grandi e piccole, che nelle varie parti del mondo ricercano strategie per aumentare le loro quote di mercato. Per sostenere questo sforzo e favorire sviluppo e competitività, è necessario innanzitutto che venga intensificato il processo di armonizzazione del contesto tecnico-giuridico a livello internazionale, in modo da ridurre gradualmente gli ostacoli allo scambio ed eliminare forme ingiustificate di protezionismo. Allo scopo occorre una cooperazione attiva di tutte le parti interessate, in particolare dai governi nazionali, incentrata in primo luogo sull'esame dei programmi attuali e degli indirizzi futuri dei lavori normativi a livello internazionale e regionale. La normativa tecnica, infatti, con i suoi legami con la legislazione e la certificazione, non è solo lo strumento principe per facilitare il dialogo tra le parti e rendere equipollenti le produzioni ma anche il veicolo più efficace e pervasivo per attuare il trasferimento tecnologico e, in ultima analisi, promuovere competitività delle imprese. La leva dell'armonizzazione normativa per realizzare un contesto tecnico omogeneo e liberalizzare i mercati è stata azionata con successo in Europa con il Nuovo Approccio in materia di prove e certificazioni, che ha definitivamente sancito lo spostamento della responsabilità della verifica dei requisiti delle produzioni della sfera pubblica a quella privata.

Le prove volontarie e la “certificazione” come strumento di marketing

Le verifiche sulle macchine, basate sulle vigenti disposizioni normative nazionali e internazionali (ISO, EN, ecc.), vengono effettuate presso centri prova specializzati. I risultati di dette verifiche vengono pubblicati e divulgati in appositi rapporti di prova contenenti tutte le informazioni sulle macchine agricole provate. Si ricorda che queste verifiche (sia di sicurezza sia di prestazioni) non hanno alcun valore “legale”. Il costruttore non viene esonerato dalla sua responsabilità che deriva dalla marcatura CE.

Marchio di certificazione

Durante la certificazione la macchina è sottoposta a specifiche prove e se queste vengono superate dispone di un marchio riconosciuto. Negli ultimi anni sono entrate in vigore numerose nuove disposizioni normative coinvolgenti le prestazioni e la sicurezza delle macchine agricole. Tali disposizioni consentono di immettere sul mercato solo macchine agricole che soddisfino tutte le normative di sicurezza in vigore al momento. In tale contesto i vantaggi della certificazione volontaria sono:

- garanzia e tutela per il costruttore in quanto sono ufficialmente accertati tutti i requisiti normativi e si ha la certezza di immettere sul mercato macchine agricole a norma;
- maggiore qualificazione del prodotto le cui buone caratteristiche costruttive e funzionali sono accertate;
- garanzia di fornire un prodotto dotato di tutte le informazioni necessarie per il suo corretto utilizzo;
- garanzia e tutela di acquistare un prodotto a norma sia per l'uso in proprio sia per l'affidamento a personale dipendente;
- poter scegliere un mezzo meccanico idoneo alle proprie esigenze aziendali consultando e confrontando i risultati del rilievo delle prestazioni.

La storia dell'ENTAM

ENTAM è la rete dei centri prova appartenenti ai paesi europei che hanno siglato un Accordo per lo svolgimento di attività comuni con lo scopo finale di effettuare e riconoscere le prove di prestazioni, sicurezza e protezione ambientale di macchine ed attrezzature agricole. Su richiesta del costruttore le prove sono effettuate da centri prova specializzati basandosi su norme nazionali, europee ed internazionali o accordi comuni (o metodologie) al fine di offrire al costruttore uno strumento per migliorare i mezzi prodotti. I risultati delle prove possono essere stampati su rapporti di prova che sono pubblicati dalle strutture aderenti all'ENTAM per un reale superamento delle barriere esistenti (TALARICO, 2005a, 2005b; TALARICO e LIMONGELLI, 2005a, 2005b, 2005c; TALARICO e LIBERATORI, 2005). L'ENTAM nacque nel 1997 a seguito di un accordo al quale aderirono l'ENAMA (Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola), il DLG tedesco (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) e il BLT Austriaco (Bundesanstalt für Landtechnik). Negli anni successivi le attività vengono notevolmente sviluppate con importanti benefici per l'industria e gli operatori dei tre Paesi aderenti. Contemporaneamente altre importanti strutture hanno chiesto di aderire all'ENTAM e di partecipare alle sue attività. Attualmente sono 19 gli enti europei e non che aderiscono all'accordo per una sempre maggiore diffusione del marchio ENTAM. L'accordo ENTAM stipulato prevede il confronto delle metodologie di prova per la certificazione delle macchine agricole; ciò significa che in caso di riconoscimento, da richiedere con apposita procedura, le macchine certificate da un Socio possono disporre anche dei marchi dei membri ENTAM. Grazie all'accordo sarà possibile effettuare in un Paese le prove funzionali delle macchine agricole e richiedere il riconoscimento degli altri Paesi e il

conseguente accesso ai rispettivi mercati con un marchio già conosciuto con evidenti risvolti positivi in termini di immagine e qualificazione tecnica per l'intera industria nazionale. Tale aspetto è molto importante anche per l'utenza nazionale in quanto è certa di poter disporre di un mezzo meccanico rispondente agli stessi requisiti di quelli a disposizione degli agricoltori degli altri paesi europei. L'internazionalizzazione è lo scopo principale degli istituti coinvolti nel progetto ENTAM. Per raggiungere questo, la creazione e lo sviluppo di reti europee ed internazionali sono strumenti importanti, sia per la divulgazione tecnico-scientifica sia per l'abbattimento delle frontiere nazionali, che talvolta sono ancora caratterizzate da un forte protezionismo. L'Internazionalizzazione delle prove sulle macchine agricole sono un buon esempio di una rete europea, dove il trasferimento di "know-how" e lo scambio libero di opinioni e risultati delle attività svolte, assume un valore reale e pratico per tutti gli operatori del settore. I vantaggi per gli utilizzatori ed i costruttori delle macchine agricole sono ovvi: l'agricoltore ha accesso a una vasta gamma di rapporti di prova e può scegliere l'attrezzatura che più si addice alle sue esigenze, potendo anche accedere a prodotti al di fuori del mercato nazionale. I costruttori ottengono invece una prova internazionale e possono rafforzare le loro posizioni di mercato nei paesi esteri.

1.2. Scopo della tesi

Lo scopo del presente lavoro è quello di riassumere gli aspetti della lavorazione conservativa, analizzando le varie soluzioni proposte dall'industria della meccanizzazione agricola. Particolare interesse è stato rivolto verso la difesa dai fenomeni erosivi. Inoltre, per poter valutare le prestazioni delle macchine per la lavorazione del terreno è stato sviluppato un protocollo di prova in collaborazione con ENTAM (European Network for Testing Agricultural Machinery), ENAMA (Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola) e DLG e.V. (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft – Società Tedesca per l'Agricoltura) basato sulle normative europee in vigore. Questo protocollo di prova è la base per il riconoscimento delle certificazioni delle prestazioni in ambito europeo stabilito dal regolamento ENTAM. Per poter valutare lo stato di salute di un suolo, viene inoltre riportato il sistema del VISUAL SOIL ASSESSMENT (SHEPERD et al. 2006), che si basa sulla valutazione visiva di indicatori chiave della qualità del suolo da inserire nelle valutazioni delle prestazioni delle macchine agricole.

2. Il suolo

2.1. Caratteristiche del terreno, fertilità e produttività

Con il termine terreno si intende lo strato superficiale della crosta terrestre capace di ospitare la vita delle piante, costituito da sostanze minerali ed organiche, sede di attività biologica oltre che di processi chimici e fisici che ne determinano un'evoluzione più o meno continua. (FRANZ, 1949). In relazione alla vita delle piante superiori, si possono attribuire al terreno due funzioni fondamentali, cioè le funzioni di abitabilità e di nutrizione. Dal modo con cui dette funzioni si esplicano sulle piante in varia misura dipende la fertilità del terreno, che gli deriva dal possedere un insieme di caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche. Le principali **caratteristiche fisiche** sono rappresentate dalla granulometria, dalla struttura, dalla profondità e dall'umidità, da cui dipendono altri aspetti. Fra le **caratteristiche chimiche e chimico-fisiche** ricordiamo la composizione, il potere assorbente, il pH e il potenziale di ossidoriduzione. Le **caratteristiche biologiche** dipendono dal numero e dal tipo di macro e microrganismi presenti nel terreno. (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1976). La fertilità del suolo è fortemente influenzata dagli interventi antropici di coltivazione che, direttamente o indirettamente, modificano gran parte delle suddette caratteristiche. Molto importanti sono anche l'origine litologica e il modo in cui il suolo si è formato. I terreni derivati da rocce eruttive acide sono generalmente sabbiosi, poveri di calcio, di magnesio e di fosforo assimilabile. Meno sciolti e, soprattutto più ricchi di elementi nutritivi, sono i terreni derivati da magmi dioritici e dalle andesiti. La povertà di calcio, ma non la spiccata scioltezza del substrato, torna invece a riscontrarsi nei suoli che si sono formati dall'alterazione delle sieniti. Un'elevata dotazione di elementi minerali unitamente ad una spiccata argillosità, si osserva invece nei substrati derivati da basalti (GIARDINI, 1992). Inoltre, i terreni possono essere distinti in autoctoni e alloctoni. I primi si sono formati direttamente sul posto, mentre i secondi (terreni di trasporto) sono caratterizzati dall'intervento di agenti naturali che hanno allontanato le particelle dalla sede di formazione e le hanno depositate in altro luogo. Questi ultimi, secondo l'agente che ha operato il trasporto, prendono nomi diversi: alluvionali (acqua di fiume o simili), litorali (maree, moto ondoso), glaciali o diluviali o morenici (ghiacciai), eolici (vento), colluviali (gravità). I substrati autoctoni presentano, infatti, proprietà che derivano loro da un solo tipo di roccia; nei terreni alloctoni invece si riscontra più spesso un'origine mista che risulta più favorevole all'ottenimento di un'elevata fertilità. È su di essi, e soprattutto su quelli alluvionali, che prospera maggiormente l'attività agricola. (GIARDINI, 1992)

2.2. La granulometria

Con il termine granulometria si indica la costituzione della parte solida del terreno espressa come percentuale in peso delle particelle elementari che lo compongono, classificate per categorie convenzionali di diverso diametro.

Nello scheletro del terreno si comprendono sia le pietre (\varnothing superiore a 20 mm) che la ghiaia (\varnothing compreso fra 2 e 20 mm). La terra fina comprende invece tutte le particelle il cui diametro è inferiore a 2 mm. Secondo la Società Internazionale di Scienza del Suolo (ISSS), nell'ambito della terra fina si distinguono le seguenti frazioni: sabbia grossa (\varnothing compreso fra 2 e 0,2 mm), sabbia fine (\varnothing compreso fra 0,2 e 0,02 mm), limo (\varnothing compreso fra 0,02 e 0,002 mm) e argilla (\varnothing inferiore a 0,002 mm). Il Soil Conservation Service americano (USDA), seguito ormai da un larghissimo numero di istituti e laboratori, suggerisce invece di indicare come sabbia la frazione di terra fina con $\varnothing > 0,05$ mm, come limo quella con \varnothing compreso fra 0,05 mm e 0,002 mm, e come argilla le particelle più piccole. Le particelle costituenti il terreno differiscono, oltre che per le dimensioni, anche per la forma e per la massa volumica (massa per unità di volume). Il loro comportamento nei riguardi dell'acqua e degli elementi nutritivi dipende molto dalla somma delle superfici di ogni singola particella. Un parametro che definisce questa caratteristica è la superficie specifica che è data dal rapporto tra superficie complessiva delle particelle e la loro massa complessiva. (CAVAZZA, 1981). La composizione granulometrica del terreno è una proprietà fisica imm modificabile con i normali interventi di coltivazione. La tecnica agronomica prende atto della granulometria del suolo e adotta gli accorgimenti più idonei per tale ambiente pedologico. Nella Figura 5 si riporta un diagramma triangolare che permette l'individuazione di 15 classi di tessitura.

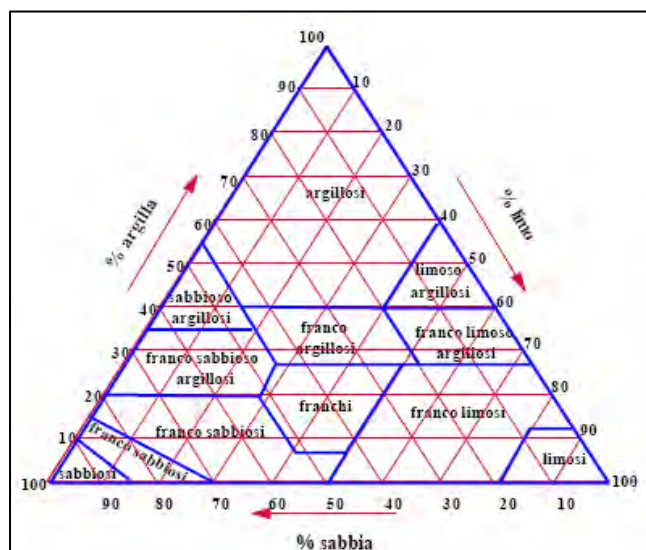


Figura 5: Classificazione dei terreni in base alla granulometria, secondo il metodo del Soil Survey americano modificato: A = argilloso, L = limoso, S = sabbioso, M grana media, MA = medio argilloso

a) Terreni sabbiosi

La sabbia del terreno è costituita da piccoli frammenti di roccia, da singoli minerali di difficile alterazione, da calcari cristallini, ecc. Rispetto alle frazioni più fini della tessitura, la

sabbia possiede una minore superficie esposta e partecipa solo debolmente alle attività chimiche del terreno. I terreni molto sabbiosi (classi S e SM) hanno una superficie massica di circa 1 - 20 m²/g, possiedono un'elevata macroporosità, scolano facilmente, sono molto soffici ed arieggiati per cui mineralizzano rapidamente la sostanza organica, sono dotati di debole capacità idrica di trattenuta e poveri di elementi nutritivi. Le particelle di sabbia sono incoerenti e, anche se bagnate, non aderiscono

agli attrezzi da lavoro. Per quanto concerne la vocazione agricola dei terreni sabbiosi, si deve ricordare che essi possono essere lavorati in ogni momento, anche se bagnati, e con il minimo sforzo. Si prestano ad un'agricoltura dinamica con rapide successioni colturali come avviene nelle aziende orticole.

b) Terreni limosi

Il limo è formato principalmente da quarzo e da silicati di basi diverse che derivano dall'alterazione chimica della roccia madre. Mentre le particelle più grandi di limo possiedono caratteristiche molto simili alla sabbia, quelle a diametro più piccolo assumono proprietà più vicine a quelle dell'argilla e possono cedere elementi nutritivi. Il limo non possiede la tendenza a riunirsi in aggregati di particelle per cui i terreni limosi si presentano quasi sempre mal strutturati. La superficie massica è di 100 - 150 m²/g. Essi sono generalmente poveri di elementi nutritivi, di non facile coltivazione, formano crosta superficiale e, se lavorati non in tempera, danno zolle durissime, compatte, di difficile rottura. Allo stato umido sono plastici, ma presentano scarsa aderenza agli attrezzi da lavoro. Il ristagno superficiale è frequente e l'irrigazione non facile a causa della modesta permeabilità. La loro produttività è discreta, soprattutto se l'attività agricola è condotta in modo appropriato. Particolare cura deve essere rivolta verso il mantenimento di un sufficiente stato di aggregazione delle particelle.

d) Terreni argillosi

Le dimensioni estremamente piccole delle particelle argillose e la proprietà di liberare ioni (H^+ o OH^-) evidenziando cariche elettriche negative o positive, conferiscono a questo materiale caratteristiche differenziali molto nette nei confronti del limo e della sabbia. L'argilla è considerata un tipico colloide micellare, capace di circondarsi di un alone di molecole di acqua, di rimanere sospeso nel mezzo liquido fino a che non ne vengano neutralizzate le cariche elettriche e, al contrario, di flocculare allorché tali cariche siano neutralizzate da cationi e da colloidi di segno diverso. Si definiscono argillosi o pesanti quei terreni che contengono più del 40% di argilla. Essi presentano una superficie massica di 150 - 250 m²/g.

Le loro caratteristiche fondamentali sono le seguenti: sufficiente od alta dotazione di elementi nutritivi, elevata resistenza alla penetrazione degli attrezzi da lavoro, forte coesione fra le particelle allo stato secco e notevole plasticità allo stato umido, possibilità di trattenere grandi quantitativi di acqua ma a tensione alta, necessitano di una buona struttura altrimenti diventano asfittici, impermeabili e poco adatti alla vita delle piante. Risultano di difficile coltivazione soprattutto perché le lavorazioni devono essere eseguite in momenti ben determinati; se ben trattati, tuttavia, sono capaci di fornire alte produzioni. In Italia i terreni argillosi sono molto diffusi; molto importanti sono, i terreni derivati da rocce argillose e argille marnose, che sono presenti in Umbria, in Basilicata, in Calabria ed in Sicilia. Tali formazioni sono oggetto di imponenti fenomeni erosivi (calanchi) ed hanno originato a valle terreni alloctoni anche molto fertili. (Figura 6)

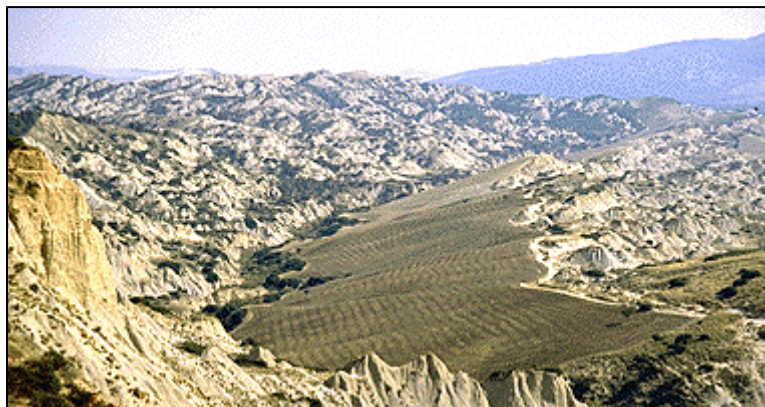


Figura 6: Calanchi in Basilicata (MT)

Figura 7: Colline di Crotona (KR)



2.3. La struttura

2.3.1. Generalità e tipi di struttura

Ad un'analisi grossolana il terreno appare costituito da un insieme di particelle, di varia natura e dimensioni, che possono essere rappresentate dai semplici componenti della tessitura oppure da aggregati degli stessi. La localizzazione spaziale di queste particelle elementari, il modo con cui esse sono associate e l'intensità dei legami determinano la struttura. Possiamo ipotizzare i costituenti della grana tutti di dimensioni uguali e di forma perfettamente sferica. Essi possono assumere varie disposizioni i cui estremi sono rappresentati nella figura 8 e prendono rispettivamente il nome di assetto cubico (A) e assetto piramidale (B): nel primo caso il volume dei vuoti è pari al 47,64% di quello occupato dal suolo, nel secondo caso esso è invece pari al 25,95%. Le particelle elementari però sono di dimensioni variabili, per cui le più piccole possono andare a riempire i vuoti rimasti fra le più grosse portando ad una riduzione anche elevata del volume degli stessi.

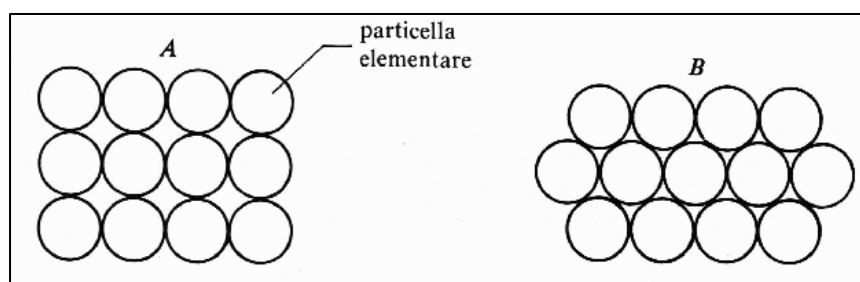


Figura 8: Assetto cubico (A) e assetto piramidale (B) (Schematizzato), Giardini, 1992

La schematizzazione serve a dimostrare l'importanza

della disposizione delle particelle, della formazione degli aggregati e del loro assestamento. Lo stato di aggregazione non è sempre facilmente distinguibile nel terreno; ad esempio, non lo è nelle sabbie grossolane o nelle argille molto disperse, ma è spesso molto netto nei terreni di media composizione granulometrica ricchi di sostanza organica (figura 9).

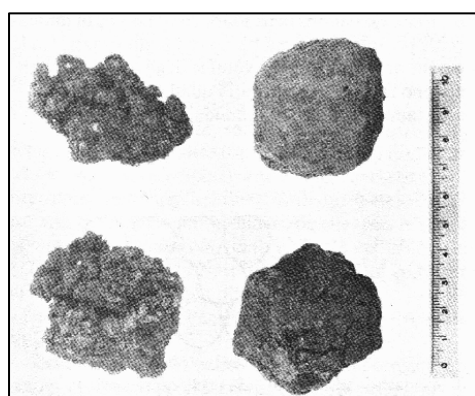


Figura 9: A sinistra zollette di terreno con buona struttura glomerulare; a destra due zollette caratterizzate da prevalente microporosità. Giardini, 1992

La struttura di un terreno è in grado di influenzare direttamente sia la fertilità del suolo che la tecnica agronomica. Sotto l'aspetto fisico si deve rilevare che dal tipo di struttura dipendono i rapporti fra parte solida, parte liquida e parte gassosa del terreno. Ne risultano, di conseguenza, influenzate l'umidità e il suo potenziale, la

tenacità, la temperatura e l'aereazione. Per i substrati a tessitura mediamente fine, fine o finissima la formazione di aggregati strutturali riveste la massima importanza in quanto sono questi che permettono la creazione di un ambiente dove esiste un equilibrato rapporto fra macro e micropori, dove la circolazione e l'immagazzinamento di acqua e di aria possono avvenire con relativa facilità, dove le radici possono espandersi liberamente, dove gli attrezzi da lavoro incontrano una resistenza

relativamente modesta. I meccanismi che portano alla formazione di aggregati strutturali nel terreno sono di varia natura e dipendono da un insieme di fattori quali la proporzione fra le diverse frazioni granulometriche, la natura chimica delle particelle elementari, l'attività biologica, gli interventi antropici e climatici. Le dimensioni degli aggregati del terreno sono molto importanti perché dall'incidenza percentuale delle diverse frazioni di varie dimensioni dipende, in gran parte, la loro attitudine ad assumere un assestamento più o meno compatto in loco. Per una buona strutturalità interessa particolarmente la presenza nel terreno di aggregati con \varnothing di 5 - 1 mm e di microaggregati. Se le dimensioni sopra i 5 mm sono da considerarsi eccessive ai fini dell'abitabilità, è da tener presente che zolle e zollette originano abbastanza facilmente aggregati più piccoli; quindi una loro discreta presenza nel terreno al momento della semina può essere utile al fine di garantire il persistere di un accettabile stato strutturale per tutto il ciclo della coltura. Per stabilità della struttura si intende l'attitudine degli aggregati a resistere alle sollecitazioni che tendono a disfarli. Questa caratteristica del terreno è di grande interesse pratico in quanto si distingue la stabilità all'azione degli agenti meccanici e la stabilità all'azione dell'acqua. La prima dipende, oltre che dai tipi di cementi che uniscono le particelle, dalla granulometria e dall'umidità. I terreni argillosi molto secchi (stato coesivo) presentano la massima resistenza alla rottura delle zolle. Si tratta di un aspetto della stabilità che interessa soprattutto le lavorazioni del terreno e le conseguenze del calpestamento operato dal passaggio delle macchine agricole. La stabilità all'azione dell'acqua dipende dalla quantità e qualità della sostanza organica che cementa gli aggregati, dei colloidali minerali e dei cationi di scambio presenti. Fra i fattori che influenzano positivamente lo stato di aggregazione va evidenziata innanzitutto la sostanza organica che esplica un'azione diversa secondo il suo stato di evoluzione. Ne consegue che ogni apporto di sostanza organica al terreno è in grado di migliorarne la struttura, anche se il risultato dipende dalla velocità di degradazione della stessa e dal rapporto fra mineralizzazione e umificazione. Questo rapporto è molto influenzato dalla presenza di azoto. L'interramento dei residui colturali è uno strumento valido nelle mani degli agricoltori. Nella tabella 1 si mostrano alcuni risultati ottenuti con l'interramento degli stocchi di mais a diversi livelli di concimazione azotata.

Materiale interrato	Dose di N [kg/ha]		
	0	120	240
Stoppie e radici	26,6	27,1	25,4
Stoppie e radici + stocchi	34,7	30,6	30,6

Tabella 1: Effetto dell'interramento degli stocchi di mais e della concimazione azotata sull'indice di stabilità degli aggregati strutturali in terreno medio-limoso. GIARDINI, 1992

Le lavorazioni del terreno sono degli interventi di grande interesse in quanto influenzano fortemente la struttura attraverso un complesso di effetti negativi e positivi. L'azione negativa si esplica sullo stato di aggregazione pre-esistente con tre meccanismi prevalenti:

- ossidazione della sostanza organica;
- polverizzazione diretta degli aggregati per effetto meccanico;
- distruzione degli aggregati in condizioni di eccessiva umidità.

Gli effetti positivi delle lavorazioni sono legati alla creazione diretta di una zollosità più o meno accentuata che sarà perfezionata dall'intervento degli agenti atmosferici. Ne risulta quindi che le lavorazioni favoriscono la formazione di aggregati che, anche se non sono molto stabili, conferiscono al suolo una porosità confacente alla vita della pianta. Bisogna poi considerare il ruolo sostenuto dalla fauna terricola. Fra questa si ricordano soprattutto i lombrichi la cui importanza agronomica è stata rivalutata negli ultimi tempi. Essi rifuggono terreni troppo acidi e poveri di calcio, soffrono il secco ed il ristagno, si avvantaggiano di una buona umidità del suolo e di un discreto tenore di materia organica ben dotata di N. L'azione dei lombrichi, come quella della fauna in generale, si esplica sia sulla porosità del terreno che sulla stabilità degli aggregati.

2.3.2. Porosità

Per porosità si intende la frazione dell'unità di volume di terreno non occupato da materiale solido. Essa dunque è occupata dall'aria e dall'acqua per cui esprimendo i valori in % o frazione del volume del terreno:

porosità totale = umidità + spazio occupato dall'aria

È in questi spazi che si propagano le radici, che vivono i microrganismi, che avvengono i movimenti liquidi e gassosi indispensabili per la vita delle piante.

Il valore della porosità dipende dalla presenza di aggregati strutturali, dalla loro forma e dimensione e dal loro assestamento.

porosità totale = microporosità + macroporosità.

I macropori sono maggiormente interessati all'aereazione del suolo ed alla circolazione rapida dell'acqua, mentre la microporosità conferisce al terreno la capacità di trattenere la riserva idrica; essa, infatti, si identifica con la capacità idrica di trattenuta.

La porosità del terreno (P_o) si può esprimere nel modo seguente:

$$P_o(\%) = \frac{V_a - V_r}{V_a} \cdot 100$$

V_a = volume apparente del terreno; V_r = volume reale del terreno o volume della sola parte solida

2.3.3. Il compattamento del terreno

La tendenza a coltivare superfici sempre più elevate e la crescente importanza del contoterzismo aumenta anche la richiesta per macchinari sempre più grandi ed efficienti per quanto riguarda le esigenze di trazione e di potenza in generale; richieste soddisfatte dall'industria della meccanizzazione agricola. Di conseguenza è aumentato anche il peso di trattori, delle macchine per la raccolta e di trasporto, arrivando a carichi di 4 t per ruota per trattori che superano i 150 kW e addirittura a 12 t per ruota per macchine per la raccolta semoventi. Il rischio che implica un tale aumento dei pesi specifici consiste in un maggiore carico sul terreno, determinando così delle compattazioni anche nel sottosuolo.

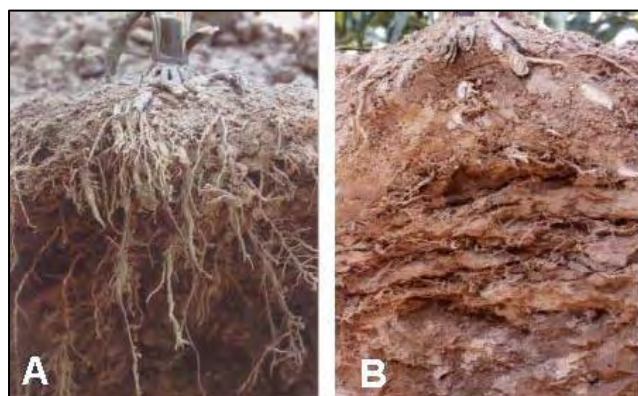
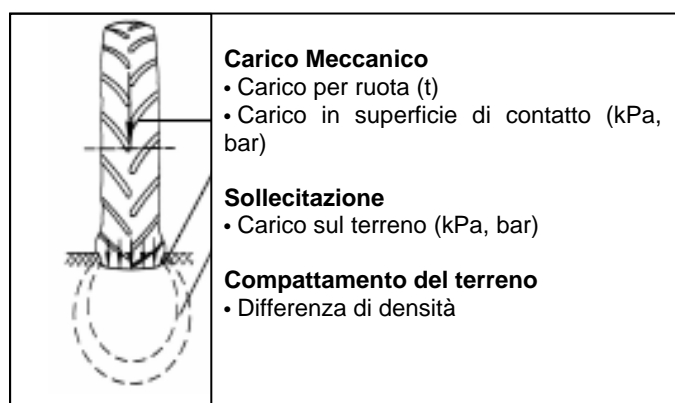


Figura 10: (A) un normale strato coltivato; (B) un orizzonte compattato.

Per analizzare il problema è doveroso distinguere il carico meccanico, la sollecitazione e il compattamento del terreno (Figura 11).

Figura 11: Carico meccanico, sollecitazione e compattamento del terreno, SOMMER, 1985 (modificato)



Il carico meccanico viene indicato con il carico/ruota [t] o con il carico in superficie di contatto [kPa]; (100 kPa = 1 bar). Le conseguenze di un carico su un terreno

durante il traffico del mezzo agricolo vengono tradotte in tensioni meccaniche – la sollecitazione. Se la sollecitazione supera la capacità di assorbimento del terreno, ne consegue una diminuzione della porosità (numero e volume dei pori) dovuta al collasso delle pareti (HORN, 1981). La compattazione si produce quando le particelle del suolo sono compresse e si riducono lo spazio e la continuità dei pori. La conseguenza è un aumento della densità apparente del suolo, in quanto in un'unità di volume si dispongono più particelle. Questo comporta delle modifiche drastiche della porosità e della funzionalità del terreno (o dello strato compatto) stesso. Il terreno è sempre soggetto ad azioni che ne favoriscono il compattamento, come quelle prodotte dalla sua stessa massa, dalla massa vegetale che lo sovrasta, dall'acqua, dal passaggio di animali e mezzi meccanici, ma in condizioni naturali o di semi-naturalità questo fenomeno viene contrastato dagli organismi che vivono al suo interno e da una certa elasticità dovuta al contenuto di sostanza organica. Più ci si allontana da condizioni naturali,

maggiori sono le probabilità che il terreno incrementi la sua massa volumica apparente, manifestando i sintomi della compattazione (GIARDINI, 1992). La struttura si presenta debole, a forma di lamina (laminare), con rischio di perdita di qualsiasi disposizione spaziale delle particelle del suolo: nel qual caso non è osservabile alcun aggregato (struttura massiva) (RÜTEMANN, 1996). Siccome il terreno non è un materiale coerente, la pressione applicata su una determinata superficie si fa sentire anche lateralmente interessando un volume complessivo che dipende dall'entità della pressione stessa e dalle caratteristiche del suolo. In generale i terreni più soffici sono quelli più facilmente compattabili. I sintomi sono facilmente riconoscibili: ristagni d'acqua nei terreni agricoli, che indicano la mancata o insufficiente infiltrazione idrica nel sottosuolo. (CHAMEN et al., 2001)



Figura 12: Ristagni d'acqua nelle zone di compattazione, (TEBRÜGGE, 1987)

Il compattamento del terreno è una tematica complessa; dall'analisi bibliografica emergono soprattutto i lavori di SÖHNE (1953), GILL & VANDENBERG (1967), BARNES et al. (1971), KTBL

(1986), KORDA (1987), PETELKAU et al. (1988) LARSON et al. (1989), BERICHTE ÜBER LANDWIRTSCHAFT (1991), SOANE & VAN OUWERKERK (1994), DÜRR et al. (1994), DÜRR et al. (1995), HORN et al. (2000). Di seguito, quindi, vengono riportati solamente gli effetti delle lavorazioni conservative del terreno sulla struttura.

La compattazione costituisce un grave processo di degradazione che provoca, da una parte, una perdita della fertilità dei suoli dovuta all'impedimento dello scambio dell'aria e l'aerazione e, dall'altra l'aumento dell'erosione idrica, in quanto l'acqua non è in grado di infiltrarsi nel suolo. La perdita della stabilità della struttura si traduce in una diminuzione della capacità di immagazzinamento idrico dei terreni: ciò determina che l'acqua satura il suolo più facilmente provocando un notevole aumento del ruscellamento superficiale; conseguentemente anche il rischio di erosione idrica aumenta. (BLUME, 1990; HAKANSSON, 1994; KORDA, 1987). La compattazione riduce lo spazio a disposizione delle radici limitando in tal modo l'assorbimento di acqua e di elementi nutritivi da parte delle piante, determinando così una diminuzione delle rese produttive (PETELKAU, 1984; KÜNKELE, 1996). Inoltre, la compattazione costituisce un problema particolarmente sentito a causa delle numerose operazioni colturali che le piante richiedono e della loro particolare sensibilità. Alcune specie (es. barbabietola da zucchero) sono molto sensibili alla compattazione del terreno; in assenza di un giusto grado di porosità o in presenza di strati compatti manifestano subito problemi di asfissia radicale e/o di malformazione (Figura 13) (BREITFUSS, 1954; LARINK et al., 1995).



Figura 13: Malformazioni della barbabietola dovute a strati compatti

La resistenza alla deformazione è tanto più forte quanto più il terreno è secco e ciò contribuisce a spiegare i notevoli danni provocati dal calpestamento su terreno bagnato. Questi danni sono meno sentiti in suoli ricchi di sostanza organica (deformazione elastica e grumi più resistenti) e assumono caratteristiche più negative in suoli argillosi soprattutto se gli sforzi non sono applicati perpendicolarmente alla superficie,

situazione standard nell'aratura (GIARDINI, 1992). Le lavorazioni conservative o la semina diretta possono attenuare le problematiche legate al fenomeno della compattazione. (Figura 14)

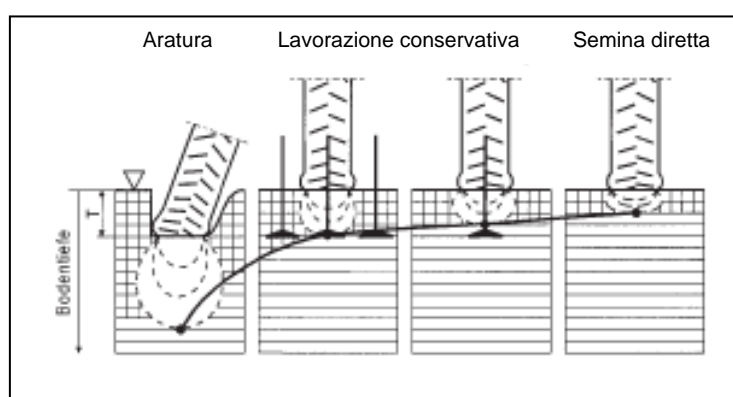


Figura 14: Effetti della lavorazione del terreno sulla compattazione

Agli apparati radicali delle piante coltivate e delle infestanti va riconosciuta un'azione, prevalentemente meccanica, che genera un sollevamento del terreno e contribuisce direttamente a creare una maggiore porosità al suo interno.

La loro successiva decomposizione porta, invece, alla formazione dei biopori che, nei terreni non lavorati, diventano, insieme a quelli lasciati dai lombrichi, la via principale per la circolazione dell'acqua e dell'aria. (GIARDINI, 1992). Infatti, soprattutto l'attività della macrofauna tellurica, ed in particolare i lombrichi che in questo contesto giocano un ruolo fondamentale, lasciano all'interno del terreno una serie di canalicoli, detti biopori, che contribuiscono a moderare e a contrastare i fenomeni di compattazione. Anche in questo caso la riduzione delle lavorazioni influenza direttamente il numero di lombrichi presenti nel terreno (Figura 15) (TEBRÜGGE, 1999).

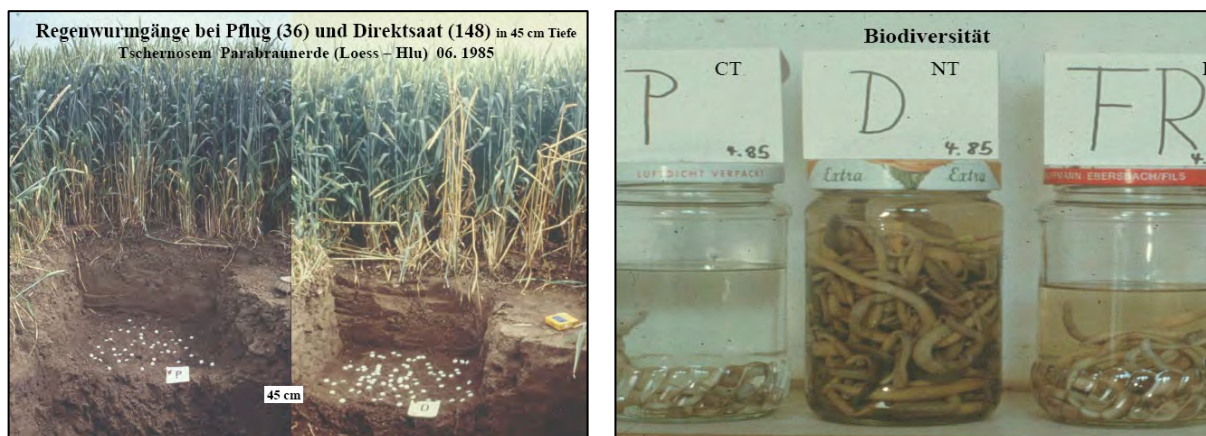


Figura 15: Numero di lombrichi in funzione dell'intensità di lavorazione (P = Aratura; D = Semina diretta; FR = Minima Lavorazione)

L'eccessivo numero di lavorazioni che determinano la distruzione degli aggregati strutturali può essere limitato adottando le tecniche della lavorazione conservativa, riducendo al minimo indispensabile le lavorazioni e quindi aumentando la capacità di assorbimento del carico. Il terreno agricolo non lavorato tende verso condizioni di maggior naturalità che gli consentono di contrastare la compattazione a patto che il calpestamento prodotto dalle macchine impiegate nella coltivazione non superi la capacità di ripristino intrinseca di quello specifico ambiente pedologico. Quando un suolo è stato sottoposto ad uno sforzo di compressione maggiore della sua capacità portante, la riduzione del volume e l'aumento del peso specifico sono le conseguenze più evidenti dell'alterazione della struttura che comporta effetti negativi su quasi tutti i processi fisici, chimici e biologici del suolo. La capacità del terreno di resistere alle sollecitazioni verticali senza deformarsi o compattarsi, dipende dal suo contenuto in acqua, dalla tessitura, dalla sua struttura e dalla stabilità dei suoi aggregati strutturali che è generalmente maggiore al crescere del contenuto in sostanza organica.



Semina diretta (ormai 3 cm dopo quattro passaggi) Aratura (ormai 16 cm dopo quattro passaggi)

Figura 16: Capacità di resistenza del terreno in funzione delle lavorazioni (TEBRÜGGE,1999)

2.3.3.1. La suola di aratura

Il compattamento legato alla coltivazione intensiva del terreno non è solo rappresentato dal compattamento superficiale dovuto al passaggio di macchine agricole, ma può verificarsi anche lungo il profilo colturale. Le colture che richiedono lavorazioni del terreno profonde e continue, soprattutto quando condotte in regime di monosuccessione, determinano la formazione di uno strato compatto e impermeabile al limite inferiore della coltivazione: la cosiddetta suola di aratura.

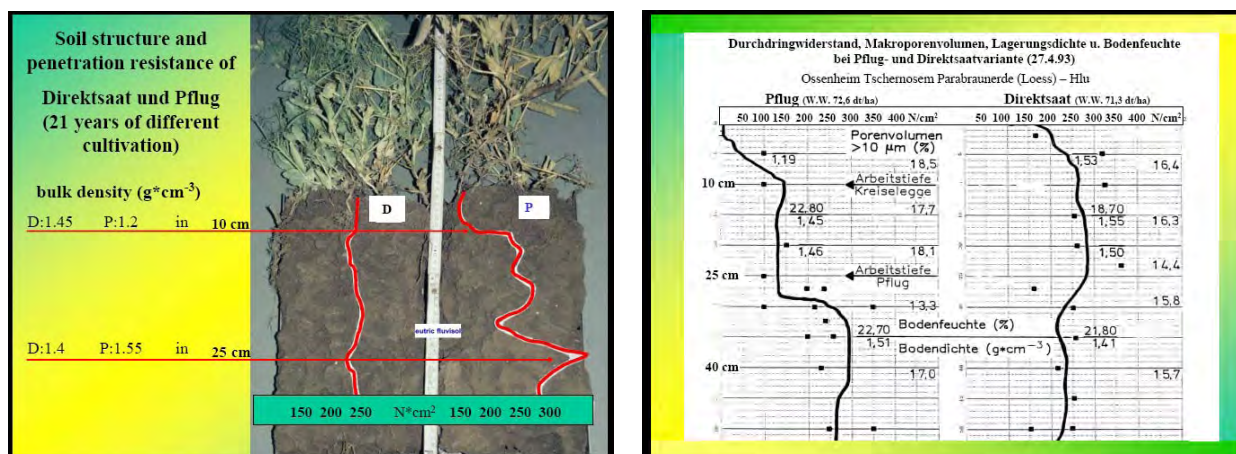


Figura 17: Misure penetrometriche (suola di aratura a 25 cm),TEBRÜGGE, 1999

Tale discontinuità altera il drenaggio e può generare ristagni idrici i quali, oltre a creare problemi di asfissia, contribuiscono alla dispersione delle particelle di terreno e quindi alla degradazione della struttura. Il maggiore ristagno idrico o le sommersioni dei suoli delle pianure alluvionali in casi di piogge intense e concentrate sono il risultato della presenza di questo strato compatto.

Riduzione del compattamento

La riduzione del compattamento costituisce un'azione preventiva perseguita mediante una riduzione del carico specifico al suolo prodotto dal veicolo e ottenuta operando in campo con motrici o macchine semoventi dotate di ruote gemellate (Figura 18 o, meglio, di pneumatici larghi e a bassa pressione (Figura 19) o, ancora, di cingoli in gomma (Figura 20).



Figura 18: La gemellatura delle ruote



Figura 19: Pneumatici a bassa pressione (pressione di esercizio inferiore ad un bar).

Figura 20: Cingoli in gomma per i trattori di elevata potenza.



L'incremento della superficie di contatto comporta una ripartizione del carico statico e di quello dinamico generato dalla macchina su di una maggiore superficie (Figura 21)

		Pneumatici standard	Pneumatici gemellati	Trelleborg TWIN	Pneumatici a bassa pressione
		18.4-R - 38	18.4-R - 38	650 160 - 38	66x43.00 - 25
Caric	[t]	2,6	2 x 1,3	2,6	2,6
Pressione	[bar]	1,2	0,8	0,8	0,4
Superficie di contatto	[m ²]	0,15	0,31	0,30	0,83
Carico sulla superficie di contatto	[bar]	1,73	0,84	0,87	0,51

Figura 21: Ripartizione del carico in funzione dell'incremento della superficie di contatto

La minima pressione d'impiego è quella al di sotto della quale si verifica lo slittamento tra il cerchio e il tallone del pneumatico.

- a pressioni troppo basse si ha una deformazione dei fianchi e della carcassa non compatibile con la struttura del pneumatico;
- a pressioni troppo elevate si riduce l'aderenza ed aumenta il compattamento del suolo perché diminuisce la superficie d'appoggio e l'elasticità del sistema.

La pressione deve essere regolabile in funzione delle operazioni svolte (lavori in campo: 0,3 – 0,6 bar; trasporti su strada, 1,0 – 2,0 bar). Sistemi di regolazione automatica possono aiutare l'operatore nell'adattamento della pressione dei pneumatici (Figura 22)



Figura 22: Sistema per la regolazione della pressione

2.3.4. Attrezzi per la decompattazione

Non sempre è possibile preservare la permeabilità del terreno, soprattutto nelle aree di manovra, condizionando l'ingresso delle macchine sul campo allo stato del terreno e adeguando il sistema di propulsione in modo da ridurre il carico sul suolo. Di conseguenza vengono utilizzate delle attrezzature specifiche in modo da ridurre il fenomeno.

Ripuntatori

Queste attrezzature sono costituite da una, due, tre o al massimo cinque ancore dritte, o leggermente inclinate in avanti al solo scopo di migliorare la penetrazione (Figura 23).



Figura 23: Ancora di un ripuntatore

Le ancore sono disposte in linea su di un'unica traversa dritta o a "V", soluzione quest'ultima adottata per le attrezzature con un maggior numero di utensili perché capace di migliorare l'aderenza del trattore e ridurre l'assorbimento di potenza.

L'utensile produce un'azione di fessurazione del profilo

verticale ed una di dirompimento del suolo in macrozolle che comportano un sollevamento del terreno, anche cospicuo. Questa azione favorisce l'infiltrazione dell'acqua, riduce i ristagni, permette l'accumulo di riserve idriche, asseconda gli scambi gassosi con l'atmosfera e consente la risalita capillare dell'acqua di falda. La presenza sul piede dell'ancora delle alette amplifica l'azione di sollevamento, rottura e disgregazione del terreno. L'elevata velocità (> 3km/h) favorisce invece l'azione di rottura con la formazione di macrozolle all'interno del terreno che, appunto, garantiscono il recupero della porosità e, quindi, gli scambi idrici e gassosi. La ripuntatura costituisce un intervento

straordinario, eseguito con lo scopo di ripristinare quelle caratteristiche agronomiche che sono venute a mancare nel tempo e può essere realizzata limitatamente alle aree più interessate dal compattamento. La ripuntatura è anche l'operazione più efficace per garantire, nella fase di transizione fra una lavorazione convenzionale ed una conservativa, l'eliminazione della suola di lavorazione prodotta dall'aratro.

Decompattatori

I decompattatori sono attrezzature concepite e utilizzate per rompere gli strati compattati formati sia a causa delle lavorazioni e del traffico sull'appezzamento e sia per le caratteristiche strutturali di certi tipi di terreno. Si differenziano dai ripuntatori per la capacità di sollevare il terreno in modo quasi uniforme grazie alla loro conformazione che determina, oltre ad un taglio verticale, anche uno orizzontale profondo. Questa particolare azione è dovuta alle caratteristiche dell'ancora che, in questo caso, presenta nella sua parte centrale una curvatura laterale (osservabile guardando l'attrezzo frontalmente) rivolta verso destra o verso sinistra, uno spessore ridotto ed un'ampia larghezza, che la rende più simile ad un versoio con profilo cilindrico piuttosto che ad un'ancora vera e propria (Figura 24).



Figura 24: Particolare di una coppia di ancora alla francese

L'ancora ricurva lateralmente può presentare lunghezza variabile da 80 a 90 cm e nella parte finale è munita di un puntale che svolge la funzione di aumentare la penetrazione nel terreno. Su questa tipologia di attrezzature, le ancore ricurve sono montate su due traverse parallele fra loro e perpendicolari all'avanzamento in modo tale che l'ancora posteriore sia in linea con l'anteriore. Questa categoria di utensili ha il pregio di minimizzare l'alterazione del profilo superficiale del terreno e, per questo, viene privilegiata da chi attua tecniche di minima lavorazione o di non lavorazione. Infatti, in determinate condizioni, l'uso di questa attrezzatura consente di evitare i successivi interventi di pareggiamento e affinamento altrimenti necessari per uniformare il letto di semina. Oltre ad arieggiare in profondità il terreno aumentandone la porosità, il decompattatore contribuisce a livellare il terreno eliminando le ormaie più profonde. Il ripuntatore e il decompattatore possono essere definite attrezzature di soccorso perché consentono di ripristinare la fertilità del terreno, solo quando è ritenuto utile, ma non è necessario che rientrino nell'ordinaria programmazione delle lavorazioni. Ciò determina un utilizzo sporadico che può incidere negativamente sull'uso annuo dell'attrezzatura, parametro da cui dipende la possibilità di effettuare un equilibrato ammortamento. Il loro basso costo di acquisto, però, rappresenta un incentivo ulteriore affinché le imprese di meccanizzazione, se non direttamente le aziende agricole, si dotino di una di queste due attrezzature.

2.4. Erosione del suolo

L'erosione del suolo è un processo naturale, al quale sono soggette le terre emerse, causato dall'azione meccanica dell'acqua o del vento che asporta materiale solido dalla superficie terrestre e lo trasporta a valle della pendice erosa o a distanze maggiori. In condizioni di naturale equilibrio, cioè quando il processo di alterazione del substrato pedogenetico procede con lo stesso ritmo della degradazione superficiale, l'erosione è normale; deviazione da tale equilibrio possono portare ad un ispessimento dello strato terroso oppure ad una sua eccessiva riduzione, che può giungere al punto della totale perdita dello strato attivo di terreno, con conseguente scomparsa della vegetazione (LANDI, 1984) e causare, così, l'erosione accelerata (Figura 25)



Figura 25: Calanco soggetto a processi di erosione accelerata

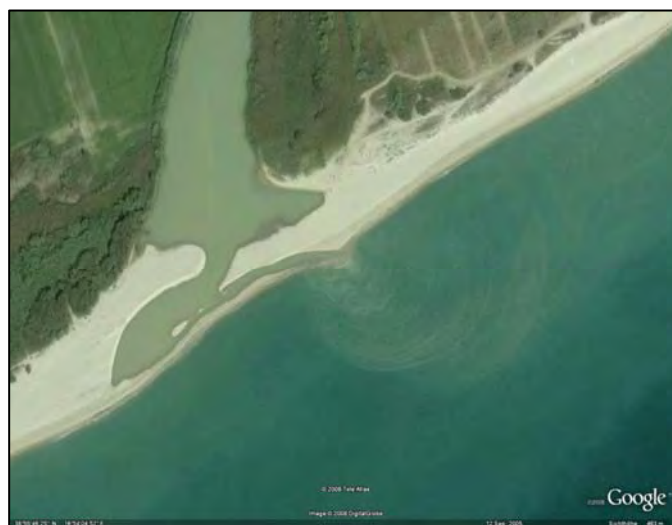
Tale erosione può essere favorita dall'intervento dell'uomo per utilizzazione del suolo non corretta, o da cause naturali di ordine fisico (siccità prolungate, escursioni termiche, azione meccanica di acqua o vento); di ordine chimico

(solubilizzazione dei minerali e della sostanza organica); di ordine biologico (azione interna ed esterna dei microrganismi). È stato calcolato che, per pendenze lievi, le perdite di suolo oscillano, in media, attorno ad 1 Mg/ha per anno (SMITH e STAMEY, 1965). L'utilizzazione del suolo, in particolare quella praticata in modo irrazionale, accelera i processi erosivi ed, in certi casi, anche in modo irreparabile. Ad esempio ad Adair nello Iowa, prima dell'insediamento agricolo, l'erosione ha asportato circa 1,9 Mg/ha di suolo per anno e ben 19 Mg/ha per anno dopo l'insediamento (RUHE, 1969). Considerato che l'uomo utilizza circa il 34% dei 134 milioni di km² di terre emerse e circa l'11,1% di queste in modo intensivo, ne consegue la vastità del fenomeno (FOURNIER, 1966). Infatti, la perdita di suolo fertile delle terre emerse è stata valutata, come media annua, di circa 178 Mg/km², mentre quella dell'Asia meridionale attorno ai 300 Mg/km² ed in particolare quella del sistema Indo-Himalayano di circa 3.000 Mg/km² (SMITH e STAMEY, 1965). A conferma dei dati sopra riportati va considerato che annualmente ben 3,5 - 3,6 miliardi di megagrammi di terreno vengono asportati dai campi, dai pascoli e dalle foreste degli Stati Uniti e di questi circa 2,7 - 2,8 miliardi di megagrammi dalle terre coltivate (TROEH et al., 1980; HEADY e DAINES, 1982; ELFRIN, 1983). In Italia il fenomeno erosivo non sembra essere meno intenso se si considera che in alcuni bacini imbriferi, i valori raggiungono punte elevate di 165 Mg/ha per anno nel pliocene marino del bacino del Tacina in Calabria (Figura 26) (RAGLIONE et al., 1980).



Figura 26: Letto e foce del fiume Tacina presso Botricello (CZ)

Nelle formazioni argillose, note per la loro erodibilità, la perdita di terreno per anno risulta compresa tra valori molto variabili di 3.600 – 6.400 m³ per km², a seconda del tipo di formazione. Particolarmente erodibili sono i suoli giacenti su substrati cristallini e metamorfici, come su rocce vulcaniche molto acide e rocce carbonatiche compatte, essendo la loro alterazione troppo lenta per compensare rapide asportazioni di materiale terroso dalla superficie (ARU, 1991). I danni dell'erosione sono notevoli in quanto con l'eliminazione parziale o totale degli orizzonti superficiali, generalmente più ricchi di elementi nutritivi e di microrganismi utili, si perde una notevole quantità di materiale fertile. Nel caso dei suoli superficiali formati su rocce poco degradabili i danni dell'erosione sono maggiori e possono assumere carattere irreversibile con la totale perdita dello strato attivo. Si hanno, inoltre, casi in cui gli orizzonti inferiori presentano elevate concentrazioni tossiche (SHERTZ, 1983; SHERTZ, 1989), accumulo di calcare o di elevate quantità di sabbia, per cui i danni dell'erosione sono simili a quelli prodotti nei suoli superficiali (THORNE e PETERSON, 1950). Da un campo di mais seminato su terreno lavorato con aratro si possono perdere circa 7,8 kg/ha per anno di azoto e 0,16 kg/ha di anidride fosforica, mentre da un campo lavorato al minimo tali perdite si riducono a 3,8 kg/ha di N e a 0,15 kg/ha di P₂O₅ (DORAN et al., 1981). La perdita dello strato arabile è quindi il maggior danno che l'erosione può causare. Con tecniche di simulazione è stato osservato anche che pendenze del 12-14% riducono la resa di una coltura del 14-15% in un arco di tempo di 50 - 100 anni (PIERCE, et al., 1983). L'agricoltura ad ogni modo non può opporsi ad un processo naturale, ma può intervenire per limitarlo. Conservare il suolo, infatti, vuoi dire contenere il processo erosivo entro limiti accettabili che rientrano tra quelli frequenti come effetto di scostamenti degli ottimi agronomici (CAVAZZA, 1991).



Criteria per ridurre o limitare i fenomeni erosivi:

- favorire l'aumento della permeabilità del suolo e di conseguenza la sua capacità di assorbimento dell'acqua, in modo da impedire o ridurre al minimo il ruscellamento;
- dare al suolo una copertura vegetale capace di ridurre la velocità del vento o dell'acqua, in caso di ruscellamento, in modo da ostacolare al massimo il trasporto;

Al fine di prevenire il distacco (causa predisponente) delle particelle terrose che successivamente vengono trasportate dall'agente fisico specifico (acqua o vento) è necessario migliorare lo stato strutturale del suolo, per aumentarne la sua capacità di invaso. Per i terreni argillosi che occupano ben due milioni di ettari del nostro Paese, il distacco delle particelle è dovuto alla reazione elastica dell'aria confinata nei pori del terreno, per effetto dell'azione premente indotta dall'acqua in fase di penetrazione nel terreno stesso, specialmente quando è secco. (GROSSI, 1970).

Se trattasi di terreni sciolti del tipo sabbiosi o limosi e quindi già in condizioni di essere trasportati sia dall'acqua e sia dal vento, è opportuno migliorare la struttura attraverso la costituzione di aggregati stabili. Per raggiungere questo scopo l'unico rimedio è costituito dall'apporto di sostanza organica direttamente o indirettamente. Per quanto riguarda il trasporto delle particelle terrose per azione dell'acqua o del vento è necessario adeguare gli interventi tecnici in modo da limitare tale fenomeno. Più in particolare il trasporto dovuto all'acqua si verifica quando la capacità di assorbimento del terreno è inferiore all'afflusso idrico. Il fenomeno prende il nome di ruscellamento e può aver luogo sia in zone più o meno pianeggianti, dove si ha erosione per trasporto in sospensione, o in terreni declivi, dove si verifica l'asportazione vera e propria. (HAUSMANN, 1970; TALAMUCCI, 1984, WISCHMEIER, 1959; 1975; WISCHMEIER e SMITH, 1958; 1978; SANTORO, 1974; ZANCHI, 1976, 1981; MANNERING, 1969).

La crescente esigenza di ottenere la massima produzione in tempi sempre più brevi, trascurando la corretta gestione delle risorse naturali, sta causando una diminuzione della fertilità del suolo. Pertanto è necessario che la risorsa suolo, non facilmente rinnovabile, venga amministrata con cura e cautela unitamente alla risorsa idrica. In merito a quest'ultima va precisato che una inadeguata gestione dell'acqua e dei sistemi d'irrigazione non solo allontana la possibilità di raggiungere la massima potenzialità di sviluppo, ma provoca anche una limitazione alla coltivazione di quelle aree produttive, rendendole acquitrinose e quindi soggette ad un peggioramento della struttura dei suoli. Il risultato finale è la degradazione fisica, chimica e biologica del suolo con la conseguenza che, in alcuni casi, può favorire i processi di desertificazione.

2.4.1. Erosione idrica

La valorizzazione agricola dei terreni in pendio hanno reso attuali vari problemi di difesa del suolo in relazione all'apporto meteorico. In particolare la difesa dall'erosione idrica è inquadrata in una nuova coscienza della salvaguardia ambientale che porta ad intervenire sui bacini per contenere il danno direttamente apportato al territorio. Particolare interesse assumono, pertanto, i fenomeni erosivi del suolo ed il fenomeno di trasporto del materiale eroso. Uno degli aspetti della lotta contro la degradazione dei versanti concerne la valutazione dell'erosione del suolo a causa delle piogge, per stabilire il livello di rischio di dissesto a cui è soggetta una data unità territoriale e per definire conseguentemente le misure antierosive eventualmente necessarie. In termini di produttività aziendale sono valutabili i molteplici danni provocati dall'erosione idrica: perdita di suolo, allontanamento dei principi nutritivi per le piante, modifica della tessitura del suolo, deterioramento della struttura, ridotta capacità produttiva, frazionamento degli appezzamenti.

Agenti attivi nei confronti dell'erosione

L'acqua, principale agente attivo dei fenomeni erosivi, agisce essenzialmente secondo due modalità: l'azione battente delle gocce e l'azione connessa col moto dell'acqua. In entrambi i casi è la forza di gravità che fornisce l'energia necessaria a distaccare, dilavare e trasportare le particelle di suolo. In più l'acqua agisce come lubrificante non appena le particelle, per effetto della forza di gravità, muovono verso il basso. (SPILHAUS, 1958; LAWS e PARSONS, 1943; BEST, 1950; BRANDT, 1989; ZANCHI e TORRI, 1980; LAWS e PARSONS, WISCHEMEIER e SMITH, 1958; BRANDT, 1990; MORGAN et al., 1990; ZANCHI e TORRI, 1980; KINNELL, 1981; ROSEWELL, 1983, 1986).

- Vegetazione ed energia della goccia

Non tutte le gocce di pioggia colpiscono il suolo con velocità pari a quella terminale, cosicché non sempre liberano il massimo di energia che posseggono. Parte della pioggia, infatti, intercettata e trattenuta dalla vegetazione, non raggiungerà mai il suolo o, se lo dovesse raggiungere, arriverebbe sul suolo con velocità ed energia, ridotte.

- Lavoro compiuto dalle gocce

Le gocce di pioggia liberano energia quando colpiscono la superficie del suolo. Questa energia compie tre tipi di lavoro, tutti responsabili del processo erosivo. Il primo lavoro consiste nella rottura degli aggregati più piccoli e delle zolle in aggregati più piccoli e singole particelle. Il secondo lavoro consiste nello spostamento dei piccoli aggregati e delle singole particelle per effetto dell'impatto della goccia sul suolo. Il terzo lavoro è spesso nella compattazione della superficie del suolo.

- Deflusso superficiale

Una volta raggiunto il suolo, l'acqua di pioggia tenderà ad infiltrarsi con modalità dipendenti dall'intensità della pioggia e dalle caratteristiche idrauliche del terreno, che, nella pratica, vengono ricondotte ad una legge caratteristica della velocità di infiltrazione nel tempo. Nel processo giocano un ruolo determinante le condizioni di umidità lungo il suo profilo, all'inizio dell'evento e la situazione morfologica dell'area considerata. Quando una pioggia prolungata satura lo strato superficiale di terreno o l'intensità della pioggia supera la velocità di infiltrazione, ha inizio il deflusso superficiale.

La fase iniziale del ruscellamento (overland flow) avviene per rivoli anastomizzati e ramificati delle più varie dimensioni. Successivamente la concentrazione delle fluenze in vie preferenziali dà luogo a rivoli indipendenti e quindi a fossi e canali naturali dove si attua un deflusso confinato in un cavo ben definito (channel flow).

Il punto di inizio della formazione dei rivoli dall'estremità superiore della pendice, dipende dal superamento di una condizione idrodinamica limite, espressa da un valore critico funzione della granulometria del suolo interessato (SAVAT, 1979)

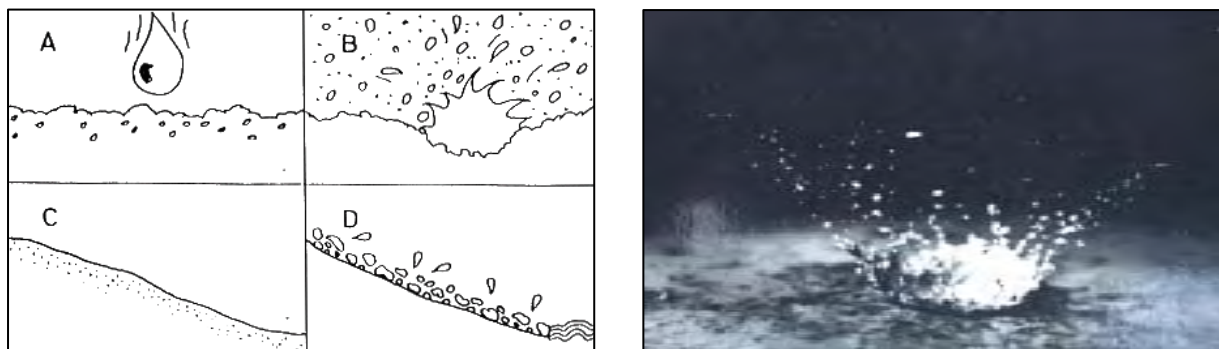


Figura 27: Le fasi del processo di erosione idrica : L'impatto delle gocce sul terreno spoglio (A) causa lo staccamento di particelle di suolo (B) che occludono i pori e formano una crosta superficiale (C). L'acqua di scorrimento trasporta le particelle, che vengono depositate quando la velocità di deflusso diminuisce (D) (DERPSCH et al., 1991)

2.4.1.1. I processi erosivi

I principali processi fisici dell'erosione avvengono in due fasi: dapprima il distacco delle particelle di suolo ad opera dell'impatto delle gocce di pioggia e del deflusso superficiale; successivamente il trasporto delle particelle in sospensione che verranno depositate come sedimento in un luogo diverso da quello d'origine. (PALMER, 1964; KINNELL, 1993)

a) Erosione laminare (Sheet erosion)



Figura 28: Erosione Laminare (Sheet erosion)

Il tipo di erosione laminare consiste nella rimozione di un sottile strato (sheet) di suolo per effetto dell'azione erosiva dell'acqua. L'impatto fornisce la maggior parte dell'energia occorrente per la rimozione delle particelle di suolo, mentre l'originarsi del deflusso superficiale attiva la fase iniziale del loro trasporto. La perdita di suolo

causata da questo tipo di erosione comincia ad essere evidente sulle parti convesse. (Figura 28)

b) Erosione per solchi (rill erosion)



Figura 29: Erosione incanalata (rill erosion)

Il tipo di erosione incanalata in solchi si evidenzia con la formazione di piccoli solchi (rill); essa si manifesta, in genere, in suoli di recente sottoposti a cultura, laddove il deflusso superficiale tende a concentrarsi in piccoli cavi; defluendo in essi l'acqua esercita l'azione erosiva sulle pareti e sul

fondo. In ogni caso il ruscellamento non causa erosione fin tanto che l'azione di trascinamento della corrente non supera la resistenza del suolo e fin tanto che la capacità di trasporto di sedimento della corrente non è più grande della carica potenziale di sedimento. (Figura 29).

c) Erosioni tra solchi (interrill erosion)



Figura 30: Erosioni tra solchi (interrill erosion)

Per erosione nelle aree comprese tra i solchi (interill) si intende evidentemente l'erosione idrica superficiale nelle aree comprese tra le dette incisioni. Tale forma di erosione superficiale è più uniforme e meno rilevante rispetto alle altre. Prevalgono i processi di rimozione e trasporto delle particelle di suolo distaccate ad opera dell'impatto della goccia. Lieve l'influenza della pendenza delle superfici comprese tra i solchi; queste ultime non sono soggette a scavo (in solchi) in quanto la corrente di ruscellamento non possiede sufficiente energia per rimuovere le particelle di suolo o anche perché il sedimento è stato rimosso ad opera dell'impatto delle gocce così rapidamente che è stata raggiunta la capacità di trasporto della corrente. (Figura 30)

d) Erosione per burroni (gully erosion)



Figura 31: Erosione per burroni (gully erosion)

L'erosione per burroni (gully) è una tipologia di erosione accelerata che si manifesta con la formazione di incisioni tanto grandi da non poter essere eliminate con normali lavorazioni; tali incisioni, la cui forma dipende dal tipo di materiale, sono dette: attive, finché l'erosione mantiene prive di vegetazione le pareti; inattive, quando queste sono ricoperte dalla vegetazione (Figura 31).

2.4.1.2. Pratiche antierosive e criteri di lotta contro l'erosione idrica

Le pratiche antierosive influenzano direttamente i processi di erosione e di sedimentazione in diverse modalità: assorbendo l'energia dovuta all'impatto delle gocce, assorbendo l'azione di rimozione delle particelle dovuta al ruscellamento, migliorando le caratteristiche strutturali del suolo e prevenendo il movimento di massa del suolo. Direttamente ciò può essere fatto, in primo luogo, attraverso il miglioramento strutturale del suolo, se trattasi di terreni incoerenti, quali sono quelli costituiti prevalentemente da particelle sabbiose o limo-sabbiose, e pertanto già in condizioni di essere trasportati, le pratiche agrotecniche devono tendere alla formazione di una struttura costituita da

aggregati stabili, di varie dimensioni, ma tali da poter essere in grado di resistere alle sollecitazioni dovute alle cause determinanti l'erosione. Il criterio generale è quello di dare al terreno una stabilità strutturale. Questa è conseguibile con mezzi diversi, ma che quasi sempre si integrano vicendevolmente. Per raggiungere questo scopo attualmente l'unico rimedio attuabile su larga scala è costituito dall'apporto di sostanza organica. Quest'ultima, infatti, conferisce ai terreni sciolti un primo assetto di stabilizzazione. L'apporto può essere diretto (letame o altri concimi organici) o indiretto, attraverso i residui delle colture. Dall'esame dell'influenza che vari parametri esercitano sull'erosione si possono dedurre i criteri da seguire per cercare di ridurre od eliminare l'erosione stessa (Figura 32):

- favorire l'aumento di permeabilità del suolo e di conseguenza l'infiltrazione dell'acqua in modo da impedire o ridurre al minimo il ruscellamento;
- dare al suolo una copertura capace di ridurre la velocità dell'acqua in caso di ruscellamento, in modo da ostacolare al massimo il trasporto;
- intercettare e regimare le acque a mezzo di organi di raccolta e smaltimento, superficiali e profondi (fosse, solchi, fogne, dreni), al fine di ridurre od eliminare le concentrazioni idriche specialmente per i terreni dominati da bacini a monte.

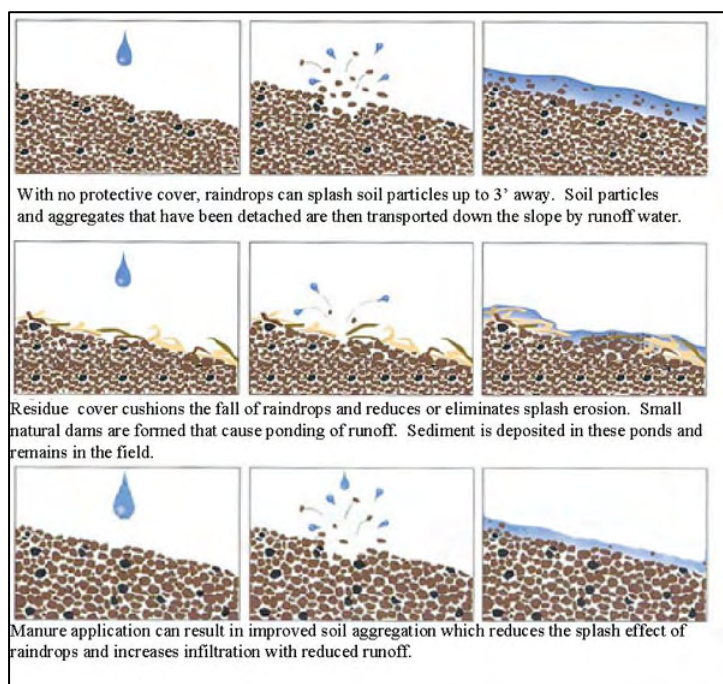


Figura 32: Effetto delle pratiche antierosive

Per favorire l'aumento di permeabilità del suolo si possono considerare validi i mezzi per la prevenzione del distacco e principalmente quelli tendenti a modificare strutturalmente il suolo. Efficiente è l'azione delle lavorazioni conservative, che portano sempre all'aumento della macroporosità e quindi della permeabilità qualunque sia il tipo di suolo.

2.4.2. Erosione eolica



Figura 33: Effetto dell'erosione eolica

L'erosione eolica è il processo di distacco, di trasporto e di deposito di materiali terrosi causato dall'azione del vento. Secondo CHEPIL (1957), le cause principali dell'erosione eolica sono:

- suolo sciolto con scarsa disponibilità idrica;
- suolo a superficie liscia non coperto da vegetazione naturale o da colture;
- vento ad elevata velocità e quindi in possesso di intensa energia cinetica.

L'erosione eolica è un fenomeno universale che si verifica, in misura diversa, in tutti i Continenti, ma è particolarmente intenso nelle regioni desertiche e semidesertiche caratterizzate da clima arido e da terreni sabbiosi, poveri di sostanza organica, eccessivamente sciolti ed incoerenti. L'erosione è grave anche in aree umide ma privi di vegetazione (MECH e WOODRUFF, 1967). L'erosione eolica è sempre causa conseguente all'azione di altri fattori meteorici, principale fra questi le precipitazioni ed in particolare il ruscellamento delle acque che aprono le vie all'erosione superficiale. L'azione del vento, in varia misura ed in funzione di certe caratteristiche proprie e dell'ambiente fisico, trasforma questi percorsi preferenziali delle acque di ruscellamento in veri e propri burroni di dimensioni a volte insanabili. Secondo LARSON e PIERCE (1983) il 20% della superficie terrestre, pari a circa 30 milioni di km², è soggetta ad erosione eolica e tale valore aumenta fino a 3,8 milioni di km² se si considerano anche le aree interessate dalla desertificazione. In Italia l'erosione eolica è di secondaria importanza rispetto a quella idrica, tuttavia si manifesta con notevole frequenza soprattutto nelle zone sabbiose costiere. In particolare nella provincia di Ferrara si riscontrano circa 20,000 ha di terreni sabbiosi incoerenti soggetti ad erosione eolica (GIORDANI et al., 1991). Il vento rimuove i granelli di suolo più sottili trasportandoli per lunghe distanze in sospensione. I granelli saltellanti, in genere, vengono spinti fino a che si fermano su siepi o su altre barriere poste ai bordi dei campi. I granelli più grossi rimangono dove si trovano o vengono trasportati per brevi distanze, entro il campo esposto

all'erosione. L'azione di rimozione incide considerevolmente sulla struttura dei suoli generati da argille. Il limo e l'argilla, al contrario del materiale più grossolano, vengono rimossi sotto forma di pulviscolo in sospensione e quindi i suoli assumono una struttura più grossolana. (CHEPIL, 1946; DANIEL, 1936; MOSS, 1935). Le particelle con dimensioni comprese tra 0,1 mm a 0,15 mm sono quelle più facilmente staccabili fra tutti i granelli che si muovono saltellando, ma alcune con diametro da 0,05 mm a 0,5 mm possono procedere saltellando se il vento è abbastanza forte. Un vento turbolento può staccare particelle più piccole di 0,05 mm. Particelle e granelli trasportati in aria contribuiscono, in maniera evidente, all'incremento della capacità di distaccare del vento. Questi materiali abrasivi non solo distaccano granelli erodibili dal suolo, ma abradono anche i granelli e le zolle non erodibili, distaccano da essi piccoli granelli erodibili e, se il vento soffia abbastanza a lungo, abradono e disintegrano l'intera zolla. In condizioni favorevoli all'erosione causata dal vento, su suoli sabbiosi privi di vegetazione ed altamente erodibili, sono stati stimati tassi annuali di perdita di suolo pari a $700 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Le perdite annuali dei suoli privi di vegetazione e meno erodibili, terreni limosi non calcarei con percentuali d'argilla inferiori al 20%, in condizioni di erodibilità raggiungono circa i $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (LYLES, 1977). La perdita di materiale colloidale trasportato via con le nubi di polvere dai campi sottoposti ad erosione, causa una considerevole perdita di fertilità. La perdita di fertilità è particolarmente grave nei suoli con struttura grossolana che diventano sempre più poveri man mano che l'erosione avanza. Lo strato superiore del suolo, dove si registrano concentrazioni più elevate di sostanze nutritive rispetto allo strato inferiore, è il primo ad andare perduto (FINNELL, 1951). Il fattore principale che rende un suolo resistente all'erosione causata dal vento è la massa (grandezza) dei singoli granelli esposti ad esso. I grossi granelli non solo resistono al movimento, ma proteggono e stabilizzano i granelli erodibili dalla forza del vento (CHEPIL, 1950, CHEPIL, 1956; BISAL e HSIEH, 1966). La stabilità degli aggregati e delle zolle non erodibili ha un'importante influenza sull'erodibilità del suolo. Le proprietà di un suolo quali la struttura, la materia organica, i cationi scambiabili ed il carbonato di calcio libero, influenzano la grandezza e la stabilità di un aggregato. (CHEPIL e WOODRUFF, 1963). Il materiale organico del suolo è spesso associato ad alti livelli di aggregazione e alla stabilità strutturale. Perciò, una delle raccomandazioni più comuni per migliorare la struttura del suolo è quella di aggiungervi residui organici. Gli effetti favorevoli dei residui sono strettamente in relazione all'attività microbica ed ai materiali consolidanti prodotti dai microbi. (CHEPIL, 1955). Inoltre, i residui di un raccolto lasciati sulla superficie offrono una protezione quasi simile a quella fornita dalle piante in crescita (BATES, 1924; STOEKELER, 1962; WOODRUFF, 1954; WOODRUFF et al., 1963, HAGEN, 1976).

I principi di controllo dell'erosione eolica sono:

- Ridurre la velocità del vento vicino al suolo al di sotto della soglia di velocità che causerà l'inizio del movimento del terreno;
- Rimuovere il materiale abrasivo dalla corrente del vento;
- Ridurre l'erodibilità del suolo.

Qualsiasi tecnica che raggiunga uno o più dei precedenti obiettivi, ridurrà la gravità dell'erosione causata dal vento. Anche la semina di colture a diverso ciclo biologico effettuate a strisce alterne (strip-cropping) può svolgere un ruolo efficace nel controllo dell'erosione eolica nelle zone aride e semi-aride. Per quanto riguarda il mantenimento dell'umidità del suolo che rappresenta un mezzo molto efficace di controllo, è opportuno effettuare tecniche agronomiche conservative appropriate. Anche l'impiego di materiale vegetale avente funzione pacciamante contribuisce a conservare l'umidità del suolo riducendo l'evaporazione e favorendo l'infiltrazione dell'acqua nel suolo.

3. Le lavorazioni del terreno

Le lavorazioni sono degli interventi agronomici allo scopo prevalente di modificarne la sofficità. Nella tecnica agricola le lavorazioni del terreno occupano un posto di grande importanza in quanto condizionano fortemente le caratteristiche generali del seminativo. Esse sono rappresentate da un complesso di operazioni meccaniche eseguite con diversi tipi di strumenti capaci di rompere l'apparente continuità della massa del suolo in elementi di più piccole dimensioni.

Il primo obiettivo delle lavorazioni va individuato nella modifica della struttura e quindi della sofficità del terreno agrario. E ciò resta valido, anche se ogni tipo di strumento si rivela idoneo a produrre effetti meccanici che gli sono propri e che possono variare in funzione dell'ambiente, delle modalità e dell'epoca in cui viene usato. Le lavorazioni del terreno perseguono un insieme di obiettivi talvolta indipendenti dal precedente. L'intervento meccanico comporta diverse interazioni biologiche e chimico-fisiche nel terreno sottoposto alle lavorazioni di qualsiasi entità. (Figura 34)

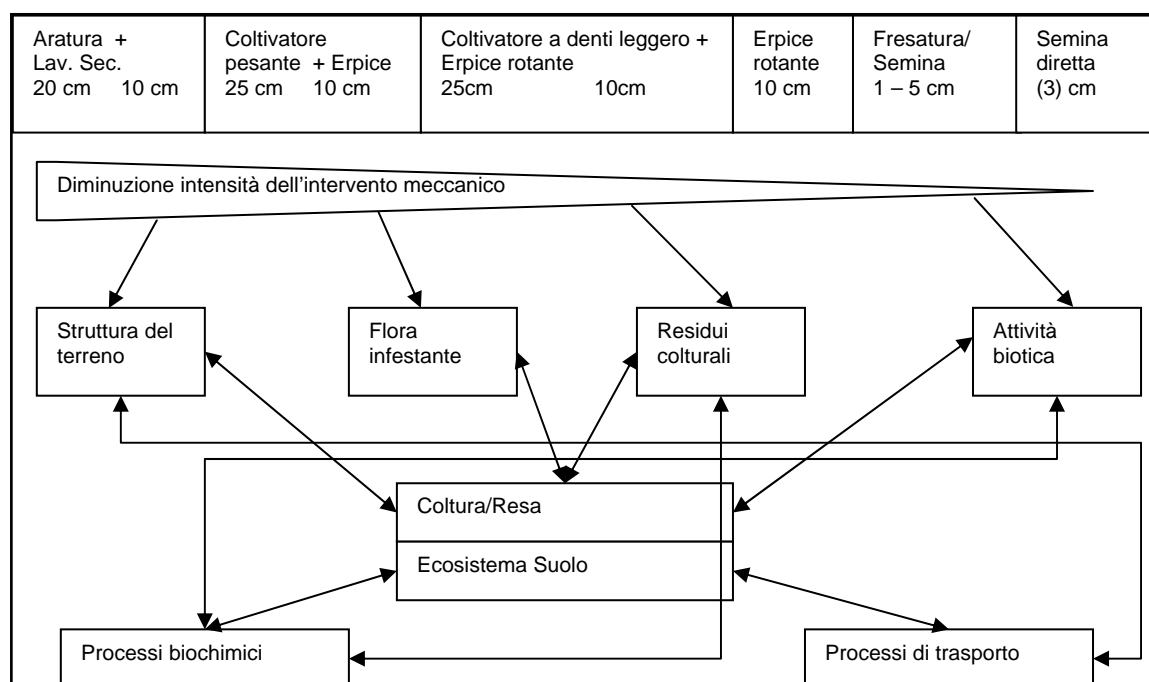


Figura 34: Effetti delle lavorazioni del terreno (Tebrügge et al., 2001)

Gli obiettivi principali delle lavorazioni del terreno possono essere così riassunti:

- Preparazione del letto di semina, cioè di un ambiente favorevole all'interramento ed alla germinazione dei semi,
- Apprestamento di uno stato strutturale idoneo alla penetrazione delle radici ed al loro buon funzionamento,
- Aumento della permeabilità dello strato attivo e quindi controllo della circolazione dell'acqua con diminuzione dei fenomeni di ristagno, di scorrimento superficiale e di erosione,

- d. Aumento della massa di terreno esplorabile dalle radici e quindi, in certi casi, del quantitativo di acqua immagazzinabile come riserva idrica utile, nei mesi più piovosi,
- e. Distruzione o contenimento della vegetazione infestante e di alcuni parassiti.

3.1. Classificazione delle lavorazioni del terreno

Le lavorazioni del terreno possono essere classificate in diversi modi tenendo conto dell'epoca di esecuzione e dell'effetto immediato sul suolo (Figura 35). Semplificando, i vari interventi meccanici possono essere così riassunti:

- a. Lavori preparatori principali (lavorazioni primarie)
- b. Lavori complementari (lavorazioni secondarie)

I lavori preparatori sono quelli che si eseguono prima della semina o piantagione della coltura allo scopo di mettere il terreno in condizioni idonee ad accogliere ed a sostenere la stessa. Essi sono chiamati principali o complementari a seconda che compiano prevalentemente l'azione di «rottura» dello strato coltivato (lavorazioni primarie) oppure l'azione di raffinamento e quindi di preparazione del letto di semina (lavorazioni secondarie).

	Lavorazione primaria	Lavorazione secondaria	Semina	Cantiere
Lavorazione con aratura				separato
			Fresa o Erpice rotante	combinato (lav. sec. + semina)
				combinato (lav. prim. + lav. sec. + semina)
Lavorazione senza aratura				separato
				combinato (lav. sec. + semina)
				combinato (lav. prim. + lav. sec. + semina)
	—			
Semina diretta	—	—		Semina diretta

Figura 35: I cantieri della lavorazione del terreno (KTBL Arbeitspapier 190, modificato)

Nel complesso le lavorazioni del terreno possono essere eseguite con strumenti classificabili in tre gruppi principali: rovesciatori, discessori e rimescolatori. I rovesciatori tagliano il suolo in parallelepipedi o fette regolari che rovesciano più o meno completamente portando così in superficie terreno che prima si trovava ad una certa profondità. I discessori provocano dei tagli nel profilo colturale conferendogli zollosità e sofficità senza interferire nella sua stratigrafia. I rimescolatori ricorrono ad

organi ruotanti che disgregano energicamente il terreno in zollette, accompagnati spesso da abbondante terra fina, e provocano il rimescolamento di tutto lo strato lavorato.

3.1.1. Le lavorazioni convenzionali

3.1.1.1. Aratura - principali operazioni e schematizzazione del lavoro

L'aratura rappresenta la lavorazione più conosciuta, importante e diffusa nella pratica agricola. È eseguita con l'aratro a vomere e versoio e di seguito si parlerà principalmente della lavorazione da esso eseguita (Figura 36).

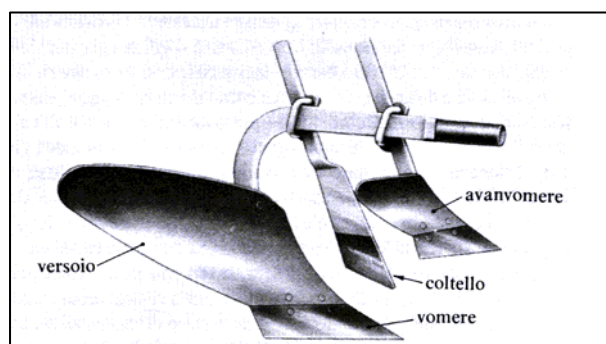


Figura 36: Organi lavoranti dell'aratro

Con il suo avanzamento nel suolo l'aratro esegue le seguenti principali operazioni: taglio verticale, taglio orizzontale, sollevamento e ribaltamento della fetta di terreno.

Schematicamente, la sezione trasversale alla direzione di marcia di un terreno in via di aratura si presenta come nella Figura 37.

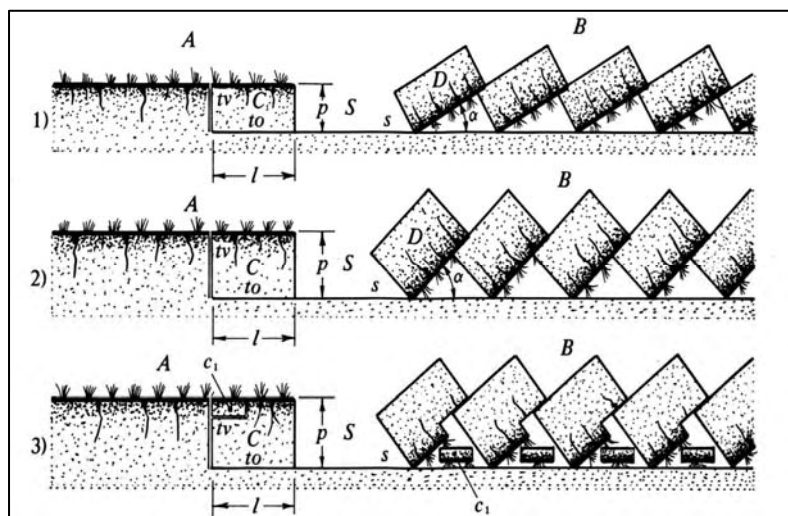


Figura 37: Schematizzazione del lavoro di aratura. 1) aratura senza avanzomere: $l = 2p$, $\alpha = 30^\circ$; 2) aratura senza avanzomere: $l = 4/3 p$, $\alpha = 45^\circ$; 3) aratura con avanzomere. A = terreno da lavorare; B = terreno arato; C = prossima fetta che verrà staccata dall'aratro; D = ultima fetta staccata e rivoltata; S = solco aperto; p = profondità del solco o profondità di aratura; l = larghezza della fetta; tv = prossimo taglio verticale del coltello dell'aratro; s = suola di lavorazione; α = angolo di inclinazione delle fette rivoltate; c1 = piccola fetta staccata ad opera dell'avanzomere.

In pratica il lavoro ottenuto con l'aratro si discosta sempre più o meno fortemente da tali schematizzazioni in quanto la fetta di terra tende a sfaldarsi originando zolle di diverse dimensioni e terra fina. Lo sfaldamento e il rivoltamento della fetta è un fenomeno molto importante dal punto di vista agronomico e dipende da numerosi fattori come il tipo di terreno e la sua umidità, la massa di radici permeanti lo strato lavorato, il rapporto fra larghezza della fetta e profondità di aratura (Figura 38), la velocità di avanzamento dell'aratro, il tipo di versoio utilizzato (Figura 39).

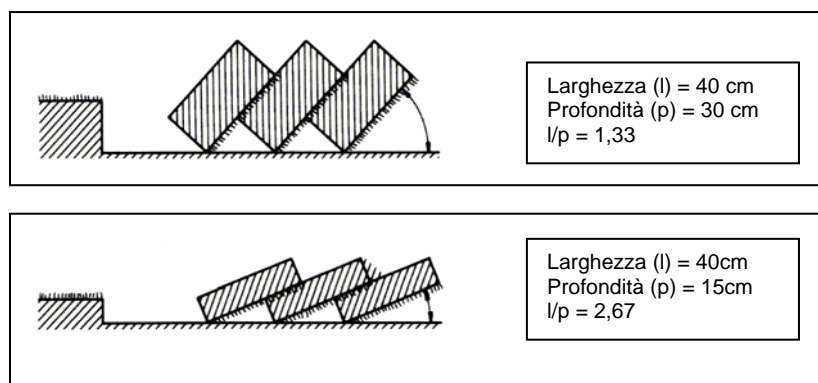
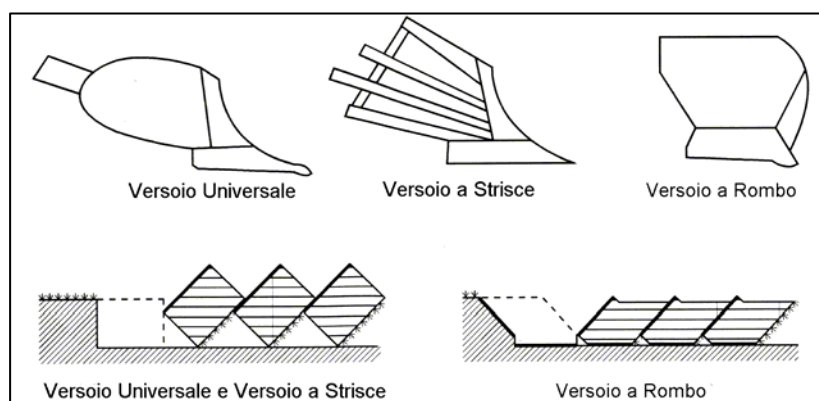


Figura 38: Rapporto tra profondità di aratura e larghezza costante della fetta; ideale è un rapporto $< 1,27$ per evitare la ricaduta della fetta nel solco.

Figura 39: Correlazione tra diverse forme di versoi e il loro effetto sulla forma delle fette di terreno



Se l'aratro è munito di avanvomere o altri dispositivi aggiuntivi si ottiene un migliore interrimento dei

concimi organici, dei residui colturali e della eventuale vegetazione da distruggere. Quando si ottengono invece zolle molto grosse, unitamente ad una buona quantità di terra fina, si ha il deposito di questa ultima in fondo allo strato lavorato. Questo risultato può provocare inconvenienti notevoli in quanto l'acqua di pioggia trova una superficie molto permeabile, penetra rapidamente in profondità e va a compattare la zona priva di strutturabilità creatasi con l'aratura. Ne consegue che in superficie ci si trova in frequente carenza idrica, mentre in profondità si ha uno strato eccessivamente compatto e asfittico (Figura 40).



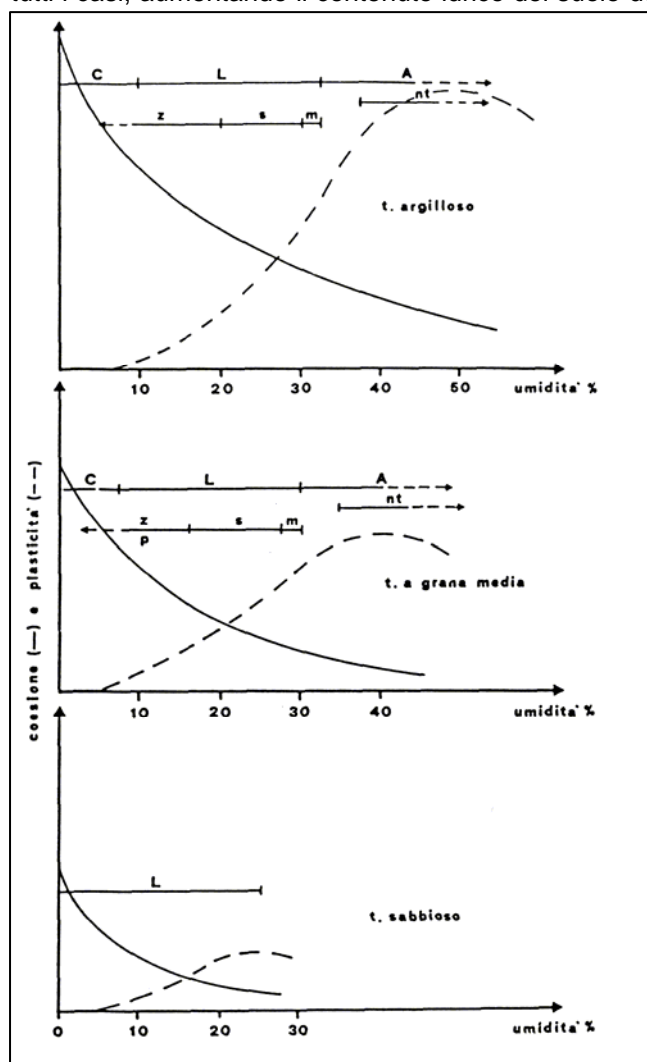
Figura 40: Strato compatto con residui colturali non decomposti

Gli obiettivi principali che si intende raggiungere con il rivoltamento della fetta sono i seguenti:

- Soppressione della vegetazione preesistente mediante un'azione di soffocamento dei ributti delle radici e delle piantine che potrebbero originarsi dai numerosi semi presenti sulla superficie;
- Trasporto in superficie di organi vegetativi di riproduzione di piante infestanti per favorirne l'essiccamento;
- Interramento di residui colturali come stoppie, paglie, stocchi, foglie o piante da sovescio, allo scopo di arricchire il terreno di sostanza organica;
- Interramento di concimi organici o minerali;
- Aumento della sofficità del terreno fino ad una certa profondità.

3.1.1.2. Aratura e umidità del terreno

Nella Figura 41, rielaborata in base alle indicazioni di autori vari (Lyon, Henin et al., Crescini, Cavazza) si descrive il comportamento di terreni con diversa granulometria al variare dell'umidità. In tutti i casi, aumentando il contenuto idrico del suolo decresce la coesione e aumenta la plasticità dello



stesso. La figura permette osservazioni circa il suo stato di tempera. Un terreno si dice in condizioni di tempera ottimale, quando la sua umidità è tale da permetterne la lavorazione con il minimo impiego di energia ottenendo il risultato tecnico migliore. Questa condizione si verifica all'incontro delle curve di coesione e di plasticità. La lavorazione provoca la formazione di una struttura di disgregazione senza distruggere gli aggregati strutturali preesistenti. Lo sbriciolamento si verifica in un intervallo più o meno ampio di umidità in funzione della stabilità della struttura.

Figura 41: Esempificazione dell'andamento delle curve di coesione e di plasticità in tre tipi di terreno col variare dell'umidità. Nel grafico sono indicati anche gli intervalli di umidità in cui prevalgono determinati comportamenti in relazione alle lavorazioni. C: terreno allo stato coesivo; L: terreno lavorabile; A: terreno con adesività elevata e bassa resistenza al costipamento; nt: terreno non transitabile; le lavorazioni possono provocare zollosità (z), polverizzazione (p), sbriciolamento (s) e modellamento della fetta (m).

Un altro aspetto importante da considerare per meglio comprendere l'attitudine dei diversi terreni ad essere lavorati riguarda la velocità di smaltimento dell'acqua in eccesso. Infatti, siccome i terreni a grana fine e finissima si asciugano molto lentamente, i tempi disponibili per le lavorazioni sono assai limitati specialmente nei periodi più piovosi. È per questo motivo che i terreni argillosi vengono spesso coltivati con colture che lasciano libero il terreno in estate.

L'umidità del terreno ricopre un ruolo determinante nella scelta del momento di esecuzione dell'aratura. Bisogna tuttavia tenere ben presenti anche altri fattori. Innanzitutto la necessità di intervenire su terreno in tempera va contemperata con le esigenze delle singole colture e degli avvicendamenti colturali adottati. È proprio in considerazione di questo fatto che l'agricoltore sarà costretto ad eseguire l'aratura in periodi anche sfavorevoli per la fertilità del suolo. Questo potrebbe giustificare l'esistenza di arature autunnali, invernali, primaverili ed estive le quali possiedono caratteristiche anche diversissime sia sotto il profilo delle condizioni in cui vengono eseguite, sia per l'influenza che esse manifestano sul terreno. L'epoca di aratura è molto spesso imposta dall'ordinamento colturale adottato, dall'organizzazione aziendale e dall'andamento stagionale. Quando però l'agricoltore avrà possibilità di scelta dovrà tener presente, oltre che il tipo di terreno a disposizione anche eventuali problemi particolari da risolvere. Converrà tener presente che, di solito, nei terreni argillosi è preferibile arare con anticipo, mentre in quelli sabbiosi e limosi l'epoca più opportuna è spesso quella immediatamente precedente la semina.

3.1.1.3. Profondità di aratura

Secondo la profondità raggiunta, le arature possono essere così classificate:

- a. Arature superficiali, fino a 20 cm;
- b. Arature di media profondità, da 20 a 40 cm;
- c. Arature profonde, da 40 a 60 cm.

Intorno alla scelta della profondità di aratura esistono opinioni molto contrastanti che hanno ispirato una vasta sperimentazione.

A favore dell'aratura profonda si adducono motivi di ordine vario. Si sostiene innanzitutto che, aumentando lo spessore dello strato lavorato le radici delle piante possono espandersi più liberamente ed esplorare un volume più ampio aumentando le disponibilità nutrizionali ed idriche con conseguente riduzione dei fenomeni competitivi. Un ulteriore argomento in favore dell'aratura profonda riguarda la resistenza delle piante ai periodi di siccità anche indipendentemente dal quantitativo di acqua immagazzinato nel terreno.

A sfavore dell'aratura profonda parlano invece altri motivi e prima di tutto, il costo di esecuzione. Dal punto di vista agronomico si formulano obiezioni che riguardano l'evoluzione e lo sfruttamento più

opportuno della sostanza organica. Innanzitutto si può ricordare che le disponibilità aziendali di materia organica (radici, residui colturali, letame, ecc.) a parità di altre condizioni variano relativamente poco in risposta all'approfondimento dello strato lavorato, per cui se esse vengono disperse su una massa maggiore di terreno gli effetti sulla fertilità dello stesso risultano attenuati. Quanto maggiore infine è lo strato lavorato, tanto più incisiva sarà l'ossidazione delle riserve organiche del suolo con conseguente riduzione delle stesse. Tutto ciò porta a un abbassamento del livello di fertilità.

Riassumendo quindi sono oggetto di discussione due parametri di valutazione strettamente connessi l'uno all'altro: la produttività del terreno e la sua fertilità che sono le risultanti di complesse azioni ed interazioni fra numerosissimi fattori ed evidenziano risposte diverse col variare di ognuno di essi. A questo punto appare ben chiaro come non si possa mai parlare di una ma di più soluzioni ottimali. La ricerca di una nuova competitività sui mercati internazionali costringe oggi l'agricoltura italiana a perseguire l'obiettivo della contrazione dei costi di produzione. In questo contesto sembra molto opportuno il tentativo di riconsiderare la profondità di aratura.

3.1.1.4. Considerazioni sul lavoro di aratura

Le lavorazioni convenzionali rispondono in modo efficace ai bisogni immediati delle colture, attraverso un percorso che risulta, innanzitutto, costoso, che implica elevati consumi di energia e, infine, grava sotto il profilo del lavoro e della sua organizzazione (**Tabella 2**).

Sistemi di lavorazione	Potenza trattore [kW/m]	Lavoro [h/ha/m]	Consumo gasolio [kg/ha]	Consumo energetico lavorazione [MJ/ha]
Lavorazione convenzionale con aratura profonda				
Aratura profonda (40 cm)	86	2,08	47	2.191
Estirpatura dopo l'inverno	15	0,26	7	348
Ercipatura con erpice rotante	30	0,53	33	1.503
Semina	13	0,24	6	269
Totale		3,13	93	4.312
Lavorazione minima profonda				
Coltivatore pesante con dischi (35 cm)	36	0,38	25	1.160
Coltivatore leggero combinato	22	0,05	7	353
Semina	16	0,31	9	480
Totale		0,74	93	1.992
Lavorazione minima superficiale				
Diserbo in presemina	5	0,01	2	100
Coltivatore leggero combinato	26	0,06	8	353
Semina	14	0,28	7	351
Totale		0,35	17	803
Semina diretta				
Diserbo in presemina	5	0,01	2	100
Semina diretta	16	0,31	9	480
Totale		0,32	11	579

Tabella 2: Comparazione fra diversi sistemi di lavorazione effettuata ipotizzando una serie di cantieri tipo. La potenza del trattore e il lavoro sono espresse per metro di larghezza dell'attrezzatura. Il consumo energetico comprende la quota di energia spesa per realizzare la macchina e consumata durante l'operazione. Non sono considerati i costi energetici dei prodotti.

Sono stati evidenziati i difetti fondamentali dell'aratura che possono così riassumersi:

- a. Preparazione imperfetta del letto di semina, specialmente in terreni tenaci e con lavorazione profonda. L'eccessiva zollosità richiede l'intervento supplementare di altri attrezzi da lavoro che, appesantendo i costi di produzione, richiedono ulteriori passaggi di macchine che calpestano il terreno e favoriscono la degradazione della struttura. (figura 8).
- b. Il rovesciamento della fetta, se può riuscire molto utile per certi motivi, per altri si rivela poco conveniente e talora addirittura dannoso.
- c. Non permette un uniforme incorporamento della sostanza organica che vede così ridursi la sua capacità miglioratrice soprattutto nei riguardi delle proprietà fisiche del suolo.
- d. Favorisce la formazione di uno strato impermeabile in fondo al solco (crostone di lavorazione) con evidenti riflessi negativi sulla regimazione idrica.

L'esposizione del terreno all'aria impoverisce, invece, le riserve idriche del suolo che solo in caso di piogge consistenti, vengono reintegrate ed aumentate. Per quanto concerne il controllo delle infestanti l'aratura consente di interrare i semi presenti nello strato più superficiale, impedendone in tal modo la germinazione e confidando nella loro disattivazione prima del successivo rivoltamento. Questa strategia, non sempre efficace, può essere sostituita da altri sistemi di controllo, chimici, meccanici ed agronomici. Sul medio e lungo periodo, le lavorazioni tradizionali generano degli effetti agronomici ed ambientali non positivi, determinando un progressivo impoverimento biologico dell'agrosistema suolo, dovuto all'annuale sovvertimento del profilo verticale del terreno, e all'intensità degli interventi condotti per ripristinare un ambiente idoneo alla coltivazione. Questa perdita di "naturalità" riduce la capacità del terreno di mantenere o rigenerare fertilità. Ciò a causa della eccessiva diluizione del residuo colturale all'interno del terreno e al suo trasferimento in profondità, prodotto soprattutto dall'aratura, dove l'ambiente volge rapidamente verso condizioni riducenti per carenza di ossigeno. L'incorporazione profonda della sostanza organica ostacola, quindi, i processi di umificazione. La reiterazione nel tempo delle lavorazioni convenzionali porta alla disgregazione degli aggregati, con perdita della struttura glomerulare, predisponendo il terreno alla compattazione e alla crosta superficiale, mentre l'ossidazione delle sostanze umiche sottrae i colloidali che lega le particelle di terreno rendendo più stabili gli aggregati. Tutto ciò ha anche alterato i meccanismi di conservazione, diffusione e assorbimento degli ioni nutritivi. In sintesi, la dissipazione della fertilità prodotta dalle lavorazioni convenzionali sul medio periodo viene surrogata con un incremento degli input meccanici e chimici che determina un consumo di energia sempre crescente (Tabella 3).

Sistemi di lavorazione	Lavoro	Consumo energetico
Lavorazione convenzionale	100	100
Minima profonda	44	46
Minima superficiale	18	19
Semina diretta	12	13

Tabella 3: Comparazione fra diversi sistemi di lavorazione, effettuata con riferimento ai cantieri descritti in tabella 2, posto uguale a 100 il cantiere convenzionale.

Infine, l'aratura obbliga l'agricoltore ad una serie di interventi onerosi ed energivori, generalmente condotti con attrezzature azionate dalla p.d.p. del trattore, per frantumare le macro-zolle prodotte dall'aratro e assestare il terreno. A questi, seguono gli interventi finalizzati alla preparazione di un letto di semina che soddisfi le esigenze di germinazione della coltura. Infatti, le lavorazioni secondarie e quelle preparatorie del letto di semina possono risultare molto onerose non solo in termini di consumo di gasolio, ma anche di consumo macchina (Figura 42).



Figura 42: Il lavoro di aratura non prepara il terreno per ricevere direttamente il seme. La notevole zollosità che si forma, soprattutto allorché il substrato è argilloso e allo stato coesivo, richiede ulteriori lavori preparatori complementari che risultano più efficaci quando le zolle vengono lasciate lungamente esposte all'azione

I pericoli di una lavorazione secondaria e preparatoria energica risiedono soprattutto nel disfacimento degli aggregati strutturali del terreno che sono importantissimi per il mantenimento di una corretta porosità e della regimazione idrica; inoltre si corre il rischio di favorire la formazione della crosta superficiale. Questo fenomeno determina difficoltà di emergenza delle colture e un incremento dell'evaporazione che depaupera le riserve idriche contenute nello strato più superficiale del suolo che sono fondamentali nel primo periodo di sviluppo delle piante (ANKEN, 1996). In seguito a eventi piovosi di una certa intensità, poi, un letto di semina eccessivamente affinato è soggetto a ragguardevoli perdite di suolo per erosione, soprattutto per il fatto che la superficie si presenta liscia, priva di quelle irregolarità che, ostacolando lo scorrimento dell'acqua, ne potrebbero rallentare il flusso.

3.1.2. Le lavorazioni conservative

L'agricoltura conservativa fu proposta negli anni Trenta come soluzione per contrastare l'erosione eolica in alcune aree del nord America attraverso una drastica riduzione degli interventi di lavorazione del terreno. Nel tempo sono state ideate altre tecniche, definite come minime lavorazioni, accomunate da una forte contrazione nel numero dei passaggi sul campo e da una forte riduzione dell'intensità delle interazioni fra organi meccanici e terreno. I motivi di questa espansione recente trova risposta nella disponibilità di tecnologie che non vanno intese sole come innovazioni meccaniche, ma anche chimiche, genetiche e un insieme di congiunture economiche, ambientali ed agronomiche che hanno stimolato la sensibilità degli imprenditori agricoli. Se è vero che oggi l'agricoltura dispone, a tutti i livelli, di mezzi di produzione più evoluti, che consentono di applicare con successo questo approccio produttivo, è anche vero che nel passato, due sono apparsi gli ostacoli principali alla sua diffusione:

- Lo studio di mezzi in grado contrastare in modo efficace le infestanti, potendo così rinunciare al contributo offerto dalle lavorazioni;
- La disponibilità di seminatrici in grado di operare su un terreno poco preparato.

Il residuo colturale è il perno fondamentale attorno al quale ruota l'Agricoltura Conservativa e la sua gestione coinvolge in modo diretto tutti gli organi meccanici che interagiscono con il terreno. La rotazione delle colture dovrebbe preferire colture capaci di lasciare sul terreno importanti quantità di residuo vegetale per garantire un'adeguata protezione da eventi erosivi e per migliorare la sua fertilità. Perché il residuo assolva questi compiti deve rimanere sulla superficie del terreno, anche dopo la sua lavorazione. Da qui, la necessità di disporre di tecnologie specifiche anche nell'applicazione di tecniche basate sulla minima lavorazione. Le macchine più adatte combinano organi diversi, come i dischi dell'erpice e/o le ancore dell'estirpatore in un'unica attrezzatura. Questo, insieme a sistemi di regolazione disponibili sui singoli utensili e sull'intera attrezzatura, permette di adeguare la macchina al contesto operativo. A tale riguardo va evidenziato come la semplificazione degli interventi di lavorazione provoca una riduzione della finestra temporale utile allo svolgimento di una determinata operazione dovuta alla necessità di rispettare il terreno. Per far fronte a questa esigenza, le attrezzature devono possedere un'adeguata larghezza di lavoro ed offrire la possibilità di lavorare anche con velocità sostenute. In molti casi sono privilegiate attrezzature trainate sia per contenere i costi e sia, soprattutto, per garantire tempestività all'intervento. (Figura 43).



Figura 43: Le attrezzature trainate offrono maggiore capacità di lavoro e tempestività, migliore utilizzo della potenza del trattore ed una contrazione dei consumi.

La minima lavorazione profonda

La minima lavorazione profonda è un intervento che richiede un'elevata disponibilità di potenza, comunque inferiore a quella richiesta dall'aratro, perché non rovescia il terreno e produce una minore zollosità. Minore è anche il dispendio di energia e lavoro richiesto dalle lavorazioni successive. La lavorazione profonda può svolgere un ruolo importante nella fase di transizione fra una lavorazione convenzionale ed una conservativa perseguendo l'obiettivo di decompattare il terreno ricostituendo la porosità in un profilo verticale ampio, senza invertire gli strati di terreno e lasciando in superficie una parte cospicua del residuo (non inferiore al 40 - 50%), per garantire la protezione del suolo. La capacità di operare in questo modo dipende in larga misura dalla morfologia degli utensili preposti ad operare in profondità. Ad esempio i coltivatori pesanti convenzionali producono un rimescolamento del terreno non trascurabile portando in superficie le zolle di maggiori dimensioni e favorendo l'approfondimento delle zolle più piccole e della terra fine. Ciò riduce la presenza del residuo colturale a valori insufficienti a proteggere il suolo (inferiore al 30%). Il rivoltamento è generato in modo casuale, e non ordinato come nell'aratura, e il conseguente interrimento del residuo è prevalentemente superficiale. La minima lavorazione profonda produce una notevole quantità di macrozolle non gestibili direttamente da una seminatrice. Per ridurre l'intensità degli interventi di affinamento può essere conveniente utilizzare attrezzature combinate con organi capaci di assestare e affinare il terreno.

La minima lavorazione superficiale

La minima lavorazione superficiale costituisce un'ottima interpretazione degli obiettivi dell'agricoltura conservativa. Sotto il profilo di meccanizzazione si pone ad un livello intermedio fra la minima lavorazione profonda e la semina su sodo vera e propria. Può essere implementata nell'azienda agricola come tecnica complementare alle minime lavorazioni profonde, o come tecnica di soccorso nell'ambito della semina su sodo o in modo esclusivo, cioè come principale tecnica di lavorazione. La minima lavorazione superficiale permette di ripristinare un profilo superficiale idoneo alla coltivazione e può costituire la tecnica di riferimento per l'agricoltore evitando le difficoltà connesse con l'adozione della semina su terreno sodo. Infatti, questa tecnica rispetto alla semina su sodo semplifica la lotta

contro le infestanti e permette di condurre le operazioni di semina su un terreno non compatto, coperto da residui meno tenaci e parzialmente miscelati e caratterizzato da un profilo superficiale più omogeneo.

3.1.2.1. Le attrezzature per la lavorazione

Le attrezzature per la minima lavorazione operano non azionate dalla presa di potenza del trattore e sono strutturate per operare ad elevate velocità; inoltre sono caratterizzate da elevate larghezze di lavoro e da notevoli ingombri longitudinali. La lunghezza è necessaria per poter disporre su ranghi separati i diversi organi in modo da evitare l'effetto rastrello sul residuo colturale (coltivatori), o garantire agli utensili un'adeguata inclinazione rispetto alla direzione di avanzamento (come negli erpici a dischi). In queste attrezzature la velocità di lavoro è un parametro che migliora l'azione degli utensili sul terreno accentuando l'azione di rottura e migliorando quelle di affinamento e di pareggiamento. Anche il peso dell'attrezzatura agisce positivamente sulla formazione del letto di semina permettendo una più efficace azione dei rulli. Inoltre favorisce la penetrazione nel terreno degli utensili, aspetto apprezzabile quando si opera su terreni secchi e tenaci.

3.1.2.1.1. Coltivatori

Le attrezzature munite di ancore svolgono un ruolo importante nella lavorazione dei seminativi tanto da rappresentare in molti casi il principale strumento di intervento con il quale l'agricoltore predispone il terreno per la coltura successiva. La conformazione dell'ancora stessa è diversa a seconda della funzione attesa. Le ancore dritte sono caratterizzate dalla capacità di lavorare il terreno senza rivoltare gli strati e non genera una selezione dimensionale: per questo sono considerate la soluzione migliore per equipaggiare i ripuntatori destinati ad effettuare interventi di decompattazione straordinaria ad elevate profondità (Figura 44).



Figura 44: Lavorazione condotta a 33 cm profondità e velocità di 6,5 km/h con coltivatore ad ancore dritte e piede con alette pronunciate.

Le ancore curve producono, invece, una selezione dimensionale delle zolle ed un rivoltamento che vanno considerati eccessivi, quando l'ancora opera in profondità: questa tipologia di ancora è generalmente adottata in attrezzature destinate alla lavorazione

superficiale dove il fusto dell'ancora penetra solo per pochi centimetri nel terreno. (Figura 45).



Figura 45: La parte dell'ancora che opera fuori terra è ricurva, mentre la parte che penetra nel terreno acquista un profilo quasi verticale per evitare un eccessivo rimescolamento.

Una terza tipologia di ancora è quella caratterizzata da un fusto dritto dotato di una leggera inclinazione in avanti, nella parte prossimale al telaio, ed una più pronunciata in quella distale. In questo modo viene favorita la penetrazione all'interno del terreno, può essere migliorato l'assetto dell'attrezzatura in lavoro,

non si produce un rivoltamento eccessivo del terreno, limitando l'azione alla rottura e al rimescolamento del suo strato superficiale. Questa tipologia è la più impiegata nei coltivatori pesanti (Figura 46).



Figura 46: Esempio di coltivatore pesante equipaggiato con ancore inclinate in avanti; si notino le ruote di profondità e il doppio rullo a dischi ondulati, molto aggressivo sulle zolle.

I coltivatori pesanti, che sono le attrezzature più diffuse per le minime lavorazioni profonde, sono generalmente equipaggiati con ancore dritte e inclinate in avanti o con ancore inclinate lateralmente. L'ancora è collegata al telaio mediante un sistema di sicurezza,

che può essere a vite, con carico di rottura prestabilito, oppure di tipo non-stop a molla. La parte centrale dell'ancora può essere munita di un esplosore, costituito da una lama triangolare con funzione dirompente, e di alette laterali che devono operare in prossimità della superficie. Queste, oltre a contribuire nella riduzione della zollosità, quando vengono fatte operare fra i 4 e gli 8 cm di profondità, devitalizzano la vegetazione presente, estirpandola. La parte terminale monta un utensile la cui forma influisce in misura importante sull'azione prodotta. La forma tipica è quella dello scalpello, generalmente reversibile, che può essere dotato di alette che tendono a sollevare e fratturare la massa di terreno e ad incrementare la quantità di terreno smosso (Figura 47).



Figura 47: Le alette pronunciate montate sul piede dell'ancora sollevano il terreno in modo uniforme, permettendo di decompattare l'intera sezione lavorata e di lasciare un profilo superficiale più omogeneo.

L'effetto dirompente e l'intensità di lavorazione vengono migliorati operando con elevate velocità di avanzamento (almeno 5-6 km/h) e con ridotte distanze tra le ancore. Ciò influisce anche sulla disgregazione superficiale del terreno, da cui dipende la possibilità di procedere direttamente alla

preparazione del letto di semina o alla semina. Infatti queste attrezzature alterano il profilo del terreno in misura accentuata e per ciò vengono proposte combinate con altri organi (dischi e/o rulli). I coltivatori leggeri oggi annoverano numerose attrezzature innovative rivisitate in chiave conservativa. In questi coltivatori le ancore possono essere rigide od elastiche e sempre destinate ad operare in superficie. Il numero delle ancore dipende dall'utensile montato nella loro parte distale. In ogni caso, la loro disposizione è tale da garantire una luce libera fra le ancore di 700 - 900 mm, ottenuta disponendole su almeno due, tre o quattro ranghi. In questo modo il deflusso del terreno e del residuo vegetale avviene senza impedimenti, permettendo il rapido svolgimento dell'operazione. Le ancore consentono di operare su terreno sodo e sono caratterizzate da forme in grado di contenere l'azione di rovesciamento del terreno e di privilegiare quella di miscelazione. A tale riguardo queste attrezzature possono essere equipaggiate con ancore ricurve, caratterizzate però da angoli di curvatura poco accentuati nella loro parte attiva, con ancore dritte o con ancore a profilo sigmoidale. Queste ultime due tipologie sono meno sensibili ad un eventuale approfondimento della lavorazione e sono regolabili nella loro inclinazione (Figura 48).



Figura 48: Coltivatore con ancore sigmoidali munite di sicurezza tipo non stop a molla, disposte su due ranghi, ed equipaggiate con utensile bombato e alette molto pronunciate

Nella lavorazione delle stoppie e più in generale negli interventi più superficiali gli utensili consigliati per la lavorazione sono reversibili, di tipo standard o bombato, e sempre dotati di alette molto pronunciate. Data la ridotta profondità di lavoro, il

taglio orizzontale del terreno prodotto dalle alette offre un'azione di diserbo meccanico molto efficace. Le alette dovrebbero presentare una leggera inclinazione verso l'alto in modo da evitare il lisciamiento del terreno sottostante. Il sollevamento prodotto dall'aletta deve interessare tutto il fronte di lavoro e, quindi, è in base alla loro dimensione che viene stabilito il numero delle ancore per metro di larghezza di lavoro (Figura 49).



Figura 49: Le alette molto pronunciate consentono di ridurre il numero delle ancore. Tutto il fronte di lavoro è interessato al sollevamento prodotto dalle alette.

Con un maggior numero di ancore si privilegia la fessurazione e il dirompimento del terreno, con un numero inferiore il sollevamento del terreno e la formazione di biopori. L'intensità della lavorazione e il rimescolamento possono essere incrementati da altri dispositivi. Infatti, per proteggere la parte distale dell'ancora viene montata anteriormente una lama.

Questa migliora la penetrazione nel terreno e favorisce l'allontanamento del residuo e, quando è ritorta, accentua l'azione di rovesciamento della fetta (e quindi di miscelazione di terra e residuo). Le ancore dotate di queste lame ritorte dovrebbero operare solo in superficie in quanto a profondità maggiori produrrebbero un'eccessiva rivoluzione degli strati di terreno (Figura 50).

Figura 50: Coltivatore con ancore quasi dritte, disposte su tre ranghi, munite di piede a zampa d'oca larga e lama protettiva con curvatura poco pronunciata.



Per un motivo analogo anche gli utensili bombati dovrebbero essere utilizzati in lavorazioni prevalentemente superficiali. Infine, queste attrezzature sono sempre corredate da organi destinati a livellare il terreno, ad affinarlo ulteriormente e ad assestarlo in modo da permettere di eseguire la semina anche dopo un solo passaggio di coltivatore. Sono sempre presenti dischi convessi o stellati per chiudere il solco creato dalle ancore, montati direttamente sul telaio e regolabili nella profondità. Questi organi lavorano il terreno smosso dalle ancore e non intaccano lo strato più profondo (Figura 51).



Figura 51: Posteriormente alle ancore sono sempre presenti degli organi disco con la funzione di colmare il solco.

3.1.2.1.2. Erpici a dischi

Questa categoria comprende gli erpici a dischi convenzionali, costituiti da calotte sferiche e parallele inserite folli su assi disposti simmetricamente rispetto alla direzione di avanzamento e angolati fra loro, e gli erpici a dischi indipendenti, nei quali i dischi, folli, sono collegati singolarmente ad una barra perpendicolare alla direzione di avanzamento. (Figura 52).



Figura 52: Erpice a dischi caratterizzato da un'elevata velocità di lavoro

I dischi indipendenti trovano una grande diffusione nelle attrezzature per le minime lavorazioni superficiali, sia

come elemento lavorante principale e sia come elemento di supporto. Rispetto agli erpici a dischi convenzionali offrono un minor ingombro longitudinale in quanto sono disposti su due linee perpendicolari alla direzione di avanzamento. L'inclinazione, necessaria per poter lavorare il terreno determinata a livello del supporto di collegamento. Il disco, infatti, è collegato al trave di sostegno mediante un supporto rigido, ed in questo caso l'aggancio prevede l'interposizione di 4 silent block, o mediante un supporto elastico dotato di una doppia spirale. Entrambi i sistemi consentono al disco di modificare la sua posizione nel caso incontri un ostacolo, preservando la sua integrità. Durante la lavorazione il collegamento elastico consente invece una serie di movimenti sussultori che amplificano l'azione lavorante del disco stesso. Nelle minime lavorazioni la necessità di lavorare un terreno resistente alla penetrazione impone il ricorso ad attrezzature dotate di elevata massa. Indipendentemente dalla tipologia, le attrezzature destinate ad operare su terreno sodo sono caratterizzate da pesi compresi fra i 700 e i 900 kg/m fronte di lavoro. La convessità del disco e la sua inclinazione rispetto alla direzione di avanzamento influisce sulla capacità di penetrare all'interno del terreno e sulla frantumazione delle zolle. La profondità di lavoro può essere ridotta anche a soli 5 cm. I dischi possono essere caratterizzati da un profilo liscio o dentato. Questi ultimi sono in grado di aggredire con maggiore efficacia il residuo colturale rispetto ai lisci, e per questo vengono privilegiati nelle attrezzature destinate alle minime lavorazioni. Sugli erpici a dischi convenzionali, caratterizzati da un'azione sul terreno tendenzialmente più aggressiva, possono invece essere proposti alternati ai dischi lisci (Figura 53). Questa soluzione permette di moderare la miscelazione del residuo colturale.



Figura 53: Esempio di dischi lisci e dentati disposti in modo alternato in erpice convenzionale.

Le velocità di avanzamento possono essere molto elevate (10 - 20 km/h) e contribuiscono a migliorare la disgregazione delle zolle e la qualità della lavorazione. L'erpice a dischi determina una distribuzione abbastanza omogenea degli aggregati lungo il profilo verticale, lasciando sulla superficie una rugosità che risulta ottimale per contrastare

l'erosione ed impedire la formazione della crosta superficiale. In queste attrezzature, destinate a preparare il letto di semina in un unico passaggio con una lavorazione superficiale, la forma e la posizione dei dischi è stata modificata al fine di ridurre l'incorporazione del residuo, mentre l'implementazione di rulli e altri organi ha permesso di incrementare l'azione di affinamento e assestamento del terreno (Figura 54).



Figura 54: Erpice a dischi indipendenti ottimizzato per eseguire lavorazioni superficiali e caratterizzato da una migliore gestione del residuo colturale.

Va evidenziato come queste attrezzature aggrediscono bene tutti i tipi di terreno e lavorano l'intera superficie, aspetto importante nella lotta contro le infestanti. In un'ottica conservativa l'impiego di queste attrezzature su terreno già

lavorato è, invece, da sconsigliare proprio perché tenderebbe a realizzare una lavorazione troppo intensa e, soprattutto, perché accentuerebbe l'azione di rimescolamento e interrimento dei residui.

3.1.2.1.3. Utensili complementari

Questi utensili svolgono una serie di funzioni complementari rispetto al lavoro svolto dalle ancore e di norma finalizzate a creare un profilo superficiale più omogeneo. Questi accessori sono in grado di frantumare le zolle e pareggiare il piano di semina in modo sufficiente per procedere direttamente all'impianto della coltura.

Montati posteriormente ai coltivatori si incontrano i rulli, inseriti con lo scopo di assestare e pareggiare il terreno, effettuare una disgregazione delle zolle di maggiori dimensioni e conferire stabilità all'attrezzatura durante il lavoro.

I rulli possono essere:

- a gabbia, tipologia che permette di pareggiare ed affinare il terreno solo in modo grossolano;
- packer, più efficace del precedente nel pareggiare il terreno e ridurre la zollosità superficiale;
- a spuntoni o dentato, in grado di creare un buon affinamento del terreno, lasciando zolle in superficie;
- a spirale o spiropacker, capace di pareggiare e comprimere le zolle in profondità;
- ad anelli, caratterizzato da un'azione simile al precedente, più consono in presenza di residui, corruga leggermente il terreno incrementandone la scabrosità;
- a dischi dritti ondulati, in grado di offrire un buon affinamento, dando origine ad una miscelazione dei residui colturali, e di predisporre un letto di semina adatto alla semina diretta;
- a dischi concavi lisci o dentati, più energici nell'azione di rottura delle zolle per questo indicati in terreni argillosi e nel rimescolamento del terreno che determina l'incorporazione dei residui superficiali nei primi centimetri di terreno lavorato

3.1.2.2. La scelta della profondità in funzione degli obiettivi

Una ridotta profondità di lavoro costituisce un vincolo imprescindibile per connotare le lavorazioni conservative. La scelta della profondità deve essere compiuta in funzione delle specifiche necessità agronomiche dell'appezzamento e, quindi, degli obiettivi, che si intendono perseguire. Gli obiettivi specifici di queste lavorazioni possono essere così sintetizzati:

- Facilitare l'operazione di semina, decompattando lo strato superficiale del terreno, pareggiando il suolo e favorendo la degradazione del residuo colturale;
- Garantire condizioni migliori per l'emergenza e le fasi iniziali di sviluppo della coltura, sia attraverso la decompattazione dello strato più superficiale e sia favorendo il riscaldamento del terreno;
- Favorire la formazione di biopori e quindi migliorare la porosità anche in strati di terreno sottostanti;
- Ridurre le perdite d'acqua durante i periodi di intensa evaporazione attraverso l'interruzione della risalita capillare.

Per quanto riguarda il primo punto è evidente la sua influenza sulla profondità di lavoro, che dovrà essere scelta in funzione del dislivello fra il piano del campo e le ormaie prodotte dal calpestamento delle macchine agricole. L'azione decompattante rende decisamente meno gravoso il compito dell'assolcatore ed elimina buona parte dei problemi che si possono registrare nella fase di chiusura del solco che è spesso la causa al quale imputare una bassa emergenza. Quindi la lavorazione viene condotta per creare condizioni di lavoro migliori per la seminatrice che in questo modo potrà rispettare con maggior precisione la profondità di semina e creare in prossimità del seme un ambiente edifico

ottimale. Questo obiettivo si persegue intervenendo a profondità di poco superiori a quella di semina, perché la piantina nel suo affrancamento è in grado di sviluppare in misura soddisfacente il proprio apparato radicale anche all'interno di un terreno non lavorato. Il controllo delle infestanti diventa più efficace, quando gli organi deputati a estirpare la pianta operano nei primi 4-8 cm di terreno. In questo modo il cespo dell'infestante, viene strappati dal suolo favorendo la fuoriuscita delle radici dal terreno. L'infestante così separata dal terreno deperisce rapidamente, mentre l'azione di strappo sulle radici più profonde favorisce la formazione di biopori. Questi costituiscono un'indispensabile via di transito per acqua e aria all'interno dello strato di terreno non lavorato.

A tale riguardo le lavorazioni minime superficiali possono contribuire in modo determinante a contrastare le infestanti rizomatose purché la lavorazione sia attuata con utensili ad ancora. Infine, la lavorazione condotta nel periodo estivo, può avere un benefico effetto sulla tutela delle riserve idriche qualora la copertura con residui vegetali non sia in grado di bloccare la radiazione solare e di ridurre i moti convettivi dell'aria che lambiscono il suolo. Infatti, l'evaporazione superficiale si manifesta quando la pressione del vapore nell'aria è maggiore della pressione con la quale sono trattenute le molecole d'acqua nel terreno. Ostacolare il ricambio d'aria sulla superficie porta in breve all'instaurarsi di condizioni prossime all'equilibrio igroscopico nelle quali si attenua fino ad arrestarsi il fenomeno dell'evaporazione. La radiazione solare influisce sul processo favorendo il salto dallo stato liquido a quello gassoso delle singole molecole, passaggio che avviene solo se l'aria è in grado di "ospitarle" e, quindi, se è caratterizzata da un contenuto d'acqua inferiore alla saturazione. Il residuo colturale agisce su entrambe le leve e, in modo efficace, solo se è sufficientemente abbondante e distribuito con omogeneità. L'alternativa offerta dalla lavorazione, in questo caso assolutamente superficiale, è quella di creare uno strato di terreno che svolga le funzioni del residuo vegetale: bloccare la radiazione solare e favorire la formazione di una strato di aria più satura di quella ambientale nei primi centimetri di terreno. Inoltre la lavorazione, con la rottura della crosta superficiale, favorisce l'occlusione dei pori attraverso i quali si verifica la risalita dell'acqua per capillarità, permettendo ai residui vegetali contestualmente interrati di assorbirla e trattenerla.

Questa tecnica può essere adottata facendo ricorso ad attrezzature che si differenziano in misura notevole per la tipologia degli utensili e per la loro composizione. Un'analisi condotta in questo senso evidenzia che più che gli aspetti meccanici sono gli effetti agronomici prodotti, il parametro in base al quale scegliere le attrezzature idonee. Queste attrezzature consentono di effettuare un'unica lavorazione prima della semina: sono destinate ad operare prevalentemente su terreno sodo, ma possono essere utilizzate anche per predisporre il terreno alla semina dopo una minima lavorazione profonda. In entrambi i casi dopo il loro passaggio il terreno assume caratteristiche tali da permettere di effettuare la semina con macchine quasi convenzionali. Con questa tecnica il residuo colturale rimane quasi completamente sulla superficie del suolo e solo in misura minore miscelato nello strato più superficiale del terreno. Infatti, la miscelazione prevede il coinvolgimento di pochi centimetri di terreno data sia l'esigua profondità di lavoro e sia la conformazione degli utensili.

3.1.3. Le seminatrici

La semina dopo minima lavorazione può essere condotta con attrezzature convenzionali purché siano dotate di soluzioni tecnologiche idonee a gestire la deposizione del seme su un terreno poco preparato, non eccessivamente affinato e ricco di residui colturali sulla superficie. Queste variazioni riguardano sostanzialmente gli organi deputati alla deposizione del seme e alla chiusura del solco. Soprattutto nella semina a righe la necessità di contenere i costi di produzione ha decretato il successo delle minime lavorazioni. Ciò ha portato allo sviluppo di seminatrici specifiche, idonee allo scopo, caratterizzate da organi per la deposizione del seme a forma di ancora o dente, sempre disposti su almeno tre ranghi spaziatosi fra loro per permettere il deflusso del residuo colturale, e da un sistema di trasporto del seme di tipo pneumatico per poter offrire larghezze di lavoro superiori ai 2,5 o ai 3 m.

Posteriormente dispositivi a denti elastici provvedono invece alla chiusura del solco e alla distribuzione del residuo sulla superficie. Questa tipologia di chiudi solco deve essere caratterizzata da una forte inclinazione dei denti per evitare il rastrellamento il residuo colturale. Queste sono seminatrici relativamente economiche perché gli organi di semina sono molto semplificati e di buona capacità di lavoro. L'impiego di seminatrici convenzionali, sia di precisione che a righe, è condizionato all'adozione di assolcatori a disco che, rispetto a quelli a falciatore o a scarpette, sono in grado di disimpegnarsi meglio in presenza di residuo. Inoltre sono in grado di operare anche in terreni argillosi o caratterizzati da una preparazione approssimativa del letto di semina proprio in virtù della migliore penetrazione che contraddistingue questo utensile rispetto ai convenzionali (Figura 55).



Figura 55: Esempi di organi assolcatori idonei ad operare su terreno blandamente preparato. Il secondo disco, più piccolo, protegge il corpo seminatore e funge da limitatore della profondità, può essere in materiale plastico.

I dischi possono essere singoli, lisci o dentati, in genere leggermente convessi e montati con una lieve inclinazione rispetto alla direzione di avanzamento indicati nelle semine a righe. Il disco singolo rende più facile la chiusura del solco. I dischi più aggressivi, cioè quelli di maggiori dimensioni e dotati di un profilo dentato, sono invece più frequenti nelle seminatrici combinate. Posteriormente l'elemento termina con dispositivi che chiudono il solco e comprimono il terreno in genere rappresentati da una o due ruote di compressione. Le seminatrici di precisione devono inoltre disporre di ruote di profondità ben dimensionate per mediare in modo opportuno le irregolarità della superficie, montare elementi chiudisolco efficaci, cioè in grado di comprimere un terreno poco affinato. Su entrambi gli elementi

deve risultare possibile regolare il carico sul suolo in modo da adeguarlo alle effettive condizioni del terreno.

3.1.3.1. Le seminatrici combinate

Con le seminatrici combinate si esegue una lavorazione contemporanea alla semina che è possibile realizzare sia su terreno già parzialmente lavorato e sia su terreno sodo.

Fra le combinate è doveroso distinguere:

- Le seminatrici combinate con attrezzature per la lavorazione del terreno non azionate dalla presa di potenza, costituite nella maggior parte dei casi da organi a disco, da erpici livellatori costituiti da elementi elastici di varia forma, da rulli gommati, e altri utensili dalle caratteristiche particolari
- Seminatrici combinate con erpici rotanti, corredati da altri organi con funzioni di amplificazione degli effetti della lavorazione o di ripristino della uniformità della superficie (Figura 43).

La lavorazione del terreno combinata alla semina offre diversi vantaggi. Innanzitutto permette di preparare un buon letto di semina eliminando eventuali ormaie, miscelando il residuo con il terreno, eliminando eventuali infestanti da seme, senza richiedere un ulteriore passaggio sull'appezzamento. Altri vantaggi non meno importanti riguardano l'organizzazione del lavoro, che viene semplificata, e la tempestività di intervento, notevolmente incrementa, soprattutto quando si impiegano tecnologie che possono operare a grande velocità. La produttività del lavoro sempre elevata, caratterizza tutte le combinate, consente di intervenire quando il terreno si trova nelle migliori condizioni di lavorabilità e di eseguire le semine rispettando il periodo utile disponibile per l'impianto della coltura. Inoltre, viene migliorata l'efficienza nella gestione delle superfici molto frazionate perché consente di evitare i tempi morti legati al rispetto delle tradizionali sequenze di intervento. In conclusione, questa tecnica di semina, in linea con i dettami dell'agricoltura conservativa, rappresenta una valida soluzione per molti contesti produttivi. L'impiego delle combinate può anche essere considerata una scelta transitoria adatta ad avviare l'agricoltore verso tecniche ancor più conservative.

Combinato non azionate dalla p.d.p.

Le macchine combinate con attrezzature non azionate dalla presa di potenza, rispetto a quelle con erpice rotante, rappresentano un ulteriore passo verso la riduzione dei costi. In particolare consentono di ridurre in misura significativa il consumo di combustibile e di migliorare ulteriormente la produttività del lavoro e la tempestività di intervento. Infatti, se ne apprezza la grande capacità di lavoro, garantita da velocità di avanzamento superiori ai 10 km/h e da larghezze di lavoro elevate (da 3 a 6 m) e l'ottima tempestività di intervento. La capacità di gestire del residuo vegetale senza problemi di ingolfamento viene garantita solo da organi rotanti folli, come ad esempio le diverse tipologie di dischi

e rulli applicati in molte di queste combinate. Viceversa la presenza di utensili a denti elastici o ad ancore, generalmente disposti su due ranghi, e di altri utensili non rotanti finalizzati al pareggiamento e all'assestamento del terreno, riducono la capacità di operare sul residuo colturale. Un altro aspetto da considerare riguarda l'aggressività della macchina sul terreno. Infatti per poter operare su terreno sodo è necessario che l'organo lavorante disponga di utensili capaci di entrare nel suolo anche quando si presenta particolarmente resistente alla penetrazione, perché secco e caratterizzato da una tessitura argillosa. Le combinate più evolute sono caratterizzate dalla possibilità di regolare la ripartizione del peso dell'attrezzatura fra l'organo che lavora il terreno, il rullo gommato e il gancio di traino del trattore. La sequenza degli organi che manifesta la maggior attitudine nei confronti di terreni gestiti con tecniche conservative è costituita da organi a disco per la lavorazione, rulli gommati per l'assestamento, dischi assolcatori. I primi possono essere muniti di dischi concavi, con profilo liscio o dentato, o quasi piatti e con profilo dentato, posizionati leggermente inclinati rispetto alla direzione di avanzamento (4-8°) e, per quelli a profilo liscio, inclinati in modo evidente anche rispetto alla verticale per migliorare la loro penetrazione nel terreno (Figura 56).



Figura 56: Particolare degli elementi di semina a disco

I dischi sono di grande diametro, disposti su due ranghi con concavità e inclinazioni opposte, e sono sempre collegati in modo indipendente alla barra portaelementi tramite un supporto ammortizzato da 4 silent block. Questo collegamento permette ad ogni singolo disco di adattarsi al profilo del terreno mantenendo costante la profondità di lavoro e di

sormontare eventuali ostacoli senza danneggiarsi. Il rullo gommato, che può essere collocato sotto alla tramoggia o posteriormente agli elementi di semina, assolve a tre compiti fondamentali: determina il riferimento per regolare la profondità di lavoro sia degli organi che lavorano il terreno e sia di quelli seminatori; affina, assesta e compatta uniformemente il terreno smosso dai dischi anteriori; trasmette a terra il peso che non viene scaricato sugli organi lavoranti (Figura 57).

Figura 57: Rullo gommato per la ripartizione dei carichi sul terreno

Gli assolcatori sono sempre disposti sfalsati fra loro o su due file distinte per evitare che il residuo colturale e il terreno, sollevati dagli assolcatori stessi, disturbi reciprocamente la loro azione. Ciascun assolcatore è collegato



al telaio mediante un aggancio che monta interposti 4 silent block. Questo dispositivo consente all'assolcatore di adattarsi alle piccole irregolarità del terreno e a superare eventuali ostacoli, mentre il parallelogramma articolato assicura il mantenimento della profondità di semina prefissata (Figura 58).



Figura 58: La profondità di semina è determinata da un parallelogramma articolato collegato al rullo gommato posteriore.

L'assolcatore può essere costituito da un singolo disco dal profilo crestato e leggermente concavo o da dischi dal profilo liscio. Quest'ultima soluzione contraddistingue quelle seminatrici che operano indipendenti dal sistema di lavorazione. In questo caso la pressione esercitata sul suolo è garantita da un dispositivo meccanico a molla che consente di modularla entro limiti abbastanza ampi. Inoltre quando l'elemento di semina è indipendente, l'assolcatore viene munito di un limitatore di profondità (Figura 59).

Figura 59: Esempio di combinata compatta



Combinata con erpice rotante

L'erpice rotante, offre una migliore capacità di smuovere, pareggiare e riassetare il terreno: la sua azione, infatti, è nettamente più energica, ma la velocità al quale può operare è limitata dalle sue caratteristiche tecnologiche. La qualità del letto di semina prodotto dall'erpice rotante è quindi migliore, ma, bisogna capire qual è il vantaggio produttivo che la coltura può trarre da un letto di semina ottimale, soprattutto, quando è destinato a colture che non presentano particolari esigenze in tal senso. Vi è però un altro aspetto importante da considerare e che riguarda la gestione del residuo colturale. Questo, qualora sia ben trinciato e soprattutto ben distribuito sulla superficie, dopo il passaggio dell'erpice rotante tende a disporsi in modo uniforme sulla superficie realizzando un'ottima copertura. Infatti, la rotazione dei denti combinata al minor peso specifico delle paglie ne impedisce l'interramento permettendo di realizzare un mulch capace di proteggere efficacemente il suolo (Figura 60).



Figura 60: La combinata con erpice rotante garantisce un'ottima protezione del suolo.

Per superare la difficoltà di questo attrezzo ad operare in presenza di abbondanti quantità di residuo colturale può essere anteposto un dispositivo composto da una doppia serie di dischi lisci, di grande diametro posizionati paralleli alla direzione di avanzamento (Figura 61).

Figura 61: I dischi tagliando il residuo colturale evitano problemi di ingolfamento.

Con questa disposizione la loro funzione diventa quella di tagliare ulteriormente il residuo in modo tale che possa essere gestito con maggior facilità dai rotor dell'erpice. Inoltre la penetrazione, che non deve superare un quarto del loro diametro per non perdere l'effetto di taglio sul residuo, fende anche il terreno rendendo meno gravosa l'azione dell'erpice. Anche la possibilità di inserire attrezzature per la decompattazione del terreno può operare a favore di questa tipologia di combinata. Infatti, quando la superficie del terreno è caratterizzata da una forte disomogeneità, da ormaie e avvallamenti, può essere utile anteporre all'erpice rotante una fila di ancore. Indicativamente dovrebbero operare fra i 10 e i 20 cm in quanto profondità maggiori tendono ad incrementare l'assorbimento di potenza. (Figura 62).



Con questa disposizione la loro funzione diventa quella di tagliare ulteriormente il residuo in modo tale che possa essere gestito con maggior facilità dai rotor dell'erpice. Inoltre la penetrazione, che non deve superare un quarto del loro diametro per non perdere l'effetto di taglio sul residuo, fende anche il terreno rendendo meno gravosa l'azione dell'erpice. Anche la possibilità di inserire attrezzature per la decompattazione del terreno può operare a favore di questa tipologia di combinata. Infatti, quando la superficie del terreno è caratterizzata da una forte disomogeneità, da ormaie e avvallamenti, può essere utile anteporre all'erpice rotante una fila di ancore. Indicativamente dovrebbero operare fra i 10 e i 20 cm in quanto profondità maggiori tendono ad incrementare l'assorbimento di potenza. (Figura 62).



Figura 62: Utensile a larga zampa d'oca che provvede a sollevare il terreno.

L'azione di queste ancore, grazie alla loro particolare conformazione, è comunque notevole. Il fusto è dritto e penetra nel terreno in linea verticale e il piede è dotato di ali molto pronunciate. Queste determinano un'azione di sollevamento del terreno molto efficace per eliminare le compattazioni superficiali e ripristinare un piano di coltivazione uniforme. Inoltre l'azione di rottura prodotta dall'ancora rende più efficace il lavoro dell'erpice rotante. L'inserimento di organi lavoranti a completamento della lavorazione realizzata dall'erpice rotante è possibile grazie al ridotto ingombro longitudinale offerto da questa tipologia di combinata e conveniente perché migliora la stabilità e l'azione stessa della macchina.

L'azione di queste ancore, grazie alla loro particolare conformazione, è comunque notevole. Il fusto è dritto e penetra nel terreno in linea verticale e il piede è dotato di ali molto pronunciate. Queste determinano un'azione di sollevamento del terreno molto efficace per eliminare le compattazioni superficiali e ripristinare un piano di coltivazione uniforme. Inoltre l'azione di rottura prodotta dall'ancora rende più efficace il lavoro dell'erpice rotante. L'inserimento di organi lavoranti a completamento della lavorazione realizzata dall'erpice rotante è possibile grazie al ridotto ingombro longitudinale offerto da questa tipologia di combinata e conveniente perché migliora la stabilità e l'azione stessa della macchina.

3.1.4. La semina su sodo

La semina su sodo è una tecnica di coltivazione che cerca di non alterare il terreno per poter sfruttare a proprio vantaggio quei processi naturali che ripristinano e mantengono nel tempo condizioni edafiche idonee alla coltivazione stessa. Quando la gestione del terreno è condotta in modo opportuno è conveniente limitare le interazioni fra organi meccanici e suolo alle sole linee di semina e di deposizione del concime. Le tecnologie oggi disponibili per effettuare la semina su un terreno non lavorato e senza lavorarlo sono affidabili e consentono di operare in maniera soddisfacente. Però, perché tali tecnologie riescano a lavorare è necessario che siano rispettate alcune condizioni operative non sempre facili da ottenere, sia a causa dell'andamento meteorologico, sia per gli effetti di questo sulle condizioni del terreno e sia, infine, per le condizioni nelle quali si trova il residuo. I risultati, che l'operazione di semina condotta su sodo deve fornire, sono gli stessi richiesti alla semina convenzionale:

- rispettare la profondità di deposizione e la distanza di semina sulla fila e fra le file;
- garantire il completo e duraturo ricoprimento del seme e una adeguata compressione del terreno sulla linea di semina.

Il taglio del residuo e il raggiungimento della profondità prefissata richiede l'applicazione di una forza che deriva principalmente dalla massa stessa della seminatrice. In terreni tenaci, argillosi e secchi e in presenza di residui vegetali freschi la resistenza offerta alla penetrazione può risultare molto elevata. In terreni sciolti o in terreni umidi, con residuo colturale già macerato o poco consistente la resistenza può essere invece molto contenuta. Per questo le seminatrici da sodo sono pesanti e gli organi che interagiscono sul terreno sono pochi ed affilati, ma al contempo dispongono di adeguati sistemi, in genere sia idraulici che meccanici, che consentono di modulare la forza peso scaricata sugli organi che operano sul terreno. Per quanto concerne la disposizione degli elementi di semina è necessario considerare come nelle seminatrici a righe questa possa diventare determinante per poter operare su residuo colturale. In queste macchine, dato l'elevato numero di elementi per metro di larghezza di lavoro, questi vengono disposti su due linee nettamente separate o su di un'unica linea, ma in posizione sfalsata fra loro. Entrambe le soluzioni permettono di evitare la formazione di un fronte compatto che potrebbe rastrellare il residuo anziché superarlo (Figura 63).



Figura 63: Seminatrice caratterizzata da una disposizione sfalsata degli elementi di semina.

3.1.4.1. Caratteristiche tecnologiche specifiche

Le seminatrici da sodo sono equipaggiate con utensili in grado di gestire la presenza del residuo colturale effettuando una sola o più delle seguenti azioni: spostamento, taglio, sollevamento. Sono sempre presenti organi assolcatori per l'apertura del solco e la deposizione del seme e dispositivi per chiudere il solco e far aderire il terreno al seme (Figura 64).



Figura 64: Esempio di elemento di semina corredato di organi destinati all'allontamento del residuo, alla preparazione del solco, alla deposizione del seme, alla copertura e infine alla chiusura del solco di semina.

La condizione migliore si raggiunge quando tutti gli utensili che operano sulla linea di semina sono collegati fra loro e, insieme, al telaio mediante dispositivi a parallelogramma articolato. Questi, quando sono strutturati secondo idonee geometrie, consentono all'elemento di semina di seguire in modo ottimale il profilo del terreno fornendo l'indipendenza necessaria dal telaio e, quindi, dagli altri elementi. Anche se governati dal medesimo sistema di collegamento, ciascun utensile deve inoltre possedere un dispositivo che consenta di modificare la sua posizione rispetto agli altri ed eventualmente il carico specifico con il quale agisce sul terreno. Il carico di tutto l'elemento viene invece determinato a livello del parallelogramma articolato.

In sintesi, un buon elemento di semina deve:

1. penetrare nel terreno;
2. tagliare i residui colturali senza provocare il loro interrimento;
3. deporre il seme ad una profondità uniforme, a contatto diretto con il terreno umido;
4. evitare di disturbare gli altri elementi spostando o sollevando il residuo colturale;
5. coprire il seme con il terreno, lasciando il residuo colturale uniformemente distribuito;
6. localizzare il fertilizzante, se possibile ai lati del solco, e a maggior profondità del seme;
7. realizzare tutte queste azioni senza lavorare troppo il terreno e i residui colturali.

3.1.4.1.1. Utensili per lo spostamento del residuo

La funzione di questi utensili è quella di formare una banda larga da 100 a 150 mm libera dai residui vegetali a cavallo della linea di semina. La loro applicazione può essere valida quando il residuo è abbondante e poco macerato.

Gli effetti che si vogliono perseguire con questa operazione sono:

- a) facilitare il compito degli assolcatori, utile soprattutto quando il terreno umido rende difficile il taglio del residuo;
- b) accelerare il riscaldamento del terreno sulla fila per favorire la germinazione;
- c) offrire la possibilità di distribuire diserbanti di pre-emergenza sulla fila di semina.

Questi utensili possono essere collegati agli elementi di semina, e sono sempre anteposti agli assolcatori. (Figura 65). In genere sono costituiti da dischi stellati montati folli su supporti elastici, in posizione leggermente angolata rispetto all'avanzamento, attraverso dispositivi che consentano di regolare l'inclinazione e l'altezza. L'obiettivo, infatti, è quello di spostare il residuo colturale senza smuovere il terreno.

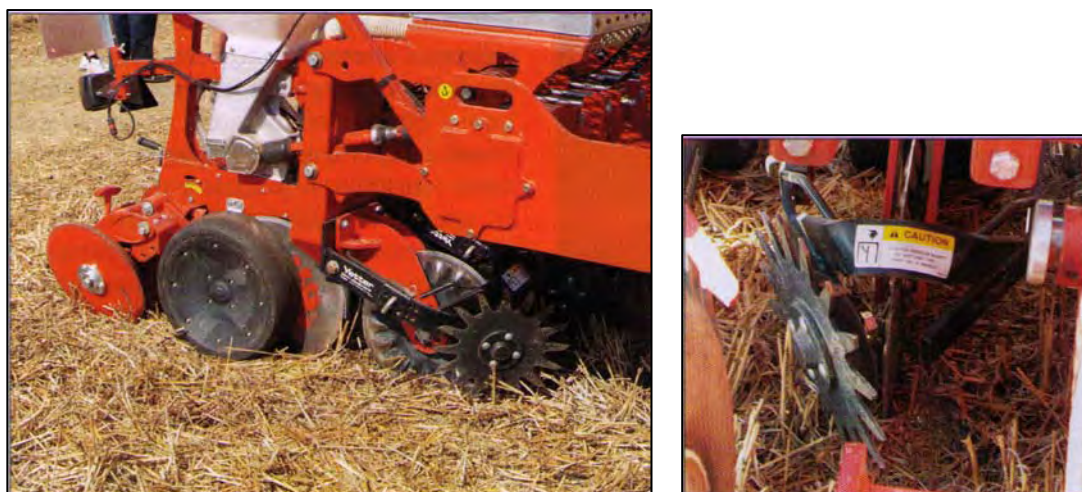


Figura 65: Singolo utensile spartitore anteposto al disco preparatore

3.1.4.1.2. Utensili per il taglio del residuo

A questi utensili, generalmente costituiti da un disco folle, viene affidato il compito di tagliare il residuo colturale e di produrre una minima lavorazione limitata alla linea di semina. Il taglio del residuo deve essere efficace per evitare che esso venga introdotto nel solco dove potrebbe ostacolare la germinazione o, irrigidendosi a seguito della perdita di umidità, sollevare il seme esponendolo all'aria. La regolazione della profondità di lavoro è importante perché il disco deve penetrare nel terreno per non più di un quarto del suo diametro, in modo da non perdere l'angolo di taglio ideale, e riuscire così

a vincere la resistenza offerta dal residuo colturale. Il profilo del disco deve risultare idoneo ad eseguire sia il taglio che la lavorazione adattandosi alle diverse condizioni del suolo. Quelli caratterizzati da un profilo liscio non smuovono il terreno, hanno una grande capacità di penetrazione e per questo dovrebbero essere muniti di un dispositivo regolatore della profondità. I dischi con profilo ondulato sono disponibili con diversi gradi di curvatura delle ondulazioni. Questa tipologia opera bene anche ad alte velocità. Al crescere della curvatura e della profondità dell'incisione sul disco incrementa l'effetto sul suolo a discapito però di quello di taglio e di penetrazione (Figura 66). Infine il disco deve essere opportunamente caricato. La forza peso che agisce su di un unico disco può oscillare fra gli 80 e 200 kg e deve poter essere regolata in funzione delle condizioni del terreno.



Figura 66: Disco con ondulazioni molto pronunciate

3.1.4.1.3. Assolcatori

Questo è un utensile fondamentale perché provvede a creare il solco e a deporre il seme alla giusta profondità. Può operare su terreno vergine o preventivamente lavorato dagli organi sopra descritti. In entrambi i casi il carico sugli assolcatori è sempre elevato e sempre regolabile in un ampio intervallo (Figura 67).



Figura 67: Seminatrice di precisione caratterizzata da un elemento di semina munito solo degli utensili fondamentali.

L'assolcatore più diffuso è quello caratterizzato da due dischi appaiati, lisci e taglienti, che divergono leggermente nella parte posteriore e superiore, ciascuno munito di una ruota in gomma o in metallo ad esso solidale che limita la profondità. In questa tipologia, detta a doppio disco, il tubo adduttore del seme si inserisce fra i dischi guidando il seme nella

sua discesa. Nella parte anteriore è presente un utensile curvo, solidale al telaio dell'elemento, che protegge il tubo e la discesa del seme impedendo al terreno di penetrare fra i dischi. Nelle seminatrici che operano col disco preparatore anteriore (triplo disco). Al disco anteriore è affidato il compito di smuovere una sezione di terreno all'interno della quale andrà ad operare l'assolcatore a doppio disco.

L'assolcatore divarica il terreno, comprimendolo lateralmente, mentre il disco preparatore lo lavora e solo parzialmente lo comprime producendo un minor effetto di "lisciamento" del terreno. Indipendentemente dalla strategia adottata è quindi opportuno optare per assolcatori caratterizzati da una ridotta larghezza. Infatti, un solco ampio genera un maggiore sforzo di trazione, è più difficile da chiudere e determina una maggiore compressione laterale; inoltre il compattamento e il lisciamento delle pareti del solco che ne deriva, potrebbe avere influenze negative sullo sviluppo della pianta. Più diffusi ed efficaci invece sono quegli utensili che, montati posteriormente, provvedono a trattenere il seme e il terreno nel solco. Sono sostanzialmente organi di compattazione che operano nel solco prima della sua chiusura agevolando l'azione dei chiudi solco posteriori ed evitando che una eccessiva compressione sulla superficie produca nei terreni umidi uno strato indurito che interferirebbe con l'emergenza della futura plantula. Questi possono essere elementi detti a coda di castoro, realizzati in materiale plastico o teflon, che sporgono vistosamente dal retro dell'assolcatore o piccole ruotine gommate. Un'alternativa a questo assolcatore è rappresentata dal disco singolo che può essere piatto o convesso, con profilo liscio o crestato, sempre di grandi dimensioni, montato più o meno inclinato rispetto alla direzione di avanzamento (fino ad un massimo di 5- 7°) (Figura 68).



Figura 68: Seminatrice a righe con assolcatore a disco singolo e chiudi solco a ruota gommata indipendente.

Maggiore capacità di tagliare il residuo colturale e di mantenere costante la profondità offre l'assolcatore a disco singolo con ruota di profondità in metallo nelle semine dei cereali autunno-vernini, dove viene largamente utilizzato anche in virtù della semplificazione e della riduzione dei costi che offre (Figura 69).



Figura 69: Esempi di elemento per la semina a righe composti da un assolcatore a disco singolo con ruota di profondità in metallo e in gomma e chiudi solco a ruota singola.

3.1.4.1.4. Organi per la regolazione della profondità

Mantenere costante la profondità di deposizione consente di ottenere una emergenza uniforme della coltura evitando che le piante nate successivamente subiscano il dominio per luce e risorse nutritive da parte di quelle più sviluppate. La soluzione più idonea per operare su terreno sodo in presenza di residui è rappresentata da ruote in gomma o in metallo applicate direttamente sull'assolcatore e lateralmente ad esso. Sull'elemento a doppio disco queste ruote devono essere presenti su entrambi i lati dell'assolcatore, mentre sul monodisco solo sul lato opposto a quello dove è montato l'organo seminatore (Figura 70). Il centro di queste ruote dovrebbe coincidere con l'asse di caduta del seme. Le ruote larghe, rispetto alle strette, sono più sensibili alla presenza dei residui colturali che quando sono abbondanti e mal distribuiti non riescono a mantenere una profondità di semina costante. Le ruote strette, invece, riescono a comprimere meglio il residuo risentendo meno di una sua disomogenea distribuzione.



Figura 70: Seminatrice di precisione con assolcatore a doppio disco munito di ruote di profondità in gomma e chiudi solco con profilo in gomma.

3.1.4.1.5. Elementi chiudisolcho

L'operazione di semina termina con la chiusura del solco che viene affidata ad organi ricopritori e ad organi compressori. Questa fase dell'operazione è molto importante perché deve garantire la copertura del seme e il contatto fra il seme e il suolo in modo da assicurare una sua rapida e continua umidificazione. L'insufficiente chiusura del solco di semina è una delle principali cause della mancata emergenza, soprattutto in colture sensibili a questo aspetto come il mais, perché espone il seme alla predazione da parte della fauna e ne impedisce l'umidificazione. Una disomogenea o insufficiente compressione tende invece a generare nascite scalari. Quando il suolo è umido, una compressione quasi verticale sul terreno che sovrasta il seme può portare alla formazione di una crosta che ostacola fisicamente l'emergenza della piantina. Inoltre in suoli umidi e pesanti, la fessurazione prodotta da dischi anteposti all'assolcatore o da dischi assolcatori molto divergenti può risultare difficile da rimarginare quando si opera in terreni umidi. La chiusura del solco di semina e l'azione di compressione possono essere affidate ad organi distinti. In questo caso è possibile trovare a valle dell'assolcatore degli organi ricopritori, detti anche rinalzatori, che attraverso la disgregazione del margine del solco e/o il recupero del terriccio appena smosso dall'assolcatore provvedono a coprire il solco (Figura 71).



Figura 71: In questa seminatrice a righe all'assolcatore a doppio disco segue un piccolo disco convesso e in metallo che effettua una prima chiusura del solco seguita da una ruota con profilo gommato munita di raschiafango

Più spesso un unico organo realizza entrambe le funzioni. Può essere costituito da un unico ruotino in metallo a profilo conico, quando equipaggia

elementi per la semina righe, o da due ruote opposte e inclinate in modo da comprimere i bordi del solco, sia nella semina a righe che di precisione (Figura 72).

Figura 72: Nella semina a righe è frequente il ricorso a chiudisolco costituiti da una ruota singola, in metallo, dotata di profilo conico.



Aspetto fondamentale è la regolazione del carico (in genere attuato mediante una molla), dell'angolo e della posizione delle ruote. In particolare alcuni dispositivi muniti di ruote dentate consentono di modificare la distanza fra le ruote inserendo un apposito distanziatore.

Inoltre consentono di porre la corona dentata all'interno o all'esterno, in modo da modificare l'aggressività dell'utensile sul terreno. Grazie a questi dispositivi e regolazioni diventa possibile utilizzare un'unica tipologia di utensile per tutte le condizioni (Figura 73).



Figura 73: Chiudi solco a doppia ruota dentata, molto efficace, che consente di modificare la distanza fra le ruote e la loro inclinazione e permette di montare le creste rivolte verso l'esterno.

4. Considerazioni di natura economica

All'Agricoltura Conservativa (AC), sono associate importanti esternalità ambientali (minore emissione di CO₂ e incremento della sostanza organica nel suolo, riduzione dell'erosione del suolo, intensificazione della biodiversità e dell'attività biologica del suolo, minore compattamento del suolo, ecc.) e rilevanti impatti di interesse agronomico ed economico-gestionale sulle attività dell'impresa agricola. Mentre la presenza di esternalità ambientali positive e negative trova maggiore coerenza con l'interesse pubblico, gli aspetti agronomici ed economico-gestionali hanno un peso determinante nella formulazione del giudizio di convenienza privata che è alla base della scelta di adozione o meno dell'AC nell'impresa agricola. Gli aspetti economici sono fondamentalmente individuati dalle produzioni e dai relativi costi che hanno immediati riflessi economico-contabili. Ai precedenti si aggiungono una serie di elementi con ripercussioni agronomico - gestionali (ad esempio periodo utile per la semina, condizioni di emergenza, effetti sul calendario di lavoro, ecc.). Questi aspetti influenzano direttamente la redditività della coltivazione, incidendo sull'attivo (i ricavi) e sul passivo (i costi di produzione) che ne sono alla base; sono pertanto al centro delle valutazioni che possono determinare l'adozione o meno delle diverse tecniche di Agricoltura Conservativa da parte degli imprenditori agricoli.

4.1. Gli impatti economico-gestionali dell'adozione dell'AC nell'azienda agricola

L'Agricoltura Conservativa per effetto della riduzione o dell'assenza delle lavorazioni del terreno genera un generale miglioramento delle caratteristiche agronomiche del terreno (struttura del suolo, infiltrazione ed immagazzinamento dell'acqua, capacità di trattenere nutrienti e principi attivi, ecc.), grazie all'incremento del contenuto di sostanza organica nel suolo ed alla limitazione dei processi di erosione. Dal punto di vista agronomico i principali effetti sul ciclo produttivo sono riconducibili alle eventuali variazioni nella produttività delle colture e nella maggiore pressione della flora infestante. Alle valutazioni di natura agronomica fanno seguito le considerazioni di natura economica. La struttura dei costi, infatti, si modifica interessando prevalentemente due voci di spesa: da un lato si contraggono i costi relativi alle lavorazioni e, dall'altro, crescono quelli relativi alle operazioni di diserbo. Le eventuali differenze nelle rese produttive si ripercuotono invece nel valore dei ricavi. Le esperienze relative ai paesi in cui l'Agricoltura Conservativa è attualmente diffusa indicano in maniera generalizzata un contributo positivo di queste tecniche alla contrazione dei costi aziendali - più marcato nel caso della semina diretta — che consente, anche nel caso di contrazione delle rese, migliori performance economiche complessive. Questo elemento ha rappresentato, di fatto, uno degli elementi di maggiore stimolo alla loro adozione.

4.1.1. La produzione

Per quanto concerne le rese (t/ha), sebbene in presenza di risultati diversificati, sembra che la semina su sodo in particolare, ma tutte le tecniche di AC in generale, non abbiano effetti negativi sulle rese. Questo rappresenta un primo importante risultato della sperimentazione condotta nel nostro Paese su più colture, essendo il dato in linea con le esperienze acquisite in altri Paesi. In termini produttivi emerge perciò una situazione di sostanziale indifferenza tra la semina su sodo e le altre tecniche di lavorazione conservativa, da una parte, e le pratiche agricole convenzionali dall'altra.

4.1.1.1. I costi di produzione

La stima dei costi di produzione rappresenta la parte più articolata e complessa della valutazione economica. L'analisi tecnica dei processi produttivi ha, però, evidenziato che le principali operazioni interessate da modificazioni nel passaggio dall'agricoltura tradizionale a quella conservativa sono quelle concernenti le lavorazioni del suolo ed il diserbo, quindi la valutazione economica della convenienza tra le due tecniche può concentrarsi su queste voci di costo. Il primo e più importante elemento di differenza fra l'AC e la tecnica convenzionale è rappresentato dalla riduzione degli interventi di lavorazione del suolo, fino alla loro completa assenza. Le macchine operatrici utilizzate (estirpatore, chisel, erpice o macchine combinate) richiedono, inoltre, trattori di potenza ridotta rispetto a quelli impiegati tradizionalmente per l'aratura. Il minore impiego delle macchine o il ricorso a trattori di minore potenza si traduce pertanto in un risparmio, che riguarda, da un lato, una contrazione dell'usura delle macchine stesse, e, dall'altro, un loro minore effettivo utilizzo. A ciò è pertanto associato una proporzionale contrazione del consumo di carburante e dei tempi di lavoro, che rappresentano ulteriori importanti voci di riduzione dei costi. Per contro, l'Agricoltura Conservativa richiede la disponibilità di un'attrezzatura specializzata, soprattutto per quanto riguarda le operazioni di semina su sodo. L'adozione di tecniche di AC comporta perciò un investimento iniziale nell'adeguamento o rinnovamento del parco macchine aziendale. Il secondo elemento che cambia la struttura dei costi rispetto alla tecnica convenzionale è rappresentato dall'operazione supplementare di diserbo richiesta in fase di pre-semina, sia nel caso della minima lavorazione che della semina su sodo. In questo caso occorre considerare sia i maggiori costi del principio attivo impiegato, che le spese relative alla distribuzione del prodotto in campo (macchina, carburante, lavoro).

4.1.1.2. Adeguamento del parco macchine aziendale

Nello sviluppo di un ragionamento che valuti la convenienza economica dell'adozione nell'impresa agricola dell'Agricoltura Conservativa, l'elemento cardine è rappresentato dalla necessità di disporre di un adeguato parco macchine. Le lavorazioni su terreni che presentano uno strato di materiale organico dovuto ai residui colturali, richiedono, infatti, particolari soluzioni tecniche ed idonee attrezzature.

Questo elemento è in grado di influenzare in maniera importante le scelte dell'imprenditore agricolo e rappresenta, di fatto, uno dei principali ostacoli alla diffusione di queste tecniche. La non rispondenza del parco macchine aziendale esistente alle esigenze dell'AC può essere risolto:

1. ricorrendo ai servizi di un contoterzista;
2. adeguando il parco macchine esistente;
3. rinnovando completamente il parco macchine aziendale.

La prima soluzione rappresenta senz'altro la via più rapida per adottare tecniche di Agricoltura Conservativa in azienda'. In una fase di primo approccio o di "conoscenza" di queste tecniche pertanto può rappresentare un'opzione valida, che trova, inoltre, importanti ragioni di coerenza economica.

L'utilizzo o il semplice adeguamento del parco macchine già presente in azienda può rappresentare un percorso possibile solo nel caso di tecniche di Agricoltura Conservativa quali la minima lavorazione. Ma nel caso della semina su sodo occorre acquistare macchine specializzate ed eventualmente dismettere quelle non più utilizzate. La difficoltà di valutare correttamente questi fattori determinano una sostanziale situazione di freno al rinnovamento del parco moto-culturale a livello aziendale, in particolare nelle aziende a conduzione familiare, con superfici medio-piccole.

Maggiori ragioni a supporto del rinnovamento sono invece riconducibili ai modelli aziendali a conduzione capitalistica dove l'adozione dell'AC su una scala dimensionale più ampia può giustificare i nuovi investimenti ed il precedente parco macchine non deve necessariamente essere dismesso, ma può essere riorganizzato secondo nuovi principi di efficienza.

4.1.1.3. La maggiore rilevanza delle operazioni di diserbo

In caso di adozione di tecniche di Agricoltura Conservativa vi è la necessità di rafforzare le operazioni di diserbo. Per valutare gli impatti economico-gestionali si semplifica l'analisi mettendo a confronto le due situazioni estreme:

- la tecnica tradizionale, che prevede l'aratura profonda, e le altre operazioni di frangizollatura, erpicatura e rullatura;
- la semina sul sodo nella quale non viene effettuata alcuna lavorazione fra la raccolta e la semina successiva.

Ogni altra combinazione sarà caratterizzata da risultati intermedi: è questo il caso di lavorazioni ridotte, doppie lavorazioni, lavorazioni combinate, ecc. L'adozione della semina diretta elimina le operazioni di preparazione del letto di semina, ma richiede quasi sempre la realizzazione di almeno un intervento aggiuntivo di diserbo per il controllo delle infestanti. Vi è quindi un trade off tra lavorazioni

meccaniche e controllo chimico delle infestanti che può assumere portata e contorni diversi, in relazione a specifiche situazioni agro-colturali, precessioni colturali, andamenti climatici, ecc. La semina sul sodo può avvenire su suoli fortemente infestati: è questo il caso, ad esempio, di successioni colturali che lasciano un lungo intervallo tra la precedente raccolta e la nuova semina. In questi casi è sempre necessario un intervento di diserbo in pre-semina con un prodotto a largo raggio, ad effetto totale; tale intervento potrebbe poi essere completato con ulteriori interventi in post-emergenza. L'insuccesso del diserbo chimico, lasciando spazio al propagarsi della flora infestante, comporta l'adozione di dosi più alte in tempi successivi con un aggravio di lavoro, di costi e di impatto ambientale. I costi degli interventi di diserbo rappresentano pertanto una componente di impossibile generalizzazione, fortemente dipendente dal singolo contesto applicativo, in grado di incidere in maniera diversa sulla convenienza economica dell'AC.

4.1.1.4. Il modello aziendale

Sul piano economico, in relazione al contesto aziendale e d'impresa in cui l'agricoltura viene praticata, le stesse scelte "tecniche" possono avere ricadute "economiche" sostanzialmente diverse per soggetti imprenditoriali diversi.

Per comprendere la portata di questo ragionamento si possono distinguere tre situazioni:

- aziende che si avvalgono di servizi esterni per le lavorazioni del suolo;
- aziende a conduzione capitalistica (spesso di medio-grandi dimensioni) , con manodopera salariata e con un parco macchine proprio;
- aziende a conduzione diretta, in cui anche il lavoro viene fornito dall'imprenditore agricolo.

Per quanto concerne il primo gruppo, l'insieme di operazioni di lavorazioni del suolo comporta una spesa che, nel momento in cui non viene sostenuta, rappresenta un beneficio netto per l'impresa. Questo beneficio deve essere ridotto per i maggiori oneri da imputarsi agli interventi di diserbo aggiuntivi, il cui costo comprensivo di prodotti e distribuzione a tariffe di contoterzismo è generalmente considerevolmente inferiore, con un saldo nettamente positivo. Nel caso dell'uso di attrezzature proprie, l'eliminazione delle lavorazioni riduce l'usura delle macchine stesse, ma, nell'eventualità in cui tali macchine non vengano alienate, permangono le componenti fisse del costo rappresentate dalle quote di ammortamento, dalla manutenzione e dall'assicurazione, che sono indipendenti dall'uso: La loro incidenza resta pertanto sostanzialmente invariata. L'impiego di tempo richiesto per svolgere il pacchetto di operazioni di lavorazione del suolo (aratura, frangizollatura, erpicatura, rullatura) varia tra 6 e 10 ore per ettaro; tale impiego costituisce un costo esplicito e specifico solo per le imprese capitalistiche, dove la remunerazione viene stabilita su base sindacale. In questo caso con l'adozione dell'AC si registra un netto contenimento dei costi del lavoro. Nelle imprese a conduzione diretta il lavoro non rappresenta un costo, ma una remunerazione. Esso, infatti, essendo fornito dall'imprenditore stesso, rientra nel reddito misto di capitale, lavoro ed impresa che costituisce

l'entrata complessiva dell'imprenditore. Nel caso in cui il tempo non possa essere impiegato in altre attività, il risparmio di lavoro non si traduce quindi, nella percezione dell'imprenditore, in un reale beneficio economico. Questa situazione può risultare frequente in imprese di ridotte dimensioni aziendali, in cui il lavoro è una risorsa non utilizzata appieno.

Sia nell'impresa capitalistica che in quella condotta in maniera diretta, un ulteriore elemento di risparmio è rappresentato dal consumo di gasolio associato alla realizzazione delle lavorazioni aziendali (circa 50/80 kg complessivi) che non vengono più realizzate. In sintesi l'adozione della semina sul sodo con l'eliminazione delle lavorazioni profonde e di quelle necessarie alla preparazione del letto di semina comporta un miglioramento generalizzato dei risultati economici aziendali, la cui valutazione però varia in relazione non solo ad aspetti connessi allo stato del suolo, alla giacitura, alla successione colturale, ma anche alla forma di impresa, in particolare in relazione alla proprietà dei fattori di produzione immessi nel processo produttivo.

4.1.2. L'impatto economico per alcune colture di rilievo

Sono stati raccolti i conti colturali relativi a quelle colture che a livello italiano sono potenzialmente interessate dall'Agricoltura Conservativa (grano tenero, grano duro, mais), in imprese localizzate nelle loro principali aree di diffusione, identificando — ove necessario — le differenti strutture dei costi per coltivazioni realizzate in pianura e collina. I valori rilevati hanno riguardato esclusivamente le voci di costo relative alle operazioni colturali interessate da una variazione tra tecniche convenzionali e pratiche di Agricoltura Conservativa. In particolare le principali differenze fra le tecniche di Agricoltura Conservativa e quelle convenzionali riguardano (Tabella 4):

- le lavorazioni di preparazione del terreno: limitate alle lavorazioni secondarie nella minima lavorazione ed assenti nella semina su sodo;
- le modalità di semina, per le quali si è assunto un maggiore impiego di seme ed un maggiore costo delle seminatrice;
- le operazioni di diserbo, che prevedono un intervento aggiuntivo in pre-semina.

	Minima lavorazione	Semina su sodo
Lavorazione del terreno		
Aratura	Assente	Assente
Lavorazione secondaria	Invariata	Assente
Semina		
Quantità seme	Invariata	+10 %
Seminatrice	Invariata	+25 %
Concimazione	Invariata	Invariata
Diserbo		
Quantità prodotto	+ 15 €/ha	+ 15 €/ha
Distribuzione	Un passaggio aggiuntivo	Un passaggio aggiuntivo
Mietitrebbiatura	Invariata	Invariata

Tabella 4: Ipotesi base per la stima dei costi in tecniche di Agricoltura Conservativa (minima lavorazione e semina su sodo). (Pisante, 2007)

4.1.2.1. Mais

	Convenzionale	Minima Lavorazione	Semina su sodo
Lavorazioni	208	108	
Aratura	100		
Frangizollatura/Sarchiatura	52	52	
Erpicoltura	56	56	
Semina	177	177	199
Distribuzione	45	45	54
Seme	132	132	146
Diserbo	97	125	125
Pre-semina		15	15
Pre-emergenza	19	19	
Post-emergenza	53	53	72
Distribuzione	25	38	38
Totale	482	410	324
Minori Costi		72	158

Tabella 5: Nord-Ovest: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di mais in pianura. (Pisante, 2007)

	Convenzionale	Minima Lavorazione	Semina su sodo
Lavorazioni	202	118	
Aratura	83		
Frangizollatura/Sarchiatura	37	37	
Erpicoltura	43	43	
Estirpatura	39	39	
Semina	156	156	175
Distribuzione	33	33	40
Seme	122	122	135
Diserbo	88	115	115
Pre-semina		15	15
Pre-emergenza	29	29	
Post-emergenza	37	37	66
Distribuzione	23	34	34
Totale	446	389	290
Minori Costi		57	156

Tabella 6: Nord-Est: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di mais in pianura. (Pisante, 2007)

Nel caso della minima lavorazione sono presenti le lavorazioni secondarie effettuate anche con la tecnica convenzionale ed è presente un intervento aggiuntivo di diserbo in pre-semina. Questo comporta un risparmio in termini di costi aziendali pari a 72 euro/ettaro nel Nord-Ovest (Tabella 5) e di 57 euro/ettaro nel Nord-Est (Tabella 6). Nel caso invece della semina su sodo le lavorazioni sono totalmente assenti, è presente l'intervento di diserbo in pre-semina e la semina subisce un incremento di costo sia per la maggiore quantità di seme utilizzata, che per un maggiore costo della seminatrice. In questo caso i risparmi sui costi raggiungono valori più elevati, pari a 58 euro/ettaro nel Nord-Ovest e 156 euro/ettaro nel Nord-Est. Se rapportati ai dati complessivi di costo aziendale consentono una contrazione dei costi variabili tra il 4 ed 5 % per la minima lavorazione e dell'11% per la semina su sodo.

	Costi di produzione	Minima Lavorazione		Semina su sodo	
	€/ha	€/ha	%	€/ha	%
Nord-Ovest	1.462	72	5	158	11
Nord-Est	1.436	57	4	156	11

Tabella 7: Riduzione dei costi per l'adozione di tecniche di Agricoltura Conservativa nel mais. (Pisante, 2007)

4.1.2.2. Grano tenero

	Convenzionale	Minima Lavorazione	Semina su sodo
Lavorazioni	144	78	
Aratura	65		
Frangizollatura	17	17	
Erpicatura	61	61	
Semina	100	100	115
Distribuzione	24	24	32
Seme	76	76	83
Diserbo	69	107	107
Pre-semina		15	15
Pre e/o Post-emergenza	45	45	45
Distribuzione	23	47	47
Totale	522	495	432
Minori Costi		27	91

Tabella 8: Nord-Ovest: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero in pianura (Pisante, 2007)

	Convenzionale	Minima Lavorazione	Semina su sodo
Lavorazioni	176	102	
Aratura	73		
Frangizollatura	46	46	
Erpicatura	57	57	
Semina	103	103	117
Distribuzione	20	20	26
Seme	83	83	91
Diserbo	66	106	106
Pre-semina		15	15
Pre e/o Post-emergenza	41	41	41
Distribuzione	25	50	50
Totale	578	545	457
Minori Costi		33	121

Tabella 9: Nord-Ovest: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero in collina (Pisante, 2007)

	Convenzionale	Minima Lavorazione	Semina su sodo
Lavorazioni	131	68	
Aratura	63		
Frangizollatura	27	27	
Erpicatura	41	41	
Semina	97	97	113
Distribuzione	31	31	40
Seme	66	66	73
Diserbo	59	94	94
Pre-semina		15	15
Pre e/o Post-emergenza	39	39	39
Distribuzione	20	39	39
Totale	549	520	468
Minori Costi		29	81

Tabella 10: Nord-Est: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero in pianura (Pisante, 2007)

	Convenzionale	Minima Lavorazione	Semina su sodo
Lavorazioni	174	79	
Aratura	98		
Frangizollatura	36	36	
Erpicatura	40	40	
Semina	107	107	124
Distribuzione	32	32	41
Seme	75	75	83
Diserbo	80	115	115
Pre-semina		15	15
Pre e/o Post-emergenza	40	40	40
Distribuzione	40	60	60
Totale	598	535	476
Minori Costi		63	122

Tabella 11: Centro, Collina: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero (Pisante, 2007)

Nel caso dell'adozione della minima lavorazione, anche in questo caso, tra le lavorazioni non è presente l'aratura, mentre vengono considerate le lavorazioni secondarie effettuate con la tecnica convenzionale e viene considerato un intervento aggiuntivo di diserbo in pre-semina⁷. Complessivamente il risparmio aziendale oscilla fra i 27 ed i 63 euro/ettaro e risulta più accentuato nelle aree collinari, dove il costo delle lavorazioni è maggiore perché occorre operare su superfici declivi. La semina su sodo prevede invece l'assenza delle lavorazioni, l'intervento di diserbo in pre-semina e incrementi di costo della semina sia per la maggiore quantità di seme utilizzata (+ 10%), che per un maggiore costo della seminatrice (+30%). In questo caso i risparmi sono più importanti e variano fra gli 81 ed i 91 euro/ettaro in pianura e superano i 122 euro/ettaro in collina. In relazione ai costi complessivi aziendali, le contrazioni di costo per la coltura del grano tenero in caso di adozione della minima lavorazione sono più contenute nel Nord-Ovest e nel Nord-Est, rispetto al Centro. Questo stesso decremento percentuale si registra nel Nord-Est per la semina su sodo, che fa conseguire risparmi dell'ordine del 12% nel Nord-Ovest e del 17% nel Centro.

	Costi di produzione	Minima Lavorazione		Semina su sodo	
	€/ha	€/ha	%	€/ha	%
Nord-Ovest	868	29	3	100	12
Nord-Est	908	29	3	80	9
Centro	734	63	9	122	17

Tabella 12: Riduzione dei costi per l'adozione di tecniche di Agricoltura Conservativa nel grano tenero. (Pisante, 2007)

4.1.2.3. Grano duro

	Convenzionale	Minima Lavorazione	Semina su sodo
Lavorazioni	161,01	77,65	
Aratura	83,36		
Frangizollatura	41,93	41,93	
Erpicatura	35,72	35,72	
Semina	98,99	98,99	113,87
Distribuzione	24,88	24,88	32,34
Seme	74,12	74,12	81,53
Diserbo	86,43	101,16	101,16
Pre-semina		15	15
Pre e/o Post-emergenza	32,96	32,96	32,96
Distribuzione	35,46	53,20	53,20
Totale	546,35	495,73	432,95
Minori Costi		51	113

Tabella 13: Centro, Collina: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero. (Pisante, 2007)

	Convenzionale	Minima Lavorazione	Semina su sodo
Lavorazioni	147	74	
Aratura	73		
Frangizollatura	40	40	
Erpicatura	34	34	
Semina	82,32	82,32	96,76
Distribuzione	31	31	40,30
Seme	51,32	51,32	56,46
Diserbo	72,35	105,68	105,68
Pre-semina		15	15
Pre e/o Post-emergenza	54,01	54,01	54,01
Distribuzione	18,33	36,67	36,67
Totale	508,77	469,10	409,54
Minori Costi		40	99

Tabella 14: Centro, Collina: Variazione dei costi specifici aziendali (€/ha) fra tecnica convenzionale, minima lavorazione e semina su sodo di grano tenero. (Pisante, 2007)

A differenza del mais e del grano tenero, la localizzazione geografica del grano duro è dunque prevalente nel Centro e nel Sud Italia. Pertanto la stima degli impatti sulle aziende si è concentrata in

queste due aree con una prevalente dislocazione delle unità aziendali in aree collinari. Con l'adozione della minima lavorazione tra le lavorazioni viene eliminata l'aratura, permangono le lavorazioni secondarie e viene aggiunto il diserbo in pre-semina, con un risparmio in termini di costi aziendali pari a 51 euro/ettaro nel Centro e di 40 euro/ettaro nel Sud. Nel caso invece della semina su sodo non vi sono le lavorazioni, è presente l'intervento di diserbo in pre-semina e la semina subisce un incremento di costo sia per la maggiore quantità di seme utilizzata, che per un maggiore costo della seminatrice. In questo caso i risparmi sui costi raggiungono valori più importanti, pari a 113 euro/ettaro nel Centro e 99 euro/ettaro nel Sud. In relazione al costo aziendale, il grano duro consente una contrazione dei costi che oscilla tra il 6 ed 7% per la minima lavorazione, mentre per la semina su sodo i dati fra le due aree sono più distanti e pari al 13% al Centro ed al 18% al Sud.

	Costi di produzione	Minima Lavorazione		Semina su sodo	
	€/ha	€/ha	%	€/ha	%
Centro	850	51	6	113	13
Sud	554	40	7	99	18

Tabella 15: Riduzione dei costi per l'adozione di tecniche di Agricoltura Conservativa nel grano duro. (Pisante, 2007)

5. Materiali e Metodi

5.1. Protocollo di prova per la valutazione delle macchine utilizzate per le minime lavorazioni del terreno

Sulla base dei capitoli precedenti è stato sviluppato un protocollo di prova che caratterizza le macchine per la minima lavorazione del terreno secondo i criteri della lavorazione conservativa.

5.1.1. Valutazione delle prestazioni operative

- **Classificazione della macchina ed accertamenti preliminari**

La macchina da esaminare deve essere classificata ed identificata in base agli organi lavoranti di cui è dotata ed alle funzioni che svolge a carico del terreno.

La profondità di lavoro, lo spessore dello strato lavorato ed il sovrizzo relativi alle macchine che operano su terreno sodo devono essere determinati con appositi strumenti quali il profilometro a lettura automatica della distanza mediante dispositivo laser o ultrasuoni. Oltre a rilevare il profilo superficiale del terreno, questo strumento, opportunamente posizionato, consente anche di avere, in un'unica strisciata, le differenze di livello fra la superficie non lavorata, il fondo di lavorazione e la superficie dopo la lavorazione. Per profondità di lavoro deve intendersi la distanza del fondo della lavorazione dalla superficie del terreno non lavorato. Lo spessore dello strato di terreno lavorato sarà dato invece dalla distanza dal fondo della lavorazione alla sommità della superficie lavorata. Il sovrizzo sarà dato dalla differenza tra spessore dello strato lavorato e profondità di lavoro.

- **Capacità di lavoro teorica**

La **capacità di lavoro teorica** delle macchine sarà determinata su base di lunghezza nota, misurata mediante rotella metrica in acciaio (All. 1) in parcelle poste all'interno del banco prova e sarà calcolata dal prodotto tra larghezza effettiva e velocità di lavoro, utilizzando la nota formula:

$$C_{lt} = b_e \cdot v_1 / 10 \text{ [ha} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

dove:

C_{lt} = capacità di lavoro teorica [ha/h]

b_e = larghezza effettiva di lavoro [m]

v_1 = velocità di lavoro [km/h]

I tempi sulla base potranno essere determinati manualmente tramite cronometri elettronici o tramite sistemi automatici di rilevamento (fotocellule, segnali radio, etc.).

- **Consumi di combustibile**

La quantità di combustibile consumata dalla trattrice durante lo svolgimento della prova di lavorazione del terreno all'interno dell'appezzamento sopra specificato (e quindi nel periodo corrispondente al tempo in moto) dovrà essere determinata in riferimento all'unità di tempo (ora). A questo proposito, occorre distinguere fra il consumo orario rilevabile effettivamente durante il lavoro, che definiremo **consumo orario effettivo (C_{hev})** e il consumo orario risultante, oltre che dal lavoro, anche dall'effetto delle voltate, che indicheremo come **consumo orario operativo (C_{ho})**.

- **Consumo orario effettivo**

Il metodo prevede l'utilizzo di uno specifico misuratore di consumo da inserire nel circuito di alimentazione del trattore e in grado di misurare il volume (normalmente in cm^3) di combustibile consumato nell'intervallo di tempo necessario a percorrere, lavorando, la base misurata di prova. Dal valore ottenuto, riferito all'unità di tempo (s) si ricaverà il consumo orario in l/h. Moltiplicando questo valore per la massa volumica (kg/l) del gasolio si otterrà il consumo orario in kg/h

In sostanza avremo:

$$C_{hev} = 3,6 \cdot c_{eb} / T_b \quad [\text{l} \cdot \text{h}^{-1}]$$

dove:

C_{hev} = consumo orario di combustibile in volume [$\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$]

c_{eb} = consumo effettivo sulla base misurata [cm^3]

T_b = tempo necessario a percorrere, in lavoro, la base misurata (s).

Il consumo orario di combustibile espresso in termini di massa deve altresì essere calcolato moltiplicando (C_{hev}) per la massa volumica del gasolio (γ_g):

$$C_{hem} = C_{hev} \cdot \gamma_g \quad [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$$

dove:

C_{hem} = consumo orario di combustibile in unità di massa [$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$]

C_{hev} = consumo orario di combustibile in volume [$\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$]

γ_g = massa volumica del combustibile [$\text{kg} \cdot \text{l}^{-1}$].

- **Consumo orario operativo (C_{ho})**

Questa misura, come la capacità operativa, è influenzata dalla forma della parcella di prova che determina il numero di voltate necessarie. Pertanto, anche qui vale quanto detto sull'utilizzo di parcelle

di prova aventi forma e dimensioni costanti. In questo caso, il calcolo del consumo orario operativo risulterà dal rapporto fra il volume di gasolio globalmente consumato per lavorare l'intera parcella (comprese le voltate) e il tempo impiegato nell'operazione.

Il consumo orario operativo in volume, C_{hov} , sarà:

$$C_{hov} = 3,6 \cdot c_{op} / T_p \quad [l \cdot h^{-1}]$$

dove:

c_{op} = consumo totale sulla base misurata [cm^3]

T_p = tempo necessario alla lavorazione della parcella di prova (s).

Anche in questo caso il consumo in termini di massa si ottiene dalla relazione:

$$C_{hom} = C_{hov} \cdot \gamma_g \quad [kg \cdot h^{-1}]$$

dove:

C_{hom} = consumo orario operativo in unità di massa [$kg \cdot h^{-1}$]

C_{hov} = consumo orario operativo in volume [$l \cdot h^{-1}$]

γ_g = massa volumica del combustibile [$kg \cdot l^{-1}$].

Il consumo di combustibile per unità di superficie (C_{ha}) potrà essere calcolato come prodotto tra C_{hom} e T_o :

$$C_{ha} = C_{hom} \cdot T_o \quad [kg \cdot ha^{-1}]$$

dove:

C_{ha} = consumo per ettaro di combustibile in unità di massa [$kg \cdot ha^{-1}$]

C_{hom} = consumo orario operativo in unità di massa [$kg \cdot h^{-1}$]

T_o = tempo operativo di lavoro [$h \cdot ha^{-1}$]

- **Forza di trazione**

Deve essere determinata per tutte le macchine operatrici caratterizzate da azioni "statiche" a carico del terreno. Per la determinazione dovrà essere utilizzata una strumentazione "standard" costituita da una cella di carico di appropriato campo di misura. Questa emette segnali in tensione che raggiungono un data logger o un computer portatile e che vengono acquisiti in tempo reale tramite software dedicati. Il valore medio della forza di trazione esercitata dalla trattrice e necessaria al corretto funzionamento della macchina operatrice a velocità costante dovrà essere riportata nella documentazione. Nel caso di macchine trainate la cella di carico può essere interposta direttamente fra trattore e operatrice tramite una barra di traino realizzata in modo da supportare la cella stessa. Massima attenzione dovrà essere rivolta a che l'insieme cella-barra di traino assuma posizione orizzontale lungo l'asse longitudinale del sistema trattore-operatrice. Nel caso delle macchine portate, l'utilizzo dell'attacco a tre punti non consente di interporre direttamente la cella di carico. Per la misura dello sforzo di trazione è

necessario utilizzare un ulteriore idoneo mezzo di trazione (un altro trattore, un camion, ecc) da anteporre al trattore su cui è montata l'operatrice in prova; analogamente a quanto descritto a proposito delle macchine trainate, i due mezzi sono collegati mediante una barra di trazione sensibilizzata.

Lo sforzo di trazione netto, F_{trz} , esercitato dal trattore per azionare l'operatrice potrà ora essere calcolato dalla differenza:

$$F_{trz} = F_1 - F_0 \quad [\text{daN}]$$

Lo sforzo di trazione così ottenuto può essere positivo o negativo: in quest'ultimo caso esso si esplica cioè come una spinta che l'operatrice esercita nei confronti del trattore. In tali condizioni si dovrebbe riscontrare un analogo andamento negativo dello slittamento.

Un metodo diverso, molto più versatile, è stato proposto da RAGNI e SANTORO (1996a, 1996b) e POCHI et al. (1996), che consiste nella sensibilizzazione dell'attacco a tre punti ai fini di una valutazione delle forze indotte nel collegamento motrice-operatrice. Il sistema si differenzia da quello sopra citato per il fatto che tutta la catena di acquisizione, elaborazione e memorizzazione dati è idoneo a fornire un quadro completo delle caratteristiche funzionali di accoppiamenti tradizionali ed in reali condizioni operative. La sensibilizzazione dell'attacco rappresenta la naturale evoluzione dei numerosi sistemi descritti in letteratura; il rilievo delle forze applicate dal trattore è effettuato con celle di carico piezoelettriche triassiali, che consentono la misura diretta delle componenti lungo tre assi ortogonali (Figura 74).

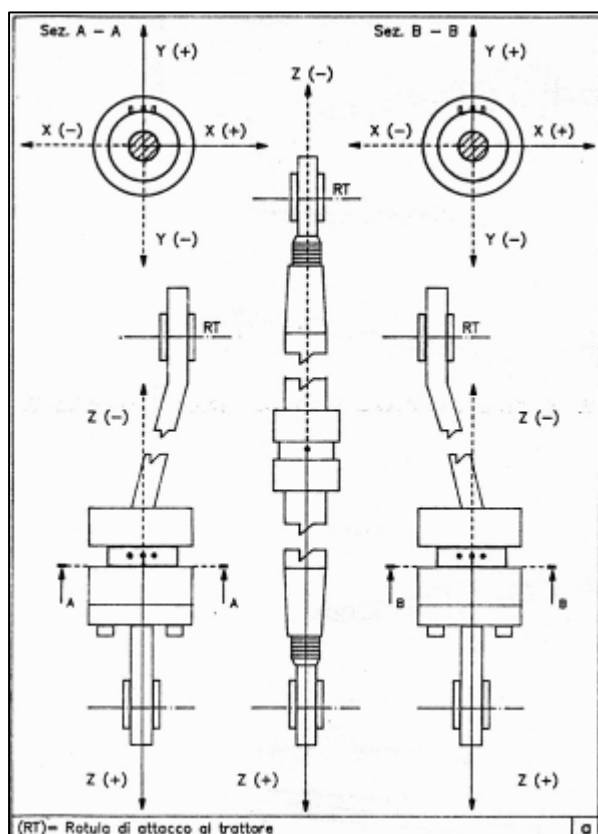


Figura 74: (sinistra) Attacco a tre punti sensibilizzato (RAGNI e SANTORO, 1996 a, b); (destra) Attacco a tre punti sensibilizzato (Centro Prove DLG, 2004)

5.1.2. Caratterizzazione del terreno

- **Norme di riferimento**

- ISO/DIS 10381-1: Soil Quality – Sampling Part 1: Guidance on the design of sampling programmes
- ISO/DIS 10381-2: Soil Quality – Sampling Part 2: Guidance on sampling techniques. 1995
- ISO/DIS 10381-3: Soil Quality – Sampling Part 3: Guidance on safety. 1995
- ISO/DIS 10381-4: Soil Quality – Sampling Part 4: Guidance on the procedure for the investigation of natural, near natural and cultivated sites. 1995
- ISO/DIS 10381-5: Soil Quality – Sampling Part 5: Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites on soil contamination. 2000
- ISO/DIS 11074-2: Soil Quality – Vocabulary – Part 2: Terms and definitions relating to sampling 1997
- ISO/DIS 19258: Soil Quality - Guidance on the determination of background values. 2002

- **Presenza ed entità dei residui vegetali**

Devono essere definite le tipologie e le condizioni dei residui colturali (ad esempio paglie di grano, stocchi di mais trinciati o non trinciati, etc.) e delle erbe infestanti presenti sulla superficie del terreno da lavorare. Per quanto riguarda la valutazione dell'entità della copertura vegetale deve essere calcolato l'**indice di copertura** che è dato dal rapporto tra superficie coperta dalla biomassa vegetale e superficie del terreno. La determinazione dell'indice di copertura può essere attuata mediante analisi di immagine. Il terreno sodo viene fotografato (Figura 75) con interposizione di telai a maglie quadrate di dimensione nota (1m x 1m, Figura 75) e successivamente le fotografie vengono analizzate. A tal fine può essere fatto uso di computer e di software opportunamente predisposti (Figura 76). L'**indice di copertura** viene calcolato direttamente come rapporto tra superfici.

$$\text{ICS} = (S_t / S_{\text{tot}}) * 100$$

Dove:

ICS = Indice di copertura (%)

S_t = Superficie coperta

S_{tot} = Superficie totale

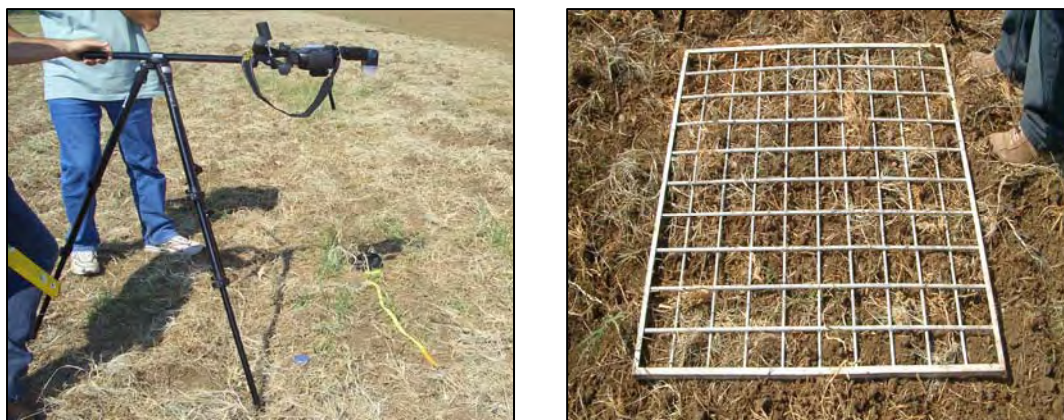


Figura 75: Postazione fotografica (sinistra) e griglia a maglie (destra)



Figura 76: Elaborazione foto

5.1.3. Valutazione della qualità del lavoro svolto dalle macchine.

I parametri che intervengono nella caratterizzazione del terreno come indicato nei paragrafi precedenti sono utilizzati per la valutazione della qualità del lavoro svolto. Generalmente l'effetto della lavorazione risulta dal confronto dei valori che ciascun parametro assume prima della lavorazione e dopo. Di seguito sono riportate le modalità per giungere a detta valutazione. Un'analisi condotta in questo senso evidenzia che più che gli aspetti meccanici sono gli effetti agronomici prodotti, il parametro in base al quale scegliere le attrezzature idonee. Queste attrezzature consentono di effettuare un'unica lavorazione prima della semina: sono destinate ad operare prevalentemente su terreno sodo; dopo il loro passaggio il terreno assume caratteristiche tali da permettere di effettuare la semina con macchine quasi convenzionali.



Figura 77: Campionatura con cilindri

- **Massa volumica apparente del terreno**

Questa caratteristica deve essere determinata dopo la lavorazione ad intervalli di 10 cm fino alla profondità interessata dalla lavorazione. Utilizzando il metodo basato sull'impiego di cilindri metallici normalizzati (Figura 81) inseriti in una sonda carotatrice nei quali il terreno "entra" in modo sufficientemente indisturbato, è possibile effettuare contemporaneamente il prelievo di un unico campione destinato al rilievo della densità apparente e quello dell'umidità del terreno.

La massa volumica apparente del terreno viene così calcolata:

$$Y_t = M_s / V \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

dove:

Y_t = massa volumica apparente del terreno [g/cm³]

M_s = massa secca del terreno contenuto nel cilindretto [g]

V = volume del cilindretto [cm³].

- **Resistenza del terreno alla penetrazione**

La resistenza alla penetrazione deve essere determinata sul terreno mediante penetrometro (Figura 78). Questa caratteristica descrive la capacità della macchina di creare un letto di semina assestato.



Figura 78: Penetrometro standard

- **Zollosità del terreno**

Il rilievo della zollosità avviene nei primi 10 cm tramite apertura di trincee. Gli aggregati del terreno presente nel volume così definito devono essere suddivisi in classi dimensionali tramite vagliatura. La caratterizzazione della zollosità del terreno lavorato si otterrà riferendo la massa di ciascuna classe dimensionale, ottenuta dalla pesatura delle frazioni ottenute, a quella totale del campione, e calcolando l'indice di affinamento (I_a):

$$I_a = \sum_{i=1}^6 \frac{M_i \cdot I_{ai}}{M_t}$$

dove:

I_a = indice di affinamento complessivo del terreno

$M_i \cdot I_{ai}$ = prodotto della massa relativa a ciascuna delle classi dimensionali delle zolle per il corrispondente indice di affinamento [kg]

M_t = massa totale del campione [kg]

- **Fondo di lavorazione**

L'analisi del fondo di lavorazione tramite profilometro laser viene effettuata per valutare l'omogeneità della lavorazione. La misurazione avviene ogni 2 millimetri.



Figura 79: Profilometro

- **Grado di interrimento dei residui vegetali**

Per calcolare il grado di interrimento della biomassa vegetale (residui colturali e infestanti) deve essere preliminarmente determinato l'**indice di copertura** del terreno dopo il passaggio della macchina operatrice. Questo parametro deve essere determinato con le stesse modalità già illustrate. La media aritmetica dei rilevamenti deve essere riportata nel certificato ed utilizzata per il calcolo del grado di interrimento:

$$G_i = 100 \cdot (I_{cs} - I_{cl}) / I_{cs} \quad [\%]$$

dove:

G_i = grado di interrimento della biomassa vegetale

I_{cs} = indice di copertura del terreno sodo [%]

I_{cl} = indice di copertura del terreno lavorato [%]

- **Distribuzione dei Residui colturali nello strato lavorato in campo**

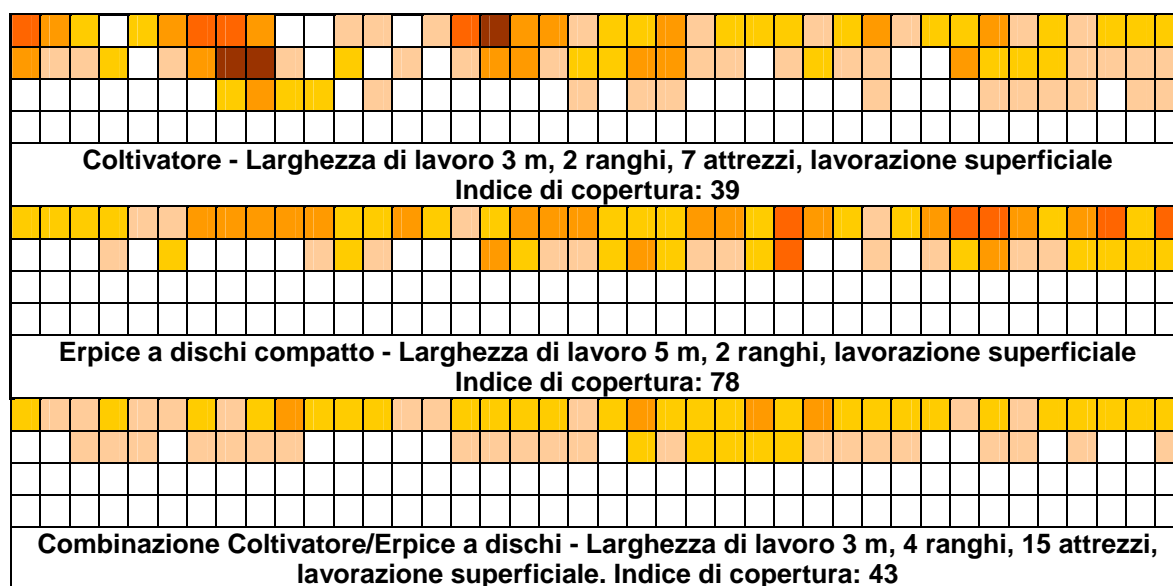


Figura 80: Valutazione visiva della distribuzione nello strato lavorato

La valutazione viene effettuata in campo tramite una griglia a maglie (5 x 5 cm) fino a una profondità di 20 cm; la quantità di residuo colturale contenuta in ogni segmento viene classificata come segue:

	0%
	10%
	25%
	50%
	75%
	100%

Figura 81: Esempi di valutazione visiva della distribuzione dei residui colturali nello strato lavorato (lavorazione superficiale)



6. VSA (Visual Soil Assessment)

Il suolo interagisce dinamicamente con l'atmosfera, la litosfera, l'idrosfera e la biosfera ed esprime molte funzioni di interesse vitale di tipo ecologico e socio-economico fra le quali le più importanti sono la produzione di biomassa (a scopo alimentare e non), l'azione di filtro biologico e di trasformazione di sostanze di vario tipo, la regolazione della stabilità dei paesaggi e di bacini imbriferi, la funzione di habitat biologico e di riserva genetica, di supporto per insediamenti umani e infine la fonte di approvvigionamento di materie prime. Questo concetto di multifunzionalità del suolo e di competizione per usi diversi è di importanza cruciale per la comprensione dei problemi di degradazione/protezione del suolo e degli impatti multipli sull'ambiente che ne derivano. Dopo anni di non corretto uso del suolo, i danni arrecati possono essere di tale di entità da essere fortemente evidenti in termini di perdita dell'elemento suolo (affioramento di strati profondi indesiderati), di fertilità (calo di produzione), di modificazione del paesaggio (impantanamenti, modificazioni morfologiche), di biodiversità (diminuzione delle specie appartenenti alla microflora e alla fauna tellurica) ecc. e tali da richiedere interventi correttivi che molte volte consentono solo un parziale ripristino delle condizioni ottimali. L'agricoltura intensiva, sviluppatasi nel dopoguerra, ha determinato un notevole impatto negativo sulle qualità e le funzioni ecologiche del suolo contribuendo a generare effetti negativi sull'aria, sulla biodiversità, sul paesaggio, sulla salute umana, sull'inquinamento dell'acqua e sul dissesto idrogeologico. Tra i fattori di pressione riguardanti il suolo, le lavorazioni profonde, realizzate per aumentare il franco di coltivazione e migliorare la capacità di immagazzinamento dell'acqua, hanno determinato effetti indesiderati sul suolo, resi ancor più evidenti dalla contemporanea e sempre maggiore riduzione degli apporti di letame. Gli operatori nel settore agricolo hanno bisogno di strumenti realistici, veloci, economici e facili da gestire per poter valutare la rispondenza di un determinato suolo ad una certa coltura e per selezionare decisioni riguardo la scelta del tipo di operazioni che dovrebbero condurre ad una gestione sostenibile dell'azienda.

6.1. Il metodo

Il metodo VSA (Visual Soil Assessment) di seguito riportato è adattato dalla metodologia sviluppata da Shepherd (2007) ed adattato per alcuni sistemi colturali mediterranei da Sheperd et al. (2007). Si basa sulla valutazione visiva di indicatori chiave della qualità del suolo, riportati su una score card. Tali indicatori sono dinamici, cioè in grado di far registrare variazioni del loro punteggio per differente gestione e pressione di utilizzo del suolo. Di conseguenza risultano molto utili perchè in grado di accertare precocemente eventuali variazioni delle condizioni del suolo e quindi rappresentano un efficace strumento di monitoraggio semiquantitativo e comparativo della qualità del suolo.

Punteggio Visivo (PV)

Ad ogni indicatore viene attribuito un “Punteggio Visivo (PV)” di valore 0 (scarso), 1 (medio), o 2 (buono), in base alla qualità del suolo osservata quando il campione di terreno analizzato viene comparato visivamente con tre fotografie codificate per scala di punteggio riportate nella guida. Il valore attribuito è flessibile, così se il campione di suolo valutato non si identifica chiaramente con una delle condizioni riportate in una delle tre foto, ma si pone tra due, può essergli attribuito un punteggio intermedio, ovvero di 0,5 o 1,5. Dal momento che alcuni fattori o indicatori sono relativamente più importanti di altri per la determinazione del livello di qualità del suolo, il VSA prevede un fattore moltiplicativo (fattore di pesata) di 1, 2, e 3. La somma dei diversi punteggi visivi (PV), attribuiti a ciascun indicatore, fornisce il punteggio totale dell’Indice della Qualità del Suolo per il campione di terreno esaminato. Tale punteggio va successivamente confrontato con i valori degli Indici di Qualità del Suolo riportati sul fondo della “score card” per determinare se il suolo è di qualità scarsa, media o buona.

Procedura

Gli strumenti necessari per effettuare il test VSA:

- **Una vanga** necessaria per il prelievo di un campione di suolo di forma cubica di 200 mm di lato;
- **Un contenitore in plastica** necessario per contenere il suolo durante lo shatter test;
- **Una tavola quadrata** rigida da porre sul fondo del contenitore di plastica all’interno del quale il cubo di suolo è lasciato cadere per lo shatter test;
- **Un telo in plastica** sul quale distribuire in modo uniforme il suolo ottenuto con lo shatter test;
- **Una lama** lunga circa 200 mm;
- **Una bottiglia d’acqua** per determinare la classe tessiturale del suolo in esame;
- **Un metro** per misurare la profondità di sviluppo degli apparati radicali.

Quando effettuare il test

Il test dovrebbe essere effettuato quando il contenuto di umidità del suolo si trova nel range ideale indicato per essere manipolato con le lavorazioni. Per poter individuare il momento ottimale velocemente si può applicare il “test del lombrico”. Esso consiste nel cercare di costruire un verme lavorando un pizzico di suolo sul palmo di una mano con le dita dell’altra, fino alle dimensioni di 50 mm di lunghezza e 4 mm di spessore. Se il campione di suolo fessura o si rompe prima che il verme sia completato, o comunque tale figura geometrica non può essere costruita (ad esempio nei casi di suoli completamente sabbiosi), il suolo è allora idoneo per effettuare il test VSA. Se si riesce a manipolare il suolo sino a costruire il verme, il terreno è allora troppo umido per il test VSA.

Preparazione al test

Tempo — Circa 25 minuti per sito. I campioni di suolo vanno prelevati su tre o quattro posizioni per appezzamento al fine di avere una valutazione quanto più rappresentativa della situazione reale.

Campione di riferimento — Come riferimento va prelevato un piccolo campione di suolo al di sotto della zona di lavorazione o da un'area protetta molto vicina. Ciò sarà di aiuto per attribuire un corretto valore all'indicatore "colore del suolo". Il campione costituirà anche un riferimento per valutare la struttura e la porosità del suolo.

Siti — Selezionare siti che siano rappresentativi dell'appezzamento. Evitare aree che potrebbero avere subito un traffico pesante di mezzi o animali rispetto al resto dell'appezzamento. Il VSA può anche essere utilizzato per valutare l'effetto di un traffico intenso sulle caratteristiche fisiche del suolo; a tal fine le zone di maggior traffico possono essere individuate e selezionate ed i risultati comparati con quelli delle zone che hanno avuto un impatto minore.

6.2. Informazioni sul sito

Va completata la prima sezione della "score card" riguardante le informazioni relative al sito nel quale viene effettuato il test.

Osservazioni iniziali. Dopo aver scavato una piccola apertura nel suolo di circa 200x200 mm e profonda 300 mm con una vanga, va osservato lo stato del soprassuolo valutando soprattutto la sua uniformità e la presenza di eventuali strati più friabili o più compatti.

Prelievo del campione di suolo. Se il soprassuolo si presenta uniforme, estrarre un cubo di 200 mm di lato con la vanga. Il campione fornisce il suolo sul quale verranno successivamente valutati molti degli indicatori di qualità del suolo considerati.

La profondità del campione può essere variata, ma il campione di suolo deve sempre rispettare nel suo complesso le dimensioni equivalenti di 200 mm cubici. Se, ad esempio i 100 mm più superficiali di suolo si presentano compattati e se ne desidera determinare le condizioni, si procede ad estrarre due campioni di 200 x 200 x 100 mm. Se la profondità compresa tra 100—200 mm è caratterizzata da uno strato compatto (suola di aratura) e si desidera valutarne le condizioni, vanno rimossi i primi 100 mm di suolo e poi estratti 2 campioni di 200 x 200 x 100 mm. Da notare che estraendo un campione di 200 mm cubici, lo strato di terreno immediatamente sotto il soprassuolo può fornire importanti informazioni circa le condizioni del sottosuolo e le sue implicazioni nella crescita delle colture e nelle tecniche agronomiche.

Il "drop shatter test". Consiste nel lasciare cadere lo stesso campione di suolo per un massimo di 3 volte da un'altezza di circa 1 metro sulla superficie della tavola in legno posta sul fondo del contenitore

in plastica. Le particelle di suolo ottenute vanno trasferite sulla superficie del sacco in plastica distribuite con le dita in modo da avere le zolle più grandi e compatte ad un'estremità e gli aggregati di dimensioni più piccoli all'altra estremità. La distribuzione degli aggregati sul sacco in plastica deve tendere ad ottenere approssimativamente la stessa altezza di suolo su tutta la superficie del sacco. Sistematicamente si procede attraverso la "score card", assegnando un "punteggio visivo" (PV) ad ogni indicatore, comparando il campione di suolo, ottenuto come sopra descritto, con le foto e le descrizioni riportate nella guida.

6.2.1. Tessitura

Prelevare un campione di suolo dalla zona più superficiale del profilo e un campione che sia rappresentativo anche del sottosuolo. Aggiungere acqua fino al punto di massima plasticità ed eliminare gli effetti dovuti all'aggregazione manipolando energicamente con le dita. Cercando di creare con il campione di terreno una piccola sfera, definire la tessitura secondo i criteri riportati nella tabella sottostante.

Nel caso in cui il suolo presenti un elevato contenuto in sostanza organica, nell'ordine del 15—30%, il "PV" va aumentato di una unità (es. da 0 a 1 o 1 a 2). Nel caso in cui il suolo presenti un significativo contenuto in scheletro, il "PV" va diminuito di una unità e mezzo (1.5).

La tessitura del suolo definisce le dimensioni delle particelle minerali. In modo più specifico indica la percentuale in peso relativa delle diverse categorie dimensionali presenti nel suolo, sabbia, limo e argilla. La sabbia è la frazione minerale con dimensione delle singole particelle > 0.06 mm; le dimensioni delle particelle limose variano tra $0.06 - 0.002$ mm mentre la dimensione delle particelle di argilla è < 0.002 mm. La tessitura influenza il comportamento del suolo in diversi modi, principalmente attraverso i suoi effetti sulla struttura, capacità di ritenzione idrica, aerazione, capacità drenante, temperatura, rilascio e adsorbimento di elementi nutritivi. Una buona conoscenza sia della classi tessiture sia del potenziale di approfondimento radicale permette una valutazione, seppur approssimata, della capacità di ritenzione idrica totale del suolo, uno dei principali fattori condizionanti la produzione delle colture.

Punteggio visivo (PV)	Classe tessiturale	Descrizione
2	Limoso-franco	Al tatto, superficie liscia, scivolosa, leggermente appiccicosa, assenza di rilievi. Si modella in una sfera coesa che fessura quando premuta per farla diventare piatta.
1,5	Argilloso franco	Al tatto superficie molto liscia, appiccicosa e plastica. Si modella in una sfera coesa che si deforma senza fessure quando premuta.
1	Sabbioso franco	Al tatto superficie leggermente rugosa, debole suono rasposo. Si modella in una sfera coesa che fessura quando premuta per farla diventare piatta.

0,5	Franco Sabbioso, argilloso	Franco sabbioso: Suono granuloso e rasposo. Non si modella facilmente in una sfera che si disintegra quando premuta. Argilloso: Al tatto superficie molto liscia, molto appiccicosa, molto plastica. Si modella in una sfera coesa che si deforma senza fessure quando premuta.
0	Sabbioso	Suono granuloso e rasposo. Non può essere modellata in una sfera.

6.2.2. Zollosità

Prelevare un cubo di 200 mm di lato con una vanga (in una zona non compattata). Lasciare cadere il campione di suolo prelevato per un massimo di tre volte da un'altezza di circa un metro dentro il contenitore di plastica contenente sul fondo la tavola di legno. Le eventuali zolle più grandi ancora presenti vanno sottoposte alla stessa operazione individualmente per un massimo di due volte. Se una zolla si frattura in pezzi più piccoli (struttura primaria) dopo la prima o seconda caduta, non abbisogna di ulteriori azioni. Ogni singola zolla non va lasciata cadere più di tre volte. Trasferire il suolo così manipolato sopra il telo di plastica rigida. Applicare una leggera pressione, in modo da dividere ogni zolla lungo le eventuali zone di frattura o lungo le fessure esposte. Distribuire le frazioni di suolo partendo da un'estremità, dalle più grossolane alle più piccole. Nel far ciò va posta attenzione nel mantenere costante l'altezza del suolo attraverso l'intera superficie. Ciò fornisce una misura della distribuzione degli aggregati in funzione del loro volume. Confrontare con le 3 fotografie sotto riportate.

Una buona struttura del suolo è importante per un equilibrato sviluppo delle colture. Da essa dipende l'aerazione del suolo e i tassi di scambi gassosi, il movimento e l'accumulo della soluzione circolante, il livello termico del suolo, la penetrazione e il movimento degli apparati radicali, i cicli biologici e chimici dei vari nutrienti, la resistenza alla degradazione dello stato strutturale e all'erosione del suolo. Una buona struttura aumenta la finestra temporale dell'opportunità di manipolare il suolo al momento ottimale, e rende minimi i costi delle lavorazioni in termini di tempo. Lo stato strutturale del suolo è classificato sulla dimensione, forma, porosità e abbondanza relativa degli aggregati di terreno e delle zolle. Suoli con scarsa struttura hanno zolle grandi, dense, spigolose e tenaci, caratterizzate da alta forza di tensione; quelli con una buona struttura presentano aggregati piccoli, porosi, sub-angolari e tendenzialmente sferici.




		
CONDIZIONI BUONE PV = 2	CONDIZIONI MEDIE PV =1	CONDIZIONI SCARSE PV = 0
Il suolo è rappresentato da aggregati di piccole dimensioni, friabili e con assenza di zolle.	Il suolo è rappresentato da proporzioni significative (50%) sia da zolle grossolane e compatte sia da aggregati friabili e di piccole dimensioni.	Il suolo è rappresentato da zolle estremamente grossolane, molto compatte e spigolose e da pochissimi piccoli aggregati.

Figura 82: Punteggio Visivo Zollosità

6.2.3. Porosità

Prelevare una fetta di suolo con la vanga (circa 100 mm larga, 150 mm lunga e 200 mm profonda) e romperla in due parti con le mani. Esaminare la faccia fresca esposta del campione al fine di definirne la porosità, comparandola visivamente con le fotografie riportate. Esaminare anche la porosità di un certo numero di zolle più grandi ottenute con il test per valutare il grado di zollosità del suolo. Questo aggiunge importanti informazioni sulla porosità delle singole zolle.

La porosità del suolo è un'informazione molto importante, soprattutto se analizzata insieme ai valori ottenuti per il grado di zollosità. La porosità, ed in particolare la macroporosità (o i grandi pori), influenza il movimento di aria ed acqua nel suolo. Suoli con una buona struttura hanno un'elevata porosità sia tra i vari aggregati che internamente agli stessi, mentre suoli poveri dal punto di vista strutturale possono non avere macropori e micropori all'interno delle zolle più grandi, diminuendo così la loro attività drenante e di aerazione. La presenza di pori, inoltre, favorisce lo sviluppo e la crescita delle radici superficiali (le più importanti per la nutrizione della pianta) nel suolo. Le radici sono incapaci di penetrare e crescere in suoli molto compatti; in tali condizioni l'abilità dei vegetali di utilizzare l'acqua disponibile ed i nutrienti presenti viene ridotta drasticamente. Un'elevata resistenza alla penetrazione degli apparati radicali non solo limita l'assorbimento radicale dei minerali, ma riduce significativamente l'efficacia dei fertilizzanti ed aumenta la suscettibilità delle piante verso patologie dell'apparato ipogeo.

		
CONDIZIONI BUONE PV =2	CONDIZIONI MEDIE PV = 1	CONDIZIONI SCARSE PV = 0
Il suolo presenta, sia tra gli aggregati e sia alloro interno, molti macropori e grossolani micropori associati con una buona struttura	Sia i macropori sia i grossolani micropori tra gli aggregati e al loro interno sono diminuiti in modo significativo, ma da un attento esame risultano presenti in alcune zone del suolo. Il suolo mostra un certo tasso di consolidamento.	Né macropori né grossolani micropori sono individuabili tra le grosse zolle compatte e senza struttura che costituiscono il suolo. La superficie delle zolle è liscia e compatta, con pochissime zone di frattura o fori, e con angoli molti pronunciati.

Figura 83: Punteggio Visivo Porosità

6.2.4. Colore

Confrontare il colore di un campione di suolo dell'appezzamento in esame con quello di un campione di suolo prelevato appena sotto la zona di lavorazione o da una vicina area protetta.

Usando le tre foto riportate sul fondo pagina, comparare il cambiamento relativo in termini di colore del suolo che è si eventualmente verificato.

Dal momento che il colore dello strato attivo del suolo può variare marcatamente tra diversi tipi di suolo, le foto illustrano il trend di cambiamento relativo piuttosto che il colore del suolo in termini assoluti. Il cambiamento relativo del colore del suolo da un'indicazione generale del trend del contenuto di sostanza organica di un terreno coltivato. La sostanza organica nel terreno svolge un ruolo determinante nel regolare molti processi biologici, fisici e chimici che avvengono normalmente nel suolo e che nel loro complesso determinano la "qualità del suolo". Infatti, un buon contenuto in sostanza organica favorisce l'infiltrazione e la ritenzione dell'acqua, aiuta a creare e stabilizzare un buon stato strutturale con una conseguente azione mitigatrice nei confronti dell'impatto negativo da traffico di mezzi pesanti, esplica un'azione positiva nella riduzione del potenziale erosivo del vento e della pioggia. La sostanza organica è anche un'importante fonte e riserva di nutrienti. Un suo depauperamento riduce la fertilità di un suolo; la richiesta delle colture di nutrienti apportati con la fertilizzazione aumenta, e altri macro e microelementi sono molto più facilmente persi per lisciviazione.

Il risultato è un'inevitabile dipendenza dagli inputs fertilizzanti al fine di mantenere un'accettabile livello nutritivo del suolo.

Il colore è anche un utile indicatore delle capacità drenante ed aerazione di un suolo. Il colore grigio in suoli limosi ed argillosi potrebbe, infatti, suggerire che si è presenza di un drenaggio molto scarso o di condizioni di saturazione idrica e quindi di una deficienza da ossigeno per lunghi periodi. Una scarsa aerazione determina anche accumulo di gas quali anidride carbonica, metano e solfuri, riducendo l'abilità delle piante di assorbire acqua e nutrienti, in particolare azoto, fosforo, potassio e zolfo.




		
CONDIZIONI BUONE PV =2	CONDIZIONI MEDIE PV = 1	CONDIZIONI SCARSE PV = 0
Il colore del soprassuolo è scuro e non molto diverso da quello del suolo di una vicina area protetta.	Il colore del soprassuolo è moderatamente più chiaro di quello del suolo di una vicina area protetta, ma non così marcatamente.	Il colore del suolo è diventato significativamente più chiaro di quello del suolo sotto di una vicina area protetta.

Figura 84: Punteggio Visivo Colore

6.2.5. Colore e numero delle zone di riduzione

Quantificare il numero, grandezza e colore delle zone di riduzione comparando il lato del profilo del suolo, o un certo numero di zolle di suolo derivate dal "drop shatter test", con le tre foto sotto riportate. Il diagramma delle percentuali riportato a fondo pagina aiuta a determinare la percentuale della superficie del suolo occupata dalle zone di riduzione.

Le zone di riduzione sono macchie di colore variabile disseminate nel colore dominante del suolo. Il numero, la dimensione ed il colore delle zone di riduzione del suolo forniscono una buona indicazione di come il suolo sia ben drenato ed aerato. Tali indicatori rappresentano anche un avvertimento precoce della perdita di struttura del suolo a causa di un'eccessiva coltivazione e per compattamento da traffico di mezzi pesanti. La perdita di struttura riduce il numero dei canali e pori nel suolo

responsabili del passaggio di aria e acqua. Tutto ciò comporta una deficienza di ossigeno e un aumento in anidride carbonica, metano e solfuri. Come la scarsità di ossigeno aumenta si formano dapprima zone di riduzione di colore aranciato che poi virano al grigio. Un'elevata presenza di zone di riduzione grigie di dimensioni medie è indice di frequenti ristagni idrici e conseguente limitata presenza di ossigeno, per una parte significativa di tempo. Uno scarso ricambio d'aria riduce l'assorbimento di acqua da parte delle piante, anche fino all'appassimento e può limitare l'assorbimento di nutrienti, in particolare azoto, fosforo, potassio e zolfo. Una scarsa aerazione, inoltre, rallenta la decomposizione dei residui organici, causando reazioni chimiche con rilascio di sostanze tossiche per le radici delle piante.




		
CONDIZIONI BUONE PV = 2	CONDIZIONI MEDIE PV = 1	CONDIZIONI SCARSE PV = 0
Zone di riduzione assenti	Il suolo presenta zone di riduzione comuni (10-25%), di grandezza sottile e media e di colore arancione e grigio.	Il suolo ha abbondanti (>50%) e grosse zone di riduzione, di colore arancione e grigio in particolare.

Figura 85: Punteggio Visivo Zone di riduzione

6.2.6. Numero di lombrichi

Osservare attentamente gli eventuali lombrichi presenti nel campione di suolo utilizzato per valutare lo stato strutturale e comparare il numero ottenuto con le classi di valori riportati nella tabella sottostante. I lombrichi variano in termini di taglia e numero secondo la stagione, quindi in analisi comparative tra anni, la conta deve essere fatta nello stesso periodo dell'anno, e preferibilmente durante l'inverno. Il numero di lombrichi è normalmente riportato su una superficie di un metro quadrato. Il cubo di suolo di 200 mm di lato equivale a 1/25 di metro quadro, quindi il numero di lombrichi contati andrebbe moltiplicato per 25 in modo da riportarlo a metro quadrato.

I lombrichi attraverso la loro azione di movimento, nutrimento e rimescolamento delle particelle di suolo, giocano un ruolo principale nel ciclo di decomposizione della sostanza organica e nel rilascio di nutrienti minerali. Inoltre con la loro azione migliorano la porosità del suolo e l'aerazione, l'infiltrazione e il movimento dell'acqua, la dimensione e la stabilità degli aggregati, riducono la formazione della

crosta superficiale, favoriscono lo sviluppo radicale e di conseguenza aumentano la produttività delle colture. Ciò considerato, i lombrichi sono di un'importanza strategica nei terreni coltivati. Un numero elevato di lombrichi può quindi essere un buon indicatore della qualità biologica di un suolo. La semina diretta su residui colturali o su cover crops sono due tecniche interessanti per aumentare il contenuto in humus e l'attività biologica di un suolo, favorendo inoltre una minore incidenza di fitopatie.



Punteggio visivo (PV)	Conta dei lombrichi (per 200 mm ³ di suolo)
2	> 10
1	5 - 10
0	< 5

Figura 86: Punteggio Visivo Lombrichi

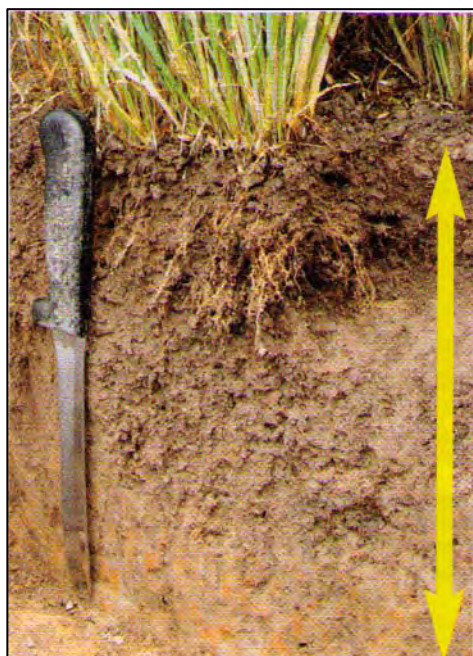
6.2.7. Approfondimento radicale potenziale

Valutare il potenziale di approfondimento radicale scavando un'apertura sino a un'eventuale strato limitante se presente, e comparare tale valore di profondità del suolo con le classi di valori riportate nella tabella sottostante. Una trivella, se disponibile, potrebbe risultare utile. Procedendo con la creazione dell'apertura si noti la presenza di radici e residui canali radicali o creati da lombrichi, rotture e fessure, la stabilità e compattezza del suolo, eventuale presenza di zone di riduzione dovute a ristagno idrico, presenza di strati contenenti ferro o silice. Un brusco passaggio da un strato di materiale poroso a uno strato duro compatto può rappresentare un serio ostacolo allo sviluppo radicale.

Il potenziale di approfondimento radicale è quella profondità di terreno che le radici possono potenzialmente esplorare e indica la vocazione di un suolo nel rappresentare un mezzo idoneo all'approfondimento radicale delle colture. Una desiderata profondità di sviluppo radicale dipende da numerosi fattori, principalmente: dal regime pluviometrico e dalla disponibilità di acqua per l'irrigazione. Maggiore è l'approfondimento dell'apparato radicale e maggiore risulta la quantità di acqua disponibile del suolo. Durante i periodi siccitosi gli apparati radicali hanno accesso alle riserve di acqua più profonde; così gli stress idrici vengono alleviati e si assicura la sopravvivenza delle colture non irrigate. L'esplorazione di ampi volumi di suolo, grazie alle radici più profonde, favorisce l'accesso a maggiori quantità di elementi nutritivi e oligoelementi, aumentando la crescita, produzione e qualità delle colture. Contrariamente, strati di terreno con alta resistenza alla penetrazione restringono lo sviluppo radicale, limitano l'assorbimento dei nutrienti, riducono l'efficienza

dei fertilizzanti ed aumentano il dilavamento dei nutrienti nelle falde. Inoltre aumentano la suscettibilità delle piante a malattie dell'apparato radicale.

Piante con un vigoroso sistema radicale favoriscono incrementi in sostanza organica e inattività biologica in profondità. L'azione fisica delle radici e della fauna, e i loro residui, promuovono lo sviluppo della struttura, l'aerazione e il drenaggio anche degli strati più profondi di suolo.



Punteggio visivo (PV)	Approfondimento radicale potenziale (m)	
	Colture non irrigue	Colture irrigue
2	> 1,2	>0,8
1	0,6 – 0,9	0,4 – 0,6
0	< 0,3	< 0,2

Figura 87: Approfondimento radicale potenziale

Il potenziale di approfondimento radicale si estende alla punta della lama; al disotto il suolo è estremamente duro e molto compatto con assenza di radici o vecchi canali radicali, di canali da lombrichi o fessure nelle quali le radici potrebbero svilupparsi.

6.2.8. Ristagno superficiale

Valutare il grado di ristagno superficiale sulla base delle osservazioni dirette o di esperienze pregresse, considerando il tempo necessario che l'acqua impiega per percolare dopo un periodo umido o di piogge intense, comparando con le classi di valori riportate nella tabella sottostante. Le colture risultano più vulnerabili alla saturazione del suolo durante le fasi attive di sviluppo delle radici e quando la traspirazione aumenta marcatamente.

La tolleranza di un sistema radicale al ristagno idrico dipende da diversi fattori tra i quali il periodo dell'anno in cui questo si verifica e il tipo di coltura. Dipende, inoltre, dalla temperatura dell'aria e del suolo, dalle condizioni del terreno e dal tasso e velocità di insorgenza delle condizioni di anaerobiosi, un fattore, questo, governato dal contenuto iniziale di ossigeno del suolo e dal tasso di consumo dell'ossigeno stesso. Il ristagno superficiale e la sua durata indicano il tasso di infiltrazione dell'acqua nel suolo e il tempo durante il quale il suolo rimane saturo. Prolungati periodi di ristagno idrico consumano l'ossigeno e causano accumulo di anidride carbonica. Condizioni di anaerobiosi, dovute al ristagno, sviluppano e inducono una serie di reazioni chimiche e biochimiche di riduzione che producono sottoprodotti tossici per le radici delle piante. Tali composti includono solfuro di idrogeno e

solfuro ferroso prodotti dalla riduzione del ferro e dello zolfo, nitriti prodotti dalla denitrificazione che riduce, inoltre, il quantitativo di azoto disponibile per le piante. La saturazione idrica e la conseguente scarsa aerazione del suolo possono aumentare l'insorgenza di patologie e ridurre la capacità del sistema radicale di tollerare tali fitopatie. Le fitopatie che normalmente si sviluppano per scarsa aerazione del suolo sono la Rizoctonia (*Rhizoctonia solani*) e il Pythium (*Pythium spp.*). In seguito al ridotto funzionamento dell'apparato radicale, l'assorbimento di sostanze nutritive è fortemente compromesso. In aggiunta alle malattie dell'apparato radicale, stress indotti da scarsa aerazione a livello radicale e da periodi prolungati di saturazione del suolo possono rendere le piante meno resistenti anche verso gli attacchi da insetti quali afidi, *Pseudaletia unipuncta* (Haworth) e *Spodoptera litura* (Fabricius). Prolungati ristagni superficiali rendono il suolo più suscettibile al danno da compattamento per traffico di mezzi. Come conseguenza si possono avere ritardi nella preparazione del letto di semina e nella semina. La semina può essere ritardata anche a causa delle conseguenti temperature inferiori del suolo.



Punteggio Visivo (PV)	Ristagno superficiale a seguito di saturazione	
	Numero di giorni	Descrizione
2	< 1	Nessuna evidenza di ristagno superficiale il giorno dopo abbondanti piogge su suoli già prossimi alla saturazione
1	2 - 3	Un moderato ristagno idrico si può verificare fino a 3 giorni dopo abbondanti piogge su suoli già prossimi alla saturazione
0	> 5	Significativi ristagni superficiali possono verificarsi per più di 5 giorni dopo abbondanti piogge su suoli già prossimi alla saturazione

Figura 88: Ristagno superficiale

6.2.9. Formazione di crosta e copertura del suolo

Valutare il grado di formazione di crosta superficiale e di copertura del suolo utilizzando come riferimento le foto riportate in basso. Questo parametro viene valutato in modo ottimale dopo periodi umidi seguiti da periodi asciutti e prima delle lavorazioni.

La presenza di crosta superficiale riduce l'infiltrazione e l'accumulo di acqua nel suolo e ne incrementa la perdita per scorrimento. La formazione di crosta superficiale riduce, inoltre, l'aerazione causando condizioni di anaerobiosi e determina fenomeni di ritenzione idrica in prossimità della superficie, con

conseguente impedimento all'accesso delle macchine per tempi considerevoli. La crosta superficiale è più pronunciata in terreni a tessitura fine, con struttura labile e con una scarsa stabilità degli aggregati. La presenza di una copertura vegetale viva o morta dopo la raccolta e prima della chiusura della coltura che segue, aiuta a prevenire la formazione di crosta superficiale, minimizzando la dispersione delle particelle di suolo in superficie in seguito all'azione della pioggia e dell'irrigazione. Inoltre, intercettando le gocce di pioggia prima che queste colpiscano la superficie del suolo si evita il compattamento sottosuperficiale del suolo. La copertura viva e il suo apparato radicale, rilasciando sostanza organica favorisce lo sviluppo della fauna nel terreno, inclusi i lombrichi. L'azione fisica delle radici e della fauna del suolo e gli essudati che essi producono, promuovono lo sviluppo della struttura del suolo, l'aerazione, il drenaggio e aiutano nella rottura della crosta superficiale. Come risultato si ha un aumento del tasso d'infiltrazione e del movimento dell'acqua nel suolo, una diminuzione dello scorrimento superficiale, dell'erosione e del rischio di allagamenti. La copertura vegetale, inoltre, agendo come una spugna, trattiene l'acqua piovana abbastanza a lungo da permetterne una regolare infiltrazione. Il sistema radicale riduce l'erosione stabilizzando la superficie del suolo, trattenendo le particelle terrose in sito durante eventi piovosi molto intensi. Ciò si ripercuote positivamente sulla qualità dell'acqua dei torrenti che presenta un più basso contenuto in sedimenti, nitrati e coliformi. L'adozione di tecniche di agricoltura conservativa può ridurre l'erosione fino al 90% e la perdita di acqua per scorrimento superficiale fino al 40%. Indicativamente una buona protezione si ha con una copertura minima del 75%; valori inferiori al 30% danno una protezione scarsa.

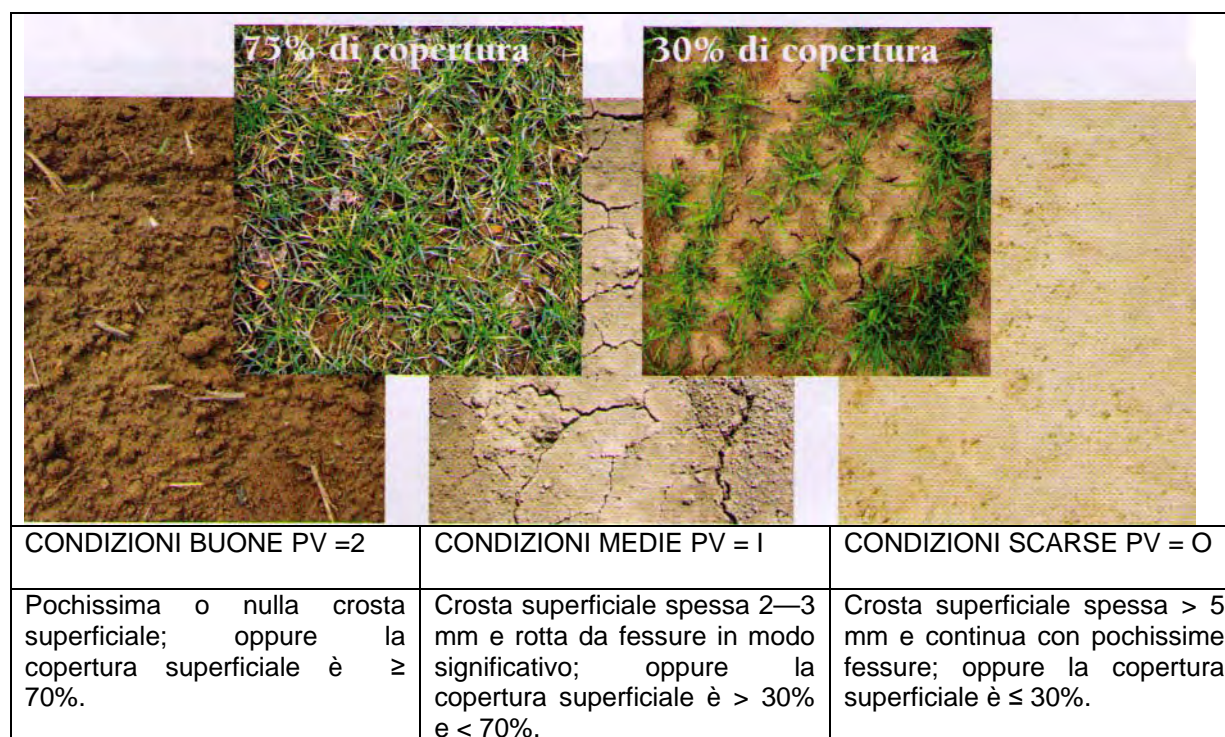


Figura 89: Formazione di crosta e copertura del suolo

6.2.10. Erosione

Valutare il grado di erosione del suolo sulla base della situazione pregressa, prendendo come riferimento le tre foto e i criteri sotto riportati.

L'erosione riduce l'attitudine a produrre di un suolo attraverso la perdita di nutrienti, un più ristretto approfondimento radicale e una minore capacità di trattenere acqua. Inoltre, i fenomeni erosivi possono determinare effetti negativi indiretti, quali il peggioramento della qualità delle acque per un incremento del contenuto in sedimenti terrosi, nitrati e coliformi nei torrenti e fiumi. Sistemi di coltivazione intensivi possono causare un aumento considerevole della degradazione fisica del suolo, associata alla perdita di sostanza organica, alla formazione di crosta superficiale e di sole di aratura, con conseguente ridotta infiltrazione dell'acqua ed incremento del run-off superficiale. Inoltre, in suoli con pendenza significativa senza copertura vegetale, notevoli quantità di terreno possono essere erose per scorrimento superficiale. L'erodibilità di un suolo è governata da un ampio numero di fattori che includono la percentuale di copertura vegetale della sua superficie, la quantità e l'intensità delle piogge, il tasso di infiltrazione e la permeabilità all'acqua del terreno in oggetto, la pendenza e la natura del sottosuolo e della roccia madre. La perdita della sostanza organica e della struttura del suolo come risultato di eccessiva coltivazione, può originare significanti perdite di particelle terrose dovute all'azione erosiva del vento nei confronti delle superfici esposte.


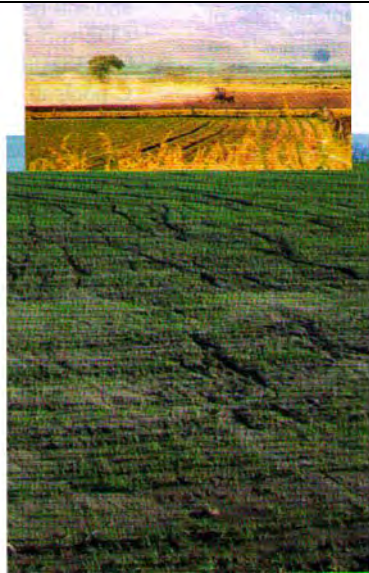

		
CONDIZIONI BUONE PV = 2	CONDIZIONI MEDIE PV = 1	CONDIZIONI SCARSE PV = 0
<p>Pochissimi o assenti fenomeni di erosione idrica. La profondità del soprassuolo nella zona a valle è < 150 mm di quella dell'area a monte, L'erosione eolica non è un problema: solo piccole quantità di polvere derivano dalla coltivazione in presenza di vento. Il materiale eroso è pressoché contenuto nell'appezzamento stesso.</p>	<p>L'erosione idrica è un problema contenuto con una significativa presenza di piccoli rigagnoli. Le profondità del soprassuolo nella zona a valle è 150—300 mm più elevata di quella a monte, con quantità significative di sedimenti di suolo rilasciati nei torrenti. L'erosione eolica è un problema moderato, ma significative quantità di polvere possono derivare dalla coltivazione del suolo in presenza di vento. Una notevole quantità di suolo è disperso fuori dall'appezzamento ma non dell'azienda.</p>	<p>L'erosione idrica è problema preminente, con presenza di rigagnoli, incisioni evidenti ed erosine laminare. Il soprassuolo nelle zone a valle è 300 mm più profondo di quella a monte; i sedimenti nei dreni/torrenti possono essere elevati. L'erosione eolica è un problema preminente. Ampie nuvole di polvere possono derivare dalla coltivazione in giorni ventosi. Una sostanziale quantità di soprassuolo può essere disperso dall'appezzamento.</p>

Figura 90: Erosione

6.3. Score Card

Indicatori visivi per valutare la qualità del suolo:

Classificazione del suolo:

Tessitura (strato 1 m)	<input type="checkbox"/> Sabbioso	<input type="checkbox"/> Franco	<input type="checkbox"/> Limoso	<input type="checkbox"/> Argilloso	<input type="checkbox"/> Altro
Umidità del suolo	<input type="checkbox"/> Secco	<input type="checkbox"/> Poco umido	<input type="checkbox"/> Umido	<input type="checkbox"/> Molto umido	<input type="checkbox"/> Bagnato
Clima stagionale	<input type="checkbox"/> Secco	<input type="checkbox"/> Umido	<input type="checkbox"/> Freddo	<input type="checkbox"/> Caldo	<input type="checkbox"/> Medio

Indicatore della Qualità del Suolo	Punteggio Visivo (PV) 0 = Condizioni scarse 1 = Condizioni medie 2 = Condizioni buone	Fattore di peso	PV Totale
Tessitura		x 3	
Zollosità		x 3	
Porosità		x 3	
Colore		x 2	
Colore e numero delle zone di riduzione		x 3	
Numero di lombrichi (Numero: (Dimensione:		x 2	
Approfondimento radicale potenziale (m)		x 3	
Ristagno superficiale		x 1	
Formazione di crosta e copertura del suolo		x 2	
Erosione (eolica/idrica)		x 2	
INDICE COMPLESSIVO DI QUALITÀ DEL SUOLO			

Qualità del Suolo	Indice di Qualità del Suolo
Scarsa	< 15
Media	15 – 30
Buona	> 30

7. Descrizione della prova

Tutte le macchine provate vengono indicati dal costruttore come idonee per la lavorazione delle stoppie e una minima lavorazione profonda (fino a 20 cm). Inoltre, come indicato dal costruttore, le macchine sono in grado di svolgere tutte le lavorazioni del terreno per un'azienda agricola con una superficie di circa 150 ha senza ricorrere all'aratura. Tutte le macchine provate erano dei coltivatori caratterizzati da una larghezza di lavoro di 3,00 m.

Nella prova sono stati effettuati due passaggi delle macchine: una lavorazione delle stoppie superficiale e una lavorazione del terreno più profonda. Lo scopo del primo passaggio è quello di creare le condizioni ideali per la germinazione dei semi degli infestanti e della coltura precedente. Il secondo passaggio doveva interrare i residui colturali e creare un letto di semina ideale per la seguente semina di cereali autunno-vernini.











La prova è stata condotta in Germania in collaborazione con la DLG (Società tedesca per l'Agricoltura) su un appezzamento di medio impasto caratterizzato da un punteggio di 60. Le condizioni per le prime lavorazioni erano estremamente asciutte (4 – 5 % di umidità), per le seconde asciutte (8 – 9 % di umidità). Il terreno di prova era caratterizzato da un'elevata omogeneità con una leggera pendenza. I residui colturali (10 t/ha) erano stati precedentemente trinciati. Il trattore messo a disposizione era un CASE CVX 170 (125 kW).











Primo Passaggio	Secondo Passaggio
Assestamento	Assestamento
Zollosità	Zollosità
Profondità e fondo di lavoro	Profondità e fondo di lavoro
Forza di trazione	Forza di trazione
	Indice di copertura
	Interramento dei residui colturali

Assestamento	Primo passaggio tramite cilindretti nei primi 6 cm di lavorazione
	Secondo passaggio con penetrometro negli strati 1 – 7 cm e 8 – 14 cm
Zollosità	Primo passaggio tramite vagliatura nei primi 10 cm di lavorazione
	Secondo passaggio tramite vagliatura nei primi 10 cm di lavorazione
Profondità e fondo di lavoro	Profilometro (intervalli di 2 mm)
Forza trazione	Attacco a tre punti sensibilizzato
Indice di copertura	Analisi d'immagine
Interramento dei residui colturali	Griglia (2,0 m x 0, 2m; 160 maglie)

Tabella 16: Parametri valutati e metodi applicati

7.1. Descrizione delle macchine

	Descrizione	Rullo compattatore	Forma attrezzi di lavoro
Coltivatore 1	Coltivatore a 4 ranghi, 15 attrezzi di lavoro, in combinazione con erpice a dischi, 2 ranghi, 18 dischi		
Coltivatore 2	Coltivatore a tre ranghi con 10 attrezzi di lavoro.		
Coltivatore 3	Coltivatore a 8 ranghi con 23 attrezzi di lavoro.		
Coltivatore 4	Coltivatore a 2 ranghi con 7 attrezzi di lavoro; dischi bombati per la livellazione.		
Coltivatore 5	Coltivatore a 3 ranghi con 12 attrezzi di lavoro; dischi bombati per la livellazione.		

Coltivatore 6	Coltivatore a 3 ranghi con 10 attrezzi di lavoro, dischi dentati per livellazione.		
Coltivatore 7	Coltivatore a 2 ranghi con 7 attrezzi di lavoro, 8 dischi dentati		
Coltivatore 8	Coltivatore a 2 ranghi con 7 attrezzi di lavoro, 8 dischi bombati.		
Coltivatore 9	Coltivatore a 2 ranghi con sette attrezzi di lavoro, 6 dischi stellati		
Coltivatore 10	Coltivatore a 2 ranghi con 7 attrezzi di lavoro, 8 dischi bombati		

7.2. Dati tecnici

	Lunghezza [m]	Larghezza di lavoro [m]	Larghezza di trasporto [m]	Peso [kg]
Coltivatore 1	9,88	3,52	3,00	4.440
Coltivatore 2	4,15	3,17	3,02	1.540
Coltivatore 3	9,58	4,08	3,03	4.020
Coltivatore 4	4,38	3,77	3,00	1.900
Coltivatore 5	4,38	3,77	3,00	1.900
Coltivatore 6	3,50	3,54	3,00	1.660
Coltivatore 7	3,86	3,38	3,00	1.640
Coltivatore 8	3,57	3,20	3,03	1.420
Coltivatore 9	3,01	3,33	2,99	1.480
Coltivatore 10	2,80	3,46	3,02	1.640

8. Risultati e discussione

8.1. Velocità e capacità di lavoro

a. Primo passaggio

	COLTIVATORI									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Velocità di lavoro [km/h]	12,4	11,2	9,3	10,5	11,1	13,9	11,9	9,3	11,3	11,8
Capacità di lavoro [ha/h]	3,73	3,39	2,83	3,16	3,33	4,16	3,58	2,78	3,4	3,5
Profondità di lavoro [cm]	3 - 6	6,5 - 7	3 - 6	3 - 4	6 - 9	5	6 - 9	6 - 11	6	8 - 12

Tabella 17: Velocità [km/h], Capacità [ha/h] e Profondità di lavoro - primo passaggio

b. Secondo passaggio

	COLTIVATORI									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Velocità di lavoro [km/h]	9,6	10,1	8,5	9,8	9	8,9	10,8	8,8	10,2	10,4
Capacità di lavoro [ha/h]	2,88	3,04	2,55	2,95	2,71	2,67	3,25	2,65	3,1	3,07
Profondità di lavoro [cm]	15 - 20	16 - 17	8 - 12	19 - 20	20 - 22	14 - 18	15 - 20	10 - 16	12 - 19	18 - 24

Tabella 18: Velocità [km/h] e Capacità [ha/h] di lavoro - secondo passaggio

8.2. Fabbisogno energetico

a. Fabbisogno energetico – primo passaggio

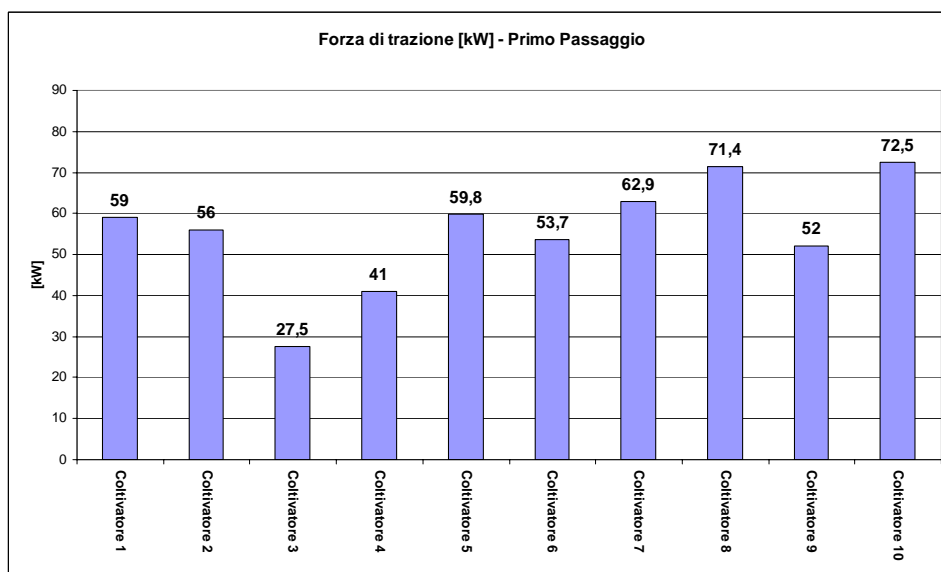


Grafico 1: Fabbisogno energetico [kW] - Primo passaggio

Come emerge dal Grafico 1, i valori per il fabbisogno energetico nel primo passaggio oscillano tra 27,5 kW (Coltivatore 3) e 72,5 kW (Coltivatore 10) con una media di 55,6 kW. Quattro coltivatori (3, 4, 6, 9) si trovano al di sotto del valore medio, mentre sei coltivatori (1, 2, 5, 7, 8, 10) superano il valore medio. Trattandosi di una lavorazione molto superficiale (in media 7 cm di profondità), i valori ottenuti dai coltivatori esaminati sono accettabili (vedi tabella).

b. Fabbisogno energetico – secondo passaggio

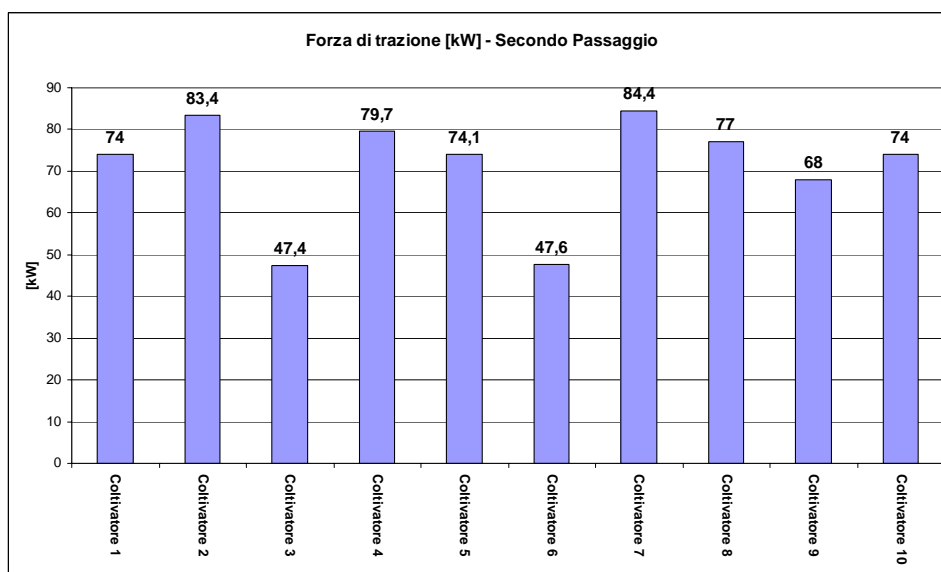


Grafico 2: Fabbisogno energetico [kW] - Secondo passaggio

Come emerge dal Grafico 2, i valori per il fabbisogno energetico nel secondo passaggio oscillano tra 47,4 kW (Coltivatore 3) e 84,4 kW (Coltivatore 7) con una media di 71 kW. Solo tre coltivatori (3, 6, 9) si trovano al di sotto del valore medio, mentre sette coltivatori (1, 2, 4, 5, 7, 8, 10) superano il valore medio. Trattandosi di una lavorazione profonda (in media 16 cm di profondità), i valori ottenuti dai coltivatori esaminati sono accettabili (vedi tabella).

Operazione	Energia (kW)
Aratura	175
Decompattazione	163
Semina	35
Coltivatore leggero	21
Trebbiatura	125
Erpice rotante	115
Lavorazione delle stoppie	60
Preparazione del letto di semina (coltivatore)	75
Erpice a dischi	42
Semina diretta	40

Tabella 19: Consumo di energia per alcune operazioni in agricoltura (Leake, 2000)

Come previsto, il fabbisogno energetico dipende dalla profondità di lavoro (media superficiale: 55,6 kW; media profonda: 71 kW) e dalla forma degli attrezzi di lavoro; meno dalla velocità di avanzamento (media superficiale: 11,27 km/h; media profonda: 9,6 km/h). Confrontando i valori ottenuti con la forma dei relativi attrezzi di lavoro montati risulta che l'attrezzo utilizzato nel coltivatore 3 offre minore resistenza al terreno, risultando quindi in un minore consumo energetico in entrambe le profondità di lavoro. Nella lavorazione superficiale i valori massimi sono stati raggiunti dai coltivatori 10 e 8 (72,5 kW e 71,4 kW). Entrambi gli attrezzi di lavoro sono caratterizzati di alette molto pronunciate con un'impostazione della punta molto "aggressiva" nei confronti del terreno. Questa disposizione risulta in una maggiore resistenza da parte del terreno e in un consumo energetico relativamente alto in modo particolare nelle condizioni di prova molto asciutte. Nella lavorazione superficiale i coltivatori 2 e 6, che sono caratterizzati di una forma di attrezzo molto simile, infatti, raggiungono valori energetici simili (56 kW e 53,7 kW). Nelle lavorazioni profonde, invece, i valori massimi vengono raggiunti dal coltivatore 7 (84,4 kW). Confrontando questo valore con la forma dell'attrezzo, risulta evidente che la punta smussata offre maggiore resistenza al terreno, ed di conseguenza risulta più elevato il consumo energetico. Analizzando il fabbisogno energetico in una media di entrambe le profondità di lavoro, i coltivatori 3 (37,5 kW) e 6 (50,7 kW) risultano essere quelli più vantaggiosi mentre i coltivatori 7 (73,7 kW), 8 (74,2 kW) e 10 (73,3 kW) risultano essere quelli più energivori. Confrontando però questi valori con la capacità di lavoro (che risulta dalla velocità di avanzamento indicata dal costruttore) emerge che il coltivatore 3 dimostra un rendimento relativamente basso (2,83 ha/h), mentre il coltivatore 6 fa segnare il valore più alto in assoluto (4,16 ha/h) nelle lavorazioni superficiali. Nelle lavorazioni profonde il coltivatore 3 fa segnare nuovamente la più bassa capacità di lavoro (2,55 ha/h), mentre il coltivatore 6 (2,76 ha/h) arriva a un valore solo poco inferiore alla media (2,88 ha/h). Il coltivatore 8, con un consumo energetico relativamente alto, fa segnare il secondo valore più basso nella capacità di lavoro.

8.3. Consumo di Carburante

a. Consumo di carburante – primo passaggio

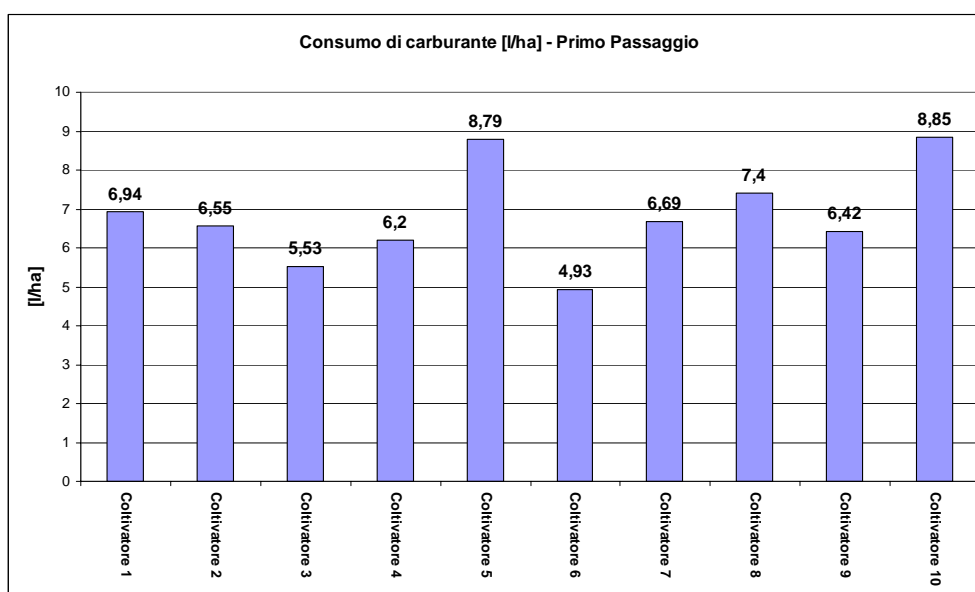


Grafico 3: Consumo di carburante [l/ha] - Primo passaggio

Come emerge dal Grafico 3, i valori per il consumo di carburante nel primo passaggio (lavorazione superficiale) oscillano tra 4,93 l/ha (Coltivatore 6) e 8,85 l/ha (Coltivatore 10) con una media di 6,8 l/ha. Sei coltivatori (2, 3, 4, 6, 7, 9) si trovano al di sotto del valore medio, mentre quattro coltivatori (1, 5, 7, 10) superano il valore medio.

b. Consumo di carburante – secondo passaggio

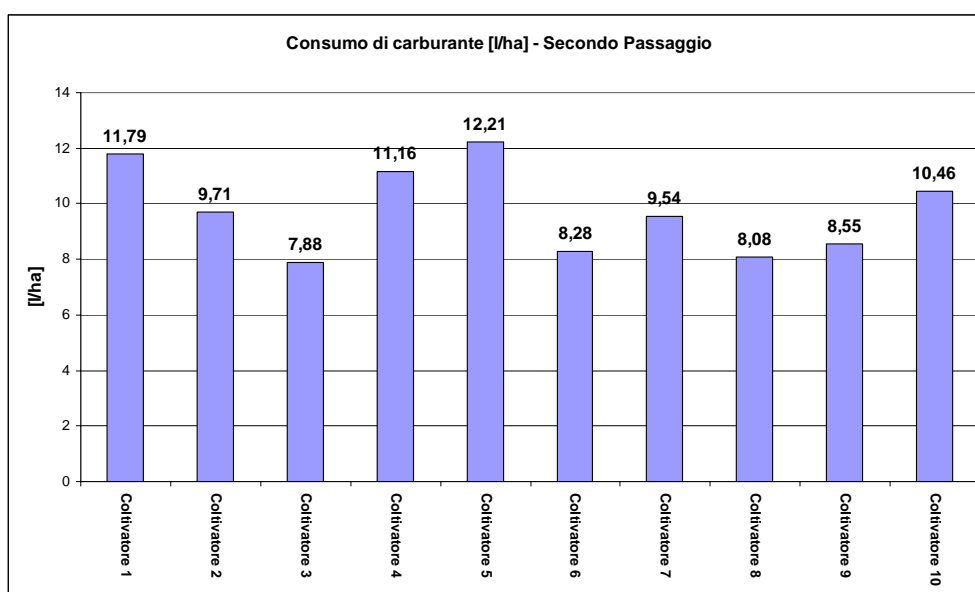


Grafico 4: Consumo di carburante [l/ha] - Secondo passaggio

Come emerge dal Grafico 4, i valori per il consumo di carburante nel secondo passaggio (lavorazione profonda) oscillano tra 7,88 l/ha (Coltivatore 3) e 12,21 l/ha (Coltivatore 5) con una media di 9,7 l/ha. Sei coltivatori (2, 3, 6, 7, 8, 9) si trovano al di sotto del valore medio, mentre quattro coltivatori (1, 4, 5, 10) superano il valore medio.

Operazione	Profondità di lavoro [cm]	Consumo di carburante [l/ha]
Aratura	26	18,4
Erpice rotante	7	10,3
Coltivatore	7	7,3
Coltivatore	20	13,1
Erpice a dischi	8	7,4

Tabella 20: Consumo di carburante per alcune operazioni di lavorazione del terreno (Mumme e Hörner, 2006)

Anche nei valori per il consumo di carburante la profondità di lavoro gioca un ruolo determinante (media superficiale: 6,8 l/ha; media profonda: 9,7 l/ha). Con riferimento alla forma degli attrezzi di lavoro, i coltivatori 6 (4,93 l/ha) e 3 (5,53 l/ha), che offrono meno resistenza al terreno, fanno registrare i valori più bassi nella lavorazione superficiale. I valori più alti nelle lavorazioni superficiali vengono raggiunti dai coltivatori 5 (8,79 l/ha) e 10 (8,85 l/ha). Anche in questo caso l'utilizzo di alette più o meno pronunciate risulta in un consumo di carburante relativamente alto. Nelle lavorazioni profonde i valori più bassi sono stati raggiunti dai coltivatori 3 (7,88 l/ha) e 8 (8,08 l/ha). Il coltivatore 3, data la particolare forma degli attrezzi di lavoro offre la minor resistenza al terreno, mentre il coltivatore 8, che con le alette molto pronunciate ha fatto segnare valori alti nel fabbisogno energetico, raggiunge valori relativamente bassi nel consumo di carburante, che risulterebbe essere un risultato contraddittorio; confrontando però il valore del coltivatore 8 (8,08 l/ha) con quello del coltivatore 10 (10,46 l/ha), che utilizza un attrezzo di lavoro molto simile, si può trarre la conclusione che dal punto di vista dei consumi questa forma di attrezzo dovrebbe essere utilizzata nelle lavorazioni profonde o meno in quelle superficiali. I valori più alti invece sono stati raggiunti dai coltivatori 5 (12,21 l/ha) e 1 (11,79 l/ha). Dato il grande numero di attrezzi di lavoro (coltivatore 5: 12; coltivatore 1: 15) e la loro forma poco appuntita, questi valori sono relativamente alti, ma sono largamente accettabili, in quanto al di sotto dei valori riportati in Tabella. Analizzando il consumo di carburante in una media di entrambe le profondità di lavoro, i coltivatori 6 (6,61 l/ha) e 3 (6,71 l/ha) risultano essere quelli più vantaggiosi mentre i coltivatori 5 (10,5 l/ha), 10 (9,66 l/ha) e 1 (9,37 l/ha) risultano essere meno vantaggiosi. Confrontando però questi valori con la capacità di lavoro (che risulta dalla velocità di avanzamento) emerge che il coltivatore 3 dimostra un rendimento relativamente basso (2,83 ha/h), mentre il coltivatore 6 fa segnare il valore più alto in assoluto (4,16 ha/h) nelle lavorazioni superficiali. Nelle lavorazioni profonde il coltivatore 3 fa segnare nuovamente la più bassa capacità di lavoro (2,55 ha/h), mentre il coltivatore 6 arriva a un valore solo poco inferiore alla media.

8.4. Densità apparente (6 cm)

a. Primo passaggio

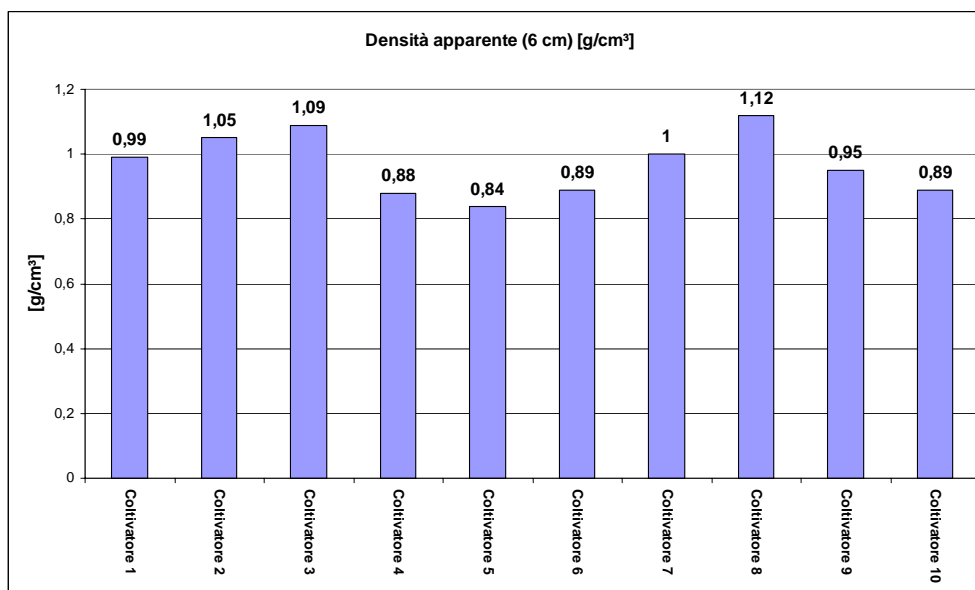


Grafico 5: Densità apparente (6cm) [g/cm²]

I valori della densità nei primi 6 cm del terreno lavorato in maniera superficiale oscillano tra 0,84 g/cm³ (Coltivatore 5) e 1,12 g/cm³ (Coltivatore 8) con una media di 0,97 g/cm³. Tre coltivatori (4, 5, 6) si trovano al di sotto del valore medio, mentre sette coltivatori (1, 2, 3, 7, 8, 9, 10) superano il valore medio. Risultando tutti i coltivatori sotto il valore critico di 1,2 g/cm³ citato nella bibliografia per il primo strato del terreno lavorato, l'assestamento rilevato nei coltivatori esaminati è accettabile. Inoltre, lo scopo dell'assestamento nella lavorazione delle stoppie è quello di favorire la germinazione dei semi delle malerbe e dei semi della coltura precedente e di stabilire un contatto tra terreno e residui colturali per favorirne la decomposizione. Questo compito è stato svolto in modo soddisfacente da tutti i coltivatori. Analizzando la composizione dei rulli compattatori dei singoli coltivatori, si possono però fare delle osservazioni per quanto riguarda l'effetto assestante di questo utensile. Il parametro più importante è la massa del rullo; nella bibliografia troviamo valori fino a 500 kg/m. Il secondo parametro è rappresentato dal diametro dell'utensile, che dovrebbe essere relativamente alto. I rulli montati sui coltivatori testati confermano le caratteristiche riportate nella tabella 21.

Tipo di rullo	Caratteristiche
Gabbia	pareggia ed affina il terreno in modo grossolano, stabilizza la macchina
Packer	pareggia il terreno e riduce la zollosità superficiale
Dentato	crea un buon affinamento del terreno
Spirale	pareggia il terreno e comprime le zolle in profondità
Anelli	simile al precedente, più

	consono in presenza di residui
Dischi diritti ondulati	buon affinamento, ottima miscelazione dei residui colturali, predispone un letto di semina adatto alla semina diretta
Dischi concavi lisci o dentati	energetici nell'azione di rottura delle zolle, indicati in terreni argillosi e nel rimescolamento del terreno che determina l'incorporazione dei residui superficiali nei primi centimetri di terreno lavorato

Tabella 21: Tipi di rulli e le loro caratteristiche (Talarico, 2005)

8.5. Resistenza alla penetrazione

a. Secondo passaggio

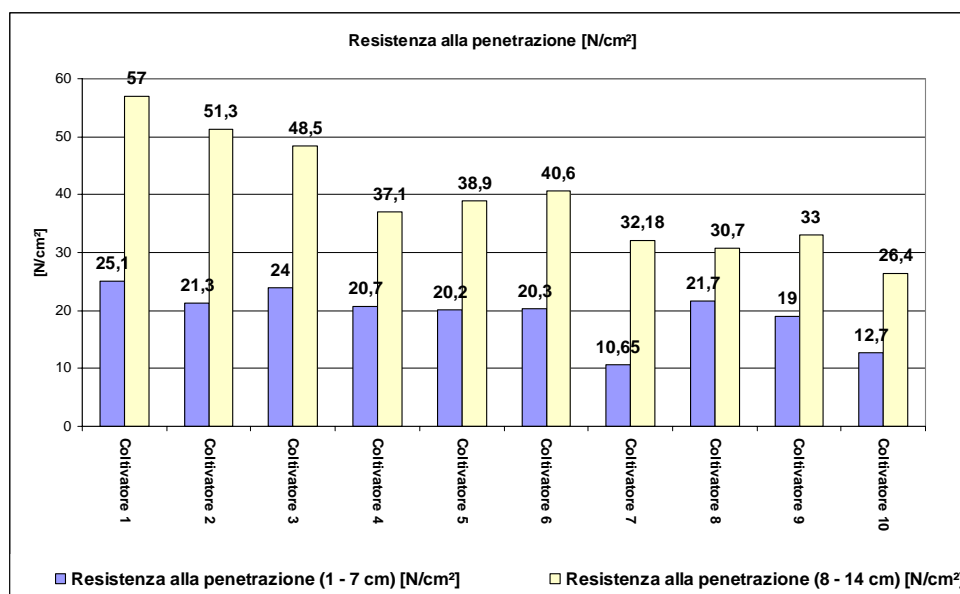


Grafico 6: Resistenza alla penetrazione (strato 1 - 7 cm e 8 - 14 cm) [N/cm²]

Come emerge dal grafico 6, tutte le macchine esaminate nella lavorazione profonda creano un letto di semina stratificato caratterizzato da uno strato meno compatto in superficie e da uno strato relativamente compatto in profondità (fino a 14 cm). Questa stratificazione rispecchia le esigenze agronomiche per la semina consecutiva e dovrebbe garantire una germinazione soddisfacente. I rulli dei coltivatori 5, 8 e 10 non soddisfano in pieno queste esigenze, in quanto la loro funzione è quella di pareggiare il terreno e di stabilizzare la macchina durante il suo lavoro. Mentre i rulli dei restanti coltivatori (profilo a cuneo, anelli, dischi) assestano il terreno soltanto nel solco di semina successiva (circa 1/3 della superficie totale), mentre 2/3 della superficie non vengono compattati. Questo garantisce la risalita capillare (indispensabile per la germinazione) e facilita il lavoro degli organi di

semina che trovano un “binario” relativamente assestato su cui camminare. Il terreno non assestato garantisce inoltre la maggiore infiltrazione dell’acqua e il profilo ondulato del terreno garantisce maggiore scabrosità riducendo così i fenomeni erosivi e la formazione di una crosta superficiale.

8.6. Affinamento del terreno

a. Primo Passaggio

	COLTIVATORI									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[km/h]	12,4	11,2	9,3	10,5	11,1	13,9	11,9	9,3	11,3	11,8
[cm]	3 -6	6,5 -7	3 -6	3 -4	6 -9	5	6 -9	6 -11	6	8 -12
mm	Classi di affinamento [%]									
< 5	52,71	63,97	62,95	47,34	58,28	52,68	61,3	59,02	55,97	51,46
5 - 10	15,56	11,89	14,61	16,32	15,09	14,71	14,28	14,78	14,65	14,76
10 - 20	15,08	11,65	12,16	16,22	13,03	14,27	12,28	12,48	13,01	15,11
20 - 40	11,3	9,42	7,33	12,41	9,57	11,91	8,42	9,46	10,18	12,39
40 - 100	5,36	3,07	2,96	7,71	4,03	6,43	3,71	4,26	6,2	6,27

Tabella 22: Velocità [km/h] e profondità di lavoro [cm], Affinamento del terreno (Classi percentuali) - lavorazione superficiale

Come emerge dalla tabella 6, i valori per l’affinamento del terreno nella lavorazione superficiale oscillano tra 47,34 % (coltivatore 4) e 63,97% (coltivatore 2) per la classe < 5 mm con una media di 56,57%. Per la classe 5 – 10 mm i valori oscillano tra 11,89% (coltivatore 2) e 16,32% (coltivatore 4) con una media di 14,66%. Analizzando i valori per la classe 10 – 20 mm, i valori sono compresi tra 11,65% (coltivatore 2) e 16,22% (coltivatore 4) con una media di 13,53%. Per la classe 20 – 40 mm i valori oscillano tra 7,33% (coltivatore 3) e 12,39% (coltivatore 10) con una media di 10,24%. I valori per la classe 40 – 100 mm oscillano tra 2,96 (coltivatore 3) e 7,71 % (coltivatore 4).

L’effetto di affinamento viene determinato dalla profondità di lavoro, dalla velocità di lavoro, dal tipo di attrezzo e dal tipo e peso del rullo posteriore. L’affinamento del terreno è un parametro determinante per valutare la qualità svolta dal coltivatore; deve soddisfare non solo le esigenze “meccaniche - energetiche” (ridurre al minimo lo sforzo per le successive lavorazioni), ma anche tenere in considerazione gli effetti “agronomici - ambientali” (riduzione dei fenomeni erosivi e della creazione di una crosta superficiale). Non sempre una sola macchina è in grado di soddisfare entrambe le esigenze. Per quanto riguarda i risultati riportati nella tabella 6, ed analizzando i singoli coltivatori si può confermare l’eccessivo affinamento da parte dei coltivatori 2 e 3 (63,97%, 62,95%), producendo terreno molto fine (< 5mm). In quanto le profondità di lavoro le velocità sono simili, l’effetto “polverizzante” deve essere determinato dal rullo posteriore. Analizzando le forme di questi rulli, si può

constatare che gli anelli con profilo dei coltivatori 2 e 3 si dimostrano non adatti per una lavorazione superficiale in condizioni molto asciutte, producendo di conseguenza quantitativi molto bassi nelle classi 5-10 mm e 10-20 mm. Gli altri coltivatori fanno registrare valori intorno ai 50% di aggregati <5mm, valore citato nella bibliografia. Questi valori relativamente bassi vengono però attenuati dallo scopo della lavorazione superficiale; il maggiore contatto possibile tra residui colturali e terreno viene raggiunto tramite un forte affinamento. Comunque il terreno risulta protetto dai residui colturali, in quanto incorporati nei primi 5 – 6 cm di terreno.

b. Secondo Passaggio

	COLTIVATORI									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[km/h]	9,6	10,1	8,5	9,8	9	8,9	10,8	8,8	10,2	10,4
[cm]	15-20	16-17	8 - 12	19-20	20-22	14-18	15-20	10-16	12-19	18-24
mm	Classi di Affinamento [%]									
< 5	38,1	51,1	53	43,8	46,2	48,5	45	45,2	46,4	45
5 - 10	35,5	18,9	21,1	21,2	20,2	18,4	24,2	19,3	22,3	24,2
10 - 20	14,4	16,3	16	18,1	17,7	17,1	17,1	17,2	16,5	17,1
20 - 40	8	10	7,3	12,8	11,7	12,1	10,3	13,1	10,5	10,3
40 - 100	2,8	3,7	2,8	4,1	4,2	3,9	3,4	5,2	4,2	3,4

Tabella 23: Velocità [km/h] e profondità di lavoro [cm], Affinamento del terreno (Classi percentuali) - lavorazione profonda

Come emerge dalla tabella 7, i valori per l'affinamento del terreno nella lavorazione superficiale oscillano tra 38,1 % (coltivatore 1) e 53% (coltivatore 3) per la classe < 5 mm con una media di 46,23%. Per la classe 5 – 10 mm i valori oscillano tra 18,4% (coltivatore 6) e 35,5% (coltivatore 1) con una media di 22,53%. Analizzando i valori per la classe 10 – 20 mm, i valori sono compresi tra 14,4% (coltivatore 1) e 18,1% (coltivatore 4) con una media di 16,75%. Per la classe 20 – 40 mm i valori oscillano tra 7,3% (coltivatore 3) e 13,1% (coltivatore 8) con una media di 10,61%. I valori per la classe 40 – 100 mm oscillano tra 2,8 (coltivatori 1 e 3) e 5,2 % (coltivatore 8).

In questa seconda lavorazione i valori di affinamento sono decisamente più bassi nella classe <5mm. Considerando lo scopo della seconda lavorazione (preparazione del letto di semina) e il tempo che il terreno deve essere protetto dagli agenti atmosferici è importante aumentare le classi di affinamento 5 – 10 e 10 – 20 (grafico 7), garantendo così una rugosità adatta allo scopo. Quasi tutti gli coltivatori fanno registrare dei valori sotto i 50% nella classe <5mm e valori intorno ai 20% nella classe 5 – 10 mm, soddisfacendo così le esigenze di un letto di semina ideale.

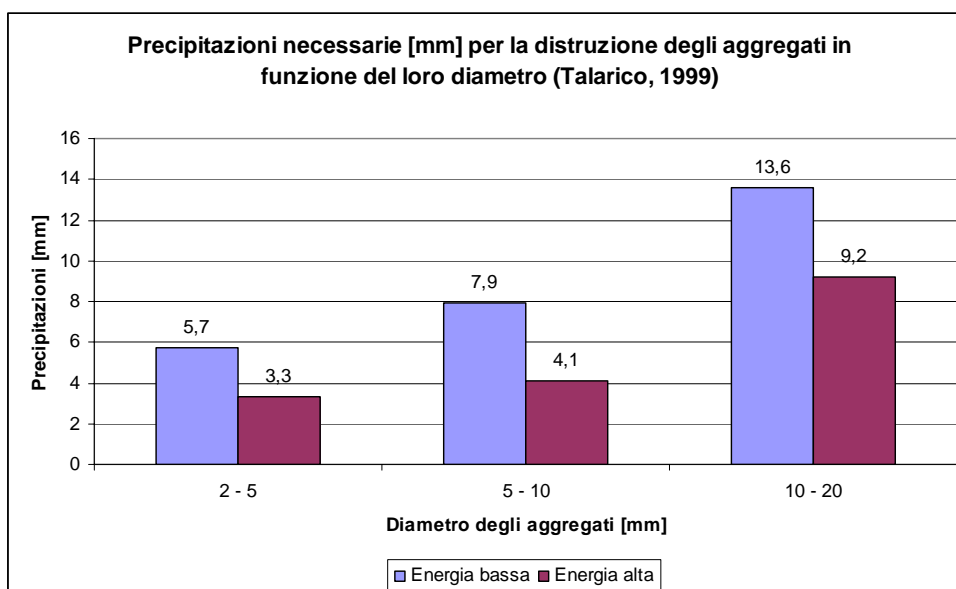


Grafico 7: Precipitazioni necessarie [mm] per la distruzione degli aggregati in funzione del loro diametro (Talarico, 1999)

8.7. Presenza di residui colturali nello strato lavorato

a. Secondo Passaggio

	COLTIVATORI									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Presenza di residui colturali (0-5 cm) [%]	18,10	39,75	18,25	19,25	18,5	28,63	18,13	29,28	22,8	13,13
Presenza di residui colturali (0-10 cm) [%]	34,13	73,88	41,25	42,5	41,38	47,38	39,5	55,5	46,25	30,88

Tabella 24: Interramento dei residui colturali - secondo passaggio

Come emerge dalla tabella 8, i valori per l'interramento dei residui colturali nel secondo passaggio (lavorazione profonda) oscillano tra 13,13 % (Coltivatore 10) e 39,75% (Coltivatore 2) con una media di 22,59% nello strato 0 – 5 cm. Nello strato 0 – 10 cm i valori oscillano tra 73,88% (coltivatore 2) e 30,88 (coltivatore 10) con una media di 45,27%. Per quanto riguarda gli obiettivi dell'Agricoltura Conservativa (>30% di copertura del terreno), solo due coltivatori hanno soddisfatto questa esigenza (coltivatori 2 e 8), mentre altre macchine sono rimaste al di sotto dei valori stabiliti dalla bibliografia. Anche per quanto riguarda la distribuzione nei primi 10 cm del terreno lavorato (>50% di presenza di residui colturali), solo due coltivatori hanno raggiunto il suddetto valore (coltivatori 2 e 8).

9. Agricoltura conservativa – rivediamo l'evidenza.

La coltivazione dei terreni agricoli è caratterizzata principalmente dall'aratura, che tecnicamente consiste in un'inversione degli strati tramite rovesciamento del terreno lavorato. L'inversione continua del terreno però, può in alcune situazioni condurre ad una degradazione della struttura del suolo che si traduce in un terreno compatto composto da particelle fini con bassi livelli di sostanza organica (SO). Questi terreni sono soggetti a perdite per erosione eolica ed idrica con conseguente desertificazione, come sperimentato negli USA negli anni 30 (BISWAS, 1984). Questo processo può causare direttamente ed indirettamente una vasta gamma di problemi ambientali. Per combattere la perdita di prezioso terreno agricolo e mantenere un certo livello di umidità sono state sviluppate le tecniche di conservazione del suolo. Queste tecniche conosciute come "conservation tillage" (CT, lavorazioni conservative), coinvolgono tutte le pratiche di gestione del terreno che rinunciano alla distruzione della struttura tramite l'inversione degli strati, conservando così la composizione e la biodiversità naturale, attenuando quindi l'erosione e la degradazione e limitando così la contaminazione delle falde acquifere (Anonimo, 2001). La terminologia "CT" comprende tutte le tecniche di lavorazione del terreno che contribuiscono alla realizzazione di questi obiettivi, compreso la semina diretta (NT, no-tillage) e la lavorazione minima (MT, minimum tillage). Altre tecniche agronomiche possono essere utilizzate in questo contesto compreso le "cover crops", la lavorazione delle stoppie e il mancato o il parziale interrimento dei residui colturali. In questo lavoro la maggiore attenzione è stata dedicata all'effetto delle lavorazioni sul suolo agricolo. In questo contesto il termine "lavorazione conservativa" (CT) è stato usato per descrivere le lavorazioni con non-inversione degli strati, mentre il termine "lavorazione convenzionale" definisce un sistema di lavorazione che implica l'inversione degli strati aggiungendo una lavorazione primaria e un ulteriore affinamento con una lavorazione secondaria per la preparazione del letto di semina. La lavorazione conservativa è diventata la tecnica preferita nelle zone dove le precipitazioni causano danni di erosione o dove la conservazione del contenuto idrico del terreno a causa di mancanza di eventi piovosi è l'obiettivo. Su scala mondiale la lavorazione conservativa è applicata su 95 milioni di ettari, maggiormente nelle Americhe (FAO, 2001) ma sta interessando anche regioni semiaride (Lal, 2000a) e tropicali del mondo (Lal, 2000b). Negli USA, durante gli anni 80, è stato riscontrato che la salvaguardia del terreno genera notevoli benefici ambientali e sono state adottate delle politiche che sostenevano gli agricoltori disposti ad adottare queste tecniche di lavorazione conservativa. Di conseguenza, l'erosione del terreno è stata sensibilmente diminuita. Tuttavia, i costi sociali dell'erosione sono ancora sostanziali, valutati annualmente in 37,6 miliardi di USD (Lal, 2001). A livello mondiale la degradazione causata dall'erosione riduce la produttività agricola di circa 18 milioni Mg annui (Lal, 2000b). Mentre, i benefici ambientali delle pratiche di gestione conservative si stanno riconoscendo universalmente (Lal, 2000a), in Europa, tuttavia, la degradazione del terreno soltanto recentemente è stata identificata come problema grave e diffuso. Il degrado del suolo implica la perdita di struttura che conduce al compattamento, alla diminuzione della sostanza organica e a una riduzione degli organismi nel terreno. Di conseguenza il contenuto idrico non viene mantenuto, con la formazione di ambienti anaerobici che rallentano i processi di mineralizzazione (Oldeman et al., 1991). In alcune zone, come

nell'area del Mediterraneo, il potenziale erosivo è molto alto, con 25 milioni di ettari che sono interessati da seri fenomeni di degradazione (De Ploey et al., 1991). Effettivamente, il tasso medio di perdita di terreno in Europa è 17 Mg/ha superando largamente il tasso di formazione di 1 Mg/ha (Troeh e Thompson, 1993). Il cambiamento climatico inasprisce il problema in quanto gli eventi piovosi sono diventati più violenti (Osborn et al., 2000). Nelle zone più temperate il rischio di erosione è spesso sottovalutato. Per esempio, il 16% della superficie coltivata nel Regno Unito è soggetto a un rischio medio - alto di erosione (Evans, 1996). Nel 1999, l'European Conservation Agriculture Federation (ECAAF) è nata per evidenziare questi problemi e per promuovere l'agricoltura conservativa nell'Unione Europea (ECAAF, 2001). Il degrado del terreno interessa le aziende agricole, anche se indiscutibilmente le minacce ed i costi più elevati si manifestano al di fuori del contesto aziendale, poichè comprendono l'inquinamento dell'aria e dell'acqua. Per questa ragione le conseguenze ambientali dell'errata gestione del suolo sono state ignorate su larga scala. L'inquinamento dell'aria e dell'acqua "lontano" dalle proprie risorse rimane nascosto all'agricoltore e conseguentemente non è motivato a cambiare le proprie abitudini. In azienda, il collegamento tra le pratiche di gestione del terreno e le questioni ambientali è difficile da osservare a meno che l'azienda agricola non abbia degli habitat particolarmente vulnerabili e una topografia che favorisce estremamente l'erosione del terreno. Dove accadono fenomeni di erosione, gli agricoltori sono spesso coscienti del problema e prendono i provvedimenti preventivi (Evans, 1996). Tuttavia, se l'erosione accade ma è meno evidente o nei limiti apparentemente accettabili, è improbabile che venga considerata come problema. In più, le perdite di produttività su scala aziendale vengono considerate di minore importanza manifestandosi soltanto nel 5% degli appezzamenti con perdite maggiori del 10% (Skinner e Chambers, 1996). Infatti, le riduzioni effettive della produttività non vengono rilevate a meno che il carbonio organico del terreno (C) scende sotto la soglia dell'1%. Queste perdite sono di minore natura rispetto al danno causato all'ambiente ed all'infrastruttura (Foster e Dabney, 1995; Evans, 1996). Per esempio negli USA, i costi on-site e off-site sono stati valutati in 85,5 €/ha (Pimentel et al., 1995). Evans (1996) riferisce di costi off-site per l'Inghilterra di 146 - 426 USD/km² mentre quelli per gli USA erano di 1.046 USD/km². I costi per le comunità riguardo all'erosione ed il deflusso superficiale sono state evidenziate più completamente da Evans (1996). Gli effetti ambientali della lavorazione conservativa sono state esaminate per gli USA (Soil and Water Conservation Society, 1995; Uri et al., 1998; Uri, 2001) e per il Canada (McLaughlin e Mineau, 1995). In Europa, la lavorazione conservativa è un concetto relativamente nuovo ma se ampiamente adottato può avere considerevoli benefici ambientali.

In queste conclusioni gli effetti delle lavorazioni conservative saranno confrontate ai sistemi convenzionali basati su risultati rinvenuti dalla ricerca bibliografica europea dell'autore.

Struttura del terreno

I diversi cambiamenti che si presentano nella composizione fisica e chimica del terreno adottando le tecniche della lavorazione conservativa sono state ampiamente descritte (Carter, 1994; El Titi, 2003). Una delle componenti più importanti del terreno è la sostanza organica, essa influenza fortemente la struttura, la stabilità degli aggregati, il potere tampone, la ritenzione idrica, l'attività biologica e l'equilibrio degli elementi nutritivi e infine determina il rischio di erosione, accentuando tali fenomeni quando il contenuto scende sotto il 2% (Greenland et al., 1975; Evans, 1996). Durante gli ultimi 40 anni la quantità di sostanza organica apportata o restituita al terreno è diminuita, soprattutto in conseguenza di intensificazioni, della rimozione dei residui colturali, della sostituzione dei concimi organici con fertilizzante minerale e dell'eliminazione dei pascoli dalle rotazioni. In più, la materia organica sta erodendo dai terreni sproporzionatamente rispetto alla sua disponibilità (Walling, 1990). Le perdite di sostanza organica negli ultimi 40 anni sono state valutate a 30 - 50% (Davidson et Ackerman, 1993; Kinsella, 1995) e una grande parte dei terreni ne contiene meno del 4%. Nel Regno Unito, per esempio, dal 1978 al 1995, la superficie con meno del 4% di sostanza organica è aumentata dal 78 all'88% (Anonimo, 1996). Un tale crollo della struttura viene combattuto spesso tramite ulteriore intensificazione piuttosto che con il riconoscere le misure correttive. Sistemi di lavorazione del terreno e di gestione dei residui colturali influenzano fortemente i processi chimico-fisici del suolo e ciò apporta un potenziale di benefici ambientali. Tuttavia, la stabilità degli aggregati è altamente influenzata anche dal contenuto idrico e dal tipo di terreno. Il danneggiamento della struttura può avvenire se le lavorazioni sono effettuate quando il terreno non si trova in stato di tempera. In queste condizioni, per tanto, come dimostrano Hussain et al., 1998; Ferreras et al., 2000; Raper et al., 2000, anche la lavorazione conservativa può, in determinate situazioni, condurre al compattamento del terreno e quindi abbassare i raccolti, aumentare il ruscellamento superficiale ed impedire in fine l'infiltrazione idrica. L'eccessivo traffico può causare il compattamento (Larink et al., 2001) ma il rischio è molto basso dove viene adottata la lavorazione conservativa (Sommer e Zach, 1992; Wiermann et al., 2000). Effettivamente è stato provato da Langmaack et al., 1999, 2002, che la lavorazione conservativa può essere un modo per attenuare i danni dovuti al compattamento, in particolare se adottato con le tecniche di decompattamento (Raper et al., 2000).

Qualità dell'acqua

Il sistema di lavorazione del terreno può avere considerevole influenza sull'erosione di terreno, sull'infiltrazione dell'acqua, sul deflusso superficiale e sulla lisciviazione. Sono legati a questo movimento di terreno ed acqua i pesticidi connessi alle particelle di terreno in forma solubile. La contaminazione delle falde acquifere con agrofarmaci e fertilizzanti minerali può danneggiare gli ecosistemi (Uri et al., 1998). In Europa, la lavorazione con inversione degli strati è spesso la tecnica scelta dagli agricoltori, in quanto permette l'infiltrazione delle piogge autunnali, ma in seguito al compattamento e alla formazione di una crosta superficiale i terreni così lavorati sono soggetti a fenomeni erosivi. La lavorazione conservativa è indicata per ridurre il deflusso superficiale fino a 89% e quindi anche la lisciviazione degli agrofarmaci e dei fertilizzanti minerali (Wauchope, 1978; Baker e

Lafren, 1983; Fawcett et al., 1994; Clausen et al., 1996). La lavorazione conservativa riduce il rischio della formazione di una crosta superficiale (Gilley, 1995) ma se le lavorazioni sono eseguite quando il terreno non è in tempera, il compattamento del terreno a sua volta può aumentare il rischio di erosione. Le lavorazioni del terreno possono interessare indirettamente gli ecosistemi acquatici, alterando il tasso di infiltrazione e quindi lo scambio con le falde acquifere e l'esigenza di irrigazione (Harrod, 1994; Evans, 1996) influenzano indirettamente le risorse idriche (perché l'acqua di irrigazione viene sottratta dalle falde). Nelle zone semiaride, la lavorazione conservativa contribuisce a mantenere costante il contenuto idrico negli strati superficiali (Rasmussen, 1999) e quindi riduce l'esigenza di irrigazione. In Australia, ad esempio, il livello delle falde acquifere era di 19 mm all'anno più alto nelle parcelle della lavorazione conservativa con i residui colturali in superficie, mentre si riduceva a 2,2 – 3,8 mm nelle parcelle di lavorazione convenzionale (O'Leary, 1996). Inoltre, la semina diretta con residui colturali in superficie aumenta l'infiltrazione idrica ed il contenuto idrico del terreno, mentre riduce il deflusso superficiale rispetto ai terreni arati (Carter e Steed, 1992). In Spagna, invece, la lavorazione conservativa non ha evidenziato differenze di immagazzinamento idrico in un confronto di semina diretta, minima lavorazione e aratura su rotazioni di cereali autunno-vernini (Lampurlanes et al., 2002).

Nutrienti

L'eutrofizzazione è un fenomeno che è presente su scala mondiale (Harper, 1992) ed è considerato come una conseguenza dei sistemi di lavorazione basati sull'aratura (con alti input di concimi minerali, inquinamento localizzato, depositi del silaggio ecc., (Anonymous, 1999) mentre la lavorazione conservativa può evitare la perdita di elementi nutritivi (Skøien, 1988). Per esempio, in un terreno molto compatto, il fosfato può accumularsi sulla superficie del terreno con una concentrazione elevata nelle acque di deflusso superficiale (Ball et al., 1997; Rasmussen, 1999); il rischio aumenta continuando con le applicazioni di fosfato (Baker e Lafren, 1983). In America del Nord, l'eutrofizzazione nella zona dei grandi laghi con il fosforo (P) è un fenomeno ben noto. Aumentando l'uso della lavorazione conservativa in 20 anni da 5 a 50% della superficie, la perdita del terreno è stata ridotta del 49% in linea con il trasporto dei fosfati (Richards e Baker, 1998; Gaynor e Findlay, 1995). Anche altri autori suggeriscono che l'applicazione della lavorazione conservativa richiede un cambiamento sia nelle tecniche di applicazioni che nelle dosi di fertilizzante (Gilley, 1995; Soileau et al., 1994). Le lavorazioni del terreno influenzano fortemente la lisciviazione dei nitrati, ma esistono contraddizioni nella bibliografia per quanto riguarda le perdite di N; Dowdell et al. (1987), Eck e Jones (1992), Kanwar (1997), Fawcett, (1995) riferiscono di perdite più alte ed infiltrazione più profonda con la non-lavorazione. Analogamente, Kandeler e Bohm (1996) parlano di N - mineralizzazioni più alte segnalate sotto la non - lavorazione e lavorazione conservativa. Al contrario, altri autori non segnalano differenze (Lamb et al., 1985; Sharpley et al., 1991; Jordan et al., 2000) per le non-lavorazioni. I lombrichi, e quindi la maggiore densità dei macropori, possono svolgere un ruolo importante conducendo ad un drenaggio migliore (Edwards e Lofty, 1982; Edwards et al., 1993).

Sedimenti

Il sedimento è una sostanza inquinante importante in molte parti d'Europa (Tebrügge e Düring, 1999) ed è stato considerato come l'agente inquinante più importante dei laghi, causando il danno off-site più serio (Christensen et al., 1995). Effettivamente, il 27 - 86% di terreno eroso risulta irrevocabilmente perso. (Quine e Walling, 1993) e dato le ampie aree di superficie agricola in Europa questo fenomeno desta considerevoli preoccupazioni. Dipende dalla tecnica esatta, ma la lavorazione conservativa può ridurre sostanzialmente l'erosione di terreno: la semina diretta riduce l'erosione fino al 95% (Towery, 1998) mentre la lavorazione conservativa ha realizzato una riduzione di 68%. Negli USA, la perdita di terreno è stata ridotta del 44 - 90% (Baker e Laflen, 1983; Fawcett et al., 1994) e fino al 98% in alcuni studi (Clausen et al., 1996). In una ricerca di 15 anni che confronta le differenti tecniche di lavorazione conservativa, la perdita del sedimento era di 532 kg/ha annui per la non-lavorazione e 1.152 kg/ha annui utilizzando la minima lavorazione profonda e un erpice a disco (Owens et al., 2002). Una riduzione della perdita di sedimenti e successivamente il miglioramento della qualità dell'acqua può avvantaggiare la fauna acquatica considerando che i sedimenti nei fiumi sono responsabili di anomalie comportamentali e morte dei pesci d'acqua dolce e degli invertebrati acquatici (Alabaster e Lloyd, 1980; Newcombe e MacDonald, 1991). La maggior parte della bibliografia che sostiene che la lavorazione conservativa può avvantaggiare gli organismi acquatici proviene da studi intrapresi negli USA (Sallenave e Day, 1991; Barton e Farmer, 1997). Inoltre, Barton e Farmer (1997) hanno riscontrato una maggior diversità di insetti, più specificamente Ephemeroptera, Plecoptera ed Trichoptera e le popolazioni della fauna erano analoghi a quelli trovati in acque pulite. Quindi, la lavorazione conservativa aumenta la stabilità idrologica (Barton e Farmer, 1997) determinando ambienti più favorevoli per la colonizzazione e la riproduzione.

Agrofarmaci

La lavorazione conservativa può influenzare l'impatto ambientale degli agrofarmaci con modifica della struttura del terreno e dei processi funzionali che interessano il "destino" degli agrofarmaci applicati. Il destino degli antiparassitari, una volta che sono stati applicati, è altamente complesso e dipende da molti fattori d'interazione, quali le proprietà dell'antiparassitario, le proprietà del terreno, le condizioni ambientali e le caratteristiche del luogo. Gli antiparassitari possono causare effetti acuti ed effetti cronici sugli organismi "non-target" prima che siano analizzati nei residui inoffensivi, così la loro persistenza nel terreno è una chiave determinante del loro impatto ambientale. Il movimento degli antiparassitari attraverso il terreno è stato rivisto da Flury (1996). Gli agrofarmaci possono inquinare le acque di superficie tramite i meccanismi del deflusso superficiale o della lisciviazione, questo è il motivo per cui il 50% dei campioni prelevati dai fiumi negli USA risultavano contaminati (MacDonald et al., 2000). Gli effetti della lavorazione sulla lisciviazione degli agrofarmaci sono stati rivisti da Rosa e Carter (2003) ed anche se hanno concluso, come Flury (1996) che il tipo di coltura era un fattore importante l'effetto della lavorazione conservativa era altamente variabile. La lavorazione conservativa può aumentare il rischio di lisciviazione dei diserbanti perché l'uso di essi può aumentare durante gli anni di transizione (Elliot e Coleman, 1988). Inoltre, l'aumento dei macropori del terreno facilita il

movimento dell'acqua e degli agrofarmaci nel terreno e successivamente nei corsi d'acqua (Harris et al., 1993; Kamau et al., 1996; Kanwar et al., 1997; Ogden et al., 1999) come accaduto con la non – lavorazione negli USA (Isensee et al., 1990; Smith e Chambers, 1993). I macropori generati dai lombrichi possono impedire che questo accada perché sono collegati fortemente con la sostanza organica che trattiene le sostanze chimiche, sostenendo però una microfauna varia ed abbondante che li converte in prodotti chimici più “benigni” (Edwards et al., 1993; Sadeghi et Isensee, 1997; Stehouwer et al., 1994). Analogamente, Levanon et al., (1994) e Novak et al., (1996) riferiscono che l'assorbimento degli agrofarmaci risulta più efficace nella lavorazione conservativa dovuto a un elevato contenuto di sostanza organica. Ricerche condotte in Germania hanno evidenziato che le concentrazioni di trietilene risultavano essere sotto il limite di rilevazione (0.005 mg/kg) ad una profondità di 30 centimetri nelle parcelle erpicate ma arrivavano fino a 0.019 mg/kg nelle parcelle sottoposte a lavorazione convenzionale, aumentando così il rischio di contaminazione delle falde acquifere (Berger et al., 1999). Il maggior tasso di infiltrazione e la presenza dei residui colturali connessi alla lavorazione conservativa accertano che la perdita di terreno ed il deflusso superficiale risulta ridotta (Clausen et al., 1996; Pantone et al., 1996; Mickelson et al., 2001) e quindi si riduce il rischio che gli antiparassitari saranno trasportati direttamente nelle acque di superficie, come accade nella lavorazione convenzionale (Watts e Hall, 1996). Tuttavia, non sempre si verifica questo e dipende dall'intensità della pioggia e dello stato del terreno (Mickelson et al., 2001). Dalla sperimentazione condotta da Clausen et al. (1996) sul deflusso superficiale ci risulta che l'entità di questo fenomeno è stata ridotta rispettivamente del 98%, mentre la perdita totale dell'atrazina e la cianazina è stata ridotta del 90 e del 80% nelle parcelle di lavorazione conservativa. Ciò dimostra l'importanza del deflusso superficiale nel trasporto dell'agrofarmaco come descritto anche da Fawcett et al., (1994). La sostanza organica, inoltre, sembra essere una componente chiave e dal momento che questa si accumula soltanto lentamente, il periodo che il terreno viene coltivato usando le tecniche di lavorazione conservativa influenza il rischio di perdita dell'agrofarmaco. Altre ricerche hanno evidenziato che la semina diretta ha ridotto il deflusso superficiale del diserbante del 70 - 100% (Fawcett, 1995) e l'adozione delle tecniche di non-lavorazione esaminate in un periodo di quattro anni hanno portato il deflusso a 10 mm nelle parcelle di lavorazione conservativa rispetto ai 709 mm sotto lavorazione convenzionale (Edwards et al., 1993). La lisciviazione può, tuttavia, essere più bassa nelle lavorazioni convenzionali se un evento piovoso si manifesta subito dopo la lavorazione perché l'infiltrazione dei terreni recentemente arati è inizialmente alta, ma diminuisce mentre subiscono la compattazione (Baker, 1992; Zacharias et al., 1991). La pioggia può essere il fattore determinante in alcune situazioni, attenuando tutti gli effetti delle lavorazioni (Gaynor et al., 2000). In Europa, ulteriore ricerca è necessaria a livello di intercettazione delle acque per determinare il “destino” degli agrofarmaci sotto lavorazione conservativa e del loro effetto successivo sugli organismi acquatici. È probabile che i risultati varieranno fra i diversi ago farmaci a causa delle loro differenze nelle proprietà chimico-fisiche, quindi ai cambiamenti delle caratteristiche del terreno (Sadeghi e Isensee, 1997) e della quantità di residui colturali che possono assorbire gli agrofarmaci (Sadeghi e Isensee, 1996). Inoltre, predire l'effetto degli agrofarmaci nei corsi d'acqua è altamente complesso a causa della variabilità della fauna, dei tipi del terreno, della concentrazione dell'agrofarmaco, del periodo di trattamento e delle condizioni ambientali che influenzano la degradazione dell'agrofarmaco.

L'adozione della lavorazione conservativa può influenzare indirettamente il rischio di contaminazione dell'acqua riducendo il livello generale di parassiti e malattie (Andersen, 1999; Ellen, 2003) tramite un più basso input teorico dell'agrofarmaco. Tuttavia, la probabilità che questo accada nella realtà è altamente remoto (Sturz et al., 1997; Andersen, 1999) ed esiste inoltre un rischio che saranno richieste delle applicazioni di emergenza (Hinkle, 1983), in particolare negli anni di transizione.

Il fabbisogno energetico

La lavorazione del terreno con l'aratura costituisce il fattore più energivoro della produzione vegetale. Il combustibile usato contribuisce direttamente alle emissioni di CO₂. Secondo Kern e Johnson (1993) la lavorazione conservativa può conservare 23,8 kg/ha di carbonio all'anno. Inoltre, un'analisi completa del ciclo di carbonio ha rivelato che le perdite di carbonio per la lavorazione convenzionale, la lavorazione ridotta e la non-lavorazione di mais, soia e frumento risultavano di 69.0, 42.2 e 23.3 kg/ha all'anno (West e Marland, 2002). Nei sistemi di lavorazione conservativa (semina diretta, erpicatura e semina) l'input energetico risulta chiaramente più basso rispetto alle lavorazioni basate sull'aratura o con erpice rotante (Leake, 2000). In più, l'uso di decompattatori, anch'essi legati ad un alto consumo energetico, diventa necessario per attenuare i danni strutturali causati dall'aratura. (Stenberg et al., 2000).

Emissioni di carbonio

L'intensificazione dell'attività agricola causa il degrado della sostanza organica nel suolo, aumentando l'emissione di CO₂, che a sua volta abbassa il trattenimento di C totale nel terreno. Ricostruendo la sostanza organica, l'adozione della lavorazione conservativa, in particolare se eseguita con il mantenimento dei residui colturali, può ridurre sostanzialmente le emissioni di CO₂ (West e Marland, 2002 Donaldson et al., 1996). Nei Paesi Bassi il contenuto di sostanza organica nel terreno era di 0.5% più alto usando un metodo integrato in 19 anni di sperimentazione (Kooistra et al., 1989). Dopo 12 anni di agricoltura integrata includendo le tecniche di lavorazione conservativa, il contenuto di sostanza organica era del 25% più alto nello strato 0 - 5 centimetri e del 20% più alto nello strato 0 - 30 centimetri, (el Titi, 1991). Aumenti simili del contenuto di sostanza organica sono stati trovati in studi intrapresi in Scandinavia (Rasmussen, 1999). La stabilità della sostanza organica ha mostrato un raddoppio nelle parcelle di non-lavorazione rispetto alla lavorazione convenzionale (Paustian et al., 2000, Stenberg et al., 2000). Il tempo per incrementare il contenuto di sostanza organica dipenderà dalla quantità di residui colturali restituiti al terreno, dall'intensità di lavorazione, dal tipo del terreno ed in modo particolare dal suo contenuto in argilla (Rhoton, 2000). Le differenze significative nel contenuto in sostanza organica sono state rilevate nei primi 2.5 centimetri dopo 4 anni di lavorazione conservativa. Altro vantaggio è la maggiore stabilità degli aggregati e la minore tendenza alla polverizzazione delle argille, che ha ridotto il rischio di erosione. Ci sono, tuttavia, preoccupazioni circa l'accumulo di parassiti e di certe patologie utilizzando solo la lavorazione conservativa e da alcuni viene suggerita "l'aratura di rotazione", anche se è ben noto, che i benefici della lavorazione conservativa si perdono velocemente dopo un unico intervento di aratura (Pierce et al., 1994). In

Germania, dove il terreno era stato lavorato solo con lavorazione conservativa per 20 anni, la sostanza organica era concentrata nei primi 5 cm e nel profilo 0 – 50 C_{org} era di 70 mg/ha rispetto al terreno arato (65 mg/ha) (Stockfisch et al., 1999).

Nel 1997, l'Unione Europea ha firmato il protocollo di Kyoto impegnandosi ad una riduzione dell'8% (rispetto ai livelli del 1990) delle emissioni di CO₂ entro il periodo 2008-2012; questo comprende l'utilizzazione di una vasta gamma di strategie (Smith et al., 2000). Il potenziale di ciascuna di queste è stato valutato in Tg (Teragrammi) annui come segue: uso della lavorazione conservativa (3.5); concimi animali (3.7); fango da acque di rifiuto (0.3); incorporazione della paglia di cereale (1.9); Agricoltura estensiva (3.3); rigenerazione boschiva (3.2); e Agricoltura biologica (4.1). Il valore per la lavorazione conservativa è una combinazione di emissioni di combustibile fossile e di accumulo di sostanza organica, presupponendo l'uso su 80% della area dedicata alla cerealicoltura, equivalente a 37% del terreno arabile. Tuttavia, è improbabile che le strategie precedentemente elencate possano essere usate separatamente, ma più probabilmente come combinazione più di pratiche. Inoltre, i livelli realizzati varieranno secondo la rotazione, il tipo di terreno e le macchine utilizzate. L'Italia sta accumulando un debito di oltre 4 milioni di euro al giorno (4,1 milioni di euro) per lo sfioramento delle emissioni di CO₂ rispetto all'obiettivo previsto dal Protocollo di Kyoto. Più precisamente, dall'1 gennaio 2008 il debito è di 47,6 € ogni secondo e diventeranno quasi 1,5 miliardi di euro a fine 2008 (per ogni tonnellata di CO₂ è stato stimato un prezzo di 20 €). Questo costo deriva dal divario di oltre 75 milioni di tonnellate di CO₂ che ci separa dagli obiettivi di Kyoto, con un livello di emissioni del 9.9% superiore rispetto al 1990. Va ricordato che nel periodo di adempimento 2008-2012, la quantità di emissioni assegnate all'Italia è pari a 483 Mt CO₂ eq (-6,5% rispetto al 1990). Questa è un'emergenza preoccupante sia in termini economici, di immagine che di mancate opportunità. Paghiamo dieci anni di sottovalutazione del problema climatico e di una notevole superficialità rispetto all'entrata in vigore del protocollo. Poiché ogni ulteriore ritardo comporterà costi crescenti sarà fondamentale che le istituzioni mettano al centro delle politiche del paese la questione climatica, con conseguenti scelte indirizzate verso efficienza energetica, utilizzo delle fonti rinnovabili e trasporti. La possibilità di ridurre CO₂ atmosferico attraverso l'approvazione della lavorazione conservativa è quindi un obiettivo importante a cui dover mirare. In Europa, è stato valutato da Smith et al. (1998) che il passaggio al 100% non-lavorazione potrebbe azzerare tutte le emissioni del CO₂ da combustibile fossile dall'agricoltura, quindi, il management dei terreni agricoli risulterà fondamentale nel raggiungimento degli obiettivi definiti nell'ambito del protocollo di Kyoto.

Biodiversità del terreno

La struttura del terreno e la diversità degli organismi all'interno di esso sono collegate perché la stabilità strutturale è determinata dall'attività biologica, con legami biologici, chimici e fisici; questi legami a loro volta sono determinati dal tipo di lavorazione, dalla tipologia di terreno e soprattutto dal contenuto di sostanza organica. Il terreno agricolo è considerato generalmente basso di biodiversità rispetto al terreno naturale. Le condizioni del terreno lavorato rispetto alla lavorazione conservativa si trovano fra i due estremi (Benckiser, 1997; Kladvko, 2001). La loro posizione dipende da al. fattori

come gli input di fertilizzante minerale e organico, impiego di pesticidi e le rotazioni. I benefici dell'aumento della biodiversità nel terreno non sono stati ampiamente studiati poiché il rendimento è stato aumentato con l'uso dei fertilizzanti, degli agrofarmaci e del miglioramento genetico. Nei sistemi di bassi input l'importanza di una fauna variegata e produttiva è stata riconosciuta come essenziale nel riciclaggio delle sostanze nutrienti, migliorando la struttura del terreno e sopprimendo le malattie (Zaborski e Stinner, 1995). Le uniche ricerche dettagliate sull'ecologia attualmente a disposizione riguardano nello specifico la realtà nordamericana, con particolare concentrazione sul confronto di non-lavorazione e lavorazione convenzionale, includendo l'effetto della lavorazione sugli organismi del terreno, le loro funzioni ed interazioni (Kladivko, 2001); la funzione della fauna (Wardle, 1995; Lavelle, 1997). Le seguenti sezioni rivedono gli organismi del terreno e le implicazioni della lavorazione del terreno; tuttavia, come gli studi su sistemi di bassi input hanno dimostrato, la lavorazione non può essere esaminata in modo isolato (Holland, 2002). I livelli degli input inorganici di N, il pH insieme ai livelli e l'ubicazione di sostanza organica lungo il profilo determinano la stabilità e la biodiversità del terreno. L'alto livello di sostanza organica generata nei primi strati di terreno con le tecniche della lavorazione conservativa rappresenta un ambiente favorevole per una vasta gamma di organismi rispetto ai sistemi basati sull'aratura, nei quali il residuo colturale viene interrato completamente (Rasmussen e Collins, 1991).

La fauna terricola viene suddivisa in tre gruppi secondo Lavelle (1997):

- Microorganismi (batteri, micorrize, protozoi, nematodi e tardigrada). Il loro habitat è la fase liquida del terreno e si nutrono di residui organici a basso peso molecolare.
- Mesofauna (enchytraeidae, collemboli, acarina, proturi e dipluri). Essi vivono nel sistema di pori e si nutrono di funghi, di particelle decomposte di sostanza organica o minerale, oppure sono predatori.
- Macrofauna (gasteropodi, lumbricidae, aracnidi, isopodi, miriapodi, ditteri, lepidotteri, coleotteri). Essi vivono tra gli aggregati del terreno; si alimentano del substrato del terreno, microflora e microfauna, flora e fauna e di sostanza organica. Hanno la capacità di spostare il terreno e quindi possono influenzare direttamente la porosità, lo scambio idrico e gassoso del terreno.

Microorganismi

Essi ricoprono varie funzioni nel terreno, quelle più importanti consistono nel riciclaggio delle sostanze nutrienti, ma rappresentano anche e soprattutto la base della catena alimentare. La biomassa microbica, la diversità e l'attività biologica generale sono considerate generalmente più alte in terreni lavorati con tecniche conservative rispetto a quelli lavorati secondo tecniche convenzionali (Wardle, 1995; Heisler, 1998; Lupwayi et al., 2001). Prove a lungo termine su un terreno sabbioso hanno

dimostrato che la lavorazione conservativa ha favorito popolazioni di batteri della rizosfera aumentando la nodulazione e l'azotofissazione nelle leguminose (Hoflich et al., 1999). Lupwayi et al. (2001) hanno dimostrato che la diversità funzionale dei batteri non ha mostrato differenze lungo l'intero profilo (cioè non separato in aggregati) per due tipi di terreno lavorati per 6 anni in modo convenzionale e in no-till. Tuttavia, nei singoli aggregati la diversità si è rivelata significativamente più alta nella lavorazione convenzionale rispetto al no-till durante la semina di orzo, ma in fase di accestimento la tendenza è risultata invertita con aumento della diversità nel no-till. Questa inversione è stata attribuita ad un declino della struttura del terreno nell'ambito della lavorazione convenzionale. I microorganismi inoltre contribuiscono alla formazione di una struttura stabile del terreno (Gupta e Germida, 1988). Con la lavorazione conservativa il maggior contenuto di sostanza organica nella superficie del terreno favorisce l'attività microbica che conduce al miglioramento della stabilità degli aggregati (Stenberg et al., 2000). Al contrario delle lavorazioni basate sull'aratura, la lavorazione conservativa genera una struttura più omogenea distribuendo i residui colturali nei primi centimetri di terreno; questo favorisce i batteri, protozoi e nematodi batterivori (Hendrix et al., 1986). Con la lavorazione convenzionale il compattamento del terreno è inoltre più alto, ciò riduce gli spazi tra i pori ed impedisce lo scambio e l'immagazzinamento di gas, dell'acqua e della sostanza organica (Brussaard e Van Faassen, 1994). La maggior parte degli studi sul compattamento del terreno, analizzati da Bamforth (1997) evidenzia una ridotta attività protozoica nei pori più piccoli. Ciò accade perché il compattamento genera un ambiente anaerobico che può risultare tossico per i protozoi. Analogamente, tali circostanze possono verificarsi attorno ai residui colturali interrati dall'aratura. I nematodi hanno delle importanti funzioni nel terreno, anche se sono maggiormente conosciuti per la loro azione parassitaria nei confronti di determinate colture (barbabietola, patata); invece contribuiscono al riciclo dei nutrienti e sono responsabili del 30% della mineralizzazione totale di N (Griffiths, 1994). Poiché i nematodi variano rispetto al contenuto idrico nel terreno a causa del loro movimento sono molto sensibili ai cambiamenti strutturali nel terreno e di conseguenza alla lavorazione (Crossley et al., 1992; Brust, 1991; El Titi e Ipach, 1989; Lenz e Eisenbeis, 2000; McSorley e Gallaher, 1994; Lopez-Fando e Bello, 1995).

Mesofauna

Le funzioni della mesofauna sono soprattutto, come per la microfauna, il riciclo dei nutrienti, ma anche la creazione di microaggregati che stabilizzano la struttura del terreno. Alcune specie inoltre fungono da cibo per gli artropodi della superficie. Uno dei gruppi più abbondanti sono gli enchytraeidae, la loro popolazione, infatti, dipende fortemente dal livello della sostanza organica. Tuttavia, questa specie sembra non essere particolarmente sensibile alle lavorazioni, a causa della loro alta percentuale riproduttiva e la loro piccola dimensione; sono persino stati trovati più abbondanti in appezzamenti arati (Didden et al., 1994). Tuttavia, dove i terreni hanno subito fenomeni di compattazione, il ricorso alla lavorazione conservativa ha fatto crescere significativamente il loro numero (Röhrig et al., 1998). Anche i collembola e gli acari fanno parte del riciclaggio degli elementi nutritivi ma questo accade principalmente quando i fertilizzanti minerali vengono sostituiti da concimi organici che favoriscono il loro alimento fungoso preferito (Rusek, 1998; Moore et al., 1990; Wardle, 1995; Moore et al., 1984;

Bertolani et al., 1989; Vreeken-Buijs et al., 1994). Una ridotta biomassa microbica potrebbe essere prevista dove la struttura del terreno è degradata perché questi gruppi sono limitati dallo spazio dei pori e soltanto la più piccola specie sopravvive (Heisler e Kaiser, 1995; Larink, 1997; Franchini e Rockett, 1996), in più, la distribuzione verticale dei microartropodi dipende dalla lavorazione e dal compattamento del terreno (Schrader e Lingnau, 1997) la più alta densità dei macropori invece, che si presenta con la lavorazione conservativa, facilita l'aumento dei microartropodi.

Macrofauna

I lombrichi modificano la struttura fisica dei terreni tramite la creazione di cunicoli, che possono penetrare il sottosuolo, influenzando così l'infiltrazione e il drenaggio; inoltre la caratteristica cementante degli escrementi diminuisce il rischio di erosione (Arden-Clarke e Hodges, 1987). Il trasporto di terreno da parte dei lombrichi assicura la miscelazione della sostanza organica, dei microorganismi, polline e semi e soprattutto la creazione di humus. I lombrichi inoltre alterano direttamente il contenuto nutriente del terreno dividendo meccanicamente la materia organica, aumentando l'attività microbica assicurando la miscelazione e di conseguenza la mineralizzazione di N. Le popolazioni dei lombrichi sono influenzate direttamente tramite le lavorazioni del terreno, ma l'effetto varia secondo le caratteristiche del terreno, gli stati climatici ed il tipo di lavorazione (Chan, 2001). La lavorazione di inversione, particolarmente se seguita da gelo o da siccità, espone i lombrichi a predatori (House e Parmelee, 1985; Kladvko et al., 2001). La lavorazione con erpice rotante è invece meccanicamente pericolosa (Edwards e Lofty, 1975). La lavorazione conservativa particolarmente se unita al rilascio dei residui e l'uso di fertilizzanti organici supplementari aumenta quasi sempre le popolazioni dei lombrichi (Kladvko, 2001). Le specie che scavano in profondità (*Lumbricus terrestris*) sono particolarmente favorite (Edwards e Lofty, 1982). Sotto lavorazione conservativa, la biomassa dei lombrichi nell'arco di un periodo di dieci anni era mediamente 36% superiore rispetto all'aratura (Jordan et al., 2000), in Germania El Titi e Ipach (1989) hanno rilevato un aumento sestuplo. Nel clima mediterraneo, le popolazioni di lombrichi sono risultate più alte di sei volte nelle parcelle di lavorazione conservativa rispetto all'aratura (Wuest, 2001). I gasteropodi, gli isopodi e i miriapodi sono considerati più sensibili alle lavorazioni e di conseguenza sono rari nei terreni agricoli (Wolters et Ekschmitt, 1997). Dove presenti, consumano e seppelliscono la materia organica verde e le loro feci favoriscono l'attività microbica che conduce alla formazione di aggregati e humus. Questi gruppi sono favoriti dalla lavorazione conservativa perché i residui colturali rimangono disponibili sulla superficie del terreno. (Glen et al., 1996; Kendall et al., 1995). Molti studi intrapresi in America hanno esaminato l'effetto dell'aratura sugli macro-artropodi del terreno. Viceversa in Europa sono stati condotti meno studi anche se i risultati sono simili ma anche contraddittori. Di aumenti del numero totale degli artropodi sotto lavorazione conservativa riferiscono Kendall et al., 1995; Purvis e Fadl, 1996; Andersen, 1999; Holland e Reynolds, 2003); una diminuzione invece registrano Andersen (1999) e Holland e Reynolds (2003), mentre riferiscono nessun effetto Huusela-Veistola (1996) e Holland e Reynolds (2003). Specie diverse possono variare nella loro risposta secondo le loro caratteristiche specifiche (Adis, 1979; Duffey, 1978; Hance e Gregoire-Wibo, 1987; Kendall et al., 1995; Holland e Reynolds, 2003; Hance et al., 1990 Kladvko (2001; Kromp (1999), Holland e Luff,

2000; Hance 2002; Purvis and Fadl, 1996 Rypstra et al., 1999; Basore et al., 1987) e le interazioni fra rotazione, sistema agronomico e copertura del terreno hanno spesso un maggior effetto della lavorazione (Hance, 2002; Andersen, 2003; Baguette e Hance, 1997; Kendall et al., 1995; Luff e Sanderson, 1992; Wardle, 1995).

Flora

Il numero e la diversità della flora nei campi a coltura in Europa sono cambiati drammaticamente in conseguenza dello sviluppo e all'uso molto diffuso di diserbanti più efficienti (Chancellor, 1977; Whitehead e Wright, 1989; Aebischer, 1991). La lavorazione conservativa può cambiare la composizione delle specie, favorendo le piante perenne (Chancellor and Froud-Williams, 1986). In Canada, Derksen et al. (1996) non hanno riscontrato un aumento delle malerbe che seguono abitualmente il cambiamento alla lavorazione conservativa, anche se altri autori riferiscono risultati differenti (Lafond e Derksen, 1996; Légère et al., 1994, Blackshaw et al., 1994; Theaker et al., 1995; Rew et al., 1996; Cavan et al., 1999; McCloskey et al., 1998). Effettivamente in Germania, dopo 4 anni di agricoltura integrata sotto lavorazione conservativa, il numero delle specie era diminuito del 90% in tutti i punti campionati a conferma che la causa era l'adozione della lavorazione conservativa (Albrecht e Mattheis, 1998). È da considerare che esista un'interazione fra la rotazione e la lavorazione (Streit et al., 2000). In realtà, l'aumento delle malerbe in un sistema dipende da molti fattori (Mulugeta e Stoltenberg, 1997).

Uccelli

L'intensificazione dell'agricoltura è considerata come responsabile del declino di molte specie di uccelli, anche se ci possono essere altri motivi (Baillie et al., 1997). La perdita delle stoppie durante l'inverno e l'assenza di cibo è considerata un fattore importante (Potts, 1998). I campi arati vengono evitati universalmente; gli uccelli preferiscono quelli dove rimangono le stoppie (Tucker, 1992; Wilson et al., 1996; Wilson et al., 1999 Hart et al., 2001; Hart, 2001; Draycott et al., 1997; Hoodless et al., 2001) La superficie del terreno è meno disturbata usando la lavorazione conservativa quindi la disponibilità di cibo dovrebbe essere più alta. La quantità di grano che rimane dopo la raccolta risulta maggiore se il terreno rimane indisturbato dopo la raccolta (Baldassarre et al., 1983) ed i residui colturali in superficie sotto lavorazione conservativa attraggono diverse specie di uccelli (Castrale, 1985). Di maggiore nidificazione sotto lavorazione conservativa riferiscono Castrale, 1985; Basore et al., 1986; Rodgers e Wooley, 1983; Flickinger e Pendleton, 1994; Lokemoen e Beiser, 1997; Shutler et al., 2000; Minser e Dimmick, 1988; Benton et al., 2002; Robinson e Sutherland, 2002; Saunders, 2000; Higginbotham et al., 2000; Valera-Hernández et al., 1997).

Benefici ambientali di adozione della lavorazione conservativa

I benefici ambientali di adozione della lavorazione conservativa sono molteplici, come è stato dimostrato negli USA, dove questa tecnica si è affermata da parecchi decenni. Confrontando gli studi eseguiti in Europa emergono invece minori quantità di informazioni e la causa risiede nella convinzione, radicata fino a poco tempo fa, di non dover cambiare metodologia di lavoro a causa di motivi agronomici, economici e sociali. In Europa fin dagli anni settanta sono state condotte sperimentazioni che valutano un metodo integrato della produzione vegetale (Holland et al., 1994; Holland, 2002). All'interno di questi, la lavorazione conservativa è sempre stato una componente chiave, influenzando l'umidità del terreno, il rischio di erosione e di lisciviazione. In questi studi, i confronti sono stati fatti spesso con l'agricoltura convenzionale basata sull'aratura e questa, di conseguenza, fornisce un'indicazione dei potenziali benefici della lavorazione conservativa, anche se l'influenza della lavorazione non può essere analizzata e valutata in modo isolato. Molti dei benefici della lavorazione conservativa possono soltanto essere dimostrati se queste tecniche vengono adottate su larga scala. In più, la maggior parte degli studi che analizzano la lisciviazione sono stati condotti su piccole parcelle e non sembra che questi risultati possano essere estrapolati e proiettati su larga scala (Striffler, 1965 Wauchope, 1978).

La misura dell'inquinamento dovuto all'uso di pesticidi, tuttavia, risulta complesso a causa di diversi fattori:

- il tipo di antiparassitario in uso e il sistema della loro applicazione;
- il tipo di terreno e la tendenza di influenzare le perdite dell'agente chimico;
- le circostanze climatiche (Kookana e Simpson, 2000).

Inoltre, studi su larga scala sono necessari per la valutazione degli effetti sugli habitat fluviali e marini ma tali studi sono costosi e difficili da stabilire, dovendo garantire una certa ripetibilità, considerando i fattori sopraindicati. Simili studi negli USA hanno però dimostrato i benefici della lavorazione conservativa con perdite di terreno e del deflusso superficiale ridotto con meno contaminazione delle falde acquifere (Clausen et al., 1996; Richards e Baker, 1998).

L'applicazione della lavorazione conservativa ancora non viene considerata dalla politica in termini di sovvenzioni nonostante la ricompensa economica notevole in termini di salvaguardia ambientale e la riduzione dell'erosione di terreno. Al contrario, sono stati gli agricoltori a riconoscere i benefici finanziari che provengono dall'adozione della lavorazione conservativa in termini di riduzione dei costi e del consumo energetico. La ricerca ora deve accertare l'attuabilità a lungo termine della lavorazione conservativa, accertando alti livelli di produzione, e fare in modo che il nuovo approccio non risulti un fallimento, come è accaduto nel Regno Unito negli anni 70 con l'introduzione della semina diretta. Le lavorazioni conservative, come la semina diretta devono essere un insieme di misure da adottare; non basta mettere da parte l'aratro per ottenere risultati accettabili a lungo termine. Creare questa

consapevolezza, è compito della ricerca, ma anche degli agronomi e dei consulenti agrari. Tuttavia, alcuni dei fattori che hanno impedito l'adozione dei sistemi di lavorazione conservativa negli anni settanta, persistono ancora oggi, essi comprendono l'instabilità dei raccolti, attrezzature costose e soprattutto le difficoltà di lavorazione in un ambiente con la presenza di residui colturali (Allen, 1975), anche se i macchinari e soprattutto le seminatrici da sodo hanno subito dei notevoli miglioramenti. Inoltre, la lavorazione conservativa necessita di un terreno relativamente asciutto e la pioggia può delle volte impedire le operazioni di semina. Di conseguenza, pochi agricoltori in Europa saranno disposti a passare completamente alla lavorazione conservativa, a meno che non siano le grandi aziende. Tuttavia, un contributo finanziario agli agricoltori per l'acquisto dei macchinari, una continua evoluzione delle seminatrici e la consulenza qualificata può incoraggiare sempre più agricoltori a cambiare e per tanto assicurare che vengano adottate le pratiche colturali più adatte. Sono le tecniche di non-inversione che richiedono generalmente maggior abilità dell'agricoltore nel management del terreno.

Gli impatti positivi dell'utilizzo della tecnica della non lavorazione del terreno sono molteplici. I cambiamenti nei metodi di produzione agricola dai sistemi convenzionali a quelli di non lavorazione del terreno hanno rovesciato il precedente andamento, che vedeva una produttività colturale in declino e hanno portato ad un metodo di coltivazione economicamente, ecologicamente e socialmente sostenibile. La lavorazione conservativa possiede un grande potenziale in termini di sequestro del carbonio, diminuendo le emissioni di biossido di carbonio e di altri gas serra, determinando condizioni positive per gli agricoltori e per la società nel suo complesso. L'agricoltore riduce le operazioni di lavorazione del terreno e quindi il consumo di combustibili fossili, vede diminuire i fenomeni di erosione, riscontra una migliore qualità del suolo e nello stesso tempo maggiori rese produttive. In questo modo, gli agricoltori aumentano la redditività e la sostenibilità dei loro sistemi di produzione agricola. Il consumatore ottiene un prodotto più salubre ad un prezzo minore, mentre la società riscontra un minor dispendio di risorse idriche e una riduzione delle emissioni di biossido di carbonio nell'atmosfera, con prospettive migliori per le future generazioni. È provato che l'AC ha determinato un impatto significativo nel ridurre la minaccia della desertificazione, nell'alleviare la fame, nel contribuire alla sicurezza alimentare, nel diminuire la povertà, nel soddisfare le nuove generazioni grazie a redditi più elevati ed al miglioramento della qualità della vita di coloro che adottano questi sistemi. È necessario uno sforzo globale per aumentare rapidamente l'adozione delle tecniche di non lavorazione del terreno; i programmi governativi e regionali dovrebbero favorire la diffusione di queste tecniche con incentivi agli agricoltori e alla ricerca. I programmi d'intervento dovrebbero enfatizzare maggiormente il sostegno al sistema della non lavorazione del terreno attraverso azioni mirate di ricerca, sperimentazione dimostrazione, con la valutazione dei risultati concreti e reali derivanti dai benefici agronomici, ambientali ed economici della lavorazione conservativa.

10. Bibliografia

- ADIS, J., 1979. Problems of interpreting arthropod sampling with pitfall traps. *Zool. Anz. Jena* 202, 177–184.
- AEBISCHER, N.J., 1991. Twenty years of monitoring invertebrates and weeds in cereal fields in Sussex. In: Firbank, L.G., Carter, N., Darbyshire, J.F., Potts, G.R. (Eds.), *The Ecology of Temperate Cereal Fields*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 305–331.
- ALABASTER, J.S., LLOYD, R., 1980. Finely divided solids. In: ALABASTER, J.S., LLOYD, R. (Eds.), *Water quality Criteria for Freshwater Fish*. Butterworth, London, pp. 1–20.
- ALBRECHT, H., MATTHEIS, A., 1998. The effects of organic and integrated farming on rare arable weeds on the Forschungsverbund Agrarokosysteme Munchen (FAM) research station in southern Bavaria. *Biol. Conserv.* 86, 347–356.
- ALLEN, H.P., 1975. ICI Plant protection Division experience with direct drilling systems, 1961–1974. *Outl. Agric.* 8, 213–215.
- ANDERSEN, A., 1999. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. II. Pests and beneficial insects. *Crop. Prot.* 18, 651–657.
- ANDERSEN, A., 2003. Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. II. Pests and beneficial insects. *Crop. Prot.* 22, 147–152.
- ANKEN, Th., Wie fein sollte der Boden sein? DLZ 5/97, S. 18-22
- ANONYMOUS, 1996. Indicators of Sustainable Development for the UK. Department of the Environment publication. HMSO, London, 196 pp.
- ANONYMOUS, 1999. Water Pollution Incidents in England & Wales 1998. A Report by the Environment Agency. The Stationary Office, London, 40 pp.
- ANONYMOUS, 2001. Conservation Agriculture in Europe. <http://www.ecaf.org.uk>.
- ARAH, J.R.M., SMITH, K.A., CRICHTON, I.J., Li, H.S., 1991. Nitrous oxide production and denitrification in Scottish arable soils. *J. Soil Sci.* 42, 351–367.
- ARDEN-CLARKE, C., HODGES, R.D., 1987. The environmental effects of conventional and organic biological farming systems. I. Soil erosion, with special reference to Britain. *Biol. Hortic. Agric.* 4, 309–357.
- ARSHAD M.A., SCHNITZER M., ANGERS D.A., RIPMEESTER J.A. (1990) — Effects of till vs no-till on the quality of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 22, 595-599.
- ARU A. (1991): Il suolo, parte fondamentale dell'ecosistema per l'agricoltura, *Agricoltura e Ambiente*, 34-49, Edagricole, Bologna
- AULAKH, M.S., RENNIE, D.A., PAUL, E.A., 1984. Gaseous N losses from soils under zero-till as compared to conventional-till management systems. *J. Environ. Qual.* 13, 130–136. 20
- BAGUETTE, M., HANCE, T., 1997. Carabid beetles and agricultural practices: influence of soil ploughing. *Biol. Agric. Hortic.* 15, 185–190.
- BAILLIE, S.R., GREGORY, R.D., SIRIWARDENA, G.M., 1997. Farmland bird declines: patterns, processes and prospects. In: *Symposium Proceeding No. 69 of British Crop Protection Council on Biodiversity and Conservation Agriculture*, Farnham, pp. 65–88.
- BAKER, J.L., 1992. Effects of tillage and crop residue on field losses of soil-applied pesticides. In: Schnoor, J.L. (Ed.), *Fate of Pesticides and Chemicals in the Environment*. Wiley, New York, pp. 175–187.
- BAKER, J.L., LAFLEN, J.M., 1983. Effect of tillage systems on runoff losses of pesticides, a rainfall simulation study. *J. Soil Water Conserv.* 38, 186–193.
- BALDASSARE, G., WHYTE, R., QUINLAN, E., BOLEN, E., 1983. Dynamics and quality of waste corn available to post-breeding waterfowl in Texas. *Wildl. Soc. Bull.* 11, 25–31.
- BALL, B.C., CAMPBELL, D.J., DOUGLAS, J.T., HENSHALL, J.K., O'SULLIVAN, M.F., 1997. Soil structural quality, compaction and land management. *Eur. J. Soil Sci.* 48, 593–601.
- BALL, B.C., SCOTT, S., PARKER, J.P., 1999. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil Till. Res.* 53, 29–39.
- BAMFORTH, S.S., 1997. Protozoa: recycling and indicators of agro ecosystem quality. In: Benckiser, G. (Ed.), *Fauna in Soil Ecosystems*. Dekker, New York, pp. 63–84.
- BARKER, A.M., BROWN, N.J., REYNOLDS, C.J.M., 1999. Do host-plant requirements and mortality from soil cultivation determine the distribution of graminivorous sawflies on farmland? *J. Appl. Ecol.* 36, 271–282.
- BARNES, K.K., W.M. CARLETON, R.J. THROCKMORTON, AND G.E. VANDENBERG (1971): *Compaction of agricultural soils.*- ASAE Monograph.

- BARTON, D.R., FARMER, M.E.D., 1997. The effects of conservation tillage practices on benthic invertebrate communities in headwater streams in south western Ontario, Canada. *Environ. Pollut.* 96, 207–215.
- Basore, N.S., Best, L.B., Wooley, J.B., 1986. Bird nesting in Iowa no-tillage and tilled cropland. *J. Wildl. Manage.* 50, 19–28.
- Basore, N.S., Best, L.B., Wooley, J.B., 1987. Arthropod availability to pheasant broods in no-tillage fields. *Wildl. Soc. Bull.* 15, 229–233.
- BATES C.G. (1924): The Windbreak as a Farm Asset, USDA Farmers Bull. 1405.
- Benckiser, G., 1997. Organic inputs and soil metabolism. In: Benckiser, G. (Ed.), *Fauna in Soil Ecosystems*. Marcel Dekker, New York, pp. 7–62.
- Benton, T.G., Bryant, D.M., Cole, L., Crick, H.Q.P., 2002. Linking agricultural practice to insect and bird populations: a historical study over three decades. *J. Appl. Ecol.* 39, 673–687.
- Berger, B.M., Duhlmeier, D., Siebert, C.F., 1999. Tillage effects on persistence and distribution of trifluralin in soil. *J. Environ. Qual.* 28, 1162–1167.
- BERICHTE ÜBER LANDWIRTSCHAFT (1991): Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 2 Bodennutzung, SH 204, 152 S.
- Bertolani, R., Sabatini, M.A., Mola, L., 1989. Effects of changes in tillage practices in Collembola populations. In: Dallai, R. (Ed.), *Proceedings of the Third International Symposium on Apterygota*, Siena, pp. 291–297.
- BEST, A.C. (1950): Empirical formulae for the terminal velocity of water drops falling through the atmosphere, *Quart. Journ. Roy. Meteor. Soc.* 76, 302 - 311
- Best, L.B., 1986. Conservation tillage: ecological traps for nesting birds? *Wildl. Soc. Bull.* 14, 308–317.
- BISAL, F.,HSIEH J.(1966):Influence of moisture on erodibility of soil by wind, *Soil Sci.* 102: 143-146.
- Biswas, M.R., 1984. Agricultural production and the environment: a review. *Environ. Conserv.* 11, 253–259.
- Blackshaw, R.E., Larney, F.O., Lindwall, C.W., Kozub, G.C., 1994. Crop rotation and tillage effects on weed populations on the semi-arid Canadian prairies. *Weed Technol.* 8, 231–237
- BLUME, H.-P. (ED.) (1990): *Handbuch des Bodenschutzes*.-ekomed, 686 S.
- BRANDT C.J. (1989): The size distribution of throughfall drops under vegetation canopies *Catena* 16 507 524
- BRANDT, C J (1990) Simulation of the size distribution and erosivity of raindrops and throughfall drops, *Earth Surf. Processes* 15 687-698.
- BREITFUSS, J. (1954): Untersuchungen über die gleichmäßige Tiefenablage der Saat von Rübensäegeräten. *Landtechnische Forschung* 4, Nr. 3, S. 82-86
- Brussaard, L., Van Faassen, H.G., 1994. Effects of compaction on soil biota and soil biological processes. In: Soane, B.D., Ouwkerk, C.V. (Eds.), *Soil Compaction in Crop Protection*. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 215–235.
- Brust, G.E., 1991. Augmentation of an endemic entomogenous nematode by agroecosystem manipulation for the control of a soil pest. *Agric. Ecosys. Environ.* 36, 175–184.
- Carter, M.R., 1994. *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton, FL, 390 pp. Carter, M.R., Steed, G.R., 1992. The effects of direct-drilling and stubble retention on hydraulic-properties at the surface of duplex soils in North-Eastern Victoria. *Aust. J. Soil Res.* 30, 505–516.
- Castrale, J.S., 1985. Responses of wildlife to various tillage conditions. *Trans. N. Am. Wildl. Nat. Resources Conf.* 50, 142–156.
- Cavan, G., Cussans, G., Moss, S.R., 1999. Modelling strategies to prevent resistance in black-grass (*Alopecurus mysosuroides*). In: Presented at Brighton Crop Protection Conference on Weeds, pp. 777–782.
- CAVAZZA L. (1991): Il problema della conservazione della fertilità del suolo in Italia, *Agricoltura e Ambiente*, 3-33, Edagricole, Bologna
- CAVAZZA, 1981
- CE (2006) — Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per la protezione del suolo e modifica la direttiva 2004/35/CE [COM (2006) 232]
- CE (2002) — Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento europeo, al Comitato economico e sociale e al Comitato delle Regioni - Verso una strategia tematica per la protezione del suolo [COM (2002) 179].
- CHAMEN, T., L. ALAKUKKU, S. PIRES, C. SOMMER, G. SPOOR, F. TIJINK, AND P. WEISKOPF (2001): Equipment and field practices to avoid subsoil compaction (in press).
- Chan, K.Y., 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity: implications for functioning in soils. *Soil Till. Res.* 57, 179–191.

- Chancellor, R.J., 1977. A preliminary survey of arable weeds in Britain. *Weed Res.* 17, 283–287.
- Chancellor, R.J., Froud-Williams, R.J., 1986. Weed problems of the next decade in Britain. *Crop Prot.* 5, 66–72.
- CHEPIL W.S. (1946): Dynamics of wind erosion: V. Cumulative intensity of soil drifting across eroding fields, *Soil Sci.*, 61 : 257-263.
- CHEPIL W.S. (1950): Properties of soil which influence wind erosion: I. The governing principle of surface roughness, *Soil Sci.*, 69: 149-162.
- CHEPIL W.S. (1956): Influence of moisture on erodibility of soil by wind, *Soil Sci., Soc. Amer. Proc.*, 20: 288-292.
- CHEPIL W.S., WOODRUFF N.P. (1963): The physics of wind erosion and its control. In *Advances in Agronomy*, Vol. 15, Academic Press, New York, p. 211-302.
- CHEPIL W.S. (1955): Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: V. Organic matter at varying stages of decomposition, *Soil Sci.*, 80: 413-421.
- Christensen, B., Montgomery, J.M., Fawcett, R.S., Tierney, D., 1995. *Best Management Practices for Water Quality*. Conservation Technology Center, West Lafayette, IN, USA, pp. 1–3.
- Clausen, J.C., Jokela, W.E., Potter, F.I., Williams, J.W., 1996. Paired watershed comparison of tillage effects on runoff, sediment, and pesticide losses. *J. Environ. Qual.* 25, 1000–1007.
- Crossley, D.A., Mueller, B.R., Perdue, J.C., 1992. Biodiversity of microarthropods in agricultural soils: relations to processes. *Agric. Ecosys. Environ.* 40, 37–46.
- DANIEL H.A. (1936): The physical changes in soil of the southern high plain due to cropping and wind erosion and relation between sand plus silt over clay ratios in these soils, *J. Amer. Soc. Agron.*, 28: 570-580.
- Davidson, E.A., Ackerman, I.L., 1993. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry* 20, 161–193.
- De Ploey, J.A., Imeson, A., Oldeman, L.R. 1991. Soil erosion, soil degradation and climate change. In: Brower, F.M., Thomas, A.J., Chadwick, M.J. (Eds.), *Land Use Change in EUROPE*. Kluwer Academic Publishers, London, pp. 275–292.
- Derksen, D.A., Blackshaw, R.E., Boyetchko, S.M., 1996. Sustainability, conservation tillage and weeds in Canada. *Can. J. Plant Sci.* 76, 651–659.
- DERPSCH et al., 1991:
- DERPSCH R. (2005) – The extend of Conservation Agriculture adoption worldwide: Implications and impact. *Proceedings of the Third World Congress on Conservation Agriculture: Linking Production, Livelihoods and Conservation*, Nairobi Kenya, October 3-7, 2005.
- DICK W.A., DURKALSKI J.T. (1997) — No-tillage production agriculture and carbon sequestration in a Typic Fragiudalf soil of Northeastern Ohio, in: Lal R., Kimble J., Follett R.F., Stewart B.A. (Eds.), *Management of carbon sequestration in soil*, *Advances in soil science*, CRC Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 59-71.
- Didden, W.A.M., Marinissen, J.C.Y., Vreeken-Buijs, M.J., Burgers, S.L., Geurs, M., Brussaard, L., 1994. Soil meso- and macro-fauna in two agricultural systems: factors affecting population dynamics and evaluation of their role in carbon and nitrogen dynamics. *Agric. Ecosys. Environ.* 51, 171–186.
- Donaldson, G., Hughes, J., Leake, A.R., 1996. The influence of cropping sequences and rotational management on energy use for machinery operations and crop production. *Aspects Appl. Biol.* 47, 383–386.
- Dowdell, R.J., Colbourn, P., Cannell, R.Q., 1987. A study of mole drainage with simplified cultivation for autumn-sown crops on a clay soil. 5. Losses of nitrate-N in surface runoff and drain water. *Soil Till. Res.* 9, 317–331.
- Draycott, R.A.H., Butler, D.A., Nossaman, J.J., Carroll, J.P., 1997. Availability of weed seeds and waste cereals to birds on arable fields during spring. In: Presented at Brighton Crop Protection Conference on Weeds, pp. 1155–1160.
- Duffey, E., 1978. Ecological strategies in spiders including some characteristics of species in pioneer and mature habitats. *Symp. Zool. Soc. Lond.* 42, 109–123.
- DÜRR, H.J., H. PETELKAU & C. SOMMER (1994): *Literaturstudie Bodenverdichtung*. Bericht aus dem Institut für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) im Auftrag des Umweltbundesamtes, unveröffentlicht.
- DÜRR, H.-J., H. PETELKAU UND C. SOMMER (1995): *Literaturstudie „Bodenverdichtung“*.- UBA-Texte 55/95, 203 S.
- ECAF, 2001. European Conservation Agriculture Organisation. <http://www.ecaf.org.uk>.
- Eck, H.V., Jones, O.R., 1992. Soil nitrogen status as affected by tillage, crops and crop sequences. *Agron. J.* 84, 660–668.
- Edwards, C.A, Lofty, J.R., 1975. The influence of cultivation on soil animal populations. In: Vanek, J. (Ed.), *Progress in Soil Zoology*. Academia, Prague, pp. 399–407.

- Edwards, C.A., Grove, T.L., Harwood, R.R., Colfer, C.J.P., 1993. The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability. *Agric. Ecosys. Environ.* 46, 99–121.
- Edwards, C.A., Lofty, J.R., 1982. The effect of direct drilling and minimal cultivation on earthworm populations. *J. Appl. Ecol.* 19, 723–734.
- El Titi, A., 1991. The Lautenbach Project 1978–1989: integrated wheat production on a commercial arable farm, south-west Germany. In: Firbank, L.G., Carter, N., Potts, G.R. (Eds.), *The Ecology Of Temperate Cereal Fields*. Blackwell Scientific Publishers, Oxford, pp. 399–412.
- El Titi, A., 2003. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton, FL, 384 pp.
- El Titi, A., Ipach, A., 1989. Soil fauna in sustainable agriculture: results of an integrated farming system at Lautenbach, FRG. *Agric. Ecosys. Environ.* 27, 561–572.
- ELFRIN, 1983
- Elliot, E.T., Coleman, D.C., 1988. Let the soil do the work for us. *Ecol. Bull.* 339, 23–32.
- Evans, R., 1996. *Soil Erosion and its Impacts in England and Wales*. Friends of the Earth, London, 121 pp.
- FAO, 2001. Food and Agriculture Organisation. Summary, Conservation Agriculture, Matching Production with Sustainability (<http://www.fao.org/ag/ags/agse/agsee/general/OBJECT.htm>).
- FAO, Conservation Agriculture web site;
www.fao.org/waicent/foainfo/agricult/ags/AGSE/agsee/general/OBJECT.htm
- Fawcett, R.S., 1995. Agricultural tillage systems: impacts on nutrient and pesticide runoff and leaching. In: *Farming For a Better Environment: A White Paper*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, pp. 67.
- Fawcett, R.S., Christensen, B.R., Tierney, D.P., 1994. The impact of conservation tillage on pesticide runoff into surface water: a review and analysis. *J. Soil Water Conserv.* 49, 126–135.
- Ferreras, L.A., Costa, J.L., Garcia, F.O., Pecorari, C., 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern “Pampa” of Argentina. *Soil Till. Res.* 54, 31–39.
- FINNEL H.H. (1951): Depletion of High Plains Wheatland, USDA, Circ. 871.
- Flickinger, E.L., Pendleton, G.W., 1994. Bird use of agricultural fields under reduced and conventional tillage in the Texas panhandle. *Wildl. Soc. Bull.* 22, 34–42.
- Flowerdew, J.R., 1997. Mammal biodiversity in agricultural habitats. In: *Symposium Proceeding No. 69 of British Crop Protection Council Biodiversity and Conservation Agriculture*, Farnham, pp. 25–40.
- Flury, M., 1996. Experimental evidence of transport of pesticides through field soils: a review. *J. Environ. Qual.* 25, 25–45.
- Foster, G., Dabney, S., 1995. Agricultural tillage systems: water erosion and sedimentation. In: *Farming For a Better Environment: A White Paper*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, pp. 41–43.
- FOURNIER, F. (1966): *Climat et Erosion*, Presse Univ. France, Paris
- Franchini, P., Rockett, C.L., 1996. Oribatid mites as “indicator” species for estimating the environmental impact of conventional and conservation tillage practices. *Pedobiologia* 40, 217–225.
- FRANZ, H., 1949: *Bodenleben und Bodenfruchtbarkeit*. Wien: Verlag Brilder Hollinek
- Fuller, R.J., Gregory, R.D., Gibbons, D.W., Marchant, J.H., Wilson, J.D., Baillie, S.R., Carter, N., 1995. Population declines and range contractions among lowland farmland birds in Britain. *Conserv. Biol.* 9, 1425–1441.
- Gaynor, J.D., Findlay, W.I., 1995. Soil and phosphorus loss from conservation and conventional tillage in corn. *J. Environ. Qual.* 24, 734–741.
- Gaynor, J.D., Ng, H.Y.F., Drury, C.F., Welacky, T.W., van Wesenbeeck, I.J., 2000. Tillage and controlled drainage subirrigated management effects on soil persistence of atrazine, metolachlor and metribuzin in corn. *J. Environ. Qual.* 29, 936–947.
- GEBHART D. L, JOHNSON H. S., MAYEUX H., POLLEY W. (1994) — The CPR increase soil carbon. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49: 488-492.
- GIARDINI, L., 1992 *Agronomia Generale, ambientale e aziendale*, quarta edizione, Bologna: Pàtron Editore
- GILL, W. R. & G. E. VANDENBERG (1967): *Soil dynamics in tillage and traction*. Agric. Handbook, 316, ARS, USDA
- Gilley, J.E., 1995. Tillage effects on infiltration, surface storage and overland flow. In: *Farming For a Better Environment: A White Paper*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, pp. 46–47.
- GIORDANI C., ZANCHI C., LOLI A., SAULLE G., ALIVENTI C. (1991): Efficacia di alcuni prodotti a base di polibutadiene nella fissazione di terreni sabbiosi soggetti ad erosione eolica, *L'Informatore Agrario*, 46: 48-54.
- Glen, D.M., Wiltshire, C.W., Walker, A.J., Wilson, M.J., Shewry, P.R., 1996. Slug problems and control strategies in relation to crop rotations. *Aspects Appl. Biol.* 47, 153–160.

- Greenland, D.J., Rimmer, D., Payne, D., 1975. Determination of the structural stability class of English and Welsh soils, using a water-coherence test. *J. Soil Sci.* 26, 303.
- Griffiths, B.S., 1994. Microbial-feeding nematodes and protozoa in soil: their effects on microbial activity and nitrogen mineralization in decomposition hotspots and the rhizosphere. *Plant Soil* 164, 25–33.
- GROSSI P. (1970): Criteri generali di lotta contro l'erosione, Estr. da «Difesa e conservazione del suolo dalle erosioni idrologiche», Ist. Tec. E Pr. Agr., 125-136, Roma.
- Gupta, V.V.S.R., Germida, J.J., 1988. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 20, 777–786.
- HAGEN L.J. (1976): Windbreak design for optimum wind erosion control, Proceedings, Symposium on Shelterbelts on the Great Plains», Denver, April, 20-22.
- HAKANSSON, I. (1994): Subsoil compaction caused by heavy vehicle weight – a long-term threat to soil productivity.- *Soil & Tillage Research Res.* 29, 105-110.
- Hance, T., 2002. Impact of cultivation and crop husbandry practices. In: Holland, J.M. (Ed.), *The Agroecology of Carabid Beetles*. Intercept, Andover, UK, pp. 231–250.
- Hance, T., Gregoire-Wibo, C., 1987. Effect of agricultural practices on carabid populations. *Acta Phytopathol. Entomol. Hun.* 22, 147–160.
- Hance, T., Gregoire-Wibo, C., Lebrun, Ph., 1990. Agriculture and ground-beetles populations. *Pedobiologia* 34, 337–346.
- Harper, D., 1992. *Eutrophication of Freshwaters*. Chapman & Hall, Suffolk, 327 pp.
- Harris, G.L., Howse, K.R., Pepper, T.J., 1993. Effects of mowing and cultivation on soil-water and runoff from a drained clay soil. *Agric. Water Manage.* 23, 161–180.
- Harrod, T.R., 1994. Runoff, soil erosion and pesticide pollution in Cornwall. In: Rickson, R.J. (Ed.), *Conserving Soil Resources*. CABI, Oxford, UK, pp. 105–115.
- Hart, J.D., Murray, A.W.A., Milsom, T., Parrott, D., Allcock, J., Watola, J., Bishop, D., Robertson, P.A., Holland, J.M., Southway, S.E., Begbie, M., Birkett, T., 2001. The abundance of farmlands birds within arable fields in relation to seed density. *Aspects Appl. Biol.* 67, 221–228.
- HAUSSMANN G. (1970): La cotica erbosa: fattore essenziale per la stabilità del terreno, In: «Difesa e conservazione del suolo dalle erosioni idrogeologiche». Ist. Di Tecn. E Prop. Agr., Roma.
- HEADY E.O., DAINES D.R. (1982): Short-term and long-term implications of soil loss control on U.S. agriculture, *J. Soil and Water Cons.* 37, 109-113
- Heisler, C., 1998. Influence of tillage and crop rotation on biological activity. *Agribiol. Res.* 51, 289–297.
- Heisler, C., Kaiser, E.A., 1995. Influence of agricultural traffic and crop management on collembola and microbial biomass in arable soil. *Biol. Fertil. Soils* 19, 159–165.
- Hendrix, P.F., Parmelee, R.W., Crossley, D.A., Coleman, D.C., Odum, E.P., Groffman, P.M., 1986. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. *Bioscience* 36, 374–380.
- Hinkle, M.K., 1983. Problems with conservation tillage. *J. Soil Water Conserv.* 38, 201–206.
- Higginbotham, S., Leake, A.R., Jordan, V.W.L., Ogilvy, S.E., 2000. Environmental and ecological aspects of Integrated, organic and conventional farming systems. *Aspects Appl. Biol.* 62, 15–20.
- Hoflich, G., Tauschke, M., Kuhn, G., Werner, K., Frielinghaus, M., Hohn, W., 1999. Influence of long-term conservation tillage on soil and rhizosphere microorganisms. *Biol. Fertil. Soils* 29, 81–86.
- Holland, J.M., 2002. Integrated farming systems. In: Pimentel, D. (Ed.), *Encyclopedia of Pest Management*. Marcel Dekker, New York, pp. 410–412.
- Holland, J.M., 2004: The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence; *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103 (2004) 1–25
The Game Conservancy Trust, Fordingbridge, Hampshire SP6 1EF, UK
- Holland, J.M., Frampton, G.K., Cilgi, T., Wratten, S.D., 1994. Arable acronyms analysed: a review of integrated farming systems research in Western Europe. *Ann. Appl. Biol.* 125, 399–438.
- Holland, J.M., Luff, M.L., 2000. The effects of agricultural practices on Carabidae in temperate agroecosystems. *Int. Pest Manage. Rev.* 5, 105–129.
- Holland, J.M., Reynolds, C.R., 2003. The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land. *Pedobiologia* 47, 181–191.
- Hoodless, A.N., Draycott, R.A.H., Ludiman, M.N., Robertson, P.A., 2001. Spring foraging behaviour and diet of released pheasants (*Phasianus colchicus*) in the United Kingdom. *Game Wildl. Sci.* 18, 375–386.
- HORN, R. (1981): Die Bedeutung der Aggregierung von Böden für die mechanische Belastbarkeit.- *Landschaftsentwicklung und Umweltforschung* Nr. 10.
- HORN, R., J.J.H. VAN DEN AKKER, AND J. ARVIDSSON (EDS.) (2000): Subsoil compaction.- *Advances in Geoecology* 32, 462 pp.

- House, G.J., Parmelee, R.W., 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Till. Res.* 5, 351–360.
- Hussain, I., Olson, K.R., Siemens, J.C., 1998. Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Sci.* 163, 970–981.
- Huusela-Veistola, E., 1996. Effects of pesticide use and cultivation techniques on ground beetles (Col, Carabidae) in cereal fields. *Ann. Zool. Fenn.* 33, 197–205.
- INTERNATIONAL GEOSPHERE BIOSPHERE PROGRAM (1998) – The terrestrial cycle: implications for the Kyoto protocol *Science* 280:1393-1394.
- Isensee, A.R., Nash, R.G., Helling, C.S., 1990. Effect of conventional vs. no-tillage on pesticide leaching to shallow groundwater. *J. Environ. Qual.* 19, 434–440.
- Johnston, R.J., 1986. Wildlife damage in conservation tillage agriculture: a new challenge. In: Salmon, T.P. (Ed.), *Proceedings of the Twelfth Vertebrate Pest Conference*. University of California, Davis, CA, pp. 127–132.
- JONES C.A., BASH G., BAYLIS A.D., BAZZONI D., BIGGS J., BRADBURY R.B., CHANEY K., DEEKS L.K., HELD R., GÓMEZ J.A., JONES R.J.A., JORDAN V.W.L., LANE M.C.G., LEAKE A., LIVERMORE M., OWENS P.N., RITZ K., STURNY W.G. and THOMAS E. (2006) — Conservation Agriculture in Europe: An approach to sustainable crop production by protecting soil and water? SOWAP, Jealott's Hill, Bracknell, RG42 6EY, UK
- Jordan, V.W., Leake, A.R., Ogilvy, S.E., 2000. Agronomic and environmental implications of soil management practices in integrated farming systems. *Aspects Appl. Biol.* 62, 61–66.
- Kamau, P.A., Ellsworth, T.R., Boast, C.W., Simmons, F.W., 1996. Tillage and cropping effects on preferential flow and solute transport. *Soil Sci.* 161, 549–561.
- Kandeler, E., Bohm, K., 1996. Temporal dynamics of microbial biomass, xylanase activity, N-mineralisation and potential nitrification in different tillage systems. *Appl. Soil Ecol.* 4, 181–191.
- Kanwar, R.S., 1997. Nonpoint sources of water contamination and their impacts on sustainability. In: IAHS Publishing *Proceedings of Rabat Symposium S4*, vol. 243, April–May 1997, pp. 187–192.
- Kanwar, R.S., Colvin, T.S., Karlen, D.L., 1997. Ridge, chisel, and no-till effects on tile water quality beneath two cropping systems. *J. Prod. Agric.* 10, 227–234.
- KAY B.D., VAN DEN BYGAART A.J. (2002) – Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Tillage Research*, 66; 107-118.
- Kendall, D.A., Chinn, N.E., Glen, D.M., Wiltshire, C.W., Winstone, L., Tidboald, C., 1995. Effects of soil management on cereal pests and their natural enemies. In: Glen, D.M., Greaves, M.P., Anderson, H.M. (Eds.), *Ecology and Integrated Farming Systems*. Wiley, London, pp. 83–102.
- Kern, K.S., Johnson, M.G., 1993. Conservation tillage impacts national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 200–210.
- KINNELL P I A. (1981): Rainfall intensity – kinetic energy relationship for soil loss prediction, *Soil Sci. Soc. Am. Journ.* 45 (1), 153 – 155
- KINNELL P.I.A. (1993): Sediment concentrations resulting from flow depth drop size interactions in shallow overland flow. *Trans of ASAE* 36(4) 1099 1 103
- Kinsella, J., 1995. The effects of various tillage systems on soil compaction. In: *Farming For a Better Environment: A White Paper*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, pp. 15–17.
- KIRKBY M.J., JONES R.J.A., IRVINE B., GOBIN A., GOVERS G., CERDAN O., VAN ROMPAEY A.J.J., LE BISSONNATS Y., DAROUSSIN J., KLING D., MONTANARELLA L., GRIMM M., VIEILLEFONT V., PUIGDEFABREGAS J., BOER M., KOSMAS C., YASSOGLOU N., TSARA M., MANTEL S., VAN LYNDEN G. (2004)— Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication ISPRA 2004 No.73 (S.PI.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Kladivko, E.J., 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil Till Res.* 61, 61–76
- Kooistra, M.J., Lebbink, G., Brussaard, L., 1989. The Dutch programme on soil ecology of arable farming systems 2: Geogenesis, agricultural history, field site characteristics and present farming systems at Lovinkhoeve experimental farm. *Agric. Ecosys. Environ.* 27, 463–469.
- Kookana, R.S., Simpson, B.W., 2000. Pesticide fate in farming systems: research and monitoring. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31, 1641–1659.
- KORDA, V.A. (ED.) (1987): Compaction of arable soils (in Russian). – Akad. Nauk. U.S.S.R., Moscow, 216 pp.
- Kromp, B., 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agric. Ecosys. Environ.* 74, 187–228.
- KTBL – Arbeitsgruppe (1993): Definition und Einordnung von Bodenbearbeitung und Bestellung. KTBL-Schrift 0236 (überarbeitet), Sonderdruck aus Landtechnik, H. 1/2

- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft), Hrsg., (1986): Bodenverdichtungen. KTBL-Schrift 308
- KÜNKELE, S. (1996): Einfluß von Bodenverdichtungen auf Qualität und Ertrag von Gemüse.-Dissertation Universität Hannover. Cuvillier Verlag Göttingen, 116 S.
- Lafond, G.P., Derksen, D.A., 1996. Long-term potential of conservation tillage on the Canadian prairies. *Can. J. Plant Pathol.* 18, 151–158.
- Lal, R., 1999. Long-term tillage and wheel traffic effects on soil quality for two central Ohio soils. *J. Sustain. Agric.* 14, 67–84. Lal, R., 2000a. Soil management in the developing countries. *Soil Sci.* 165, 57–72.
- Lal, R., 2000b. Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century. *Soil Sci.* 165, 191–207.
- Lal, R., 2001. Managing world soils for food security and environmental quality. *Adv. Agron.* 74, 155–192.
- Lamb, J.A., Petersen, G.A., Fenster, C.R., 1985. Fallow nitrate accumulation in a wheat-fallow rotation affected by tillage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49, 1441–1446.
- Lampurlanes, J., Angas, P., Cantero-Martinez, C., 2002. Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra region in Spain. *Soil Till Res.* 65, 207–220.
- LANDI, R. (1984): Regimazione idraulico-agraria e conservazione del suolo, *Riv. Di Agronomia*, n. 3-4, 147-174
- Langmaack, M., Schrader, S., Rapp-Bernhardt, U., Kotzke, K., 1999. Quantitative analysis of earthworm burrow systems with respect to biological soil-structure regeneration after soil compaction. *Biol. Fertil. Soils* 28, 219–229.
- Langmaack, M., Schrader, S., Rapp-Bernhardt, U., Kotzke, K., 2002. Soil structure rehabilitation of arable soil degraded by compaction. *Geoderma* 105, 141–152.
- Larink, O., 1997. Springtails and mites: important knots in the food web of soils. In: Benckiser, G. (Ed.), *Fauna in Soil Ecosystems*. Marcel Dekker, New York, pp. 225–264.
- LARINK, O., C. HEISLER, W. SÖCHTIG, B. LÜBBEN UND L. WICKENBROCK (1995): Einfluß verdichteter Ackerböden auf die Bodenfauna und ihr Beitrag zur Bodenlockerung.- KTBL-Schrift 362, Darmstadt, 142-156.
- Larink, O., Werner, D., Langmaack, M., Schrader, S., 2001. Regeneration of compacted soil aggregates by earthworm activity. *Biol. Fertil. Soils* 33, 395–401.
- LARSON W.E., PIERCE F.J. (1983): The threat of soil erosion to long-term crop productivity, *Science*, 218: 458-465.
- LARSON, W. E., G. R. BLAKE, R. R. ALLMARAS, W. B. VOOREHEES & S. C. GUPTA (1989): Mechanics and related processes in structured agricultural soils. *NATO ASI-Series, E: Applied Sciences* 172
- Lavelle, P., 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. In: Begon, M. (Ed.), *Advances in Ecological Research*. Academic Press, New York, pp. 93–132.
- LAWS J.O., PARSONS D.A. (1943): The relation of raindrop size to intensity, *Trans. American Geophysical Union*.
- Leake, A.R., 2000. Climate change, farming systems and soil. *Aspects Appl. Biol.* 62, 253–260.
- Légère, A., Simard, R.R., Lapierre, C., 1994. Response of spring barley and weed communities to lime, phosphorous and tillage. *Can. J. Plant Sci.* 74, 421–428.
- Lenz, R., Eisenbeis, G., 2000. Short-term effects of different tillage in a sustainable farming system on nematode community structure. *Biol. Fertil. Soils* 31, 237–244.
- Levanon, D., Meisinger, J.J., Codling, E.E., Starr, J.L., 1994. Impact of tillage on microbial activity and the fate of pesticides in the upper soil. *Water Air Soil Pollut.* 72, 179–189.
- Lokemoen, J.T., Beiser, J.A., 1997. Bird use and nesting in conventional, minimum-tillage, and organic cropland. *J. Wildl. Manage.* 61, 644–655.
- LopezFando, C., Bello, A., 1995. Variability in soil nematode populations due to tillage and crop rotation in semi-arid Mediterranean agrosystems. *Soil Till. Res.* 36, 59–72.
- Lupwayi, N.Z., Arshad, M.A., Rice, W.A., Clayton, G.W., 2001. Bacterial diversity in water-stable aggregates of soils under conventional and zero tillage management. *Appl. Soil Ecol.* 16, 251–261.
- LYLES L. (1977): Wind erosion: Processes and effects on on soil productivity, *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.*, 20: 880 – 884
- MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G., Berger, T.A., 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 39, 20–31.

- MANNERING J.V., JOHNSON C.B. (1969): Effect of crop row spacing on erosion and infiltration, *Agron. Journ.*, 61, 902-905.
- McCloskey, M.C., Firbank, L.G., Watkinson, A.R., Webb, D.J., 1998. Interactions between weeds of winter wheat under different fertilizer, cultivation and weed management treatments. *Weed Res.* 38, 11–24.
- McLaughlin, A., Mineau, P., 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agric. Ecosys. Environ.* 55, 201–212.
- McSorley, R., Gallaher, R.N., 1994. Effect of tillage and crop residue management on nematode densities on corn. *J. Nematol.* 26, 669–674.
- MECH S.J., WOODRUFF N.P. (1967): Wind erosion on irrigated lands, in: «Irrigation of Agricultural Lands», Amer. Soc. Agron: Monograph No. 11. Madison, Wisc. P. 964-973.
- Mickelson, S.K., Boyd, P., Baker, J.L., Ahmed, S.I., 2001. Tillage and herbicide incorporation effects on residue cover, runoff, erosion, and herbicide loss. *Soil Till. Res.* 60, 55–66.
- Minser, W.G., Dimmick, R.W., 1988. Bobwhite quail use of no-till vs. conventionally planted crops in western Tennessee. *J. Soil Water. Conserv. Soc.* 43, 270–272.
- Moore, J.C., Snider, R.J., Robertson, L.S., 1984. Effects of different management-practices on collembola and acarina in corn production systems. 1. The effects of no-tillage and atrazine. *Pedobiologia* 26, 143–152.
- Moore, J.C., Zwetsloot, H.J.C., Deruiter, P.C., 1990. Statistical-analysis and simulation of the belowground food webs of 2 winter-wheat management-practices. *Neth. J. Agric. Sci.* 38, 303–316.
- MORGAN R.P.C., QUINTON J.N., RICKSON R.J. (1990): Structure of the soil erosion prediction model for the European Community, in «Proceedings Internationals Symposium on Water Erosion, Sedimentation and Resource Conservation», Dehradun India, 49-59, Central Soil Water Conservation Institute.
- Moss H.C. (1935): Some field and laboratory studies of soil drifting in Saskatchewan, *Sci. Agric.*, 15: 665-679.
- Mulugeta, D., Stoltenberg, D.E., 1997. Weed and seedbank management with integrated methods as influenced by tillage. *Weed Sci.* 45, 706–715.
- Newcombe, C.P., MacDonald, D.D., 1991. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *N. Am. J. Fish Manage.* 11, 72–82.
- Novak, J.M., Watts, D.W., Hunt, P.G., 1996. Long-term tillage effects on atrazine and fluometuron sorption in Coastal Plain soils. *Agric. Ecosys. Environ.* 60, 165–173.
- Ogden, C.B., urbu, H.M., Wagenet, R.J., Steenhuis, T.S., 1999. Spatial-temporal variability of preferential flow in a clay soil under no-till and plow-till. *J. Environ. Qual.* 28, 1264–1273.
- Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., Sombroek, W.G., 1991. World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation. An Explanatory Note (revised ed.). UUEP and ISRIC, Wageningen, The Netherlands, 34 pp.
- Oleary, G.J., 1996. The effects of conservation tillage on potential groundwater recharge. *Agric. Water Manage.* 31, 65–73.
- Osborn, T.J., Hulme, M., Jones, P.D., Basnett, T.A., 2000. Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation. *Int. J. Climatol.* 20, 347–364.
- Owens, L.B., Malone, R.W., Hothem, D.L., Starr, G.C., Lal, R., 2002. Sediment carbon concentration and transport from small watersheds under various conservation tillage. *Soil Till. Res.* 67, 65–73.
- PALMER R.S. (1965): Water drop impactforce, *Trans. Of ASAE*, 8.
- Pantone, D.J., Potter, K.N., Torbert, H.A., Morrison, J.E., 1996. Atrazine loss in runoff from no-tillage and chisel-tillage systems on a Houston black clay soil. *J. Environ. Qual.* 25, 572–577.
- Paustian, K., Six, J., Elliott, E.T., Hunt, H.W., 2000. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry* 48, 147–163.
- PETELKAU, H. (1984): Auswirkungen von Schadverdichtungen auf Bodeneigenschaften und Pflanzenertrag sowie Maßnahmen zu ihrer Minderung.- Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.- Wiss. DDR, Berlin 227, 25-34.
- PETELKAU, H., C.-R. GÄTKE, M. DANNOWSKI, K. SEIDEL & J. AUGUSTIN (1988): Bodenphysikalische Grundlagen für die Steuerung der Grundbodenbearbeitung. Tag.-Bericht: „Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und der Erträge durch wissenschaftlichen Fortschritt“, 5.-7. Juli 1988, FZB Müncheberg, 362 – 378
- Pierce, F.J., Fortin, M.-C., Staton, M.J., 1994. Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1782–1787.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267, 1117–1123.

- PISANTE M. (2002) — Tecniche agronomiche conservative per la riduzione dei processi di degradazione del suolo. Atti convegno nazionale "Desertificazione: la nuova emergenza del bacino del Mediterraneo", Catania-Caltagirone-Palermo, 22-25 maggio 2001, 3-9.
- PISANTE M. (2007) in *Agricoltura Blu, La via italiana dell'agricoltura conservativa – Principi, tecnologie e metodi per una produzione sostenibile* a cura di Michele Pisante, Edagricole, Bologna 2007
- POCHI, D., RANGHI, L., SANTORO, G. (1996): Un laboratorio mobile per l'analisi delle interazioni trattore-operatrice-terreno, Parte terza: Confronto fra metodologie per la valutazione della potenza assorbita dalle operatrici, *Riv. Di Ing. Agr.* (1996), 4, pp. 193-197
- Potts, G.R., 1998. Cereal farming, pesticides and grey partridges. In: Pain, D.J., Pienkowski, M.W. (Eds.), *Farming and Birds in Europe*. Academic Press, London, pp. 151–177.
- Purvis, G., Fadl, A., 1996. Emergence of Carabidae (Coleoptera) from pupation: a technique for studying the 'productivity' of carabid habitats. *Ann. Zool. Fenn.* 33, 215–223.
- Quine, T.A., Walling, D.E., 1993. Assessing recent rates of soil loss from areas of arable cultivation in the UK. In: Wicherek, S. (Ed.), *Farmland Erosion: In Temperate Plains Environment and Hills*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 357–371.
- RAGLIONE M., SFALANGA M., TORRI D. (1980): Misura dell'erosione in un ambiente argilloso della Calabria, *Ann. Ist. Sper. Studio e Difesa del Suolo*, XI, 159-181.
- RANGHI, L., SANTORO, G. (1996a): Un laboratorio mobile per l'analisi delle interazioni trattore-operatrice-terreno, Parte prima: Descrizione dell'attrezzatura, *Riv. Di Ing. Agr.* (1996), 2, pp. 65-72
- RANGHI, L., SANTORO, G. (1996b): Un laboratorio mobile per l'analisi delle interazioni trattore-operatrice-terreno, Parte seconda: Risultati di prove, *Riv. Di Ing. Agr.* (1996), 2, pp. 73-79
- Raper, R.L., Reeves, D.W., Burmester, C.H., Schwab, E.B., 2000. Tillage depth, tillage timing, and cover crop effects on cotton yield, soil strength, and tillage energy. *Appl. Eng. Agric.* 16, 379–385.
- Rasmussen, K.J., 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil Till. Res.* 53, 3–14.
- Rasmussen, P.E., Collins, H.P., 1991. Long-term impacts of tillage fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Adv. Agron.* 45, 93–134.
- Rew, L.J., Froud-Williams, R.J., Boatman, N.D., 1996. Dispersal of *Bromus sterilis* and *Anthriscus sylvestris* seed within arable field margins. *Agric. Ecosys. Environ.* 59, 107–114.
- Rhoton, F.E., 2000. Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 700–709.
- Richards, R., Baker, D., 1998. Twenty Years of Change: The Lake Erie Agricultural Systems for Environmental Quality (LEASEQ) Project. Water Quality Laboratory, Heidelberg College, Tiffin, OH.
- Robinson, R.A., Sutherland, W.J., 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *J. Appl. Ecol.* 39, 157–176.
- Rodgers, R.D., Wooley, J.B., 1983. Conservation tillage impacts on wildlife. *J. Soil Water Conserv.* 38, 212–213.
- Röhrig, R., Langmaack, M., Schrader, S., Larink, O., 1998. Tillage systems and soil compaction: their impact on abundance and vertical distribution of Enchytraeidae. *Soil Till. Res.* 46, 117–127.
- Rose, S.C., Carter, A.D., 2003. Agrochemical leaching and water contamination. In: Garcia-Torres, L., Benites, J., Martinez-Vilela, A., Holgado-Cabrera, A. (Eds.), *Conservation agriculture: environment, farmers experiences, innovations, socio-economy, policy*. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands, pp. 417–424.
- ROSEWELL C.J. (1983): Characteristics of high intensity rainfall, Unpublished Master of Natural Resources Thesis, Univ. New England, Armidale, Australia.
- ROSEWELL C.J. (1986): Rainfall kinetic energy in eastern Australia, *J. Climat. And Appl. Meteor.*
- RUHE R.V. (1969): Quaternary landscapes in Iowa, Iowa State University P. Schertz DL.
- Rusek, J., 1998. Biodiversity of Collembola. *Biodiv. Conserv.* 7, 1207–1219.
- RÜTEMANN, B. (1996): Einfluß verschiedener Verfahrenstechniken auf die Bodenbelastung und Bodenverdichtung im Freilandgemüsebau.- Dissertation Universität Hannover. Schriftenreihe des Instituts für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft Universität Hannover, Gartenbautechnische Informationen H. 39.
- Rypstra, A.L., Carter, P.E., Balfour, R.A., Marshall, S.D., 1999. Architectural features of agricultural habitats and their impact on the spider inhabitants. *J. Arachnol.* 27, 371–377.
- Sadeghi, A.M., Isensee, A.R., 1996. Impact of reversing tillage practices on movement and dissipation of atrazine in soil. *Soil Sci.* 161, 390–397.
- Sadeghi, A.M., Isensee, A.R., 1997. Alachlor and cyanazine persistence in soil under different tillage and rainfall regimes. *Soil Sci.* 162, 430–438.

- Sallenave, R.M., Day, K.E., 1991. Secondary production of benthic stream invertebrates in agricultural. *Chemosphere* 23, 57–76.
- SANTORO M. (1974): L'erosione idrica nell'area sperimentale di Sparacia: studio preliminare ad un'indagine in pieno campo, *Boil. Ord. Ing. Prov. Di Palermo*, 1-23.
- Saunders, H., 2000. Bird species as indicators to assess the impact of integrated crop management on the environment: a comparative study. *Aspects Appl. Biol.* 62, 47–54.
- SAVAT J. (1979): Laboratory experiments on erosion and deposition of loess by laminar sheetflow and turbulent rill flow, in Vogt H. and Vogt Th. Eds., «Colloque sur l'erosion agricole des sols en milieu tempéré non Méditerranéen», Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 139-143.
- SCHEFFER, F., und P. SCHACHTSCHABEL, 1976 : *Lehrbuch der Bodenkunde*, 9. Auflg. Stuttgart: Enke-Verlag.
- Schrader, S., Lingnau, M., 1997. Influence of soil tillage and soil compaction on microarthropods in agricultural land. *Pedobiologia* 41, 202–209.
- Sharpley, A.N., Smith, S.J., Williams, J.R., Jones, D.R., Coleman, G.A., 1991. Water quality impacts associated with sorghum culture in the southern plains. *J. Environ. Qual.* 20, 239–244.
- SHEPERD, T.G., STAGNARI, F., PISANTE, M., and BENITES, J. (2006): *Visual Soil Assessment – Field Guide for Annual Crops*. Food and Agricultural Organisation of the United Nations. Rome, 2006. 14 p.
- Shepherd, M.A., Stockdale, E.A., Powlson, D.S., Jarvis, S.C., 1996. The influence of organic nitrogen mineralization on the management of agricultural systems in the UK. *Soil Use Manage.* 12, 76–85.
- SHERTZ D.L. (1983): The basic for soil loss tolerances, *J. Soil and Water Cons.*, 10-14.
- SHERTZ.L., MOLDENHAUER W.C., LIVINGSTON S.J., WEESIES G.A., HINTZE.A. (1989): Effect of past soil erosion on crop productivity in Indiana, *J. Soil and Water Cons.*, 44,604-608.
- Shutler, D., Mullie, A., Clark, R.G., 2000. Bird communities of prairie uplands and Wetlands in relation to farming practices in Saskatchewan. *Conserv. Biol.* 14, 1441–1451.
- SITH R.M., STAMEY W.L. (1965): Determining the range of tolerable erosion, *Soil Science* 100, 414-424.
- Skinner, R.J., Chambers, B.J., 1996. A survey to assess the extent of soil water erosion in lowland England and Wales. *Soil Use Man.* 12, 214–220.
- Skøien, S., 1988. Soil erosion and runoff losses of phosphorous. Effects of tillage and plant cover. *Norsk-Lamndbruksforskning*2, 207–218.
- Smith, K.A., Chambers, B.J., 1993. Utilizing the nitrogen content of organic manures on farms: problems and practical solutions. *Soil Use Manage.* 9, 105–112.
- Smith, P., Powlson, D.S., Glendining, M.J., Smith, J.U., 1998. Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. *Global Change Biol.* 4, 679–685.
- Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U., Falloon, P., Coleman, K., 2000. Meeting the UK's climate change commitments: options for carbon mitigation on agricultural land. *Soil Use Manage.* 16, 1–11.
- SOANE, B.D. AND C. VAN OUWERKERK (EDS.) (1994): *Soil compaction in crop production*.- Elsevier, 662 pp
- SÖHNE, W. (1953): Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. *Grundlagen der Landtechnik* 5, 49 – 63
- Soil and Water Conservation Society, 1995. *Farming For a Better Environment: A White Paper*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, 67 pp.
- Soileau, J.M., Touchton, J.T., Hajek, B.F., Yoo, K.H., 1994. Sediment, nitrogen, and phosphorus runoff with conventional tillage and conservation-tillage cotton in a small watershed. *J. Soil Water Conserv.* 49, 82–89.
- SOMMER, C. (1985): Ursachen und Folgen von Bodenverdichtungen sowie Möglichkeiten zu ihrer Verminderung. *Landtechnik* 9, 378 – 384
- SOMMER, C. (1991): *Bodenbearbeitung und Bodenschutz*. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik, Halle, S. 81-105
- SOMMER, C. (1998): Ein Konzept zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen in der pflanzlichen Produktion.- *Bodenschutz* 1, 12-16.
- Sommer, C., Zach, M., 1992. Managing traffic-induced soil compaction by using conservation tillage. *Soil Till. Res.* 24, 319–336.
- SPIILHAUS, A.F., (1958): Raindrop size, shape and falling speed, *Journal of Meteorology*, 6
- Stehouwer, R.C., Dick, W.A., Traina, S.J., 1994. Sorption and retention of herbicides in vertically orientated earthworm and artificial burrows. *J. Environ. Qual.* 23, 286–292.
- Stenberg, M., Stenberg, B., Rydberg, T., 2000. Effects of reduced tillage and liming on microbial activity and soil properties in a weakly-structured soil. *Agric. Ecosys. Environ.* 14, 135–145.

- STEWART B.A., ROBINSON C.A (1997) – Are agroecosystems sustainable in semiarid regions? *Adv. Agr.*, 60, 191-228.
- Stockfisch, N., Forstreuter, T., Ehlers, W., 1999. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. *Soil Till. Res.* 52, 91–101.
- STOEKELER J.H. (1962): Shelterbelt Influence on Great 249-257. *Plants Field Environment and Crops*, USDA Prod. Res. Rept. No., 62.
- Streit, B., Stamp, P., Richner, W., 2000. Impact of different tillage intensities on weed populations in arable crops. *Zeitschrift Fur Pflanzenkrankheiten Und Pflanzenschutz-J. Pl. Dis. Prot.* 41–46.
- Striffler, W.D., 1965. The selection of experimental watersheds and methods in disturbed forest areas. In: Anonymous, Symposium of Budapest. International Association of Surface Hydrologists, Budapest, Hungary, pp. 464–473.
- Sturz, A.V., Carter, M.R., Johnston, H.W., 1997. A review of plant disease, pathogen interactions and microbial antagonism under conservation tillage in temperate humid agriculture. *Soil Till. Res.* 41, 169–189.
- TALAMUCCI P. (1984): Cotiche erbose e conservazione del suolo, *Riv. di Agronomia*, 18, 3-4, 182-198
- Talarico, R. (1999): Einstellparameter eines Frässaatverfahrens mit Stützwalze, Diplomarbeit Institut für Landtechnik, Justus Liebig Universität, Gießen
- Talarico, R. (2005a): Actual to ENTAM, 3rd Research and Development Conference of Central- and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering, Godollo, 11-13. sept.2003, Proceedings 179-181 pp.
- Talarico, R.: (2005b) ENTAM – Prüfen für Europa; Der erste europäische Landmaschinentest wird Realität, *Schweizer Landtechnik*, n. 6/2005, p.38
- Talarico, R.: Liberatori, S.; (2005) ENTAM: Primo Test Europeo per macchine Agricole, *MMW* n. 5-6/2005, p. 66-68
- Talarico, R.; Limongelli, R.: (2005a) Arriva l' ENTAM Premium Test, *m&ma*, n.7/8-2005, p. 53-54
- Talarico, R.; Limongelli, R.: (2005b) Armonizzare le prove di macchine per la minima lavorazione del terreno, *L' informatore agrario*, 24/2005, p. 37
- Talarico, R.; Limongelli, R.: (2005c) In arrivo „ENTAM Premium Test“, *MAD*, 6, giugno 2005, p.35
- TEBRÜGGE E (2001) — Conservation agriculture, a worldwide challenge. First World Congress on conservation agriculture. Madrid, Spain, 1 - 5 October 2001 - Vol 1: keynote contributions. 2001; 303-316.
- TEBRÜGGE, F. (1987): Wirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf Bodenstruktur und Pflanzenenertrag. *Proc. Of the 3rd Int. Symp. On Mechanisation and Energy in Agriculture*, Izmir, Turkey 26.-29. Oct. 1987, S. 436 – 449.
- TEBRÜGGE, F., DÜRING, R.-A. 1999. Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil Tillage Res.* 53:15-28.
- Tebrügge, F., Düring, R.A., 1999. Reducing tillage intensity: a review of results from a long-term study in Germany. *Soil Till. Res.* 53, 15–28.
- Tew, T.E., Macdonald, D.W., Rands, M.R.W., 1992. Herbicide application affects microhabitat use by arable wood mice (*Apodemus sylvaticus*). *J. Appl. Ecol.* 29, 532–540.
- Theaker, A.J., Boatman, N.D., Froud-Williams, R.J., 1995. The effect of nitrogen fertiliser on the growth of *Bromus sterilis* in field boundary vegetation. *Agric. Ecosys. Environ.* 53, 185–192.
- THORNE D.W., PETERSON H.B. (1950): *Irrigated soils*, The Blakiston Co., Philadelphia.
- Towery, D., 1998. No-till's impact on water quality. 1998. In: Proceedings of the Sixth Argentine National Congress of Direct Drilling Mar de Plata, Argentina, AAPRESID, pp. 17–26.
- TROEH F.R., HOBBS J. A., DONAHIJJE R.L. (1980): *Soil and Water conservation*, Prentice Hall Inc., New Jersey
- Troeh, F.R., Thompson, L.M., 1993. *Soils and Soil Fertility*. Oxford University Press, New York.
- Tucker, G.M., 1992. Effects of agricultural practices on field use by invertebrate-feeding birds in winter. *J. Appl. Ecol.* 29, 779–790.
- UNGER P.W., STEWART B.A., PARR J.F, SINGH R.P. (1991) - Crop management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil & Tillage Research* 20, 219 - 240.
- Uri, N.D., 2001. The environmental implications of soil erosion in the United States. *Environ. Monit. Assess.* 66, 293–312.
- Uri, N.D., Atwood, J.D., Sanabria, J., 1998. The environmental benefits and costs of conservation tillage. *Sci. Total Environ.* 216, 13–32.
- Valera-Hernández, F., Rey Zamora, P.J., Sánchez-Lafuente, A.M., Alcántara Gámez, J.M., 1997. Effect of tillage system on birds. In: García-Torres, L., González-Fernández, P. (Eds.), *Conservation Agriculture: Agronomic, Environmental and Economic Bases*. Spanish Association for Conservation Agriculture, Cordoba, Spain, pp. 372.

- Vreeken-Buijs, M.J., Geurs, M., de Ruiter, P.C., Brussaard, L., 1994. Microarthropod biomass-c dynamics in the belowground food webs of two arable farming systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 51, 161–170.
- Walling, D.E., 1990. Linking the field to the river: sediment delivery from agricultural land. In: Boardman, J., Foster, I.D.L., Dearing, J.A. (Eds.), *Soil Erosion on Agricultural Land*. Wiley, Chichester, pp. 129–152.
- Warburton, D., Klimstra, W., 1984. Wildlife use of no-till and conventionally tilled corn. *J. Soil. Water. Conserv. Soc.* 39, 327–330.
- Wardle, D.A., 1995. Impacts of soil disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. In: Begon, M. (Ed.), *Advances in Ecological Research*, vol. 26. Academic Press, New York, pp. 105–185.
- Watts, D.W., Hall, J.K., 1996. Tillage and application effects on herbicide leaching and runoff. *Soil Till. Res.* 29, 241–257.
- Wauchope, R.D., 1978. The pesticide content of surface water draining from agricultural fields: a review. *J. Environ. Qual.* 7, 459–472.
- Webb, J., Loveland, P.J., Chambers, B.J., Mitchell, R., Garwood, T., 2001. The impact of modern farming practices on soil fertility and quality in England and Wales. *J. Agric. Sci.* 137, 127–138.
- Weise, G.; Grosse, K.; Talarico, R.: Einstellparameter fuer ein Fraessaatverfahren - Untersuchungen zur Saatgutablage und zur Saatbettbereitung fuer eine Maschine mit geteiltem Erdstrom. *Agrartechnische Forschung* 4 (1998) 2, S. 108 – 114
- Weise, G.; Grosse, K.; Talarico, R.: Einstellparameter fuer ein Fraessaatverfahren: Optimierung der Saatgutablage und der Saatbettbereitung fuer eine Maschine mit geteiltem Erdstrom. in VDI Berichte Nr. 1356 zur VDI-MEG Tagung Landtechnik in Braunschweig 1997, S. 77 - 81. VDI Verlag, Duesseldorf 1997
- Weise, G.; Grosse, K.; Talarico, R.: Optimising the Adjustment of a System of Reduced Tillage Based on a Rotary Cultivator Using a Stream of Soil Split into Two. in Proceedings of the 13th International Congress on Agricultural Engineering Rabat (Morocco) 2-6 February 1998, S. 369 - 391. ANAFID, Rabat 1998
- West, T.O., Marland, G., 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agric. Ecosyst. Environ.* 91, 217–232.
- Whitehead, R., Wright, H.C., 1989. The incidence of weeds in winter cereals in Great Britain. In: Presented at the British Crop Protection Conference on Weeds, pp. 107–112.
- Wiermann, C., Werner, D., Horn, R., Rostek, J., Werner, B., 2000. Stress/strain processes in a structured unsaturated silty loam Luvisol under different tillage treatments in Germany. *Soil Till. Res.* 53, 117–128.
- Wilson, J.D., Morris, A.J., Arroyo, B.E., Clark, S.C., Bradbury, R.B., 1999. A review of the abundance and diversity of invertebrate and plant foods of granivorous birds in northern Europe in relation to agricultural change. *Agric. Ecosyst. Environ.* 75, 13–30.
- Wilson, J.D., Taylor, R., Muirhead, L.B., 1996. Field use by farmland birds in winter: an analysis of field type preferences using resampling methods. *Bird Study* 43, 320–332.
- WISCHMEIER W.H. (1959): A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation, *Soil Sci. Am. Prac.*, 23, 246-249.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1958): Rainfall energy and its relationship to soil loss, *Trans. Am. Geophys.Un.*, 39, 285 - 291
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses . *Agric. Handb.* 537, *Agric. Res. Serv., U.S.D.A., Washington.*
- Wolters, V., Ekschmitt, K., 1997. Gastropods, isopods, diplopods, and chilopods: neglected groups of the decomposer food web. In: Benckiser, G. (Ed.), *Fauna in Soil Ecosystems*. Marcel Dekker, New York, pp. 265–306.
- WOODRUFF N.P. (1954): Shelterbelt and Surface Barrier equation, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 29: 602-608. Effects on Wind Velocities, Evaporation, House Heating, Snowdrifting, *Kansas Agri. exp. Sta. Tech. Bull.* 77.
- WOODRUFF N.P., FREYAR D.W., LYLES L. (1963): Reducing Wind Velocity with Field Shelterbelt, *Kansas Agri. Exp. New Mexico M.*, 436.
- Wooley, J.B., Best, L.B., Clark, W.R., 1985. Impacts of no-till row cropping on upland wildlife. *Trans. N. Am. Wildl. Nat. Resources Conf.* 50, 157–168.
- Wuest, S.B., 2001. Earthworm, infiltration, and tillage relationships in a dryland pea-wheat rotation. *Appl. Soil Ecol.* 18, 187–192.
- Zaborski, E.R., Stinner, B.R., 1995. Impacts of soil tillage on soil fauna and biological processes. In: *Farming For a Better Environment: A White Paper*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, pp. 13–15.

Zacharias, G., Heatwole, C. D., Mostaghimi, S., Dillaha, T. A., 1991. Tillage effects on fate and transport of pesticides in a coastal plain soil. II. Leaching. In: Proceedings of the International Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineers (Paper No. 91-2544), 17–20 December 1991. Chicago, IL.

ZANCHI C. (1976): Indagine preliminare sull'erosività in un ambiente della Val d'Era, *Annali Ist. Sper. Studio e Difesa del Suolo*, 7, 35-42.

ZANCHI C. (1981): Influenza del diverso carico di pascolamento bovino sul ruscellamento superficiale, sub drenaggio e sulle asportazioni di suolo: esperienze pluriennali del centro sperimentale di Fagna (FI), *Annali Ist. Sper. Studio e Difesa del Suolo*, 12, 193-216.

ZANCHI C., TORRI D. (1980): Evaluation of rainfall energy in central Italy, in De BoodtM., Gabriels D. (eds.), «Assessment of erosion», Wiley, 132-142.

11. Allegati

Allegato 1: Requisiti degli strumenti previsti per il rilievo dei dati nelle prove di lavorazione del terreno.

Le prove verifica delle prestazioni delle macchine per la lavorazione del terreno secondo quanto indicato nel presente protocollo prevedono una serie di rilievi per i quali è necessario il ricorso a opportuni strumenti di misura.

In generale, i rilievi da effettuare possono essere suddivisi fra le seguenti categorie di misura:

- misure di lunghezza (distanze, profondità di lavoro, dimensioni, diametri e spessori);
- misure di tempo (tempi di percorrenza per calcolo di velocità, regimi, slittamenti);
- misure rotazionali (numero di giri effettuato per il calcolo di regimi di rotazione di vari organi, degli slittamenti, ecc.);
- misure di consumo (quantità di combustibile consumata da riferire all'unità di tempo per il calcolo del consumo orario, del consumo per unità di superficie, ecc.)
- misure di massa (massa delle operatrici e delle motrici);
- misure di temperatura (controllo temperature di combustibili, lubrificanti, sistemi di raffreddamento, ecc. soprattutto per prove al banco dei trattori utilizzati nelle prove di campo);
- misure di forza (rilievo degli sforzi di trazione richiesti dalle macchine, resistenza del terreno alla penetrazione, ecc.)
- misure di coppia (rilievo della coppia alla p.d.p. per l'azionamento delle operatrici, coppia al freno dinamometrico per le prove al banco dei trattori utilizzati nelle prove di campo, ecc.)
- sistemi di acquisizione e computer (utilizzati per la gestione dei dati rilevati da strumenti).

Nella tab. 1, per ciascuna categoria di misura, sono riportati gli strumenti da utilizzare unitamente ad alcune caratteristiche che, indicativamente, essi devono garantire soprattutto in termini di intervallo di lettura, di sensibilità e margine di errore. La strumentazione utilizzata nelle prove e le sue caratteristiche devono essere sommariamente descritte nei bollettini.

Riguardo al controllo degli strumenti, esso può consistere in semplici verifiche o in vere e proprie procedure di calibrazione o taratura. Per ciascuno dei casi in cui sono previsti, sono di seguito indicate le modalità generali di esecuzione e la periodicità. Le modalità di esecuzione del controllo e l'esito dello stesso vengono riportati in una scheda apposita. Nel caso in cui venga rilevato uno scostamento del valore rilevato dallo strumento rispetto al valore di riferimento, questo dovrà essere indicato sia intermini assoluti che in percentuale, con riferimento all'errore indicato nella tab. 1 per ciascun tipo di strumento.

Categoria di misura	Strumento	Tipo di rilievo	Caratteristiche			
			1 - Intervallo di misura	2 - Sensibilità	3 - Errore	4 - Controllo
Misure di lunghezza	Rotella metrica in acciaio	Lunghezza base di prova, larghezza di lavoro	0 - 50 m	1 cm	II classe (Norme CEE)	-
	Flessometro in acciaio	Profondità, sovralzò ecc.	0 - 3 m	1 mm	II classe (Norme CEE)	-
	Calibro elettronico	Spessori, diametri	0 - 120 mm	0,01 mm		si
	Profilometro laser	Rugosità, profondità, sovralzò	0 - 3 m* 600 - 2000**	2 mm* 1 mm**	- 0,5%	-
Misure di tempo	Cronometro elettronico	Rilievo manuale tempi di lavoro	-	0,01 s	-	-
	Timer sist. acquis. dati	Rilievo automatico tempi di lavoro	-	0,01 s	0,1%	si
Misure rotazionali	Encoder digitali	Rilievo numero di giri delle ruote, della p.d.p. ecc.	-	100 impulsi / giro	-	si
Misure di consumo	Misuratore consumo volumetrico	Rilievo flusso combustibile in prove al banco e in prove di campo	-	1 cm ³	0,1%	si
	Misuratore consumo a bilancia	Rilievo consumo combustibile in prove al banco	0 - 600 g	1 g	0,1%	si
Misure di massa	Bilancia elettronica di precisione	Massa dei campioni nella determinazione di umidità e densità del terreno, dei semi ecc.	0 - 15000 g	0,5 g		si
	Bilancia da campo	Massa frazioni terreno di diverse dimensioni (zollosità)	2,5- 100 kg	500 g	0,5%	si
	Pesa	Massa motrici e operatrici da provare	0 - 20000 kg	1 kg		si
Misure di temperatura	Termocoppie	Rilievo delle temperature di combustibili, lubrificanti ecc.	0-300 °C	1 °C	1,0%	si
Misure di forza	Cella di carico penetrometro	Rilievo resistenza terreno a penetrazione	0-5000 daN	0,1 daN	0,2%	si
	Cella di carico trazione 1	Rilievo sforzo di trazione in lavoro	0-5000 daN	0,1 daN	0,2%	si
	Cella di carico trazione 1	Rilievo sforzo di trazione in lavoro	0-10000 daN	0,1 daN	0,2%	si
	Cella di carico trazione 1	Rilievo sforzo di trazione in lavoro	0-20000 daN	0,1 daN	0,2%	si
Misure di coppia	Cella di carico freno dinamometrico 1	Rilievo coppia in prove di controllo dei trattori al banco	0-500 daN	0,01 daNm	0,1%	si
	Torsiometro 1	Rilievo coppia alla p.d.p. durante lavorazione	200 daNm 3000 giri/min	0,01 daNm	0,001	si
	Torsiometro 2	Rilievo coppia alla p.d.p. durante lavorazione	300 daNm 3000 giri/min	0,01 daNm	0,001	si
	Torsiometro 3	Rilievo coppia alla p.d.p. durante lavorazione	1000 daNm 3000 giri/min	0,01 daNm	0,001	si
Acquisizione dati	Sistema acquisizione dati	Memorizzazione dati strumentali	-	≥ 10 acquisizioni /s	-	si
	Personal computer/software	Elaborazione				

* escursione orizzontale lungo la quale vengono rilevate le distanze verticali.

** rilievo verticale della distanza dallo strumento al terreno. Il valore più basso è il limite inferiore di lettura dello strumento.

Tab. 1 - Quadro riassuntivo delle grandezze da misurare e degli strumenti previsti per i diversi rilievi

1. Intervallo di misura: lo strumento deve essere in grado di coprire l'intervallo di misura indicato.
2. Sensibilità: la sensibilità dello strumento non deve essere inferiore a quella indicata.
3. Errore: l'errore dello strumento non deve superare il valore indicato
4. Controlli: si indica la necessità di effettuare periodicamente la calibrazione, la taratura o il controllo dello strumento. Le modalità di esecuzione vengono riportate in dettaglio di seguito per ciascuno strumento.

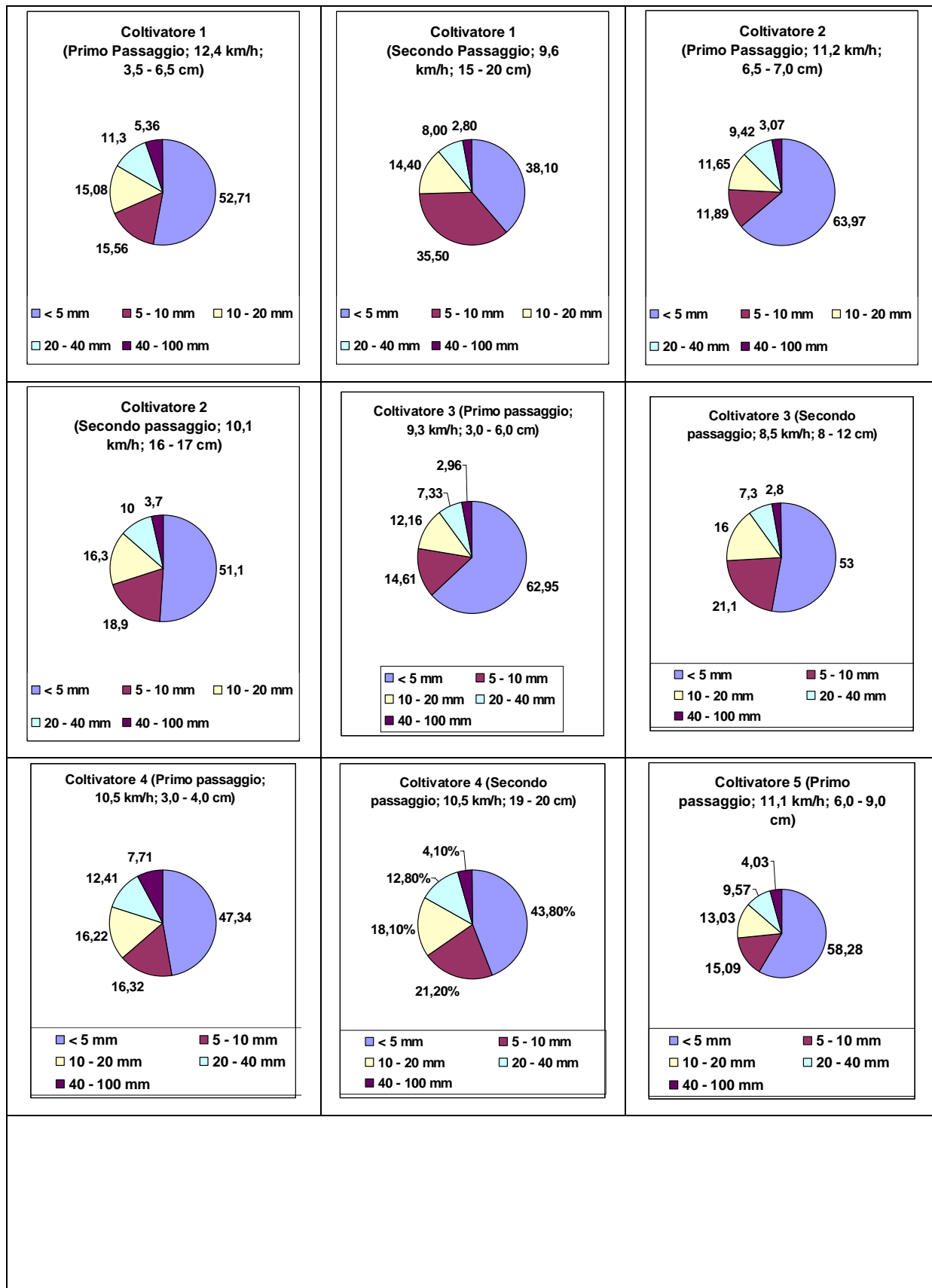
Linee generali da seguire nell'esecuzione dei controlli degli strumenti per i quali essi sono previsti (tab. 1)

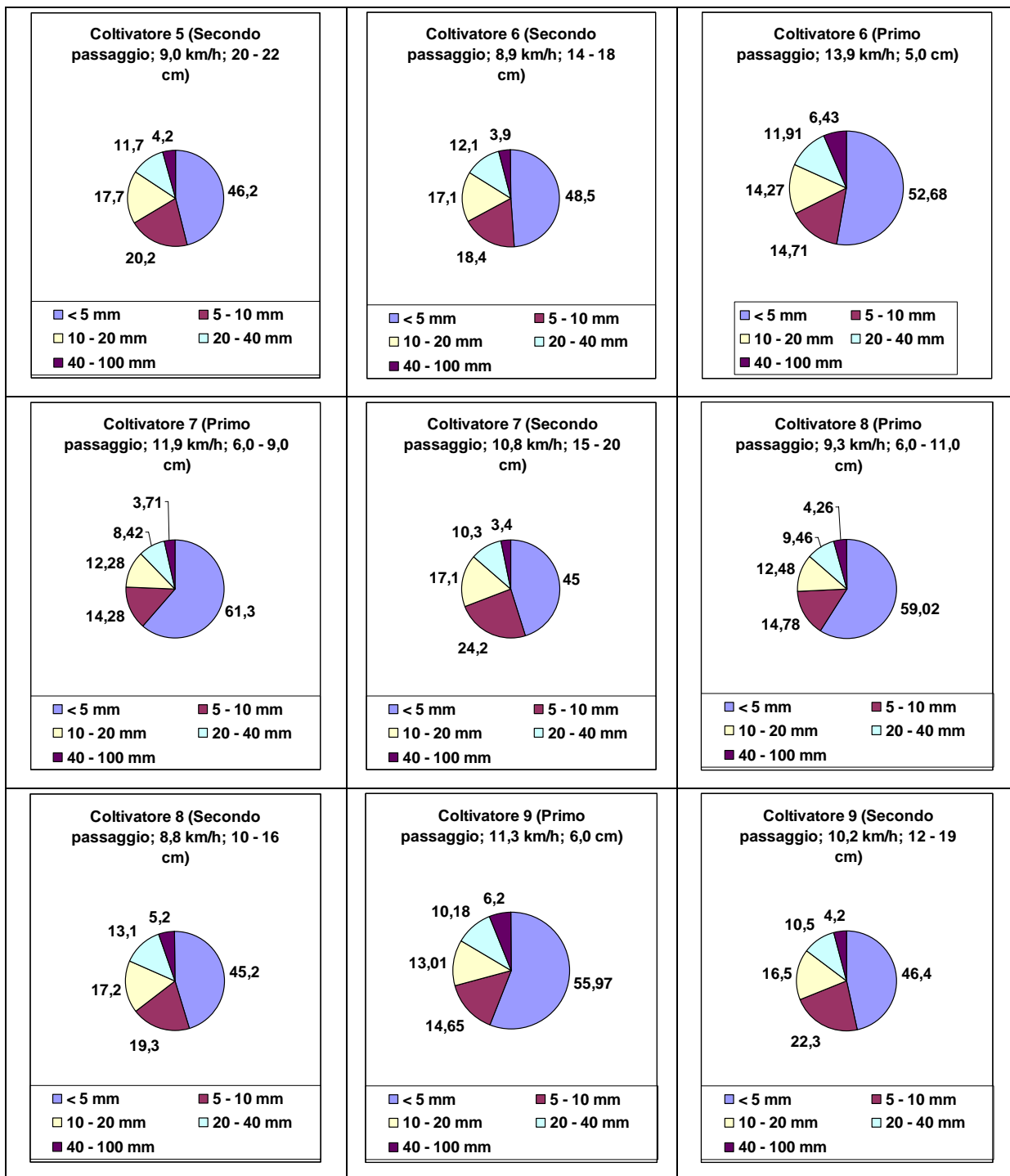
- Calibro elettronico. La verifica viene effettuata annualmente utilizzando una serie di blocchetti di riscontro certificati S.I.T. con spessore variabile da 0,01 a 100 mm.
- Timer sistema di acquisizione dati. Questa funzione è spesso utilizzata in automatico per determinare, a mezzo di opportuni segnali, l'inizio e la fine dell'acquisizione dati relativa ad una prova. E' quindi necessario verificare la corretta misurazione del tempo da parte del sistema di acquisizione dati, perché sul valore così rilevato vengono determinati altri parametri derivati. La verifica va effettuata annualmente facendo ricevere al sistema di acquisizione dati un segnale elettrico per un intervallo di tempo noto e confrontando quest'ultimo con il valore indicato dal sistema.
- Encoder digitali. Questo tipo di strumento fa capo a un sistema di acquisizione dati che riceve gli impulsi inviati sotto forma di segnale elettrico. Il requisito minimo riportato in tabella è di 100 impulsi / giro. La verifica consiste nel far eseguire un numero noto di giri, n , all'organo su cui l'encoder è montato e nel contare gli impulsi ricevuti dal sistema di acquisizione. Il numero totale, N , di impulsi deve essere: $N = 100 n$. La verifica va effettuata immediatamente prima e dopo ogni prova.
- Misuratore di consumo volumetrico. Il consumo di combustibile è rilevato generalmente da un misuratore di flusso che può essere meccanico (contatore analogico) o integrato con un sensore che fornisce un certo numero di impulsi per ogni cm^3 di combustibile che passa che vengono inviati al sistema di acquisizione dati. In entrambi i casi il controllo si esegue facendo passare una quantità nota di combustibile nel misuratore e verificando che la corrispondenza fra essa e il valore indicato dallo strumento. La verifica va effettuata immediatamente prima e dopo ogni prova.
- Misuratore di consumo a bilancia. Questo strumento è adatto a prove a punto fisso (verifiche al banco dei trattori utilizzati nelle prove). E' costituito fondamentalmente da un recipiente nel quale passa il combustibile richiesto dal motore e da una cella di carico che ne effettua la pesata ad intervalli di tempo predefiniti. I valori rilevati sono inviati ad un sistema di acquisizione dati. La verifica consiste nell'immettere una quantità di combustibile di massa nota e verificarne la corrispondenza con il valore indicato. La periodicità della verifica è annuale.
- Bilancia elettronica di precisione. Strumento da laboratorio dotato generalmente di un sistema di calibrazione. Il controllo va fatto annualmente utilizzando delle masse campione certificate.
- Bilancia da campo. Controllo ed eventuale calibrazione, per mezzo di masse campione certificate, vanno effettuati annualmente.
- Pesa. Adibita al rilievo delle masse dei mezzi utilizzati, delle zavorrature, ecc., deve essere annualmente controllata e tarata ad opera di personale specializzato che rilascia un certificato attestante le caratteristiche dell'impianto.
- Celle di carico. Le celle di carico sono di tipo e capacità di misura diversi, ma la procedura da seguire per il controllo è la stessa per tutte e consiste nel verificare la corrispondenza dei valori di forza da esse rilevati con il peso noto di una serie di masse, durante il sollevamento queste

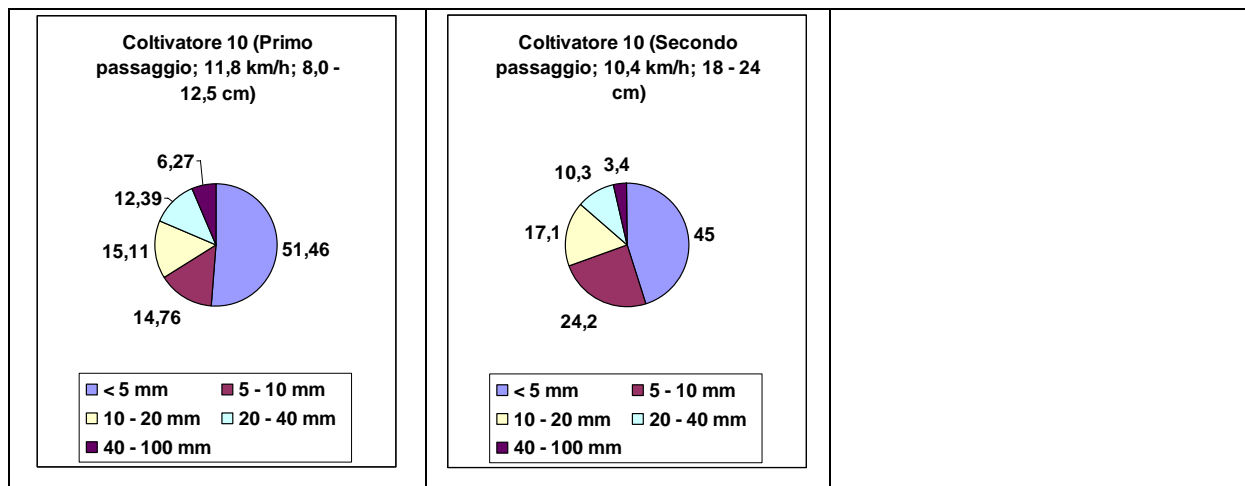
ultime. Riguardo alle masse da utilizzare, non disponendo di idonee masse campione certificate (dell'ordine di 1000, 5000, 10000 daN ed oltre), è possibile utilizzare altro tipo di massa purchè ne venga effettuata la pesatura mediante uno strumento certificato (esempio la pesa di cui al punto precedente), immediatamente prima o dopo il rilievo con le celle di carico. La procedura va effettuata immediatamente prima e dopo ogni prova che richiede l'utilizzo di una o più celle di carico.

- Torsiometri. Il controllo di un torsiometro è basato sul confronto fra i valori di coppia da esso rilevati e uno o più valori di coppia noti (o di riferimento) applicati allo strumento. La coppia di riferimento viene applicata facendo gravare una massa nota (vedi sopra) ad una distanza nota dal centro di rotazione del torsiometro tramite un apposito braccio su di esso fulcrato. Il valore rilevato deve corrispondere a quello di riferimento, considerando l'errore di misura.
- Sistema di acquisizione - La gestione dei dati provenienti dai sensori richiede che l'unità di acquisizione sia opportunamente configurata tramite un apposito menù di setup presente nel software di gestione. Esso deve consentire: 1) l'impostazione delle frequenze di campionamento; 2) l'impostazione dei canali analogici (effettuazione dello zero di lettura del canale, inserimento di eventuali coefficienti di correzione dei valori letti in sede di taratura degli strumenti, verificare in ogni momento la lettura; 3) l'impostazione dei canali digitali (rilievo della frequenza di un segnale o semplicemente il numero di impulsi ricevuti). Il controllo del sistema va effettuato ogni volta prima dell'esecuzione delle prove, contestualmente al controllo degli strumenti che ad esso fanno riferimento.

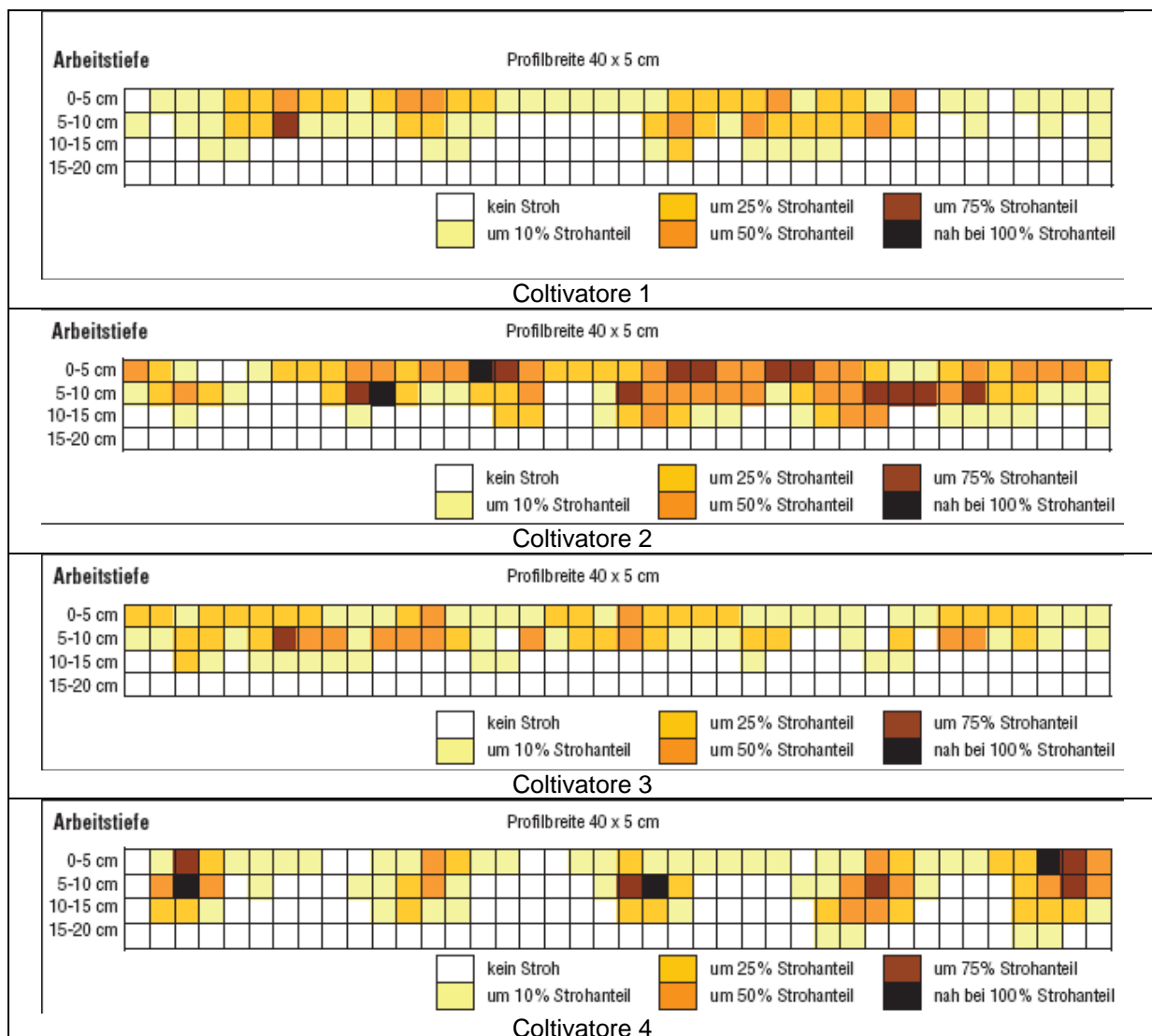
Allegato 2: Grafici classi di affinamento

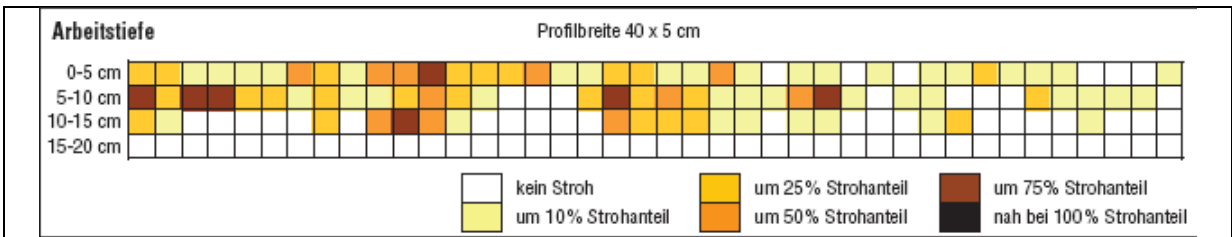




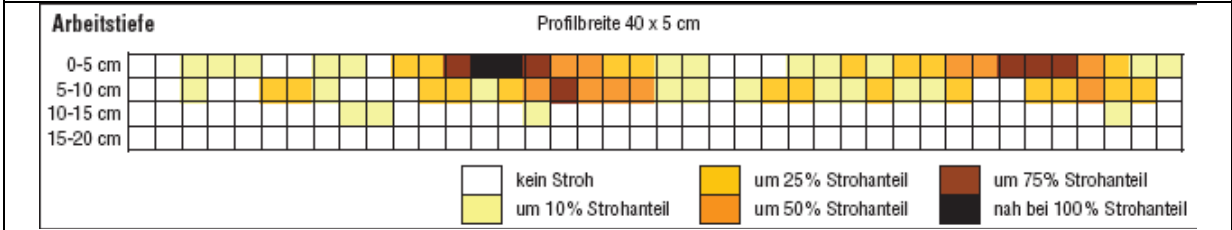


Allegato 3: Grafici distribuzione residui colturali

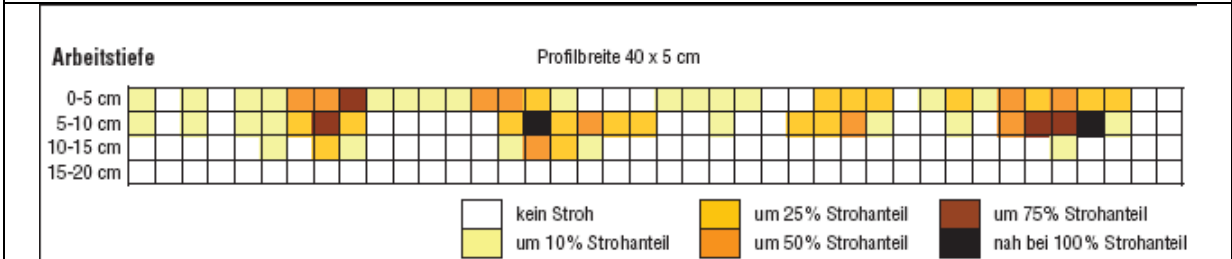




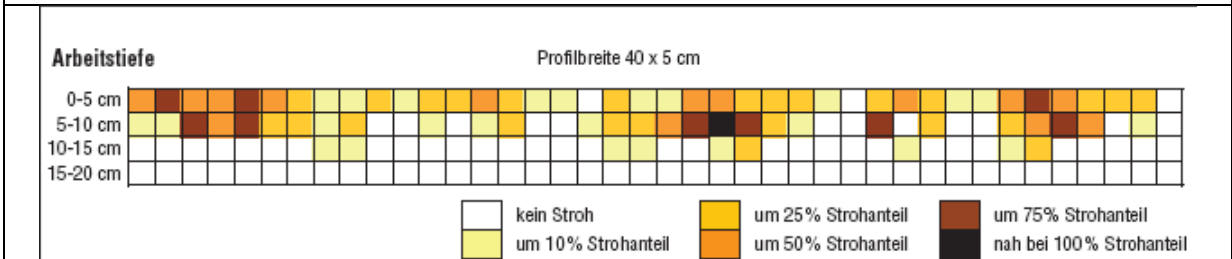
Coltivatore 5



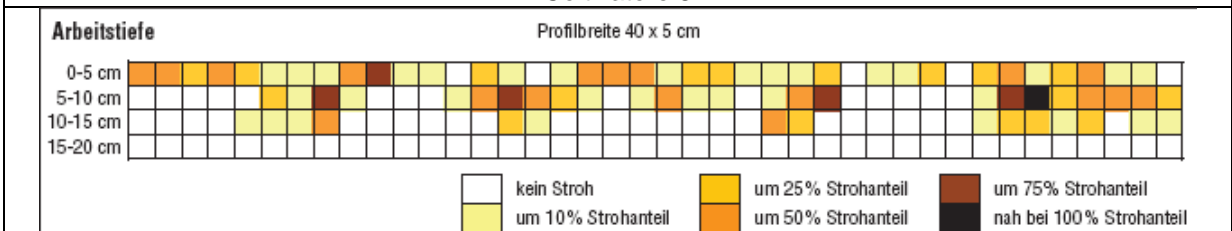
Coltivatore 6



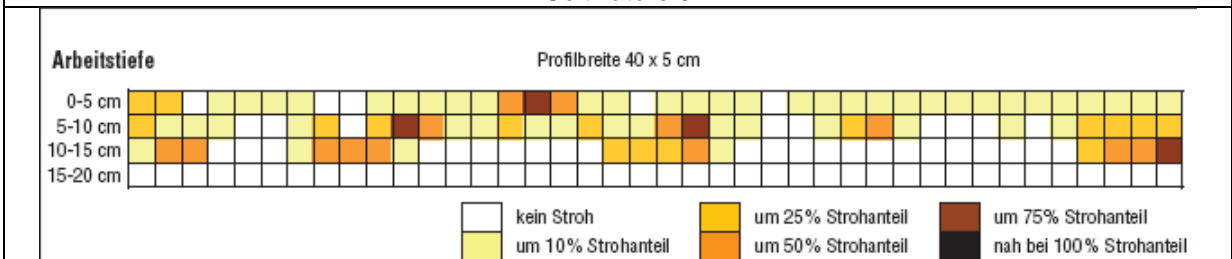
Coltivatore 7



Coltivatore 8

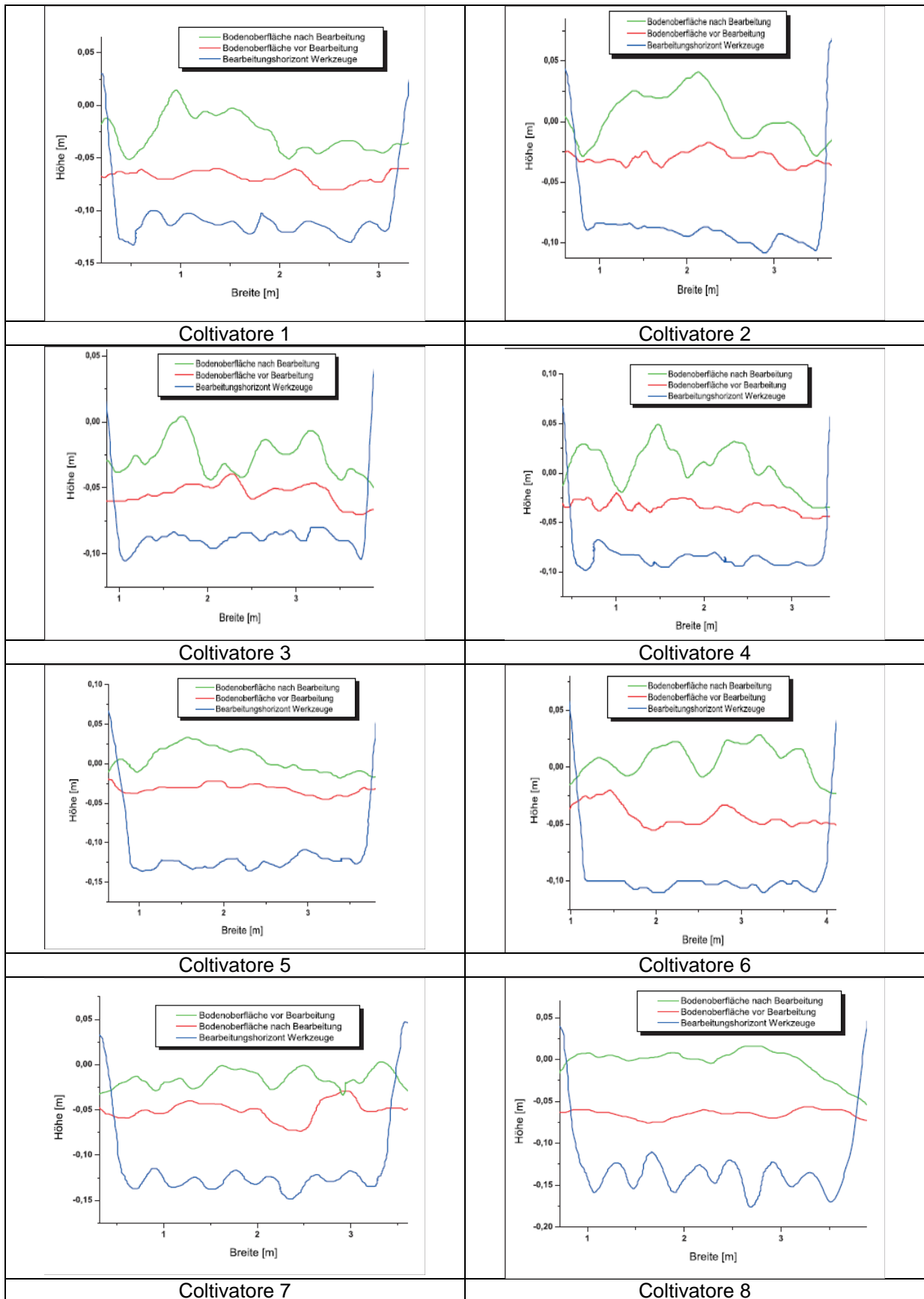


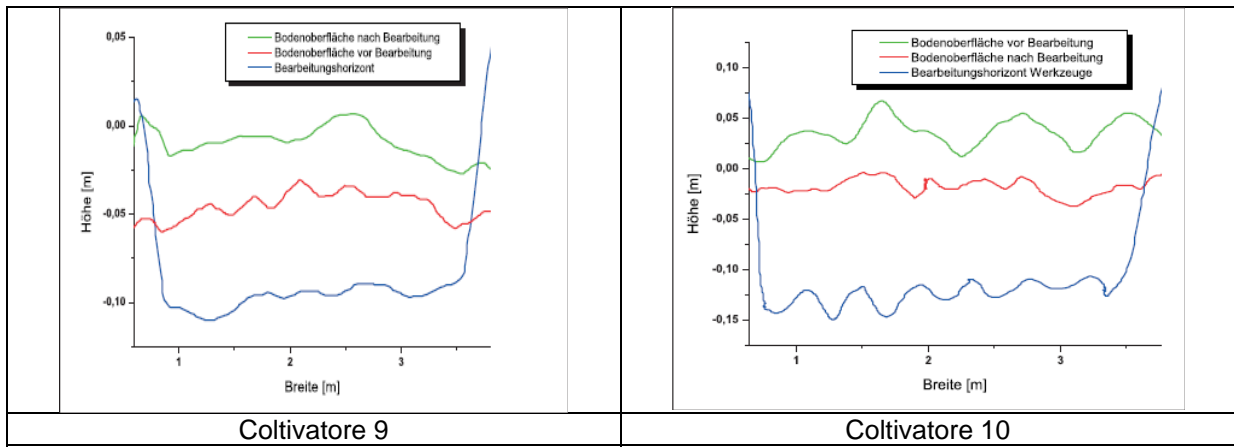
Coltivatore 9



Coltivatore 10

Allegato 4: Fondo di lavorazione





Ringraziamenti

Ringrazio sentitamente tutti coloro i quali mi hanno accompagnato durante questi ultimi 15 anni di lavoro e di studio e che mi hanno regalato, grazie alla loro esperienza e personalita', un contributo che ha reso possibile concludere questo percorso di vita privata e professionale. Ogni singola persona grazie alla sua collaborazione e sostegno ha arricchito la mia sfera personale e lavorativa.

In particolare voglio ringraziare:

Ing. Giovanni Santoro, Direttore ISMA-CRA, Monterotondo (RM)

Prof. Danilo Monarca, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo

Prof. Francesco Basso, Università degli Studi della Basilicata, Potenza

Dott. Giuseppe Landi, Università degli Studi della Basilicata, Potenza

Prof. Michele Pisante, Università degli Studi di Teramo, Teramo

Prof. Herrmann Seufert, Università Justus Liebig, Gießen - Germania

Prof. Friedrich Tebrügge, Università Justus Liebig, Gießen - Germania