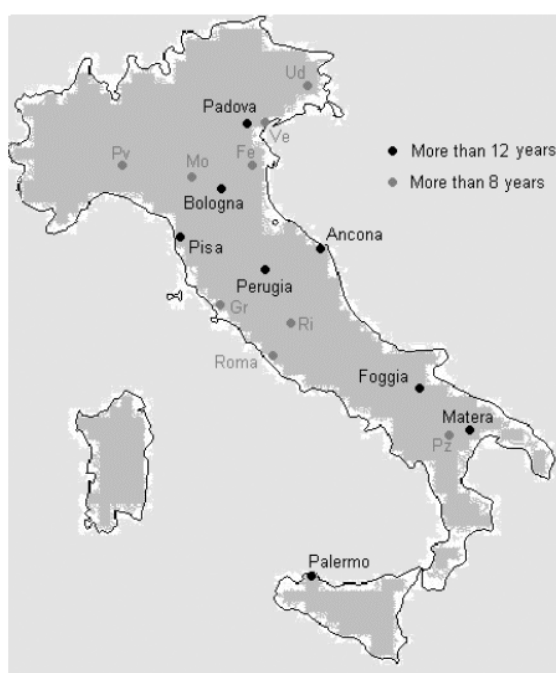


## **ANALISI E CATAGOLAZIONE DEGLI ESPERIMENTI AGRONOMICI DI LUNGO TERMINE: PRODUTTIVITÀ E CICLO DEL CARBONIO**

M. ZULIANI, A. PERESSOTTI, G. DELLE VEDOVE, F. DANUSO, G. ZERBI  
Dipartimento Produzione Vegetale e Tecnologie Agrarie - Università di Udine

### **INTRODUZIONE**

Attualmente in Italia sono in corso numerosi esperimenti agronomici di lungo termine (Fig.1). Tali esperimenti, in genere finalizzati alla ricerca in campo agronomico, hanno fornito e forniscono una notevole quantità di dati, utilizzabili anche in studi di tipo ecologico e agrometeorologico. La mancanza di diffusione delle informazioni sui metodi di raccolta dei dati degli esperimenti di lungo termine e sulla loro organizzazione, oltre alla mancanza di uno standard nella gestione e nella conservazione dei dati relativi a tali esperimenti sono di forte ostacolo alla valorizzazione scientifica degli stessi in ambito nazionale ed internazionale (Hunt et al. 1998a, 1998b). Attraverso la realizzazione di un metadatabase relativo agli esperimenti di lungo termine e di un database, dove conservare e condividere parte dei dati, è possibile migliorare l'utilizzo dei dati sia per quanto riguarda la loro diffusione sia in ambito modellistico.



**Figura 1** – Localizzazione degli esperimenti agronomici di lungo termine.

Il presente contributo ha come obiettivo quello di descrivere le caratteristiche del metadatabase relazionale per la gestione dei dati agronomici di lungo termine (1) e presentare alcuni risultati riguardanti l'analisi dei dati e la loro elaborazione modellistica. Maggiore dettaglio è stato posto nella simulazione dei processi maggiormente collegati alle variazioni climatiche per quanto riguarda la produttività primaria delle colture agrarie (2) e le dinamiche dei residui colturali e della sostanza organica nel terreno (3).

## **METADATABASE E DATA BASE. STRUTTURA E POLITICHE DI GESTIONE**

Con lo scopo di raccogliere, conservare e descrivere i dati provenienti dalle prove agronomiche di lungo termine presenti in Italia sono stati realizzati un metadatabase ed un database relazionale, integrati all'interno di una unica applicazione chiamata ClimagriLT.

Il metadatabase contiene i metadati relativi alle prove di lungo termine, cioè le informazioni sul contenuto dei dati, sulla loro qualità, sulle modalità di raccolta e conservazione, sui formati in cui i dati sono disponibili e sulle loro modalità di distribuzione. Il database relazionale contiene i dati sperimentali derivati dalle prove di lungo termine.

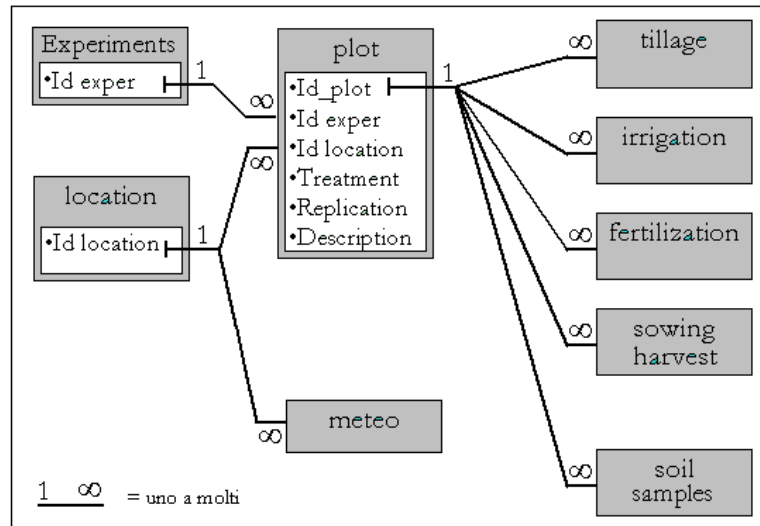
Il processo di strutturazione del database relazionale si è sviluppato attraverso quattro fasi (stesura dei requisiti, costruzione della struttura concettuale, costruzione della struttura logica e normalizzazione) ed è stato di tipo ricorsivo, cioè al termine della quarta ed ultima fase le informazioni raccolte durante il processo venivano analizzate e organizzate al fine di fornire un nuovo status quo da cui ripartire con la prima fase (Atzeni et al. 1996).

Osserviamo le singole fasi nel dettaglio.

La stesura dei requisiti consiste nell'individuazione dei problemi che il database dovrà risolvere e delle esigenze che dovrà soddisfare. Se alcuni dei requisiti finali del database sono stati individuati fin dalla prima stesura, altri sono stati il frutto della ripetizione del processo di strutturazione e derivano direttamente dalle informazioni fornite dai passi successivi.

La costruzione della struttura concettuale consiste nella individuazione delle diverse entità (gruppi di dati) presenti all'interno dei dati che descrivono l'esperimento di lungo termine e nella descrizione delle relazioni che esistono tra le diverse entità. Fondamentale per la costruzione dello schema concettuale di Climagri.LT è stata l'individuazione della centralità della parcella all'interno della grossa mole di dati che una prova di lungo termine produce. Conseguenza diretta è stata la suddivisione in diverse entità delle informazioni relative a lavorazioni, irrigazioni, fertilizzazioni, semina e raccolto. Tale suddivisione sottolinea l'assenza di correlazione tra questi eventi e individua in modo preciso il loro diretto collegamento alla parcella. La parcella inoltre risulta collegata alle condizioni meteo attraverso il gruppo di dati che individua e descrive le stazioni dove hanno sede gli esperimenti. Una ulteriore informazione, direttamente collegata alle parcelle, è quella relativa ai metadati che descrivono le condizioni sperimentali (disposizione delle parcelle), le modalità di misurazione dei dati, il responsabile dell'esperimento e l'istituto di riferimento. A questa prima fase di traduzione della realtà percepita nei concetti che la descrivono è seguita la costruzione della struttura logica, che prevede la traduzione dei concetti appena esposti in uno schema che aiuti direttamente la realizzazione del database all'interno del Database Management System (DBMS), cioè della applicazione scelta per la gestione della base di dati.

La fase successiva, la normalizzazione, è il processo attraverso il quale è possibile verificare la correttezza di una struttura di database relazionale e consente di individuare eventuali ridondanze, eventuali dati non atomici e l'unicità dei punti di aggiornamento e cancellazione dei dati.



**Fig. 2** - La struttura del database.

In Fig.2 è possibile notare le diverse entità individuate all'interno dei dati (ad ogni box corrisponde una entità) e le relazioni che intercorrono tra una entità e l'altra.

La base di dati così ottenuta risulta facilmente espandibile ed adattabile a nuove necessità. L'eventuale futura presenza di nuovi tipi di dati non andrà ad intaccare la struttura di base infatti, se i nuovi dati faranno parte di una entità (e quindi tabella) già presente essi vi saranno integrati mentre, nel caso di dati che costituiscono una nuova entità autonoma, essi troveranno spazio all'interno del database in una nuova tabella e messi in relazione con la parcella di riferimento.

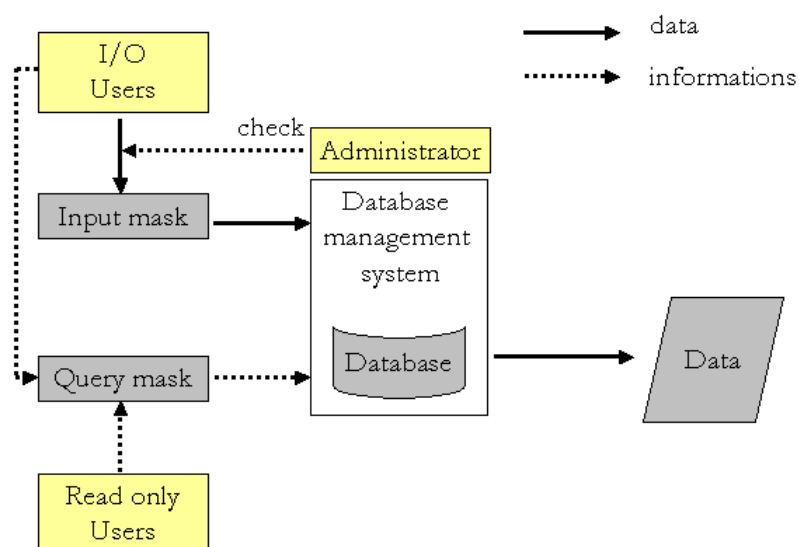
La struttura del database costituisce essa stessa una informazione infatti risulta essere una descrizione della realtà costituita dagli esperimenti di lungo termine. Con una struttura di questo tipo il popolamento della base di dati risulta facilitato in quanto l'operatore deve solamente scorrere tabella dopo tabella e attributo dopo attributo l'intero database e popolarlo con i dati derivati dalle prove di lungo termine, evitando quasi completamente di comprendere e gestire i diversi formati in cui questi dati si presentano in funzione della diversa gestione a cui sono stati sottoposti nelle diverse stazioni. In questo modo la standardizzazione dei formati diventa una conseguenza diretta del popolamento, ciò significa che se i dati di una stazione hanno trovato la loro collocazione nel database ebbene essi avranno ora un formato standard comune ai dati provenienti da altre stazioni.

La gestione del database avviene attraverso il DBMS Access. Tale scelta è stata dettata dalla necessità di poter facilmente distribuire il database, senza richiedere, nella maggior parte dei casi, l'installazione di nuovo software. La politica di gestione dei dati proposta per ClimagriLT è riassunta in Fig. 2.

L'amministratore della base di dati, oltre ad avere funzione di controllo sui dati in input, è responsabile della affidabilità del sistema e della gestione delle autorizzazioni di accesso ai dati. L'amministratore, sebbene verifichi la qualità del dato, non ne è il responsabile. Deve invece indicare con precisione la fonte del dato e se il dato è stato misurato, derivato, calcolato o stimato.

Per ClimagriLT si prevedono due tipologie di utenti.

La prima è costituita da utenti che forniscono dati sulle prove di lungo termine e/o che



**Fig. 3** - Schema riassuntivo della politica di gestione del database.

partecipano attivamente alla realizzazione del database. Tali utenti interagiscono con l'amministratore nella fase di popolamento della base di dati ed hanno pieno accesso alle maschere per l'interrogazione del database e l'estrazione dei dati predisposte dall'amministratore. Possono richiedere, in casi che esulano dalle operazioni di routine già predisposte nelle maschere di interrogazione, l'intervento dell'amministratore, al fine di risolvere eventuali difficoltà nella estrazione dei dati.

La seconda tipologia è costituita da utenti che hanno accesso alle sole maschere di interrogazione. Tale accesso consente la sola consultazione dei metadati e solo in un secondo momento, a discrezione dell'amministratore, viene autorizzata la lettura dei dati desiderati. In ogni caso, per tutti i tipi di utenti, la visualizzazione dei dati sarà ufficializzata tramite documentazione scritta e la loro utilizzazione verrà concordata mediante contatto diretto con il fornitore dei dati.

### **UTILIZZO DEI DATI ALL'INTERNO DI AMBIENTI DINAMICI DI SIMULAZIONE: ANALISI DELLE PRODUZIONI ED EFFETTI DELLE VARIABILI METEOROLOGICHE**

La capacità dei dati contenuti in ClimagriLT di fornire supporto alla modellistica di sistemi colturali è stata provata in ambiente SEMola (Danuso, in prep), costruendo un modello di sistema colturale basato su Wofost6 (SC-DLO, AB-DLO Wageningen - NL, JRC Ispra - I,1999). L'obiettivo di questo lavoro preliminare consiste nel mettere a punto le procedure di query, formattazione automatica dei dati di input, calibrazione e validazione dei modelli e nel verificare il sotto-modulo della produttività primaria del modello colturale.

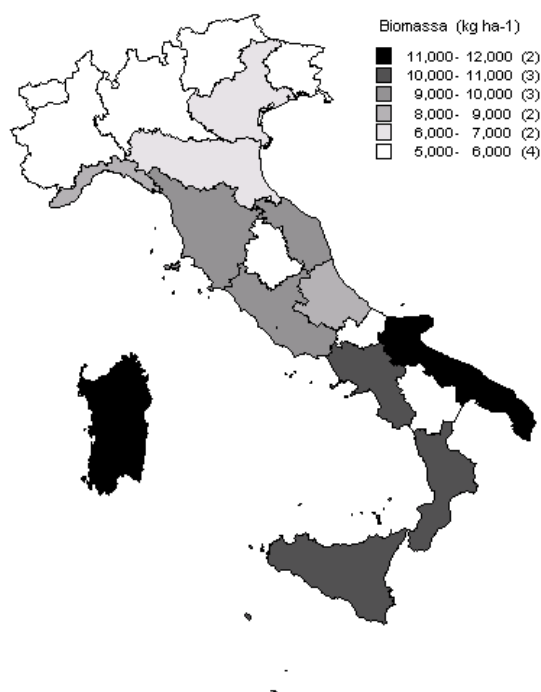
Il modello validato e verificato soprattutto per la sensitività alle variabili climatiche servirà da supporto per le analisi degli scenari climatici futuri su tutto il territorio nazionale. Questa procedura per ora eseguita con dati riferiti a condizioni medie sarà in grado di accogliere e ordinare anche i dati pedologici e climatologici (passati e futuri) del territorio nazionale non appena questi diverranno disponibili da parte delle altre unità del progetto.

A tal fine sono state condotte delle simulazioni basate sul clima meteorologico (1960-1990) riguardanti la produttività potenziale di una ipotetica coltura estiva a ciclo

fotosintetico C3 adattata a temperature italiane (tipo girasole e soia). Tali dati espressi in questo esercizio preliminare per regione amministrativa, verranno geoferenziati con piu' dettaglio non appena diverra' disponibile la classificazione pedologica del suolo italiano.

Le produttivita' potenziali sono variate notevolmente sul territorio italiano evidenziando per questo tipo di coltura le potenzialita' di Puglia e Sardegna rispetto a quelle piu' settentrionali e ad altre meridionali caratterizzate rispettivamente da temperature e radiazioni piu' bassa e temperature estive molto alte. La produttivita' potenziale di queste due risulta doppia rispetto a quelle settentrionali dimostrando che il modulo e' in grado di simulare adeguatamente la sensibilita' delle colture estive a ciclo C3 all' aumento della temperatura ed alle variazioni del regime radiativo.

Nei prossimi mesi il modello calibrato sulle prove agronomiche di Padova, Pisa e Bari verra' ulteriormente integrato con moduli che includono gli effetti degli altri principali fattori produttivi (acqua, nutrienti, gestione) e con moduli riguardanti le caratteristiche fenologiche e di sviluppo delle principali cultivar italiane e definitivamente validato sull' intero data base.



**Fig. 4** - Produttività potenziale (disponibilità illimitata di fattori di crescita) di una coltura estiva a ciclo fotosintetico C3 sul territorio italiano. I dati meteorologici utilizzati sono stati quelli del clino (1960-1990).

**UTILIZZO DEI DATI ALL'INTERNO DI AMBIENTI DINAMICI DI  
SIMULAZIONE: VALIDAZIONE ED ANALISI DI SENSITIVITA' BASATA  
SUL CLINO 1960-1990 DELLE DINAMICHE DELLA SOSTANZA  
ORGANICA DEL TERRENO.**

Dal momento che il C contenuto nel suolo equivale a 3 volte il quantitativo presente nella vegetazione ed a quasi due volte quello presente nell'atmosfera e' chiaro che cambiamenti a carico della sostanza organica del suolo SOM, possono essere critici per

il bilancio globale del C e per gli effetti sul clima (effetto serra e cambiamenti climatici correlati).

Anche recenti esperimenti condotti sulla decomposizione dei residui colturali (Kirschbaum, 1995), o della SOM (Katterer et al. 1998) hanno supportato l'ipotesi che ci sia un forte effetto della temperatura sul tasso di mineralizzazione del C organico del suolo o della lettiera. I modelli utilizzati per simulare gli effetti del riscaldamento globale, fanno uso di tali relazioni per dimostrare un generale impoverimento del C del suolo. In realtà la dinamica della SOM, non si riduce solamente ad un effetto della temperatura ma rappresenta il risultato di una complessa interazione tra la sua 'qualità' e l'ambiente pedoclimatico per il quale la temperatura rimane comunque un elemento fondamentale del processo (Agren G. I., Bosatta E., 2002).

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di calibrare un modello di simulazione della dinamica della sostanza organica nel terreno alle latitudini italiane, utilizzando dati provenienti dalle prove di lungo termine presenti sul territorio nazionale.

I modelli scelti inizialmente sono stati due Century e RothC. Entrambi i modelli sono stati ampiamente utilizzati in campo scientifico internazionale per la loro versatilità nel simulare diverse situazioni agronomiche ed ambientali (Geoderma, edizione speciale n°81 vol 3-4, 1998). Century è stato messo a punto dal Dipartimento dell'Agricoltura del Colorado (Usa), con lo scopo di valutare diverse condizioni agroclimatiche e diversi sistemi colturali, mentre il modello RothC versione 2.63 è stato sviluppato da Jenkinson e Coleman a partire dai dati disponibili sul bilancio del carbonio nel suolo dalle rotazioni di lunga durata di Rothamsted (UK) da cui il nome. Sin dall'inizio è emerso che la complessità di Century ne limitava l'utilizzo con i dati provenienti dalle prove di lungo termine e la scelta si è orientata verso RothC che richiede un numero inferiore di parametri di input. Anche per RothC si è dovuto procedere a delle modifiche in quanto le dinamiche osservate per la SOM erano diverse da quelle simulate. La causa di questo limite è stato individuato nei seguenti fatti: i) RothC non considera l'effetto delle lavorazioni del suolo, ii) assume che almeno una volta all'anno si raggiunga la saturazione idrica del suolo e iii) non considera gli apporti idrici dalla falda. Date queste si è provveduto ad una sua riedizione utilizzando il linguaggio di simulazione SEMoLa (Danuso F., 2003). I dati raccolti e organizzati nel data base CLIMAGRILT, provengono dagli esperimenti di lungo termine di Foggia, Padova e Pisa.

Questa attività ha riguardato lo studio della sensibilità relativa della variabile SOC ai parametri del modello. La loro sensibilità varia in funzione delle condizioni al contorno: ad esempio negli ambienti meridionali siccitosi, critico risulta essere il parametro di minima mineralizzazione controllato dall'umidità del suolo (mindrM); in ambienti con suoli aventi argille smectitiche critica può essere la quota percentuale di SOC da considerare inerte (IOM Inert Organic Matter) ai processi di decomposizione microbica.

Lo studio della sensibilità ha permesso di procedere alla calibrazione del modello per le condizioni iniziali, assunte all'equilibrio, del valore SOC. Questa fase ha permesso di verificare come al variare delle condizioni pedoclimatiche, si determini il Cinput necessario a mantenere indefinitivamente quel livello di SOC. Come appare dalla tabella 1 è stato possibile ottenere per 3 ambienti italiani, distribuiti da Nord a Sud, valori decrescenti del Cinput e valori crescenti del Tempo Medio di Residenza (TMR) della SOC decomponibile. Queste simulazioni sono state ottenute dopo avere implementato un bilancio idrico continuo e dopo avere calibrato i valori dei parametri IOM e mindrM (Tabella2). IOM% è la quota della SOC assunta indecomponibile ed è funzione in prima istanza della SOC, ma anche del tipo di argilla; infatti a Foggia, per il fatto che si è in presenza di un vertisuolo, è stata data maggior peso a questa componente, diminuendo quindi la quota di SOC decomponibile. Il parametro mindrM, che esprime il valore minimo del fattore di decomposizione legato alla umidità del

suolo, è stato posto pari a 0.4 nei mesi autunnali per l'ambiente di Padova al fine di tenere conto della falda superficiale che si registra in quel periodo; a Foggia, invece, lo stesso parametro è stato ridotto a 0.1 per rendere conto delle condizioni di aridità estrema, soprattutto nei mesi estivi, che si registrano in questa stazione.

**Tabella 1** - Cinput all'equilibrio per tre ambienti italiani. I valori di SOC ed il Cinput si riferiscono ai 30 cm superficiali del suolo. SOCe<sub>q</sub>: SOC misurata all'inizio dell'esperimento; SOCdec: SOC decomponibile all'equilibrio; Cinput : C aggiunto annualmente al terreno dai residui colturali; TMR; tempomedio di residenza=SOCdec/Cinput.

	Tmed (°C)	Pioggia (mm) Media annua	ETa (mm)	SOCe <sub>q</sub> (tC ha <sup>-1</sup> )	SOCdec (tC ha <sup>-1</sup> )	Cinput (tC ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	TMR (anni)
Padova	12.3	840	982	48	46	5.0	9.2
Pisa	14.7	870	1055	49	45	3.6	12.5
Foggia	16.2	392	1700	72	55	2.3	23.9

**Tabella 2** - Parametri calibrati per le condizioni all'equilibrio: IOM: % di SOC indecomponibile; mindrM: minimo valore del fattore di decomposizione dovuto all'umidità del suolo. Arg: contenuto di argilla misurato.

	Arg.(%)	IOM (%)	MindrM
Valori stand.		0.049*SOC <sup>1.139</sup>	0.2
Padova	12	5.0	0.2/0.4
Pisa	19	8.0	0.2
Foggia	36	20.0	0.1

Questa fase di calibrazione preliminare ha poi portato alla successiva implementazione dei moduli che simulano la ripartizione del Cinput in funzione delle lavorazioni del terreno e la definizione dinamica del periodo di crescita delle colture, per tenere conto del contributo della respirazione radicale e dell'incidenza delle colture sui processi di decomposizione della SOC.

Il modello è stato calibrato per tre ambienti e per 10 situazioni colturali. Queste si sono differenziate per i seguenti fattori: l'irrigazione, le tecniche di gestione del suolo, le concimazioni organiche e la gestione dei residui. In figura 5 si riporta la regressione tra dati misurati e calcolati di questo processo di calibrazione.

In figura 6 e 7 due esempi con diversa complessità di situazioni colturali e di fattori produttivi. In sintesi si possono trarre le seguenti conclusioni:

L'irrigazione favorisce la decomposizione della SOC anche quando riesce ad incrementare il Cinput;

L'interramento dei residui colturali sembra essere più efficace dell'apporto di letame nel contenere la riduzione della SOC;

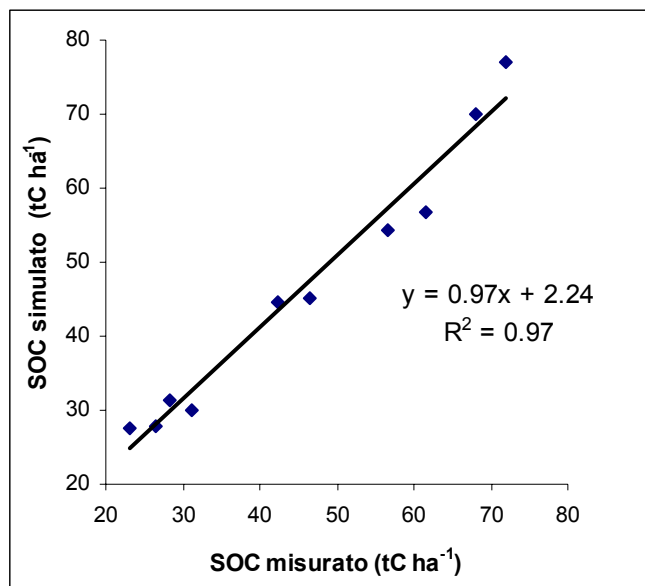
Le tecniche di non lavorazione del suolo si confermano le più efficaci per incrementare il contenuto di SOC nel suolo.

Le tecniche agronomiche analizzate si differenziano per la durata della fase lineare, che risulta essere inferiore per la gestione dei residui (20-50 anni) e molto superiore (50-100 anni) per le pratiche di gestione del suolo e per l'irrigazione.

RothC, calibrato sui dati delle prove agronomiche di lungo termine, e' stato infine utilizzato per simulare le variazioni di contenuto di sostanza organica su tutto il territorio italiano (Fig. 8). Anche per questa simulazione preliminare sono stati utilizzati dati pedologici medi ed i dati climatologici del Clino 1960-1990. Gli apporti di residui colturali al suolo derivano dalle simulazioni del modello Wofost modificato. Si

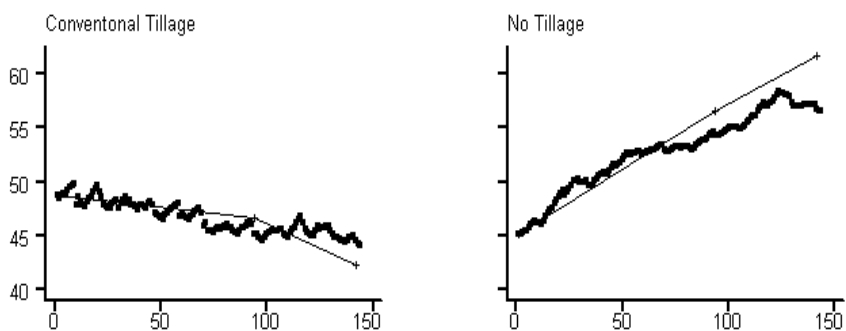
conferma che le regioni meridionali hanno minori perdite per mineralizzazione della sostanza organica del terreno con potenziali maggiori possibilità di sequestro.

Il modello sembra essere adeguato a rappresentare le principali situazioni agronomiche, per quanto richieda ancora di essere migliorato, nel senso meccanicistico, per rappresentare l'effetto delle lavorazioni, o per le interazioni tra ciclo del C e dell'N.



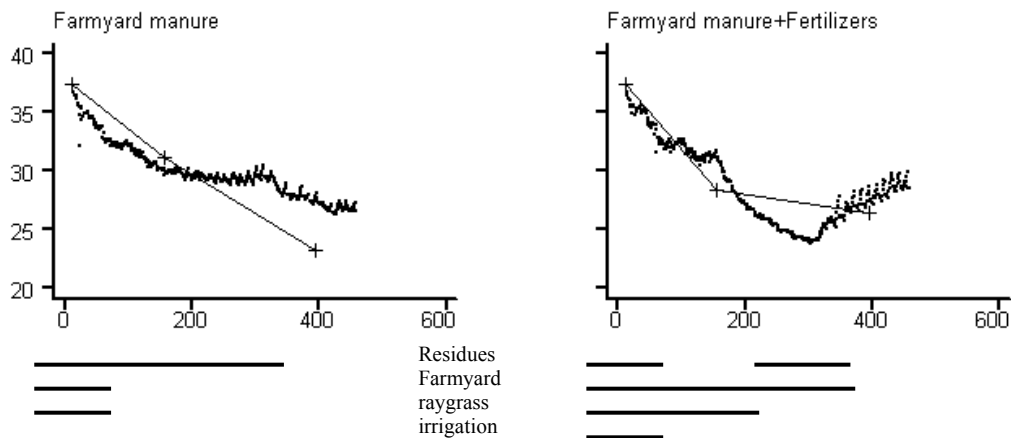
**Figura 5** - Confronto tra dati misurati e simulati di alcune tesi provenienti da Padova, Pisa e Foggia.

PISA Modelled (.) and measured (+--+ ) SOC (tC ha<sup>-1</sup>) during 12 years

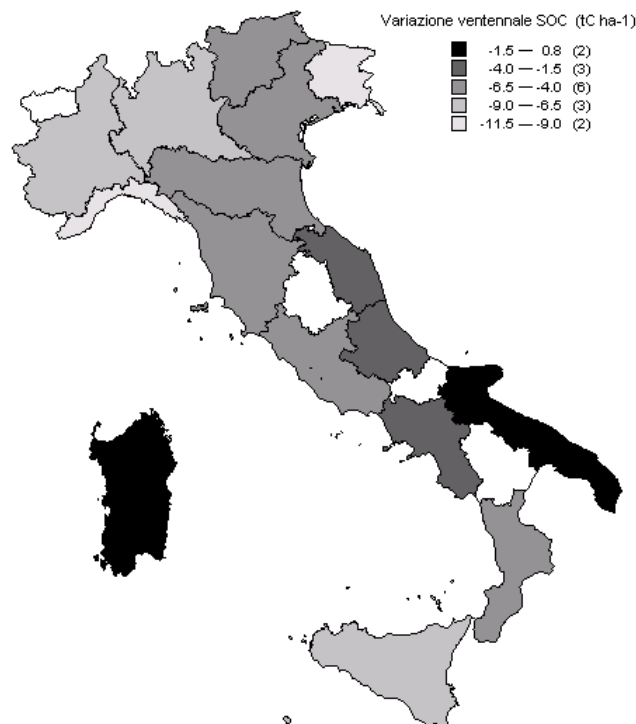


**Figura 6** - Valori misurati (+) e simulati mediante RothC (o) del contenuto di Carbonio organico nel terreno (SOC) nella prova di Pisa. In ascissa mesi dall'inizio della prova, in ordinata contenuto di SOC (ton ha<sup>-1</sup>).

PADOVA Modelled (.) and measured (+--+ ) SOC (tC ha-1) during 37 years



**Figura 7** - Valori misurati (+) e simulati mediante RothC (o) del contenuto di Carbonio organico nel terreno (SOC) nella prova di Pisa. In ascissa mesi dall' inizio della prova, in ordinata contenuto di SOC (ton ha<sup>-1</sup>).



**Figura 8** - Variazione ventennale del contenuto di carbonio organico (SOC) calcolato mediante RothC modificato. La simulazione utilizza i dati climatici del clino 1960-1990 e le produzioni calcolate con Wofost modificato.

**BIBLIOGRAFIA**

- Agren G. I., Bosatta E., 2002. Soil Biol. & Bioch., 34 129-132.
- Atzeni P., Ceri S., Paraboschi S. e Torlone R., 1996 - Basi di dati - Edizioni McGraw-Hill, Milano ed. 1999. 605 pp.

- Danuso F., 2003, SEMoLa4 manual, DPVTA, Università di Udine. In preparazione
- Kattere et al. 1998. Biol. & Fert. Of Soil , 27, 258-262
- Kirschbaum, M.U.F. ,1995. Soil Biol.& Biochem. 27, 753-760.
- Hunt,L.A. and K.J.Boote 1998a Data for model operation, calibration, and evaluation. In 'Understanding Options for Agricultural Production', eds. Gordon Y.Tsuji, Gerrit Hoogenboom and Philip K.Thornton. pp.9-39. Kluwer, Netherlands.
- Hunt,L.A. 1998b Recent attempts to evaluate and apply wheat simulation models, and to simplify the storage and exchange of experimental data. In 'Wheat: Prospects for global improvement', eds. H.J. Braun, F. Altay,W.E. Kronstad, S.P.S. Beniwal and A. McNab. pp.445-454. Kluwer,Netherlands.