

# Tecniche Conservative di Gestione del Suolo in Ambiente Mediterraneo: Risultati di un Ventennio di Sperimentazioni

Paolo Ruisi<sup>1</sup>, Dario Giambalvo<sup>1</sup>, Sergio Saia<sup>1</sup>, Giuseppe Di Miceli<sup>1</sup>, Alfonso S. Frenda<sup>1</sup>, Antonella Plaia<sup>2</sup> Gaetano Amato<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dip. di Scienze Agrarie e Forestali, Univ. Palermo, IT, [paolo.ruisi@unipa.it](mailto:paolo.ruisi@unipa.it)

<sup>2</sup> Dip. di Scienze Economiche, Aziendali e Statistiche, Univ. Palermo, IT

## Introduzione

Le tecniche conservative di gestione del suolo stanno destando sempre più interesse in virtù dei numerosi vantaggi agroecologici ed economici che esse sono in grado di offrire. Infatti, la riduzione dell'intensità delle lavorazioni può incrementare il tenore in sostanza organica del suolo, migliorarne la struttura, ridurre l'erosione idrometeorica e le emissioni di CO<sub>2</sub>, preservare gli habitat e la biodiversità, riducendo al contempo i costi energetici e di produzione. Le numerose sperimentazioni condotte in ambiente mediterraneo con lo scopo di valutare gli effetti dell'applicazione di tali tecniche sulla produttività delle colture hanno tuttavia fornito risultati spesso contrastanti (López-Bellido et al. 1996; Hernanz et al. 2002; De Vita et al. 2007; Mazzoncini et al. 2008), mostrando come la risposta delle colture sia spesso estremamente variabile da un anno all'altro e fortemente dipendente dalle condizioni pedo-climatiche e dalle altre pratiche colturali adottate. Nella presente nota sono stati sintetizzati i principali risultati di diverse sperimentazioni, tutte condotte nell'ultimo ventennio in ambienti rappresentativi dell'area mediterranea del seminativo a clima semiarido, che hanno avuto lo scopo di valutare gli effetti dell'applicazione della tecnica della non lavorazione (in confronto con la tecnica convenzionale, basata sull'aratura seguita da lavorazioni complementari) sulla risposta produttiva e qualitativa del frumento duro. Particolare enfasi è stata posta allo studio delle interazioni tra tecniche di gestione del suolo e parametri climatici e all'identificazione delle condizioni nelle quali l'adozione della tecnica della non lavorazione ha maggior probabilità di successo.

## Metodologia

Gli esperimenti sono stati condotti nel periodo 1991-2012 presso l'azienda Pietranera (S. Stefano Q., AG; 37°30' N, 13°31' E), ricadente in un territorio rappresentativo dell'area interna siciliana del seminativo. L'azienda, estesa circa 700 ha, presenta un'ampia variabilità pedologica, morfologica ed orografica; il clima è semi-arido mediterraneo con una piovosità media annua di 552 mm, distribuita prevalentemente (75%) nel periodo autunno-vernino e con un'elevata variabilità interannuale. La tabella 1 riporta i trattamenti applicati, la durata e il numero di siti in cui ciascun esperimento è stato realizzato, nonché alcuni riferimenti bibliografici da cui è possibile trarre ulteriori informazioni sulle metodologie adottate. In tutte le prove la tecnica del no tillage (NT; semina su terreno non lavorato preventivamente diserbato con principi attivi non selettivi) è stata valutata in confronto con la tecnica di lavorazione convenzionale (CT) che ha sempre previsto un'aratura eseguita durante il periodo estivo (strato 0-30 cm) seguita da una o due lavorazioni complementari.

In tutte le prove, gli effetti del sistema di lavorazione sulla risposta produttiva e qualitativa del frumento duro, sono stati valutati al variare di altri fattori dell'agrotecnica quali: epoca di semina, precedente colturale, scelta del genotipo, quantitativo di fertilizzante azotato somministrato e sua modalità di distribuzione. Inoltre, nell'ambito di alcune prove, sono stati condotti alcuni approfondimenti volti a stimare l'efficienza d'uso del concime azotato somministrato, attraverso l'impiego di fertilizzanti arricchiti dell'isotopo <sup>15</sup>N, al variare dei trattamenti applicati. Infine, con lo scopo di quantificare il livello di stress idrico per la coltura in ciascun anno e sito di prova è stato calcolato un indice sintetico (*water stress index*, WSI; Rizza et al. 2004) basato sulla stima del bilancio

idrico; dettagli sulla metodologia applicata per il calcolo di tale indice sono riportati in Amato et al. (2013). I dati rilevati e calcolati sono stati sottoposti ad analisi statistica distintamente per prova e congiuntamente, utilizzando il software R (R Development Core Team 2011); è stata inoltre condotta un'analisi di regressione plottando le differenze produttive tra i sistemi di lavorazione verso il WSI o verso il numero di anni di applicazione dei trattamenti di lavorazione del suolo.

Tab. 1 – Trattamenti applicati nelle prove condotte nel periodo 1991-2012.

Prova	Trattamenti	Durata (anni)	Siti (numero)	Rif. bibliografici
A	<i>Tillage</i> : Lavorazione convenzionale (CT); No tillage (NT); Lavorazione minima (RT)	18	1	Giambalvo et al. 2012; Amato et al. 2013
	<i>Sequenza colturale</i> : Frumento in omosuccessione; Fava-frumento; Trifoglio alessandrino-frumento			
B	<i>Tillage</i> : CT; NT; RT	4	1	Stringi e Giambalvo 1996
	<i>Sequenza colturale</i> : Frumento in omosuccessione; Fava-frumento; Veccia+avena-frumento			
C	<i>Tillage</i> : CT; NT	1	5	Giambalvo et al. 2001; Amato et al. 2004
	<i>Genotipo</i> : Varietà precoce; Varietà tardiva <i>Epoca di semina</i> : Ordinaria; Anticipata (solo in NT)			
D	<i>Tillage</i> : CT; NT	1	4	Amato et al. 2004
	<i>Genotipo</i> : Varietà precoce; Varietà tardiva <i>Epoca di semina</i> : Ordinaria; Anticipata (solo in NT) <i>Modalità distribuzione concime azotato</i> : 100% in presemina; 50% in presemina e 50% a fine accestimento			
E	<i>Tillage</i> : CT; NT	1	4	
	<i>Genotipo</i> : Varietà moderna; Popolazione locale <i>Concimazione azotata</i> : 0; 40; 80; 120; 160 kg N ha <sup>-1</sup>			

## Risultati

Nella figura 1 sono riportati i dati relativi alle produzioni di granella ottenute con le due tecniche di lavorazione del suolo (CT e NT) nelle diverse condizioni sperimentali durante il periodo di prova. In media, nessuna differenza è stata osservata tra le due tecniche (3,84 e 3,87 Mg ha<sup>-1</sup> in CT e NT rispettivamente); ciò risulta in accordo con quanto osservato da Hernanz et al. (2002) in una ricerca di lunga durata condotta in un'area semiarida della Spagna centrale. Tuttavia è stata rilevata un'ampia variabilità di risposta evidenziata dalla dispersione dei punti rispetto alla bisettrice; inoltre dai dati emerge un *trend* che indica una superiorità della tecnica della non lavorazione allorché le rese sono basse ed un vantaggio del CT nelle condizioni opposte (valore di *b* della retta di regressione = 0,785, significativamente ≠ 1 per *P*<0,02). Considerando che negli ambienti semiaridi mediterranei il fattore in grado di influire in maggior misura sulle rese in granella è la disponibilità idrica, le differenze

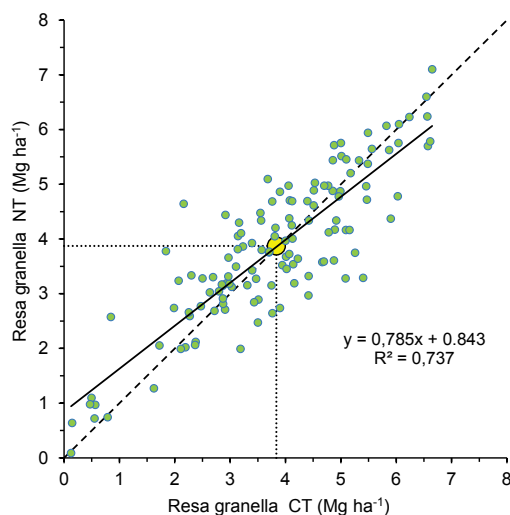


Fig. 1 – Relazione tra le rese in granella ottenute con le due tecniche di lavorazione del suolo (CT, convenzionale; NT, non lavorazione) in tutte le condizioni sperimentali (n = 128; simboli verdi). La bisettrice (linea tratteggiata) indica equivalenza di resa tra le due tecniche. Il simbolo giallo indica la media di tutti i dati.

produttive osservate nelle diverse condizioni sperimentali tra i due sistemi di lavorazione sono state poste in relazione con l'intensità di stress idrico subito dalla coltura cerealicola. Dall'analisi della figura 2 si evidenzia una netta superiorità in termini di resa in granella del CT sul NT in condizioni di limitato (o assente) stress idrico ( $WSI < 25$ ), equivalenza di resa in condizioni di stress idrico moderato ( $25 < WSI < 45$ ) e un vantaggio del NT sul CT in condizioni di stress idrico marcato ( $WSI > 45$ ), vantaggio peraltro crescente all'aumentare della sua intensità. Tale risultato è in accordo con quanto riportato da altri autori (Bonfil et al. 1999; De Vita et al. 2007; Su et al. 2007) e trova una plausibile spiegazione nell'aumento in NT della disponibilità idrica per la coltura rispetto a CT, attribuibile al miglioramento delle caratteristiche idrauliche del suolo (Kay e Vanden Bygaart 2002), grazie al più favorevole rapporto tra micro- e macro-porosità, alla maggiore continuità del sistema poroso derivante dagli apparati radicali in decomposizione e dall'attività della macrofauna del suolo (maggiore in NT rispetto a CT; Guzha 2004) e, infine, all'incremento della sostanza organica del suolo (West e Post 2002). La maggiore disponibilità di acqua in NT rispetto a CT può dipendere anche dalla riduzione dell'evaporazione determinata sia dalla minore scabrezza della superficie del suolo (Lampurlanés e Cantero-Martínez 2006) sia dalla presenza su di essa dei residui colturali (Blevins e Frye 1993).

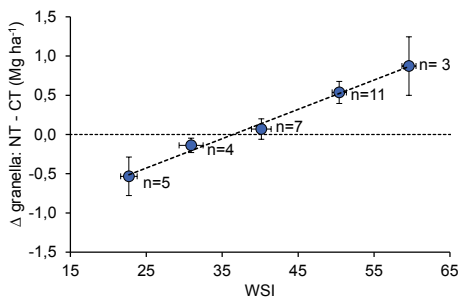


Fig. 2 – Relazione tra *water stress index* (WSI) e differenze di resa in granella tra le due tecniche di lavorazione del suolo (CT, convenzionale; NT, non lavorazione). I dati sono stati raggruppati in funzione del WSI (classi a partire dall'intervallo 15-25 e con step 10; n=numero di dati per ciascuna classe). Le barre orizzontali e verticali per ciascun valore medio indicano gli errori standard.

La variabilità di risposta del NT rispetto al CT è apparsa relazionata anche ad alcuni fattori dell'agrotecnica e, a tal riguardo, un ruolo importante è stato svolto dal precedente colturale. Dall'analisi dei risultati della prova A, in cui le due tecniche di gestione del suolo sono state applicate continuamente per 18 anni su differenti sequenze colturali, è emersa un'interazione significativa tra i due fattori; in particolare l'adozione del NT ha offerto vantaggi produttivi soltanto allorché il frumento è stato allevato in successione a leguminosa (da foraggio o da granella) mentre nell'omosuccessione cerealicola le maggiori produzioni sono state realizzate con l'adozione della tecnica convenzionale (Fig. 3). Inoltre dalla stessa ricerca è emerso che gli svantaggi indotti dall'applicazione del NT nella condizione di omosuccessione si sono progressivamente accresciuti nel tempo (Fig. 4), mentre, nelle colture avvicendate con leguminose sono stati osservati effetti cumulati nel tempo nulli o estremamente contenuti. Una delle probabili cause delle crescenti riduzioni di resa

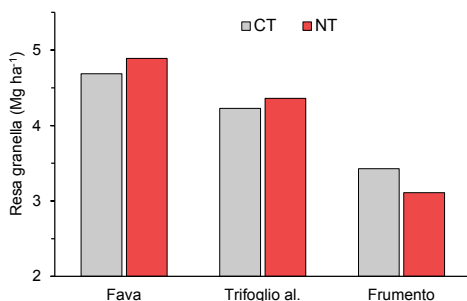


Fig. 3 – Rese in granella del frumento duro al variare della tecnica di lavorazione (CT, convenzionale; NT, non lavorazione) e del precedente colturale (interazione significativa per  $P < 0,01$ ). Prova A; dati medi di 18 anni di applicazione continuativa dei trattamenti.

osservate nel sistema “NT-omosuccessione” è da rintracciarsi nel progressivo aumento dell’incidenza di alcuni patogeni che causano marciumi basali e radicali nel frumento (*Gaeumannomyces graminis*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp.; dati non riportati). È noto come le modificazioni della tecnica di lavorazione del suolo e della sequenza colturale abbiano entrambe un impatto importante sulla fauna e sui microrganismi del suolo, compresi quelli nocivi per la coltura. In particolare, in NT, il mantenimento dei residui colturali sulla superficie del suolo può favorire quei patogeni che trovano rifugio e nutrimento durante la loro fase saprofitica proprio nei residui stessi; al contrario, in CT, l’interramento dei residui determina una maggiore esposizione degli stessi alla degradazione microbica e, conseguentemente, la morte dei patogeni che in essi risiedono. Pertanto, quando la tecnica della non lavorazione viene applicata all’omosuccessione cerealicola, alcuni patogeni trasmessi attraverso i residui colturali infetti possono divenire estremamente problematici, come osservato nella prova A.

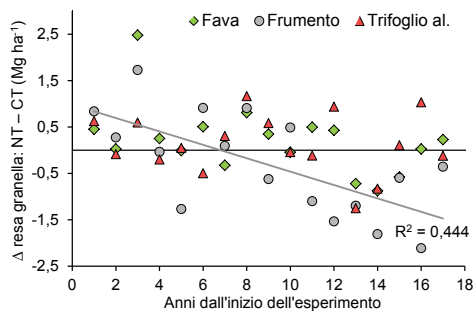


Fig. 4 – Andamento nel tempo delle differenze di resa in granella tra le due tecniche di lavorazione del suolo (CT, convenzionale; NT, non lavorazione) al variare del precedente colturale (riadattata da Amato et al., 2013).

I risultati della prova E hanno evidenziato, in assenza di somministrazione azotata, un netto vantaggio in termini di rese in granella del CT rispetto al NT (Fig. 5); tale vantaggio si è progressivamente ridotto all’aumentare della dose di concime somministrato e ciò lascia ipotizzare come la minore disponibilità naturale di N nel suolo indotta dall’applicazione della tecnica della non lavorazione abbia svolto un ruolo cruciale nel determinare le differenze produttive tra i due sistemi, in accordo, peraltro, con quanto riportato da Huggins e Pan (1993). Infatti, la lavorazione, rispetto alla condizione di terreno non lavorato, può incrementare il quantitativo di N potenzialmente disponibile per la coltura intensificando i processi di mineralizzazione della sostanza organica, agendo sulla struttura, sulla temperatura e sull’aerazione del suolo, sulla distribuzione dei residui colturali lungo il profilo e sul loro grado di protezione fisica dall’aggressione dei microrganismi (Silgram e Shepherd 1999).

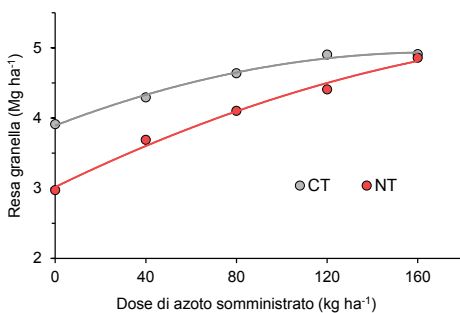


Fig. 5 – Produzione di granella di frumento duro al variare della dose di concime azotato e della tecnica di lavorazione del suolo (CT, convenzionale; NT, non lavorazione). Prova E, valori medi di quattro ambienti (interazione significativa per  $P < 0,01$ ).

Inoltre, in uno studio condotto per un biennio nell’ambito della prova A e finalizzato a valutare l’efficienza d’uso dell’N al variare della tecnica di gestione del suolo, del precedente colturale e della modalità di distribuzione del fertilizzante (100 kg N ha<sup>-1</sup>, distribuiti interamente in presemina oppure frazionati in presemina ed alla fine dell’accestimento), è stata evidenziata una riduzione dell’efficienza di utilizzazione del concime somministrato (cioè della quota di N da fertilizzante utilizzato dalla coltura rispetto a quello complessivamente somministrato, <sup>15</sup>N<sub>REC</sub>) in NT rispetto a CT, in particolare quando il concime azotato è stato distribuito integralmente in presemina (Fig. 6). Tale risultato trova una plausibile spiegazione ipotizzando un aumento delle perdite dell’elemento dal sistema per

volatizzazione (come conseguenza del non interrimento dei fertilizzanti somministrati; Fox e Piekielek, 1993; Angás et al., 2006). Alla luce di quanto sopra riportato, è possibile ipotizzare che entrambi i fenomeni (diverso grado di mineralizzazione della sostanza organica e diversa entità delle perdite di N dal sistema) contribuiscano congiuntamente a determinare differenze, più o meno ampie, sulle reali disponibilità di N nei due sistemi (CT e NT), peraltro con un peso relativo variabile in funzione di una pluralità di fattori (condizioni climatiche, tipo di suolo, tenore in sostanza organica, altre tecniche colturali).

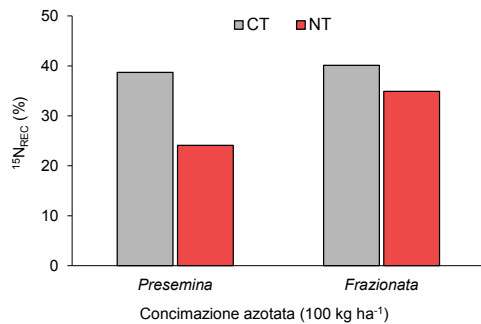


Fig. 6 – Efficienza d'uso del fertilizzante azotato ( $^{15}\text{N}_{\text{REC}}$ ) al variare della modalità di distribuzione del concime (interamente in presemina; frazionata 50% in presemina e 50% alla fine dell'accestimento) e della tecnica di lavorazione del suolo (CT, convenzionale; NT, non lavorazione). Interazione significativa per  $P \leq 0,01$ .

Nella figura 7 sono riportati i dati relativi al contenuto in proteine nella granella in CT e NT nelle diverse condizioni sperimentali durante il ventennio di prove. In media, in accordo con quanto osservato da López-Bellido et al. (1998), il contenuto in proteine è risultato significativamente più elevato in CT rispetto a NT (15,1% vs 14,4% rispettivamente). Considerando che, in media, tra le due tecniche non sono emerse differenze produttive, tale risultato va certamente attribuito agli effetti negativi indotti dall'applicazione del regime sodivo sulle dinamiche dell'N nel suolo, in linea con quanto già descritto. Va comunque evidenziato che tali effetti possono cambiare nel tempo e, come

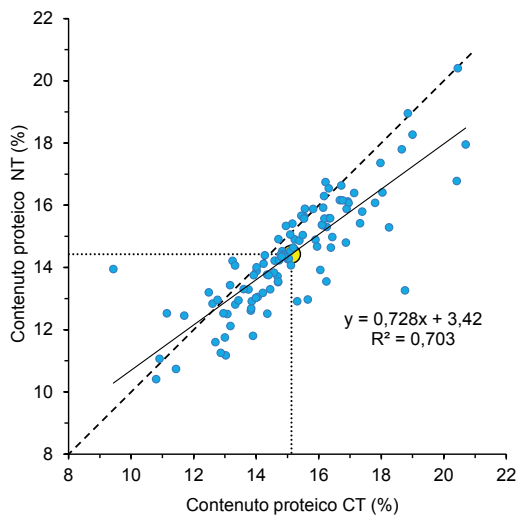


Fig. 7 – Relazione tra il contenuto in proteine della granella registrato con le due tecniche di lavorazione del suolo (CT, convenzionale; NT, non lavorazione) in tutte le condizioni sperimentali ( $n = 105$ ; simboli azzurro). La bisettrice (linea tratteggiata) indica equivalenza di contenuto proteico tra le due tecniche. Il simbolo giallo indica la media di tutti i dati.

osservato da Rice et al. (1986), la minore disponibilità di N nel suolo in NT rispetto a CT può essere limitata soltanto ai primi anni di applicazione della tecnica. Tuttavia i risultati della prova A (in cui le due tecniche sono state applicate continuativamente per 18 anni), non hanno evidenziato alcun effetto transitorio, essendo state osservate differenze pressoché stabili negli anni nel contenuto proteico tra NT e CT.

Dato che le diverse prove oggetto della presente nota sono state condotte su suoli ampiamente diversificati per caratteri fisici, chimici e mineralogici, si è ritenuto opportuno verificare se, ed

eventualmente in che misura, tale diversità pedologica abbia influenzato la risposta della coltura al variare del sistema di lavorazione. Dai risultati emerge un lieve vantaggio del CT sul NT nei suoli classificati come *Typic Calcixerapt*, caratterizzati da discreta permeabilità e media potenzialità agronomica, ed al contrario un vantaggio del NT sul CT nei *Typic Haploxerert*, quest'ultimi caratterizzati da un elevato contenuto in argilla in prevalenza montmorillonitica (che conferisce al suolo la capacità di autostrutturarsi) e da un elevato potenziale agronomico (Fig. 8).

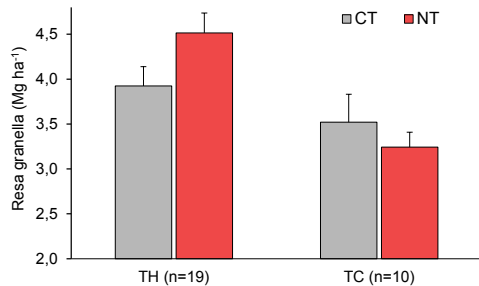


Fig. 8 – Produzione di granella di frumento duro al variare della tecnica di lavorazione del suolo (CT, convenzionale; NT, non lavorazione) in due tipi di suolo (TH, *Typic Haploxerert*; TC, *Typic Calcixerapt*). I segmenti verticali indicano l'errore standard.

Considerando che il passaggio dal regime arativo a quello sodivo ha delle marcate ripercussioni sull'agroecosistema nel suo complesso e che, per la piena espressione delle potenzialità del NT è necessario rimodulare i diversi segmenti dell'agrotecnica, valorizzando le interazioni positive tra le diverse componenti, nell'ambito delle prove realizzate sono stati condotti alcuni approfondimenti volti ad accertare gli effetti dell'applicazione di tale tecnica variando al contempo alcuni fattori degli itinerari tecnici applicati (epoca di semina: anticipata vs ordinaria; genotipo: tardivo vs precoce). Né l'anticipo dell'epoca di semina né l'utilizzo di genotipi tardivi hanno tuttavia determinato effetti significativi sulle rese in granella rispetto alle tecniche ordinarie (dati riportati in Giambalvo et al. 2004).

### Conclusioni

I risultati delle sperimentazioni condotte per un ventennio sull'applicabilità di tecniche conservative di gestione del suolo consentono di affermare che la tecnica del *no tillage* rappresenta un'alternativa valida ai sistemi convenzionali di lavorazione nelle aree mediterranee a clima semiarido, dove la scarsa piovosità e l'aleatorietà degli eventi piovosi spesso determinano condizioni di forte stress idrico per la coltura. In tali ambienti e in tali condizioni, infatti, l'applicazione della tecnica della non lavorazione ha consentito di ottenere nel frumento duro rese in granella spesso superiori rispetto al CT; al contrario, quest'ultima tecnica è apparsa superiore in assenza di stress idrico per la coltura. Dai risultati è emerso inoltre che gli agricoltori dovrebbero applicare la tecnica del NT rimodulando anche altri segmenti dell'agrotecnica, mirando a valorizzare le interazioni positive tra le diverse componenti dell'agroecosistema. Infatti per una piena estrinsecazione delle potenzialità del NT è necessario:

- adottare razionali avvicendamenti; l'applicazione continuativa della tecnica nell'omosuccessione cerealicola ha condotto a progressive riduzioni di resa come probabile conseguenza della crescente incidenza di specifiche avversità biotiche;
- incrementare, rispetto al CT, la dose di fertilizzante azotato somministrato alla coltura per compensare la minore disponibilità di N (indotta dalla riduzione del tasso di mineralizzazione della sostanza organica e dalla maggiore entità di perdite di N dal sistema).

Quest'ultima indicazione appare di particolare importanza al fine di ridurre le differenze qualitative delle produzioni granellari ottenute adottando i due sistemi di lavorazione del suolo (contenuto in proteine nella granella significativamente minore in NT rispetto a CT).

Infine, dalla ricerca è emerso come la tecnica del NT possa trovare maggiore probabilità di successo se applicata a suoli ben strutturati e con elevata capacità autostrutturante.

### Ringraziamenti

Le ricerche sono state condotte utilizzando fondi erogati da: MiRAAF (Sperimentazione per il miglioramento del grano duro in Sicilia); MiPA-UE (POM A16 Misura 2); Regione Sicilia (Patti

territoriali Magazzolo-Platani e SICOBIO); MiPAF (SICOBIO); MIUR-UE (PON-ISCOCEM).

### **Bibliografia**

- Amato G. et al. 2004. Wheat yield and grain quality as affected by tillage, sowing time and nitrogen fertilization under rainfed Mediterranean conditions. *Options Méditerranéennes Serie A*, 60:151-155.
- Amato G. et al. 2013. Long-Term Tillage and Crop Sequence Effects on Wheat Grain Yield and Quality. *Agron. J.* 105:1317-1327.
- Angás P. et al. 2006. Tillage and N fertilization: Effects on N dynamics and barley yield under semiarid Mediterranean conditions. *Soil Tillage Res.* 87:59-71.
- Blevins R.L. e Frye W.W. 1993. Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Adv. Agron.* 51:33-78.
- Bonfil D.J. et al. 1999. Wheat grain yield and soil profile water distribution in a no-till arid environment. *Agron. J.* 91:368-373.
- De Vita P. et al. 2007. Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. *Eur. J. Agron.* 26:39-53.
- Fox R.H. e Piekielek W.P. 1993. Management and urease inhibitor effects on nitrogen use efficiency in no-till corn. *J. Prod. Agric.* 6:195-200.
- Giambalvo D. et al. 2004. Nitrogen efficiency component analysis in wheat under rainfed Mediterranean conditions: Effects of crop rotation and nitrogen fertilization. *Options Mediterr., Ser. A* 60:169-173.
- Giambalvo D. et al. 2012. Faba bean grain yield, N<sup>2</sup> fixation, and weed infestation in a long-term tillage experiment under rainfed Mediterranean conditions. *Plant Soil* 360:215-227.
- Giambalvo D. et al. 2001. Possibilità applicative del no-tillage nella coltura del frumento duro in ambiente mediterraneo. *Atti Conv. SIA, Pisa* 17-21 sett. 2001, 109-110.
- Guzha A.C. 2004. Effects of tillage on soil microrelief, surface depression storage and soil water storage. *Soil Tillage Res.* 76:105-114.
- Hernanz J.L. et al. 2002. Longterm effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil Tillage Res.* 66:129-141.
- Huggins D.R. e Pan W.L. 1993 Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agron. J.* 85:898-905.
- Kay B.D. e VandenBygaart A.J. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil Tillage Res.* 66:107-118.
- Lampurlanés J. e Cantero-Martínez C. 2006. Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil Tillage Res.* 85:13-26.
- López-Bellido L. et al. 1996. Long-term tillage, crop rotation, and nitrogen fertilizer effects on wheat yield under rainfed Mediterranean conditions. *Agron. J.* 88:783-791.
- López-Bellido L. et al. 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Res.* 57:265-276.
- Mazzoncini M. et al. 2008. Rainfed wheat and soybean productivity in a long-term tillage experiment in central Italy. *Agron. J.* 100:1418-1429.
- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Stat. Comput., Vienna.
- Rice C.W. et al. 1986. Soil nitrogen availability after long-term continuous no-tillage and conventional tillage corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1206-1210.
- Rizza F. et al. 2004. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Sci.* 44:2127-2137.
- Silgram M. e Shepherd M.A. 1999. The effects of cultivation on soil nitrogen mineralization. *Adv. Agron.* 65:267-311.
- Stringi L. e Giambalvo D. 1996. Valutazione dell'impatto ambientale di sistemi innovativi a diverso input energetico. *Agric. Ric.* 164:393-400.
- Su Z. et al. 2007. Effect of conservation tillage practices on winter wheat water use efficiency and crop yield on the Loess Plateau. *Agric. Water Manag.* 87:307-314.
- West T.O. e Post W.M. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1930-1946.