

PROGETTO ACRIAC
**Agrotecniche conservative finalizzate alla riduzione dell'impatto ambientale del
frumento e alla caratterizzazione dei suoi derivati**

Mis 124 - PIF - FILIERA TOSCANA

PIF Misura 124 del PSR 2007-2013 della Regione Toscana

FASCICOLO PARTNER A 2

NOMINATIVO: UNIVERSITA' DI PISA
CENTRO DI RICERCHE AGRO-AMBIENTALI "Enrico Avanzi" - CiRAA

CUAA: 80003670504

FORMA GIURIDICA: UNIVERSITA'

LEGALE RAPPRESENTANTE: MARCO MAZZONCINI

Relazione tecnica

RELAZIONE TECNICA SULLE ATTIVITA' SVOLTE DAL CENTRO ENRICO AVANZI NELL'AMBITO DEL PROGETTO ACRAC

Premessa

Il settore cerealicolo insieme a tutto il comparto agricolo basato esclusivamente sulla produzione e commercializzazione delle commodities sta vivendo da anni una crisi legata alla globalizzazione dei mercati e all'accentramento nelle mani di pochi grandi gruppi internazionali della gestione delle vendite e degli acquisti dei cereali a scala mondiale. La cerealicoltura italiana somma a queste difficoltà di carattere generale altre criticità specifiche del nostro Paese riconducibili alla ridotta dimensione aziendale, alle caratteristiche agro-pedo-climatiche del territorio non sempre favorevoli a una cerealicoltura da reddito, a un sistema di raccolta e stoccaggio ancora perfettibile e a un sistema fiscale e burocratico che riduce la redditività delle imprese.

Molte aziende agricole stanno reagendo a questa situazione di difficoltà cercando da una parte di ridurre i costi di produzione e dall'altra di incrementare il valore aggiunto delle loro produzioni, attraverso processi di produzione, trasformazione e vendita a livello aziendale contando sulla accresciuta sensibilità dei consumatori nei confronti della qualità dei prodotti agricoli tal quali o trasformati.

Anche a seguito di forti sollecitazioni di tipo pubblicitario, i consumatori stanno sviluppando la capacità di percepire la qualità di un prodotto non soltanto a livello delle sue caratteristiche intrinseche ma anche estrinseche. Quest'ultime sono riconducibili essenzialmente all'impatto delle produzioni agricole sull'ambiente e la collettività.

L'agricoltore può quindi scegliere di incrementare la qualità "globale" delle sue produzioni impiegando tecniche di produzione, trasformazione e commercializzazione capaci di ridurre i costi di produzione, migliorare le caratteristiche intrinseche dei prodotti di base e trasformati (qualità della granella, delle farine e dei pani) e/o di migliorare l'ambiente a livello locale e globale riducendo l'impatto dei processi produttivi sul suolo, l'acqua e l'aria.

Una strategia produttiva che potrebbe cogliere tutti questi obiettivi nell'ambito delle produzioni cerealicole è rappresentata dall'Agricoltura Conservativa. Si tratta di un'insieme di tecniche colturali basate sull'impiego di tecniche semplificate di lavorazione e un impiego razionale degli avvicendamenti colturali. Tra le tecniche "conservative", la non-lavorazione (semina del cereale su terreno non lavorato grazie all'impiego di seminatrici specifiche) ha un ruolo di primaria importanza nella riduzione dell'impatto ambientale e nella conservazione del reddito (due pilastri fondamentali della sostenibilità). Grazie alla copertura del terreno, determinata dalla presenza dei residui colturali e piante infestanti devitalizzate, con questa tecnica i fenomeni erosivi possono essere ridotti in modo sostanziale soprattutto nei terreni collinari che peraltro caratterizzano buona parte della provincia di Pisa.

Un altro vantaggio ambientale offerto da questa tecnica risiede nella sua capacità di conservare/incrementare il carbonio organico dello strato superficiale del terreno inducendo un miglioramento della sua fertilità, incluso quella biologica. Questa capacità, da sempre interpretata come un vantaggio agronomico di enorme importanza, viene oggi "riversitata" in chiave ambientale come una efficace strategia di mitigazione dell'effetto serra che si realizza

attraverso il sequestro del C nel suolo sottoforma di carbonio organico.

Oltre alla tecnica della non-lavorazione, anche la lavorazione minima (minimum tillage) rientra a pieno titolo tra le pratiche “conservative” consentendo, sia pure in misura minore rispetto alla semina su sodo, una significativa riduzione dei ritmi di mineralizzazione della sostanza organica del suolo e offrendo quindi maggiori garanzie di conservazione della fertilità del terreno.

I vantaggi delle tecniche di lavorazione conservative non si limitano però alla riduzione dei fenomeni erosivi e al contenimento delle emissioni di gas serra (dal suolo) ma si estendono anche alla riduzione dei tempi di lavoro per l’impianto delle colture.

Poiché l’impianto delle colture su terreno sodo o lavorato molto superficialmente richiede un numero di interventi colturali minore e/o di minore entità dal punto di vista energetico, è evidente il forte risparmio di gasolio e di tempo che può derivare da queste tecniche e la conseguente minore emissione di anidride carbonica dalle trattrici.

Anche le ore di lavoro necessarie alla realizzazione di una coltura possono ridursi sensibilmente determinando una sostanziale riduzione dei costi variabili nelle aziende che utilizzano manodopera interna.

Dal punto di vista produttivo questa tecnica, quando correttamente applicata, non determina significativi cali di produzione rispetto alle tecniche ordinarie. In particolare, una vasta rassegna bibliografica ha evidenziato che proprio i cereali autunno-vernini sono molto ben adattabili alla non lavorazione in quanto, nel passaggio dalla tecnica ordinaria alla non-lavorazione subiscono la minore contrazione delle rese rispetto a altre colture.

Allo stato attuale, tuttavia, le tecniche di agricoltura conservativa non hanno ancora una grande diffusione in Italia. Ciò sembra attribuibile alle difficoltà agronomiche (problemi gestionali a livello aziendale, controllo infestanti, resa delle colture in relazione a problemi di germinazione/emergenza, presenza parassiti/malattie) e alle difficoltà extra agronomiche (disponibilità di sementi specifiche, carenza di conoscenze di base e di supporti tecnici-scientifici, scarsa esperienza, scarso/assente supporto delle politiche agricole a sostegno) che gli agricoltori possono incontrare nell’applicazione di queste tecniche e segnatamente in quelle di non-lavorazione del terreno.

Il superamento di queste difficoltà e la diffusione della non-lavorazione del terreno in molti areali della Provincia di Pisa (spesso caratterizzati da ambienti collinari dove la coltura del frumento rappresenta un importante riferimento per gli agricoltori), potrebbe rappresentare un passo verso una maggiore sostenibilità dei sistemi agricoli cerealicoli regionali grazie al minore impatto ambientale determinato da queste tecniche e al contenimento dei costi di produzione del frumento che esse sottintendono.

Per il frumento, i vantaggi economici connessi all’introduzione della semina su terreno sodo non sono assolutamente trascurabili viste le difficoltà che da anni questa coltura sta incontrando proprio dal punto di vista della sua redditività.

La costituzione di una filiera basata su produzioni cerealicole locali a basso impatto ambientale, trasformate e commercializzate sui mercati locali secondo i principi della “filiera corta” potrebbe offrire alle aziende agricole della provincia di Pisa una alternativa alla difficile situazione del mercato dei cereali e migliorare la sostenibilità agro-ambientale delle aziende.

Attività svolte

La proposta progettuale si poneva l'obiettivo generale di migliorare la sostenibilità ambientale, economica e sociale dei processi di produzione, trasformazione e commercializzazione dei prodotti derivati dalla coltivazione del frumento.

Come noto, la sostenibilità è un concetto che sottintende il contemporaneo raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale ed economica in una scala temporale indefinita. Migliorare la sostenibilità della filiera cerealicola significa quindi individuare strategie di produzione, trasformazione e commercializzazione che insieme possano minimizzare l'impatto ambientale delle varie fasi della filiera (sostenibilità ambientale), fornire un reddito adeguato a ciascun soggetto della filiera (sostenibilità economica) e consentire anche alle aziende meno strutturate di poter partecipare alla filiera stessa (sostenibilità sociale).

L'insieme di strategie individuate per raggiungere detti obiettivi sono state le seguenti: (i) applicazione di agrotecniche "conservative"; (ii) trasformazione locale delle produzioni ottenute dalle aziende del comprensorio; (iii) commercializzazione dei prodotti ottenuti su piattaforme alimentari locali.

In fase di applicazione pratica, lo sviluppo di queste strategie potrebbe incontrare difficoltà in merito a:

- 1 - scarsa conoscenza, da parte di molte aziende cerealicole, degli aspetti positivi e negativi connessi all'adozione delle tecniche conservative;
- 2 - scarsa conoscenza della corretta applicazione delle tecniche conservative;
- 3 - scarsa conoscenza della qualità intrinseca ed estrinseca delle produzioni da Agricoltura conservativa;
- 4 - adeguato riconoscimento qualitativo dei prodotti derivati dalla filiera da parte dei consumatori.

Con lo scopo di raggiungere questi obiettivi, il Progetto Acriac è stato presentato alla Regione Toscana per una sua valutazione preliminare nel giugno 2012. I partner hanno quindi ipotizzato che le attività del Progetto in caso di finanziamento potessero iniziare in ottobre/novembre 2012 e concludersi dopo 18 mesi nel giugno/luglio 2014 consentendo la realizzazione di due cicli colturali di frumento tenero e duro. Dovendo programmare a livello aziendale le attività in dichiarate nella proposta progettuale, molte di queste hanno avuto inizio ancor prima dell'accettazione della proposta progettuale da parte della Regione, avvenuta nel febbraio del 2013.

Il Centro di Ricerca Agro-Ambientale "Enrico Avanzi" partner n.2 del Progetto, dal febbraio 2013 al novembre 2014 ha sviluppato le seguenti attività:

FASE 2 – Allestimento di attività sperimentali/dimostrative finalizzate al trasferimento dell'innovazione (tecniche di Agricoltura conservativa). Al fine di rendere più efficace il trasferimento dei nuovi processi produttivi si è operato in 2 aziende private e presso il Centro di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi", struttura di ricerca dell'Università di Pisa. Presso queste realtà aziendali sono stati realizzati, in pieno campo, due sistemi di produzione, uno convenzionale e l'altro "conservativo" rappresentativi delle realtà aziendali dei due partner aderenti al Progetto (Aziende agricole Martello e Squadrelli).

FASE 3 – Nell'ambito di questa fase sono stati analizzati i processi di produzione del frumento tenero e duro secondo le tecniche dell'Agricoltura conservativa. Presso le aziende private e il

Centro di Ricerca sono stati acquisiti i dati necessari a testare la sostenibilità ambientale ed economica delle tecniche conservative rispetto a quelle convenzionali (qualità estrinseca delle produzioni).

FASE 4 – Questa fase si è articolata nell'acquisizione ed elaborazione di tutte le informazioni utili a verificare la rispondenza qualitativa delle produzioni ottenute da tecniche di Agricoltura conservativa (qualità intrinseca delle produzioni).

FASE 5 – Valutazione del potenziale di diffusione delle tecniche di Agricoltura conservativa.

FASE 6 - Realizzazione dell'attività di divulgazione.

FASE 7 – Redazione relazione intermedia e finale

Definizione delle attività di collaudo e rilevamento dei dati strutturali nelle aziende Martello e Squadrelli – (Fase 2.1 del Progetto)

Il CIRAA, nel corso di una riunione avvenuta nel luglio del 2012 ha definito con i tecnici incaricati della gestione agronomica delle 2 aziende partner del Progetto (Azienda Squadrelli e Azienda Martello), le tecniche conservative da applicare nei sistemi sperimentali a confronto.

La scelta delle tecniche si è indirizzata principalmente all'applicazione delle tecniche di lavorazione del terreno ritenuta in campo internazionale la più "conservativa": la non lavorazione. Questa decisione è stata condivisa con i tecnici delle due aziende e i ricercatori del CIRAA in considerazione delle esperienze maturate da entrambe le aziende nel settore della non lavorazione dei cereali invernali, dell'impostazione agronomica delle aziende, della loro struttura organizzativa e dalla disponibilità di attrezzature specifiche.

In particolare, entrambe le aziende considerano la coltura del frumento (sia tenero che duro) come coltura "cash" quindi di fondamentale importanza per la redditività dell'azienda e per questo mai gestita in modo estensivo. Secondo questo approccio la scelta della non lavorazione non rappresenta una forma di estensivizzazione, ma uno strumento per incrementare il reddito aziendale nel rispetto dell'ambiente. Pur non seguendo un avvicendamento rigido, le due Aziende non utilizzano consecutivamente la semina su sodo per il ringrano consapevoli delle conseguenze negative che questa scelta tecnica potrebbe determinare sul quadro fitosanitario delle colture. In ultima analisi, la disponibilità di buone seminatrici su sodo e l'attento monitoraggio delle malattie fungine comunque programmato in entrambe le aziende hanno contribuito a optare per lo studio esclusivo della non-lavorazione del terreno come strumento principale per una cerealicoltura sostenibile.

Nella definizione delle altre tecniche colturali da adottare nell'ambito dei sistemi conservativi, non è stato sempre possibile procedere a una totale omologazione delle tecniche in particolare di quelle relative alla concimazione minerale (quantità di nutrienti, tipologia di concime e epoca di applicazione). Per ragioni tecniche ed economiche, la concimazione si è differenziata nei 3 diversi ambienti di coltivazione: mentre nei campi sperimentali dell'Università di Pisa la quantità di azoto prevista per il frumento tenero si è attestata su valori simili a quelli indicati dalla Regione Toscana nei disciplinari di produzione integrata, nelle aziende private i quantitativi di azoto distribuiti per ettaro hanno superato questo limite (anche in previsione di livelli produttivi superiori a quelli ipotizzate nel disciplinare) differenziandosi (pur lievemente) tra terreno arato e terreno non-lavorato a favore di quest'ultimo (nei primi anni di applicazione del sodo, a causa dell'immobilizzazione dell'azoto è infatti consigliato un modesto incremento della quantità di N applicato).

Anche per quanto riguarda la tecnica di riferimento (sistema convenzionale), le diverse strutture aziendali hanno condotto alla definizione di itinerari tecnici leggermente differenti imputabili essenzialmente alla tecnica di lavorazione principale del terreno (aratura molto superficiale nelle aziende private e media in quella universitaria, semina con combinata nelle prime, normale nella seconda). Nella definizione delle attività di collaudo, presso il Centro Enrico Avanzi si è ritenuto opportuno valutare anche altre tecniche di riferimento alternative all'aratura (discissura) e in 2 appezzamenti anche la lavorazione minima in alternativa alla semina su sodo (tabella 1)

Tabella 1 – Programma delle attività di collaudo previsto dal Centro di Ricerche Agro-Ambientali “Enrico Avanzi” dell’Università di Pisa nell’annata 2013/14

APPEZZAMENTO	SUPERFICIE (ha)	PRECESSIONE	LAVORAZIONE
ARNINO 1	11.5	FAVINO	3° anno SEMINA SU SODO
ARNINO 2D	4.0	GIRASOLE	2° anno SEMINA SU SODO
CIMITERO	2.5	GIRASOLE	2° anno SEMINA SU SODO
RAGNAINO 1B	3.5	MIGLIO	1° anno SEMINA SU SODO
ARNINO 3 L1	1.0	TRIFOGLIO ALESS.	1° anno SEMINA SU SODO
RAGNAINO 1	1.0	GIRASOLE	1° anno SEMINA SU SODO
ARNINO 3 L2	1.0	TRIFOGLIO ALESS.	LM 10-15 cm
PIAGGIA	2.0	MAIS	LM 10-15 cm
ARNINO 2C	7.0	ERBA MEDICA	DISCISSURA
ARNINO 3A	10.0	MAGGESE	ARATURA 40 cm
DA PAOLO	0.6	FRUMENTO VARIETALE	ARATURA 40 cm

APPEZZAMENTO	pH	N_TOT (‰)	S.O. (%)	ARGILLA (%)	LIMO (%)	SABBIA (%)
ARNINO 1	8.4	1.30	1.53	17.2	15.5	67.3
ARNINO 2D	8.6	1.46	1.79	33.5	33.1	33.4
CIMITERO	8.5	1.31	2.06	17.8	37.7	44.5
RAGNAINO 1B	8.1	1.75	1.50	22.4	32.6	45.0
ARNINO 3 L1	8.5	1.35	2.01	32.7	45.7	21.6
RAGNAINO 1	7.9	1.26	1.40	18.0	29.7	52.3
ARNINO 3 L2	8.5	1.35	2.01	32.7	45.7	21.6
PIAGGIA	8.1	1.98	2.47	30.4	35.0	34.6
ARNINO 2C	8.3	1.55	1.84	32.8	30.5	36.7
ARNINO 3A	7.6	1.45	1.96	21.6	27.2	51.2
DA PAOLO	8.2	1.37	0.95	24.3	40.2	35.5

In fase di definizione dei protocolli sperimentali si è concordato che l’adozione delle tecniche di difesa sarebbe stata definita di volta in volta in relazione allo sviluppo della flora infestante e alla soglia di insorgenza delle malattie fungine della spiga così come indicate dal sistema “grano duro.net”.

Sulla scelta delle specie e delle varietà si è ritenuto opportuno differenziare le esperienze in relazione anche della loro rappresentatività sul territorio. Per questo si è ritenuto opportuno privilegiare il grano duro, in modo esclusivo al Centro Enrico Avanzi, e compararlo con il tenero (2 varietà) nelle aziende private. Sulla scelta della varietà si è ritenuto di non definirla a priori ma di decidere in relazione alla disponibilità del mercato nel periodo antecedente le semine.

Tabella 2 – Itinerari tecnici previsti per l’annata 2013/14 condivisi tra i ricercatori del Centro di Ricerche Agro-Ambientali “Enrico Avanzi” e i tecnici delle Aziende private Squadrelli e Martello

CIRAA - SISTEMA CONVENZIONALE	operazioni colturali	Az.PRIVATE - SISTEMA CONVENZIONALE	operazioni colturali
PRECESSIONE	incolto	PRECESSIONE	colza-trinciatura res.
CONTROLLO INFESTANTI PRE-LAV.		CONTROLLO INFESTANTI PRE-LAV.	
LAVORAZIONE PRINCIPALE	aratura con bivomere	LAVORAZIONE PRINCIPALE	aratura con quadrivomere
LAVORAZIONE SECONDARIA 1	erpicoltura a dischi	LAVORAZIONE SECONDARIA 1	
LAVORAZIONE SECONDARIA 2	erpicaura erp.rotativo	LAVORAZIONE SECONDARIA 2	
LAVORAZIONE SECONDARIA 3		LAVORAZIONE SECONDARIA 3	
CONCIMAZIONE PRESEMINA		CONCIMAZIONE PRESEMINA	con 18.46.0
CONCIMAZIONE 1	con 26.0.0	CONCIMAZIONE 1	con 26.0.0
CONCIMAZIONE 2	con 26.0.0	CONCIMAZIONE 2	con 26.0.0
CONCIMAZIONE 3		CONCIMAZIONE 3	con 46.0.0
SEMINA	seminatrice pneumatica	SEMINA	seminatrice combinata
DISERBO 1	erbicida hussar maxx	DISERBO 1	ussar
DISERBO 2		DISERBO 2	
FUNGICIDA 1	fungicida (insieme a diserbo)	FUNGICIDA 1	fungicida (insieme a diserbo)
FUNGICIDA 2		FUNGICIDA 2	fungicida
botte 800 l	acqua per irrorazioni		acqua per irrorazioni
MIETITRBIATURA		MIETITRBIATURA	
CIRAA - SISTEMA CONSERVATIVO		Az.PRIVATE - SISTEMA CONSERVATIVO	
PRECESSIONE	favino	PRECESSIONE	colza-trinciatura res.
CONTROLLO INFESTANTI PRE-LAV.	glyphosate	CONTROLLO INFESTANTI PRE-LAV.	glyphosate
LAVORAZIONE PRINCIPALE		LAVORAZIONE PRINCIPALE	
LAVORAZIONE SECONDARIA 1		LAVORAZIONE SECONDARIA 1	
LAVORAZIONE SECONDARIA 2		LAVORAZIONE SECONDARIA 2	
LAVORAZIONE SECONDARIA 3		LAVORAZIONE SECONDARIA 3	
CONCIMAZIONE PRESEMINA		CONCIMAZIONE PRESEMINA	11.48.0
CONCIMAZIONE 1	46.0.0	CONCIMAZIONE 1	26.0.0
CONCIMAZIONE 2	26.0.0	CONCIMAZIONE 2	26.0.0
CONCIMAZIONE 3		CONCIMAZIONE 3	46.0.0
SEMINA	seminatrice su sodo	SEMINA	
DISERBO 1	erbicida hussar maxx	DISERBO 1	erbicida ussar
DISERBO 2		DISERBO 2	
FUNGICIDA 1	fungicida (insieme a diserbo)	FUNGICIDA 1	fungicida (insieme a diserbo)
FUNGICIDA 2		FUNGICIDA 2	fungicida
botte 800 l	acqua per irrorazioni		acqua per irrorazioni
MIETITRBIATURA		MIETITRBIATURA	

Condizione delle attività di collaudo presso il CIRAA, Az. Martello e Az. Squadrelli (Fase 2.2 – 2.3 – 2.4 del Progetto)

In vista dell'avvio del Progetto, che i partner ritenevano potesse avvenire nell'ottobre del 2012, i disciplinari di produzione sono stati applicati alle colture di frumento duro e tenero in semina nel 2012 e successivamente, a progetto approvato, nel 2013 (raccolta 2014).

Le tecniche colturali adottate hanno seguito quelle indicate in tabella 2 in entrambe le annate; in più, presso il Centro Enrico Avanzi sono state condotte le sperimentazioni di lungo periodo che per motivi di avvicendamento colturale prevedevano la coltivazione del frumento soltanto nel 2012.

Le attività di collaudo delle tecniche conservative, nell'annata 2012/13 hanno interessato soltanto pochi ettari mentre nell'annata di riferimento per il progetto (2013/14) si sono estese su ampie superfici: 40 ettari per il collaudo delle due tecniche in ciascuno dei tre siti gestiti dai partner CIRAA, Az. Martello e Az. Squadrelli (circa 20 gestiti con il sistema convenzionale e altrettanti con quello conservativo). Il CIRAA nel 2012/2013 ha gestito sperimentalmente altri 10 ettari (8 conservativi e 2 convenzionali) sui quali insistevano le ricerche di lungo periodo avviate su questo tema da molti anni. Durante il ciclo colturale dei cereali il CIRAA e gli altri partner hanno gestito direttamente e per C/terzi le colture secondo il protocollo sperimentale precedentemente concordato.

La scelta varietale si è così diversificata:

- CIRAA: frumento duro, varietà Tirez (40 ha)
- Az. Martello: frumento duro, varietà Monastir (8 ha); frumento tenero, varietà Valbona (6 ha) e Nogal (6 ha);
- Az. Squadrelli: frumento duro, varietà Monastir (8 ha); frumento tenero, varietà Valbona (6 ha) e Nogal (6 ha);

Sia nel corso del 2012/13 che del 2013/14, le operazioni colturali sono state condotte con regolarità presso tutti i siti ospitanti le attività di collaudo. Merita comunque ricordare che l'annata di riferimento per il Progetto (2013/14) è stata contraddistinta da una elevata e persistente piovosità durante tutto il periodo autunno-invernale e nella prima parte della primavera che in alcuni casi ha rallentato le semine e ritardato la realizzazione delle concimazioni in copertura.

Rilevamento dati e loro elaborazione presso il CIRAA e le aziende Martello e Squadrelli (Fase 3.1 del Progetto)

Nel corso dell'annata 2013/14 (e in parte in quella 2012/13) le colture in fase di collaudo nei tre siti di studio sono state oggetto di osservazioni periodiche mirate a valutare eventuali fitopatie ricollegabili alla tecnica di coltivazione adottata. Come precedentemente accennato, la prolungata piovosità verificatasi durante gran parte del ciclo biologico del frumento fino alla fine di aprile, ha rallentato la crescita dei cereali vernini soprattutto nei primi mesi dalla semina (fase di accostamento). Successivamente, come spesso accade nella pianura pisana, nei mesi di maggio e giugno la piovosità è stata inferiore al normale. Le ricerche condotte da anni presso il Centro Enrico Avanzi hanno messo in evidenza la maggiore capacità di conservazione

dell'umidità del terreno non lavorato proprio quando si verificano tali condizioni climatiche. Ciò non determina necessariamente un incremento della produttività dei cereali coltivati su sodo ma più frequentemente favorisce il riempimento delle cariossidi rispetto al terreno arato a parità di capacità fotosintetica e di traslocazione dei fotosintetati. Queste importanti attività fisiologiche delle piante di frumento possono essere compromesse dalla presenza di malattie fungine che sempre più spesso si stanno diffondendo anche alle nostre latitudini determinando anche effetti negativi sulla qualità della granella in termini di presenza di micotossine.

Al fine di verificare l'eventuale maggiore insorgenza di malattie fungine quali ruggine (gialla e bruna), oidio, septoriosi e fusariosi, nei due sistemi saggiati (presso il CiRAA e le due aziende private) si è fatto ricorso a modelli di sviluppo di dette malattie gestito da Horta s.r.l.. I modelli utilizzati (e già saggiati per anni da questa società) richiedono, per ogni appezzamento monitorato, i seguenti dati di input: localizzazione geografica (fisica e politica), analisi del terreno, varietà coltivata, data di semina, eventuale pendenza media dell'appezzamento, altimetria dell'appezzamento, nome appezzamento.

Questi dati, insieme a altri periodicamente richiesti dal gestore del software (epoca di distribuzione del concime azotato, quantità e forma; epoca del diserbo chimico, quantità e forma) sono stati raccolti e forniti periodicamente al referente di Horta s.r.l. (dr. Matteo Ruggeri). A partire dal 4 marzo 2014 Horta s.r.l. ha fornito ai partecipanti al Progetto gli output del modello (alle date del 11.3, 19.3, 28.3, 7.4, 18.4, 2.5, 13.5) riportati a titolo di esempio nelle figure 1 e 2. Nei campi dell'Università di Pisa, in relazione all'andamento climatico e alla fase fenologica delle colture, i dati forniti dal modello alla data del 2 maggio 2014 hanno suggerito l'esecuzione di un trattamento fungicida sulle colture di frumento duro; successivamente non è stata rilevata altra soglia di pericolo tale da richiedere un ulteriore trattamento. Il modello non ha mai evidenziato differenze tra tecnica convenzionale e conservativa in termini di sensibilità all'infezione fungina delle principali malattie dei cereali.

Figura 1 - ARNINO 1 semina su sodo

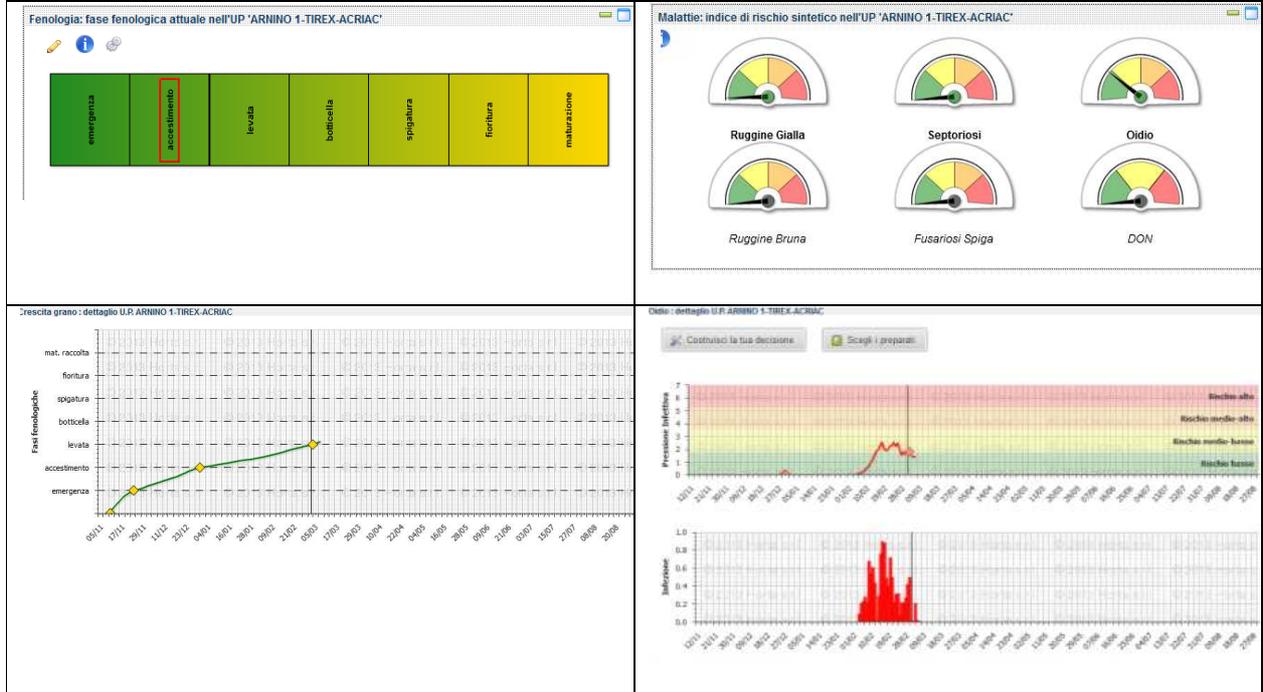
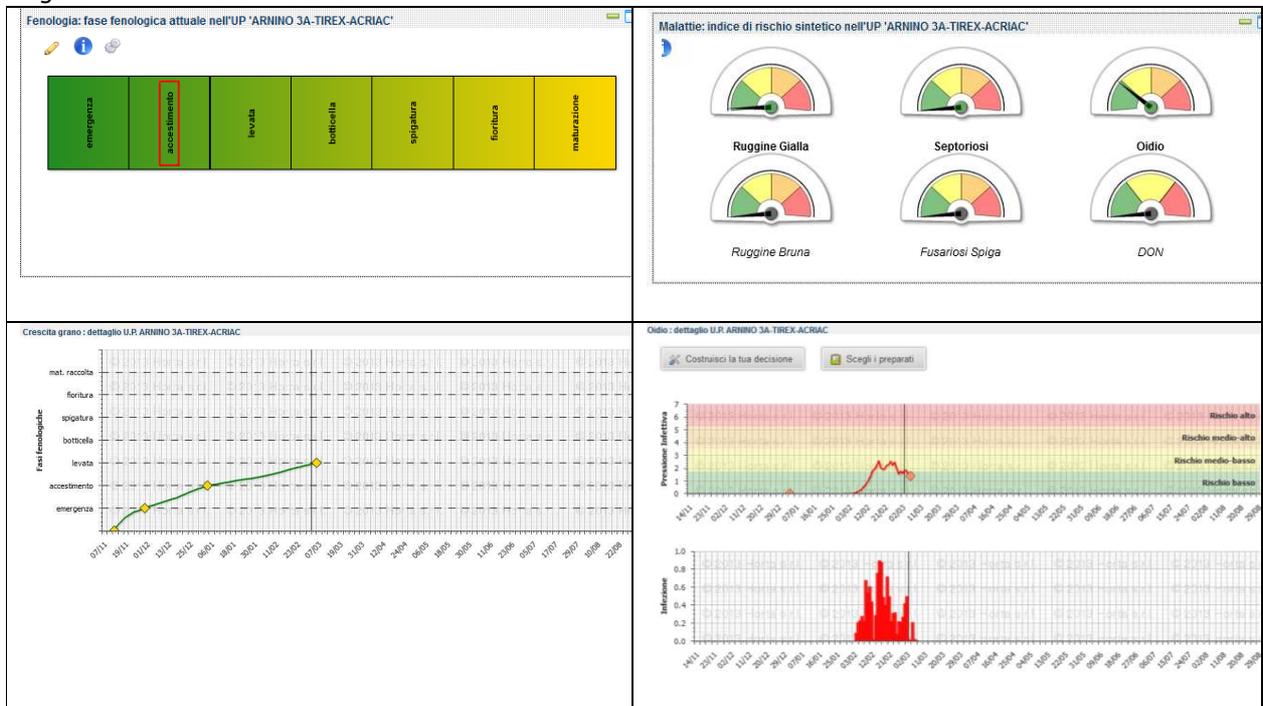


Figura 2 - ARNINO 3 Aratura



A differenza di quanto avvenuto al Centro Enrico Avanzi, dislocato lungo la fascia costiera della pianura pisana, nelle aziende private, che si trovano geograficamente più all'interno rispetto al Centro, i trattamenti consigliati sono stati 2 indipendentemente dal sistema colturale adottato (convenzionale o conservativo) e dalla specie/varietà coltivate (tenero/duro; Monastir, Valbona/Nogal). Nel complesso, lo strumento utilizzato a supporto delle decisioni tecniche relative alla difesa dei cereali dalle malattie della foglia e della spiga è stato di notevole ausilio per i tecnici e ha consentito di raggiungere risultati del tutto soddisfacenti in termini di presenza di micotossine sulle cariossidi del frumento. In considerazione della capacità del sistema di supporto alle decisioni elaborato da Horta Srl di fornire indicazioni anche in merito alle quantità di N da distribuire al frumento tenero e duro e alla loro epoca di somministrazione, si raccomanda la diffusione di questi strumenti di gestione sito-specifica dei sistemi di produzione che potrebbero ottimizzare l'uso di input esterni contribuendo a aumentare la sostenibilità dei sistemi cerealicoli.

L'esperienza maturata in questo Progetto suggerirebbe anche una validazione del modello di previsione di insorgenza delle malattie fungine diversificato per tecnica colturale e non soltanto per varietà, epoca di semina e dose di azoto.

La parte più significativa della fase 3 del Progetto è stata quella della raccolta dei dati aziendali relativi ai diversi processi produttivi del frumento tenero e duro. I dati raccolti sono stati di tipo gestionale (tempi di lavoro, consumi di gasolio, dosi di: sementi, fertilizzanti, erbicidi, fungicidi); agronomico (produzioni di biomassa della coltura e delle infestanti alla fioritura; produzione della biomassa e granella della coltura e delle infestanti alla maturazione; caratteristiche merceologiche delle cariossidi) e economico (costi dei mezzi tecnici utilizzati).

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i dati di tipo gestionale raccolti durante il 2013/14 e utilizzati come base per le valutazioni di carattere agro-ambientale ed economico dei due sistemi di produzione.

Tabella 3 – Input colturali utilizzati nei 2 sistemi colturali collaudati presso il CiRAA

CiRAA - SISTEMA CONVENZIONALE	operazioni colturali	consumo mezzi tecnici	consumo gasolio	consumo lubrificante	h lavoro/ha
PRECESSIONE	incolto		10 kg/ha di gasolio	0,4 kg/ha di oliolub.	0,5
CONTROLLO INFESTANTI PRE-LAV.					
LAVORAZIONE PRINCIPALE	aratura con bivomere		53 kg/ha di gasolio	2,1 kg/ha di oliolub.	2,5
LAVORAZIONE SECONDARIA 1	erpicoltura a dischi		8 kg/ha di gasolio	0,3 kg/ha di oliolub.	0,7
LAVORAZIONE SECONDARIA 2	erpicaura erp.rotativo		20 kg/ha di gasolio	0,8 kg/ha di oliolub.	1,5
LAVORAZIONE SECONDARIA 3					
CONCIMAZIONE PRESEMINA					
CONCIMAZIONE 1	con 26.0.0	300 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
CONCIMAZIONE 2	con 26.0.0	300 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
CONCIMAZIONE 3					
SEMINA	seminatrice pneumatica	230 kg/ha di seme	12 kg/ha di gasolio	0,5 kg/ha di oliolub.	0,7
DISERBO 1	erbicida hussar maxx	0,3 kg/ha di p.c.	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
DISERBO 2					
FUNGICIDA 1	fungicida (insieme a diserbo)	5 kg/ha di p.c.			
FUNGICIDA 2					
botte 800 l	acqua per irrorazioni	300 Kg/ha			
MIETITRBIATURA			20 kg/ha di gasolio	0,8 kg/ha di oliolub.	0,75
CiRAA - SISTEMA CONSERVATIVO					
PRECESSIONE	favino		10 kg/ha di gasolio	0,4 kg/ha di oliolub.	0,5
CONTROLLO INFESTANTI PRE-LAV.	glyphosate	2 kg/ha p.c.	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
LAVORAZIONE PRINCIPALE					
LAVORAZIONE SECONDARIA 1					
LAVORAZIONE SECONDARIA 2					
LAVORAZIONE SECONDARIA 3					
CONCIMAZIONE PRESEMINA					
CONCIMAZIONE 1	46.0.0	300 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
CONCIMAZIONE 2	26.0.0	100 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
CONCIMAZIONE 3					
SEMINA	seminatrice su sodo	230 kg/ha di seme	15 kg/ha di gasolio	0,6 kg/ha di oliolub.	1,1
DISERBO 1	erbicida hussar maxx	0,3 kg/ha di p.c.	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
DISERBO 2					
FUNGICIDA 1	fungicida (insieme a diserbo)	5 kg/ha di p.c.			0,3
FUNGICIDA 2					
botte 800 l	acqua per irrorazioni	600 Kg/ha			
MIETITRBIATURA			20 kg/ha di gasolio	0,8 kg/ha di oliolub.	0,75

I dati agronomici sono stati ottenuti da aree di saggio (8 per ogni tipologia di confronto) rappresentative delle condizioni delle colture nell'ambito di ciascun sistema, specie e cultivar per un totale di 184 campioni di frumento di 2 m² ciascuno. I campioni raccolti dal personale tecnico del CiRAA in tutte le aree oggetto di collaudo, sono stati analizzati per ottenere i seguenti dati: numero di spighe per m², peso fresco e secco delle paglie e della granella, contenuto in sostanza secca di entrambi, produzione areica in sostanza secca di paglie e granella del frumento e dell'intera biomassa delle infestanti eventualmente presenti nel campione, peso dei 1000 semi. Le paglie e le granelle delle aree campione sono state macinate e sottoposte a analisi chimica per la determinazione della loro concentrazione in azoto totale (Fase 4.1 del Progetto).

Tabella 4 – Input colturali utilizzati nei 2 sistemi colturali collaudati presso le aziende private

Az.PRIVATE - SISTEMA CONVENZIONALE	operazioni colturali	consumo mezzi tecnici	consumo gasolio	consumo lubrificante	h lavoro/ha
PRECESSIONE	colza-trinciatura res.		10 kg/ha di gasolio	0,4 kg/ha di oliolub.	0,5
CONTROLLO INFESTANTI PRE-LAV.					
LAVORAZIONE PRINCIPALE	aratura con quadrivomere		36 kg/ha di gasolio	1,4 kg/ha di oliolub.	1,35
LAVORAZIONE SECONDARIA 1					
LAVORAZIONE SECONDARIA 2					
LAVORAZIONE SECONDARIA 3					
CONCIMAZIONE PRESEMINA	con 18.46.0	200 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
CONCIMAZIONE 1	con 26.0.0	200 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
CONCIMAZIONE 2	con 26.0.0	230 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
CONCIMAZIONE 3	con 46.0.0	100 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
SEMINA	seminatrice combinata	230 kg/ha di seme	25 kg/ha di gasolio	1,0 kg/ha di oliolub.	1,7
DISERBO 1	ussar	0,3 kg/ha di p.c.	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
DISERBO 2					
FUNGICIDA 1	fungicida (insieme a diserbo)	1 kg/ha di p.c.			
FUNGICIDA 2	fungicida	1 kg/ha di p.c.	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
	acqua per irrorazioni	600 Kg/ha			
MIETITRBBIATURA			20 kg/ha di gasolio	0,8 kg/ha di oliolub.	0,75
Az.PRIVATE - SISTEMA CONSERVATIVO					
PRECESSIONE	colza-trinciatura res.		10 kg/ha di gasolio	0,4 kg/ha di oliolub.	0,5
CONTROLLO INFESTANTI PRE-LAV.	glyphosate	4 kg/ha p.c.	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
LAVORAZIONE PRINCIPALE					
LAVORAZIONE SECONDARIA 1					
LAVORAZIONE SECONDARIA 2					
LAVORAZIONE SECONDARIA 3					
CONCIMAZIONE PRESEMINA	11.48.0	30 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
CONCIMAZIONE 1	26.0.0	200 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
CONCIMAZIONE 2	26.0.0	230 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
CONCIMAZIONE 3	46.0.0	100 Kg/ha	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
SEMINA		230 kg/ha di seme	15 kg/ha di gasolio	0,6 kg/ha di oliolub.	1,1
DISERBO 1	erbicida ussar	0,3 kg/ha di p.c.	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
DISERBO 2					
FUNGICIDA 1	fungicida (insieme a diserbo)	1 kg/ha di p.c.			
FUNGICIDA 2	fungicida	1 kg/ha di p.c.	3 kg/ha di gasolio	0,1 kg/ha di oliolub.	0,3
	acqua per irrorazioni	900 Kg/ha			
MIETITRBBIATURA			20 kg/ha di gasolio	0,8 kg/ha di oliolub.	0,75

Sintesi dei principali risultati agronomici delle ricerche di lungo periodo condotte al CiRAA

Prima di entrare nel merito dei risultati delle attività di collaudo previste dal Progetto e condotte presso le aziende partner, corre l'obbligo di analizzare brevemente i risultati delle ricerche di lungo periodo condotte al Centro Enrico Avanzi e supportate, per l'annata 2013/14, dal Progetto Acriac. Anche se questa attività tipicamente sperimentale non rientra nell'ottica del collaudo o del trasferimento dei processi di produzione innovativi a livello aziendale, risulta strategica per comunicare ai potenziali utenti delle tecniche conservative di lavorazione del terreno l'effetto di lungo periodo di queste pratiche agricole sulla dinamica delle produzioni e sulla fertilità del terreno.

Nel 1986, quando la semina su sodo era pressoché sconosciuta alla maggior parte degli operatori del settore, al Centro Enrico Avanzi ha avuto inizio una ricerca ancora in corso che intendeva verificare gli effetti di lungo periodo dell'applicazione della non-lavorazione ripetuta anno dopo anno in un avvicendamento biennale frumento duro – soia (favino negli ultimi anni) sulla produttività delle colture, la loro gestione tecnica e la fertilità del terreno. Il terreno sul quale si è operato è pianeggiante e presenta una tessitura franco-limoso.

Inizialmente, disponendo di una sola seminatrice da sodo per le colture da rinnovo, soltanto la soia veniva seminata senza lavorazione mentre al frumento veniva destinata una semplice discatura. Dal 1990 a oggi entrambe le colture in avvicendamento sono state sempre seminate su sodo.

Analizzando gli effetti che la semina su sodo ha prodotto negli ultimi 25 anni sul frumento in comparazione con una tecnica convenzionale come l'aratura a circa 30-35 cm di profondità, possiamo affermare che la resa in granella del frumento in media è stata ridotta di circa il 9% dall'applicazione della semina su sodo (3,97 vs 4,36 t/ha di granella secca)

Il risultato medio poliennale nasconde però forti variazioni interannuali: -21.5% nel 1994, -17.8% nel 1995, -41.1% nel 1997, -19.2% nel 1998, -17.6% nel 2001 e -14.4% nel 2002). Quasi sempre le minori rese del frumento su terreno non lavorato sono state associate a un minor investimento e a epoche di semina tardive. Infatti, spesso accade che la prolungata piovosità invernale determini ritardi nelle semine del frumento duro fin anche al mese di gennaio; in quelle condizioni, dopo la semina si può assistere alla ripresa delle piogge che su terreno sodo (meno permeabile negli strati superficiali ove è deposto il seme), può determinare ristagni idrici. Questi accadimenti, uniti a una minore temperatura del terreno sodo, tendono a pregiudicare la germinazione dei semi e quindi l'investimento finale di piante per unità di superficie.

Negli anni in cui le semine su "sodo" sono state effettuate tempestivamente (al massimo entro novembre) e il controllo delle infestanti è risultato soddisfacente, le differenze di resa tra i due sistemi sono risultate insignificanti fino a risultare superiori con la semina su sodo negli anni in cui la piovosità di maggio e della prima metà di giugno è risultata inferiore alla media.

La drammatica riduzione di resa registrata nel 1997 è imputabile alla forte presenza di ruggine all'interno della coltura su sodo dovuta alla maggiore presenza di residui colturali e alla presenza di ospiti alternativi.

Risultati agronomici relativi alle attività del Progetto

Esperienze al CiRAA

L'effetto della tecnica conservativa sulla produttività del frumento duro è stata valutata a livello aziendale confrontandola con quella ottenuta con il sistema convenzionale. Presso il Centro Enrico Avanzi è stato possibile effettuare questo confronto sulla base di due tecniche convenzionali diverse ma rappresentative degli atteggiamenti tecnici di molti agricoltori: l'aratura medio-profonda e la di scissura eseguita alla stessa profondità (30-40 cm); entrambe le tecniche sono state poste a confronto con la semina su sodo in condizioni diverse di avvicendamento colturale. Ne sono derivati i seguenti confronti: confronto A, aratura su incolto vs. semina su terreno sodo da 2 anni con precessione favino; confronto B, discissura di un prato di medica vs. semina su terreno sodo da un anno con precessione girasole.

Nelle tabelle sono riportati i principali risultati agronomici di questi due confronti effettuati presso il Centro Enrico Avanzi nell'annata agraria 2013/14.

Tabella 5 – CiRAA: principali risultati agronomici

	Granello	Paglia	Biomassa	Harv.ind.	Infestanti	1000 semi	N gran.	N paglie	N asp.
CiRAA - confronto A	(t ss/ha)	(t ss/ha)	(t/ha)	(%)	(t ss/ha)	(g)	(%)	(%)	(kg/ha)
Sistema convenzionale	6,85	7,17	14,03	48,9	0,01	41,3	2,32	0,77	214
Sistema conservativo	7,25	6,70	13,95	52,0	0,06	45,1	2,10	0,67	197
<i>conservativo vs. convenzionale</i>	5,8	-6,6	-0,6	6,4	873	9,2	-9	-13	-8

	Granello	Paglia	Biomassa	Harv.ind.	Infestanti	1000 semi	N gran.	N paglie	N asp.
CiRAA - confronto B	(t ss/ha)	(t ss/ha)	(t/ha)	(%)	(t ss/ha)	(g)	(%)	(%)	(kg/ha)
Sistema convenzionale	6,88	7,75	14,63	47,0	0,01	36,2	2,34	0,85	227
Sistema conservativo	6,72	6,05	12,77	52,6	0,11	46,6	1,81	0,51	153
<i>conservativo vs. convenzionale</i>	-2,4	-22,0	-12,8	11,9	1477	28,9	-22	-40	-33

La prima osservazione in merito a questa duplice esperienza consiste nella sostanziale uniformità di risposta produttiva del frumento duro (varietà Tirex) ai due sistemi di coltivazione confrontati. Stessa considerazione emerge anche dal confronto tra le due tecniche di riferimento (aratura nel confronto A e discissura nel confronto B) che non si sono differenziate tra loro in modo sostanziale determinando rese granellari di notevole livello per l'areale di coltivazione e per l'annata non certo favorevole ai cereali vernini a seguito delle persistenti piogge invernali.

In particolare, nel caso del confronto A, il frumento duro su sodo al 3° anno consecutivo dopo favino e frumento ha evidenziato un migliore rapporto tra granella e paglia, una maggiore presenza di malerbe (comunque assai contenuta in termini assoluti), un maggior peso dei 1000 semi e una minore asportazione complessiva di azoto. Questi risultati troverebbero giustificazione nella difficoltà spesso manifestata dal frumento seminato su terreno sodo di non sopportare prolungati periodi piovosi specialmente laddove il terreno è poco permeabile (caso del Centro Enrico Avanzi); la minore produzione di paglia potrebbe avallare tale ipotesi. Di contro il peso dei mille semi potrebbe indicare una maggiore umidità del terreno non lavorato durante la fase di riempimento della granella (maggio-giugno). Infine la leggera minore asportazione di azoto potrebbe trovare giustificazione nella ormai nota immobilizzazione di

questo elemento nei terreni in fase di transizione dal sistema arativo a quello sodivo.

Il confronto B (grano duro su sodo dopo girasole su sodo vs. grano duro su discissura dopo medica) ha dato risultati leggermente diversi rispetto al confronto A anche se in termini di resa granellare le differenze sono state insignificanti (-2,4% per il grano su sodo). Anche da questa esperienza è stato possibile osservare, per il frumento coltivato su terreno non lavorato, una minore produzione di paglia e quindi un indice di raccolta superiore a quello osservato nel sistema convenzionale, un maggior peso dei 1000 semi, una minore concentrazione di N nella granella e nelle paglie e quindi una minore asportazione di azoto.

Anche alla luce di precedenti esperienze in questo ambito di ricerca, occorre precisare che i risultati sopra commentati, si riferiscono a colture pressoché prive di piante infestanti, presupposto fondamentale per la buona riuscita delle coltivazioni su terreno non lavorato.

Esperienze presso l'Azienda agricola Squadrelli

Anche presso l'Azienda Squadrelli, le colture di frumento tenero (varietà Valbona e Nogal) e di frumento duro (varietà Monastir) hanno evidenziato un notevole potenziale produttivo che è stato evidenziato attraverso la raccolta di campioni in diverse aree di saggio degli appezzamenti destinati al collaudo delle due tecniche.

Come era logico attendersi, le produzioni maggiori sono state registrate con il frumento tenero e in particolare con la cv Nogal (grande produttrice ma di qualità della granella medio-bassa) mentre quelle più basse si sono registrate con il frumento duro.

Tabella 6 – Azienda Squadrelli: principali risultati agronomici

AZ. SQUADRELLI	Granella	Paglia	Biomassa	Harv.ind.	Infestanti	1000 semi	N gran.	N paglie	N asp.
cv. Valbona	(t ss/ha)	(t ss/ha)	(t/ha)	(%)	(t ss/ha)	(g)	(%)	(%)	(kg/ha)
Sistema convenzionale	7,86	7,22	15,08	52,2	0,03	42,3	1,85	0,43	176
Sistema conservativo	7,54	7,21	14,75	51,1	0,01	35,7	1,64	0,30	145
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	-4,1	-0,1	-2,2	-2,2	-75	-15,6	-11	-31	-18
AZ. SQUADRELLI	Granella	Paglia	Biomassa	Harv.ind.	Infestanti	1000 semi	N gran.	N paglie	N asp.
cv. Nogal	(t ss/ha)	(t ss/ha)	(t/ha)	(%)	(t ss/ha)	(g)	(%)	(%)	(kg/ha)
Sistema convenzionale	8,12	7,87	15,99	50,8	0,01	42,5	1,99	0,49	200
Sistema conservativo	7,75	7,80	15,55	49,8	0,02	40,6	2,00	0,40	186
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	-4,6	-0,8	-2,7	-1,9	192	-4,4	1	-20	-7
AZ. SQUADRELLI	Granella	Paglia	Biomassa	Harv.ind.	Infestanti	1000 semi	N gran.	N paglie	N asp.
cv. Monastir	(t ss/ha)	(t ss/ha)	(t/ha)	(%)	(t ss/ha)	(g)	(%)	(%)	(kg/ha)
Sistema convenzionale	6,43	6,70	13,12	48,9	0,02	54,8	2,01	0,37	154
Sistema conservativo	6,91	6,16	13,07	52,9	0,01	49,4	1,89	0,34	152
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	7,5	-8,1	-0,4	8,0	-70	-10,0	-6	-8	-2
Valbona	7,70	7,22	14,91	51,7	0,02	39,02	1,74	0,36	161
Nogal	7,94	7,83	15,77	50,3	0,01	41,58	1,99	0,44	193
Monastir	6,67	6,43	13,10	50,9	0,01	52,10	1,95	0,36	153
Convenzionale	7,47	7,26	14,73	50,7	0,02	46,56	1,95	0,43	177
Conservativo	7,40	7,06	14,46	51,3	0,01	41,91	1,85	0,34	161
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	-0,9	-2,8	-1,9	1,2	-44	-10,0	-5	-20	-9

Complessivamente, l'applicazione del sistema conservativo non ha determinato differenze produttive significative rispetto al sistema di riferimento sia in termini di granella che di paglia (-

0,9% e -2,8% rispettivamente). Come osservato a S. Piero a Grado (ove si trovavano le colture sperimentali del CiRAA) anche presso l’Azienda Squadrelli la tecnica conservativa ha determinato un leggero innalzamento dell’indice di raccolta, una diminuzione della concentrazione di N nella granella e soprattutto nelle paglie e quindi una minore asportazione di azoto (-9%).

Rispetto a questa tendenza generale, il comportamento delle specie e delle varietà saggiate si è diversificato anche in modo sostanziale.

Sotto l’aspetto produttivo, le varietà di tenero (potenzialmente più produttive del duro) hanno risposto alla semina su sodo con una lieve flessione produttiva del 4,1 e 4,6% rispettivamente per Valbona e Nogal (per queste varietà non è stata osservata alcuna riduzione della produzione di paglia); di contro, sul frumento duro la non-lavorazione ha determinato un incremento produttivo del 7,5% e una riduzione della produzione di paglia del 8,1%.

La riduzione della concentrazione dell’azoto nella granella e nelle paglie è stata più evidente nelle due cultivar di grano tenero.

Esperienze presso l’Azienda agricola Martello

Quanto accaduto presso l’Azienda Squadrelli si è verificato anche nei campi dimostrativi dell’Azienda Martello anche se in misura leggermente diversa e meno favorevole alla tecnica conservativa. La riduzione media di resa in granella è stata infatti del 7,4% a fronte dello 0,9% di Squadrelli.

Tabella 7 – Azienda Martello: principali risultati agronomici

AZ. MARTELLO	Granella	Paglia	Biomassa	Harv.ind.	Infestanti	1000 semi	N gran.	N paglie	N asp.
cv. Valbona	(t ss/ha)	(t ss/ha)	(t/ha)	(%)	(t ss/ha)	(g)	(%)	(%)	(kg/ha)
Sistema convenzionale	7,03	6,90	13,93	50,5	0,01	37,3	2,51	0,59	217
Sistema conservativo	6,45	7,02	13,47	47,9	0,00	45,0	2,48	0,50	195
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	-8,2	1,7	-3,3	-5,2	-100	20,9	-1	-15	-10
AZ. MARTELLO	Granella	Paglia	Biomassa	Harv.ind.	Infestanti	1000 semi	N gran.	N paglie	N asp.
cv. Nogal	(t ss/ha)	(t ss/ha)	(t/ha)	(%)	(t ss/ha)	(g)	(%)	(%)	(kg/ha)
Sistema convenzionale	9,59	9,11	18,70	51,2	0,05	36,9	2,06	0,44	237
Sistema conservativo	8,80	8,73	17,53	50,2	0,00	33,9	2,07	0,33	211
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	-8,2	-4,2	-6,3	-2,0	-91	-8,3	1	-25	-11
AZ. MARTELLO	Granella	Paglia	Biomassa	Harv.ind.	Infestanti	1000 semi	N gran.	N paglie	N asp.
cv. Monastir	(t ss/ha)	(t ss/ha)	(t/ha)	(%)	(t ss/ha)	(g)	(%)	(%)	(kg/ha)
Sistema convenzionale	7,05	7,36	14,41	48,9	0,09	50,8	2,20	0,52	193
Sistema conservativo	6,66	7,34	14,00	47,6	0,00	49,0	2,11	0,55	181
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	-5,5	-0,3	-2,8	-2,7	-100	-3,6	-4	5	-7
Valbona	6,74	6,96	13,70	49,2	0,01	41,16	2,49	0,55	206
Nogal	9,20	8,92	18,12	50,7	0,03	35,40	2,07	0,38	224
Monastir	6,85	7,35	14,21	48,2	0,04	49,93	2,16	0,53	187
Convenzionale	7,89	7,79	15,68	50,2	0,05	41,68	2,26	0,52	216
Conservativo	7,31	7,70	15,00	48,6	0,00	42,64	2,22	0,46	196
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	-7,4	-1,2	-4,3	-3,3	-97	2,3	-2	-11	-9

Ancora una volta, a mostrare i “maggiori” cali produttivi su terreno non lavorato sono state le

varietà di tenero (-8,2% di granella) mentre il duro ha fatto registrare un calo nella produzione di granella del 5,5%. Anche a Cenaia si è registrata la tendenza a una minore produzione di paglia dei cereali seminati nel sistema conservativo e a una loro minore concentrazione in azoto.

Aspetti economici

Al fine di valutare la sostenibilità delle tecniche conservative sulla base dei risultati precedentemente descritti e di quelli ottenuti dalle ricerche di lungo periodo condotte dal 1986 presso il Centro Enrico Avanzi, nell'ambito della fase 3 Progetto, il CIRAA ha elaborato i dati gestionali e agronomici al fine di stabilire i costi variabili di produzione del frumento tenero e duro coltivato secondo i due sistemi di produzione collaudati dal Progetto, e il reddito lordo delle colture.

L'analisi si è quindi estesa a tutte le colture monitorate presso il CIRAA (1- confronto tra aratura e non lavorazione (confronto A); 2- confronto di lungo periodo) e a tutte le combinazioni "varietà x sistema di produzione" collaudate dalle Aziende private.

In considerazione della difficoltà di calcolo dei costi fissi aziendali, insita nella estrema diversificazione della struttura gestionale delle aziende agricole, al fine di dare maggiore robustezza ai risultati dell'analisi economica, si è ritenuto utile limitare l'analisi dei costi a quelli variabili considerando però due condizioni gestionali diverse: il completo ricorso al contoterzismo per ogni operazione colturale prevista dai 2 sistemi a confronto, e la gestione diretta delle stesse con mezzi aziendali. Pur consapevoli della estrema semplificazione dell'analisi, si è ritenuto comunque utile porre l'attenzione su queste due soluzioni "estreme" (che raramente corrispondono alla realtà) ma che possono fornire un quadro di riferimento utile per la valutazione della sostenibilità economica dei sistemi di coltivazioni collaudati.

I costi dei mezzi tecnici sono stati desunti direttamente dagli uffici amministrativi delle strutture partner mentre il costo della manodopera specializzata (al lordo dei contributi previdenziali e assistenziali) è stato stimato in 30 €/h.

Per il prezzo di vendita della granella di frumento si è fatto riferimento alle contrattazioni avvenute in Provincia di Pisa nell'ultima campagna durante il mese di agosto: 265 €/t per il frumento duro e 195 €/t per quello tenero. In tutti i casi si è ipotizzata anche la vendita delle paglie al prezzo di 50 €/t.

Per l'analisi economica dei risultati della ricerca di lungo periodo del CIRAA, i costi dei mezzi tecnici di produzione e il prezzo di vendita della granella sono stati aggiornati a quelli della campagna 2013/14.

I risultati del CIRAA

Nella tabella 8 sono riassunti i risultati delle analisi economiche relative al confronto di lungo periodo tra sistema convenzionale e conservativo e al confronto (A) realizzato specificamente nell'ambito del Progetto Acriac presso il Centro Enrico Avanzi.

Il primo risultato che emerge chiaramente sia dall'esperienza di lungo periodo che da quella del 2013/14, è la significativa riduzione dei costi variabili.

Nel caso della ricerca di lungo periodo - che tiene conto anche di annate "difficili" durante le quali sono stati richiesti anche più interventi colturali tesi soprattutto a contenere adeguatamente le piante infestanti - la riduzione percentuale dei costi variabili rispetto al sistema convenzionale è stata del 13-14% corrispondenti a 177-134 €/ha (i valori maggiori si riferiscono all'ipotesi di affidamento totale al contoterzismo).

In considerazione della produttività espressa dal frumento seminato su sodo (mediamente inferiore a quella convenzionale nella ricerca di lungo periodo e leggermente superiore nel

confronto A del 2013/14; nel primo caso il suo reddito lordo è risultato superiore del 53% (65 €/ha) e del 5% (23 €/ha), rispettivamente nell'ipotesi di affidamento totale dei lavori a ditte agro-meccaniche esterne o in quella di esecuzione con personale aziendale. Nel secondo caso il reddito lordo del grano duro su sodo è stato superiore a quello convenzionale per il 22% (259 €/ha) e per il 15% (217 €/ha), rispettivamente nelle due ipotesi gestionali sopra ricordate. In tutti i casi, non lavorando il terreno le ore di lavoro in azienda si sono ridotte del 45-43%.

Tabella 8 – CiRAA: principali risultati economici

CIRAA	Ipotesi C/terzi		Ipotesi gestione diretta		
	TIREX (A)	s.convenzionale	s. conservativo	s.convenzionale	s. conservativo
COSTI VARIABILI					
Concimi		171	171	171	171
Fitofarmacl		57	73	57	73
Sementi		140	140	140	140
Lavorazioni		620	428	319	169
Totale costi variabili		989	812	688	554
riduzione dei costi varibili		€177	18%	€134	20%
P.L.V.		2.174	2.256	2.174	2.256
REDDITO LORDO		1.185	1.444	1.486	1.703
conservativo vs. convenzionale		€259	22%	€217	15%
Costo di produzione (€ per t di granella)		144,4	112,0	100,5	76,4
riduzione delle ore di lavoro				6,4	3,6
				2,9	45%
ESPERIENZA 1990-2005					
		s.convenzionale	s. conservativo	s.convenzionale	s. conservativo
COSTI VARIABILI					
Concimi		448	448	448	448
Fitofarmacl		57	73	57	73
Sementi		140	140	140	140
Lavorazioni		685	492	344	193
Totale costi variabili		1.330	1.154	989	855
riduzione dei costi varibili		€177	13%	€134	14%
P.L.V.		1.454	1.343	1.454	1.343
REDDITO LORDO		124	189	465	488
conservativo vs. convenzionale		€65	53%	€23	5%
Costo di produzione (€ per t di granella)		305,1	290,6	226,9	215,3
riduzione delle ore di lavoro				6,7	3,9
				2,9	43%

I risultati dell'Azienda Squadrelli

I risultati economici ottenuti dai dati rilevati presso l'Azienda Squadrelli sono riassunti in tabella 9. Per l'Azienda Squadrelli e l'Azienda Martello, poiché le tre varietà saggiate non si sono diversificate per le tecniche colturali impiegate nel sistema convenzionale in quello conservativo, l'analisi economica si è differenziata per le tre varietà soltanto per la PLV e quindi il reddito loro e il costo di produzione per tonnellata di granella.

In particolare, presso l'Azienda Squadrelli i costi variabili hanno subito una contrazione del 14-16% (pari a 166-133 €/ha) grazie all'adozione del sistema conservativo ipotizzando, rispettivamente, il totale ricorso al contoterzismo per la gestione della coltura o la completa gestione aziendale della stessa.

In termini di reddito lordo, considerando la diversa risposta produttiva delle cultivar saggiate (PLV) e l'ipotesi del ricorso al contoterzismo per tutte le operazioni colturali, il sistema

conservativo ha fatto registrare un incremento del 31, 11 e 15% (corrispondenti a 266, 91 e 103 €/ha) rispettivamente per le varietà Monastir, Nogal e Valbona.

Nell'ipotesi della gestione diretta della coltura da parte del personale dell'azienda utilizzando mezzi aziendali, il sistema conservativo ha consentito un incremento del reddito lordo rispetto al sistema convenzionale più contenuto rispetto alla precedente ipotesi gestionale ma comunque superiore del 19, 5 e 7% (corrispondenti a 233, 57 e 70 €/ha) rispettivamente per le varietà Monastir, Nogal e Valbona.

Il sistema conservativo ha ridotto di circa il 32% le ore di lavoro per ettaro coltivato.

I risultati ottenuti presso l'azienda Squadrelli consentono anche un confronto tra grano tenero e duro (limitatamente alle varietà saggiate) che metterebbe in luce la maggiore convenienza economica di quest'ultimo a essere coltivato secondo i principi dell'agricoltura conservativa. In realtà questo risultato potrebbe essere letto anche in un'altra chiave che trova riscontro in letteratura: che la convenienza economica all'adozione della semina su sodo risulti tanto maggiore quanto minore sia il livello produttivo atteso dalle colture alla quale essa viene applicata.

Tabella 9 – Azienda Squadrelli: principali risultati economici

AZ. SQUADRELLI	Ipotesi C/terzi		Ipotesi gestione diretta	
	s.convenzionale	s. conservativo	s.convenzionale	s. conservativo
COSTI VARIABILI				
Concimi	263	223	263	223
Fitofarmacl	132	148	132	148
Sementi	140	140	140	140
Lavorazioni	652	509	303	194
Totale costi variabili	1.187	1.021	838	705
riduzione dei costi varibili	€166	14%	€133	16%
MONASTIR				
P.L.V.	2.039	2.139	2.039	2.139
REDDITO LORDO	852	1.118	1.201	1.434
conservativo vs. convenzionale	€266	31%	€233	19%
Costo di produzione (€ per t di granella)	184,6	147,7	130,3	102,0
NOGAL				
P.L.V.	1.977	1.901	1.977	1.901
REDDITO LORDO	790	881	1.139	1.196
conservativo vs. convenzionale	€91	11%	€57	5%
Costo di produzione (€ per t di granella)	146,2	131,7	103,2	90,9
VALBONA				
P.L.V.	1.894	1.831	1.894	1.831
REDDITO LORDO	707	810	1.056	1.126
conservativo vs. convenzionale	€103	15%	€70	7%
Costo di produzione (€ per t di granella)	151,0	135,4	106,6	93,5
riduzione delle ore di lavoro			6,1	4,2
			2,0	32%

I risultati dell’Azienda Martello

Presso l’Azienda Martello, la risposta produttiva del frumento tenero e duro alla tecnica della semina su sodo è stata diversa rispetto all’Azienda Squadrelli e quindi anche il risultato economico è risultato differente considerando che i costi variabili non si sono diversificati nelle due realtà produttive che hanno seguito le stesse tecniche colturali.

In particolare, nell’ipotesi di affidamento di tutte le operazioni colturali al contoterzista, il reddito lordo delle colture su sodo ha fatto registrare le seguenti variazioni rispetto al sistema convenzionale: 6, -1 e 11% (corrispondenti a 62, -7 e 59 €/ha) rispettivamente per le varietà Monastir, Nogal e Valbona. Nell’ipotesi di gestione diretta delle colture, le variazioni rispetto alla tecnica convenzionale sono state: 2, -3 e 3% (corrispondenti a 29, -40 e 26 €/ha) rispettivamente per le varietà Monastir, Nogal e Valbona.

I risultati ottenuti dall’Azienda Martello, confermano quanto precedentemente ipotizzato in merito alla relazione inversa tra produttività della coltura e convenienza economica alla semina su sodo; infatti in questa realtà aziendale, la cultivar più produttiva (Nogal con ben 9,2 t/ha di granella secca) ha fatto registrare la minore convenienza alla semina su sodo (in termini di reddito lordo).

Tabella 10 – Azienda Martello: principali risultati economici

AZ. MARTELLO	Ipotesi C/terzi		Ipotesi gestione diretta	
	s.convenzionale	s. conservativo	s.convenzionale	s. conservativo
COSTI VARIABILI				
Concimi	263	223	263	223
Fitofarmacl	132	148	132	148
Sementi	140	140	140	140
Lavorazioni	652	509	303	194
Totale costi variabili	1.187	1.021	838	705
riduzione dei costi variabili	€166	14%	€133	16%
MONASTIR				
P.L.V.	2.236	2.132	2.236	2.132
REDDITO LORDO	1.049	1.111	1.398	1.427
conservativo vs. convenzionale	€62	6%	€29	2%
Costo di produzione (€ per t di granella)	168,4	153,3	118,8	105,8
NOGAL				
P.L.V.	2.326	2.153	2.326	2.153
REDDITO LORDO	1.139	1.132	1.488	1.448
conservativo vs. convenzionale	-€7	-1%	-€40	-3%
Costo di produzione (€ per t di granella)	123,8	116,0	87,4	80,1
VALBONA				
P.L.V.	1.716	1.609	1.716	1.609
REDDITO LORDO	529	588	878	904
conservativo vs. convenzionale	€59	11%	€26	3%
Costo di produzione (€ per t di granella)	168,8	158,2	119,2	109,3
riduzione delle ore di lavoro			6,1	4,2
			2,0	32%

E’ comunque interessante osservare che in tutte le condizioni colturali esaminate (sistema di gestione, località, varietà e tecniche), la semina su terreno non lavorato ha fatto registrare una significativa riduzione dei costi di produzione della granella di frumento.

Aspetti agro-ambientali

Una completa valutazione della sostenibilità dei processi produttivi non può non considerare gli impatti potenzialmente provocabili sull'ambiente da detti processi. Nella fattispecie si è ritenuto opportuno analizzare detti impatti attraverso due diversi approcci: (i) la metodologia LCA (Life cycle Assessment – determinazione del ciclo di vita) e la variazione della fertilità del terreno (che consente anche di valutare la capacità di sequestro del C da parte dei suoli agrari).

A tal fine, a completamento delle attività previste della fase 3 del Progetto, i dati gestionali e agronomici raccolti al CiRAA (limitatamente al confronto A) e presso l'Azienda Martello sono stati rielaborati per sviluppare un'analisi LCA del frumento tenero e duro da agricoltura convenzionale e conservativa e verificare le variazioni dei principali parametri della fertilità dei terreni non lavorati per anni.

Analisi LCA

L'approccio di tipo "valutazione del ciclo di vita" nasce alla fine degli anni '60, supportato da alcuni studiosi, i quali, cominciarono a capire che l'unico modo di analizzare le attività produttive, fosse quello di scomporle in singoli processi. Questo nuovo modo di pensare, denominato *Life Cycle Thinking*, prevedeva di seguire il percorso delle materie e delle energie che entrano a far parte di questi processi, dalla loro estrazione o produzione fino al loro smaltimento, al fine di poter valutare gli impatti ambientali in modo preciso e puntuale.

Qualche anno dopo, all'inizio degli anni '80, inizia a prendere sempre più piede il concetto di sviluppo sostenibile ed appare subito chiaro come un approccio di tipo LCA fosse un importante strumento su cui basare lo sviluppo di nuove attività produttive.

L'analisi del ciclo di vita si pone quindi l'obiettivo di valutare gli effetti ambientali associati ad una certa attività, dal prelievo delle materie prime dall'ambiente (combustibili fossili, minerali, ecc.) fino al punto in cui la materia ad esso ritorna, includendo quindi tutti i rilasci in aria, acqua e suolo.

La metodologia è stata standardizzata a livello internazionale attraverso la pubblicazione del corpo di norme UNI EN ISO 14040. La norma ISO 14040 definisce la LCA come la "compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto".

Il potenziale campo di applicazione della LCA è molto ampio, andando dalla gestione della singola azienda a quella dei sistemi socio-economici complessi. Risulta chiara la sua utilità in campo macroeconomico, dal momento che si tratta di uno strumento particolarmente adatto a perseguire politiche di sviluppo sostenibile. Con la stessa logica, le applicazioni LCA, sia a livello nazionale che internazionale, risultano un valido strumento di comunicazione dei risultati ambientali, assolvendo a molteplici scopi: promuovere un comparto produttivo per le azioni di rispetto verso l'ambiente; rendere disponibili informazioni quantitative, preziose anche per coloro che, dovendo affrontare studi di carattere ambientale, necessitano di riferimenti riconosciuti e affidabili; stimolare la cultura ambientale tra i soggetti portatori d'interesse, ecc..

Una LCA applicata ad un sistema complesso indirizza, dunque, lo studio di efficienza del sistema in oggetto verso la salvaguardia della salute dell'ambiente e dell'uomo e verso il risparmio delle risorse.

Gli *input* del sistema consistono in materie prime e in energia primaria (energia solare compresa), mentre gli *output* consistono in reflui (calore disperso, emissioni in acqua e in aria, rifiuti solidi, ecc.) che ritornano all'ambiente (o biosfera). Si tratta di un sistema al cui interno sono presenti tutti gli attori dei processi di trasformazione intesi in senso lato: dai produttori agli utenti, attraverso i prodotti finali. È questo il caso in cui si è soliti parlare di "vero sistema di ciclo vita", poiché tra i suoi output non esistono prodotti utili, ma solamente sostanze reflue; prendendo spunto da questa definizione è di conseguenza possibile estendere il concetto "*dalla culla alla tomba*" a quello "*dalla culla alla culla*", prendendo in considerazione anche i processi di recupero, riciclo e riuso.

Il modello analogico del sistema oggetto di indagine in una LCA rappresenta una semplificazione della realtà, poiché, come tutti i modelli matematici, fisici e ingegneristici, non include una rappresentazione completa delle interazioni con l'ambiente. L'aspetto di fondamentale importanza è quello di poter eseguire simulazioni affidabili, in maniera da poter progettare un miglioramento efficace del sistema indagato.

La struttura della LCA proposta dalla *norma ISO 14040* è sintetizzabile in quattro fasi principali:

1. Definizione degli scopi e degli obiettivi (Goal and Scope Definition): per prima cosa l'esecuzione di una LCA richiede che si definiscano le motivazioni che hanno indotto a realizzare lo studio (individuazione dei punti critici di un prodotto rispetto alle sue interazioni con l'ambiente, confronto fra due prodotti, ottenimento di una Dichiarazione Ambientale di Prodotto, ecc.) e si stabilisca a chi lo studio è destinato, cioè a quali persone si comunicano i risultati (per es. decisori all'interno o all'esterno dell'azienda o clienti della stessa).

Si passa quindi alla definizione del campo di applicazione, nella quale tutti gli elementi rilevanti per il raggiungimento degli obiettivi dello studio devono essere dichiarati. Semplificando quanto stabilito dalla normativa, gli elementi da definire sono i seguenti:

- *sistema da analizzare*, sue funzioni e unità funzionale, definita come l'unità di misura di una specifica funzione di un prodotto a cui si rapportano tutti i flussi di energia e materia del ciclo di vita;
- *confini del sistema*, ovvero unità di processo da includere nel sistema, scelta dei flussi in ingresso ed in uscita, procedure di attribuzione dei flussi ai differenti prodotti;
- *requisiti di qualità dei dati*, cioè fattori temporali, geografici e tecnologici richiesti, precisione e rappresentatività dei dati, limiti e assunzioni.

2. Analisi di Inventario (Life Cycle Inventory Analysis, LCI): in questa fase, che costituisce il nucleo centrale e più impegnativo di uno studio di LCA, è esplorato l'intero ciclo di vita di un prodotto/servizio. Lo scopo principale è quello di ricostruire la via attraverso cui il fluire dell'energia e dei materiali permette il funzionamento del sistema in esame tramite tutti i processi di trasformazione e trasporto. Si parte dalla creazione del diagramma di flusso dei processi compresi nel sistema, per passare poi alla definizione delle tecniche di raccolta dei dati (utilizzo di schede, istruzione del personale che collabora alla realizzazione di questa fase ecc.), alla raccolta dei dati vera e propria e all'elaborazione degli stessi. Per quest'ultima fase l'utilizzo di un software (un semplice foglio elettronico o un programma specifico per analisi di LCA) facilita l'ottenimento dei risultati di inventario.

3. Analisi degli impatti (Life Cycle Impact Assessment, LCIA): lo scopo principale della fase di valutazione degli impatti è quantificare gli impatti sull'ambiente dovuti ai rilasci e al consumo di

risorse correlati al ciclo di vita del prodotto studiato, in maniera da evidenziare l'entità delle modificazioni generate a seguito dei rilasci nell'ambiente e dei consumi di risorse calcolati nell'Inventario. In questa fase si produce il passaggio dal dato oggettivo calcolato durante la fase di Inventario, al giudizio di pericolosità ambientale. La normativa ISO prescrive le procedure per l'effettuazione della valutazione degli impatti, ma non specifica metodologie e modelli da utilizzare. Secondo la norma ISO 14044 sono definiti elementi necessari di una valutazione di impatto i seguenti punti:

- la selezione delle categorie di impatto, degli indicatori di categoria e dei modelli;
- l'attribuzione dei risultati dell'inventario alle categorie di impatto (classificazione);
- la modellizzazione dei dati entro le categorie di impatto (caratterizzazione) attraverso l'uso di fattori di caratterizzazione; dove con categoria di impatto si intende una classe che rappresenti un tema ambientale a cui vengono attribuiti i risultati dell'inventario (es. acidificazione a cui contribuiscono SO₂ e NO_x); con indicatore di categoria si intende una rappresentazione quantificabile di emissioni o di uso di risorse per la modellizzazione di una categoria di impatto (es. nel caso della categoria acidificazione si può assumere come indicatore il rilascio potenziale di H⁺); con fattore di caratterizzazione si intende un numero usato per convertire i risultati dell'inventario all'interno di una categoria di impatto a unità comune (es. grammi equivalenti di H⁺).

Definizione delle categorie di impatto ambientale

Lo scopo di questa fase è di selezionare e di definire le categorie ambientali da considerare nella valutazione, tenendo conto dell'obiettivo dello studio.

Le categorie di impatto che generalmente vengono prese in considerazione sono le seguenti:

- consumo di risorse biotiche e abiotiche;
- effetto serra (riscaldamento complessivo della terra causato dall'accumulo dei cosiddetti gas serra: CO₂, CH₄, N₂O, CFC, HFC, ecc.);
- assottigliamento fascia ozono;
- tossicità umana ed ecotossicità;
- formazione di ossidanti fotochimici (all'origine del fenomeno denominato smog estivo);
- acidificazione;
- eutrofizzazione (aggiunta di nutrienti, in acqua e nel suolo, che possono indurre indesiderati mutamenti negli ecosistemi).

Classificazione

La classificazione mira ad assegnare ciascun prelievo di risorse dall'ambiente e ciascuna emissione ad una categoria di impatto ambientale. Consiste nell'organizzare i dati dell'inventario, cioè i valori dei prelievi e delle emissioni in aria, acqua e suolo correlati direttamente ed indirettamente alle operazioni considerate, distribuendoli nelle varie categorie di impatto.

Caratterizzazione

La fase di caratterizzazione consente di attribuire a ciascuna sostanza classificata in una categoria di impatto ambientale un fattore di equivalenza, in modo da poter sommare i contributi delle singole entità all'interno di una categoria di impatto ambientale e giungere a determinare, per ciascuna categoria, l'effetto complessivo del sistema oggetto dello studio.

Una volta effettuata la caratterizzazione, rimane però il fatto che il confronto tra categorie di impatto ambientale differenti non è immediatamente possibile. Per far questo, è necessario

attribuire a ciascuna categoria un peso che sia in qualche modo rappresentativo della gravità dell'impatto. Questa fase, che la norma definisce opzionale ai fini di una valutazione di impatto, è costituita dai seguenti elementi:

- *normalizzazione*, secondo la quale i risultati ottenuti con la caratterizzazione sono rapportati a un valore di riferimento stabilito. Lo scopo è quello di comprendere meglio l'importanza relativa di ciascun indicatore del sistema prodotto che si sta studiando. Esempi di valori di riferimento sono:

- le emissioni totali per una certa area;

- le emissioni pro capite per una certa area;

- *ponderazione*, che permette di aggregare i risultati attraverso le categorie di impatto. E' una fase basata non su considerazioni scientifiche, ma su scelte di valore, con le quali si cerca di stabilire l'importanza ecologica relativa di una categoria di impatto rispetto alle altre. In questo modo diventa possibile esprimere i risultati della fase di valutazione con un unico indice atto a rappresentare quantitativamente in modo sintetico gli effetti ambientali del sistema considerato e, in particolare, a confrontare diversi sistemi, naturalmente a parità di unità funzionale.

4. Interpretazione e Miglioramento (Life Cycle Interpretation): l'interpretazione è una procedura sistematica per identificare, qualificare, controllare e valutare le conclusioni della fase di inventario e della valutazione degli impatti del sistema in relazione agli obiettivi e al campo di applicazione definiti all'inizio dello studio. E' la parte conclusiva di una LCA, che ha lo scopo di proporre i cambiamenti necessari a ridurre l'impatto ambientale dei processi o attività considerati.

L'analisi degli impatti di una LCA

Per valutare in maniera appropriata l'inquinamento dell'ambiente a diverse scale, devono essere tenuti in considerazione tre diversi fattori essenziali, quali: l'emanazione di sostanze nocive (emissione), la diffusione e l'eventuale trasformazione che le sostanze subiscono una volta introdotte nell'ambiente (trasmissione), la concentrazione o la deposizione di inquinanti nel luogo d'azione (immissione).

Fatta questa premessa, risulta più chiaro il significato di quello che normalmente viene definito "impatto ambientale", per interpretarne correttamente i rapporti con gli "effetti ambientali". Un impatto è associato a uno o più effetti ambientali: ad esempio, la CO₂ emessa durante la combustione di un certo quantitativo di carbone provoca un impatto che contribuisce "all'effetto serra". Ora, dato che non è possibile correlare inequivocabilmente uno specifico impatto con i suoi effetti ambientali, ci si deve limitare ad affermare che "l'impatto è ciò che prelude a un effetto", senza pretendere di poter quantificare rigorosamente il secondo sulla base del primo. Dunque, mentre possiamo ottenere il valore numerico degli impatti dai risultati della fase di Analisi di Inventario, i corrispondenti effetti ambientali potranno solo essere stimati sulla base di ipotesi e convenzioni da stabilire.

Gli effetti ambientali si suddividono, in base alla scala di azione, in *effetti globali, regionali o locali*; questo aspetto è dovuto fondamentalmente alle caratteristiche fisiche e chimiche dell'impatto che genera l'effetto.

Prendiamo di nuovo, ad esempio, le emissioni di CO₂ responsabili dell'effetto serra: analizzandone il comportamento in atmosfera, e quindi in particolare il tempo di permanenza, è possibile classificare l'effetto serra come un effetto a scala globale, in quanto è stato appurato che l'emissione di gas serra in un punto contribuisce all'effetto su tutto il pianeta. Per le emissioni di rumore, invece, è chiaro come queste debbano essere considerate solamente a scala locale in quanto il rumore generato in una miniera di bauxite in Australia, né disturba le popolazioni Europee, né può essere fisicamente sommato al rumore generato dalla fabbrica che produce alluminio primario in Francia.

Come conseguenza dell'impostazione metodologica adottata è opportuno evidenziare che *un eventuale giudizio di valore sul significato ambientale degli impatti può riguardare soltanto gli effetti globali*, intendendo con tale attributo quelli che si manifestano a scala planetaria o regionale, e questo, sia per la natura cumulativa dei risultati delle elaborazioni effettuate, sia per la mancanza di un unico specifico istante a cui riferire i rilasci.

Il peso globale di un determinato inquinante è, infatti, il risultato di tanti contributi, spesso provenienti da diverse aree geografiche della terra, mentre gli output rilevati sono a loro volta riferiti a diversi periodi di tempo. È caratteristica, dunque, di questa fase della LCA la "globalità" dell'analisi, nel significato che si è attribuito al termine. Per questo motivo, i risultati di un'Analisi di Inventario possono essere, in generale, utilizzati per la valutazione di effetti a scala globale, quali: l'effetto serra, l'assottigliamento della fascia di ozono stratosferico, ecc.; sarà poi possibile evidenziare in che modo essi possano essere utilizzati per valutazioni a scala diversa.

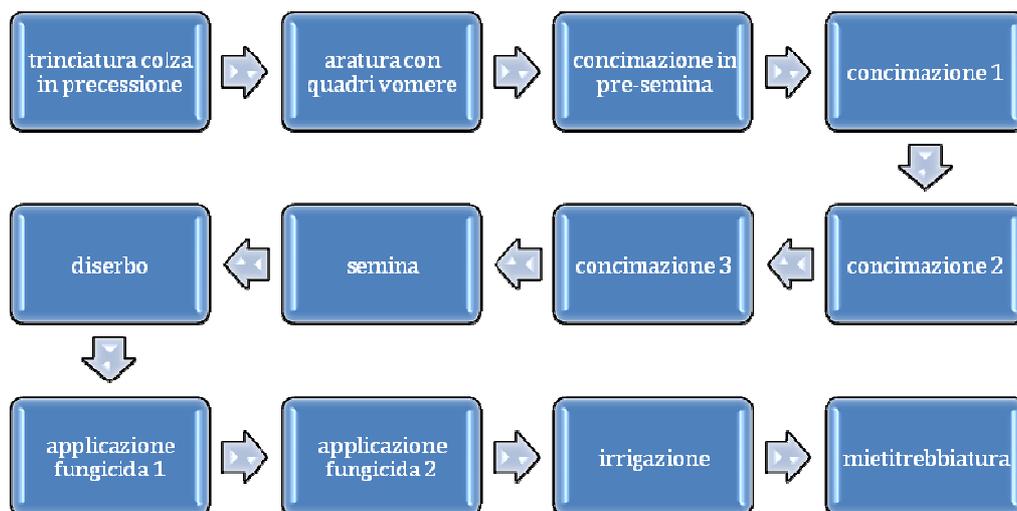
Per l'acquisizione dei dati utili ad informare gli indicatori che sono stati analizzati in fase di LCA è stato predisposto un modello di acquisizione con l'ausilio del software Excel utile a strutturare l'informazione in modo da agevolare la successiva analisi. In particolare, la prima tabella di acquisizione ha la funzione di descrivere il processo produttivo nelle sue fasi e nei suoi input ed output.

Il presente studio ha utilizzato l'analisi LCA come strumento di valutazione degli impatti dei processi produttivi in oggetto in termini di Global Warming Potential (kg CO₂ equival.), di emissioni di N (azoto) in atmosfera sotto forma dei due composti maggiormente significativi N₂O (protossido di azoto) e NO_x (nitrati e nitriti) e di emissioni di N in acqua sotto forma di nitrati (NO₃⁻) in acque superficiali ed in acque sotterranee. Nel caso specifico, lo studio è stato effettuato mediante applicazione di un software di analisi LCA.

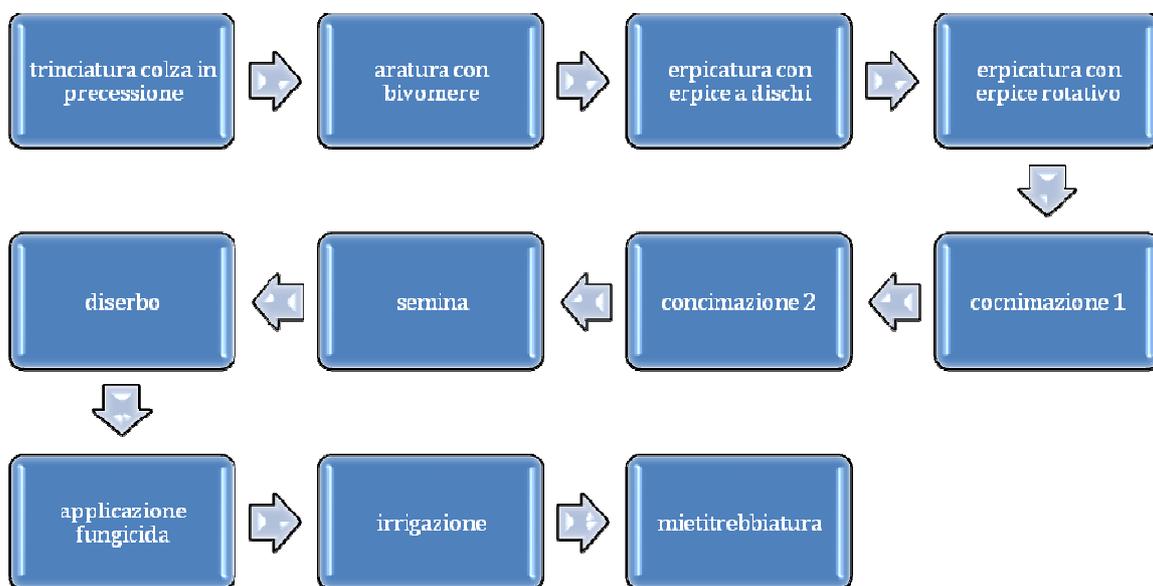
L'obiettivo dello studio è rappresentato dal confronto dell'interazione ambientale di quattro diverse tipologie di coltivazione di frumento, ognuna considerata separatamente nei casi di coltivazione su terreno arato (tecnica convenzionale) e terreno sodo (tecnica conservativa), al fine della determinazione dell'impatto in termini di emissione in atmosfera di kg di CO₂ equivalente e di kg di N (N₂O e NO_x) e emissioni in acqua di kg di N in sotto forma di NO_x.

Le quattro tipologie oggetto dello studio sono rappresentate dalla coltivazione di grano con le varietà *Tirex*, *Monastir*, *Nogal* e *Valbona*.

Per quanto riguarda la coltivazione delle varietà *Monastir*, *Nogal* e *Valbona* su terreno arato, sono state considerate le principali fasi del processo produttivo, ovvero: *trinciatura colza in precessione*, *aratura con quadri vomere*, *concimazione in pre-semina*, *concimazione 1*, *concimazione 2*, *concimazione 3*, *semina*, *diserbo*, *applicazione fungicida 1*, *applicazione fungicida 2*, *irrigazione* e *mietitrebbiatura*.

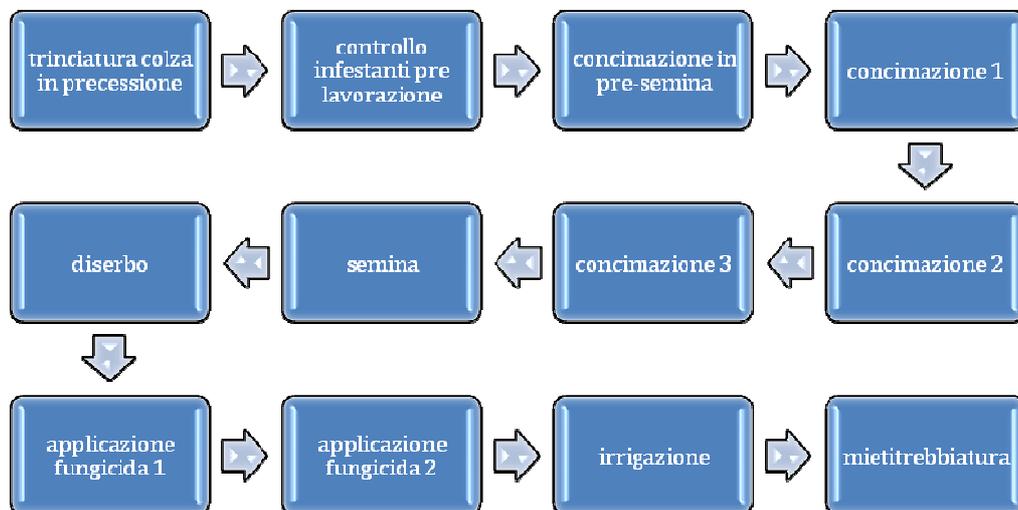


Nel caso della coltivazione di grano duro della varietà *Tirex* su terreno arato, sono state considerate le principali fasi del processo produttivo, ovvero: *trinciatura residui in precessione*, *aratura con bivomere*, *epicatura con erpice a dischi*, *epicatura con erpice rotativo*, *concimazione 1*, *concimazione 2*, *semina*, *diserbo*, *applicazione fungicida*, *irrigazione* e *mietitrebbiatura*.

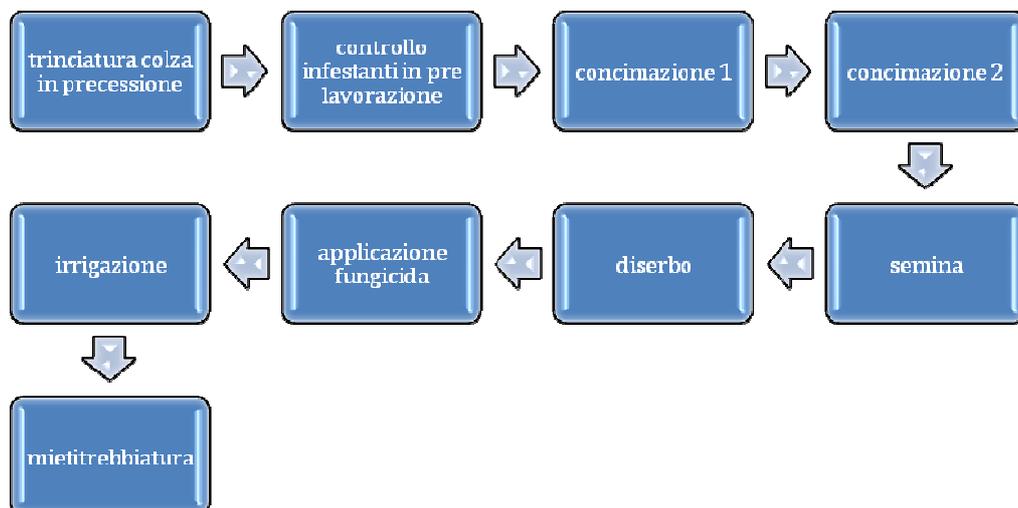


Per quanto riguarda la coltivazione delle varietà *Monastir*, *Nogal* e *Valbona* su terreno sodo, sono state considerate le principali fasi del processo produttivo, ovvero: *trinciatura colza in precessione*, *controllo infestanti pre lavorazione*, *concimazione in pre-semina*, *concimazione 1*,

concimazione 2, concimazione 3, semina, diserbo, applicazione fungicida 1, applicazione fungicida 2, irrigazione e mietitrebbiatura.



Infine per quanto riguarda la coltivazione delle varietà *Tirex* su terreno sodo, sono state considerate le principali fasi del processo produttivo, ovvero: *trinciatura residui in precessione*, *controllo infestanti pre lavorazione*, *concimazione 1*, *concimazione 2*, *semina*, *diserbo*, *applicazione fungicida*, *irrigazione* e *mietitrebbiatura*.



Ognuna delle fasi principali sopra illustrate, è stata successivamente sviluppata durante la fase di analisi di inventario, mettendo in evidenza i diversi fattori caratterizzanti.

Definizione degli scopi e degli obiettivi

L'analisi LCA prevede, in prima battuta, la definizione degli scopi, dei confini del sistema (la fase di produzione), la caratterizzazione dell'unità funzionale e del riferimento temporale, nonché il fabbisogno e l'affidabilità dei dati, le assunzioni e i limiti.

Lo studio prende in considerazione una superficie di 10000 m² sia per quanto riguarda la coltivazione su terreno arato che su terreno sodo di tutte le varietà, tale valore rappresenta l'unità funzionale del sistema di studio, ovvero il parametro al quale saranno correlati tutti i vari input e output definiti.

L'elaborato definisce come categorie di impatto per i diversi processi il Global Warming Potential (GWP 100 years) attraverso il calcolo dei kg di CO₂ equivalenti generati dalle diverse lavorazioni, le emissioni di kg di N totale emesso sotto forma di N₂O e NO_x in atmosfera e le emissioni di N in acqua sotto forma di NO_x in acque superficiali ed in acque sotterranee.

La *CO₂ equivalente* "esprime in maniera sintetica la capacità dei gas serra di dar luogo all'effetto serra; si ottiene convertendo la concentrazione di ciascun gas che può produrre un effetto serra, nella concentrazione di CO₂ che darebbe un uguale contributo a tale effetto (a parità di concentrazione, gas differenti danno contributi diversi all'effetto serra)" (Baldo *et al.*, 2008).

Le principali sostanze che contribuiscono all'effetto serra sono:

- anidride carbonica (CO₂),
- anidride carbonica biotica (CO₂ biotic),
- protossido di azoto (N₂O),
- esafluoruro di zolfo (SF₆),
- non-methane volatile organic compounds (NMVOC),
- idrocarburi,
- metano,
- volatile organic compounds (VOC).
-

I quantitativi di queste sostanze sono stati convertiti in kg di CO₂ equivalente attraverso l'uso dei parametri di caratterizzazione previsti dal metodo CML baseline.

I nitrati (NO_x) sono responsabili di diverse tipologie di impatto, insieme agli ossidi di zolfo (SO_x) causano il formarsi di piogge acide ed inoltre una volta emessi in atmosfera vanno incontro ad un complesso sistema di reazioni fotochimiche indotte dalla luce ultravioletta che portano alla formazione di ozono (O₃), perossiacetil nitrato (PAN), perossibenzoil nitrato (PBN), aldeidi e centinaia di altre sostanze causando quel fenomeno generalmente indicato con il nome di smog fotochimico.

Ai fini della determinazione dei principali input ed output, sono stati utilizzati sia dati primari, reperiti direttamente dall'azienda, che dati secondari basati su banche dati e pubblicazioni scientifiche.

Limiti ed assunzioni effettuate

I limiti e le assunzioni che è stato necessario effettuare possono essere ricondotti allo schema riportato di seguito:

- Dati quantitativi: carenza di dati oggettivi (es. rese, input chimici, ecc.) dovuta alla soggettività delle applicazioni ed alla scarsità di dati relativi a serie storiche di riferimento e al carattere ancora sperimentale delle specie analizzate;

- Produzione dei diserbanti e fungicidi: assenza di dati relativi alla produzione delle sostanze chimiche considerate (anche nelle banche dati del software), e conseguente necessità di ricorrere ad una valutazione strettamente energetica degli impatti causati dalla produzione di erbicidi e fungicidi utilizzando e rielaborando indici di conversione disponibili (Pimentel, 1980) che stimano l'energia necessaria per produrli in termini di Energy from Coal, Energy from natural gas, Energy from oil;
- Dispersione delle sostanze chimiche: assenza di modelli di dispersione delle sostanze chimiche considerate e conseguente assunzione che tutti i prodotti chimici utilizzati vengano dispersi nel suolo (in quanto si lavora in ambiente controllato);
- Quantità di diserbante, insetticida, fungicida utilizzata: è stata fatta corrispondere alla quantità di principio attivo, a causa della difficoltà di reperimento dei dati sulla produzione di additivi. La quantità dei principi attivi, sia diserbanti che fungicidi, che rimangono al suolo, è stata considerata pari al 50 % della quantità applicata (Vercesi B., 1995);
- Quantità di concimi: è stata fatta corrispondere alla quantità dei singoli elementi nutritivi, a causa della difficoltà di reperimento dei dati sulla produzione del formulato commerciale.
- Materiali plastici: I pesi in chilogrammi per il polietilene (PE) e per il polipropilene (PP), sono stati calcolati sulla base dei seguenti valori:
 - peso contenitore PE da 1 lt. = 0,08 kg
 - peso contenitore PP da 50 kg = 0,08 kg
- Strutture: nell'analisi non sono stati considerati gli impatti riconducibili alle strutture (es. serre, impianti, macchinari, ecc..) in quanto la loro incidenza in relazione al loro tempo di vita e al ciclo produttivo è da considerarsi trascurabile.

Analisi di inventario

Sulla base dei dati rilevati, è stato costruito il diagramma di flusso specifico, nel quale le fasi principali vengono suddivise in sub-processi, ad ognuno dei quali sono attribuiti i vari input e output che lo caratterizzano.

E' opportuno ricordare che questa operazione di suddivisione del processo in sub-processi è utile per l'organizzazione di un'analisi LCA, ma è altresì necessario sottolineare che la valutazione prende in considerazione gli impatti generati dall'intero processo nella sua totalità.

Tabella 11- schema processo di coltivazione Monastir, Nogal, Valbona - terreno arato - Azienda Martello

PROCESSO	INPUT	QUANTITA (KG)
Trinciatura colza in precessione	Carburante	10
	Lubrificante	0,4
Aratura con quadrivomere	Carburante	35,5
	Lubrificante	1,42
Concimazione pre semina	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 18.46.0	200
	Sacco (PP)	0,32
Concimazione 1	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 26.0.0	200
	Sacco (PP)	0,32
Concimazione 2	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 26.0.0	230
	Sacco (PP)	0,37
Concimazione 3	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 46.0.0	100
	Sacco (PP)	0,16
Semina	Carburante	24,5
	Lubrificante	0,98
	Sacco (PP)	0,37
Diserbo	Carburante	3
	Lubrificante	0,12
	Diserbante "hussar"	0,3 (p.a.)
	Contenitore (PE)	0,024
Fungicida 1	Fungicida	1
	Contenitore (PE)	0,08
Fungicida 2	Carburante	3
	Lubrificante	0,12
	Fungicida	1
	Contenitore (PE)	0,08
Irrigazione	Acqua	600
Mietitrebbiatura	Carburante	20
	Lubrificante	0,8

Tabella 12- schema processo di coltivazione Monastir, Nogal, Valbona - terreno sodo – Azienda Martello

PROCESSO	INPUT	QUANTITA (KG)
Trinciatura colza in precessione	Carburante	10
	Lubrificante	0,4
Controllo infestanti pre lavorazione	Carburante	35,5
	Lubrificante	1,42
	Glyphosate	4
	Contenitore (PE)	0,32
Concimazione pre semina	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 11.48.0	30
	Sacco (PP)	0,32
Concimazione 1	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 26.0.0	200
	Sacco (PP)	0,32
Concimazione 2	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 26.0.0	230
	Sacco (PP)	0,37
Concimazione 3	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 46.0.0	100
	Sacco (PP)	0,16
Semina	Carburante	24,5
	Lubrificante	0,98
	Sacco (PP)	0,37
Diserbo	Carburante	3
	Lubrificante	0,12
	Diserbante "hussar"	0,3 (p.a.)
	Contenitore (PE)	0,024
Fungicida 1	Fungicida	1
	Contenitore (PE)	0,08
Fungicida 2	Carburante	3
	Lubrificante	0,12
	Fungicida	1
	Contenitore (PE)	0,08
Irrigazione	Acqua	900
Mietitrebbiatura	Carburante	20
	Lubrificante	0,8

Tabella 13- schema processo di coltivazione Tirez - terreno arato – Centro Enrico Avanzi

PROCESSO	INPUT	QUANTITA (KG)
Trinciatura colza in precessione	Carburante	10
	Lubrificante	0,4
Aratura con bivomere	Carburante	53,25
	Lubrificante	2,13
Erpicazione a dischi	Carburante	8
	Lubrificante	0,32
Erpicazione con erpice rotante	Carburante	20
	Lubrificante	0,8
Concimazione 1	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 26.0.0	300
	Sacco (PP)	0,48
Concimazione 2	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 26.0.0	300
	Sacco (PP)	0,48
Semina	Carburante	12
	Lubrificante	0,5
	Sacco (PP)	0,37
Diserbo	Carburante	3
	Lubrificante	0,12
	Diserbante "hussar maxx"	0,3 (p.a.)
	Contenitore (PE)	0,024
Fungicida 1	Fungicida	5
	Contenitore (PE)	0,4
Irrigazione	Acqua	300
Mietitrebbiatura	Carburante	20
	Lubrificante	0,8

Tabella 14- schema processo di coltivazione Tirez - terreno sodo – Centro Enrico Avanzi

PROCESSO	INPUT	QUANTITA (KG)
Trinciatura colza in precessione	Carburante	10
	Lubrificante	0,4
Controllo infestanti pre lavorazione	Carburante	3
	Lubrificante	0,12
	Glyphosate	2
	Contenitore (PE)	0,16
Concimazione 1	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 46.0.0	300
	Sacco (PP)	0,48
Concimazione 2	Carburante	2,8
	Lubrificante	0,112
	Concime 26.0.0	100
	Sacco (PP)	0,16
Semina	Carburante	14,5
	Lubrificante	0,58
	Sacco (PP)	0,37
Diserbo	Carburante	3
	Lubrificante	0,12
	Diserbante "hussar maxx"	0,3 (p.a.)
	Contenitore (PE)	0,024
Fungicida 1	Fungicida	5
	Contenitore (PE)	0,4
Irrigazione	Acqua	600
Mietitrebbiatura	Carburante	20
	Lubrificante	0,8

Nell'analisi sono stati considerati sia i dati di consumo dei carburanti sia i dati derivanti dai processi di produzione di carburante e di lubrificante.

Le quantità di emissioni (g/ora) per quanto riguarda le sostanze *HC*, *NO_x* e *CO* derivanti dal consumo di carburante, sono state ricavate da calcoli basati sulla tipologia di processo effettuato, peso e potenza del trattore usato ed ore di lavoro. (Rinaldi e Stadler, 2002)

Le emissioni di *CO₂*, *SO₂*, *Pb*, *CH₄*, *PM_{2,5}*, *Cd*, *Cr*, *Cu*, *N₂O*, *Ni*, invece sono state ricavate da SAEFL 2001 mentre le emissioni di *Benzene* da Worgetter, 1991.

I processi *concimazione pre semina*, *concimazione 1*, *concimazione 2*, *concimazione 3*, *diserbo 1*, *fungicida 1* e *fungicida 2* si avvalgono di sostanze chimiche quali diserbanti e fertilizzanti in input, oltre a carburante e lubrificante.

A causa della mancanza di informazioni che descrivono la produzione delle diverse sostanze di sintesi chimica, nel database del software, è stato necessario considerare nell'analisi l'energia necessaria alla produzione delle varie sostanze.

Al fine di offrire una trattazione minuziosa del caso oggetto di studio, è stato considerato durante l'analisi di valutazione del ciclo di vita, il processo di produzione del materiale di imballaggio (confezioni in polietilene e polipropilene)

I dati riguardanti l'energia elettrica utilizzata si riferiscono alla produzione dei principi attivi, tenendo conto anche dell'energia necessaria alle fasi di formulazione, confezionamento e distribuzione delle sostanze stesse.

Tabella 15 - MJ necessari alla produzioni di 1 kg di principio attivo ("Estimation of the green house gas emissions from agriculture pesticide manufacture and use" E.Audsley, K.Stacey, D.J.Parsons, A.G.Williams – Cranfield University, 2009).

Principio attivo	MJ/KG a.i.
Glyphosate	474
Iodo sulfuron metile sodio	691
Tebuconazolo	551

Nel processo di fertilizzazione vengono considerati, secondo la stessa logica di base, gli input e gli output derivanti dalla produzione di elementi chimici quali l'azoto (N), il fosforo (P) ed il potassio (K) presenti all'interno del fertilizzante usato.

Tra le emissioni derivanti dal rilascio di fertilizzante in ambiente sono state considerate quelle di N₂O in atmosfera, di N in atmosfera sotto forma di NO_x e di nitrati (NO₃⁻) in acqua.

Il protossido di azoto ha un potere nel trattenere calore circa 300 volte superiore a quello della CO₂. Le principali fonti di emissione di N₂O sono i processi di nitrificazione e denitrificazione, entrambi controllati dalla disponibilità di N inorganico nel suolo. Il calcolo delle emissioni di N₂O dall'impiego di fertilizzante è basato sul modello sviluppato appositamente dall'IPCC:

$$N_2O_{(ATD)-N} = [(F_{SN} \bullet F_{racGASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \bullet F_{racGASM})] \bullet EF_4$$

dove:

N₂O_{(ATD)-N} = quantità annuale di N₂O-N prodotto da deposizione atmosferica di N volatilizzato da suolo lavorato, kg N₂O-N/yr

F_{racGASF} = frazione di fertilizzante azotato sintetico che volatilizza come NH₃ o NO_x, kg N volatilizzato / kg N applicato

F_{racGASM} = frazione di fertilizzante azotato organico applicato che volatilizza come NH₃ o NO_x, kg N volatilizzato / kg N applicato

EF₄ = fattore di emissione per le emissioni di N₂O da deposizione atmosferica di N sul suolo e sulle superfici d'acqua, [kg N-N₂O / (kg NH₃-N + Nox-N volatilizzato)]

F_{SN} = quantità annuale di fertilizzante azotato applicato al suolo, kg N / yr

F_{ON} = quantità annuale di letame animale, compost, liquame e altre sostanze organiche azotate applicate al suolo, kg N / yr

F_{PRP} = quantità annuale di N presente nel liquame e nello sterco animale impiegato nel suolo, kg N / yr

I composti contenenti azoto di formula NO_x possono essere prodotti durante i processi di denitrificazione e le loro emissioni in atmosfera possono essere stimate a partire dalle emissioni di N₂O secondo la formula:

$$NO_x = 0,21 * N_2O$$

I nitrati (NO₃⁻) possono essere assorbiti dalle piante come nutrienti.

Nei periodi di forti precipitazioni, tuttavia, esse eccedono l'evapotraspirazione delle piante e portano alla saturazione del suolo, ed essendo i nitrati facilmente solubili in acqua il rischio di lisciviazione è alto.

Il calcolo delle emissioni di nitrati (NO_3^-) in acqua è basato sul rischio potenziale di lisciviazione dell'azoto rapportato ai mesi dell'anno, alla tipologia di suolo (contenuto percentuale di argilla e humus) ed al tipo di coltivazione. (Richner et al., 2006)

I risultati dell'analisi LCA

Lo studio LCA si è rivelato un utile strumento nella definizione e nella strutturazione delle attività dei processi produttivi esaminati, pur manifestando alcuni limiti dovuti essenzialmente alle assunzioni che è stato necessario effettuare. Per quanto riguarda l'Analisi di Impatto, le categorie di impatto analizzate sono state quelle del riscaldamento globale potenziale "*Global Warming Potential*" in termini di kg di CO_2 equivalenti per ettaro coltivato le emissioni di kg di N totale emesso sotto forma di N_2O e NO_x e le emissioni di N in acqua sotto forma di NO_x in acque superficiali ed in acque sotterranee.

Tabella 16 -Risultati generali dello studio.

	Valbona Azienda Martello		Monastir Azienda Martello		Tirex CiRAA		Nogal Azienda Martello	
	arato	sodo	arato	sodo	arato	sodo	arato	sodo
CO₂ eq. (kg/ha)	4440	3792	4440	3792	3858	3893	4440	3792
N_{tot} (kg emessi in atmosfera/ha)	2,01	1,17	2,01	1,17	3,06	1,03	2,01	1,17
N_{tot} (kg emessi in acque sup./ha)	172	172	172	172	221	221	172	172
CO₂ eq. (kg/t granella prodotta)	632	588	630	569	563	537	463	431

□ Emissioni di CO₂ equivalente

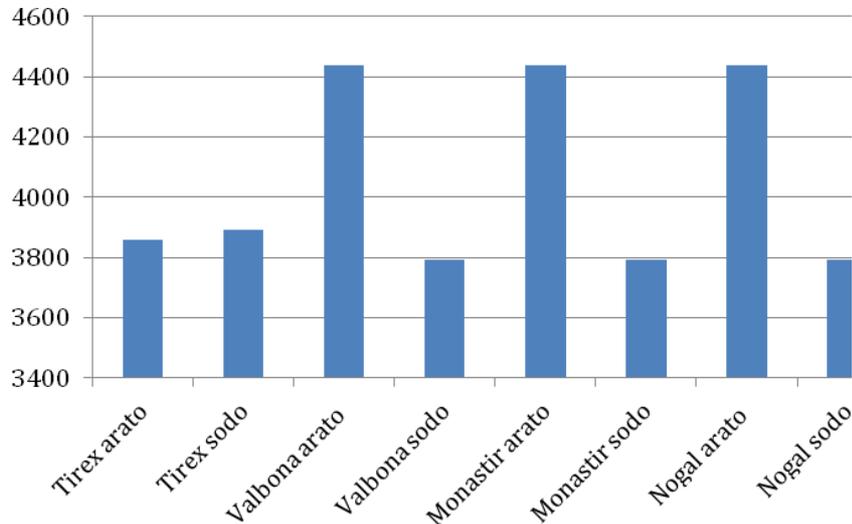


Figura 3- kg CO₂ eq. emessi dalle varie coltivazioni per ettaro coltivato

Per quanto riguarda i kg di CO₂ eq. emessi, lo scenario migliore si ha con la coltivazione su sodo delle tre varietà *Valbona*, *Monastir* e *Nogal*

Tabella 17- Confronto tra le emissioni di CO₂ eq. derivanti da ogni singolo processo

	Tirex (arato)	Tirex (sodo)	Valbona, Monastir, Nogal (sodo)	Valbona, Monastir, Nogal (arato)
Precessione	35,5	35,5	35,5	35,5
Controllo infestanti pre semina		166,1	321,6	
Lavorazione principale	188,9			125,9
Lavorazione secondaria 1	28,4			
Lavorazione secondaria 2	70,9			
Lavorazione secondaria 3				
Concimazione pre-semina			108,7	917,4
Concimazione 1	1452,8	2562,6	971,8	971,8
Concimazione 2	1452,8	490,8	1116,2	1116,2
Concimazione 3			860,8	860,8
Semina	60,4	68,4	68,4	103,9
Diserbo 1	44,7	44,7	44,7	44,7
Diserbo 2				
Fungicida 1	452,5	452,5	90,5	90,5
Fungicida 2			101,1	101,1
Irrigazione	0,6	1,3	1,9	1,3
Mietitrebbiatura	70,9	70,9	70,9	70,9
TOTALE	3858,4	3892,8	3792,1	4439,9

□ **Emissioni di N_{tot} in atmosfera**

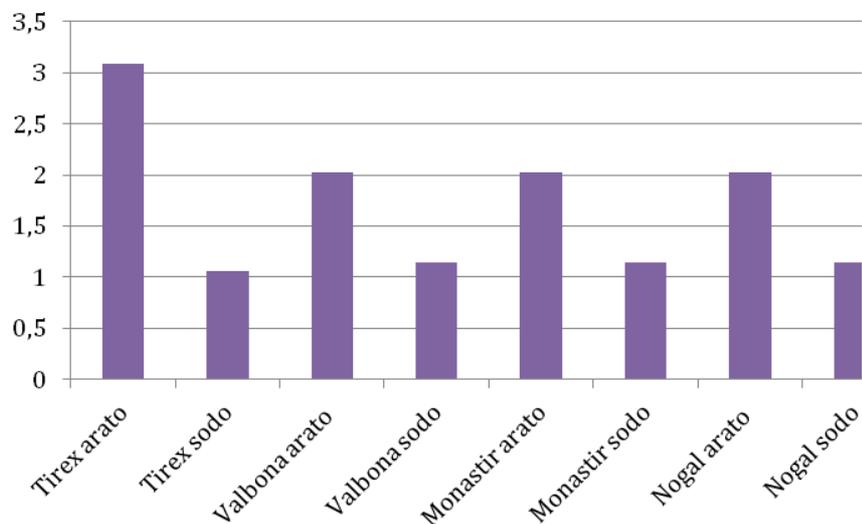


Figura 4- kg N emessi in atmosfera dalle varie coltivazioni

Per quanto riguarda l'emissione di kg di N tot in atmosfera, la situazione migliore si ha nel caso di coltivazione su sodo della varietà *Tirex*. L'assenza di processi di lavorazione del terreno (lavorazione principale, lavorazione secondaria 1, lavorazione secondaria 2 e lavorazione secondaria 3) porta ad una diminuzione delle emissioni dovute alla combustione di gasolio.

Tabella 18- Confronto tra le emissioni di N in atmosfera derivanti da ogni singolo processo

	Tirex (arato)	Tirex (sodo)	Valbona, Monastir, Nogal (sodo)	Valbona, monastir, nogal (arato)
Precessione	0,025	0,025	0,025	0,025
Controllo infestanti pre semina		0,0034	0,0034	
Lavorazione principale	1,22			0,66
Lavorazione secondaria 1	0,27			
Lavorazione secondaria 2	0,58			
Lavorazione secondaria 3				
Concimazione pre-semina			0,06	0,20
Concimazione 1	0,38	0,63	0,27	0,27
Concimazione 2	0,38	0,16	0,30	0,30
Concimazione 3			0,24	0,24
Semina	0,13	0,14	0,14	0,22
Diserbo 1	0,034	0,034	0,034	0,034
Diserbo 2				
Fungicida 1				
Fungicida 2			0,034	0,034
Irrigazione				
Mietitrebbiatura	0,038	0,038	0,038	0,038
TOTALE	3,06	1,03	1,14	2,02

Emissioni N_{tot} in acque superficiali

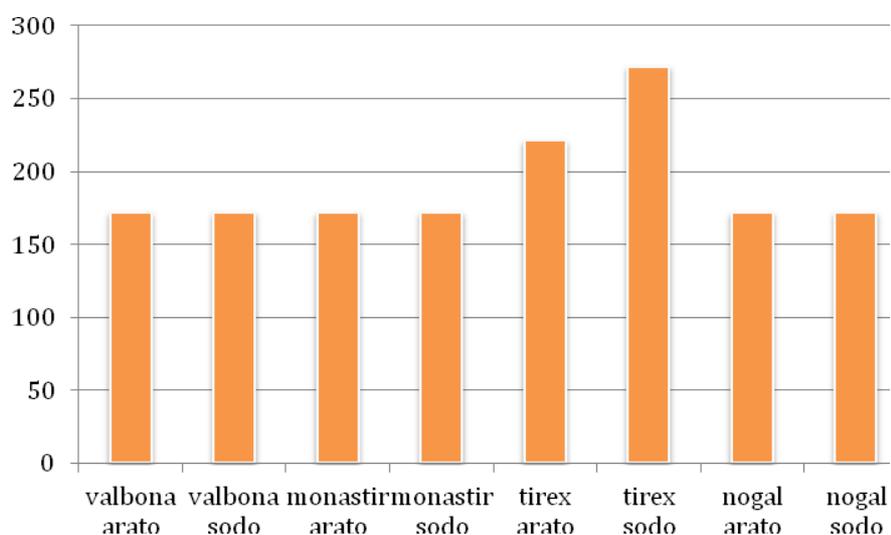


Figura 5- kg Nitrati emessi in acque superficiali dalle varie coltivazioni

Infine, i rilasci di nitrati in acque superficiali sono pressoché identici per tutte le tipologie di coltivazione ad eccezione della varietà *Tirex*. In questo caso, le maggiori quantità di fertilizzante azotato, apportate in un periodo dell'anno in cui il rischio di lisciviazione dei nitrati dal suolo si stima tra il 30% ed il 50% a causa delle intense piogge, comporta un notevole aumento per questa categoria di impatto.

Tabella 19- Confronto tra le emissioni di Nitrati in acque superficiali derivanti da ogni singolo processo

	Tirex (arato)	Tirex (sodo)	Valbona, monastir, nogal (sodo)	Valbona, monastir, nogal (arato)
Precessione	3,8E-6	3,8E-6	3,8E-6	3,8E-6
Controllo infestanti pre semina		1,1E-6		
Lavorazione principale	2,0E-5			1,3E-5
Lavorazione secondaria 1	3,0E-6			
Lavorazione secondaria 2	7,6E-6			
Lavorazione secondaria 3				
Concimazione pre-semina			0,011	0,011
Concimazione 1	138,19	244,5	92,12	92,12
Concimazione 2	82,92	27,6	63,57	63,57
Concimazione 3			16,31	16,31
Semina	2,8E-3	2,8E-3	2,8E-3	2,8E-3
Diserbo 1	5,5E-4	5,5E-4	5,5E-4	5,5E-4
Diserbo 2				
Fungicida 1	1,5E-3	1,5E-3	1,5E-3	1,5E-3
Fungicida 2	5,9E-3	5,9E-3	1,5E-3	1,5E-3
Irrigazione	2,1E-5	3,1E-5	3,1E-5	2,1E-5
Mietitrebbiatura	7,6E-6	7,6E-6	7,6E-6	7,6E-6
TOTALE	221,11	272,11	172,01	172,02

Tabella 20- Contributi relativi delle diverse fonti di emissione per ogni processo - Valbona, Monastir, Nogal su suolo arato

	CO ₂ eq. (kg emessi)			Nitrato (kg emessi in atmosfera)			Nitrato (kg emessi in acque superficiali)		
	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze* (% su totale)	Totale (kg/h)	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze* (% su totale)	Totale (kg/h)	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze* (% su totale)	Totale (kg/h)
Precessione	100		35,5	100		0,025	100		3,8E-6
Controllo infestanti pre semina									
Lavorazione principale	100		125,9	100		0,66	100		1,3E-5
Lavorazione secondaria 1									
Lavorazione secondaria 2									
Lavorazione secondaria 3									
Concimazione pre-semina	1,1	98,9	917,4	15	75	0,20	1,1E-6	100	0,011
Concimazione 1	1,1	98,9	971,8	18,5	81,5	0,27	1,1E-6	100	92,12
Concimazione 2	0,9	99,1	1116,2	16,7	83,3	0,30	1,1E-6	100	63,57
Concimazione 3	1,2	98,8	860,8	10,8	79,2	0,24	1,1E-6	100	16,31
Semina	83,6	16,4	103,9	100		0,22	9,3E-6	100	2,8E-3
Diserbo 1	23,7	76,3	44,7	100		0,034	1,1E-6	100	5,5E-4
Diserbo 2									
Fungicida 1		100	90,5					100	1,5E-3
Fungicida 2	10,5	89,5	101,1	100		0,034	1,1E-6	100	1,5E-3
Irrigazione		100	1,3					100	2,1E-5
Mietitrebbiatura	100		70,9	100		0,038	100		7,6E-6
Totale	8,6	91,4	4439,97	59,7	40,3	2,01		100	172,02

Tabella 21- Contributi relativi delle diverse fonti di emissione per ogni processo - Tirez su arato

	CO ₂ eq. (kg emessi)			Nitrato (kg emessi in atmosfera)			Nitrato (kg emessi in acque superficiali)		
	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze* (% su totale)	Totale (kg/h)	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze* (% su totale)	Totale (kg/h)	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze*(% su totale)	Totale (kg/h)
Precessione	100		35,5	100		0,025	100		3,8E-6
Controllo infestanti pre semina									
Lavorazione principale	100		188,9	100		1,22	100		2,0E-5
Lavorazione secondaria 1	100		28,4	100		0,27	100		3,0E-6
Lavorazione secondaria 2	100		70,9	100		0,58	100		7,6E-6
Lavorazione secondaria 3									
Concimazione pre-semina									
Concimazione 1	0,7	99,3	1452,8	13,2	86,8	0,38	1,1E-6	100	138,19
Concimazione 2	0,7	99,3	1452,8	13,2	86,8	0,38	1,1E-6	100	82,92
Concimazione 3									
Semina	71,8	28,2	60,4	100		0,22	9,3E-6	100	2,8E-3
Diserbo 1	13,7	76,3	44,7	100		0,034	1,1E-6	100	5,5E-4
Diserbo 2									
Fungicida 1		100	452,5					100	1,5E-3
Fungicida 2				100			1,1E-6	100	5,9E-3
Irrigazione		100	1,9					100	2,1E-5
Mietitrebbiatura	100		70,9	100		0,038	100		7,6E-6
Totale	13,4	86,6	3858,4	79,6	20,4	3,18		100	221,11

Tabella 22- Contributi relativi delle diverse fonti di emissione per ogni processo - Valbona, Monastir, Nogal su sodo

	CO ₂ eq. (kg emessi)			Nitrato (kg emessi in atmosfera)			Nitrato (kg emessi in acque superficiali)		
	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze* (% su totale)	Totale (kg/h)	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze* (% su totale)	Totale (kg/h)	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze* (% su totale)	Totale (kg/h)
Precessione	100		35,5	100		0,025	100		3,8E-6
Controllo infestanti pre semina	3,3	96,7	321,6	100		0,0034			
Lavorazione principale									
Lavorazione secondaria 1									
Lavorazione secondaria 2									
Lavorazione secondaria 3									
Concimazione pre-semina	9,1	90,9	108,7	76,7	23,3	0,06	1,1E-6	100	0,011
Concimazione 1	1	99	971,8	18,5	81,5	0,27	1,1E-6	100	92,12
Concimazione 2	0,9	99,1	1116,2	16,7	83,3	0,30	1,1E-6	100	63,57
Concimazione 3	1,2	98,8	860,8	20,8	79,2	0,24	1,1E-6	100	16,31
Semina	75,1	14,9	68,4	100		0,14	9,3E-6	100	2,8E-3
Diserbo 1	13,7	76,3	44,7	100		0,034	1,1E-6	100	5,5E-4
Diserbo 2									
Fungicida 1		100	90,5					100	1,5E-3
Fungicida 2	10,5	89,5	101,1	100		0,034	1,1E-6	100	1,5E-3
Irrigazione		100	1,9					100	3,1E-5
Mietitrebbiatura	100		70,9	100		0,038	100		7,6E-6
Totale	6,1	93,9	3792,1	42,7	57,3	1,17		100	172,01

Tabella 23- Contributi relativi delle diverse fonti di emissione per ogni processo - Tirez su sodo

	CO ₂ eq. (kg emessi)			Nitrato (kg emessi in atmosfera)			Nitrato (kg emessi in acque superficiali)		
	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze* (% su totale)	Totale (kg/h)	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze* (% su totale)	Totale (kg/h)	Da produzione e uso carburante (% su totale)	Da produzione energia elettrica e rilascio sostanze* (% su totale)	Totale (kg/h)
Precessione	100		35,5	100		0,025	100		3,8E-6
Controllo infestanti pre semina	6,4	93,6	166,1	100		0,0034	100		1,1E-6
Lavorazione principale									
Lavorazione secondaria 1									
Lavorazione secondaria 2									
Lavorazione secondaria 3									
Concimazione pre-semina									
Concimazione 1	0,4	99,6	2562,6	7,9	92,1	0,63	1,1E-6	100	244,5
Concimazione 2	2	98	490,8	31,5	68,5	0,16	1,1E-6	100	27,6
Concimazione 3									
Semina	75,1	14,9	68,4	100		0,14	9,3E-6	100	2,8E-3
Diserbo 1	13,7	76,3	44,7	100		0,034	1,1E-6	100	5,5E-4
Diserbo 2									
Fungicida 1		100	452,5					100	1,5E-3
Fungicida 2				100			1,1E-6	100	5,9E-3
Irrigazione		100	1,9					100	3,1E-5
Mietitrebbiatura	100		70,9	100		0,038	100		7,6E-6
Totale	5,4	94,6	3892,8	35,8	64,2	1,03		100	272,11

Capacità sequestro del C da parte dei terreni non lavorati

Mentre l'analisi LCA consente una stima degli impatti sui comparti aria e acqua, sul suolo una migliore interpretazione degli impatti connessi all'applicazione dei sistemi di coltivazione convenzionali e conservativi può essere ottenuta analizzando nel tempo le caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche dei terreni sottoposti per anni a questi sistemi di gestione. Grazie all'esistenza di ricerche di lungo periodo in essere sia al CiRAA che presso l'Azienda Martello, nel corso del 2013 e 2014 è stato possibile effettuare le analisi dei terreni interessati a queste ricerche dal 1986 (al Centro Enrico Avanzi) e dal 2009 (Azienda Martello).

Le analisi hanno riguardato: il contenuto in sostanza organica, azoto totale, fosforo assimilabile e pH dei terreni sottoposti da anni alle tecniche conservative e a quelle convenzionali interessando lo strato di terreno compreso tra la superficie e 30 cm di profondità.

I valori analitici medi dello strato di terreno compreso tra la superficie e 30 cm di profondità si prestano a essere ulteriormente elaborati per stimare la quantità di C sottoforma organica sequestrabile dal suolo non lavorato e, di contro quella persa negli anni dal suolo gestito secondo il sistema convenzionale. Molte ricerche condotte in tutto il mondo stimano infatti questo potenziale capacità di mitigazione dei suoli agrari proprio nei primi 30 cm del suolo.

Tabella 24 – Analisi dei terreni sui quali è stato impostato dal 1986 il confronto tra sistema convenzionale e sistema conservativo – Analisi al settembre 2014.

CiRAA -esperienza di lungo periodo	pH	N tot (g/kg)	P_Olsen (mg/kg)	C/N	S.Organica (%)
strato 0-10 cm					
Sistema convenzionale	8,23	1,23	11,45	9,34	1,87
Sistema conservativo	7,84	2,59	16,77	9,93	4,20
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	-4,8	110,6	46,4	6,3	124
strato 10-20 cm					
Sistema convenzionale	8,28	1,19	11,33	9,45	1,83
Sistema conservativo	8,14	1,42	7,31	8,90	2,07
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	-1,6	19,1	-35,5	-5,8	13
strato 20-30 cm					
Sistema convenzionale	8,30	1,16	10,30	9,56	1,80
Sistema conservativo	8,17	1,30	7,15	9,33	1,97
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	-1,5	12,2	-30,6	-2,4	10
strato 0-30 cm					
Sistema convenzionale	8,27	1,19	11,03	9,45	1,84
Sistema conservativo	8,05	1,77	10,41	9,39	2,75
<i>consevativo vs. convenzionale</i>	-2,6	48,4	-5,6	-0,7	50

Dalla esperienza di lungo periodo condotta al Centro Enrico Avanzi a partire dal 1986, è possibile apprezzare questa capacità e tradurla anche in termini di Corg sequestrabile ogni anno dal sistema (tabella 24). Considerando per il terreno sodo una densità apparente di circa 1,45 t/m³ e di circa 1,35 t/m³ in quello arato, è possibile stimare un incremento annuo del C organico nel

terreno non lavorato per 28 anni di circa 0,82 t/ha/anno mentre nel terreno arato si è calcolata una perdita di 0,11 t/ha/anno .

Nella stessa direzione sembrano andare anche i risultati preliminari di una ricerca di medio periodo avviata nel 2009 presso l'Azienda Martello che prevedeva l'inserimento della non-lavorazione continua in un avvicendamento quadriennale. I campioni di terreno raccolti nel corso del 2013 stanno evidenziando un incremento del tasso di sostanza organica degli appezzamenti non lavorati (+8,9% nello strato 0-30 cm) mentre negli appezzamenti arati la variazione percentuale è stata del 6,5%.

Analisi della qualità delle granelle e delle paglie ottenute da tecniche di Agricoltura conservativa (Fase 4. 1 del Progetto)

I campioni di granella ottenuti dalle aree di saggio raccolte presso il CiRAA (confronti A e B) e le Aziende agricole private, suddivisi per varietà, nell'agosto del 2014 sono stati inviati al CRA-SCV "Unità di ricerca per la selezione dei cereali e la valorizzazione delle varietà vegetali" con sede in Via R. Forlani, 3 a S. Angelo Lodigiano (LO), per effettuare le seguenti determinazioni:

- contenuto proteico delle cariossidi e della farina;
- volume di sedimentazione¹ SDS (ml),
- indice di caduta o Falling Number² (sec);
- glutine secco³ (% sulla ss);
- resistenza dell'impasto P⁴ (mm);
- estensibilità dell'impasto L⁵ (mm);
- P/L⁶;
- W⁷ indice alveografico;
- assorbimento⁸ (%) di acqua;
- tempo di impasto⁹ (T min);
- stabilità dell'impasto¹⁰ (Stab min);
- grado di rammollimento, caduta o sfibramento dell'impasto¹¹ (UB);

¹ SDS - È un test che fornisce indicazioni sulla quantità e qualità delle proteine e in particolare sulle caratteristiche del glutine. I valori sono espressi in millilitri (mL) e aumentano con il migliorare della qualità panificatoria (valori attorno a 40 mL indicano buona qualità).

² Il Falling Number (FN) o indice di Hagberg o indice di caduta permette di misurare l'attività delle amilasi da cui dipende la capacità di una farina di produrre zuccheri nell'impasto e, di conseguenza, la sua attività fermentativa e la qualità della mollica e della crosta. L'attività delle amilasi deve essere sempre bilanciata. Se è scarsa (valori di Falling Number superiori a 400 secondi) i prodotti finali avranno volume poco sviluppato e mollica secca e compatta. Se le amilasi sono troppo attive (valori di Falling Number inferiori a 200 secondi) i prodotti finali avranno forma piatta, mollica umida e appiccicosa e crosta scura. Una farina con un'attività amilasica normale ha un indice di caduta compreso tra 200 e 350 secondi. FN > 300 attività alfa amilasica molto debole; 200 < FN < 250 attività "normale"; FN < 200 attività molto elevata

³ Varia da 6-7 a 16-17; conferisce elasticità all'impasto

⁴ P - indice di resistenza-tenacità-forza misura la resistenza del glutine allo stress dell'impastamento

⁵ L - indice di estensibilità misura l'estensibilità della maglia glutinica, W indice alveografico misura la capacità della farina a produrre impasti con caratteristiche diverse

⁶ P/L rapporto che indica l'elasticità della pasta, valori di riferimento 0,5-1; valori maggiori indicano maggiore tenacità dell'impasto

⁷ W indice alveografico misura la capacità della farina a produrre impasti con caratteristiche diverse; valori di riferimento: >300 farina di forza, adatta a prodotti da forno a alta lievitazione, 220-300 per panificazione speciale, 160-220 per panificazione comune, <120 per prodotti a bassa lievitazione (es. biscotti).

⁸ Assorbimento di acqua: indica la quantità di acqua da aggiungere alla farina affinché l'impasto raggiunga la giusta consistenza (per convenzione 500 UB Unità Brabender) 48-51% farine per biscotti, 51-56% per panificazione, 53-57 per crackers, > 58% prodotti lievitati L'assorbimento, che è la quantità di acqua, espressa in percentuale, che viene richiesta dalla farina per arrivare ad una consistenza fissa di 500 U.B.

⁹ tempo di impasto (T min); misura lo sviluppo della pasta in minuti: è il tempo necessario a raggiungere la massima consistenza dell'impasto (punto T del farinogramma). Questo dato è in funzione della quantità e qualità del glutine presente nella farina e dalla granulometria

¹⁰ stabilità dell'impasto (Stab min); è l'intervallo di tempo durante il quale l'impasto rimane alla massima consistenza, maggiore è questo valore, migliore è la farina utilizzata. Un valore elevato di stabilità indica che la farina può sopportare sia lunghe fermentazioni che prolungate sollecitazioni meccaniche

¹¹ grado di rammollimento, caduta o sfibramento dell'impasto(UB); rappresenta la differenza tra la massima consistenza e quella

Le determinazioni di cui sopra sono state effettuate utilizzando le seguenti metodologie: metodo NIR, metodo del Glutomatic system, metodo del Farinografo di Brabender, metodo dell'Alveografo di Chopin (metodo ICC 121-1992).

Oltre ai test di cui sopra il CRA-SCV ha svolto anche prove di panificazione (metodo sperimentale AACC 10-10B modificato da Cattaneo e Borghi, 1979), su indicazione del CiRAA.

In particolare i test di panificazione hanno riguardato i pani prodotti a partire da farine derivanti al 100% da Valbona, Nogal, Monastir e Tirex coltivati al CiRAA e presso l'Azienda Martello, secondo il sistema convenzionale e quello conservativo. A questi test di panificazione si sono aggiunti altri 4 derivanti dalla combinazione al 50% di farine di forza (da cv. Valbona) e da panificazione comune (da cv Nogal) con la migliore varietà di frumento duro dal punto di vista panificatorio (la cv Tirex), considerando comunque la diversa origine delle farine (convenzionale e conservativa).

Lo studio delle miscele è stato realizzato al fine di verificare la possibilità di valorizzare a scala locale tutte le produzioni di un territorio spesso diversificate per esigenze agronomiche (frumento tenero spesso coltivato nei terreni più fertili di pianura e frumento duro più diffuso nelle zone interne collinari). L'ipotesi di lavoro consisteva da una parte nel verificare se la miscelazione al 50% delle farine di ottima qualità ottenute dal migliore grano tenero (cv Valbona) con il migliore grano duro determinasse una riduzione della qualità dei pani e, dall'altra, se l'aggiunta di frumento duro migliorasse la qualità dei pani ottenuti a partire da farine di grano tenero di bassa qualità (cv Nogal); il tutto in considerazione anche del sistema di produzione (convenzionale e conservativo).

Infine, sempre su indicazione del CiRAA, su ogni partita di seme proveniente dalle aree di saggio dei campi dimostrativi è stato determinato il carico di micotossine con riferimento a quelle più convenzionali quali il DON (deossinivalenolo) e quelle "emergenti": T2/HT2 (tricoteceni)¹²

che si ottiene dopo 10 o 20 minuti. È inversamente proporzionale alla forza della farina e, insieme alla stabilità, fornisce informazioni indispensabili sulla capacità di una farina a sopportare fermentazioni più o meno lunghe ed elevati stress meccanici. L'attitudine di una farina alla panificazione può essere valutata attraverso la seguente classificazione :

Qualità ottima: caduta dell'impasto tra zero e 30 U.B. e Stabilità superiore a 10 minuti

Qualità buona: caduta dell'impasto tra 30 e 50 U.B. e S non minore di 7 minuti;

Qualità discreta: caduta dell'impasto tra 50 e 70 U.B. e S non minore di 5 minuti

Una farina di forza con un valore di stabilità maggiore di 10 minuti, sarà in grado di sopportare lavorazioni lunghe, anche di diverse ore, mentre una farina debole, e meno stabile, assolutamente no. Da questo se ne deduce che le farine a seconda della quantità e qualità del glutine hanno diversa capacità a resistere alla lievitazione e alle lavorazioni . Una farina debole con stabilità farinografiche di 3-4 minuti (bassa quantità di glutine) è adatta alle lavorazioni corte , una farina che ha 18-20 minuti di stabilità farinografica è adatta alle lunghe lievitazioni (pane soffiato-ciabatta-panettone ecc.).

¹² I limiti di concentrazione per il DON è di 1250 ppb per il frumento tenero e 1750 ppb per quello duro; in attesa della definizione ufficiali dei limiti di concentrazione di T2/HT2 si consideri quelli proposti dalla Dg Sanco nel febbraio 2012 (25 ppb per i cereali vernini).

Risultati qualitativi

I risultati del CiRAA

In tabella 25 sono riassunti i risultati delle analisi qualitative effettuate sui campioni di granella ottenuti al CiRAA dai confronti tra aratura e semina su sodo (confronto A) e tra discissura e semina su sodo (confronto B) applicati alla stessa cultivar di grano duro (Tirex).

L'adozione della semina su sodo, nell'annata esaminata, ha evidenziato un miglioramento della qualità della granella e della farina di frumento duro coltivato su terreno sodo rispetto agli altri due sistemi di riferimento.

Relativamente alla granella t.q., è stato rilevato un incremento del contenuto proteico variabile dal 2 al 9% e un incremento della percentuale di glutine dal 4 al 7%. La presenza di micotossine si è indifferenziata per il gruppo dei tricoteceni (T2/HT2) mentre nel caso del DON si è osservato un incremento del 11% nel confronto A e, al contrario, una riduzione del 20% nel caso del confronto B. Questa diversa risposta tra i due sistemi confrontati (A e B) potrebbe essere riconducibile alla maggiore durata del periodo di "sodo" nel caso A (al terzo anno consecutivo di non lavorazione) e alla diversa precessione (favino in A e girasole in B). I valori di DON, in assoluto, per non essendo trascurabili, sono sempre risultati ampiamente al di sotto della soglia di legge (1750 ppb per il grano duro).

Tabella 25 – CiRAA: principali risultati qualitativi

CIRAA	Resa mac. (%)	Prot. int. (%ss)	Prot. far. (%ss)		Vol. SDS far.(ml)	FN int. (sec)	G. secco (%ss)	P (mm)	L (mm)	P/L	W (x10-4)	T imp. (min)	Stab. (min)	Cad. (UB)	Ass. (%)	DON (ppb)	T2HT2 (ppb)	
cv. Tirex A																		
Sistema convenzionale	52,5	14,0	13,2	-6	53,5	448,0	12,9	130	68	2,0	296	2	9	45	65	1220	< 25	
Sistema conservativo	52,5	14,2	13,5	-5	53,0	585,5	13,4	140	59	2,4	289	2	8	39	65	1355	< 25	
conservativo vs. convenzionale	0	1	2		-1	31	4	8	-13	22	-2	-3	-14	-12	0	11	=	
cv. Tirex B																		
Sistema convenzionale	57,8	13,0	12,5	-4	51,0	545,0	12,3	150	32	4,7	196	2	2	67	66	1341	< 25	
Sistema conservativo	49,2	14,2	13,5	-5	49,0	542,0	13,1	108	75	1,4	251	2	11	26	64	1076	< 25	
conservativo vs. convenzionale	-15	9	8		-4	-1	7	-28	134	-69	28	13	445	-61	-3	-20	=	

Anche le analisi sugli impasti hanno evidenziato un certo vantaggio nell'impiego delle tecniche conservative. Nel confronto B l'indice alveografico (W) è migliorato del 28% e il P/L è risultato più equilibrato. La stabilità dell'impasto è migliorata nel confronto B usando farine di Tirex da agricoltura conservativa così come l'indice di rammollimento che si è ridotto del 12% e del 61% rispettivamente nel confronto A e B.

I risultati dell'Azienda Squadrelli

La risposta qualitativa del frumento coltivato con sistema convenzionale e conservativo presso l'Azienda Squadrelli si è diversificata in relazione alla specie coltivata (tabella 26).

Il contenuto proteico delle granelle è risultato pressoché simile tra i sistemi nel caso delle due cultivar di tenero mentre per il grano duro si è assistito a un incremento di circa il 32% del contenuto in proteine nella granella del frumento seminato su sodo. Anche il contenuto in glutine è aumentato lievemente nelle varietà di tenero seminate su sodo mentre sul grano duro l'incremento è stato più deciso (+45%).

Tabella 26 – Azienda Squadrelli: principali risultati qualitativi

AZ. SQUADRELLI	Resa mac. (%)	Prot. int. (%ss)	Prot. far. (%ss)	delta (%)	Vol. SDS far.(ml)	FN int. (sec)	G. secco (%ss)	P (mm)	L (mm)	P/L	W (x10-4)	T imp. (min)	Stab. (min)	Cad. (UB)	Ass. (%)	DON (ppb)	T2HT2 (ppb)	
cv. Valbona																		
Sistema convenzionale	47,2	14,4	13,2	-8	64,0	445,0	13,1	121	65	1,9	301	2	19	0	62	< 18,5	< 25	
Sistema conservativo	50,1	14,6	13,5	-8	66,0	431,0	13,2	101	80	1,3	290	2	19	0	60	53	< 25	
conservativo vs. convenzionale	6	1	2		3	-3	1	-17	23	-32	-4	9	0	=	-2	187	=	
cv. Nogal																		
Sistema convenzionale	53,7	12,2	11,2	-8	63,0	424,0	11,0	99	67	1,5	241	2	19	2	58	< 18,5	< 25	
Sistema conservativo	54,6	12,4	11,8	-5	62,0	421,0	11,6	123	49	2,5	221	2	19	0	58	85	< 25	
conservativo vs. convenzionale	2	2	5		-2	-1	5	24	-27	70	-8	41	-1	-100	-1	362	=	
cv. Monastir																		
Sistema convenzionale	58,0	9,1	8,3	-9	35,0	425,0	7,4	90	26	3,5	100	1	1	96	57	194	< 25	
Sistema conservativo	52,2	12,0	11,0	-8	41,0	497,0	10,7	115	41	2,8	175	1	1	82	64	510	< 25	
conservativo vs. convenzionale	-10	32	33		17	17	45	28	58	-19	75	8	18	-15	12	163	=	

Come al CiRAA, la presenza di micotossine si è indifferenziata per il gruppo dei tricoteceni (T2/HT2) mentre nel caso del DON si è confermato un incremento significativo della sua presenza sulla granella sia del grano tenero che nel duro ottenuti dai sistemi conservativi, ma sempre su valori ampiamente al di sotto di quelli di legge .

Le analisi sulla qualità dell'impasto hanno evidenziato, in analogia a quanto osservato al CiRAA, il miglioramento dell'indice alveografico (W) ma soltanto nel caso della farina di duro con un incremento del 75% rispetto al sistema convenzionale.

Sempre limitatamente al grano duro, la farina del frumento conservativo ha mostrato una maggiore capacità di assorbimento dell'acqua (+12%) e ha prodotto un impasto più stabile (-15% dell'indice di rammollimento).

I risultati dell'Azienda Martello

La granella del frumento tenero e duro coltivato su sodo dall'Azienda Martello ha evidenziato un incremento del contenuto proteico più evidente nel frumento duro rispetto al tenero (+25%) (tabella 27).

Tabella 27 – Azienda Martello: principali risultati qualitativi

AZ. MARTELLO	Resa mac. (%)	Prot. int. (%ss)	Prot. far. (%ss)	delta (%)	Vol. SDS far.(ml)	FN int. (sec)	G. secco (%ss)	P (mm)	L (mm)	P/L	W (x10-4)	T imp. (min)	Stab. (min)	Cad. (UB)	Ass. (%)	DON (ppb)	T2HT2 (ppb)	
cv. Valbona																		
Sistema convenzionale	47,6	14,1	12,8	-9	76	441	12,7	152	50	3,0	308	2	19	0	64	< 18,5	< 25	
Sistema conservativo	48,5	14,2	13,8	-3	72	443	13,7	148	63	2,4	364	3	18	0	64	< 18,5	< 25	
conservativo vs. convenzionale	2	1	8		-5	0	8	-3	26	-23	18	13	-1	=	1	=	=	
cv. Nogal																		
Sistema convenzionale	56,2	12,2	11,3	-7	72	388	11,2	101	68	1,5	249	2	19	15	58	< 18,5	< 25	
Sistema conservativo	52,8	12,9	12,0	-7	73	382	11,6	69	82	0,8	179	2	19	0	57	32	< 25	
conservativo vs. convenzionale	-6	6	6		1	-2	4	-32	21	-44	-28	11	0	-100	-1	72	=	
cv. Monastir																		
Sistema convenzionale	60,1	9,5	8,4	-12	36	449	7,6	90	25	3,6	98	1	1	81	57	129	< 25	
Sistema conservativo	52,4	11,9	10,2	-14	35	416	8,9	126	30	4,2	162	1	1	83	62	247	< 25	
conservativo vs. convenzionale	-13	25	21		-3	-7	17	40	20	17	65	27	0	2	8	92	=	

Anche la concentrazione in glutine è migliorata nelle granelle provenienti da colture seminate su sodo; per le cultivar Valbona e Nogal l'incremento è stato del 8 e 4% rispettivamente mentre

per la cultivar Monastir (frumento duro) l'incremento ha raggiunto il 17%.

I risultati dell'indice alveografico (W) ottenuti dalle farine delle coltivazioni testate presso l'azienda Martello, non sono risultati del tutto allineati a quelli ottenuti negli altri siti. Essi confermano comunque l'effetto positivo della semina su sodo su questo parametro per la cultivar Monastir (+65%) in sintonia con quanto osservato da Squadrelli.

Di contro, sia la varietà Valbona che Nogal hanno fatto registrare un comportamento diametralmente opposto a quello osservato sui campioni dell'Azienda Squadrelli in relazione al sistema di coltivazione. Infatti la prima varietà ha fatto registrare un incremento del W rispetto al sistema convenzionale (+18) a fronte di una riduzione sia pur minima fatta registrare sulle farine ottenute dal grano prodotto presso l'azienda Squadrelli; la seconda (Nogal) che da Squadrelli aveva fatto registrare una apprezzabile riduzione dell'indice alveografico (-8%) su terreno sodo, presso l'Azienda Martello ha visto aggravare detto fenomeno fino a raggiungere valori di -28%.

Come osservato sui campioni dell'Azienda Squadrelli, anche presso l'Azienda Martello la semina su terreno non lavorato ha influenzato positivamente l'indice di rammollimento.

Infine, relativamente alla presenza di micotossine, anche in quest'ambiente di coltivazione si è confermata la maggiore presenza di DON limitatamente alle cultivar Nogal e Monastir (comunque sempre sotto il valori di riferimento). Per il gruppo T2/HT2 nessuna differenza da segnalare.

Test di panificazione

I migliori risultati in termini di volume dei pani e della loro altezza è stato ottenuto dalle farine della cv. Valbona (grano tenero di forza); sulla qualità panificatoria di questa varietà, l'influenza della tecnica di coltivazione è stata del tutto marginale ma comunque positiva (+2% sui valori di volume e altezza dei pani) (tabella 28).

Questa tendenza non è stata confermata per le cultivar meno adatte alla panificazione come Nogal e Monastir sulle quali però la tecnica conservativa non ha determinato alcun peggioramento. Fa eccezione la cv Tirex per la quale si è osservato un incremento del 4% del volume dei pani e del 7% della loro altezza utilizzando farine da agricoltura conservativa.

Complessivamente, l'attitudine panificatoria è andata diminuendo passando dalla cv Valbona alla Nogal e da queste al frumento duro.

Grazie alla coltivazione su terreno non lavorato il frumento duro Tirex ha fatto registrare parametri qualitativi del tutto confrontabili con quelli della cv Nogal (675 cc e 97 mm).

Tabella 28 – Risultati dei test di panificazione

	Volume (cc)	Altezza (mm)
cv. Valbona		
Sistema convenzionale	715	101
Sistema conservativo	730	103
<i>conservativo vs. convenzionale</i>	2	2
cv. Nogal		
Sistema convenzionale	670	97
Sistema conservativo	670	97
<i>conservativo vs. convenzionale</i>	0	0
cv. Monastir		
Sistema convenzionale	615	90
Sistema conservativo	598	90
<i>conservativo vs. convenzionale</i>	-3	0
cv. Tirex (A)		
Sistema convenzionale	650	91
Sistema conservativo	675	97
<i>conservativo vs. convenzionale</i>	4	7
cv. Valbona + Tirex (50%)		
Sistema convenzionale	715	97
Sistema conservativo	710	100
<i>conservativo vs. convenzionale</i>	-1	3
cv. Nogal + Tirex (50%)		
Sistema convenzionale	578	94
Sistema conservativo	640	96
<i>conservativo vs. convenzionale</i>	11	2

Per quanto riguarda la possibilità di ottenere pani da miscugli di grano tenero e duro prodotti dalle diverse aziende agricole della provincia di Pisa e conferiti sulla piattaforma alimentare locale, la miscela Valbona + Tirex al 50% ha consentito l'ottenimento degli stessi parametri qualitativi raggiunti dalla cv Valbona in purezza, indipendentemente dal metodo di coltivazione.

Non altrettanto è avvenuto miscelando (sempre al 50%) la cv Nogal (da panificazione comune) con il medesimo Tirex; l'aggiunta del frumento duro ha determinato una sensibile riduzione del volume dei pani (-14%) nel caso di farine ottenute da sistemi di coltivazione convenzionali. Utilizzando le farine di Nogal e Tirex da agricoltura conservativa la perdita di qualità dei pani è stata assai meno evidente con una contrazione del volume di solo il 4% e un'altezza sostanzialmente invariata.

Valutazione del potenziale di diffusione delle tecniche di Agricoltura conservativa (Fase 5.1)

Al fine di valutare il potenziale di diffusione delle tecniche di Agricoltura Conservativa nella provincia di Pisa (informazione utile anche per programmare misure pubbliche di supporto a sistemi di gestione agricola conservativi) si è ritenuto opportuno procedere a una serie di interviste rivolte a un gruppo di agricoltori rappresentativo della Provincia di Pisa individuato sulla base della giacitura dei terreni delle loro aziende e alla loro estensione. Dette informazioni, comprensive dei nominativi dei titolari delle aziende (e loro contatto telefonico), sono state desunte da un data base fornito da ARTEA.

Le interviste hanno mirato a verificare: (i) la conoscenza dei metodi di Agricoltura conservativa con particolare riferimento alle tecniche di lavorazione conservativa (non-lavorazione e lavorazione minima), (ii) i punti di forza e di debolezza che gli agricoltori riconoscono a queste tecniche, (iii) la disponibilità degli agricoltori a sperimentare le tecniche di agricoltura conservativa nella propria azienda.

Dal database di Artea, escluse le aziende con SAU inferiore ai 30 ettari, sono state selezionate 60 aziende caratterizzate per diversa giacitura dei terreni (prevalentemente di pianura o di collina) e per diversa estensione della SAU: grandi (sopra i 120 ha), medie (tra i 120 e i 60 ha), piccole (tra 60 e 30 ettari).

Nel complesso il campione è risultato così composto: 10 aziende di pianura grandi, 10 aziende di pianura medie, 10 aziende di pianura piccole, 10 aziende di collina grandi, 10 aziende di collina medie e 10 aziende di collina piccole.

Nel dettaglio, le interviste prevedevano una domanda preliminare riguardo all'adozione o meno delle tecniche di lavorazione conservative in azienda per il frumento: non lavorazione o lavorazione minima; nel caso di applicazione di quest'ultima tecnica, agli agricoltori è stato chiesto se vi fosse interesse verso il passaggio alla non-lavorazione. La stessa domanda è stata posta in caso di risposta negativa alla prima e alla seconda domanda (cioè, allorquando gli agricoltori non facessero assolutamente ricorso a queste tecniche). Un'altra domanda riguardava la percezione dei punti di forza e di debolezza delle tecniche conservative con particolare riferimento alla semina su sodo.

Una sintesi dei risultati delle interviste è riportata in tabella 29 .

Da questa è possibile constatare che complessivamente soltanto il 17% delle aziende intervistate adottavano la non lavorazione, almeno per il frumento. Il risultato è però ben diverso se si fa riferimento alla collocazione territoriale delle aziende pisane intervistate: in pianura il 30% delle aziende contattate pratica già la semina su sodo dei cereali invernali mentre soltanto il 3% in collina; in entrambi gli ambienti, la non-lavorazione del terreno è più diffusa nelle aziende di maggiori dimensioni.

Rispetto alla non-lavorazione del terreno, la lavorazione minima è la pratica conservativa risultata più diffusa essendo praticata da circa il 32% delle aziende intervistate (43% delle aziende di pianura e 20% delle aziende di collina). A differenza della non lavorazione, la diffusione della lavorazione minima tra le aziende della provincia di Pisa (sulla base del campione analizzato) non sembra collegata all'entità della estensione della SAU nelle aziende di pianura mentre lo è per quelle di collina.

Complessivamente il 49% delle aziende intervistate applica comunque tecniche di agricoltura conservativa; tra queste 1/3 circa è rappresentato dalla non-lavorazione e 2/3 dalla lavorazione minima. Le aziende “conservative” si trovano per il 76% in pianura e per il 24% in collina.

Tabella 29 – Sintesi dei risultati delle interviste

Aziende	adottano già NL	adottano già LM	interessate a NL	non adottano NL e LM	interessate a NL	totale interessate
Grandi di pianura	50%	30%	0%	20%	50%	20%
Medie di pianura	20%	50%	60%	30%	0%	38%
Piccole di pianura	20%	50%	40%	30%	33%	38%
	30%	143%	38%	27%	25%	33%
Grandi di collina	10%	30%	100%	60%	0%	33%
Medie di collina	0%	10%	100%	90%	11%	20%
Piccole di collina	0%	20%	0%	80%	0%	0%
	3%	20%	67%	77%	4%	17%
totale	17%	132%	47%	51%	10%	20%

Da questa prima elaborazione dei risultati ottenuti dalle interviste ai conduttori delle aziende selezionate, emergerebbe un maggiore potenziale di diffusione delle tecniche conservative negli ambienti di collina; tra le tecniche conservative di lavorazione del terreno, un ampio margine di diffusione potrebbe avere la non lavorazione, soprattutto nelle aree collinari.

In realtà queste considerazioni non trovano corrispondenza nella disponibilità espressa dagli agricoltori intervistati in merito al loro interesse ad adottare la semina su terreno non lavorato. Infatti, tra le aziende che già praticano la lavorazione minima (e quindi si presuppone che abbiano maturato una maggiore consapevolezza in merito ai vantaggi offerti dalle tecniche conservative) il 47% si è dichiarato interessato a provare la non-lavorazione indipendentemente dalla giacitura dei loro terreni (il 56% sono aziende di pianura e il 44% di collina); nelle aziende di pianura l'interesse al cambiamento si è distribuito pressoché uniformemente tra le piccole e medie aziende mentre in collina l'interesse alla semina su sodo è stato manifestato prevalentemente dalle grandi aziende.

A fronte di questo quadro, che possiamo ritenere nel complesso positivo in quanto denota comunque il desiderio di una buona parte delle aziende agricole del pisano di voler introdurre in azienda processi innovativi, l'analisi delle risposte fornite dagli agricoltori che non hanno mai adottato tecniche di lavorazione del terreno conservative (il 51% degli intervistati, nel 74% dei casi, localizzati in collina) in merito al loro interesse a saggiarle in azienda, delinea un quadro meno favorevole alla diffusione di queste tecniche. Infatti, dei titolari di azienda che non si sono mai avvicinati alle tecniche conservative soltanto il 10% si è detto disponibile a valutarle (2/3 in pianura e 1/3 in collina).

Complessivamente, il maggiore interesse all'introduzione delle tecniche conservative è stato rilevato negli ambienti pianeggianti della Provincia di Pisa a conferma del fatto che proprio negli ambienti collinari queste tecniche trovano maggiore difficoltà di diffusione.

Le ragioni alla base di questo quadro conoscitivo sono riassunte nelle risposte fornite dagli intervistati in merito alla loro percezione dei punti di forza e di debolezza delle tecniche di lavorazione conservative.

Le grandi aziende della Pianura della provincia di Pisa (ad esclusione di quelle che ricorrono all'aratura per l'interramento del digestato) tendono alla semina del frumento con tecniche di lavorazione conservativa, dopo mais, o girasole, colza e trifoglio; soprattutto dopo colza e girasole viene adottata più frequentemente la tecnica della non-lavorazione, mentre dopo mais spesso si ricorre a una lavorazione minima; sia quando si pratica la semina su sodo che la lavorazione minima con combinate, le operatrici risultano di proprietà dell'azienda.

Si tende maggiormente a fare sodo sui terreni argillosi (piana di Cascina), mentre sui terreni più freschi profondi, fertili e quindi maggiormente sabbio/limosi (Migliarino) si tende maggiormente a fare minima lavorazione soprattutto dopo mais.

Queste aziende hanno motivato la scelta delle tecniche conservative per il frumento in ragione dei minori costi connessi a queste tecniche (soprattutto quelli riferiti all'acquisto di gasolio), la maggiore tempestività di intervento e la pressoché assenza di cali produttivi dei cereali vernini.

Nelle aziende di medie e piccole dimensioni della Pianura, il ricorso alla non lavorazione tende a diminuire sia perché è meno sentita la necessità di riuscire in poco tempo a dominare l'intera superficie aziendale destinata alla semina del frumento sia a causa della maggiore difficoltà di ammortamento dei costi (ancora elevati) delle seminatrici da sodo. Ne consegue che il grano viene seminato più frequentemente su lavorazione minima usando attrezzi semplici, da sempre presenti in azienda, e che il ricorso al contoterzista per le semine su sodo è più frequente.

Anche le piccole e medie aziende di pianura riconoscono alle tecniche conservative di lavorazione del terreno i seguenti punti di forza: minori costi, maggiore tempestività.

Nelle aziende di collina, la situazione è completamente diversa: le aziende più grandi tendono a fare sodo solo nei fondovalle dopo girasole ma per le superfici declivi prevale ancora l'aratura sulle altre tecniche (soprattutto nel caso di ringrani); la tecnica di lavorazione più conservativa è la lavorazione minima (dopo trifoglio o favino). Tanto più diminuisce la dimensione aziendale tanto maggiore è il ricorso all'aratura anche nei casi di grano in successione a rinnovi o leguminose.

Questo atteggiamento è molto diffuso tra gli agricoltori di collina che della semina su sodo percepiscono di più i punti di debolezza che non quelli di forza; tra i primi essi individuano la inadeguatezza dei terreni argillosi (molto rappresentati nelle aree collinari) a essere gestiti con questa tecnica, le maggiori difficoltà di controllo delle infestanti e la perdita di produttività del frumento rispetto all'aratura; tra i secondi la capacità di ridurre l'erosione e contenere i costi di produzione.

Dalle interviste emerge inoltre una certa differenza di atteggiamento tra gli agricoltori in relazione all'area geografica di appartenenza: mentre nella zona delle Colline Pisane (Santa Luce, Orciano, Lorenzana, ecc.) vi è una certa propensione al passaggio alla lavorazione minima (già attuata in alcune aziende), nelle aziende del volterrano la propensione all'abbandono dell'aratura è molto meno sentita e anzi l'aratura è considerata ancora l'unica tecnica da adottare per ottenere buone colture di grano.

Alla base delle perplessità degli agricoltori di collina nei confronti delle tecniche conservative vi è l'elevato costo delle seminatrici, la loro inadeguatezza a essere utilizzate su forti pendenze, su terreni argillosi e nell'ambito di rotazioni spesso basate sul ringrano che implica un maggior rischio di insorgenza di malattie più facilmente trasmissibili proprio in assenza di lavorazione del terreno.

Sia nel caso delle aziende di pianura che di collina, nel corso delle interviste è emersa chiaramente la difficoltà delle Aziende “biologiche” ad utilizzare tecniche conservative come la semina su sodo. La difficoltà consiste principalmente nell’impossibilità di utilizzare (in biologico) il diserbo chimico di pre-semina e post-emergenza. Nonostante la consapevolezza di questo limite al momento apparentemente insuperabile, alcuni agricoltori biologici riconoscono alla semina su sodo importanti vantaggi gestionali (maggiore tempestività di intervento) e economici (riduzione dei costi di impianto) ma anche agro-ambientali (riduzione dell’erosione, incremento della sostanza organica del terreno, aumento della fertilità biologica del terreno).

Visite guidate in campo presso il CIRAA e predisposizione materiale divulgativo (FASE 6 del Progetto)

Il Ciraa ha organizzato e realizzato una giornata di studio il 4 giugno 2014; durante la giornata di studio sono stati illustrati i risultati della ricerca italiana e internazionale relativamente all'applicazione delle più significative tecniche conservative (non-lavorazione e lavorazione minima); oltre ai risultati del mondo della ricerca sono stati invitati a presentare la propria esperienza agricoltori italiani che già praticano queste tecniche finalizzate alla produzione del grano tenero/duro. La giornata è terminata con la visita ai campi sperimentali del Centro "Enrico Avanzi" dove la non-lavorazione del terreno è applicata in modo continuo da oltre 25 anni e dove sono stati realizzati i confronti A e B.

CONCLUSIONI

Tabella 30 (produttività= variazioni della resa granellare da +/-10% rispetto al sistema di riferimento; minori costi variabili = giallo da 0-10%; verde oltre il 10% - maggiore reddito lordo variabili = giallo da 0-10%; verde oltre il 10%); maggiore quantità di proteine = giallo da +/-10%; verde oltre il 10%;

variazioni rispetto al sistema convenzionale	AZ. SQUADRELLI			AZ. MARTELLO			CIRAA	
	VALBONA	NOGAL	MONASTIR	VALBONA	NOGAL	MONASTIR	TIREX (A)	TIREX (B)
produttività	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
< produzione paglia	😐	😐	😊	😐	😊	😐	😊	😊
< [N] biomassa	😊	😐	😐	😊	😊	😐	😊	😊
< asportazioni N	😊	😐	😐	😊	😊	😐	😐	😊
< costi variabili	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
> reddito lordo	😊😐	😊😐	😊😊	😐😐	😐😐	😐😐	😊😊	😊😐
> [proteine]	😐	😐	😊	😐	😐	😊	😐	😐
> [glutine]	😐	😐	😊	😐	😐	😊	😐	😐
> indice alv. (W)	😐	😐	😊	😊	😡	😊	😐	😊
< caduta impasto	😐	😊	😊	😐	😐	😊	😊	😊
[] DON	😡	😡	😡	😐	😡	😡	😡	😊
[] T2/HT2	😐	😐	😐	😐	😐	😐	😐	😐

Dal confronto tra grano tenero e duro emerge la maggiore convenienza economica di quest'ultimo a essere coltivato secondo i principi dell'agricoltura conservativa.

ALLEGATO

PROGETTO ACRIAC

**Agrotecniche conservative finalizzate alla riduzione dell'impatto ambientale del
frumento e alla caratterizzazione dei suoi derivati**

Mis 124 - PIF - FILIERA TOSCANA

PIF Misura 124 del PSR 2007-2013 della Regione Toscana

FASCICOLO PARTNER A 2

NOMINATIVO: UNIVERSITA' DI PISA

CENTRO DI RICERCHE AGRO-AMBIENTALI "Enrico Avanzi" - CIRAA

CUAA: 80003670504

FORMA GIURIDICA: UNIVERSITA'

LEGALE RAPPRESENTANTE: MARCO MAZZONCINI

Materiale divulgativo

Le lavorazioni del terreno per un'agricoltura più sostenibile

Uno degli obiettivi dell'agricoltura "sostenibile" consiste nel garantire nel lungo periodo la rinnovabilità del processo produttivo salvaguardando l'ambiente e tutelando la redditività del processo stesso; in questa ottica, particolare attenzione si deve riservare alla gestione del suolo ed in particolare alle tecniche di lavorazione del terreno.

Queste ultime, modificando le caratteristiche fisico-chimiche e microbiologiche del terreno, possono infatti determinare apprezzabili effetti, sia positivi che negativi sulla produttività delle colture e sull'ambiente. Tecniche di lavorazione del terreno inappropriate ad un determinato contesto agropedoclimatico possono, infatti, compromettere la struttura del suolo (inducendo ad un generale peggioramento della capacità di immagazzinamento idrico e di infiltrazione del terreno), possono accelerare la mineralizzazione (con progressiva riduzione del contenuto in S.O. del suolo), ridurre la percentuale di terreno coperto da vegetazione o da residui (incrementando i rischi di erosione) e deprimere l'attività biologica del terreno. Inoltre, anche molti dei problemi di degradazione della qualità delle acque superficiali e profonde, e quindi i relativi problemi di eutrofizzazione e potabilità delle acque stesse, possono essere ricondotti all'impiego di inappropriate tecniche di lavorazione.

In considerazione anche della notevole incidenza delle lavorazioni del terreno (sia principali che secondarie) sul complesso dei costi colturali, risulta evidente l'importanza che le tecniche di lavorazione del terreno ricoprono nell'ambito del processo di ottimizzazione e/o ridefinizione delle agrotecniche da utilizzare all'interno di sistemi colturali "sostenibili".

La tradizionale aratura, soprattutto quella profonda, in molti casi non sembra essere perfettamente in linea con lo spirito dell'agricoltura sostenibile; ad essa vengono infatti imputati, in certi ambienti, un incremento eccessivo del processo di mineralizzazione con conseguente riduzione del contenuto in sostanza organica del terreno e minore stabilità degli aggregati, una minore capacità di conservazione dell'umidità durante i periodi di maggiore stress idrico delle colture, più ampie variazioni della temperatura del terreno negli strati più superficiali, scarsa copertura vegetale del suolo nel periodo compreso tra la raccolta e la semina delle colture in avvicendamento, più elevati consumi energetici per l'esecuzione della lavorazione principale e di quelle complementari.

Tutto ciò può condurre, in relazione alla tipologia del suolo ed all'avvicendamento praticato, ad una progressiva perdita di fertilità del terreno e, in ambienti collinari, ad una sua maggiore suscettibilità al fenomeno dell'erosione idrica.

L'attuale disponibilità di trattrici dotate di notevole potenza, l'ampia gamma di nuovi attrezzi per la lavorazione del terreno oggi disponibile e la possibilità di risolvere per altra via anche le più complesse situazioni malerbologiche grazie ai numerosi principi attivi oggi disponibili sul mercato, hanno stimolato la diffusione di tecniche di lavorazione del terreno alternative all'aratura profonda, di più rapida esecuzione e di minore costo energetico. Tra queste ricordiamo l'aratura superficiale e quella a due strati, ma anche - e più decisamente diverse in termini di sostenibilità ambientale - la discissura, la lavorazione minima e la non-lavorazione.

Queste ultime, anche in virtù di una maggiore conservazione e di una migliore gestione dei residui colturali, sono risultate, in molti casi, particolarmente idonee sia a limitare l'impatto ambientale delle pratiche agricole sia a ridurre i costi colturali (senza per questo determinare necessariamente una contrazione delle rese). In particolare, nel lungo periodo, la lavorazione minima e la non-lavorazione determinano - rispetto alla tecnica convenzionale rappresentata

generalmente dalla aratura a 20-25 cm - minori alterazioni delle caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche del terreno che, soprattutto negli ecosistemi più fragili, rappresentano un utile ausilio per la conservazione della fertilità del suolo, della sua produttività e della redditività dell'intero processo produttivo.

Di seguito prenderemo in esame alcuni dei principali fenomeni di degrado ambientale tipici delle forme più intensive di attività agricola che possono risultare influenzati anche dal tipo di lavorazione del terreno: l'erosione idrica del terreno, la lisciviazione dei nitrati e la dissipazione degli erbicidi.

Lavorazioni del terreno ed erosione

Il fenomeno erosivo consiste essenzialmente nel distacco di particelle solide di terreno e nel loro successivo trasporto da una zona ad un'altra ove queste vengono depositate; nel caso dell'erosione idrica l'agente che determina tali processi è l'acqua. Questa può indurre il distacco delle particelle di terreno attraverso l'azione battente delle gocce di pioggia (agendo quindi su tutta la superficie del terreno) o attraverso l'azione "abrasiva" causata dallo scorrimento dell'acqua sul terreno (ruscellamento). Essa può essere a sua volta determinata dal semplice scorrimento di un velo liquido sulla superficie del terreno, o assumere la forma di piccoli rigagnoli all'interno dei quali scorre l'acqua; nelle forme più gravi di erosione tali canaletti possono divenire veri e propri solchi di profondità variabile.

I due meccanismi di cui sopra si verificano quasi sempre contemporaneamente ed interagiscono tra loro; in ogni caso è attraverso il ruscellamento che si realizza il trasporto, l'allontanamento ed il deposito delle particelle terrose. Ovviamente, a parità di altezza ed intensità media delle piogge, il distacco sarà più facile nei terreni ove le particelle sono scarsamente trattenute le une alle altre da cementi naturali come le argille e la sostanza organica (terreni prevalentemente sabbiosi o scarsamente strutturati).

La gravità del fenomeno erosivo risulta nel suo complesso variabile in funzione della velocità della pedogenesi: costituirà un problema meno grave in quei suoli in cui la velocità con la quale si forma il terreno equipara quella dell'erosione (suoli su rocce vulcaniche tufacee o carbonatiche tenere e su argille plioceniche) mentre costituirà fonte di preoccupazione maggiore nel caso in cui la velocità a cui procede l'erosione sia superiore a quella della pedogenesi (terreni su substrati cristallini e metamorfici, e su rocce vulcaniche acide). Gli aspetti negativi del fenomeno erosivo risultano ancora più evidenti quando, oltre alla perdita di terreno, si considerino anche le perdite di sostanza organica e di nutrienti ad essa associate, il deterioramento delle caratteristiche fisiche del terreno (compattamento, perdita dello stato strutturale, riduzione della velocità di infiltrazione dell'acqua), ed il progressivo innalzamento dell'acidità del suolo. Tali modificazioni, soprattutto la perdita progressiva di sostanza organica, predispongono ulteriormente il terreno all'erosione ed inducono nel tempo una più o meno accentuata riduzione della sua capacità produttiva.

L'erosione idrica del suolo assume una particolare importanza nel nostro Paese soprattutto per la rilevante presenza di terreni declivi (circa il 40% del territorio nazionale) e per il particolare tipo di piovosità caratterizzato, come noto, da precipitazioni di notevole intensità particolarmente in ristretti periodi dell'anno. Data la diversificazione pedoclimatica del nostro territorio, le perdite di terreno assumono da noi entità molto variabili: dalle 3.3 t/ha/anno stimate mediamente per il bacino imbrifero dell'Arno alle 165 t/ha/anno calcolate per il bacino

della Tacina in Calabria; in media, comunque, i livelli di erosioni in Italia risultano superiori a quelli medi mondiali (1.7-1.8 t/ha/anno).

Pur dovendo considerare l'erosione idrica del terreno un fenomeno naturale e quindi non completamente sopprimibile, un'attenta gestione del suolo, e più in generale del territorio, può contribuire notevolmente al suo contenimento. In quest'ottica anche le lavorazioni del terreno rappresentano senza dubbio un'aspetto di fondamentale importanza insieme alle sistemazioni idraulico-agrarie ed al tipo di copertura vegetale e, quindi, di avvicendamento colturale.

A parità di condizioni pedoclimatiche, infatti, per contenere i fenomeni erosivi ed i relativi effetti collaterali, dovranno essere adottati sistemi colturali in grado di:

- ridurre l'energia cinetica delle gocce di pioggia aumentando la superficie di terreno coperta da vegetazione o da residui colturali;
- ridurre il ruscellamento attraverso: l'incremento della capacità di infiltrazione delle acque piovane nel terreno e/o l'aumento della capacità di stoccaggio delle acque in eccesso da parte del terreno all'interno delle microdepressioni della sua superficie (rugosità del terreno).

In genere le tecniche di lavorazione semplificate del terreno, non prevedendo il rivoltamento della "fetta", inducono una maggiore copertura del suolo da parte dei residui colturali lasciandoli più o meno intatti sulla sua superficie; ciò costituisce sicuramente un aspetto positivo in termini di contenimento dell'erosione in quanto consente di ridurre l'energia cinetica delle gocce di pioggia e rallentare e suddividere il deflusso delle acque superficiali. Tale positiva prerogativa - che rappresenta quindi uno dei motivi fondamentali per cui queste prendono spesso l'appellativo di "lavorazioni conservative" - si manifesta in maniera diversa in relazione alla specifica tecnica di lavorazione adottata ed alla natura del residuo colturale.

Nel caso del frumento, ad esempio, la presenza di residui sulla superficie del terreno con la discissura (chisel) può risultare anche doppia rispetto all'aratura, 5 volte maggiore con la lavorazione minima (due passaggi di erpice a dischi) e di 18 volte circa più estesa con la non-lavorazione. Con altre precessioni colturali la non-lavorazione può determinare una copertura del terreno ancor più apprezzabile (circa 30 volte maggiore rispetto all'aratura con residui di soia e ben 76 volte con residui di mais) con valori massimi prossimi al 90%, risultando quindi, in ogni caso, la tecnica maggiormente "conservativa" rispetto alla discissura ed alla lavorazione minima.

Il vantaggio offerto dalle tecniche di lavorazione semplificate nei confronti dell'aratura non si limita soltanto all'aumento della superficie di terreno coperta da residui colturali, ma si manifesta anche attraverso la loro maggiore permanenza sul terreno stesso garantendone una più consistente "protezione" nei confronti dell'azione destabilizzante delle piogge, anche in assenza di coltura e per un periodo dell'anno decisamente più lungo. Le tecniche semplificate di lavorazione tendono inoltre a ridurre il processo di distacco delle particelle solide del terreno sotto l'azione delle gocce di pioggia non soltanto attraverso la riduzione della loro energia, ma anche attraverso una maggiore resistenza degli aggregati stessi all'azione disagregatrice dell'acqua. Tale prerogativa è infatti strettamente legata alla ormai accertata maggiore concentrazione di sostanza organica degli strati superficiali del terreno "non arato" che migliora la stabilità strutturale degli aggregati.

In assenza di copertura del terreno da parte dei residui colturali, o di colture di copertura appositamente inserite nell'avvicendamento tra due colture principali, la "rugosità" del terreno

può contrastare efficacemente l'erosione ritardando e riducendo il ruscellamento. A questo riguardo, le tecniche di lavorazione più rispondenti sembrano essere l'aratura e la discissura; in particolare, rispetto ad una superficie degradata e totalmente compattata, l'aratura può determinare un incremento della rugosità superficiale del terreno di circa 10 volte, la discissura con chisel di circa 6 volte mentre nel caso della non-lavorazione la superficie del suolo si presenta sostanzialmente priva di quelle micro-depressioni in grado di immagazzinare temporaneamente l'acqua in eccesso e ritardare l'avvio del ruscellamento. La rugosità prodotta dall'aratura non rappresenta comunque una caratteristica permanente essendo inevitabilmente destinata a ridursi, in tempi più o meno brevi, sotto l'azione degli atmosferici ed in fase di preparazione del letto di semina.

Tra questi due fattori implicati nel processo erosivo, la copertura del terreno da una parte e la sua rugosità dall'altra, il primo sembra comunque avere un ruolo preponderante. Infatti, sebbene in assenza di residui colturali l'erosione venga maggiormente rallentata con le tecniche di lavorazione convenzionali (arature a varia profondità), non appena i residui risultano sufficientemente presenti sul terreno si assiste ad una significativa riduzione del fenomeno erosivo (evidenziata dalla diminuzione delle torbide nelle acque di deflusso) correlata positivamente alla superficie di terreno coperta. Ne consegue che negli ambienti più marginali e meno produttivi, data la scarsa quantità di residui colturali mediamente lasciati sul terreno dalle colture in avvicendamento, l'adozione ripetuta della non lavorazione potrebbe addirittura provocare un aggravamento del fenomeno erosivo in quanto in questi casi potrebbe prevalere l'effetto negativo legato alla modesta rugosità della superficie del terreno rispetto a quello positivo connesso con la maggiore copertura dello stesso.

Affinché la tecnica della non-lavorazione possa svolgere una buona attività antierosiva è quindi necessario che si realizzi nell'ambito di avvicendamenti che prevedono colture in grado di lasciare sul terreno un'apprezzabile quantità di residui colturali non rapidamente decomponibili (paglie di cereali). Nel caso di colture che lasciano il terreno più o meno libero da residui colturali per la loro scarsa quantità (es. bietola, patata) potrebbe essere più appropriato, ai fini antierosivi, impiegare tecniche di lavorazione in grado di provocare una certa rugosità superficiale del terreno. A questo riguardo la lavorazione minima realizzata con attrezzi a denti e soprattutto la discissura eseguita con chisel possono consentire, rispetto all'aratura, di unire ai vantaggi derivanti da un minore interrimento dei residui colturali, quelli derivanti da una rugosità superficiale che, almeno per alcuni mesi dell'anno, potrebbe non risultare complessivamente molto diversa da quella dell'aratura.

In ogni caso, oltre alla copertura del terreno ed alla sua "rugosità", la permeabilità del terreno riveste un ruolo fondamentale nel ridurre i deflussi superficiali e quindi l'erosione idrica. Sebbene al terreno arato venga da sempre riconosciuta una maggiore velocità di infiltrazione dell'acqua, almeno fino al livello della suola di lavorazione, anche nei terreni da tempo non lavorati - purché dotati di un sufficiente contenuto di argilla espandibile - è stato sovente osservato un incremento della permeabilità anche rispetto all'aratura tradizionale. In questi casi, si ritiene che l'assenza di ogni forma di disturbo del terreno conseguente a qualsivoglia lavorazione consenta lo sviluppo di una più o meno estesa macroporosità continua lungo il profilo che, pur rappresentando una piccola percentuale della porosità complessiva, è ugualmente in grado di incrementare notevolmente la permeabilità del terreno.

La macroporosità tipica dei terreni "non lavorati" è in genere rappresentata da una estesa rete

di macropori costituiti prevalentemente da gallerie di animali terricoli (lombrichi in particolare), dai canalicoli aperti dalle radici di piante cresciute in precedenza sullo stesso terreno e dalle crepacciature più o meno ampie ed estese in profondità. Questi "canali" costituiscono senz'altro una importante via di flusso preferenziale per l'acqua dagli orizzonti superficiali verso quelli più profondi e potrebbero essere i responsabili della riduzione dei deflussi superficiali talvolta osservata nei terreni non lavorati. In alcuni casi, quindi, la prevenzione dell'erosione idrica attraverso l'impiego di tecniche di non-lavorazione può realizzarsi, oltretutto attraverso la più estesa copertura del terreno e la maggiore stabilità degli aggregati, anche attraverso una significativa riduzione dei deflussi superficiali.

Oltre che dal tipo di lavorazione principale del terreno, nel suo insieme il fenomeno erosivo può essere condizionato anche dalle modalità di esecuzione delle lavorazioni complementari; sia i "ripassi" invernali che le erpicature necessarie per la preparazione del letto di semina potrebbero contribuire a ridurre il fenomeno erosivo se eseguite (per quanto possibile) trasversalmente alla linea di massima pendenza.

Anche la scelta delle macchine operatrici può costituire un ulteriore elemento di controllo dell'erosione; in linea di massima attrezzi che consentono una certa "continuità" tra gli orizzonti superficiali e sottosuperficiali (erpici a denti rigidi e/o elastici) potrebbero migliorare l'infiltrazione dell'acqua ed evitare i fenomeni di distacco degli strati più superficiali del terreno più spesso registrati in terreni lavorati con fresatrici o operatrici similari. Lo stesso erpice a dischi se utilizzato ripetutamente sul medesimo terreno può condurre alla formazione di strati compatti che facilitano lo scorrimento superficiale ed incrementano le perdite di terreno.

Alla luce di queste considerazioni, appare evidente che l'adozione di tecniche semplificate di lavorazione del terreno rappresenta sicuramente un utile strumento per la riduzione dell'erosione, dei costi colturali e per il mantenimento della fertilità del terreno. Negli ambienti collinari, comunque, tale nuovo approccio alla gestione del territorio non deve essere confuso con l'abbandono di qualsiasi attività sistematoria nella convinzione che il naturale insediamento della flora spontanea possa ricondurre il fenomeno erosivo a livelli "fisiologici". Infatti, anche se è possibile contenere l'erosione attraverso l'impiego di tecniche di lavorazione del terreno alternative all'aratura, queste dovranno comunque essere affiancate da una adeguata manutenzione delle opere di regimazione idrica (scoline, fossi, stradelli, fosse di livello, ecc.) per evitare forme di erosione ben più gravi di quelle verificabili con tecniche tradizionali di gestione del suolo. In questo senso anche il ricorso al set-aside non sembra offrire particolari garanzie antierosive; sebbene la presenza di una uniforme cotica erbosa riduca notevolmente i rischi di erosione, la sua formazione spontanea è spesso molto lenta e durante l'insediamento si possono verificare pericolosi fenomeni di erosione.

Lavorazioni del terreno e rilasci di azoto

Per cercare di capire come le tecniche di lavorazione del terreno influenzino la dinamica del processo di lisciviazione dell'azoto è opportuno ricordarne brevemente le cause principali:

- presenza nel terreno di umidità e porosità sufficienti a determinare un flusso idrico potenziale verso gli orizzonti più profondi fin'anche in prossimità della falda idrica;
- la concomitante disponibilità di N solubile nel terreno (forma nitrica del nutriente).

I rischi di contaminazione da nitrati delle acque profonde risultano quindi legati al tipo di piovosità e di suolo, alla tecnica di fertilizzazione azotata, al tipo di avvicendamento colturale,

alla tecnica di irrigazione e di lavorazione del terreno.

L'influenza che quest'ultima esercita sul processo di lisciviazione dei nitrati è in gran parte dovuta alle modificazioni fisiche, chimiche e microbiologiche che la lavorazione determina nel terreno agrario. In particolare, alcune caratteristiche fisiche ed idrologiche del suolo possono risultare alterate al punto da influenzare i fenomeni di percolazione (porosità, permeabilità) e di modificare i ritmi di mineralizzazione della sostanza organica rendendo così potenzialmente lisciviabili, anche in tempi diversi, quantità differenti di azoto nitrico.

Per quanto riguarda gli aspetti relativi alle caratteristiche idrologiche del terreno, è noto che generalmente le tecniche di lavorazione semplificate inducono (almeno nei primi anni della loro adozione) un aumento della densità apparente del terreno e quindi una riduzione complessiva della sua porosità (della macroporosità in particolare) e conseguentemente della permeabilità del terreno stesso. Di conseguenza si potrebbe desumere che i terreni lavorati siano maggiormente esposti al rischio di lisciviazione risultando in genere più permeabili.

In realtà questa ipotesi sembra non essere sempre confermata: nel caso dell'aratura, infatti, la formazione di strati compatti sottosuperficiali può rallentare il movimento dell'acqua verso gli orizzonti più profondi mentre, nel caso della non lavorazione, a seguito della già citata macroporosità strutturale e biotica che si verrebbe a creare nel tempo nei terreni argillosi di tipo vertico non lavorati, si potrebbe verificare un incremento della permeabilità del terreno.

Secondo quest'ultima ipotesi, peraltro ampiamente accreditata all'Estero, potrebbero essere proprio le lavorazioni più semplificate quelle maggiormente predisponenti alla lisciviazione dei nitrati, anche in considerazione della maggiore umidità spesso rilevata lungo il profilo colturale dei terreni non lavorati.

Ovviamente, tra i due estremi rappresentati da una parte dall'aratura profonda e dall'altra dalla non-lavorazione esistono molte situazioni intermedie che influenzano in modo diverso la permeabilità del terreno e quindi indirettamente il processo di lisciviazione dei nitrati. Tecniche quali la disciatura per esempio, potrebbero determinare nei confronti dell'aratura una maggiore permeabilità del terreno grazie all'assenza di strati compatti sottosuperficiali; questi ultimi risulterebbero altresì in grado di ridurre drasticamente la permeabilità anche dei terreni sottoposti ripetutamente a lavorazioni minime realizzate con erpice a dischi.

Ma affinché si verifichi il processo di lisciviazione dei nitrati è comunque necessario che nel terreno si determinino le condizioni per la produzione e l'accumulo dei nitrati. A questo riguardo, conoscendo il tipo di alterazione che ciascun processo chimico implicato nel ciclo dell'azoto subisce in relazione alla tecnica di lavorazione, si potrebbe stimare la maggiore o minore probabilità di lisciviazione di questo fondamentale elemento nutritivo in relazione al tipo di lavorazione adottato.

Cercando di schematizzare il problema, si potrebbe supporre che l'azoto potenzialmente lisciviabile (N_{lisc}) derivi dalla differenza tra gli apporti di azoto al sistema (azoto da fertilizzazione, N_{fert} e da mineralizzazione, N_{min}) e le perdite dal sistema stesso (azoto asportato dalla coltura, N_{asp} ; perso per immobilizzazione, N_{imm} ; per denitrificazione, N_{den} ; per volatilizzazione, N_{vol} e per ruscellamento superficiale, N_{off}).

Le quantità di azoto apportate con la fertilizzazione (N_{fert}) e quelle asportate dalle colture (N_{asp}) variano ovviamente in base al livello di fertilizzazione adottato ed alla produttività espressa dalle colture nelle diverse condizioni di tecnica di lavorazione del terreno. In genere una maggiore efficienza della fertilizzazione azotata sembra ottenibile con la lavorazione

convenzionale rispetto alle diverse tecniche di lavorazione ridotta. Ciò, probabilmente, a causa della maggiore "immobilizzazione" e "volatilizzazione" dell'azoto più volte registrata in terreni lavorati superficialmente (Gilliam e Hoyt, 1987; Germon e Taureau, 1991). Talvolta però, in virtù della maggiore umidità del terreno non lavorato, con sufficienti disponibilità di N da concimazione, l'efficienza della fertilizzazione potrebbe risultare più alta (almeno per certe colture) adottando tecniche semplificate di lavorazione. In via preliminare, assumeremo quindi come costanti sia le quantità di azoto apportate come fertilizzante sia quelle asportate dalla coltura in termini di biomassa. Ovviamente, a parità di fertilizzante distribuito, qualora l'adozione della non lavorazione o di altre tecniche semplificate inducesse una minore efficienza della concimazione o sostanziali riduzioni delle rese, e quindi delle asportazioni di N, senza un concomitante, evidente fenomeno di immobilizzazione, i rischi di lisciviazione nei terreni non arati tenderebbero ad aumentare.

Gli altri processi chimici coinvolti nel ciclo dell'azoto nel terreno risultano invece variamente influenzati dalle "alterazioni" di natura fisica, chimica e microbiologica legate al tipo di lavorazione. La semplificazione degli interventi preparatori del letto di semina, infatti, riducendo in varia misura la densità apparente del terreno negli orizzonti più superficiali, limita più o meno sensibilmente l'arieggiamento dello stesso e rende più costante il suo regime termico. Tale effetto risulta poi ulteriormente rafforzato dalla maggiore umidità che si viene a determinare nei primi centimetri di terreno "non lavorato", anche a causa della minore evaporazione determinata dalla presenza dei residui colturali sulla superficie del terreno. L'aumento della densità apparente e dell'umidità del terreno determinano a loro volta una riduzione della temperatura media del terreno ed una sua maggiore lentezza al riscaldamento. Nel caso della non lavorazione il maggiore accumulo dei residui colturali può inoltre indurre ad un progressivo incremento della sostanza organica in superficie e nel lungo periodo ad una progressiva acidificazione dei primi centimetri di terreno. Tali modificazioni condizionano l'attività dei microorganismi naturalmente presenti nel terreno e direttamente in grado di influenzare i processi di nitrificazione e denitrificazione. Al riguardo, poi, è appena il caso di ricordare che anche la qualità dei residui colturali (e quindi la tipologia degli ordinamenti colturali) giocano un ruolo fondamentale nei processi di mineralizzazione ed immobilizzazione.

Mineralizzazione - Immobilizzazione

La trasformazione dell'azoto dalla forma organica in quella minerale (mineralizzazione) sembra essere in molti casi decisamente più rapida nei terreni lavorati profondamente. Numerose ricerche condotte su suoli che in precedenza non avevano subito alcuna lavorazione hanno chiaramente evidenziato questo aspetto, stimando da 0.7 a 7 kg/cm di terreno/ha/anno la quantità di N mineralizzata in condizioni semplificate di lavorazione, rispetto ai 3-22 kg/cm di terreno/ha/anno di N registrati con la tecnica di aratura (Gilliam e Hoyt, 1987). Ne deriva, a conferma dell'ipotesi di cui sopra, l'importanza delle tecniche semplificate nel mantenimento o nel progressivo incremento del tasso di sostanza organica, più volte osservato nei suoli non lavorati o lavorati superficialmente rispetto a quelli arati. Anche le ricerche condotte su terreni precedentemente lavorati e successivamente convertiti alla "non lavorazione", hanno comunque messo in evidenza una sostanziale riduzione della mineralizzazione della sostanza organica nel caso della non lavorazione ed una maggiore immobilizzazione dell'azoto (conversione dalla forma minerale a quella organica) nei primi 30 cm di terreno rispetto alla

lavorazione convenzionale (circa 1 kg/cm terreno/ha/anno). La maggiore immobilizzazione dell'azoto nei terreni non lavorati sembra manifestarsi con maggiore frequenza nel caso di colture a ciclo estivo e con abbondante produzione di residui colturali ad elevato rapporto C/N (Fox e Bandel, 1986).

I fenomeni di cui sopra sembrano strettamente connessi al tipo di modificazioni dell'ambiente edafico indotte dalla mancata lavorazione del terreno: minore arieggiamento del suolo, temperature più basse in primavera, concentrazione in superficie dei residui colturali. Ma altre alterazioni delle caratteristiche del terreno indotte dalla non lavorazione potrebbero invece determinare un incremento dei fenomeni di mineralizzazione rispetto alle tecniche ordinarie: maggiore e più costante livello di umidità dello strato superficiale del terreno e conseguente stabilità della biomassa microbica.

Risulta quindi estremamente difficile valutare "a priori" gli effetti delle tecniche di lavorazione sul fenomeno di mineralizzazione ed immobilizzazione. Vi è comunque una certa uniformità di vedute circa la minore disponibilità di azoto per le colture nei primi anni di introduzione dei sistemi di lavorazioni semplificate, attribuibile principalmente alla riduzione dei processi di mineralizzazione ed all'incremento dell'immobilizzazione. Secondo vari autori tutto ciò determinerebbe nel lungo periodo anche un aumento del "pool" di azoto potenzialmente mineralizzabile: 122 kg/ha/anno secondo Free (1970), 54 Kg/ha/anno secondo Moschler et al. (1972) che potrebbe garantire alle colture una disponibilità di azoto molto più frazionata nel tempo rispetto ai sistemi di lavorazione convenzionali (Varco et al., 1989) a tutto vantaggio di colture a ciclo indeterminato o poliennali rispetto ad altre che necessitano di notevoli quantità di azoto in un periodo limitato di tempo (mais per esempio).

Del resto, se negli anni non si verificasse un simile fenomeno, assisteremmo, nei terreni poco disturbati, ad un incremento progressivo dell'azoto organico nel tempo; anche se ciò può verificarsi per alcuni anni, sembra poco verosimile che si possa ripetere indefinitamente nel lungo periodo. Con molte probabilità, si può invece ipotizzare il raggiungimento - in tempi più o meno lunghi e comunque variabili in funzione del clima e dell'ordinamento colturale - di uno "stato di equilibrio" diverso per ciascun sistema di lavorazione del terreno.

La qualità dei residui colturali (sostanzialmente legata al loro rapporto C/N) e la loro profondità di interramento influenzano a loro volta i rapporti tra mineralizzazione ed immobilizzazione dell'azoto e, di conseguenza, il tempo eventualmente necessario a raggiungere la condizione di equilibrio sopra ricordate. L'adozione della lavorazione minima (a 5-10 cm di profondità realizzata con erpici a dischi o rotativi) in avvicendamenti cerealicoli caratterizzati da residui colturali ad alto rapporto C/N, potrebbe ancor più favorire i fenomeni di immobilizzazione dell'azoto rispetto alla semina diretta, con la quale si determina invece un minore interramento dei residui (Fredrickson et al., 1982).

Nitrificazione

Anche la trasformazione microbica dell'azoto ammoniacale in azoto nitrico (forma estremamente solubile e quindi più soggetta ai fenomeni di lisciviazione) risulta influenzata dalla tecnica di lavorazione del terreno. Il processo di nitrificazione è regolato essenzialmente dalla temperatura, dalla concentrazione dell'ossigeno nel suolo e dalla sua umidità.

Il maggior arieggiamento e la più alta temperatura che quasi sempre caratterizzano lo strato smosso dei terreni lavorati sembrano senz'altro in grado di influenzare positivamente l'attività

della flora microbica preposta a questa particolare trasformazione (Doran 1982) e quindi di stimolare la produzione di nitrati. Per questi motivi in molti casi è stata rilevata (sia all'inizio che alla fine dell'inverno) una maggiore quantità di nitrati lungo il profilo dei terreni arati rispetto a quelli non lavorati o interessati dalla lavorazione minima (Dowdell e Cannell, 1976; Patruno et al., 1986; Germon e Taureau, 1991). Gli effetti positivi indotti dalla lavorazione del terreno sul processo di nitrificazione possono risultare però attenuati dalla più rapida essiccazione del suolo nel periodo estivo, specialmente dopo le lavorazioni estive, e dalla perdita di struttura a cui possono andare soggetti terreni a tessitura limosa o sabbio-limosa a seguito di lavorazioni inappropriate.

Nel caso delle lavorazioni semplificate, ed in particolare della non-lavorazione, l'attività nitrificante trova un limite nella scarsa aerazione dei terreni e nella minore temperatura del suolo in primavera. Di contro, in estate, la migliore conservazione dell'umidità del terreno indotta dalle tecniche di lavorazione semplificate negli strati più superficiali, sembrerebbe garantire una maggiore attività nitrificante (Rice e Smith, 1983; Smith e Rice, 1983; Groffman, 1985; Staley et al., 1990); in inverno, in terreni scarsamente drenati, l'umidità eccessiva e quindi la scarsa presenza di ossigeno limiterebbero drasticamente il processo di nitrificazione. Anche in terreni di per sé acidi o sub-acidi, la progressiva acidificazione a cui talvolta sono soggetti gli orizzonti più superficiali dei suoli "non lavorati", potrebbe ridurre sensibilmente l'attività della flora nitrificante.

Su base annua quindi, le differenze tra le diverse tecniche di lavorazione risultano talvolta scarsamente apprezzabili (Gilliam e Hoyt, 1987) come testimoniato da numerose altre esperienze (soprattutto statunitensi) dalle quali non sembra emergere un chiaro effetto della lavorazione del terreno sul processo di nitrificazione.

Le differenti conclusioni a cui pervengono le ricerche statunitensi da una parte ed quelle europee dall'altra suggeriscono quindi l'esistenza di una forte interazione tra tecnica di lavorazione, attività nitrificante, tipo di terreno ed andamento climatico. Probabilmente, negli ambienti caratterizzati da scarse disponibilità idriche e forti domande evapotraspirative, in cui le tecniche di lavorazione semplificate riescono a conservare più a lungo l'umidità del terreno e quindi garantire una più costante attività microbica, la "produzione" di nitrati nel terreno non si modifica sostanzialmente per effetto delle tecniche di lavorazione del terreno. Di contro, in situazioni climatiche con minori problemi di rifornimento idrico il fattore limitante l'attività dei batteri nitrificanti non risulterebbe tanto l'umidità del terreno quanto la sua aerazione, temperatura ed acidità; in questi casi sarebbe invece da attendersi una maggiore produzione di nitrati nei terreni comunque lavorati rispetto a quelli assoggettati a lavorazioni ridotte o a non-lavorazione. Ciò potrebbe avvenire in misura tanto maggiore quanto maggiore è la profondità di lavorazione (Patruno et al., 1986).

Anche l'epoca di lavorazione può svolgere un ruolo importante nel processo di nitrificazione. In relazione all'ambiente ed in particolare alle temperature ed alla piovosità, le tipiche arature estive determinando un rapido arieggiamento del terreno ed un suo altrettanto rapido essiccamento possono limitare la nitrificazione nei mesi più caldi dell'estate ma stimolarla subito dopo l'esecuzione della lavorazione e non appena la piovosità di fine state avrà riportato il terreno a livelli di umidità sufficienti. Di contro, le lavorazioni autunnali alle quali fa seguito un decorso climatico generalmente sfavorevole ai processi di nitrificazione (elevata piovosità e basse temperature), potrebbero contenere la produzione di nitrati. Effetto decisamente

opposto potrebbero invece sortire le arature primaverili, ma esse vengono generalmente realizzate in funzione di una coltura a ciclo primaverile-estivo e quindi un eventuale eccesso di nitrati nel terreno potrebbe essere utilizzato dalla coltura stessa.

In ogni caso anche la qualità e la gestione dei residui colturali possono influenzare negativamente la produzione di nitrati favorendo piuttosto l'immobilizzazione dell'azoto anziché la sua mineralizzazione e nitrificazione. Un riferimento esemplificativo al riguardo può essere rappresentato dalla diversa possibile gestione dei residui colturali dei cereali a paglia.

Generalmente nelle aziende cerealicole ove la lavorazione principale del terreno è rappresentata dall'aratura, le stoppie possono essere interrate o bruciate mentre laddove si praticano lavorazioni semplificate (minima o non-lavorazione) generalmente esse restano sulla superficie del terreno oppure, ancora una volta, bruciate. A seconda del tipo di gestione dei residui che si adotterà in azienda la produzione di nitrati potrà risultare diversa. Infatti secondo alcune recenti esperienze (Germon e Taureau, 1990) indipendentemente dalla tecnica di lavorazione adottata, la combustione delle paglie sembrerebbe indurre una maggiore presenza di nitrati nel terreno (peraltro decisamente più alta con la lavorazione tradizionale) rispetto al loro interrimento e/o al loro parziale abbandono sulla superficie del terreno. Da rilevare anche che interrando i residui (nel caso dell'aratura) o bruciando le stoppie (caso della semina diretta) la quantità di azoto nitrico nel terreno non si differenzerebbe in maniera apprezzabile in funzione della tecnica di lavorazione.

Denitrificazione e volatilizzazione

A differenza di quanto precedentemente ricordato per la nitrificazione, sembra esistere, a livello bibliografico, una maggiore concordanza di risultati relativamente alla influenza della tecnica di lavorazione del terreno sul processo di denitrificazione. La trasformazione dell'azoto da forme assimilabili dalla pianta a forme gassose non assimilabili (monossido di azoto e azoto molecolare) risulta sovente sensibilmente più accelerata in terreni lavorati superficialmente o non lavorati; le cause sembrano riconducibili alle minori temperature indotte da queste tecniche sul terreno (Broder et al., 1984) e, soprattutto, alle accentuate condizioni di anaerobiosi che possono verificarsi più facilmente a seguito della ridotta aereazione e dell'eccessiva umidità dei suoli (Thomas et al., 1973; Rice e Smith, 1982; Linn e Doran, 1984b; Groffman, 1985; Aulakh e Rennie, 1986; Dowdell et al., 1987; Staley et al., 1990). La maggiore attività denitrificante potenziale dei suoli non lavorati - o che comunque abbiano subito una riduzione della densità apparente o della permeabilità - sembra anche confermata dalla maggiore presenza, nei primi 15 cm di questi suoli, degli specifici microrganismi che operano la riduzione dei nitrati e/o nitriti (Doran, 1980; Linn e Doran, 1984a).

Anche in questo caso - come già osservato per il processo di nitrificazione - le differenti caratteristiche climatiche possono mitigare o esaltare l'effetto prodotto dal tipo di lavorazione sulla denitrificazione. Soprattutto in climi umidi - ove per motivi diversi possono talvolta verificarsi nel terreno condizioni di saturazione o sovrassaturazione (comprensori con falda freatica superficiale ed inefficiente sistemazione idraulico-agrafia) - le perdite per denitrificazione potrebbero risultare simili anche tra tecniche di lavorazione molto diverse fra loro come la non-lavorazione e l'aratura. Negli ambienti dove le suddette condizioni si verificano raramente, invece, le perdite di azoto per denitrificazione potrebbero risultare superiori con l'adozione di tecniche molto semplificate di preparazione del terreno.

Comunque sulla base delle esperienze di cui sopra, l'entità delle perdite di azoto per denitrificazione imputabili a queste tecniche di lavorazione sembra oscillare dalle poche unità/ha/anno fino ai 20-25 kg di azoto per ettaro e per anno. Tali stime, però, concordano solo in parte con i risultati sperimentali ottenuti in Francia da Germon et al. (1982), dove si sarebbero osservate differenze talvolta più contenute tra l'aratura e la non-lavorazione: circa 6 Kg/ha/anno in assenza di fertilizzazione e circa 50 kg/ha/anno a distanza di un mese dalla concimazione di copertura.

Anche relativamente ai fenomeni di volatilizzazione dell'azoto distribuito in copertura (specie quello ureico) sembra ormai assodata una maggiore perdita di questo elemento nel caso della non-lavorazione del terreno ed in particolare nel periodo estivo.

Ruscellamento superficiale

L'effetto antierosivo esercitato dalle lavorazioni ridotte e dalla semina diretta in particolare, è ormai ampiamente riconosciuto (Follett e Stewart, 1985; Wendt e Burwell, 1895; Poincelot, 1986). La quantità di azoto dispersa nell'ambiente attraverso questa via risulta quindi generalmente inferiore adottando tecniche semplificate di lavorazione del terreno. Tale riduzione non è però del medesimo ordine di grandezza di quella osservata o stimabile in termini di terreno eroso. Infatti, mentre l'adozione di un criterio di proporzionalità diretta sembra accettabile nel caso dell'azoto organico associato alle particelle di terreno, per quanto riguarda l'azoto disciolto nell'acqua di ruscellamento, i deflussi provenienti da terreni lavorati superficialmente o non lavorati, presentano spesso una maggiore concentrazione di azoto (McDowell e McGregor, 1980; Alberts et al., 1981; Baker e Laflen, 1982; Angle et al., 1984). Ciò sembra imputabile allo scarso interrimento del fertilizzante azotato ed all'accumulo dell'azoto negli orizzonti più superficiali maggiormente soggetti al fenomeno erosivo. Sotto questo particolare aspetto, le tecniche semplificate di lavorazione del terreno possono anche indurre un maggiore allontanamento dell'azoto in soluzione e quindi una maggiore contaminazione dei corpi idrici qualora i deflussi superficiali non risultassero inferiori a quelli della tecnica convenzionale.

Nel complesso sembra possibile affermare che l'azoto totale perso per ruscellamento superficiale risulta generalmente inferiore con le tecniche di lavorazione semplificata o con la non-lavorazione (Fox e Bandel, 1986; Gilliam e Hoyt, 1987; Bonari et al. 1995).

Conclusioni

Ricollegandosi all'ipotesi formulata in precedenza secondo la quale azoto potenzialmente lisciviabile (N_{lisc}) risulterebbe dalla differenza tra gli apporti di azoto al sistema (N_{fert} e N_{min}) e le perdite dal sistema stesso (N_{asp}, N_{nimm}, N_{den}, N_{vol} e N_{off}), si potrebbe ritenere, in prima approssimazione, che le tecniche di lavorazione semplificate ed in particolare la non-lavorazione siano in grado di ridurre tale differenza e quindi risultare potenzialmente meno predisponenti al fenomeno della lisciviazione dei nitrati.

Infatti da quanto esposto, la non lavorazione del terreno, oltre a determinare una diminuzione degli apporti al sistema legata alla minore consistenza dei processi di mineralizzazione e nitrificazione, induce sicuramente un notevole aumento delle perdite di azoto dal sistema stesso attraverso l'incremento dei processi di immobilizzazione, denitrificazione e volatilizzazione; fanno eccezione le perdite di azoto legate all'erosione, quasi sempre inferiori a

quelle dei terreni lavorati. Anche le tecniche semplificate di lavorazione del terreno - che prevedono comunque una lavorazione, ma eseguita in maniera molto superficiale (p.e. con un erpice a dischi alla profondità di 5-10 cm) - possono ugualmente sortire un effetto di maggiore contenimento degli eventuali fenomeni di lisciviazione rispetto all'aratura tradizionale. La maggiore concentrazione dei residui colturali nei primi centimetri di terreno che in tal modo si consegue, può infatti condurre ad una consistente immobilizzazione dell'azoto, che può risultare anche superiore a quella ottenibile con la non lavorazione, e ciò soprattutto quando i residui colturali interrati sono caratterizzati da un elevato rapporto C/N (paglie di grano, stocchi di mais, ecc.)..

Sulla base di molte ricerche realizzate su questo argomento, sembrerebbe però che i maggiori rischi di lisciviazione siano attribuibili proprio ai sistemi semplificati di lavorazione. Le condizioni maggiormente predisponenti al fenomeno della lisciviazione dei nitrati nei terreni sottoposti a queste tecniche potrebbero quindi dipendere non tanto da una maggiore quantità di nitrati da lisciviare quanto ad una maggiore permeabilità dei terreni stessi. Infatti, come ricordato in precedenza, in molti casi le tecniche di lavorazione semplificate ma in particolare la non-lavorazione, tendono col tempo a creare una rete di macropori continui che pur rappresentando una scarsa percentuale della porosità complessiva, determina un notevole incremento della permeabilità del terreno (Bauma, 1991).

Di conseguenza, l'impiego ripetuto negli anni della non-lavorazione o di altre tecniche semplificate nei terreni che naturalmente tendono ad autostrutturarsi potrebbe risultare particolarmente a rischio dal punto di vista dell'inquinamento da nitrati delle acque profonde. Minori rischi potrebbero derivare dall'adozione di queste tecniche in terreni limosi o sabbio-limosi difficilmente autostrutturabili.

Nei terreni declivi, le tecniche di lavorazione ridotta e/o la non-lavorazione, determinano in genere una riduzione delle perdite di nitrati grazie alla riduzione dell'erosione laminare o incanalata e, laddove si verificano, anche del ruscellamento superficiale.

Appare comunque evidente, per la complessità delle variabili implicate nel processo di lisciviazione, che non è possibile indicare con sufficiente approssimazione quale sia il comportamento dell'azoto attraverso il profilo colturale in relazione alla tecnica di lavorazione adottata. Ciascuna delle possibili tecniche di lavorazione, in rapporto alle prevalenti condizioni climatiche, pedologiche e di tecnica colturale (quantità di fertilizzante apportato ed epoca di distribuzione) interagirà con queste (piovosità in particolare) e con la natura del terreno rendendo più o meno probabile il verificarsi di perdite di azoto per lisciviazione.

Lavorazione del terreno ed erbicidi

Sebbene le tecniche di lavorazione semplificate ed in particolare della non-lavorazione consentano indubbi benefici ambientali, quali la riduzione dell'erosione e la conservazione della sostanza organica dei terreni agrari, il maggiore impiego di diserbanti derivante dalla loro adozione (soprattutto nei primi anni), potrebbe rendere queste tecniche potenzialmente più rischiose per l'ambiente rispetto a quelle convenzionali (Hinkle, 1983). In genere, le tecniche semplificate richiedono infatti un maggiore impiego di prodotti residuali distribuiti in pre- o post-emergenza della coltura principale e, nel caso della non-lavorazione, anche l'uso sistematico di erbicidi totali per eliminare la flora avventizia presente sul terreno prima della semina. Mentre in quest'ultimo caso l'uso di alcuni prodotti a base di glyfosate non sembra

avere rilevante impatto sull'ambiente vista la rapidità con cui questo principio attivo viene degradato, il massiccio impiego di erbicidi in post emergenza rappresenta invece una fonte potenziale di inquinamento. In ogni caso, sia che nel tempo permanga la necessità di un maggiore impiego di erbicidi o che, come postulato da Fawcett (1987), nel lungo periodo i sistemi di lavorazione ridotta non richiedano più di un uso addizionale di erbicidi, le profonde modificazioni fisiche chimiche e microbiologiche del terreno indotte nel tempo da queste tecniche condizionano profondamente il destino dell'erbicida nell'ambiente alterandone i tempi ed i modi di trasformazione e ritenzione nel terreno ed eventualmente le modalità di trasporto (Plimmer, 1992). Di conseguenza, in relazione al tipo di alterazione dei processi di cui sopra, tecniche di lavorazione legate ad un uso maggiore di erbicidi potrebbero non risultare, in termini di impatto ambientale, molto diverse da quelle ordinarie che fanno minore ricorso al diserbo chimico.

Lavorazione del terreno e emissioni di GHG

E' ormai assodato che lavorazioni del terreno profonde e frequenti incrementano la mineralizzazione della sostanza organica presente nel suolo e quindi aumentano le emissioni di CO₂ dal suolo (emissioni dirette). Tale processo assume rilevanza maggiore nei terreni ricchi di sostanza organica, in ambienti temperato-caldi come l'Italia centrale e meridionale, nei sistemi colturali poco differenziati e con scarso apporto di residui colturali o altre forme di sostanza organica. Indirettamente, la frequenza e la profondità delle lavorazioni incidono sull'aumento delle emissioni di CO₂ anche a seguito della elevata quantità di carburanti e lubrificanti utilizzata dalle trattrici.

Laddove necessario, il superamento di queste problematiche potrà essere affrontato a livello aziendale riducendo profondità e frequenza degli interventi, ovvero sostituendo l'aratura con altre tecniche come la discissura, la lavorazione minima e la non-lavorazione (tecniche conservative).

Il passaggio a tecniche alternative all'aratura può avvenire in modo graduale modulandolo anche in relazione alle esigenze delle colture alle quali destinarle. La discissura in molte aziende agricole di pianura e di collina è ormai diventata la tecnica di riferimento; la riduzione dei tempi di lavoro e la conseguente tempestività di intervento sono i principali punti di forza di questa tecnica che trova la migliore applicazione nei terreni a grana fine durante l'estate. Di contro, non prevedendo il rivoltamento della "fetta" (come l'aratura), la discissura potrebbe determinare una maggiore germinazione dei semi di piante infestanti presenti sulla superficie del terreno.

L'introduzione in azienda delle lavorazioni minime e/o della non-lavorazione (tecniche ancora più "virtuose" in termini di riduzione delle emissioni) implica maggiore attenzione rispetto all'introduzione della discissura. Lavorare il terreno molto superficialmente (10-12 cm) potrebbe condizionare negativamente la crescita di alcune colture e determinare una forte insorgenza di piante infestanti con conseguenze negative sulla resa utile e quindi sulla redditività delle colture stesse. Per ridurre questi rischi sarebbe opportuno: (i) utilizzare attrezzi capaci di non creare sole di lavorazione sottosuperficiali che potrebbero rallentare l'approfondimento dell'apparato radicale e facilitare il ristagno idrico (da questo punto di vista, l'uso dell'erpice a dischi è sconsigliabile); (ii) riservare questa tecnica di preparazione del terreno alle colture che hanno

dimostrato di adattarsi meglio a terreni non lavorati convenzionalmente (le foraggere annuali, gli erbai, le colture di 2° raccolto, i cereali autunno-vernini, il favino, il mais irriguo, ecc.). Data la maggiore insorgenza di piante infestanti attesa con queste tecniche, per le colture da granella seminate su lavorazione minima è indispensabile preventivare uno o 2 trattamenti erbicidi.

Ancora più difficile è ottenere buoni risultati produttivi dalle colture seminate su terreno non-lavorato (tecnica che offre i migliori risultati dal punto di vista del contenimento delle emissioni di gas serra, dell'erosione idrica e della conservazione della sostanza organica del terreno. In questo caso non si tratta soltanto di utilizzare correttamente i mezzi tecnici indispensabili alla realizzazione di questa tecnica (scelta e taratura della seminatrice da sodo; scelta e impiego di erbicidi di contatto) ma di modificare un'insieme di pratiche e tecniche gestionali ormai ordinarie per l'azienda al fine di definire, per ogni ambiente, un "sistema sodivo" che le permetta di esprimere tutte le sue potenzialità. Prima di ogni altra considerazione è opportuno ricordare che la non-lavorazione può essere praticata anno dopo anno sul medesimo terreno diversamente avvicendato o essere destinata soltanto ad alcune colture in avvicendamento e quindi trovare applicazione solo periodicamente. Anche se dal punto di vista agro-ambientale i migliori risultati sono stati registrati a seguito dell'applicazione continua di questa tecnica, l'applicazione periodica pur determinando ancora un vantaggio rispetto alle tecniche di lavorazione convenzionale, offre molte più garanzie di riuscita. Ciò deriva dal fatto che, nell'ambito dell'avvicendamento colturale, la non-lavorazione viene destinata alla specie maggiormente in grado di adattarsi alle condizioni fisiche e malerbologiche del sistema colturale indotte dalla tecnica. A questo riguardo i cereali autunno vernini (senza distinzione) sono risultate le colture da reddito più facilmente gestibili su terreno non-lavorato: in buone condizioni di controllo della flora infestante, le flessioni produttive spesso connesse all'impiego della non-lavorazione possono essere irrilevanti (in annate siccitose si può assistere anche ad un miglioramento delle rese dei cereali su terreno sodo). Le foraggere annuali, gli erbai e il favino sono altre colture a ciclo autunno-vernino in grado di adattarsi bene a questa tecnica. Le colture a ciclo primaverile-estivo risultano spesso di più difficile gestione (problemi di rifornimento idrico); per queste colture i migliori risultati sono stati ottenuti inserendo tra il cereale e il rinnovo una coltura di copertura da devitalizzare prima della semina su sodo in modo da offrire al sistema una copertura vegetale in grado di ridurre l'evapotraspirazione della coltura e rallentare lo sviluppo delle infestanti. Con questa tecnica, buoni risultati produttivi sono stati ottenuti in Toscana con il girasole.

Per tutte le colture è comunque di fondamentale importanza riuscire a controllare adeguatamente la flora infestante che su terreno non lavorato è più aggressiva. In genere si devono prevedere almeno 2 interventi: uno prima della semina, volto a devitalizzare la vegetazione presente e quindi a base di erbicidi totali (meglio se sistemici), e un secondo di post-emergenza a base di erbicidi di contatto visto che l'impiego dei residuali potrebbe risultare compromesso dalla notevole presenza di residui colturali sulla superficie del suolo. Infatti, affinché questo sistema di gestione del terreno manifesti i suoi aspetti positivi è necessario che il terreno risulti coperto per almeno il 50% da residui colturali; ne deriva che la scelta di praticare la non-lavorazione non dovrebbe essere disgiunta da quella di conservare i residui colturali.

La presenza di residui colturali sul terreno abbinata alla coltura ripetuta della stessa specie possono stimolare l'insorgenza di malattie fungine o lo sviluppo di parassiti specifici; diviene

quindi molto importante inserire la non-lavorazione in un sistema sufficientemente diversificato e evitare di applicare questa tecnica sulla stessa coltura in modo consecutivo. Sempre a livello di sistema, rispetto a quello convenzionale, sarebbe opportuno anticipare le semine su sodo in autunno e posticiparle in primavera (il terreno sodo è più fresco in autunno e più freddo in primavera).

La non-lavorazione del terreno può trovare proficua applicazione anche nelle aziende frutticole e in particolare in quelle viticole e olivicole spesso localizzate in ambienti collinari dove uno dei principali problemi agro-ambientali è costituito dall'erosione del terreno. In ogni caso sarebbe meglio applicare la tecnica di non-lavorazione nei terreni ben drenati, dotati di sistemazioni idraulico-agrarie e con una adeguata componente di argilla espandibile in modo da dare tempo al terreno di auto-strutturarsi (a questo riguardo i migliori risultati, anche agronomici, si potranno osservare dopo alcuni anni dall'introduzione della tecnica).

Altri effetti correlati - Nel lungo periodo la riduzione della frequenza e dell'intensità delle lavorazioni del terreno fino al limite della non-lavorazione, potrebbero consentire anche un miglioramento complessivo della fertilità del terreno, un maggiore controllo dell'erosione idrica e una riduzione dei costi variabili delle colture.

Efficacia - Nel complesso, interventi in questo settore dell'agrotecnica presentano una efficacia medio-alta in termini di riduzione delle emissioni. In particolare, la lavorazione minima e segnatamente la non-lavorazione, sono risultate quelle maggiormente in grado di ridurre le emissioni di CO₂ dal terreno ma potrebbero non essere in grado di ridurre altrettanto efficacemente quelle di protossido di azoto (N₂O) qualora la loro applicazione determinasse un eccessivo compattamento del terreno con conseguente scarso arieggiamento e ristagno idrico (fattori che stimolano la formazione di protossido di azoto). In termini di emissioni nette (differenza tra assorbimenti-emissioni) la capacità della non lavorazione del terreno di ridurre il rilascio di GHG è comunque apprezzabile grazie alla sua notevole capacità di aumentare il contenuto in C organico del terreno e quindi contrastare il fenomeno dei rilasci di gas-serra con la sua capacità di "sequestro" del carbonio nel suolo sotto forma di sostanza organica.

Potenziale di diffusione – Il potenziale di espansione delle tecniche correttive fino alla discissura compresa sarebbe rilevante visto che ancora moltissime aziende arano il terreno a profondità mediamente superiore ai 30 cm.

Il potenziale di diffusione della lavorazione minima e non lavorazione (tecniche sostitutive a quelle convenzionali) è ancora molto ampio considerando che nel loro insieme esse non raggiungono il 10% della SAU nazionale. Data la spiccata capacità delle tecniche di lavorazione più semplificate (lavorazione minima e non-lavorazione) di migliorare la fertilità del terreno (specialmente dei terreni argillosi auto strutturanti), prevenirne l'erosione, ridurre i costi di preparazione del terreno e consentire anche a colture come i cereali vernini, le foraggere e il favino (tipicamente avvicendati nelle aree collinari) di ottenere produzioni soddisfacenti, la loro diffusione sul territorio regionale sarebbe auspicabile anche nei terreni più acclivi.

Sulla base delle attuali conoscenze, data la necessità di impiegare erbicidi chimici connessa all'applicazione della tecnica di non-lavorazione del terreno, la diffusione di questa tecnica trova difficoltà nelle aziende biologiche e biodinamiche.

Vincoli – L'applicazione di tecniche "correttive" come la riduzione della profondità delle lavorazioni e/o la riduzione della loro frequenza sottintende il superamento di alcune "barriere" tecniche/gestionali; tra queste l'adeguamento delle attrezzature aziendali (aratri polivomere più

adatti a lavorazioni superficiali; discissori a più ancore; trattrici di maggiore potenza finalizzata all'aumento del fronte di lavoro anziché alla sua profondità; seminatrici da sodo per colture di secondo raccolto, ecc.) e dell'ordinamento produttivo (inserimento foraggere poliennali avvicendate).

L'introduzione delle tecniche più conservative in molte aziende richiede un cambiamento significativo nella gestione tecnica dei terreni che a sua volta sottintende maggiore professionalità da parte dell'imprenditore agricolo e rinnovamento del parco macchine aziendale.

Risposta delle colture alle tecniche conservative

E' stato più volte appurato che la risposta produttiva della coltura al variare della tecnica di lavorazione del terreno è comunque diversa in funzione soprattutto del tipo di terreno e dell'andamento climatico considerati.

In questo capitolo verrà illustrato il rapporto esistente tra le suddette modificazioni indotte dalla lavorazione principale del terreno e la risposta produttiva delle principali specie erbacee coltivate nel nostro Paese, anche in relazione ai diversi andamenti climatici che potrebbero verificarsi durante il loro ciclo colturale e nei diversi tipi di suolo.

Cereali autunno-vernini

Prima di prendere in esame gli effetti delle diverse tecniche di lavorazione sulla produttività di queste specie, è opportuno richiamare alcune loro caratteristiche (morfologiche e fisiologiche) e le specifiche esigenze colturali al fine di comprendere meglio i motivi alla base delle minori o maggiori produzioni ottenibili per effetto dell'interazione tra tecniche di lavorazione, andamento climatico e tipo di terreno.

Intanto, la maggior parte dei cereali autunno-vernini (frumento tenero e duro, orzo, avena, segale e triticale) presenta un apparato radicale fascicolato che colonizza facilmente il terreno a disposizione della coltura. Rispetto ad altre specie, infatti, le radici dei cereali a paglia si presentano di diametro ridotto e preferibilmente tendono ad accrescersi in pori di diametro altrettanto piccolo (100-200 micron). Per questi motivi le colture in questione sembrano adattarsi molto bene a tecniche di lavorazione semplificate ed alla non lavorazione. Infatti, la maggiore densità apparente del terreno conseguente all'impiego di queste tecniche "alternative" sembra non limitare l'approfondimento dell'apparato radicale che procederebbe più o meno indisturbato grazie alla porosità "naturale" del terreno ed alla scarsa resistenza alla penetrazione offerta dal suolo che durante il periodo di crescita delle radici risulta, in genere, particolarmente umido.

Tale prerogativa è emersa chiaramente in suoli argillosi con caratteri vertici mentre su terreni fortemente sabbiosi il continuo ripetersi di lavorazioni superficiali realizzate con erpice a dischi ha spesso evidenziato una certa difficoltà dell'apparato radicale dei cereali a paglia ad approfondirsi oltre la suola di lavorazione soprattutto con valori di densità apparente decisamente elevati (1.70-1.75 g cm⁻³).

Tra le altre caratteristiche dell'apparato radicale dei cereali autunno vernini che, interagendo con la tecnica di lavorazione, potrebbero condizionare le rese granellari della coltura, è doveroso ricordare la scarsissima tolleranza di questi al ristagno idrico, sia esso superficiale che sottosuperficiale, sia che si realizzi in fase di germinazione-emergenza o durante

l'accestimento. Sotto questo punto di vista, in condizioni di elevata e prolungata piovosità nel periodo immediatamente successivo alla semina, le tecniche di lavorazione tradizionali (arature più o meno profonde) e la disciatura profonda si sono dimostrate capaci di meglio garantire un più rapido allontanamento delle acque dai primi centimetri del terreno, consentendo una pronta ed omogenea emergenza della coltura ed un adeguato investimento unitario di piante. Nelle stesse condizioni, soprattutto su terreni poco permeabili o scarsamente strutturati, le tecniche di lavorazione semplificate hanno invece fatto lamentare più o meno significativi diradamenti dei seminativi. In queste situazioni e per questi motivi parrebbe opportuno, nel caso si intendano in ogni caso adottare tecniche semplificate di preparazione del terreno, anticipare per quanto possibile l'epoca di semina.

In altri casi invece, con queste stesse tecniche - ed in particolare con la non-lavorazione - sia l'estensione dell'apparato radicale che il suo approfondimento sono risultati decisamente migliori grazie proprio al realizzarsi di una maggiore uniformità del profilo esplorato dalle radici che risulta sostanzialmente privo di strati sottosuperficiali di diversa densità. Infatti, suole di lavorazioni molto consistenti, come quelle che talvolta si formano con l'aratura, oltre a costituire un ostacolo fisico all'approfondimento delle radici, riducono la permeabilità del terreno e determinano ristagni idrici negli strati di terreno al di sopra dello strato compattato che possono così impedire lo sviluppo radicale a quella profondità.

Dal punto di vista nutrizionale - sempre nel caso dei cereali autunno-vernini - i maggiori problemi derivanti dall'adozione di sistemi di lavorazione più o meno semplificati potrebbero essere riconducibili alla disomogenea concentrazione dei fertilizzanti fosfatici e potassici lungo il profilo esplorato dall'apparato radicale rispetto all'aratura tradizionale ed alla minore disponibilità di azoto connessa dalla diversa dinamica dell'elemento nei terreni non arati.

Nel primo caso, infatti, la ripetuta mancanza del rivoltamento dello strato superficiale del terreno induce ad un aumento della concentrazione dei nutrienti meno solubili (P, K) negli strati più superficiali (10-15 cm) determinando nel contempo un impoverimento degli orizzonti più profondi. Date però le scarse esigenze dei cereali a paglia in termini di fosforo e potassio e la loro capacità di esplorare in modo capillare il terreno, questo aspetto non sembra costituire, soprattutto nei terreni ben dotati, un presupposto per sensibili riduzioni delle rese granellari.

Per quanto riguarda l'azoto, il ridotto o mancato interrimento del concime non rappresenta, almeno per queste colture, una fonte di particolare preoccupazione grazie alla elevata mobilità di questo elemento, che ne facilita l'uso e l'assorbimento attraverso distribuzioni in copertura anche in terreni non lavorati. In realtà, in alcuni casi è stata osservata una certa riduzione dell'efficacia dei fertilizzanti azotati nei terreni non lavorati per il cereale e per le altre colture in avvicendamento. Infatti, nel caso delle lavorazioni ridotte e/o della non lavorazione, il fertilizzante azotato distribuito in copertura potrebbe essere intercettato dai residui colturali della specie coltivata in precedenza e non permettere, soprattutto in assenza di piogge, un adeguato intimo contatto col terreno; inoltre, durante i mesi invernali, l'azoto distribuito potrebbe in questi casi andare incontro con maggiore facilità ai processi di denitrificazione in ragione del minor arieggiamento e della maggiore umidità di questi terreni.

Per questi motivi c'è chi ritiene opportuno incrementare di circa il 10-15% il livello della fertilizzazione azotata dei cereali autunno vernini coltivati su terreni non lavorati al fine di ottenere livelli di resa analoghi a quelli ottenibili in condizioni ordinarie di coltivazione.

Tali indicazioni devono comunque essere valutate per ciascun comprensorio cerealicolo in base all'epoca di distribuzione del fertilizzante ed alla piovosità attesa dopo la distribuzione. Concimazioni tempestive seguite da piogge anche di modesta entità non implicano alcuna riduzione dell'efficacia del fertilizzante, che invece potrebbe registrarsi quando a laute concimazioni eseguite su terreno fortemente coperto da residui colturali, non fanno seguito precipitazioni sia pure di lieve entità. In quest'ultimo caso, a differenza del primo, potrebbe risultare utile incrementare il livello di concimazione aumentando il quantitativo di fertilizzante da distribuire nella successiva concimazione di copertura.

Nei sistemi colturali in cui da tempo si ricorre a tecniche di lavorazione minima o alla semina su sodo per tutte le colture in rotazione, il ripetuto accumulo di residui colturali sulla superficie del terreno o negli orizzonti più superficiali determina la formazione di un "pool" di azoto in gran parte di origine organica che, in condizioni idonee di umidità e temperatura (primavera) può gradualmente mineralizzare (grazie anche ad una più costante attività microbica) risultando di estrema importanza per la nutrizione azotata della coltura nella seconda parte del suo ciclo biologico. Ove si verificassero tali condizioni, gli "aggiustamenti" della tecnica di concimazione azotata dovrebbero eventualmente limitarsi ad un'a riduzione più o meno decisa del livello di fertilizzazione dei primi interventi di copertura.

Ovviamente, la disponibilità di macronutrienti non può essere valutata disgiuntamente dalle disponibilità idriche; talvolta, soprattutto negli ambienti del centro e sud Italia, l'umidità del terreno può divenire un fattore limitante la produzione di gran lunga più importante della ridotta disponibilità di azoto o della minore concentrazione di fosforo e potassio negli strati sottosuperficiali del terreno. Sotto questo aspetto le tecniche di lavorazione minima e la non-lavorazione potrebbero invece determinare migliori condizioni di umidità del terreno rispetto alla convenzionale aratura, soprattutto laddove l'immagazzinamento idrico durante l'inverno risulti comunque ridotto o assente e dove la domanda evapotraspirativa della coltura sia particolarmente elevata nei mesi successivi alla fioritura. Ciò potrebbe indurre a rese granellari del cereale dello stesso ordine sia che si adottino tecniche semplificate che convenzionali o, persino, ad una certa superiorità delle prime rispetto alle seconde. Probabilmente, molti dei successi produttivi ottenuti con tecniche di lavorazione minima o non-lavorazione possono essere attribuiti proprio a questa loro prerogativa di garantire un migliore rifornimento idrico alla coltura nella fase finale del ciclo.

Nel caso dei cereali a paglia, la migliore conservazione dell'umidità del terreno può giocare un ruolo importante non soltanto in fase di maturazione della granella, ma anche in fase di germinazione emergenza; talvolta, infatti, il letto di semina per i cereali a paglia può presentarsi particolarmente asciutto e grossolano ed in simili condizioni, qualora il terreno non venga successivamente umettato, la germinazione e l'emergenza risultano più pronte ed omogenee con la lavorazione minima o la non lavorazione rispetto alla tecnica convenzionale di preparazione del letto di semina.

Un altro aspetto dell'agrotecnica dei cereali che potrebbe interagire con la tecnica di lavorazione del terreno influenzando in modo evidente il risultato produttivo è il controllo delle infestanti. Il successo delle tecniche di lavorazione semplificate e della non-lavorazione dipende infatti in larga misura dalla possibilità di poter controllare chimicamente l'atteso maggiore sviluppo di piante infestanti prima e durante la coltura. Per i cereali autunno vernini, la grande disponibilità di principi attivi in grado di contenere ogni tipo di infestazione, sia di graminacee

(monocotiledoni) che di specie a foglia larga (dicotiledoni), sia in pre-emergenza che in post-emergenza, offre ulteriori possibilità di successo alle colture allevate su terreni lavorati con tecniche semplificate o non lavorati affatto. Il problema, per queste colture, diviene quasi esclusivamente di ordine economico, anche se è ormai noto che in determinate condizioni climatiche (scarsa piovosità invernale) ed in sistemi colturali che da tempo utilizzano tecniche di lavorazione ridotta, la quantità di erbicidi impiegata sembra non discostarsi molto da quella dei sistemi convenzionali.

Infine, un'altro aspetto da non sottovalutare nel caso dei cereali autunno vernini coltivati su terreni sodi o lavorati molto superficialmente, sembra essere la maggiore probabilità che si verifichino attacchi fungini al colletto delle piante che potrebbero ridurre l'investimento delle colture e la loro produttività. Su questa possibilità gioca, com'è noto, un ruolo importante soprattutto il tipo di avvicendamento praticato; a questo riguardo proprio la omosuccessione dei cereali a paglia sembra dare le maggiori preoccupazioni.

Talvolta, però, la precessione colturale assume, all'interno del sistema colturale, una importanza tale da risultare comunque condizionante le scelte relative alla successiva tecnica di lavorazione da adottare; ciò dipende principalmente dal tipo e dalla quantità di residui prodotti dalla coltura che precede il cereale, dalla loro gestione e dall'epoca di raccolta. Ottimi risultati si possono ottenere con lavorazioni minime o semina su sodo del frumento dopo specie a raccolta anticipata rispetto alla semina del cereale, che producono limitate quantità di residui colturali di relativamente facile degradazione (barbabietola da zucchero, girasole e soia); di contro, maggiori difficoltà possono emergere nel caso di semine dopo mais o sorgo entrambi a destinazione granellare. In questi ultimi casi sarà necessario operare una trinciatura quanto più "fine" possibile dei residui (che peraltro migliora la loro degradazione) al fine di evitare che essi vadano ad ostacolare le operazioni di semina, sia che vengano interrati superficialmente con una lavorazione minima sia che rimangano in superficie come nel caso della non lavorazione. A questo riguardo, poi, non è inutile sottolineare anche in questa sede l'importanza di una attenta scelta del tipo di seminatrice.

Oltre al problema posto dalla elevata quantità di residui colturali (come nel caso del mais e del sorgo) l'epoca di raccolta eccessivamente tardiva può di per sé stessa rappresentare una ulteriore fonte di preoccupazione per l'impiego delle tecniche di lavorazione semplificate sul cereale in successione. Durante queste fasi, infatti, il passaggio delle macchine per la raccolta del prodotto sul terreno eventualmente troppo umido può condurre alla formazione di carreggiate anche molto profonde, che renderanno inevitabilmente molto irregolare la semina "su sodo" del cereale. Anche nel caso della lavorazione minima, le "depressioni" di cui sopra risulteranno difficilmente colmabili con gli attrezzi normalmente impiegati per questo tipo di preparazione del letto di semina e potrebbero, in seguito, predisporre la coltura in successione a fenomeni localizzati di ristagno idrico.

Di contro però, in annate scarsamente piovose, l'adozione di queste tecniche può rappresentare un vantaggio potenziale data la maggiore tempestività con cui possono essere concluse le semine e la migliore emergenza attesa con queste tecniche in assenza di precipitazioni.

In conclusione, è possibile affermare che, sulla base delle numerose ricerche condotte sia in Italia che all'Estero (dal Nord Europa, agli Stati Uniti), esiste una sostanziale identità delle

risposte produttive dei cereali vernini sottoposti a tecniche diverse di lavorazione principale del terreno. Ciò si è ben evidenziato in ambienti e/o in annate particolarmente siccitose ed in terreni con una buona percentuale di argilla; in ogni caso operando un adeguato controllo della flora infestante.

Questi risultati sembrano confermare l'attitudine dei cereali autunno-vernini a ben adattarsi a condizioni di abitabilità del terreno anche molto diverse tra loro come quelle determinate dall'impiego della lavorazione minima e della non lavorazione. Per questi motivi, anche le differenze produttive dei cereali coltivati su terreni arati profondamente o superficialmente sono risultate spesso del tutto insignificanti come del resto quelle tra aratura e disciatura eseguite alla stessa profondità, fatto salvo un differente e più adeguato controllo delle infestanti.

Le colture da rinnovo

In Italia le colture da rinnovo di maggiore interesse sono rappresentate dal mais, dalla soia, dalla barbabietola da zucchero e dal girasole; esse svolgono gran parte del loro ciclo colturale durante il periodo estivo e quindi il fattore maggiormente limitante le rese di queste colture è rappresentato, in assenza di irrigazione, dalle ridotte disponibilità idriche. Per queste specie quindi, la scelta delle tecniche di lavorazione principale (ma anche di quelle complementari) si è basata da sempre sulla loro capacità di conservare nel terreno, il più a lungo possibile, un contenuto di umidità sufficiente ad evitare stress idrici alla coltura. Questi risultano più o meno intensi e prolungati in ragione della piovosità estiva, della presenza di falda superficiale, della natura dei terreni, dell'entità e della durata dell'immagazzinamento idrico durante il periodo invernale-primaverile.

Considerando per ogni singolo ambiente imm modificabili alcuni parametri come la piovosità estiva, l'altezza della falda e la natura del terreno, all'agricoltore non rimane che utilizzare tutte quelle tecniche che risultano in grado di meglio immagazzinare e conservare l'acqua di pioggia nel terreno agrario: in altri termini si tratta di ridurre le perdite per scorrimento superficiale delle acque piovane (migliorarne quindi l'infiltrazione nel terreno) e contenere quelle per evaporazione.

Nell'ambito delle tecniche di lavorazione, tali capacità sono state da tempo considerate prerogative esclusive dell'aratura; in particolare di quella profonda che è stata da sempre considerata la tecnica maggiormente in grado di aumentare il volume d'acqua immagazzinabile nel terreno durante i mesi piovosi a favore di una maggiore disponibilità idrica per le colture durante i mesi estivi. Se per molte specie da rinnovo e per numerose condizioni pedoclimatiche del nostro Paese ciò è stato confermato da ottimi e costanti livelli produttivi delle colture allevate su terreno arato, per altre specie e in altri ambienti e/o in determinate annate, il vantaggio offerto dall'aratura profonda nei confronti di altre tecniche di lavorazione non è stato sempre così evidente.

Infatti, accanto ad alcuni indubbi vantaggi legati all'adozione di questa tecnica in termini di immagazzinamento dell'acqua piovana e conservazione dell'umidità del suolo, in determinate condizioni pedoclimatiche, l'aratura può indurre anche alterazioni delle caratteristiche fisiche del terreno tali da diminuire o annullare i vantaggi di cui sopra.

Tra gli aspetti positivi dell'aratura, si deve innanzi tutto ricordare l'aumento della macroporosità nello strato di terreno lavorato che migliora decisamente la conducibilità idrica

del terreno, diminuisce conseguentemente le perdite per scorrimento superficiale e riduce la resistenza alla penetrazione delle radici nel terreno (aspetto, quest'ultimo, particolarmente importante per le colture da rinnovo che in genere presentano radici di diametro superiore a quelle dei cereali vernini e si approfondiscono nel suolo con maggiore difficoltà a causa della sua ridotta umidità durante il periodo primaverile-estivo).

Come già ricordato in precedenza (cap. 2) detti effetti tendono però a ridursi col passare del tempo sotto l'azione degli agenti atmosferici; in pochi mesi a seguito del progressivo compattamento del terreno, della riduzione della scabrezza della superficie lavorata, della disgregazione degli aggregati di superficie - che tendono a formare, nelle depressioni tra i macroaggregati, degli strati estremamente impermeabili (fenomeni di sealing) - la permeabilità dei terreni arati potrebbe subire una forte riduzione. Rispetto a questa situazione, il tasso di infiltrazione dell'acqua piovana nel terreno potrebbe essere mantenuto più costante e su livelli adeguati impiegando altre tecniche come la discissura, la lavorazione minima e la non lavorazione.

In terreni con un sufficiente contenuto di argilla espandibile (15-20%) e sottoposti da tempo a tecniche semplificate si possono infatti determinare quelle condizioni di porosità di origine "strutturale" o "biologica", già ampiamente descritte in precedenza, che tendono a migliorare le caratteristiche idrologiche del terreno compresa la sua permeabilità. Talvolta però, in relazione all'attrezzo utilizzato per l'esecuzione della lavorazione minima (erpici a dischi, frese), con questa tecnica si può determinare la formazione di strati compatti sottosuperficiali che riducono notevolmente l'infiltrazione dell'acqua.

Ricorrendo alle tecniche semplificate che non prevedono il rivoltamento del terreno, l'infiltrazione può migliorare anche grazie alla riduzione della velocità di scorrimento delle acque sulla superficie del terreno dovuta alla presenza dei residui vegetali rimasti sulla superficie ed alla maggiore stabilità degli aggregati superficiali. Inoltre, la stessa pacciamatura naturale e la maggiore presenza di micropori all'interno dei terreni non arati tendono a ridurre le perdite per evaporazione ed in definitiva a conservare più a lungo l'umidità del terreno, almeno negli strati più superficiali.

Detti effetti risulteranno tanto più evidenti quanto maggiore sarà la massa di residui lasciati a copertura del terreno e quanto minore la profondità di lavorazione. In molte occasioni sono stati infatti osservate riduzioni giornaliere del contenuto idrico dei terreni arati più rapide rispetto a quelli sottoposti a discissura, lavorazione minima o a non-lavorazione, anche partendo, alla fine della primavera, da condizioni di umidità maggiori proprio nello strato di terreno arato.

Analizzando questi aspetti nel loro complesso e ponendoli in relazione al clima ed alla natura dei terreni, si possono ricavare, ambiente per ambiente, indicazioni sulla scelta della tecnica di lavorazione del terreno per la specie da rinnovo che si intende coltivare.

Ipotizzando che il terreno destinato ad accogliere una data coltura da rinnovo rimanga nudo per tutto il periodo compreso tra la raccolta del precedente cereale vernino o di un'altra specie da rinnovo fino alla semina nella primavera dell'anno successivo, affinché si verifichi il tanto desiderato immagazzinamento idrico è necessario che durante il periodo suddetto la piovosità sia ovviamente tale da superare l'evaporazione. Ciò è quanto in genere si verifica al Centro e al Nord Italia ma spesso, negli ambienti meridionali o insulari le precipitazioni possono essere così scarse durante l'inverno e la primavera da non permettere una adeguata "ricarica" idrica del

terreno; ed anche quando le precipitazioni invernali raggiungono una certa consistenza può accadere che il rapido sopraggiungere della primavera e con essa il rapido aumento dell'evaporazione potenziale, potrebbe esaurire in breve tempo quella scarsa riserva di umidità immagazzinata nel terreno prima della stagione secca.

In queste condizioni, l'adozione della lavorazione convenzionale del terreno potrebbe tradursi in un insuccesso della coltura primaverile estiva se non sussidiata dall'irrigazione; infatti, venendo meno la principale prerogativa dell'aratura - quella appunto di consentire un maggiore immagazzinamento delle acque durante l'inverno - essa potrebbe addirittura determinare più accentuate condizioni di stress per la coltura, a seguito delle maggiori perdite d'acqua per evaporazione rispetto ai terreni non lavorati e coperti da residui colturali. Sebbene queste valutazioni perdano molto del loro significato dal momento in cui la stragrande maggioranza delle specie da rinnovo al Meridione e nel centro-sud del Paese viene coltivata in irriguo, sembra possibile estrapolare queste considerazioni anche a molte condizioni intermedie che si verificano al Centro e al Nord.

Per questi ambienti, si potrebbe quindi ipotizzare che in annate con scarsa piovosità invernale i vantaggi offerti dall'aratura si riducano di molto specialmente se anche la piovosità primaverile non si prolunga fino all'inizio dell'estate. In simili condizioni, durante l'estate è da attendersi una rapida essiccazione dello strato lavorato con l'aratro rispetto a quello lavorato con chisel o tecniche ancora più semplificate (lavorazione minima e non-lavorazione). Se anche la piovosità estiva dovesse risultare nulla o concentrata alla fine della stagione calda, le colture allevate su terreno arato potrebbero subire condizioni di stress idrico maggiori rispetto ad altre tecniche ad essa alternative in ragione della sua scarsa capacità di conservare l'umidità del terreno.

Tale ipotesi sembra confermata dai numerosi risultati positivi ottenuti con l'impiego di tecniche semplificate, fino al limite della non lavorazione, per specie da rinnovo come mais, soia e girasole in ambienti ove i livelli di resa di queste specie risultano particolarmente bassi rispetto a quelli medi del nostro Paese a testimonianza delle forti condizioni di stress cui vanno soggette le colture a ciclo primaverile-estivo in questi ambienti. Tutto ciò potrebbe risultare più evidente in terreni con scarsa capacità di ritenzione idrica (sabbiosi o sabbio-limosi).

Simili situazioni risultano invero estremamente rare negli ambienti dell'Italia centro-settentrionale e settentrionale; in queste condizioni infatti, nei terreni arati prima dell'autunno, a seguito delle piogge invernali, al momento della semina si osserva spesso un maggiore contenuto di umidità nello strato di terreno lavorato che diminuisce rapidamente nel corso dell'estate. In genere questa "scorta" tende ad esaurirsi a fine luglio - primi giorni di agosto, quando però stanno per sopraggiungere le prime piogge estive che ricostituiscono nuovamente una certa riserva idrica nel terreno arato. Di conseguenza, in queste conduzioni agropedoclimatiche raramente si raggiungono quelle condizioni di stress idrico tali da valorizzare più i vantaggi offerti dalle tecniche semplificate in termini di conservazione dell'umidità del terreno, piuttosto che quelli tipici delle lavorazioni convenzionali in termini di immagazzinamento idrico.

La risposta produttiva delle colture da rinnovo potrà quindi diversificarsi moltissimo in relazione all'annata laddove si utilizzano sistemi di lavorazione semplificati mentre risulterà più stabile nel tempo con i sistemi convenzionali che mitigano, attraverso il fenomeno dell'immagazzinamento idrico, eventuali carenze idriche nella prima parte dell'estate. In linea generale, la loro capacità produttiva adattando differenti tecniche di lavorazione non dovrebbe

diversificarsi molto in condizioni caratterizzate da scarsa piovosità invernale e prolungata siccità estiva o con elevata disponibilità idrica durante il ciclo colturale (sia essa di origine naturale o da irrigazione); di contro è da attendersi una certa superiorità produttiva con le tecniche convenzionali laddove si verifichi un adeguato immagazzinamento idrico invernale e la durata del periodo di eventuale stress idrico estivo risulti temporaneamente limitata.

Anche in fase di germinazione-emergenza, le diverse disponibilità idriche indotte dalle differenti tecniche di lavorazione del terreno possono condizionare il risultato delle colture da rinnovo riducendo più o meno sensibilmente l'investimento della coltura. In primavera inoltrata, e in assenza di piogge frequenti durante la primavera, il letto di semina che si ottiene nei terreni arati può risultare decisamente più secco rispetto a quello prodotto con tecniche che non prevedono il rivoltamento degli strati. Di conseguenza, soprattutto in queste condizioni, l'emergenza della coltura risulta più rapida ed uniforme con la lavorazione minima o la non-lavorazione del terreno; di contro in annate con frequente ed elevata piovosità nel periodo primaverile, queste ultime tecniche di semina possono determinare una eccessiva riduzione dell'investimento della coltura soprattutto a seguito della ridotta germinazione che si registra nei terreni non arati, generalmente più umidi e freddi.

Siccome l'insieme delle considerazioni di cui sopra si può ritenere valido solo a carattere generale, è senz'altro opportuno - anche in relazione al diverso ciclo colturale delle principali specie da rinnovo - valutare coltura per coltura l'effetto delle diverse tecniche di lavorazione del terreno sulla loro produttività e sulle differenti componenti della resa utile anche in considerazione delle attuali specifiche possibilità di contenere il probabile, maggiore sviluppo delle malerbe conseguente all'abbandono dell'aratura e le diverse disponibilità dei nutrienti derivanti dalla prolungata adozione della medesima tecnica di lavorazione.

Mais

Per quanto riguarda il mais da granella, in fase di scelta delle tecniche di lavorazione del terreno, sarà opportuno porre particolare attenzione agli effetti prodotti da queste sulla disponibilità di acqua e di azoto date le forti esigenze del mais nei loro confronti. In particolare, sono proprio le condizioni di umidità del terreno a condizionare il livello produttivo del mais data la maggiore probabilità con cui, durante il suo ciclo colturale, spesso più lungo di altre specie da rinnovo, si possono verificare condizioni di stress idrico. Anche nei confronti della flora infestante, le più recenti possibilità offerte dal diserbo chimico nel controllo in post-emergenza delle graminacee (*Echinochloa crus-galli*, *Digitaria*, *Setaria*, ecc.), che fino a qualche anno fa risultava scarsamente controllabile con questo tipo di trattamento, aumentano le possibilità di successo dell'applicazione di tecniche alternative all'aratura, che lasciano il terreno più o meno omogeneamente coperto dai residui della coltura precedente rendono più difficoltosa l'azione dei tradizionali erbicidi residui di pre-emergenza.

Prima di passare ad analizzare gli effetti di tecniche di lavorazione alternative all'aratura sulle rese granellari del cereale estivo più diffuso in Italia, è interessante accennare anche agli effetti prodotti da differenti profondità di aratura. In genere, sia le ricerche condotte in Italia che all'Estero indicano una sostanziale indifferenza nel comportamento produttivo del mais al variare della profondità di lavoro dai 20-25 cm ai 50-55 cm, e ciò indipendentemente dal tipo di terreno e dall'ambiente considerato; probabilmente dato che nei primi 25-30 cm di terreno si concentrano gran parte dell'apparato radicale del mais e la maggior quota degli elementi

nutritivi, risulta superfluo approfondire oltre tale limite il lavoro di aratura. Di contro, l'adozione di arature particolarmente profonde possono anche determinare effetti negativi sullo sviluppo e la produttività del mais a seguito del trasporto in superficie di strati di terreno decisamente meno fertili.

Nei terreni poco permeabili e/o di difficile strutturazione, in alcuni casi è risultato utile il ricorso alla lavorazione a "due strati" che, eliminando il problema della suola di aratura, migliora l'infiltrazione dell'acqua e consente alle radici di approfondirsi maggiormente.

Tra le tecniche alternative, la discissura è probabilmente quella che più delle altre si presta ad essere introdotta nelle aziende maidicole come lavorazione principale senza particolari rischi di diminuzione delle rese granellari del cereale. Questa tecnica è risultata particolarmente adatta alla coltura del mais negli ambienti ove è diffusa la omosuccessione (e quindi difficilmente i terreni possono essere arati in condizioni di tempera), dove anche per la presenza di falda superficiale durante l'inverno si verificano frequenti ristagni idrici e l'accessibilità agli appezzamenti per le semine è spesso compromessa dal lento essiccamento dei terreni in primavera. In simili condizioni, la discissura eseguita a 40-45 cm di profondità ha consentito spesso di ottenere rese superiori a quelle dell'aratura, sia profonda che superficiale, grazie anche ad una maggiore conservazione dell'umidità nel terreno durante l'estate. L'uso di disseccanti abbinati ai trattamenti di pre-emergenza ha inoltre permesso di contenere sufficientemente l'inevitabile maggiore sviluppo della flora infestante che nel lungo periodo è andata specializzandosi a favore delle specie vivaci quali per esempio *Cynodon dactylon* e *Poligonum convolvulus*.

Per quanto riguarda la possibilità di adottare per il mais tecniche di preparazione del letto di semina ancora più semplificate, è doveroso ricordare che, a differenza delle numerose esperienze condotte all'Estero, quelle realizzate nel nostro Paese non hanno prodotto fino ad oggi risultati incoraggianti. In particolare, nel caso della lavorazione minima, per la quale si dispone di un maggior numero di esperienze, ma anche per la semina su sodo, le rese granellari del mais sono risultate quasi sempre sensibilmente inferiori a quelle ottenute con la tradizionale aratura. Risultati produttivi del tutto paragonabili a quest'ultima sono stati ottenuti invece in coltura irrigua nel centro Italia, a conferma che uno dei principali problemi indotti dalle tecniche di lavorazione semplificate deriva dalla diversa disponibilità idrica per la coltura. Come ampiamente descritto in precedenza, nel nostro Paese gran parte della maiscoltura si realizza su terreni particolarmente freschi ed in ambienti caratterizzati da buona piovosità sia primaverile che estiva o in presenza di irrigazione. In queste condizioni quindi, il principale vantaggio offerto dalle tecniche semplificate (conservazione dell'umidità del terreno) viene ad assumere una importanza decisamente inferiore rispetto a quelli connessi all'impiego dell'aratura (maggiore immagazzinamento idrico, minore resistenza alla penetrazione delle radici, ecc.). Soltanto in condizioni di forte e prolungato stress idrico estivo e scarsa piovosità invernale, in terreni sabbio-limosi dell'Italia centrale con la lavorazione minima sono state ottenute, anche in coltura asciutta, rese granellari del cereale simili a quelle dell'aratura profonda.

Sembra quindi possibile ipotizzare che il ricorso a tecniche di lavorazione particolarmente semplificate possa avere un certo successo negli ambienti dove la produttività del mais trova nella limitata disponibilità idrica il principale fattore limitante. Ciò potrebbe spiegare i molti risultati positivi ottenuti con la tecnica della non-lavorazione o lavorazione minima in molte

regioni degli Stati Uniti su terreni da medio impasto a argillosi ove, in ragione della scarsa piovosità, la produttività del cereale non superava i 50-60 q/ha.

A giustificazione della scarsa rispondenza del mais a tecniche molto semplificate di preparazione del terreno osservata nel nostro Paese, possono essere addotti anche altri motivi. Lo scarso controllo delle infestanti rappresenta sicuramente uno di questi; in molte esperienze realizzate in passato, lo sviluppo incontrollato delle infestanti graminacee ha determinato, soprattutto in condizioni di omosuccessione, forti riduzioni delle rese rispetto alla tecnica convenzionale. Oggigiorno, vista la disponibilità di graminicidi da impiegare in post-emergenza e la futura possibilità di intervenire con erbicidi totali selettivi per il mais, questo problema potrebbe essere meno sentito o addirittura del tutto superabile.

In ogni caso, è bene ricordare che la risposta delle colture a tecniche semplificate di lavorazione ed in particolare alla non-lavorazione, non può essere valutata sulla base di esperienze di breve periodo. Come accennato nei capitoli precedenti, affinché nel terreno si maturino le condizioni fisiche idonee ad un corretto equilibrio tra fase solida, liquida e gassosa e quindi ad un adeguato sviluppo dell'apparato radicale, è necessario non disturbare il terreno con lavorazioni più o meno profonde per un certo numero di anni, variabile in relazione alla natura del terreno. In quest'ottica, alcuni risultati sperimentali ottenuti in Italia non consentano ancora una valutazione conclusiva dell'effetto delle tecniche semplificate proprio per la breve durata della sperimentazione da cui derivano.

Anche sotto l'aspetto nutrizionale, la minore disponibilità di azoto talvolta osservata su colture allevate su terreni non arati, nel lungo periodo potrebbe attenuarsi in ragione della maggiore disponibilità di azoto potenzialmente mineralizzabile. A questo riguardo, esperienze italiane di lungo periodo in cui la lavorazione minima ripetuta per oltre 10 anni è posta a confronto con le tecniche convenzionali, hanno infatti evidenziato che anche in assenza di concimazione azotata la resa del mais da granella, in annate non particolarmente piovose può essere del tutto simile a quella ottenuta con l'aratura (sia profonda che superficiale). In primavera caratterizzate da basse temperature e prolungata piovosità, però, la disponibilità di azoto per il mais nelle prime fasi di sviluppo potrebbe risultare inferiore con tecniche di lavorazione semplificate (soprattutto in terreni limosi scarsamente permeabili e freddi) e, anche nel momento in cui, nella seconda metà dell'estate si determinasse una maggiore disponibilità di azoto a seguito del riattivarsi della mineralizzazione, essa potrebbe risultare non più utilizzabile dalla coltura ai fini produttivi. Altre specie a sviluppo meno determinato (pomodoro ad es.) potrebbero valorizzare meglio detta disponibilità tardiva di azoto.

In genere quindi, anche in considerazione della ridottissima efficacia del fertilizzante azotato distribuito in copertura su terreni sodi se non è prevista alcuna operazione di sarchiatura o rincalzatura, sarebbe opportuno, in caso di non lavorazione o lavorazione minima, anticipare al mais una maggiore quota di azoto alla preparazione del letto di semina, in modo da poter contare con maggiore probabilità su almeno 10 mm di pioggia entro pochi giorni dalla distribuzione che consentano il naturale interrimento della frazione azotata del fertilizzante, maggiormente esposta a perdite per volatilizzazione, immobilizzazione. ecc..

Ancora troppo poco studiato è il problema della concimazione fosfo-potassica ed organica nei sistemi di lavorazione che non prevedono l'aratura; in entrambe i casi sarebbe infatti opportuno eseguire un interrimento che soltanto con la classica lavorazione si può ottenere. Mentre ciò sembra precludere l'uso del letame (ma non dei liquami), non sembra creare

problemi insuperabili nel caso del fosforo e del potassio che vanno però a concentrarsi negli strati più superficiali del terreno. Esperienze di lungo periodo hanno evidenziato tale arricchimento, ma anche un corrispondente impoverimento in fosforo e potassio degli strati più profondi (dai 10-15 cm ai 45-50 cm); per il momento non sono state segnalate carenze di detti elementi o riduzioni di resa imputabili a questo fenomeno anzi, nel caso della lavorazione minima sono stati segnalati chiari effetti "starter" indotti dall'aumentata concentrazione del fosforo in superficie. Rimane comunque da accertare se nel tempo il progressivo impoverimento degli strati sottosuperficiali possa indurre sul mais significativi cali produttivi. Infine, si deve ricordare che per il mais (ma anche per altre colture) l'adozione di tecniche semplificate di preparazione del terreno può aumentare il rischio di attacchi fungini o da insetti, soprattutto quando la tecnica di lavorazione si ripete nel tempo sul medesimo terreno e nel caso della omosuccessione; l'inserimento di un'altra coltura in avvicendamento (ad esempio la soia) rappresenta in questo caso un utile strumento per contenere tali effetti negativi e quelli legati al controllo delle specie infestanti.

Soia

Le considerazioni fatte per il mais possono, in linea di massima, ritenersi valide anche per la soia, soprattutto per quanto attiene alle disponibilità idriche indotte dalle diverse tecniche di lavorazione mentre completamente diverso è il problema della fertilizzazione azotata e del diserbo chimico.

Data la capacità azotofissatrice della soia, la fertilizzazione azotata è in genere omessa e di conseguenza gli eventuali aspetti negativi legati alla minore efficienza dell'azoto nei sistemi di lavorazione semplificata o non-lavorazione risultano meno evidenti. Ciò farebbe supporre una buona adattabilità della soia a tecniche semplificate, in realtà, soprattutto nel caso della non-lavorazione, la capacità produttiva della leguminosa può risultare spesso compromessa dal difficile controllo della flora infestante. Infatti, mentre nel caso della lavorazione minima è possibile intervenire contro le malerbe in pre-emergenza (ed eventualmente in post-emergenza) con buone probabilità di successo, nel caso della semina su terreno sodo, data la presenza di residui colturali sulla superficie del terreno, si ricorre principalmente a prodotti di contatto da distribuire in post-emergenza. In questo caso, come noto, l'esito del trattamento è spesso meno risolutivo in quanto fortemente influenzato dalla fase di sviluppo delle infestanti, dalle condizioni climatiche - che peraltro condizionano anche la possibilità di accedere ai campi - e, non ultimo, dalla capacità tecnica dell'agricoltore (interventi frazionati, uso di adesivanti ed attivanti, ecc.).

Sempre nel caso della non-lavorazione, la produttività della soia può essere ridotta anche a seguito del minore investimento che si determina, soprattutto in terreni poco permeabili, quando dopo la semina si verificano piogge prolungate; in queste condizioni il seme è risultato particolarmente soggetto a marciumi e all'attacco dei numerosi insetti terricoli che caratterizzano i terreni non lavorati. Anche se la soia è una pianta sufficientemente "plastica" e quindi in grado di sopportare riduzioni dell'investimento senza gravi decurtazioni di resa, i fenomeni di cui sopra possono raggiungere una gravità tale da impedire una adeguata compensazione da parte della pianta. E' appena il caso di ricordare, però, che in occasione di piogge di forte intensità, la non-lavorazione può diminuire anche sensibilmente la possibilità di

formazione di croste superficiali (e dei rischi ad essa connessi) che, come noto, risultano particolarmente temibili nel caso delle specie a germinazione ipogea come la soia.

In condizioni climatiche diametralmente opposte (prolungata assenza di piogge dopo la semina) la non-lavorazione ha determinato spesso una più rapida ed omogenea germinazione dei semi nei confronti dell'aratura convenzionale.

Dalle ricerche condotte all'estero è comunque emersa la buona adattabilità di questa coltura a tecniche alternative all'aratura comprese quelle di lavorazione minima e non-lavorazione. In Italia le ricerche condotte al riguardo non sono molte; quelle poliennali, limitate a terreni sabbio-limosi, hanno evidenziato la sostanziale identità produttiva della leguminosa in terreni arati profondamente, superficialmente o con la tecnica dell'aratura a due strati. Rispetto all'aratura profonda, la discissura e la lavorazione minima hanno spesso determinato livelli produttivi leggermente inferiori (dell'ordine del 6% e 4% rispettivamente) anche se in annate particolarmente siccitose e con scarsa piovosità invernale, le rese della coltura su terreno arato profondamente (circa 50 cm) sono risultate inferiori a quelle ottenute con le tecniche di minima lavorazione. Per quanto riguarda la semina su terreno sodo, in sei anni di prove, questa tecnica non ha mai consentito di raggiungere livelli produttivi simili o almeno paragonabili a quelli ottenuti con la tradizionale aratura a 35-40 cm, soprattutto a causa delle già menzionate difficoltà nel controllo delle infestanti.

Girasole

Data l'ampia diffusione del girasole nei terreni argillosi del centro Italia, la tecnica di lavorazione praticata più comunemente per questa coltura è rappresentata dall'aratura profonda. I sistemi alternativi più diffusi sono riconducibili alla lavorazione a due strati, all'aratura superficiale e alla discissura.

Gli studi iniziati da anni presso l'Università di Perugia e di Pisa hanno dimostrato chiaramente come, anche in questo caso, sia possibile sostituire l'onerosa tecnica dell'aratura profonda 45-50 cm con tecniche di preparazione del letto di semina meno impegnative.

In particolare, sui terreni sabbio-limosi della pianura pisana, sia l'aratura superficiale che quella a due strati, ripetute sul medesimo appezzamento per anni, hanno condotto a rese granellari del girasole avvicinate a frumento tendenzialmente superiori a quelle della tecnica convenzionale; su questi stessi terreni, invece, la lavorazione minima ha fatto registrare apprezzabili riduzioni delle rese rispetto all'aratura profonda (circa 11%). Ciò potrebbe essere legato alla maggiore difficoltà di radicazione del girasole, dotato di radici di grosse dimensioni, in un terreno di per sé poco poroso e difficilmente autostrutturabile per la scarsa presenza di argilla. Tale ipotesi sembrerebbe confermata anche dalla maggiore incidenza dei fenomeni di allettamento osservata nelle annate più piovose proprio sul girasole seminato su terreno soltanto erpicato.

In terreni pianeggianti di questa natura anche altri fattori possono contribuire a ridurre la produttività del girasole realizzato con la lavorazione minima. In considerazione della sua epoca di semina, decisamente più anticipata rispetto a quella del mais o della soia, è infatti probabile che al momento della preparazione del letto di semina il terreno si presenti molto più umido e plastico rispetto a quello arato e quindi di difficile affinamento. Intervenire in simili condizioni significa spesso ottenere un letto di semina eccessivamente grossolano che, nel caso dei terreni

limosi, ai primi raggi di sole tende a costituire aggregati lapidei al di sotto dei quali la germinazione e l'emergenza dei semi risulta generalmente difficile.

Anche la scarsa disponibilità di principi attivi da impiegare nel diserbo di post-emergenza può contribuire a limitare la produttività del girasole coltivato su terreno erpicato specialmente quando siano diffuse specie vivaci quali il *Poligonum convolvulus*.

Sui terreni pesanti la risposta produttiva del girasole alla tecnica di lavorazione minima si è diversificata notevolmente in funzione della natura della componente argillosa dei terreni. In suoli caratterizzati da scarsissima presenza di montmorillonite (quindi poco autostrutturabili), la lavorazione minima ha determinato, indipendentemente dall'andamento climatico, riduzioni delle rese di circa il 18% rispetto all'aratura profonda e/o superficiale; al contrario, in Umbria, su vertisuoli ben strutturabili, il livello produttivo del girasole è risultato dello stesso ordine sia impiegando l'aratura profonda che la lavorazione minima realizzata con erpice a dischi.

Per quanto riguarda la possibilità di seminare il girasole direttamente sul terreno non lavorato, al momento, viste le scarse esperienze condotte in Italia, sembra difficile prevedere in ogni caso quale potrebbe essere la risposta dell'oleaginosa a questa tecnica; ed in funzione dell'andamento climatico e/o della natura del terreno. Sulla base delle ricerche condotte in Spagna, in condizioni di ridotta piovosità invernale e scarsa disponibilità idrica durante l'estate, su terreni ad alto contenuto di argilla espandibile, sembrerebbe possibile utilizzare la tecnica della non-lavorazione anche per il girasole senza incorrere in riduzioni significative delle rese granellari. Resta da verificare se nei nostri climi, non particolarmente siccitosi, questa tecnica possa essere introdotta con successo anche in considerazione, come già ricordato, della attuale ridotta disponibilità di erbicidi da utilizzare in post-emergenza sul girasole.

Barbabietola da zucchero

Questa coltura da rinnovo si differenzia in modo sostanziale dalle altre sia per il prodotto utile, rappresentato dalla radice della pianta, sia per il suo ciclo colturale, decisamente più primaverile che estivo. Com'è noto una particolare attenzione deve quindi essere posta nella complessiva preparazione del terreno, perché è proprio in questo "ambiente" che avviene l'accrescimento della radice; per un "normale" accrescimento del fittone, infatti, occorre garantire alla pianta un corretto equilibrio fra macro e microporosità del terreno, bassa resistenza alla penetrazione ed una adeguata disponibilità di nutrienti lungo tutto il profilo colturale.

Da sempre alla barbabietola vengono destinate, all'interno dell'avvicendamento colturale, le lavorazioni più profonde e le più accurate tecniche di preparazione del letto di semina con l'obiettivo principale di garantire alla coltura una buona "abitabilità" del terreno, una ridotta presenza delle piante infestanti e l'interramento dei concimi e del letame: tipiche prerogative dell'aratura. Le numerose esperienze condotte sia in Italia che all'Estero evidenziano quasi sempre una chiara difficoltà della saccarifera ad adattarsi a tecniche di lavorazione semplificate (discissura) o molto semplificate (lavorazione minima e semina diretta); al riguardo esistono comunque anche alcune eccezioni, più frequenti nei Paesi del nord Europa e nei "sistemi colturali" da anni la semina su terreno sodo è praticata sistematicamente.

Le basse rese della barbabietola da zucchero coltivata su terreni lavorati molto superficialmente o non-lavorati, sembrano imputabili principalmente al peggioramento dell'ambiente fisico in cui il fittone si accresce (aumento della densità apparente del terreno e

della sua resistenza alla penetrazione), ma possono essere spiegate anche sulla base di alcune caratteristiche della coltura come il ciclo colturale decisamente più primaverile e l'elevata sensibilità nei confronti delle infestanti. Dato che buona parte del ciclo biologico della barbabietola si realizza in periodi dell'anno in cui difficilmente si manifestano condizioni di forte stress idrico (se non al Sud ove necessariamente si ricorre all'irrigazione) e che l'apparato radicale della saccarifera è in grado di approfondirsi notevolmente, gli eventuali vantaggi derivanti dall'impiego delle tecniche semplificate in termini di conservazione dell'umidità del terreno nella fase centrale dell'estate possono risultare meno evidenti rispetto ad altre colture. Anche la maggiore aggressività della flora infestante nei terreni lavorati superficialmente o non lavorati può contribuire a ridurre la produttività della saccarifera, una delle colture erbacee di pieno campo maggiormente sensibili alla competizione delle infestanti, soprattutto quando si diffondano specie vivaci come *Poligonum convolvulus* e *Cynodon dactylon*.

In ultimo, la maggiore predazione da parte degli insetti terricoli che si può verificare nei terreni non lavorati, causando più o meno estesi diradamenti dei seminativi, potrebbe giocare un ruolo significativo sul comportamento produttivo della barbabietola per la quale è di fondamentale importanza ottenere un adeguato investimento.

La tecnica di lavorazione maggiormente diffusa in Italia per la barbabietola da zucchero è quindi rappresentata dall'aratura profonda; in molte aziende bieticole essa viene eseguita a circa 45-50 cm, ma in alcuni ambienti non è raro oltrepassare anche tale profondità. Per questa coltura i sistemi alternativi di lavorazione del terreno sono attualmente rappresentati soltanto da interventi che prevedono - ove sia possibile - una riduzione della profondità di rovesciamento del terreno, quali la lavorazione a due strati e l'aratura superficiale (eseguite entrambe a circa 25-30 cm di profondità). In termini produttivi, infatti, la barbabietola da zucchero non ha sempre risentito negativamente dell'alleggerimento della profondità di aratura né tanto meno dell'impiego dell'aratura a due strati. Negli anni in cui il ricorso all'aratura superficiale ha condotto ad incrementi delle rese rispetto a quella profonda, l'epoca di semina è risultata forzatamente ritardata e/o il successivo decorso pluviometrico è risultato particolarmente siccitoso. Le flessioni delle rese, quando si sono verificate, sono risultate estremamente contenute rispetto all'aratura profonda (soprattutto nel caso della lavorazione a due strati) e comunque, raramente hanno superato il 10% di differenza in più o in meno rispetto alla tecnica di riferimento

Le colture intercalari

Com'è noto alcune colture da rinnovo come il mais, la soia ed anche il girasole possono essere coltivate anche in piena estate, come coltura intercalare, subito dopo la raccolta di una specie a ciclo autunno-vernino a maturazione precoce (orzo, colza, ortive, ecc.). In questo caso risulta fondamentale, anticipare per quanto possibile le semine alla fine di giugno piuttosto che ai primi di luglio e conservare il più possibile l'umidità del terreno. Quest'ultimo aspetto può sembrare marginale dato che le colture di secondo raccolto sono necessariamente irrigue, ma la attenta conservazione della umidità residua, che generalmente rimane nel terreno alla fine del ciclo colturale dei cereali vernini, può consentire la germinazione dei semi della coltura appena seminata senza ricorrere all'irrigazione o comunque distribuendo volumi d'acqua molto bassi. Sfruttando l'umidità residua si può quindi ottenere un risparmio d'acqua e, cosa spesso più importante, una rapida ed uniforme emergenza delle plantule. Infatti, soprattutto nel caso

della soia e del girasole, la fuoriuscita dei cotiledoni dal terreno può talvolta essere ostacolata dalla formazione di croste superficiali, come quelle che spesso si ottengono in estate a seguito dell'umettamento e del successivo rapido essiccamento del terreno eccessivamente polverizzato in fase di preparazione del letto di semina.

In considerazione di quanto sopra le tecniche di lavorazione semplificate, ma soprattutto la non-lavorazione, risultano spesso più idonee all'impianto delle colture di 2° raccolto di quanto non sia l'aratura convenzionale. Rispetto a quest'ultima, con la semina diretta è possibile anticipare la semina di alcuni giorni e conservare l'umidità e un adeguato stato strutturale del terreno grazie alla copertura dello stesso operata dai residui colturali del cereale. La presenza di una "pacciamatura" naturale di questo tipo risulta infatti utile per queste colture: questa riduce le perdite di umidità per evaporazione e preserva la stabilità degli aggregati di superficie dall'azione battente dell'acqua di irrigazione. Di conseguenza, intervenendo tempestivamente con le semine, adattando tecniche come la lavorazione minima o la non lavorazione potrebbe risultare possibile omettere la prima irrigazione necessaria alla germinazione dei semi e, in ogni caso, verrebbero ridotti i rischi derivanti dall'eventuale formazione di croste superficiali.

Tutto ciò contribuisce a spiegare perché, nella maggior parte dei casi, la produttività delle colture da rinnovo seminate in 2° raccolto non viene ridotta dall'impiego di tecniche di preparazione semplificata del terreno, anzi, talvolta risulta superiore a quella ottenibile con le tecniche convenzionali.

Conclusioni

La rese delle colture erbacee di pieno campo può essere influenzata dalle tecniche di lavorazione del terreno; tale effetto risulta più o meno evidente in funzione delle caratteristiche della specie, della natura del terreno, dell'andamento climatico e delle tecniche colturali che è possibile adottare.

In genere, la riduzione della profondità di aratura dai 40-50 cm ai 20-30 cm non determina - ad eccezione della barbabietola da zucchero - alcuna flessione importante delle rese delle principali specie erbacee coltivate nel nostro Paese, così come l'impiego dell'aratura a due strati (25-30 cm di aratura + 25-30 cm di ripuntatura); il passaggio dall'aratura profonda a quella superficiale o a due strati non implica sostanziali modificazioni della tecnica colturale della specie considerata.

L'impiego della discissura, eseguita alla stessa profondità dell'aratura ritenuta convenzionale per la specie considerata, può determinare occasionali riduzioni delle rese legate al più difficile controllo della flora infestante e all'erronea epoca di esecuzione della lavorazione (con terreno eccessivamente umido). L'adozione di questa tecnica richiede quindi una maggiore attenzione nei confronti della pratica del diserbo e una buona preparazione tecnica dell'imprenditore agricolo.

Nella maggioranza dei casi, il ricorso a tecniche di lavorazione del terreno ancora più semplificate, come la lavorazione minima e la non-lavorazione, può provocare flessioni più o meno evidenti delle rese granellari delle principali colture erbacee di pieno campo. Le riduzioni più forti si verificano in genere su colture quali barbabietola da zucchero, girasole, soia e mais; in terreni sabbiosi, sabbio-limosi, limosi o argillosi poco autostrutturabili; in condizioni climatiche o in annate con elevata piovosità e bassa domanda evapotraspirativa.

Più forti riduzioni di resa sono spesso associate al mancato o incompleto controllo della flora infestante (che risulta più aggressiva rispetto ai terreni lavorati con l'aratro), al minore investimento di piante conseguente alla ridotta emergenza delle plantule a seguito di ristagni idrici o predazione da parte della pedofauna; alle minori disponibilità di azoto per la coltura; alla maggiore difficoltà di espansione dell'apparato radicale.

Di contro, le minori differenze di resa tra tecniche semplificate e convenzionali, si registrano più frequentemente nel caso dei cereali autunno vernini e più raramente nel caso del mais e della soia; in terreni ben dotati di argilla espandibile; in condizioni climatiche o in annate particolarmente siccitose e ad elevata domanda evapotraspirativa durante la primavera-estate, e/o con scarsa piovosità invernale. In questi casi le lievi flessioni produttive, o la loro assenza, sono legate anche ad una più attenta e scrupolosa tecnica di diserbo; ad una migliore germinazione dei semi e ad una maggiore disponibilità di acqua per la coltura nei momenti di maggiore sensibilità; alla presenza di una coltura in precessione, nell'avvicendamento, a cui è stata destinata una lavorazione tradizionale.

E' evidente che l'adozione di tecniche di lavorazione del terreno più semplificate deve necessariamente prevedere la revisione di gran parte della tecnica colturale della specie considerate: a partire dal controllo delle malerbe (da realizzare in maniera integrata utilizzando tutti i mezzi agronomici e chimici disponibili con particolare riferimento ai principi attivi di post-emergenza), alle modalità di semina (non ritardando eccessivamente l'epoca di semina delle specie a ciclo autunno-vernino, non anticipando troppo quella delle specie macroterme ed aumentando leggermente la dose di seme), alla tecnica della fertilizzazione (incrementando di circa il 10%, ove necessario, la quantità di azoto distribuita), ecc..

La più difficile gestione tecnica delle colture seminate su terreno lavorato molto superficialmente o non-lavorato è infatti spesso la causa principale dell'insuccesso di queste tecniche; non a caso i risultati migliori sono stati ottenuti spesso dopo alcuni anni di esperienza, vuoi per un'insieme di processi fisici e biotici che avverrebbero nel terreno e potrebbero migliorare le condizioni di sviluppo della coltura, vuoi per la maggiore conoscenza delle problematiche maturata dall'agricoltore nel corso degli anni.

L'adozione delle tecniche semplificate richiede quindi una superiore capacità tecnica dell'imprenditore agricolo che, tenendo conto delle condizioni climatiche in cui opera, è chiamato a più precise scelte relativamente al tipo di coltura a cui destinare le lavorazioni ridotte (ovvero destinarle a tutte le colture in avvicendamento) e al tipo di terreno su cui adottarle (qualora in azienda vi fossero tipi di terreno diversi) e alla tecnica colturale da utilizzare.

Probabilmente, valutata per ciascuna coltura la convenienza economica all'impiego delle lavorazioni ridotte o della non-lavorazione, potrebbe essere utile modificare anche l'intero avvicendamento destinando per esempio alle colture da rinnovo le ormai collaudate tecniche convenzionali ed ai cereali autunno-vernini forme decisamente più semplificate di preparazione del terreno. Diviene quindi di fondamentale importanza calcolare attentamente la redditività della coltura in condizioni semplificate di preparazione del letto di semina, anche in relazione alla specie che la precede nell'avvicendamento ed alla tecnica di lavorazione a quella destinata. Nell'operare questa valutazione occorre prendere in considerazione sia le differenze di produzione che con buona probabilità potrebbero realizzarsi tra la tecnica convenzionale e quella semplificata, sia la possibile riduzione dei costi ottenibile con l'adozione di quest'ultima.

Mentre la stima del primo parametro si basa su presupposti tecnico-agronomici abbastanza oggettivi, nel caso del secondo parametro la valutazione diviene quanto mai soggettiva; ben diverso è infatti stimare il costo di un'aratura sulla base delle tariffe dei contoterzisti oppure soltanto su quella dei minori consumi di combustibile e lubrificante; la differenza sta spesso nel valore che ciascun agricoltore attribuisce alla propria ora di lavoro. E' evidente quindi che la difficoltà di esprimere delle valutazioni di carattere generale circa la convenienza ad adottare o meno sistemi di lavorazione semplificati dipende proprio da quale criterio di stima si adotta per valutare la riduzione dei costi connessa a questi sistemi di lavorazione del terreno. Sotto questo punto di vista, data la prevalenza del lavoro part-time in agricoltura e le modeste dimensioni di molte aziende agricole italiane, è difficile ipotizzare che la maggior parte degli agricoltori riconoscano al proprio lavoro un valore tale da rendere il risparmio ottenibile con la tecnica semplificata, in termini di costi, analogo alla riduzione della P.L.V. della coltura conseguente alla sua adozione, e quindi che ritengano le tecniche alternative all'aratura economicamente "sostenibili".

In alcuni contesti pedo-climatici (aree collinari) esse comunque conservano a pieno l'attributo di "sostenibili" sotto l'aspetto ambientale. In questi casi la convenienza alla loro adozione dovrebbe essere determinata anche sulla base dei costi ambientali derivanti dall'impiego di tecniche meno conservative.