

Il ruolo dell'agricoltura conservativa nel bilancio del carbonio

AGRICO₂LTURA



Quaderni della Ricerca
n. 153 - giugno 2013

Sperimentazione condotta nell'ambito del progetto di ricerca n. 1431: "Valutazione di tecniche per incorporare carbonio nei suoli agricoli e ridurre le emissioni di anidride carbonica in agricoltura - AgriCO2Itura" approvato con d.d.s. 14 aprile 2010 n. 3669 (Piano della Ricerca 2010) e finanziato con d.g.r. del 23/12/2009 n. 10880, d.g.r. 29/12/2010 n. 1155 e d.g.r. 29/12/2011 n. 2846 della Regione Lombardia

Per informazioni:

Regione Lombardia – Direzione Generale Agricoltura
U.O. Sviluppo di Innovazione, Cooperazione e Valore delle produzioni
Struttura Sviluppo, Promozione delle produzioni, Ricerca, Innovazione tecnologica e Servizi alle imprese
Piazza Città di Lombardia, 1 – 20124 Milano
Tel. +39.02/6765.3790 – Fax 02/6765.8056
e-mail: agri_ricerca@regione.lombardia.it
Referente: Marco Castelnuovo - tel. 02/6765 6562
e-mail: marco_castelnuovo@regione.lombardia.it

Coordinamento di progetto: Stefano Brenna¹

Responsabili di U.O. (Work Packages): Marco Acutis², Antonio Ballarin Denti³, Stefano Brenna¹,
Ciro Gardi⁴, Giacomo Gerosa⁵, Massimo Valagussa⁶

Coordinamento editoriale: Mita Lapi³

1 - ERSAF

Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste
Dipartimento Servizi all'Agricoltura
Via Pola 12, 20124 Milano
Tel. +39.02.67404.1 - Fax +39.02.67404.299
<http://www.ersaf.lombardia.it>
Referente: Stefano Brenna
e-mail: stefano.brenna@ersaf.lombardia.it

4 - Università degli Studi di Parma

Dipartimento di Bioscienze
Strada Farini 90, 43121 Parma
Tel. +39.0521.903407 - Fax +39.0521.347002
<https://www.unipr.it/dipartimento/bioscienze/>
Referente: **Ciro Gardi**
e-mail: ciro.gardi@unipr.it
e-mail: ciro.gardi@jrc.ec.europa.eu

2 - Università degli Studi di Milano

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali
Produzione, Territorio, Agroenergia
Via G. Celoria 2, 20133 Milano
Tel. +39.02 50316910 - Fax. +39.02 50316911
<http://www.disaa.unimi.it>
Referente: Marco Acutis
e-mail: marco.acutis@unimi.it

5 - Università Cattolica del Sacro Cuore

Dipartimento di Matematica e Fisica
Via dei Musei 41, 25121 Brescia
Tel. +39.030.2406702 - Fax +39.030.2406742
<http://www.dmf.unicatt.it>
Referente: Giacomo Gerosa
e-mail: giacomo.gerosa@unicatt.it

3 - FLA

Fondazione Lombardia per l'Ambiente
Largo 10 Luglio 1976 n. 1, Seveso (MB)
Tel. +39 02. 8061611 - Fax +39.02.80616180
<http://www.flanet.org>
Referente: Antonio Ballarin Denti
e-mail: antonio.ballarinidenti@flanet.org

6 - MAC

Minoprio Analisi e Certificazioni s.r.l.
Viale Raimondi 54
22070 Vertemate con Minoprio (CO)
Tel. +39.031.887127 - Fax +39.031.887834
<http://www.maclab.it>
Referente: Massimo Valagussa
e-mail: maclab@tin.it

Gli autori dei capitoli del Quaderno della Ricerca sono elencati a pagina 136



Regione Lombardia
Agricoltura



**Il ruolo dell'agricoltura conservativa
nel bilancio del carbonio**

AGRICO₂LTURA

*Quaderni della Ricerca
n. 153 - giugno 2013*

INDICE

	Pag.
PRESENTAZIONE	5
CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE ALL'AGRICOLTURA CONSERVATIVA	7
1.1 Gas a effetto serra e cambiamento climatico in atto	9
1.2 Il Protocollo di Kyoto	10
1.3 Politiche per ridurre le emissioni in Europa	11
1.3.1 Premessa	11
1.3.2 Europa e agricoltura	12
1.3.3 Politiche riguardanti i gas a effetto serra in Italia	14
1.4 Obiettivi del progetto AgriCO₂ltura	15
1.4.1 Agricoltura conservativa - I principi su cui si basa e gli scenari ambientali che produce	16
1.4.2 Vantaggi e svantaggi dell'agricoltura conservativa	17
CAPITOLO 2 - I BILANCI DEL CARBONIO NEI SUOLI DEI SISTEMI COLTURALI DELLA LOMBARDIA	19
2.1 Stock di carbonio organico in funzione del cambiamento dell'uso del suolo	21
2.1.1 Materiali e metodi	21
2.1.2 Risultati e discussione	23
2.2 Il bilancio del carbonio nei sistemi agricoli lombardi	29
2.2.1 Procedura per l'identificazione delle colture prevalenti nelle diverse regioni agrarie della Lombardia	30
2.2.2 Identificazione delle aree omogenee	31
2.2.3 Analisi della Banca dati relativa all'azione M della misura 214 per l'anno 2011	33
2.2.4 Procedura per il calcolo del bilancio del carbonio nel suolo agrario	34
2.2.5 Valutazione territoriale delle agrotecniche in termini di evoluzione dello stock di carbonio nei suoli agrari e delle emissioni di protossido di azoto	37
2.2.6 Discussione	42
2.3 Contributo della misura 214 azione M del PSR della Regione Lombardia sulla quantità di carbonio stoccato nei suoli	45
CAPITOLO 3 - STOCK DI CARBONIO, FERTILITÀ BIOLOGICA E BIODIVERSITÀ IN SUOLI COLTIVATI CON TECNICHE DI AGRICOLTURA CONSERVATIVA E TRADIZIONALE	51
3.1 Stock di Carbonio organico e fertilità biologica	53
3.1.1 Obiettivi	53
3.1.2 Aree di studio	53
3.1.3 Materiali e metodi	54
3.1.4 Determinazione degli indicatori di qualità del suolo	59
3.1.5 Risultati e discussione	60
3.1.6 Conclusioni	73
3.2 Flussi di CO₂ da suoli a diversa intensità di lavorazione	74
3.2.1 Materiali e metodi	76
3.2.2 Tecniche di misura	76
3.2.3 Strumentazione	77

3.2.4	Risultati	78
3.2.5	Discussione	91
3.2.6	Conclusioni	93
3.3	Biodiversità edafica	94
3.3.1	Fauna edafica e fertilità biologica nei sistemi agrari	94
3.3.2	Materiali e metodi	95
3.3.3	Risultati e discussione	97
3.3.4	Conclusioni	102
CAPITOLO 4 - INTERVENTI PER MIGLIORARE IL BILANCIO DEL CARBONIO NEI SUOLI AGRICOLI		103
4.1	PAC, PSR e Greening	105
4.2	Regione Lombardia - politiche in attuazione	106
4.3	PSR	107
4.3.1	Misura 214 - Pagamenti agroambientali	108
4.3.2	Misura 216 - Investimenti non produttivi	113
4.3.3	Misura 221 - Imboschimento dei terreni agricoli	114
4.3.4	Misura 223 - Imboschimento delle superfici non agricole	116
4.3.5	Misura 226 - Ricostituzione del potenziale forestale	117
4.4	Politiche extraeuropee	118
4.4.1	USA e Canada	119
4.4.2	Asia	120
4.4.3	Oceania	121
4.4.4	America centrale, America latina, Africa	122
BIBLIOGRAFIA E AUTORI		123
ALLEGATI - SITI DI MONITORAGGIO NELLE AREE DI STUDIO		139

Presentazione

L'agricoltura in generale e quella lombarda in particolare si trova ad operare in uno scenario che pone alcune importanti sfide sulle attività odierne e future. Tre sono le aree problematiche da affrontare a livello di impresa agricola: stare sul mercato con produzioni competitive e remunerative; gestire gli spazi e le risorse aziendali valorizzando le opportunità multifunzionali della propria attività; porre l'attenzione sui possibili impatti futuri causati dai cambiamenti climatici.

Continuare a produrre per mantenere un buon grado di approvvigionamento alimentare e operare per sostenere un reddito agli operatori sono ancora oggi le condizioni di base del comparto agricolo, ma è necessario rendere più solida la consapevolezza del cittadino che l'agricoltura svolge anche servizi cosiddetti eco-sistemici determinanti per il mantenimento degli equilibri ambientali. In tal senso la nuova politica agricola comunitaria 2014-2020 pone l'accento sulle dinamiche di interconnessione tra le attività umane, agricole e non, svolte sul territorio nel suo complesso. Il suolo è uno degli elementi che bene rappresentano i rapporti tra attività produttive e salvaguardia ambientale. Per questo Regione Lombardia ne sostiene da tempo lo studio, anche per "mappare" l'insieme di funzioni che esso esercita e per valutare correttamente le esternalità positive associate all'utilizzo agricolo di tale risorsa.

Uno tra gli indicatori importanti della qualità del suolo coltivato è il carbonio organico contenuto che ha un ruolo decisivo nella conservazione della fertilità agronomica e nel favorire la biodiversità.

I risultati del progetto AgriCO₂ltura – sostenuto dalle Direzioni Generali Agricoltura e Ambiente, Energia e Sviluppo sostenibile e realizzato da ERSAF – indicano che i suoli agricoli lombardi hanno un'ampia capacità potenziale di sequestrare il carbonio, quando sono sottoposti ad una gestione "conservativa" che riduca o elimini le lavorazioni del terreno.

I dati forniti con questo quaderno costituiscono utili indicazioni per le future strategie del Programma di sviluppo rurale e per orientare la realizzazione del registro regionale dei depositi di carbonio nei terreni agrari previsto dalla normativa regionale.

Direzione Generale Agricoltura
Regione Lombardia

CAPITOLO 1

Introduzione all'agricoltura conservativa

Il progetto AgriCO₂ltura ha avuto l'obiettivo di verificare le condizioni pedoclimatiche, le tecniche agricole e le lavorazioni dei terreni che permettono di accumulare carbonio nei suoli, ridurre le emissioni di CO₂ in atmosfera e agire da stimolo sulla conservazione della biodiversità. In questo capitolo vengono individuati e descritti i gas a effetto serra (GreenHouse Gas – GHG), il Protocollo di Kyoto, l'azione delle politiche europee e il ruolo dell'agricoltura nelle emissioni di GHG e nella possibile riduzione degli stessi grazie a processi di stoccaggio legati a nuove colture, forestazioni e pratiche agricole che conservino il carbonio nei suoli. Il tutto è confrontato con pratiche e politiche già in atto in altri Paesi.

1.1 Gas a effetto serra e cambiamento climatico in atto

Prima di introdurre l'argomento dello stoccaggio di carbonio nei suoli è opportuno ricordare i gas che contribuiscono ad assorbire l'energia termica irradiata dalla terra e a trattenerla in parte nell'atmosfera (effetto serra), influenzando quindi il clima del nostro pianeta e producendo quel cambiamento climatico che sta caratterizzando gli ultimi decenni, con sensibili conseguenze a livello ambientale, politico ed economico. Il principale gas a effetto serra è il vapore acqueo (H₂O), responsabile per circa due terzi dell'effetto serra naturale. Il vapore acqueo atmosferico è parte del ciclo idrologico (evaporazione, traspirazione, condensazione e precipitazione) e non è conseguenza di attività umane.

Le attività umane influenzano direttamente le concentrazioni atmosferiche di biossido di carbonio (CO₂), metano (CH₄), ossido nitroso (N₂O), esafluoruro di zolfo (SF₆), idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC) e clorofluorocarburi (CFC). Questi ultimi gas, responsabili peraltro della distruzione dello strato di ozono in stratosfera, sono stati regolati dal protocollo di Montreal del 1987 che ne ha imposto un utilizzo sempre minore fino al bando definitivo nel 2030 e sono pertanto in progressivo calo (Velders *et al.*, 2007).

I GHG emessi dal comparto agricolo sono CO₂, CH₄ e N₂O (Pettenella *et al.*, 2010). Di questi il solo CO₂ è responsabile per oltre il 60% dell'incremento osservato dell'effetto serra e nei Paesi industrializzati costituisce oltre l'80% di tutte le emissioni di GHG.

Il biossido di carbonio è il principale componente gassoso del ciclo del carbonio che ogni anno scambia per vie naturali centinaia di miliardi di tonnellate di carbonio fra atmosfera, oceani, suoli e vegetazione terrestre. Dal XIX secolo le concentrazioni di CO₂ in atmosfera sono aumentate del 30% circa, in conseguenza dell'utilizzo di enormi quantità di combustibili fossili a fini energetici. Dai terreni agricoli qualsiasi lavorazione che prevede l'apertura del terreno e il rivoltamento degli strati organici superficiali fa perdere ingenti quantità di carbonio sotto forma di CO₂. Quest'ultimo rimane in atmosfera dai 50 ai 200 anni prima di essere trasformato o catturato ritornando alla terra o agli oceani (fissazione da parte degli organismi vegetali e di alcune alghe per via fotosintetica). Attualmente la concentrazione media di CO₂ in atmosfera è di circa 393 ppm e, a livello mondiale, ne vengono emessi in atmosfera oltre 25 miliardi di tonnellate solo da sorgenti di origine antropica.

Il secondo gas a effetto serra in ordine di importanza è il metano (CH₄) che è originato principalmente dai batteri che si nutrono di sostanze organiche in condizioni di carenza di ossigeno e viene rilasciato da varie fonti di origine sia naturale che antropica. Fra le fonti di origine umana si possono individuare l'attività mineraria e le discariche e dal punto di vista agricolo l'allevamento di bestiame (ruminanti e processi legati agli effluenti zootecnici) e la coltivazione del riso. Dall'inizio della rivoluzione industriale, le concentrazioni di metano nell'atmosfera sono raddoppiate. Il metano ha un'efficienza di 23 volte superiore a quella del CO₂ nel catturare il calore emesso dalla terra e quindi nel contribuire al riscaldamento dell'atmosfera (Global Warming Potential – GWP).

Il terzo più importante gas-serra è l'ossido nitroso (N₂O), è emesso naturalmente dagli oceani, dalle foreste pluviali e dai batteri presenti nel suolo. Le fonti ascrivibili alle attività umane comprendono l'uso dei fertilizzanti a base di azoto, l'impiego di combustibili fossili, la produzione di prodotti chimico-industriali con uso di azoto e il trattamento dei liquami. Pertanto il comparto agricolo è uno dei maggiori emettitori di questo gas-serra. L'N₂O ha potenziale di riscaldamento di 310 volte superiore rispetto al CO₂.

Di seguito ci occuperemo di individuare le tecniche legate all'incorporamento di carbonio nei terreni per cui si farà riferimento in particolare al CO₂. Le emissioni dei gas serra nelle politiche derivanti dal Protocollo di Kyoto sono indicate in termini di tonnellate di CO₂ equivalente applicando i coefficienti di Global Warming Potential (GWP) di ciascun composto (ISPRA, 2013).

1.2 Protocollo di Kyoto

Il Protocollo di Kyoto, firmato nel 1997 da oltre 180 paesi nell'ambito della Convenzione Quadro sul Cambiamento Climatico delle Nazioni Unite (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) e ratificato dallo Stato Italiano nel giugno 2002, è entrato in vigore il 16 febbraio 2005 (quando è stata raggiunta la soglia minima di nazioni prevista, consistente in un numero di Paesi che emettessero complessivamente almeno il 55% dei gas a effetto serra). Il Protocollo fissa un impegno globale dei Paesi industrializzati e dei Paesi a economia in transizione per la riduzione delle emissioni di gas serra del 5,2% rispetto ai livelli di emissioni del 1990, da conseguirsi entro il quinquennio 2008-2012. I Paesi che hanno ratificato il Protocollo di Kyoto sono 184.

L'Unione Europea ha inizialmente assunto un impegno di riduzione media pari all'8% e l'Italia pari al 6,5%. Altri Paesi hanno fissato quote diverse, mentre per alcuni, come Malta e Cipro, non sono stati ancora fissati impegni quantificati di limitazione o di riduzione delle emissioni [Comunicazione "Una politica energetica per l'Europa", COM(2007) 1]. Il parlamento europeo, nell'ambito del cosiddetto "pacchetto 20-20-20" (noto anche come climate-energy package) approvato nel 2008, ha tuttavia individuato quale obiettivo strategico al 2020 per la politica energetica europea la riduzione di almeno il 20% delle emissioni dei gas a effetto serra dai livelli registrati nel 1990, l'aumento dell'efficienza energetica al fine di ridurre i consumi del 20% e l'introduzione di una quota del 20% di energie rinnovabili sui consumi totali.

Inoltre l'UE, anche in seguito alla determinazione espressa dal Consiglio europeo a mantenere gli obiettivi già fissati e a considerare centrale il ruolo dell'Europa nella lotta ai cambiamenti climatici, si sta impegnando nel raggiungimento di un accordo globale post-2012 coerente con l'obiettivo di contenere l'innalzamento globale della temperatura del pianeta entro 2°C al 2050, secondo quanto previsto dalla Conferenza delle Parti di Bali del 2007.

Secondo i meccanismi previsti dal Protocollo di Kyoto la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra può essere ottenuta, sia agendo direttamente sulle sorgenti inquinanti, sia compensandole attraverso l'incorporazione stabile di CO₂ in organismi e sistemi naturali in grado di sequestrarla stabilmente. Esiste inoltre, per i Paesi aderenti, la possibilità di servirsi di sistemi flessibili per l'acquisto di crediti di emissioni come il Clean Development Mechanism (CDM), il Joint Implementation (JI) e l'Emission Trading (ET). Il primo consente ai Paesi eccedenti la quota di CO₂ equivalente di realizzare progetti nei Paesi in via di sviluppo, che producano benefici ambientali di riduzione delle emissioni di gas-serra e di sviluppo economico e sociale e che nello stesso tempo generino crediti di emissione (CER). Il Joint Implementation permette invece ai Paesi industrializzati e a economia in transizione di realizzare progetti per la riduzione delle emissioni di gas-serra in un altro Paese dello stesso gruppo e di utilizzare i crediti derivanti, congiuntamente con il Paese ospite (ERU – Emission Reduction Units – indicano certificati di

emissione derivanti dalla realizzazione di progetti Joint Implementation tra due Paesi industrializzati). L'Emission Trading infine consente lo scambio di crediti di emissione tra Paesi industrializzati e a economia in transizione tra un Paese con crediti superiori al proprio fabbisogno e un Paese che non riesce a ridurre le proprie emissioni.

Gli articoli 3.3 e 3.4 del Protocollo di Kyoto contengono disposizioni relative a cambiamenti di uso del suolo e alla silvicoltura (Land Use and Land Use Change and Forestry – LULUCF) come azioni degli stati firmatari per raggiungere gli obiettivi sottoscritti e contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici attraverso un contenimento della concentrazione di CO₂ in atmosfera. Nell'articolo 3.3 sono individuate pratiche legate alla gestione dei boschi come l'afforestazione (un imboschimento di terreno che precedentemente ha avuto un'altra destinazione d'uso), la riforestazione (rimboschimento di un terreno con superfici classificate a bosco) e la deforestazione (disboscamento).

Nell'articolo 3.4 sono elencate le attività antropiche supplementari che comportano rilascio o incorporamento di carbonio nei terreni agricoli o forestali e che possono rientrare nella contabilità delle emissioni antropogeniche e degli assorbimenti di gas ad effetto serra (GHG) da parte del terreno. Di queste quelle ammesse riguardano gli interventi sulla gestione forestale, sulla gestione dei terreni coltivati, sulla gestione dei pascoli e del territorio attraverso la rivegetazione.

Le variazioni di stock di carbonio e le emissioni di gas serra relative alle attività LULUCF, ai sensi dell'articolo 3, paragrafi 3 e 4, devono essere riportate per ogni anno del periodo di impegno, a cominciare con l'inizio del periodo di impegno, o con l'inizio dell'attività. Quando un'attività LULUCF ai sensi degli articoli 3.3 e 3.4 si traduce in una riduzione netta di emissioni di gas serra questa porta a una Removal Units (RMU) che diventa a sua volta un credito di carbonio. Per tutti i Paesi è fissata una quota massima di rimozione di carbonio dall'atmosfera, che per l'Italia corrisponde a un quantitativo di assorbimento da parte delle foreste o di terreni agricoli pari a 2,78 Mt C/anno (UNFCCC, 2007).

1.3 Politiche per ridurre le emissioni in Europa

L'attenzione dei prossimi capitoli si sposta sulla situazione europea e, in particolare, su quella italiana e della Regione Lombardia.

La valorizzazione dei suoli nella mitigazione dei cambiamenti climatici trova riferimento non solo negli impegni di attuazione del Protocollo di Kyoto, ma anche negli indirizzi prioritari fatti propri dalla politica agricola comunitaria (PAC). Il successivo capitolo descrive le politiche messe in campo al fine di rispettare gli impegni europei verso il protocollo di Kyoto per poi ampliare lo studio alla politica agricola attuale e futura dando spazio anche alle misure di sviluppo rurale a livello regionale.

1.3.1 Premessa

In Europa, dopo l'approvazione del protocollo di Kyoto, si sono sviluppate politiche volte alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. In particolare, la direttiva 2003/87/CE ha istituito e regolamentato un sistema per lo scambio di quote di emissioni (ETS - Emission Trading Scheme) di gas a effetto serra nell'Unione Europea *al fine di promuovere la riduzione di dette emissioni secondo criteri di validità in termini di costi e di efficienza economica* (art.1) a cui sono soggette 11.000 aziende che consumano o producono rilevanti quantità di energia nel settore energetico e industriale. Ogni azienda riceve un determinato quantitativo di "diritti di emissione", ovvero "crediti di emissione", che corrisponde a un certo numero di tonnellate/anno di CO₂ equivalente per un periodo di tempo definito. Ciascuna azienda è tenuta a monitorare le

proprie emissioni, e deve restituire ogni anno al proprio governo nazionale il quantitativo di diritti di emissione corrispondente all'ammontare emesso durante l'anno. Esiste una borsa dove i "crediti" possono essere scambiati a prezzo di mercato, cioè in base a domanda e offerta, non solo tra Paesi Ue, ma anche fra Paesi non aderenti al protocollo di Kyoto o sistema EU-ETS, tipicamente Paesi emergenti in via di sviluppo.

La prima fase della politica di crediti europea è terminata nel 2007 precedendo quello che è poi stato il mercato di crediti internazionale introdotto dal protocollo di Kyoto nel 2008. Questo ha permesso di dare un "prezzo" al carbonio e ha creato il commercio dei diritti di emissioni di gas ad effetto serra nell'Unione Europea. I benefici da un punto di vista ambientale per il primo periodo sono stati piuttosto contenuti rispetto agli obiettivi prefissati a causa del fatto che l'assegnazione di troppi diritti di emissione ha fatto diminuire di molto il prezzo dei permessi nel 2006 e 2007 (EEA, 2012), non esercitando così una leva adeguata alla riduzione delle emissioni. La seconda fase ha coinciso con l'entrata in vigore del piano di crediti previsto dal Protocollo di Kyoto; ha avuto inizio il 1 Gennaio 2008 ed è terminata il 31 Dicembre 2012. L'Europa, in accordo con il trattato, si è posta l'obiettivo di ridurre le proprie emissioni totali dell'8%, rispetto al quantitativo emesso nel 1990.

Nell'EU-ETS la maggior parte dei permessi è allocata in maniera gratuita, ma gli Stati membri potevano mettere all'asta il 5% dei permessi nel periodo 2005-2007 (prima fase di programmazione) e il 10% nel periodo 2008 - 2012 (seconda fase di programmazione).

Nella seconda fase dell'EU-ETS ogni Stato membro ha fissato un limite all'uso di CER (Certified Emissions Reduction) e ERU (Emissions Reduction Units) (crediti derivanti da pratiche sviluppate in altri Paesi – in via di sviluppo o sviluppati - e che permettono al paese di acquisire crediti di carbonio) nel proprio Piano Nazionale di Allocazione. Alla fine del 2011, come descritto nel report dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA, 2012), gli obiettivi posti dall'Unione Europea sono stati raggiunti da quasi tutti i Paesi. Le emissioni di CO₂ equivalente registrate rispetto a quelle preventivate nell'EU-ETS per il periodo 2008-2011 sono state in media il 5% al di sotto di tali limiti, generando quindi un eccesso di offerta di quote.

L'EU-ETS è in fase di importanti cambiamenti in vista della negoziazione della terza fase, 2013-2020 in cui, a partire dal 2013, è previsto il ricorso alle aste come strumento predominante di allocazione dei permessi di emissione.

1.3.2 Europa e agricoltura

L'agricoltura e la silvicoltura svolgono un ruolo cruciale nella produzione di beni pubblici e ambientali, come il paesaggio, la biodiversità, la stabilità del clima, la qualità dell'aria e una maggiore resilienza a disastri naturali quali inondazioni, siccità e incendi. Nel contempo, le pratiche agricole possono esercitare una pressione sull'ambiente e provocare degrado dei terreni, carenza e inquinamento delle acque e perdita di habitat naturali e di biodiversità.

Alcune politiche europee, nazionali e regionali sostengono direttamente o indirettamente le pratiche agronomiche e forestali per l'abbattimento delle emissioni di GHG: le tecniche esistenti per il sequestro del carbonio nei suoli, di cui si parlerà ampiamente in seguito, sono competitive in termini di costi e già disponibili, non richiedono tecnologie particolarmente avanzate e presentano un potenziale di mitigazione comparabile a quello di qualsiasi altro settore economico.

La possibilità di utilizzare pratiche agronomiche per ridurre le emissioni a livello europeo è chiara alla Comunità e ai Paesi membri tanto che nel documento che indirizza le scelte per la futura PAC (2014-2020) si afferma: *"...nonostante le emissioni di gas serra di origine agricola siano diminuite del 20% nell'UE dal 1990, è possibile e sarà necessario intensificare gli sforzi per conseguire gli obiettivi ambiziosi che l'Unione si è fissata in materia di clima ed energia. È importante sfruttare maggiormente il potenziale del settore agricolo in materia di mitigazione*

e adattamento, nonché la sua capacità di fornire un contributo positivo grazie alla riduzione delle emissioni di gas serra e ad altre misure basate sull'innovazione e finalizzate all'efficienza produttiva e al miglioramento dell'efficienza energetica, alla produzione di biomassa e di energia rinnovabile, al sequestro del carbonio e alla protezione del carbonio contenuto nel suolo.” (COM(2010) 672/5).

Tra le pratiche agronomiche e forestali che influenzano il sequestro di carbonio si possono individuare la non lavorazione, la minima lavorazione (Lal, 2004), le colture energetiche, le colture permanenti, i prati e pascoli gestiti in modo accurato, l'interramento di residui, le conversioni da terreni in abbandono in terreni a bosco, le conversioni da terreni agricoli a terreni a bosco o a coltura energetica, l'agricoltura biologica (Freibauer A., Rounsevell M., Smith P., Verhagen J., 2004). Le pratiche di gestione del suolo hanno un notevole impatto sulle riserve del carbonio, che possono essere migliorate, riducendone le perdite ed aumentandone l'incorporazione, sia a livello di colture che di residui delle colture, proteggendo i suoli dall'erosione, adottando tecniche di lavorazione dei terreni meno invasive e con un minore impiego di macchinari: tutte queste pratiche potrebbero aiutare a sequestrare tra 50 e 100 milioni di tonnellate di carbonio l'anno nei suoli europei (European Commission, 2008).

La valorizzazione dei suoli nella mitigazione dei cambiamenti climatici trova riferimento non solo negli impegni di attuazione del protocollo di Kyoto, ma anche negli indirizzi prioritari fatti propri dalla politica agricola comunitaria. Dopo l'introduzione, con la Politica Agricola Comune (PAC) 2007-2013, di specifiche norme di “condizionalità” rivolte alla conservazione della sostanza organica nei terreni, l'esigenza che il settore agricolo intensifichi lo sforzo di riduzione delle emissioni nel quadro della strategia globale dell'UE in materia di cambiamenti climatici è infatti richiamata dal Regolamento 74/2009/CE e seguenti sul sostegno allo sviluppo rurale (Health Check), che richiedono l'adozione di specifiche misure a tale scopo indirizzate a decorrere dal 2010.

Al pacchetto clima-energia (20-20-20) del 2008 e alla decisione n. 406/2009/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 che dispone la valutazione e l'attuazione di un impegno più rigoroso della Comunità in materia di riduzioni (superiore al 20%), si sono aggiunte altre politiche comunitarie legate al contenimento di gas climalteranti come quelle di efficienza energetica e di diffusione delle fonti rinnovabili.

La cosiddetta “Effort Sharing Decision” (406/2009/CE) stabilisce obiettivi annuali vincolanti in termini di emissioni di gas a effetto serra per gli Stati membri per il periodo 2013-2020 relativi ad ambiti non inclusi nel sistema UE di scambio di emissioni (EU-ETS) quali i trasporti, gli edifici, l'agricoltura e i rifiuti. La quota totale fissata a livello europeo di abbattimento di emissioni da questi settori per il 2020 è pari al 10% rispetto ai valori del 2005.

Questa riduzione di emissioni, sommata alla quota di riduzione proveniente dai settori del sistema ETS dovrebbe consentire di raggiungere gli obiettivi del pacchetto 20-20-20 (EU Climate and Energy, 2007).

Nella Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio – Promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili – si stabiliscono (all'art. 3) obiettivi nazionali obbligatori per la quota di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia nel 2020 (17% per l'Italia) in modo da garantire che, a tale data, una media del 20% del consumo di energia dell'UE provenga da fonti rinnovabili. Lo stesso articolo prevede che, al fine di conseguire più facilmente tali obiettivi, ogni Stato membro promuova e incoraggi l'efficienza e il risparmio energetici e che sia possibile, per gli stessi Stati, applicare regimi di sostegno e/o misure di cooperazione tra i vari Stati membri e con Paesi terzi. L'art. 4 impone agli Stati membri l'adozione di piani di azione nazionale per le energie rinnovabili (sulla base dell'apposito modello adottato dalla Commissione) da notificare alla Commissione Europea entro il 30 giugno 2010. L'attenzione dell'Unione Europea verso la riduzione delle emissioni e l'immagazzinamento del carbonio nei

suoli e nelle foreste è descritto nei documenti di indirizzo sul futuro delle politiche europee: il Libro bianco (COM/2009/147 def.) “Adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d’azione europeo sui cambiamenti climatici” e il Libro verde (COM/2010/66 def.) “La protezione e l’informazione sulle foreste nell’UE: preparare le foreste ai cambiamenti climatici”. I due documenti indicano la rotta che l’Europa intende percorrere e presentano altresì i possibili strumenti da mettere in campo per la diffusione di informazioni, per la risposta ai cambiamenti climatici e per prevenire ulteriori aumenti di emissioni di gas a effetto serra. In alcuni Paesi dell’Unione Europea (Svezia, Finlandia, Danimarca) è stata introdotta una tassazione sull’emissione del carbonio già all’inizio degli anni Novanta e altre nazioni ne hanno seguito l’esempio o stanno strutturando strumenti legislativi in questa direzione. Attualmente la tassa è pari a 12 euro per t/CO₂ in Danimarca, a 108 euro per t/CO₂ in Svezia, a 20 euro per t/CO₂ in Finlandia e di 15 euro per t/CO₂ in Irlanda. Negli ultimi dieci anni nel Regno Unito, in Germania e nei Paesi Bassi sono state avviate riforme fiscali in chiave ecologica, in cui le tasse sul carbonio hanno un peso predominante.

1.3.3 Politiche riguardanti i gas a effetto serra in Italia

Il governo italiano attraverso la “Strategia d’azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia” (CIPE deliberazione n. 57 del 2 agosto 2002), si è impegnato a ridurre le emissioni nazionali dei gas serra del 6,5% rispetto al 1990, nel periodo tra il 2008 e il 2012, in applicazione del Protocollo di Kyoto. Inoltre si è impegnato a estendere il patrimonio forestale per l’assorbimento del carbonio atmosferico, a promuovere e sostenere i programmi di cooperazione internazionale per la diffusione delle migliori tecnologie e la riduzione delle emissioni globali e a ridurre l’emissione di tutti i gas lesivi dell’ozono stratosferico. Poiché il livello delle emissioni italiane del 1990 era pari a 519,5 MtCO₂, il target per il nostro Paese è stato fissato a 485,7 MtCO₂. Nel 2006 il MATTM (Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare) forniva dati allarmanti registrando un aumento delle emissioni rispetto al 1990 del 9,9%, prevedendo pertanto un impegno di riduzione delle emissioni che sarebbe salito al 16,4% per ottenere le performance stabilite. In base al report 2009 della Commissione europea, nel 2007 le emissioni italiane raggiungevano un livello di 552,8 MtCO₂, con un incremento rispetto al 1990 pari del 6,9%. Questo aumento porterebbe a un impegno maggiore nella riduzione delle emissioni; in particolare la quantità di abbattimento richiesta diventerebbe di 69 MtCO₂ cioè una percentuale di circa il 13,4% delle emissioni totali del 2009.

Tale valore tuttavia, secondo il recente inventario nazionale delle emissioni di gas a effetto serra relativo all’anno 2008, presentato alla convenzione UNFCCC, scenderebbe a 11,2% escludendo gli assorbimenti di CO₂ da parte del settore agroforestale. Allo stato attuale è quindi palese che l’Italia non potrà raggiungere gli obiettivi di riduzione solo attraverso l’utilizzo di azioni sul suolo nazionale (Commissione europea, 2009). Di recente tuttavia è stato osservato in Italia un calo delle emissioni, non tanto legato a comportamenti virtuosi, quanto, si presume, prodotto dalla concomitanza dell’aumentato prezzo dell’energia e della crisi economica (Alisciani *et al.*, 2010) che hanno portato a un calo sensibile della produzione industriale e dei consumi.

Dalla *tabella 1.1*, che riporta le emissioni registrate dall’ISPRA e comunicate al MATTM e all’Unione Europea, si può notare una diminuzione delle emissioni di CO₂ equivalente dall’anno 2008 al 2009 e un successivo aumento nel 2010. La distanza dall’obiettivo del protocollo di Kyoto risulta così essere minore rispetto all’anno 1990 e di gran lunga inferiore all’anno 2004 dove è stato registrato il valore massimo di emissioni degli ultimi 20 anni.

Attraverso il D.M. 27 luglio 2005 “Norme per l’attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia” (articolo 4, commi 1 e 2) si pone l’attenzione sullo sviluppo di energie da fonti rin-

GREENHOUSE GAS EMISSIONS		Total (excluding LULUCF)
Base year (1990)	CO ₂ equivalent (Gg)	519.245,60
1991	CO ₂ equivalent (Gg)	520.719,82
1992	CO ₂ equivalent (Gg)	517.859,87
1993	CO ₂ equivalent (Gg)	511.641,21
1994	CO ₂ equivalent (Gg)	504.646,65
1995	CO ₂ equivalent (Gg)	531.913,48
1996	CO ₂ equivalent (Gg)	525.946,27
1997	CO ₂ equivalent (Gg)	532.202,11
1998	CO ₂ equivalent (Gg)	543.372,39
1999	CO ₂ equivalent (Gg)	549.458,56
2000	CO ₂ equivalent (Gg)	551.570,21
2001	CO ₂ equivalent (Gg)	557.502,57
2002	CO ₂ equivalent (Gg)	558.707,21
2003	CO ₂ equivalent (Gg)	574.042,35
2004	CO ₂ equivalent (Gg)	577.344,16
2005	CO ₂ equivalent (Gg)	574.749,01
2006	CO ₂ equivalent (Gg)	563.988,70
2007	CO ₂ equivalent (Gg)	555.761,44
2008	CO ₂ equivalent (Gg)	541.589,39
2009	CO ₂ equivalent (Gg)	491.528,49
2010	CO ₂ equivalent (Gg)	501.317,66

Tabella 1.1 – Emissioni CO₂ equivalenti per l'Italia dal 1990 al 2010 (fonte ISPRA).

novabili sull'intero territorio nazionale. Viene stabilita inoltre la ripartizione a livello regionale della quota minima di incremento dell'energia elettrica da fonti rinnovabili per raggiungere l'obiettivo del 17% del consumo interno lordo entro il 2020 (legge 27 febbraio 2009, n. 13 – Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 30 dicembre 2008, n. 208, recante misure straordinarie in materia di risorse idriche e di protezione dell'ambiente). Lo sviluppo delle energie rinnovabili ha portato alla creazione dei certificati verdi, alla tariffa omnicomprensiva e allo sviluppo di nuove tecnologie in tutti i comparti industriali e della media impresa comprendendo anche le aziende agricole per quel che riguarda l'aumento dell'efficienza energetica e i progressi tecnologici (biogas, centrali a biomassa legnosa ecc). D'altro canto, a livello nazionale, è ora previsto (D.M. del 1 aprile 2008) che l'implementazione del Registro dei depositi di carbonio, assegnata alla responsabilità del Ministero dell'Ambiente, inizialmente limitata all'ambito forestale, sia allargata a considerare anche altri comparti, fra cui in particolare i suoli agrari. Nella *tabella 1.2* (pagina seguente) vengono inserite le quantità di CO₂ equivalenti stoccate a livello forestale e agricolo calcolate da ISPRA attraverso dei modelli di stima del carbonio come il For-est, Gain-Loss Method e Stock-Difference Method basati sulla metodologia IPCC, seguendo la classificazione definita nelle Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (IPCC, 2003). I calcoli dello stoccaggio sono dedotti per via modellistica e non attraverso prove in campo o parametri regionali misurati, che costituiscono invece gli obiettivi del progetto AgriCO₂Itura.

1.4 Obiettivi del progetto AgriCO₂Itura

Gli impegni sottoscritti dagli Stati con l'approvazione della Convenzione ONU sui cambiamenti climatici (UNFCCC), la ratifica del Protocollo di Kyoto (PK) e la crescente sensibilità nell'opinione

	Carbon stock change in living biomass			Net C stock change in dead organic matter	Net C stock change in soils	Total	Total
	Increase	Decrease	Net change				
	<i>Mt C</i>					<i>Mt C</i>	<i>Mt CO₂</i>
1990	19,5	-15,2	4,3	0,7	6,4	11,4	41,9
1991	19,7	-12,1	7,7	1,2	7,2	16,0	58,8
1992	20,0	-12,7	7,3	1,2	7,1	15,5	57,0
1993	20,2	-15,7	4,5	0,8	6,4	11,7	42,9
1994	20,4	-13,1	7,4	1,2	7,1	15,7	57,5
1995	20,7	-12,4	8,3	1,3	7,3	16,8	61,8
1996	20,9	-12,8	8,1	1,3	7,3	16,7	61,1
1997	21,1	-15,1	6,0	1,0	6,8	13,8	50,6
1998	21,3	-15,7	5,6	0,9	6,7	13,3	48,8
1999	21,5	-14,5	7,1	1,2	7,0	15,3	56,0
2000	21,8	-15,0	6,8	1,1	7,0	14,9	54,5
2001	22,0	-13,6	8,4	1,3	7,3	17,1	62,6
2002	22,2	-12,8	9,4	1,5	7,6	18,4	67,6
2003	22,4	-14,7	7,7	1,2	7,2	16,1	59,2
2004	22,7	-13,7	9,0	1,4	7,5	17,8	65,4
2005	22,9	-13,6	9,2	1,4	7,5	18,2	66,7
2006	23,1	-13,8	9,3	1,4	7,5	18,3	67,0
2007	23,3	-18,3	5,0	0,9	6,6	12,5	46,0
2008	23,5	-15,0	8,5	1,3	7,4	17,2	63,1
2009	23,5	-14,4	9,0	1,4	7,3	17,7	65,0

Tabella 1.2 – Carbonio stoccato in biomasse legnose (carbon stock in living biomass), nella sostanza organica e nei suoli agricoli (fonte ISPRA).

pubblica sugli effetti dei gas serra, hanno portato alla definizione di strategie e politiche legate allo stoccaggio del carbonio nei suoli e al possibile sviluppo di mercati di crediti di carbonio.

Il progetto AgriCO₂ltura sviluppa quindi un tema di grande attualità, oggetto di un notevole interesse e, tra gli altri risultati, si pone l'obiettivo di analizzare le politiche dei Paesi sulle emissioni e sull'immagazzinamento del carbonio nei terreni. Inoltre punta a individuare il potenziale di sequestro di carbonio per i terreni della Lombardia attraverso bilanci del carbonio e bilanci nei sistemi colturali in atto. Volge poi l'attenzione all'analisi delle proprietà, vantaggi e svantaggi reali delle tecniche di agricoltura conservativa con indagini indirizzate alla determinazione degli stock di carbonio, alla fertilità biologica e alla biodiversità nei suoli con risultati anche contrastanti, ma di forte interesse e di notevole utilità per le politiche future a livello nazionale e locale.

1.4.1 Agricoltura conservativa – I principi su cui si basa e gli scenari ambientali che produce

L'agricoltura conservativa si riferisce a tutte quelle pratiche che minimizzano l'alterazione della composizione, della struttura e della naturale biodiversità del suolo salvaguardandolo dall'erosione e dalla degradazione (Pisante, 2007). Rispetto ai metodi di agricoltura convenzionali si distingue per il non utilizzo dell'aratura o di tutte le pratiche che prevedono un rimescolamento degli strati del terreno che nel medio o lungo periodo portano a una riduzione della sostanza organica nei suoli. La perdita di sostanza organica nei suoli provoca una destrutturazione del suolo che crea croste e compattamenti che ne favoriscono l'erosione.

Tra le pratiche riconosciute di agricoltura conservativa si possono individuare la minima lavorazione e la semina su sodo o non lavorazione che non prevede lavorazioni di movimentazione del suolo se non la semina.

Un suolo coltivato attraverso minime lavorazioni o non lavorazioni sul quale vengono rilasciati residui colturali costituirà uno strato superficiale di protezione dall'azione erosiva prodotta dalle precipitazioni atmosferiche e dal vento e stabilizzerà il suolo per quel che riguarda il contenuto idrico e la temperatura. Questo strato a sua volta diviene un habitat per insetti, funghi, batteri e altri organismi che macerano i residui e li decompongono fino a creare humus che stabilizza e struttura il suolo.

Gli scopi che inducono a utilizzare un'alterazione minima del suolo, tramite la semina su sodo o la lavorazione ridotta del terreno, sono quelli di preservare la struttura, la fauna e la sostanza organica del suolo. Il terreno sottoposto a pratiche di agricoltura conservativa, nei periodi tra una coltura e quella successiva, viene mantenuto coperto (colture di copertura, residui e coltri protettive) per proteggere il terreno e contribuire all'eliminazione delle erbe infestanti. Sono privilegiate associazioni e rotazioni colturali diversificate, che favoriscono lo sviluppo dei microrganismi del suolo e combattono le erbe infestanti, i parassiti e le fitopatologie.

Il rimescolamento del terreno è lasciato all'opera della fauna terricola e degli apparati radicali delle colture. La fertilità del terreno (nutrienti e acqua) viene gestita attraverso la copertura del suolo, le rotazioni colturali e la lotta alle erbe infestanti. Sono tuttavia accettati l'utilizzo di concimi chimici (opportunamente dispersi sul terreno con macchinari e pratiche consentite) di diserbanti e di concimi naturali.

1.4.2 Vantaggi e svantaggi dell'agricoltura conservativa

I vantaggi dell'agricoltura conservativa riguardano principalmente la ridotta perdita di suolo, un minor livello di emissioni di CO₂, CH₄ e N₂O legato a fattori di iniezione degli effluenti e non rivoltamento degli strati e una minore perdita di inquinanti nelle acque grazie alla minore perdita di suolo e la copertura dello stesso. Fattori collegati e dipendenti sono l'accumulo di carbonio nei suoli, una maggior presenza di fauna terricola e quindi una maggiore biodiversità. Inoltre le tecniche di agricoltura conservativa consentono di abbattere la spesa energetica e di ridurre i costi di produzione.

I passi per convertire una coltivazione convenzionale in conservativa sono principalmente legati all'investimento iniziale in macchinari specializzati e alle sementi di colture intercalari adatte alle condizioni locali. Un ruolo centrale è svolto dalla formazione e dal supporto tecnico agli agricoltori poiché, rispetto all'agricoltura tradizionale, è necessario un radicale cambio di impostazione e di gestione soprattutto per quanto attiene al controllo delle infestanti. In un primo periodo si dovranno utilizzare erbicidi (Pisante, 2007), facendo però attenzione a non creare condizioni negative per gli organismi del terreno (microrganismi e fauna terricola). In seguito, il contenimento delle infestanti potrà essere gestito attraverso rotazioni e residui colturali oltre che grazie a tempi di semina differenti.

Vantaggi e svantaggi dell'agricoltura conservativa sono desunti dal sito FAO sull'agricoltura conservativa. Vediamo di seguito i vantaggi:

- si crea un sistema sostenibile nel tempo in grado di incrementare la fauna nei suoli e aumentare così la biodiversità del terreno coltivato senza influire, nel lungo periodo, sulle produzioni;
- i suoli diventano un luogo di stoccaggio di carbonio contribuendo così a ridurre le emissioni di CO₂ equivalenti e a mitigare il riscaldamento globale. Gli agricoltori che applicano tecniche di agricoltura conservativa potrebbero essere considerati a tutti gli effetti dei produttori di crediti di carbonio;
- l'aratura o il rivoltamento delle zolle richiedono alle macchine agricole una grande potenza, da rapportare con la tessitura e struttura del suolo che si traduce in alti consumi di combustibile. Attraverso la non lavorazione o la minima lavorazione si possono ridurre i consumi di carburante del 30% - 40% (fonte FAO);

- i suoli sottoposti ad agricoltura conservativa hanno un minore *run-off* (scorrimento di acqua sul terreno) in ragione dei residui lasciati sui terreni e di conseguenza sono soggetti a una minore erosione. La maggior copertura del suolo ne incrementa la disponibilità idrica attraverso la riduzione dell'evaporazione che avverrebbe dal suolo nudo;
- l'agricoltura conservativa richiede minori ore di lavoro per gli agricoltori principalmente per la preparazione del terreno e per la semina. Sul lungo periodo riduce i costi di investimento e manutenzione dei macchinari.

D'altra parte si riscontrano alcuni svantaggi:

- l'acquisto di macchinari nuovi certificati per l'agricoltura conservativa può essere uno sforzo non sostenibile dall'agricoltore, anche se esistono finanziamenti legati al PSR sull'ammodernamento delle aziende agricole (per esempio: misura 121 in Regione Lombardia);
- nel passaggio da agricoltura convenzionale ad agricoltura conservativa sono necessari tempi variabili, fino a che il sistema non sia completamente abituato alle nuove dinamiche e pratiche agricole;
- è necessario un periodo di apprendimento per gli agricoltori che intendano passare da agricoltura convenzionale ad agricoltura conservativa;
- le rese in un primo periodo si riducono per arrivare in seguito a dei livelli simili o di poco inferiori a quelle ottenute con tecniche convenzionali, ma compensate dai minori costi delle minime lavorazioni (Acutis *et al.* 2010);
- in alcune zone con pratiche di irrigazioni a scorrimento o inondazione le tecniche conservative sono di più difficile introduzione.

CAPITOLO 2

I bilanci del Carbonio nei suoli dei sistemi colturali della Lombardia

2.1 Stock di carbonio organico in funzione del cambiamento dell'uso del suolo

Conoscere come il suolo cambia e come l'impatto antropico ne modifica le capacità funzionali è fondamentale ai fini di una gestione sostenibile del territorio e dell'ambiente (Tugel *et al.*, 2008).

Le proprietà del suolo costituiscono il risultato della pedogenesi, sono influenzate dall'uso storico del territorio e sono soggette ad evolvere nei moderni sistemi agricoli ed in tutti gli altri ecosistemi (Richter and Markewitz, 2001). Un suolo cambia quando si è in presenza di una variazione temporale delle sue proprietà in un luogo specifico. Il cambiamento è dunque un processo che avviene nel tempo e va distinto dalla variabilità spaziale, che rappresenta invece le differenze intrinseche esistenti nelle caratteristiche pedologiche a grande come a piccola scala territoriale. Di particolare interesse sono i cambiamenti del suolo indotti dall'attività umana, che possono essere mirati a migliorare le capacità funzionali del suolo di produrre beni e servizi, minimizzando l'impatto sull'ambiente.

Lo studio presente ha per oggetto una delle proprietà funzionali più importanti del suolo, ovvero la sua capacità di incorporare carbonio organico, e si prefigge i seguenti scopi:

- valutare a scala regionale lo stock di carbonio immagazzinato nei suoli, aggiornando così le stime effettuate in precedenza nell'ambito del Progetto Kyoto Lombardia (Ballarin Denti *et al.*, 2008) ed analizzando le differenze in funzione dell'uso e copertura del suolo;
- stimare il potenziale di sequestrazione del carbonio organico da parte dei suoli della Lombardia a seguito di variazioni d'uso dei suoli o modifiche nella loro gestione;
- contribuire alla definizione dei depositi di carbonio nei terreni agrari previsto dall'art. 21 della l.r. 24/2006.

2.1.1 Materiali e metodi

Cartografia dei suoli

Punto di partenza è la carta dei suoli della Lombardia a scala 1:250.000 (Brenna *et al.*, 2004), nell'ultima versione aggiornata del 2011 (*figura 2.1*).

La variabilità del suolo viene rappresentata attraverso le delimitazioni delle unità cartografiche, porzioni di copertura del territorio contraddistinte dalla presenza in diversa percentuale di una o più tipi di suolo (definiti come Unità Tipologiche di Suolo – UTS), aventi diverse caratteristiche. Una UTS è definita come un raggruppamento di suoli simili per proprietà e comportamenti funzionali, caratteri evolutivi, relazioni con il paesaggio e/o l'ambiente in generale. Ogni UTS – descritta attraverso gli attributi morfologici ed analitici dei suoi orizzonti – è stata identificata in base alla classificazione tassonomica WRB-World Reference Base (WRB, 2006).

Il sistema informativo geografico dei suoli regionale risultante è così formato da un insieme di dati geometrici (le delimitazioni delle unità cartografiche) e semantici (gli attributi delle tipologie del suolo). Questi ultimi sono i descrittori delle proprietà e qualità dei suoli e comprendono le loro caratteristiche fisiche (es: tessitura, contenuto in scheletro, ...), chimiche (contenuto in carbonio organico, pH, CSC, ...), morfologico-ambientali (es: pendenza, presenza di falda ipodermica, ...) e funzionali (es: comportamento idrologico, capacità d'uso, ...). Tali proprietà sono riferibili, in alcuni casi, all'UTS nel suo insieme, in altri, come avviene per il contenuto in carbonio organico, sono descritte per ciascuno degli orizzonti (strati) costituenti il suolo stesso.

Contenuto di carbonio organico nei suoli

Lo stock di carbonio organico viene determinato per ogni unità tipologica di suolo mediante la seguente formula (Batjes, 1996):

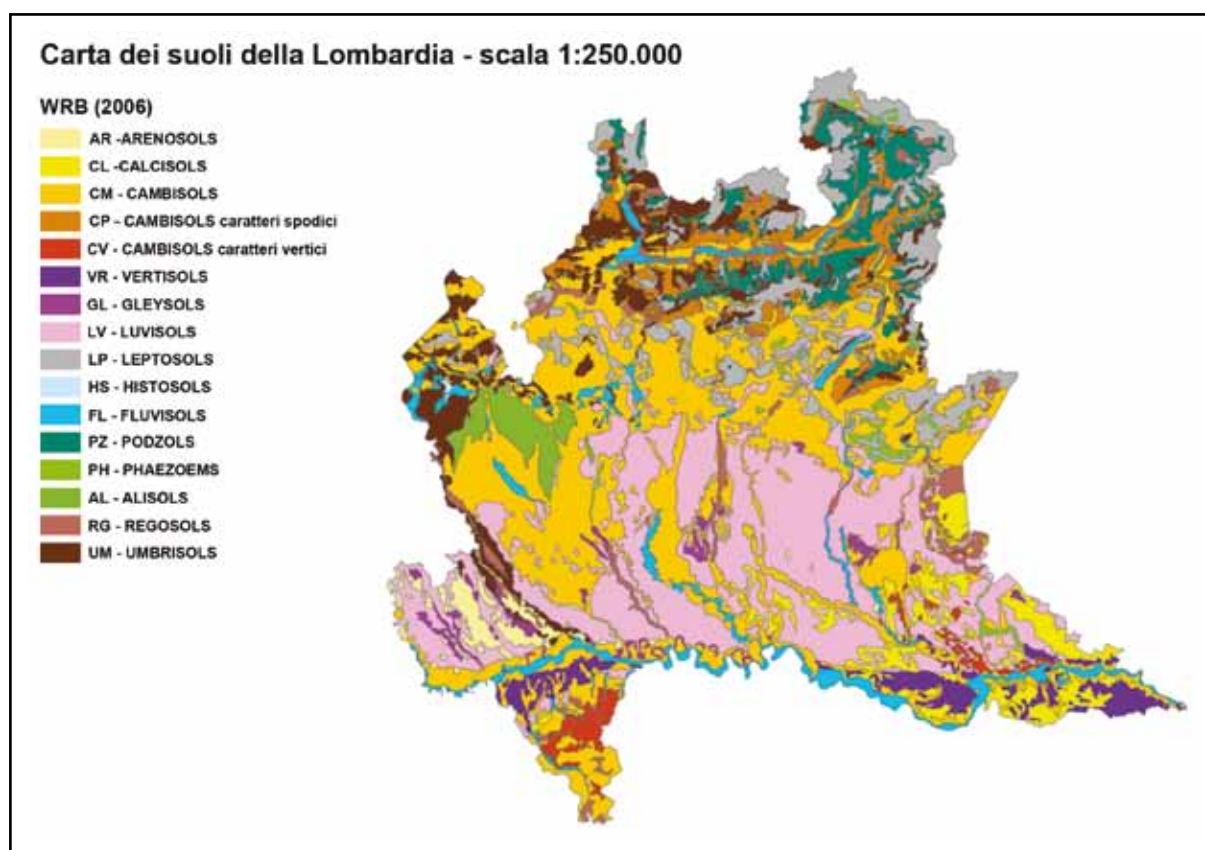


Figura 2.1 – Carta dei suoli della Lombardia - scala 1:250.000 (ERSAF, 2011).

$$\text{Eq. 2.1} \quad \text{stockCO}_i = \sum_i \text{CO}_i \cdot da_i \cdot s_i \cdot (1 - rm_i) \cdot \frac{1}{10}$$

dove stockCO (espresso in t/ha) è lo stock di carbonio organico dell'unità tipologica di suolo, i rappresenta l'orizzonte (o strato di suolo) i -esimo, CO è il contenuto in carbonio organico (g di carbonio/kg di terra fine), da è la densità apparente (g/cm^3), s è spessore dell'orizzonte (cm), rm rappresenta la frazione del volume di frammenti rocciosi (con diametro > 2mm) contenuta nell'orizzonte. La densità apparente è stata stimata mediante le pedofunzioni di trasferimento di Hollis (1996), a partire dai dati di tessitura e di contenuto in carbonio organico.

La sommatoria è estesa a tutti gli orizzonti funzionali dell'UTS e restituisce per gli spessori presi in considerazione il contenuto unitario di carbonio organico riferito all'intero profilo rappresentativo della tipologia di suolo medesima. Per poter confrontare suoli diversi è necessario che lo spessore di riferimento sia lo stesso per tutti, e per tale motivo si è scelto di determinare lo stock di carbonio organico a cinque spessori predeterminati: 30, 50, 100, 150, 200 cm.

La rappresentazione spaziale dello stock di carbonio organico regionale è stata infine ottenuta considerando la percentuale di presenza di ogni UTS all'interno delle unità cartografiche. In *figura 2.2* è rappresentato lo stock di carbonio organico nei primi 30 cm di suolo.

Il carbonio organico totale (t) stoccato nei suoli regionali è stato infine ottenuto moltiplicando il quantitativo unitario (t/ha) contenuto in ogni unità cartografica per l'estensione (ha) dell'unità cartografica stessa.

Utilizzando l'equivalenza:

$$\text{Eq. 2.2} \quad 1t \text{ C} = 3.66 t \text{ CO}_2 \text{ equivalente}$$

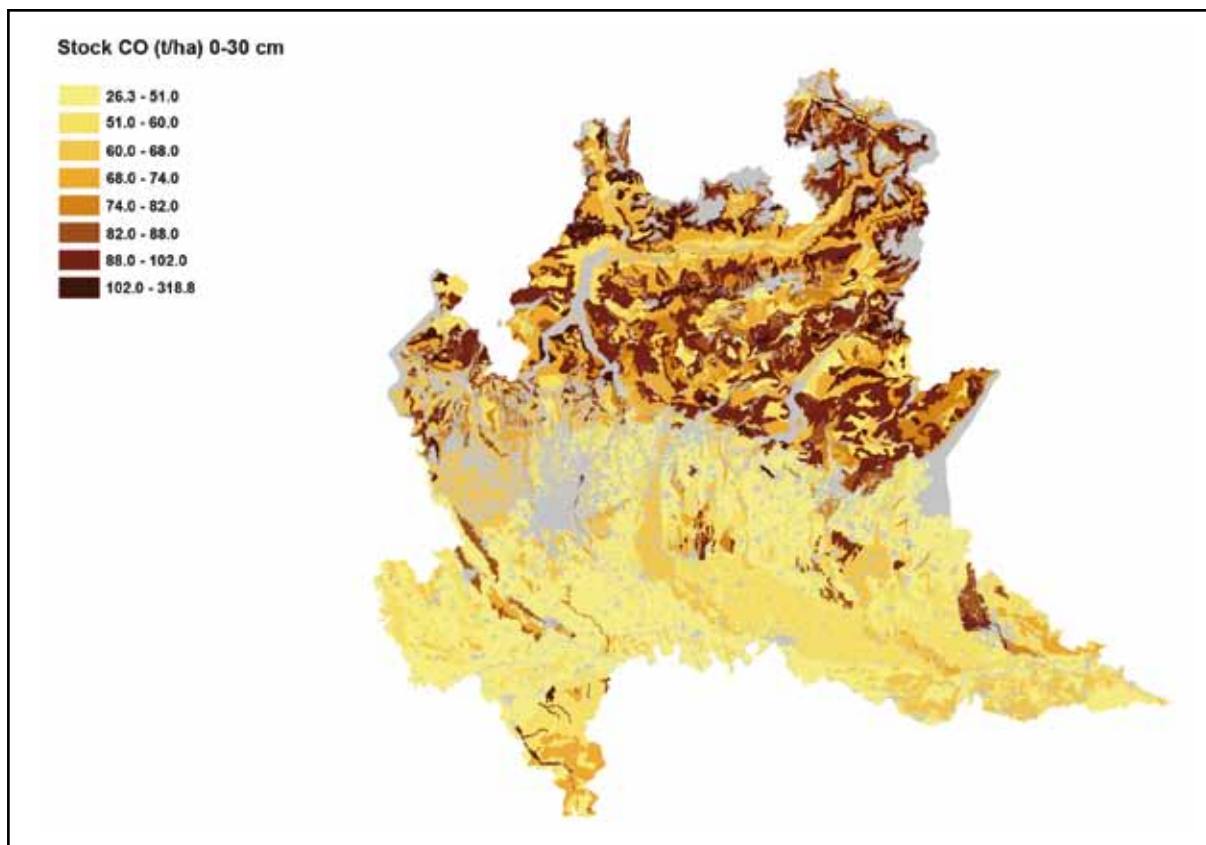


Figura 2.2 – Carta dello stock di carbonio organico nello strato di suolo [0-30 cm] - scala 1:250.000 (ERSAF, 2011).

è possibile determinare la quantità di anidride carbonica equivalente trattenuta grazie all'incorporazione di carbonio nel suolo.

Il dato di carbonio organico della carta dei suoli si basa su valori analitici ottenuti utilizzando il metodo Walkley-Black.

Carta d'uso del suolo DUSAF

DUSAF - Destinazione d'Uso dei Suoli Agricolo-Forestali (ERSAF, 2003) è una base informativa omogenea di tutto il territorio lombardo relativa alla copertura e alla destinazione d'uso dei suoli. Il dettaglio cartografico è realizzato a scala 1:10.000. La legenda adottata è articolata in classi e sottoclassi che comprendono raggruppamenti omogenei d'uso del suolo.

Sovrapponendo la carta d'uso del suolo con la carta dei suoli è possibile valutare lo stock di carbonio organico che contraddistingue i principali gruppi di uso e copertura del territorio regionale.

Lo strato informativo della cartografia DUSAF utilizzato in queste elaborazioni è la versione 2.1 aggiornata all'anno 2007 (*figura 2.3*).

2.1.2 Risultati e discussione

Stock di carbonio Organico nei suoli

La *tabella 2.1* mostra i valori totali e unitari di stock di carbonio organico in Regione Lombardia per cinque spessori di suolo. Il calcolo è stato eseguito considerando le sole superfici coperte da suolo (1,86 milioni di ettari, pari al 77,8% del territorio regionale), escludendo quindi le zone urbanizzate, i corpi idrici e le aree sterili (nel complesso pari al 22,2% della superficie regionale). Confrontando il carbonio organico contenuto nei diversi spessori di suolo rispetto al contenuto complessivo in 200 cm, è possibile osservare la distribuzione della sostanza organica lungo il

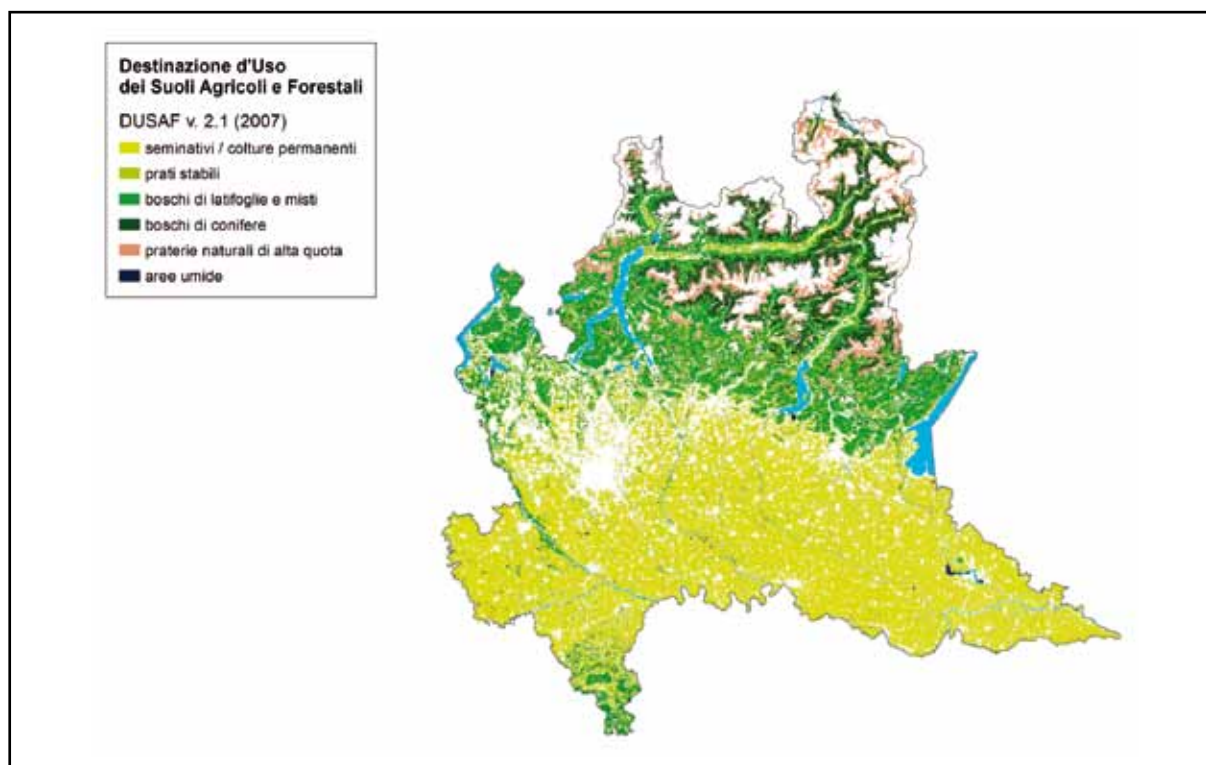


Figura 2.3 – Principali categorie di uso e copertura del suolo in Lombardia (ERSAF, 2007).

Stock CO	0-30 cm	0-50 cm	0-100 cm	0-150 cm	0-200 cm
totale (Mt)	123,8	168,7	224,4	256,9	278,7
unitario (t/ha)	66,7	90,9	120,9	138,3	150,1

Tabella 2.1 – Stock di carbonio organico dei suoli riferito a diversi spessori.

profilo pedologico (figura 2.4). Il contributo più elevato è dato dagli orizzonti superficiali (44 % circa nei primi 30 cm), dove avviene l'incorporazione della materia organica proveniente dalla decomposizione dei residui vegetali; invece oltre un metro di profondità è contenuto meno del 20 % del carbonio totale.

Esprimendo i risultati in funzione delle tipologie di suolo (gruppi della classificazione WRB, 2006) si ottiene il grafico di figura 2.5. Tale analisi evidenzia che:

- i Leptosols (LP), il gruppo dei suoli più sottili e tipici delle aree montane, sono quelli che hanno il più alto contenuto relativo di carbonio organico nei primi 30 cm;
- gli Umbrisols (UM) e i Phaeozems (PH), la cui caratteristica distintiva è quella di presentare un orizzonte superficiale ricco di carbonio organico (orizzonte umbrico, più acido, per i primi e mollico, a reazione neutra, per i secondi), immagazzinano quasi l'80% del carbonio totale nei primi 50 cm di spessore;
- i Vertisols (VR) e i Cambisols con caratteri vertici (CV) presentano in modo speculare un andamento più costante con la profondità del contenuto di carbonio organico; tali suoli sono infatti caratterizzati da movimenti continui di materiale dovuti a ripetuti cicli di fessurazione e ricompattamento, che spostano in profondità il materiale organico apportato in superficie;
- i Fluvisols (FV), essendo stati caratterizzati nella loro genesi da ripetuti apporti di materiale, presentano tenori significativi di carbonio anche negli strati più profondi del profilo.

Sovrapponendo la carta di destinazione d'uso dei suoli DUSAF e la carta dei suoli è stato possibile determinare lo stock di carbonio organico in corrispondenza delle principali categorie di uso e copertura del territorio regionale. I risultati sono visualizzati nella tabella 2.2, mentre in figura 2.6

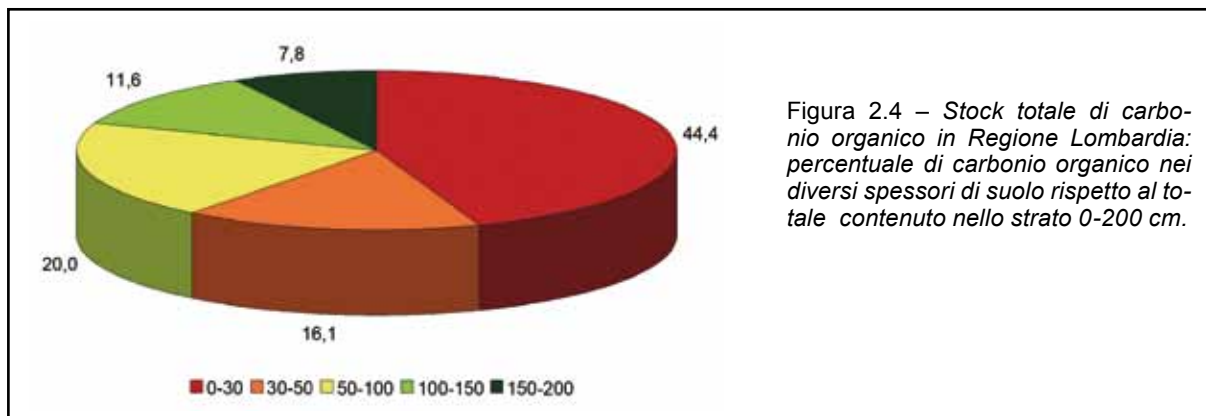


Figura 2.4 – Stock totale di carbonio organico in Regione Lombardia: percentuale di carbonio organico nei diversi spessori di suolo rispetto al totale contenuto nello strato 0-200 cm.

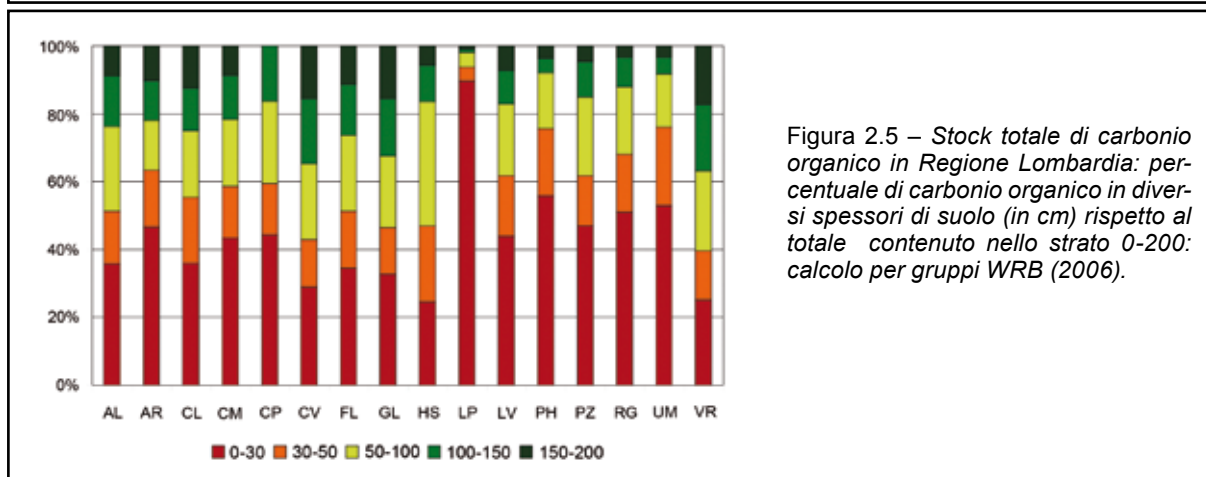


Figura 2.5 – Stock totale di carbonio organico in Regione Lombardia: percentuale di carbonio organico in diversi spessori di suolo (in cm) rispetto al totale contenuto nello strato 0-200: calcolo per gruppi WRB (2006).

Usò del suolo	Stock CO 0-30 cm (t/ha)
Seminativi - colture permanenti	56,0
Prati stabili	68,7
Boschi di latifoglie e misti	75,6
Boschi di conifere	85,5
Praterie naturali d'alta quota	80,2
Aree umide (torbiere)	230,2
Aree umide (escluso torbiere)	69,5

Tabella 2.2 – Stock di carbonio organico medio nei primi 30 cm suddiviso per categorie di uso del suolo.

viene visualizzata l'estensione territoriale delle categorie di uso del suolo prese in esame (pari complessivamente al 93 % della superficie di suolo regionale).

Pur con i limiti dovuti alla scala delle due cartografie l'analisi dei dati indica che in termini unitari gli stock più elevati si ritrovano nei boschi di conifere (85,5 t/ha) e nelle praterie di alta quota (80,2 t/ha), mentre, come atteso, i valori più bassi caratterizzano le superfici coltivate (56,0 t/ha). Il valore più alto in assoluto (230,2 t/ha) di stock di carbonio organico, si rileva in corrispondenza di praterie acquitrinose caratterizzate da depositi più o meno potenti di torba e di sfagni (torbiere), dove sono presenti suoli organici (Histosols).

Per dimensione invece il più grande deposito di carbonio è rappresentato dai terreni destinati all'agricoltura, ovvero seminativi e colture permanenti (che coprono il 50% della superficie di suolo regionale), cui segue il comparto delle foreste, boschi di latifoglie e conifere (copertura territoriale pari al 31 %), e in misura minore il territorio occupato da prati stabili e praterie alpine (11%).

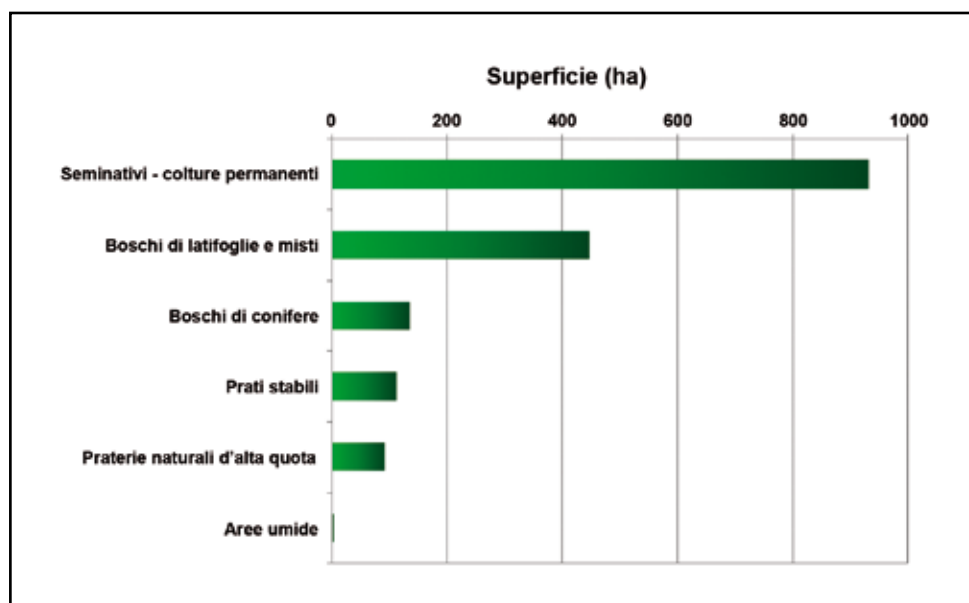


Figura 2.6 – Superficie di territorio (ha) della Lombardia occupato dalle principali categorie di uso del suolo.

La *tabella 2.3* riporta invece la distribuzione dello stock unitario di carbonio organico, per categorie di uso del suolo differenziata a seconda delle zone geografiche (regioni pedologiche) di appartenenza: Alpi, Prealpi, Pianura Padana, Colline appenniniche e Appennini. Ciò consente una analisi più articolata dei dati medi regionali precedentemente riportati.

Per ogni regione pedologica sono stati presi in esame solo gli usi del suolo con un'estensione

Uso del suolo	stock CO medio 0-30 cm (t/ha)				
	Alpi	Prealpi	Pianura	Colline appenniniche	Appennini
Seminativi - colture permanenti		67,9	55,7	60,5	52,4
Prati stabili	69,8	66,8	67,9		
Boschi di latifoglie e misti	70,5	81,9	61,0	62,2	64,8
Boschi di conifere	86,2	83,0		67,0	64,1
Praterie naturali d'alta quota	84,4	77,2			

Tabella 2.3 – Stock di carbonio organico nei primi 30 cm suddiviso per categorie di uso del suolo in corrispondenza alla regione pedologiche.

superiore all'1% della superficie di suolo. I boschi di latifoglie evidenziano uno stock di carbonio organico maggiore nelle Prealpi (loro zona ecologica di elezione); le conifere presentano uno stock più elevato nelle Alpi, mentre negli Appennini lo stock è comparabile con quello delle latifoglie. In pianura i prati hanno stock di poco superiori a quello dei boschi. In questa analisi va in ogni caso tenuto presente che per alcuni comparti ambientali (come le praterie e i pascoli alpini di alta quota) il valore unitario di stock presentato si basa su un numero limitato di osservazioni. Di conseguenza nell'estate 2011 è stato eseguito un campionamento di suolo in cinque alpeggi (di cui quattro gestiti da ERSAF) mirato ad approfondire la conoscenza sui depositi di carbonio in tali ambienti; i risultati sono visualizzati nella *tabella 2.4*. Il valore medio di stock di carbonio organico rilevato è risultato essere confrontabile con il dato medio riportato per le praterie alpine, sebbene emerga un'alta variabilità dovuta alle caratteristiche intrinseche della località di prelievo dei campioni di suolo (come per esempio la presenza di materiale roccioso).

Sito di monitoraggio	Località	Quota	d.a. (g/cm ³)	Scheletro (%)	CO* (%)	Stock CO (t/ha)
9_3_ALP	Rasura (SO), Alpe Culino	1570	1,00	24	4,4	103,1
7_8_ALP	Bagolino (BS), Alpe Vaia	2110	1,18	25	3,7	100,5
8_6_ALP	Schilpario (BG), Alpe Vivione	1840	1,20	53	2,3	36,4
8_2_PREALP	Schignano (CO), Alpe Bedole	860	1,06	35	3,4	77,7
7_4_PREALP	Morterone (LC), Alpe Costa del Palio	1480	1,00	0	3,3	95,0
media						82,5
deviazione standard						27,6

Tabella 2.4 – Monitoraggio dei suoli in pascoli alpini: valori medi nello strato 0.30 cm di densità apparente (d.a.), frazione rocciosa (scheletro), carbonio organico (CO) e stock di carbonio organico.

* metodo di analisi del carbonio organico = Dumas (analizzatore elementare).

Variazioni di stock di carbonio organico dovute a variazioni di uso del suolo

Confrontando i valori unitari di stock che caratterizzano i diversi usi del suolo è stata fatta una stima di quanto carbonio organico si potrebbe accumulare o perdere in un terreno modificandone la destinazione d'uso.

Il risultato di questo calcolo è visualizzato nella *tabella 2.5* e nella *tabella 2.6* dove sono rappresentate le variazioni di stock di carbonio organico conseguenti alle variazioni di uso e copertura del suolo, per due regioni pedologiche: Pianura e Alpi.

Variazioni di STOCK CO per variazioni di uso suolo (t/ha) - primi 30 cm di suolo					PIANURA
DA					
Seminativi \ colture permanenti	0	12,2	5,3		- 55,7
Prati stabili	-12,2	0	-6,9		- 67,9
Boschi di latifoglie \ boschi misti	-5,3	6,9	0		- 61,0
A	Seminativi \ colture permanenti	Prati stabili	Boschi di latifoglie \ boschi misti		Aree urbane

Tabella 2.5 – Stock di carbonio organico nei primi 30 cm suddiviso per categorie di uso del suolo. Regione pedologica: Pianura (variazioni positive rappresentate con gradazioni di colore verde, negative con gradazioni di colore arancio).

Variazioni di STOCK CO per variazioni di uso suolo (t/ha) - primi 30 cm di suolo					ALPI
DA					
Prati stabili	0	0,7	16,4		-69,8
Boschi di latifoglie \ boschi misti	-0,7	0	15,7	13,9	-70,5
Boschi di conifere	-16,4	-15,7	0	-1,8	-86,2
Praterie naturali d'alta quota		-13,9	1,8	0	-84,4
A	Prati stabili	Boschi di latifoglie \ boschi misti	Boschi di conifere	Praterie naturali d'alta quota	Aree urbane

Tabella 2.6 – Variazioni di stock di carbonio organico in corrispondenza a variazioni di destinazione d'uso dei suoli. Regione pedologica: Alpi (variazioni positive rappresentate con gradazioni di colore verde, negative con gradazioni di colore arancio).

Nell'esaminare questi dati va osservato in primo luogo che, essendo basati su un sistema informativo di scala regionale, forniscono un'indicazione generale sulle potenzialità ecologiche dei suoli nei diversi ambienti. In secondo luogo va tenuto presente che la variazione di stock che la trasformazione d'uso del suolo può indurre si realizza normalmente in un arco di tempo



Figura 2.7 – Variazione di stock di carbonio organico superficiale nell'evoluzione da un suolo seminativo a un prato stabile.

che può essere piuttosto lungo. Dai dati delle basi informative regionali si può derivare, a titolo di esempio, che in pianura cambiare l'uso del suolo da seminativo a prati stabili potrebbe voler dire aumentare la quantità di carbonio organico accumulato nel suolo di circa 12 t/ha (figura 2.7). Data l'alta variabilità dei suoli e degli ambienti sono necessarie a livello locale verifiche sito specifiche. Dalle analisi condotte emerge comunque come i passaggi bidirezionali tra usi del suolo naturali, seminaturali e agricoli possano comportare significative variazioni di stock e quindi contribuire in modo importante all'emissione piuttosto che all'assorbimento di CO₂ atmosferica. Tuttavia non va trascurato che sul bilancio complessivo della CO₂ queste trasformazioni rischiano di avere un effetto modesto, se rapportato a quanto invece incidono, ed in questo caso sempre negativamente, i processi di urbanizzazione del territorio. Per avere un'idea di cosa significhi l'antropizzazione delle superfici, basti considerare, a puro titolo di esempio, che in pianura antropizzare (destinare a uso residenziale o commerciale) 12 ettari di terreno agricolo seminativo significa perdere in media 668 tonnellate di carbonio organico accumulato nel suolo; perdita che annullerebbe il beneficio, in termini di sequestrazione di carbonio, che si otterrebbe (nel tempo) convertendo 55 ettari di suolo da seminativo a quello di prato stabile.

Il "consumo di suolo", quindi, non si limita a provocare la diminuzione dello stock di carbonio immagazzinato nei suoli, ma ha un impatto secondario altrettanto grave e spesso sottostimato: quello di ridurre sempre più le superfici sulle quali è possibile agire per sequestrare carbonio, abbassando così ulteriormente la resilienza del sistema territoriale agli impatti del cambiamento climatico.

Potenziale di sequestrazione del Carbonio Organico dovuto alla gestione dei suoli

Il suolo è il comparto ambientale, nell'ambito degli ecosistemi terrestri, nel quale è possibile immagazzinare il quantitativo di carbonio organico più consistente; ciò può essere ottenuto sia, come visto nei paragrafi precedenti, cambiandone la destinazione verso forme d'uso che consentono equilibri ecologici più favorevoli alla incorporazione di carbonio, sia, senza modificarne la destinazione, attraverso l'adozione di pratiche di gestione idonee a conseguire il medesimo effetto. Questo aspetto della ricerca è trattato nel dettaglio nei prossimi capitoli del Quaderno. In questa sede è però possibile fare preliminarmente alcune considerazioni generali, utili a comprendere qual'è l'ordine di grandezza teorico del potenziale di immagazzinamento di car-

bonio nei suoli della Lombardia, così come emerge dai dati effettivamente rilevati (archiviati nel Sistema Informativo dei Suoli regionali gestito da ERSAF) e a individuare per quali usi del suolo e quindi quali superfici questo potenziale sia realmente sfruttabile.

Come noto i suoli presentano una notevole variabilità e ciò si verifica anche per il loro contenuto in carbonio organico. Ne consegue che lo stock di carbonio “rappresentativo” di una determinata UTS è normalmente riferito al valore medio o modale dei dati per essa disponibili. Tuttavia è anche possibile arguire sul piano metodologico che, se valori più elevati di carbonio sono stati osservati, allora tali valori rappresentano una soglia effettivamente raggiungibile. Pertanto, per ogni UTS è stato inizialmente calcolato tale “potenziale di sequestrazione di carbonio” come differenza tra il valore medio o modale (stock rappresentativo della UTS) e il valore dato dalla media più due volte la deviazione standard dei dati disponibili per quella stessa UTS. Tale ultimo valore (qui definito come media più due volte la deviazione standard) rappresenta in pratica lo stock verso il quale è ragionevole ipotizzare di poter tendere attraverso una gestione adeguata dei suoli.

Successivamente, incrociando nuovamente l’informazione sul “potenziale di sequestrazione di carbonio” delle UTS con la carta dell’uso del suolo è stato possibile stimare la quantità di carbonio immagazzinabile in funzione delle diverse destinazioni d’uso.

A conclusione di questa trattazione e prima di esaminare i risultati delle elaborazioni effettuate si rendono peraltro necessarie alcune precisazioni sul metodo utilizzato:

- l’approccio sconta inevitabilmente delle approssimazioni, quali la non sempre verificata normalità nella distribuzione dei dati, soprattutto quelli di carbonio, o un numero di dati disponibili molto diversa tra suolo e suolo, che introducono errori nelle stime e danno all’analisi un significato indicativo e non dimostrativo del carbonio immagazzinabile nei suoli;
- per ragioni legate alla scala delle basi informative adoperate, all’interno di una determinata area geografica (ad esempio la pianura) le elaborazioni restituiscono informazioni affidabili per le categorie di uso del suolo che occupano superfici sufficientemente estese;
- negli ecosistemi in o prossimi all’equilibrio (climax), come possono essere considerati i boschi e le aree naturali, le differenze tra stock medio/modale e stock potenziale sono principalmente da attribuire alla naturale variabilità ambientale e potrebbero non essere indicatrici di una reale possibilità di sequestrare carbonio nei suoli;
- una diversa e opposta considerazione può al contrario essere fatta per quegli usi del suolo, come i seminativi e le superfici agricole in genere, i cui stock di carbonio sono fortemente influenzati dalla gestione antropica.

I risultati delle elaborazioni eseguite con questa metodologia di analisi per gli usi del suolo “agroforestali” nel territorio di pianura della Lombardia sono illustrati nella *figura 2.8*.

Da essi emerge che esiste un potenziale teorico di 30 milioni di tonnellate di carbonio (corrispondente a circa 110 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente) incorporabile nei suoli agricoli. Si tratta di un quantitativo apparentemente modesto, ma che in realtà può avere una importanza non trascurabile per le politiche di mitigazione delle emissioni di gas serra e, ancor più, di adattamento al cambiamento climatico. Vedremo, nei prossimi capitoli, che con l’adozione di tecniche innovative e conservative di gestione dei suoli agricoli (Agricoltura Conservativa) questo obiettivo è realmente raggiungibile ed è anche superabile.

2.2 Il bilancio del carbonio nei sistemi agricoli lombardi

Di seguito vengono riportati i risultati dell’analisi condotta confrontando l’effetto delle tecniche di lavorazione sull’evoluzione dello stock di carbonio organico nei suoli lombardi.

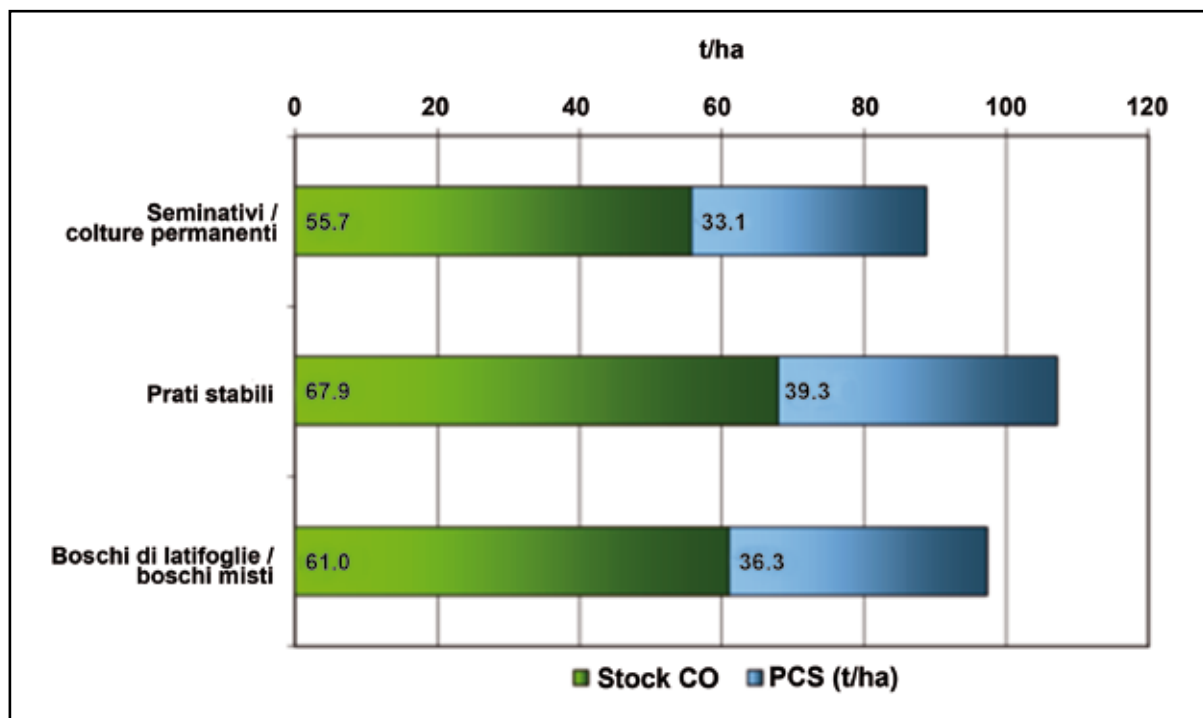


Figura 2.8 – Stock di carbonio organico medio (in verde) e stock teoricamente sequestrabile (in azzurro) nei suoli di pianura in funzione dell'uso del suolo (valori unitari in t/ha).

2.2.1 Procedura per l'identificazione delle colture prevalenti nelle diverse regioni agrarie della Lombardia

Nella fase iniziale di studio, sono stati identificati i principali sistemi colturali attualmente adottati nelle diverse condizioni pedoclimatiche della pianura. In particolare, le informazioni relative all'uso del suolo nei diversi comuni sono derivate dal database regionale SIARL (Sistema Informativo Agricolo della Regione Lombardia) relativo al marzo 2009. Tali informazioni sull'uso del suolo sono dettagliate per particella catastale e sono state quindi aggregate per comune. Le superfici comunali sono state successivamente aggregate secondo le regioni agrarie definite da ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica), essendo il frutto di una suddivisione territoriale omogenea costituita da comuni confinanti, appartenenti alla stessa provincia.

Gli usi del suolo dedotti dall'analisi del database SIARL sono stati 214, raggruppati in 17 gruppi. Il criterio seguito è stato quello di unire, entro uno stesso gruppo, colture simili per stagione colturale e per utilizzo del prodotto. Inoltre, i singoli usi del suolo che interessano più di 500 ha di SAU sono stati considerati separatamente (es: mais foraggio, mais granella, frumento, erba medica, pomodoro). Al fine di determinare la superficie agricola utilizzata per ogni regione agraria, sono stati esclusi dall'analisi gli usi del suolo non agricoli. In particolare, sono state escluse le superfici destinate a: bosco (cedui, misti, fustaie e a ciclo breve), fabbricati agricoli, tare, incolti, siepi e fasce tampone.

Sono state considerate le informazioni relative sia alla coltura principale, sia alle colture di secondo raccolto seminate nella stessa annata agraria. Al fine di identificare per ogni regione agraria le colture prevalenti, sia principali, sia di secondo raccolto, è stato utilizzata come soglia il 5% di SAU totale della regione stessa. In generale, per ogni regione agraria, il numero delle colture principali che superano il 5% di SAU va da 1 a 9 e la somma della SAU interessata da tali colture si attesta mediamente intorno all'85 % della SAU totale della regione stessa.

La superficie interessata a colture di secondo raccolto è risultata circa il 5% della SAU lombarda, si è scelto quindi di considerarle solo nel caso in cui la loro SAU rappresentasse più del 5%

dell'intera superficie della regione agraria. L'esigua superficie occupata dalle colture secondarie e la loro elevata eterogeneità ha determinato un raggruppamento degli usi in gruppi più ampi, rappresentati da erbai invernali ed estivi e colture orticole.

Sono stati ipotizzati i sistemi colturali di mais da foraggio-erbaio invernale e di frumento-erbaio estivo. La *tabella 2.7* riporta l'elenco dei sistemi colturali identificati nelle diverse regioni agrarie; la visualizzazione grafica dei sistemi colturali presenti nel territorio regionale è data in *figura 2.9*.

2.2.2 Identificazione delle aree omogenee

Allo scopo di calcolare il bilancio di CO₂ per i sistemi colturali precedentemente identificati, si è scelto di suddividere la pianura lombarda in areali omogenei mediante un'analisi pedoclimatica, utilizzando il criterio adottato nel progetto GAZOSA (Acutis *et al.*, 2008), aggiornandolo alla luce dell'analisi delle problematiche inerenti la redazione dei bilanci della CO₂ e del protossido d'azoto (N₂O) e, della disponibilità dei dati 2011 relativi alle domande inerenti la misura 214 azione M (agricoltura conservativa). Le variabili considerate nell'analisi, condotta con tecniche di *cluster analysis*, riguardano le principali caratteristiche del suolo che incidono sul bilancio della CO₂: diametro medio delle particelle di suolo (d₅₀) assunto come rappresentativo di tutti gli aspetti tessiturali, quantitativo di carbonio organico presente, variabili climatiche (pioggia annua e temperatura media annua). L'unità spaziale di riferimento della banca dati per i dati pedo-climatici è un poligono, di forma e dimensione variabile nei diversi punti della pianura lombarda, per i quali sono omogenee le proprietà pedologiche e climatiche: tali poligoni sono infatti ottenuti dall'intersezione (alla scala 1: 250.000) della carta pedologica e dalla carta degli areali climatici. A ogni singolo poligono sono stati sovrapposti i dati di uso del suolo. Ciò ha permesso di escludere preventivamente i poligoni non agricoli (definiti come quelli in cui la

Sistemi colturali	ID	SAU (ha)
PRATO PERMANENTE E PASCOLO	PPP	145548
PRATO POLIFITA DA VICENDA	PPV	52668
MAIS DA FORAGGIO	MF	53739
MAIS DA GRANELLA	MG	243148
ALTRI CEREALI AUTUNNO VERNINI	CAV	8800
FRUMENTO	FR	68489
VIVAI	VV	447
LEGUMINODE DA GRANELLA	LG	7044
ARBOREE DA FRUTTO	AF	2326
VITE	VT	19721
MAIS DA GRANELLA-COVER CROP AUT VERNINE	MG -CAV	21570
ALTRI CEREALI AUTUNNO VERNINI-COVER CROP PRIM - ESTIVE	CAV-EPE	380
COLZA	CO	358
ALTRI SEMINATIVI	AS	170
FRUMENTO -COVER CROP PRIM -ESTIVE	FRU-EPE	1829
RISO	RI	102656
ERBAI	ER	772
PIANTE ORTICOLE IN PIENO CAMPO	OR	7880
MAIS DA FORAGGIO-COVER CROP AUT-VERNINE	MF -CAV	8278
ERBA MEDICA	EM	50606
POMODORO	PO	1361

Tabella 2.7 – Elenco dei sistemi colturali che sono risultati rappresentativi della SAU di tutte le regioni agrarie.

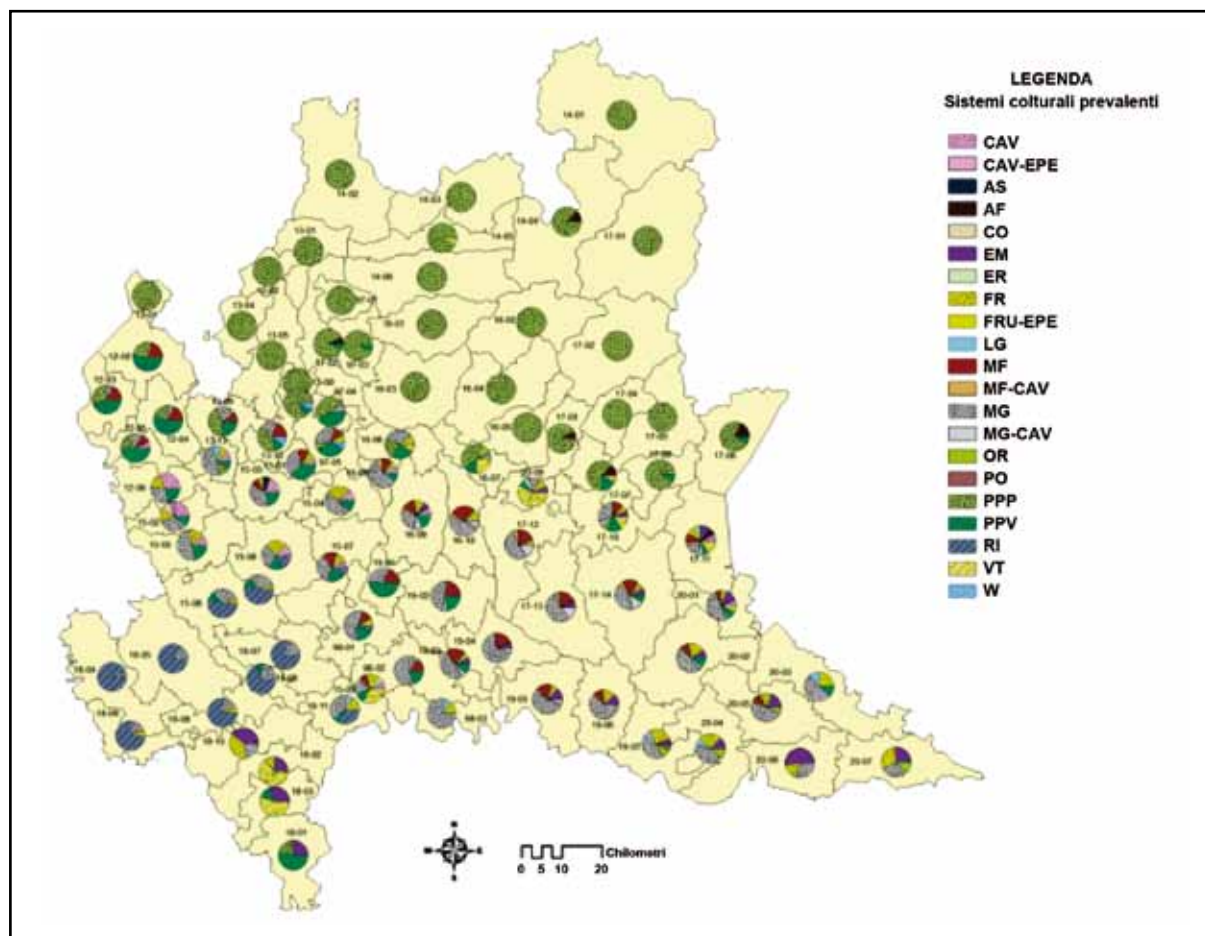


Figura 2.9 – Visualizzazione grafica dei sistemi culturali delle regioni agrarie del territorio lombardo.

SAU rappresenta meno del 20% della superficie totale del poligono). L'analisi è stata svolta mediante l'applicazione di una tecnica statistica multivariata nota come "twestep cluster" con la quale è possibile raggruppare i dati analizzati in modo da minimizzare le differenze all'interno di ciascun gruppo e di massimizzare quelle tra i diversi gruppi. Questa procedura ha consentito di individuare per il territorio di pianura della Lombardia 6 macroaree, statisticamente considerabili omogenee in funzione delle variabili esaminate. In particolare, le aree prealpina-alpina e appenninica (Oltrepò pavese) non sono state incluse nell'analisi, essendo tali aree destinate prevalentemente a prati permanenti e pascoli o a colture arboree (la vite nel caso dell'Oltrepò Pavese).

Le aree individuate, dette anche "cluster" sono presenti nella *figura 2.10*. In particolare, il cluster 5 non è stato preso in considerazione nelle elaborazioni successive poiché vi sono raggruppati i suoli non agricoli caratterizzati da un contenuto medio di C.O. del 10,6%.

Nella *tabella 2.8* sono riportate le caratteristiche medie delle aree omogenee individuate. Per i 5 cluster considerati è stato individuato un considerevole numero, 69, di UTS (Unità Tipologiche di Suolo). Alla luce della necessità di aggregare le informazioni per macro aree omogenee, si è reso necessario identificare, all'interno di ogni area omogenea, le UTS maggiormente incidenti nel territorio considerato.

Il criterio scelto è di seguito descritto:

1. Raggruppamento delle UTS in base al contenuto di argilla presente nei primi 100 cm di profondità in tre classi:
 - contenuto inferiore a 20% (Classe 1);

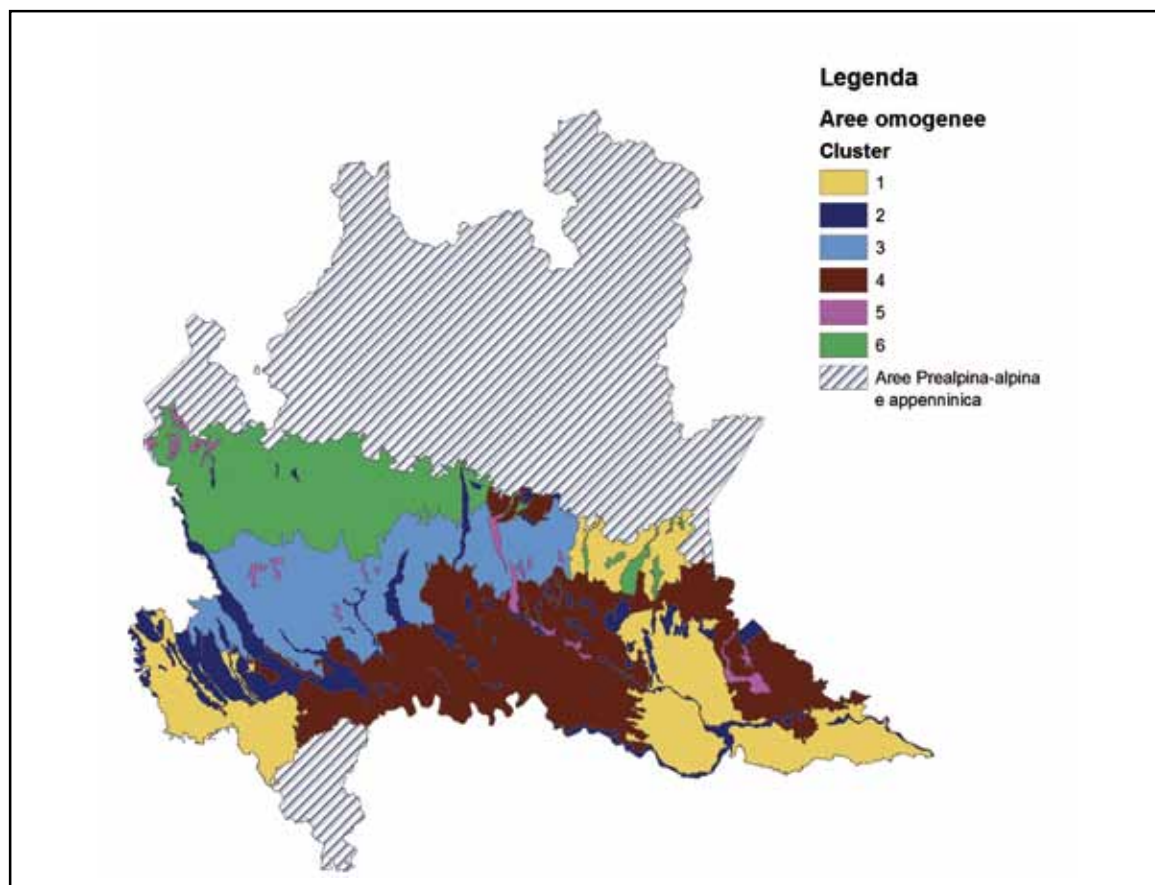


Figura 2.10 – Suddivisione della pianura lombarda in 6 aree (cluster) omogenee per caratteristiche pedoclimatiche.

Cluster	Precipitazioni annuali (mm)	Temperatura media annuale (C°)	Argilla (%)	Limo (%)	Sabbia (%)	C.O. (%)	d50(mm)
1	758 (143)	13,86 (0,05)	24,1 (12,5)	39,5 (9,4)	36,4 (16,9)	1,3 (0,41)	0,0687 (0,0601)
2	828 (148)	13,59 (0,67)	5,6 (4,8)	13,8 (6,6)	80,6 (10)	1,35 (1,53)	0,5667 (0,1572)
3	1000 (48)	14,76 (0,05)	12,3 (4,5)	29,4 (8,7)	58,3 (12,2)	1,47 (0,45)	0,1782 (0,0915)
4	744 (98)	12,8 (0,26)	18,1 (8,8)	37,8 (12,2)	44,2 (18,1)	1,35 (0,52)	0,1066 (0,0838)
5	958 (298)	13,67 (0,98)	16,4 (6,1)	33,4 (9,4)	50,3 (10,1)	10,6 (2,9)	0,1206 (0,0655)
6	1186 (137)	13,45 (0,18)	14,1 (6,6)	36,0 (11)	49,9 (15,9)	2,1 (1,01)	0,1518 (0,0955)

Tabella 2.8 – Caratteristiche pedoclimatiche delle aree omogenee individuate. I valori riportati sono stimati come media dei valori assunti dai poligoni presenti in ciascun cluster. Le deviazioni standard sono riportate tra parentesi.

- contenuto compreso tra 20 e 40% (Classe 2);
- contenuto maggiore di 40% (Classe 3).

2. Per ognuna di tali classi di contenuto di argilla e per ogni cluster sono stati quindi presi in considerazione i suoli la cui SAU supera il 15% del totale delle SAU.

Il criterio sopradescritto ha permesso di individuare per i 5 areali omogenei i suoli rappresentativi riportati in *tabella 2.9*.

2.2.3 Analisi della Banca dati relativa all'azione M della misura 214 per l'anno 2011

L'analisi ha consentito di individuare nella Regione Lombardia 8306 ha convertiti a tecniche conservative, a seguito dell'adesione alla misura 214 - azione M nel 2011 (*tabella 2.10*).

Di tutta la superficie interessata oltre il 99% è situato nella pianura lombarda e più precisamente nell'area oggetto di studio. La maggior parte della superficie è coltivata a mais (75,6%).

Cluster	UTS	C.O. (%)	Argilla (%)	Limo (%)	Sabbia (%)	d50 (mm)
1	60	1,7	17,7	30,3	52,0	0,05985
1	111	1,7	27,3	41,7	31,0	0,035856
1	139	1,2	23,7	49,7	26,7	0,050001
1	138	1,5	50,0	37,7	12,3	0,008911
1	121	1,4	47,0	40,0	13,0	0,00914
2	83	0,8	3,0	4,5	92,5	0,721618
2	151	1	3,0	18,0	79,0	0,633227
2	85	0,7	6,3	14,3	79,5	0,424966
3	75	1,1	14,0	29,0	57,0	0,128467
3	89	1,1	20,3	54,3	25,3	0,057135
3	157	1,3	22,7	49,7	27,7	0,035402
3	46	0,9	23,5	49,0	27,5	0,040731
4	107	1	13,5	27,0	59,5	0,146071
4	111	1,7	27,3	41,7	31,0	0,035856
4	103	1	25,7	48,0	26,3	0,029097
4	121	1,4	47,0	40,0	13,0	0,00914
4	138	1,5	50,0	37,7	12,3	0,008911
6	9	1,8	10,0	27,0	63,0	0,217589
6	2	2	9,0	26,3	64,8	0,264468
6	46	0,9	23,5	49,0	27,5	0,040731
6	157	1,3	22,7	49,7	27,7	0,035402
6	191	1,9	45,0	38,0	17,0	0,011173

Tabella 2.9 – Caratteristiche pedologiche dei suoli individuati per le 6 aree omogenee.

Nella *tabella 2.11* è presente il dettaglio delle superfici (ha) suddivise per cluster e coltura, e la percentuale di incidenza sulla SAU delle aree omogenee. Per meglio osservare la distribuzione geografica delle superfici coltivate a tecniche conservative in *figura 2.11* viene presentata la mappa della SAU suddivisa in regioni agrarie.

2.2.4 Procedura per il calcolo del bilancio del carbonio nel suolo agrario

Il bilancio del carbonio nel suolo agrario è calcolabile per i diversi sistemi colturali a partire dai dati simulati delle dinamiche del carbonio nel continuum suolo-pianta-atmosfera. A tale proposito è stato utilizzato il software di simulazione “ARMOSA” (Acutis *et al.*, 2007; Perego 2011). ARMOSA è uno strumento di predizione delle dinamiche dell’azoto e del carbonio nel suolo, nella pianta coltivata e nell’atmosfera, che fornisce una stima dell’impatto che le pratiche agronomiche hanno sulla qualità delle acque profonde e superficiali. ARMOSA è un modello dinamico sviluppato per la simulazione dei sistemi colturali con un *time-step* giornaliero. Il modello simula variabili agro-meteorologiche, il bilancio dell’acqua, del carbonio e dell’azoto nel suolo, la crescita e lo sviluppo delle colture, le perdite di N per lisciviazione e percolazione e le emissioni di CO₂ dal suolo.

Il modello suddivide la frazione di carbonio nel suolo in diversi *pool*. Un *pool* è definibile (Smith *et al.*, 2002) come “un compartimento che contiene materiali chimicamente indistinguibili e ugualmente accessibili alle piante o alla popolazione microbica del suolo”. Sia la sostanza organica del terreno sia quella aggiunta con residui colturali o fertilizzanti organici, sono assegnate a uno o più *pool*; ogni *pool* è caratterizzato da specifiche proprietà (rapporto C/N, velocità di decompo-

Colture	Totale (ha)	%
MAIS DA GRANELLA	3.626	43,7
SILOMAIS E MAIS CEROSO	1.028	31,9
FRUMENTO CEREALI VERNINI	1.028	12,4
SOIA	382	4,6
ALTRE COLTURE	617	7,4
Totale	8.306	100

Tabella 2.10 – Colture per cui è stata richiesta l'azione M, misura 214, per l'anno 2011.

Colture	Totale	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 6
MAIS DA GRANELLA	3.566	213	104	1.025	1.920	303
SILOMAIS E MAIS CEROSO	2.638	221	320	874	1.179	44
FRUMENTO E CERALI VERNINI	1.028	115	80	310	306	218
SOIA	382	60	33	168	53	68
ALTRE COLTURE	617	71	3	1 83	296	65
SAU Totale (ha)	8.231	680	539	2.558	3.753	699
SAU cluster (ha)	893.037	226.915	86.915	160.086	318.759	88.434
% sulla SAU del cluster	0,92%	0,30%	0,62%	1,60%	1,18%	0,79%

Tabella 2.11 – SAU (ha) coltivata secondo tecniche conservative nei diversi areali individuati per le diverse colture.

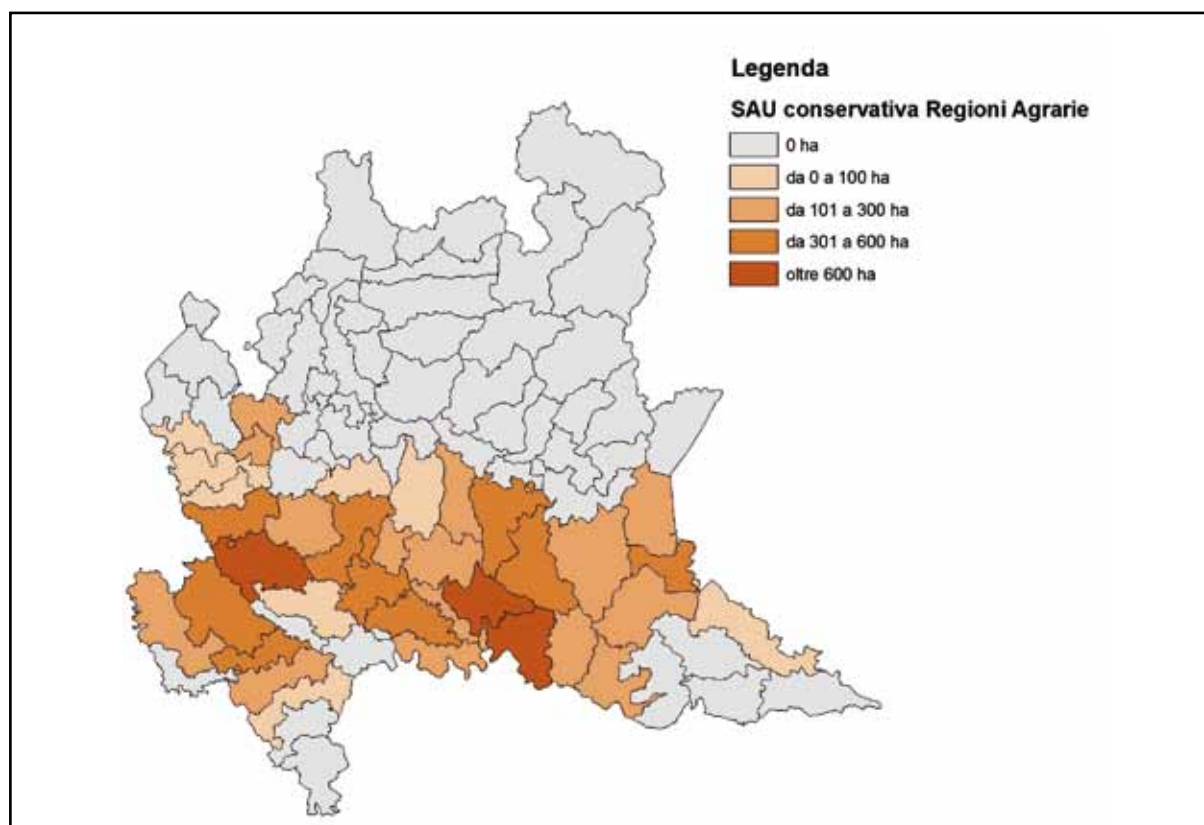


Figura 2.11 – SAU coltivata secondo le pratiche conservative nell'anno 2011 nelle regioni agrarie di pianura.

sizione, coefficienti di ripartizione dei flussi), che consentono di simularne dinamicamente la decomposizione. Il vantaggio di un approccio con più pool è di consentire una migliore rappresentazione della realtà, suddividendo in componenti diverse i materiali non sufficientemente omogenei. Il modello ARMOSA utilizza 3 pool per rappresentare la sostanza organica del terreno. I primi due,

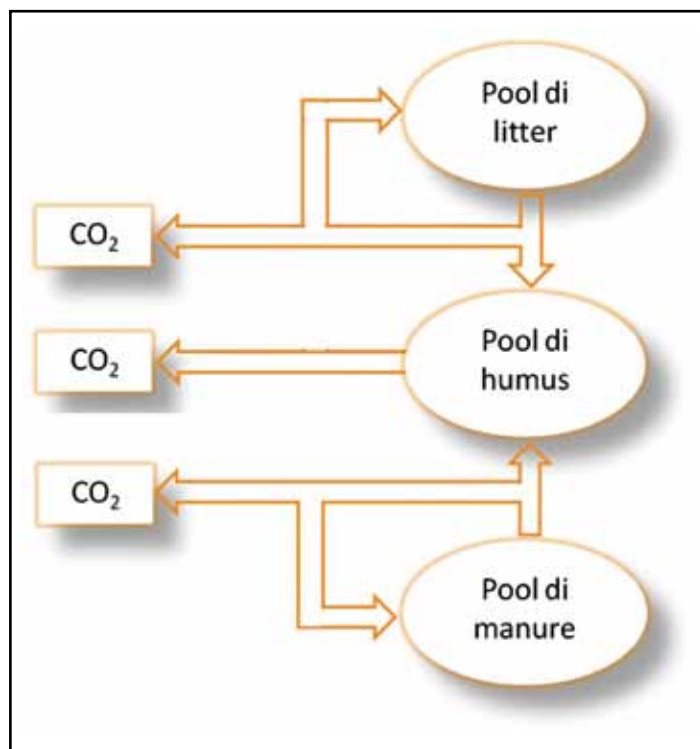


Figura 2.12 – Diagramma dei pool di carbonio contenuto nelle diverse frazioni della sostanza organica del suolo (modello ARMOSA).

a rapida decomposizione, sono “litter” (L), che rappresenta i residui colturali e le radici morte, e “manure-derived-faeces” (M), che rappresenta le feci contenute nei reflui zootecnici; in generale, qualsiasi componente organica labile apportata al suolo va aggiunta ad L o ad M. I due pool consentono di gestire materiali molto diversi, poiché è possibile assegnare quelli caratterizzati da rapporti C/N più elevati al pool L e quelli con rapporti C/N più bassi al pool M. Il terzo pool, a lenta decomposizione, rappresenta l’humus (H), o sostanza organica stabile del suolo (figura 2.12).

A partire dai dati simulati di carbonio nei diversi pool, è possibile stimare le variabili di output così da confrontarne i valori con i dati di carbonio in ingresso e calcolare la loro differenza. In particolare, i dati in ingresso sono rappresentati da: (i) CO₂ atmosferica organicata attraverso il processo di fo-

tosintesi delle colture, (ii) carbonio contenuto nei fertilizzanti organici applicati alle colture, (iii) carbonio presente nei residui colturali, sia ipogei sia epigei. I dati di output sono: (i) carbonio contenuto nella biomassa asportata, (ii) CO₂ respirata dalla biomassa microbica nel processo di mineralizzazione del carbonio contenuto nei pool litter e manure. Il bilancio di massa del carbonio è calcolato considerando, inoltre, la differenza del quantitativo di carbonio presente nei 3 diversi pool di sostanza organica durante il periodo simulato. Tale bilancio consente di calcolare l’incremento o la riduzione del carbonio organico presente nel suolo.

Applicando il modello ARMOSA nel corso dell’analisi territoriale è stato possibile calcolare il bilancio di carbonio nei diversi scenari individuati considerando i diversi cluster, sistemi colturali, suoli rappresentativi, e comparando le due tecniche di gestione agronomica in esame, convenzionale e conservativa. Al fine di poter calcolare il bilancio del carbonio nel suolo è necessario analizzare un arco di tempo sufficientemente lungo, in quanto il contenuto di carbonio nel suolo tende a stabilizzarsi nel tempo. L’evoluzione del contenuto di carbonio è particolarmente influenzata dalle variazioni delle tecniche agronomiche come il passaggio da lavorazioni tradizionali a conservative. Nell’analisi, il bilancio è stato calcolato mediando i risultati dei diversi suoli presenti, distinguendo tra tecnica convenzionale e conservativa, applicando il modello a data set meteorologici di 20 anni (1991-2010) in ogni cluster e per ogni rotazione.

Esempio di calcolo del bilancio di carbonio

Con l’intento di mostrare un esempio indicativo, sono riportati i risultati del calcolo effettuato per il cluster 3. Tale raggruppamento è caratterizzato da 4 sistemi colturali (omosuccessione di mais granella, MG, e di mais da trinciato, MT; rotazioni di mais granella con loiessa, MGL, e con frumento, MGF) e include 4 suoli ampiamente diversi tra loro: A (UTS 75: 74% SAU del cluster 3), B (UTS 89: 16% SAU del cluster 3), C (UTS 157: 5%SAU del cluster 3), D (UTS 46: 5% SAU del cluster 3). La descrizione dei suoli è presente in tabella 2.9. La tabella 2.12 riporta i valori rela-

tivi alle variabili relative al carbonio mediati sui 4 suoli. Passando dalla tecnica convenzionale a quella conservativa si ottiene un aumento significativo del carbonio organico immobilizzato nel suolo ($p < 0,01$) per tutte le rotazioni (figura 2.13); ugualmente si assiste ad una sensibile diminuzione del C-CO₂ (dal 4% al 9%, $p < 0,01$) rilasciato in atmosfera dai processi di respirazione della sostanza organica ad opera della massa microbica. Tale aumento significativo è riscontrato anche negli altri cluster.

Tuttavia non appare significativo l'effetto delle caratteristiche pedologiche nel determinare un aumento della percentuale di C.O. nel suolo. Tale risultato indica che adottando tecniche conservative si può ottenere un aumento del C.O. nel suolo a prescindere dalle caratteristiche pedologiche. Appare comunque più marcato l'aumento di C.O. nei suoli aventi tessitura più

Sistemi Colturali	Tecnica	Evoluzione C.O. (%)	Evoluzione C.O. (t)	C.O. finale (t)	C.O. finale (%)	Fertilizzanti (t)	Residui (t)	C-CO ₂ respirata (t)
MG	CONS.	0,4	22	84	1,4	39	119	138
MG	CONV.	0,2	12	75	1,3	39	122	151
MT	CONS.	-0,2	-12	51	0,9	49	22	83
MT	CONV.	-0,3	-15	48	0,8	49	23	86
MGL	CONS.	0,5	26	89	1,5	68	117	160
MGL	CONV.	0,3	18	81	1,4	68	119	169
MGF	CONS.	0,0	1	64	1,1	58	96	124
MGF	CONV.	-0,1	-5	57	1,0	58	97	132

Tabella 2.12 – Dettaglio del bilancio del carbonio nel cluster 3 per i sistemi colturali in esame nei primi 40 cm di suolo.

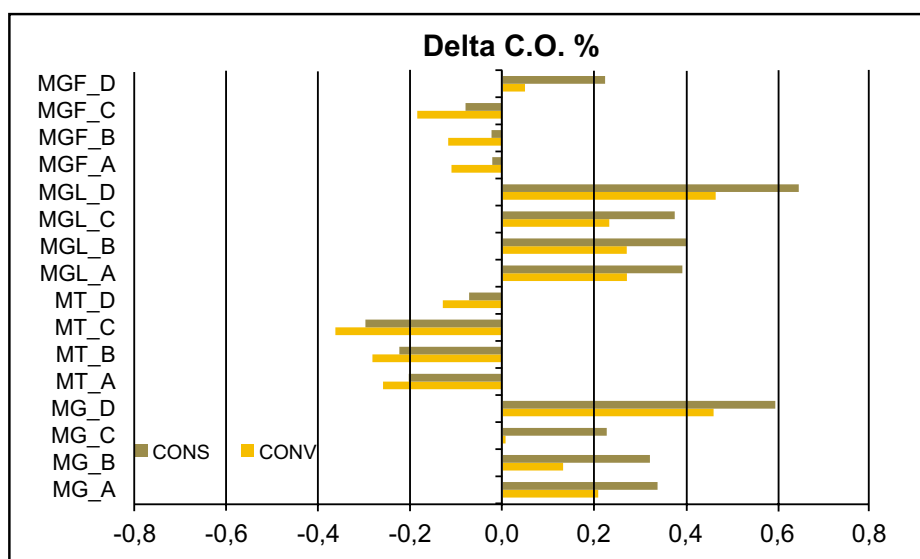


Figura 2.13 – Evoluzione del contenuto percentuale di carbonio organico nei 4 suoli (A - D) del cluster 3, nei diversi sistemi colturali.

fine. Analizzando l'evoluzione del C.O. per classe tessiturale e rotazione si può notare che, in linea generale, l'andamento tra i suoli appartenenti alla stessa classe tessiturale risulta simile. Tuttavia è confermato il ruolo fondamentale del tipo di rotazione e della gestione dei residui sull'evoluzione del carbonio nel suolo.

2.2.5 Valutazione territoriale delle agrotecniche in termini di evoluzione dello stock di carbonio nei suoli agrari e delle emissioni di protossido di azoto

Per quanto riguarda la valutazione territoriale, il lavoro ha previsto la stima dell'evoluzione del

contenuto di carbonio organico nel suolo e dell'emissione di protossido d'azoto, considerando le tecniche agronomiche maggiormente impiegate e valutando differenti alternative ed opzioni gestionali più efficienti sotto il profilo della riduzione delle emissioni climalteranti dall'agricoltura, valutando quindi le differenze tra le diverse tecniche gestionali proposte.

Tale analisi sono condotte a scala:

- territoriale nei 5 areali omogenei individuati (*cluster*);
- territoriale nelle Regioni Agrarie.

Per stabilire gli effetti di tecniche conservative sono riportate le mappe in cui è mostrata la variazione del carbonio immagazzinato nei primi 40 cm di suolo, in funzione dei sistemi colturali adottati, ponderando in base alla SAU occupata.

Rotazioni	ID	SAU (ha)	
Prato permanente e pascolo	PP	5.232	
Prato polifita avvicendato con mais	PVM	57.908	
Mais da granella (compresa cover-crop)	MG	192.995	
Mais da trinciato (compresa cover-crop)	MF	55.286	
Frumento (compresa cover-crop)	F	26.048	
Mais – Frumento	M_F	92.134	
Mais granella - Leguminose annuali	MG_L	14.089	
Medica - Mais – Frumento	Med	70.648	
Riso	R	102.656	
Arboree da frutto	A	16.193	
Orticole in pieno campo	O	7.880	
Totale		641.068	
Totale rotazioni simulate		514.338	80%

Tabella 2.13 – *Elenco dei sistemi colturali rappresentativi dell'intera pianura Lombarda.*

Per poter redigere tali bilanci, è stato necessario identificare gli avvicendamenti colturali principalmente adottati nelle Regioni Agrarie in modo da poterli valutare in un arco temporale significativo al fine di stimare l'aumento o la diminuzione di carbonio organico nei suoli. In base ai sistemi colturali precedentemente individuati e alla loro evoluzione nel tempo sono state individuate i sistemi colturali presenti in *tabella 2.13*.

Le simulazioni effettuate riguardano le principali colture erbacee a eccezione del riso e delle colture orticole. Nella *figura 2.14* sono presenti, per le Regioni Agrarie di pianura le rotazioni principali e la rappresentatività, intesa come percentuale di SAU, delle rotazioni simulate sulla SAU totale.

La *figura 2.15* mostra l'evoluzione del carbonio organico nell'arco temporale considerato come differenza percentuale tra l'uso del suolo condotto con tecniche agronomiche tradizionali e quello condotto con tecniche conservative. Le mappe mostrano 5 ipotetici scenari, ovvero la

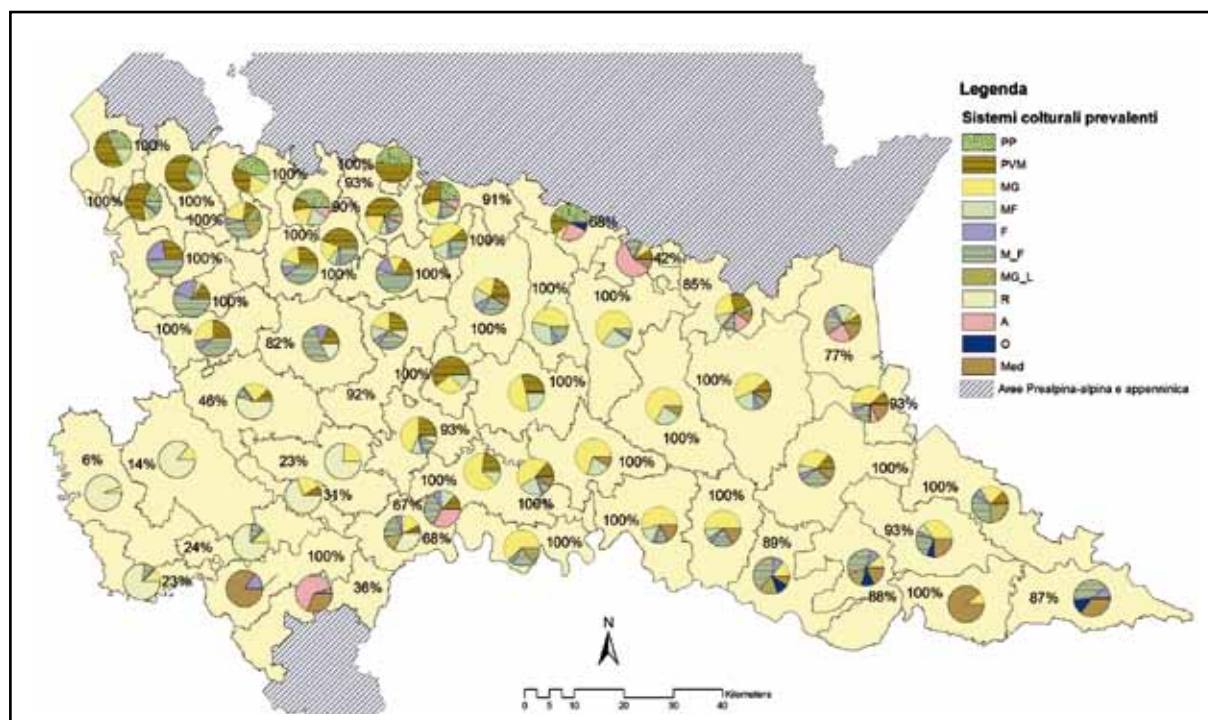


Figura 2.14 – Visualizzazione grafica delle rotazioni rappresentative per le regioni agrarie di pianura. Il valore presente in ciascuna regione agraria indica la percentuale della SAU inerente alle rotazioni oggetto delle simulazioni.

conversione del 5, 10, 20, 30 e 50% della SAU per ogni Regione Agraria a tecniche conservative. L'effetto delle tecniche conservative è risultato statisticamente significativo ($p < 0,05$).

Dalla *figura 2.15* si può notare come nelle Regioni Agrarie appartenenti alla pianura di Cremona, in cui è maggiore la superficie coltivata a mais da granella, si riscontrano i maggiori incrementi di C.O. nei primi 40 cm di suolo; tale aumento è giustificato dal fatto che il mais da granella garantisce elevate produzioni di biomassa e un considerevole apporto di residui colturali al suolo. Altresì nelle Regioni Agrarie in cui è maggiore la diffusione di colture prative (prati permanenti o avvicendati e erba medica), che di fatto necessitano di lavorazioni del suolo meno invasive anche nel caso di gestioni convenzionali, tale aumento è meno marcato. Fanno eccezione le Regioni Agrarie delle Lomellina in cui la maggior parte delle superficie è condotta a riso e, di conseguenza, la bassa percentuale di colture simulabili ha ridotto notevolmente i vantaggi delle tecniche conservative. La coltura del riso non è stata considerata nel presente studio poiché le tecniche agronomiche generalmente utilizzate, tra cui la sommersione, necessitano di approcci di simulazione differenti da quello proposto poiché la sostanziale assenza di ossigeno che si crea in un suolo saturo determina differenti dinamiche di degradazione della sostanza organica presente.

Gli effetti delle tecniche conservative e in particolare il decremento della cinetica dei processi ossidativi a carico della sostanza organica presente nel suolo determina la riduzione delle CO_2 respirata; tali effetti sono visibili nella *figura 2.16*.

Considerando le variabili C.O. immagazzinato nel suolo e CO_2 emessa, è risultato significativo l'effetto della tecnica ($p < 0,01$). Le tecniche conservative sembrano quindi in grado di ridurre le emissioni di CO_2 , aumentando al contempo lo stock di C.O. nel suolo, in tutte le condizioni pedologiche simulate.

Per quanto riguarda la simulazione delle emissioni di protossido di azoto (N_2O) dai suoli coltivati secondo i principali sistemi agricoli, si è scelto di seguire l'approccio del modello DNDC (Li *et al.*, 1992). Sono stati implementati i relativi algoritmi nel modello ARMOSA così da completare la descrizione dettagliata dei processi a carico dell'azoto. L' N_2O è emesso dal sistema suolo verso

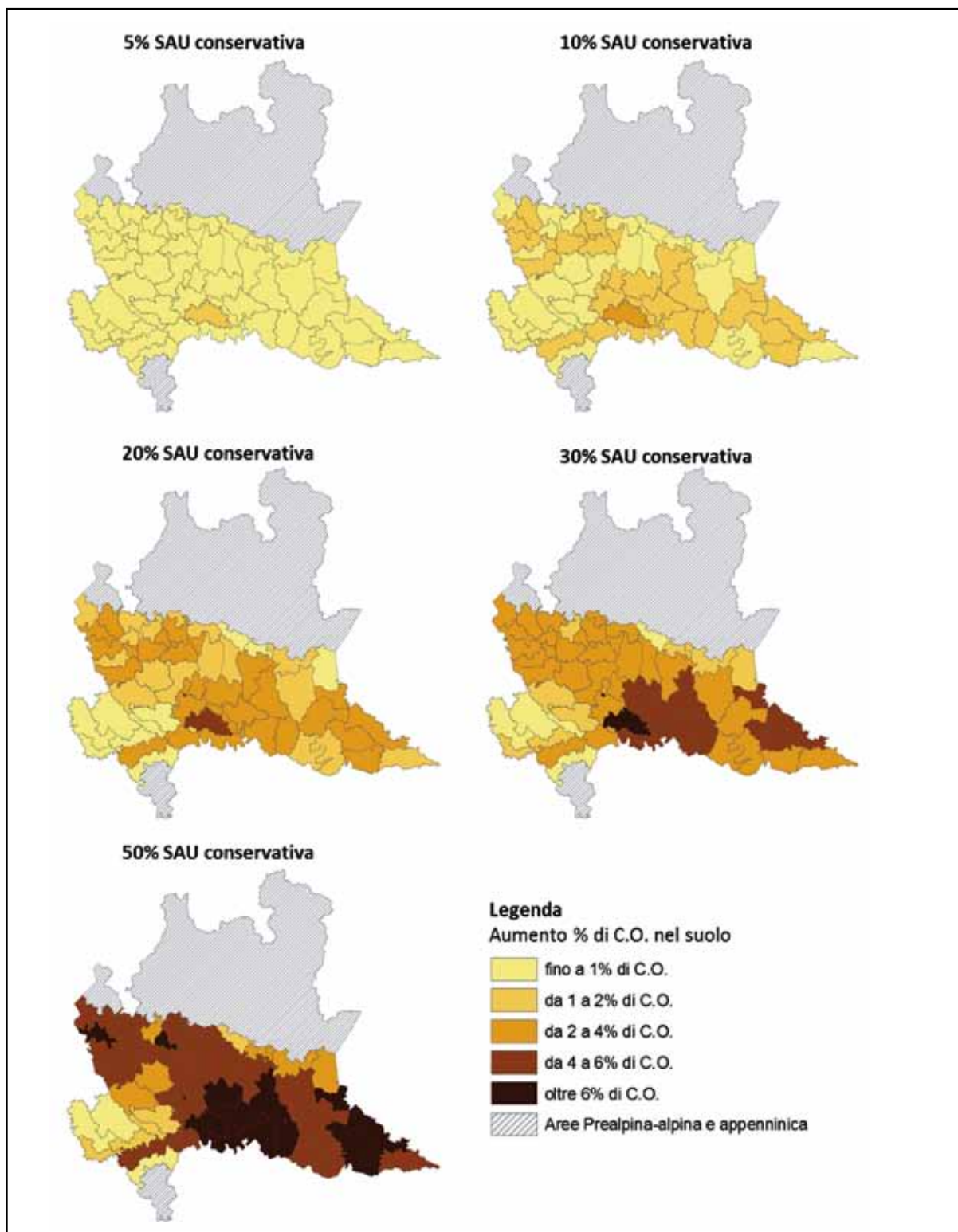


Figura 2.15 – Aumento percentuale del contenuto di C.O. nei primi 40 cm di suolo in funzione alla percentuale di SAU coltivata secondo le tecniche conservative.

l'atmosfera durante due processi distinti: nitrificazione e denitrificazione. Tali processi sono simulati strato per strato e in particolare fino ad una profondità di 40 cm per quanto riguarda la nitrificazione, supponendo a profondità maggiori una quasi totale assenza di ossigeno, il quale rappresenta un substrato fondamentale del processo. La denitrificazione è principalmente regolata dal contenuto idrico del suolo; la quantità massima di azoto denitrificato è infatti prodot-

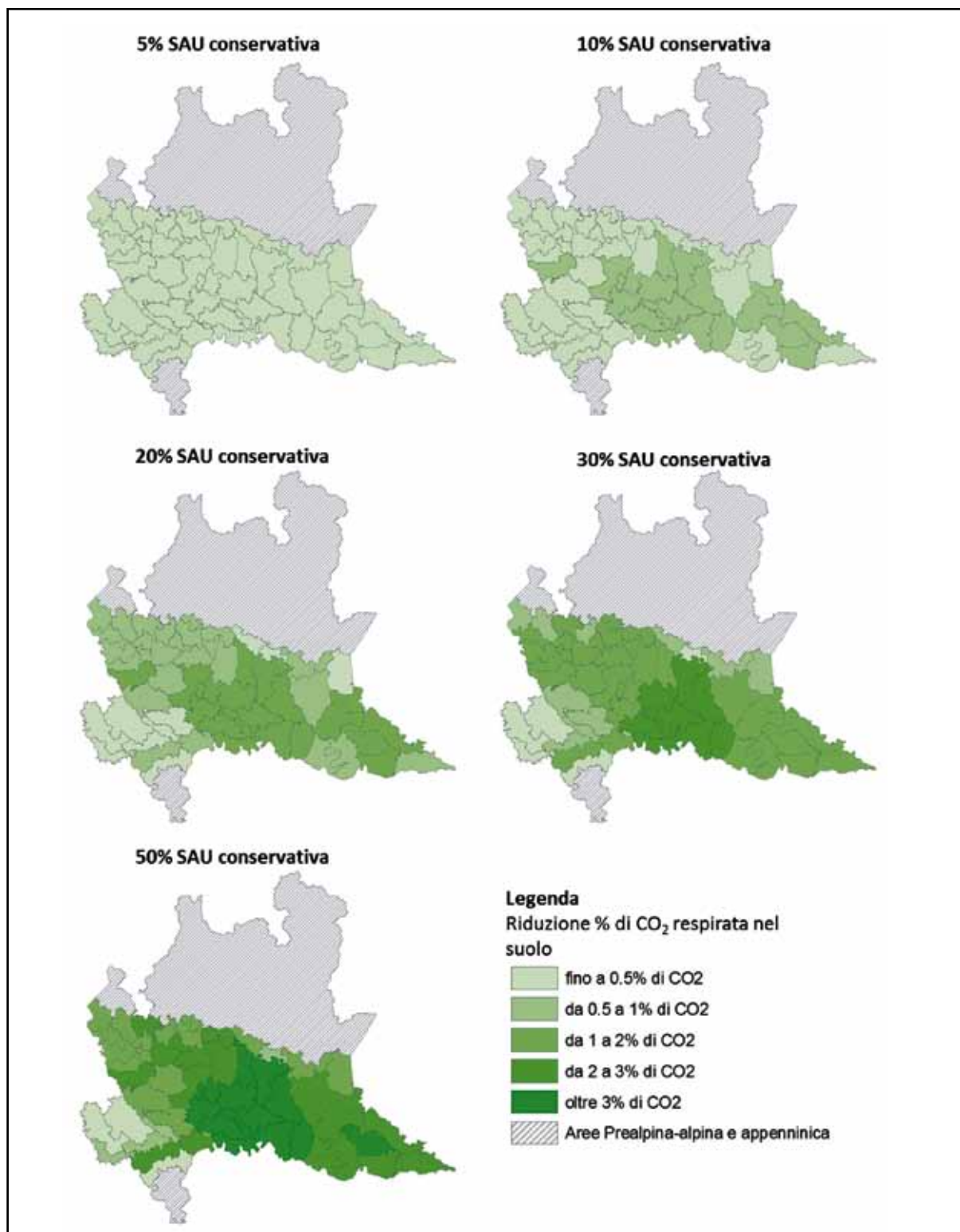


Figura 2.16 – Diminuzione percentuale del CO₂ respirata dal suolo in funzione alla percentuale di SAU coltivata a tecniche conservative.

ta quando il contenuto idrico è alla saturazione. Nel processo di nitrificazione l'N₂O rappresenta un prodotto intermedio dove l'azoto in forma ammoniacale è ossidato a nitrato. Durante il processo di denitrificazione il nitrato è ridotto a N₂ ed anche in questo caso il protossido è prodotto durante una fase intermedia. La *figura 2.17* (pagina seguente) descrive i processi legati all'azoto e al carbonio simulati dal modello ARMOSA, tra i quali nitrificazione e denitrificazione

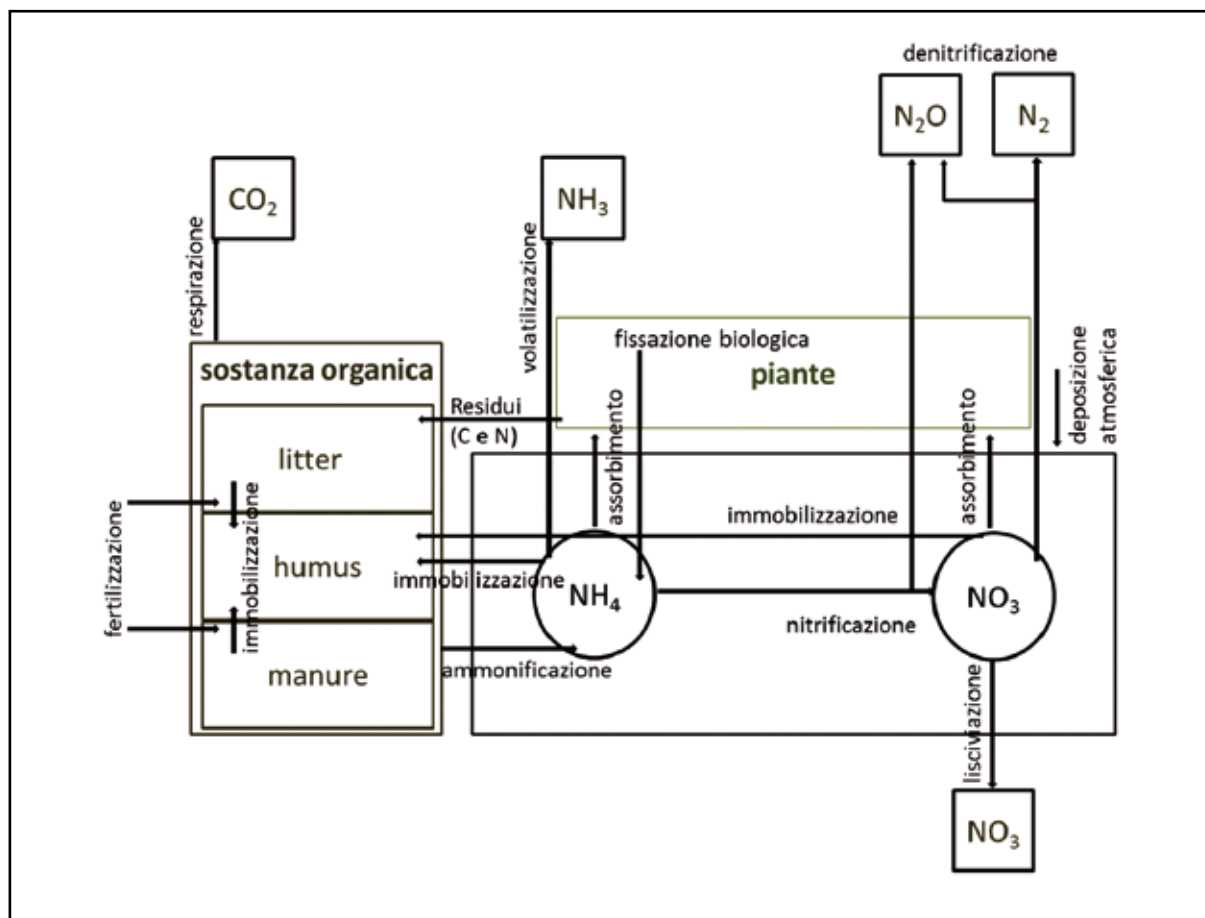


Figura 2.17 – Schema dei processi relativi a carbonio e azoto implementati nel modello ARMOSA.

che portano alla produzione di N₂O. Avendo condotto un'analisi modellistica per stimare l'effetto di un'eventuale conversione delle tecniche agronomiche, da convenzionale a conservativa, abbiamo valutato come tale cambiamento potrebbe tradursi in termini di emissioni di N₂O nel caso dei sistemi colturali individuati come i più rappresentativi delle regioni agrarie della porzione regionale situata in pianura. Considerando inoltre i diversi *cluster*, i sistemi colturali, le condizioni pedologiche, è stato condotto un test ANOVA per valutare l'effetto delle due diverse tecniche, convenzionale e conservativa. Le due gestioni sono risultate statisticamente differenti ($p < 0,01$); si assiste ad una diminuzione sensibile delle emissioni in tutti i sistemi colturali conservativi, mediamente pari al 10% (figura 2.18).

La figura 2.19 mostra l'evoluzione delle emissioni di N₂O dopo vent'anni di simulazione, come differenza percentuale tra l'uso del suolo condotto con tecniche agronomiche tradizionali e quello condotto con tecniche conservative. Le mappe mostrano 5 ipotetici scenari, ovvero la conversione del 5, 10, 20, 30 e 50% della SAU per ogni Regione Agraria a tecniche conservative.

2.2.6 Discussione

L'analisi territoriale condotta secondo l'approccio modellistico ha permesso di valutare i possibili effetti di una conversione delle tecniche agronomiche, passando da una gestione convenzionale a una conservativa. L'analisi effettuata ha confermato che, con l'adozione di tecniche conservative meno invasive, il suolo può aumentare il suo contributo come *sink* di carbonio, aiutando a bilanciare le emissioni da fonti fossili e mitigando il cambiamento climatico. Tale risultato è stato recentemente evidenziato in un rapporto dalla Commissione Europea (Stolbovoy *et al.*, 2007). Risultati scientifici di ricerche condotte in diverse parti del mondo dimostrano l'efficacia di tali tecniche nel mantenere o nel migliorare le caratteristiche chimiche, fisiche e

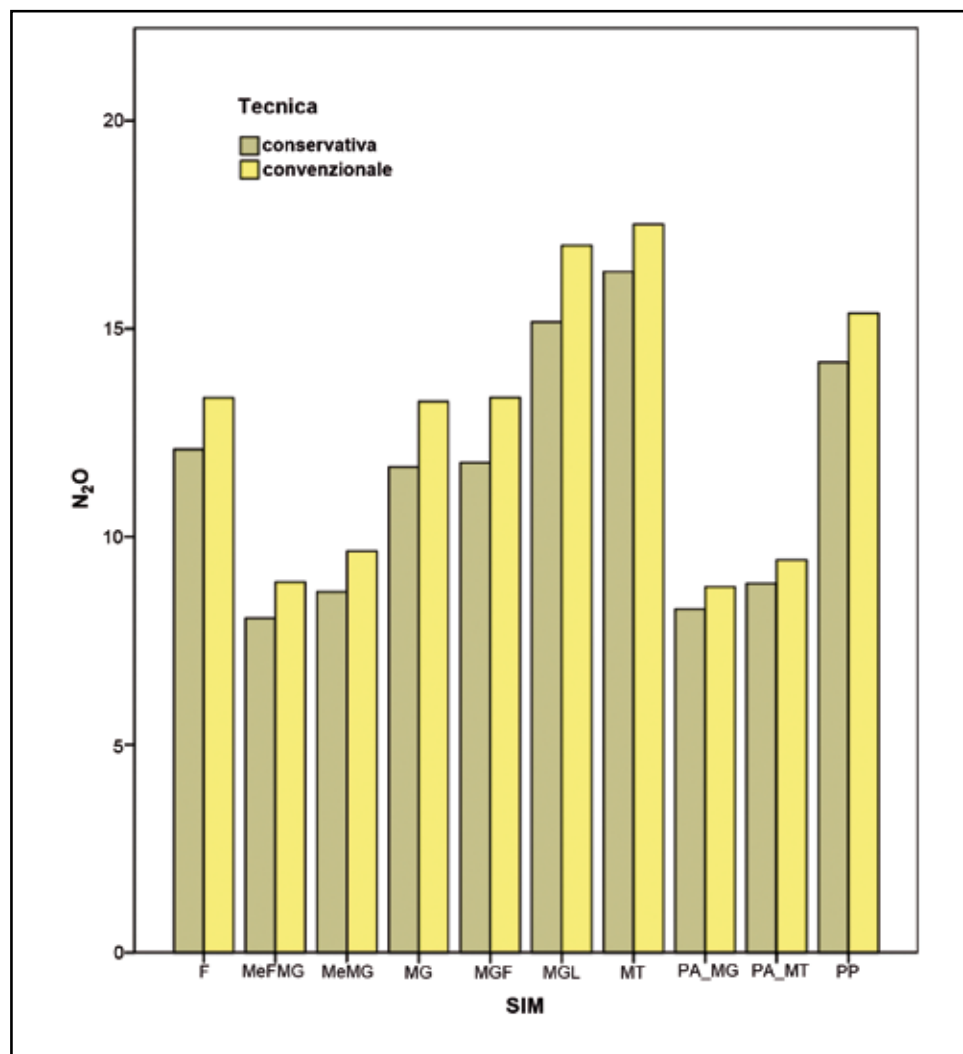


Figura 2.18 – Risultati delle simulazioni delle emissioni di protossido di azoto (kg N₂O ha⁻¹ anno⁻¹). Si assiste a una sensibile diminuzione delle emissioni passando dalla tecnica convenzionale a quella conservativa (mediamente del 10%, $p < 0.01$).

biologiche dei suoli. È stato osservato che la non lavorazione può aiutare a preservare il contenuto idrico del suolo per l'accumulo di residui in superficie grazie alla minor evaporazione dovuta a una temperatura del suolo più bassa (Kern and Johnson, 1993; Lal and Kimble, 1997; Ball *et al.*, 1999; Curtin *et al.*, 2000; Al Kaisi and Yin, 2005). Inoltre, la minor perturbazione dello strato di aggregazione naturale del suolo dovuta a questo tipo di pratiche agronomiche porta a una diminuzione della velocità dei processi di ossidazione della sostanza organica, determinando un processo di mantenimento della fertilità, in particolare negli strati più superficiali (Daraghmech *et al.*, 2009). La concomitante presenza dei residui colturali in superficie aiuta a contenere il processo di mineralizzazione, laddove un interrimento dei residui nella lavorazione convenzionale aumenta notevolmente la superficie di contatto tra suolo e residuo colturale, con conseguente incremento della cinetica dei processi ossidativi, anche in presenza di notevoli apporti di sostanza organica (Ball *et al.*, 1999).

Per quanto riguarda le emissioni di N₂O dai suoli condotti con tecniche conservative in bibliografia sono presenti risultati contraddittori. Da un lato l'aumento dell'efficienza dell'azoto che tali tecniche comportano, grazie ad una maggiore diversificazione delle colture, all'introduzione di *cover-crops* e alla riduzione della fertilizzazione azotata, può portare alla riduzione delle emissioni di N₂O (Elmi *et al.*, 2003, Eagle *et al.* 2010, Delgado *et al.* 2011). Al contrario, altri autori (Baggs *et*

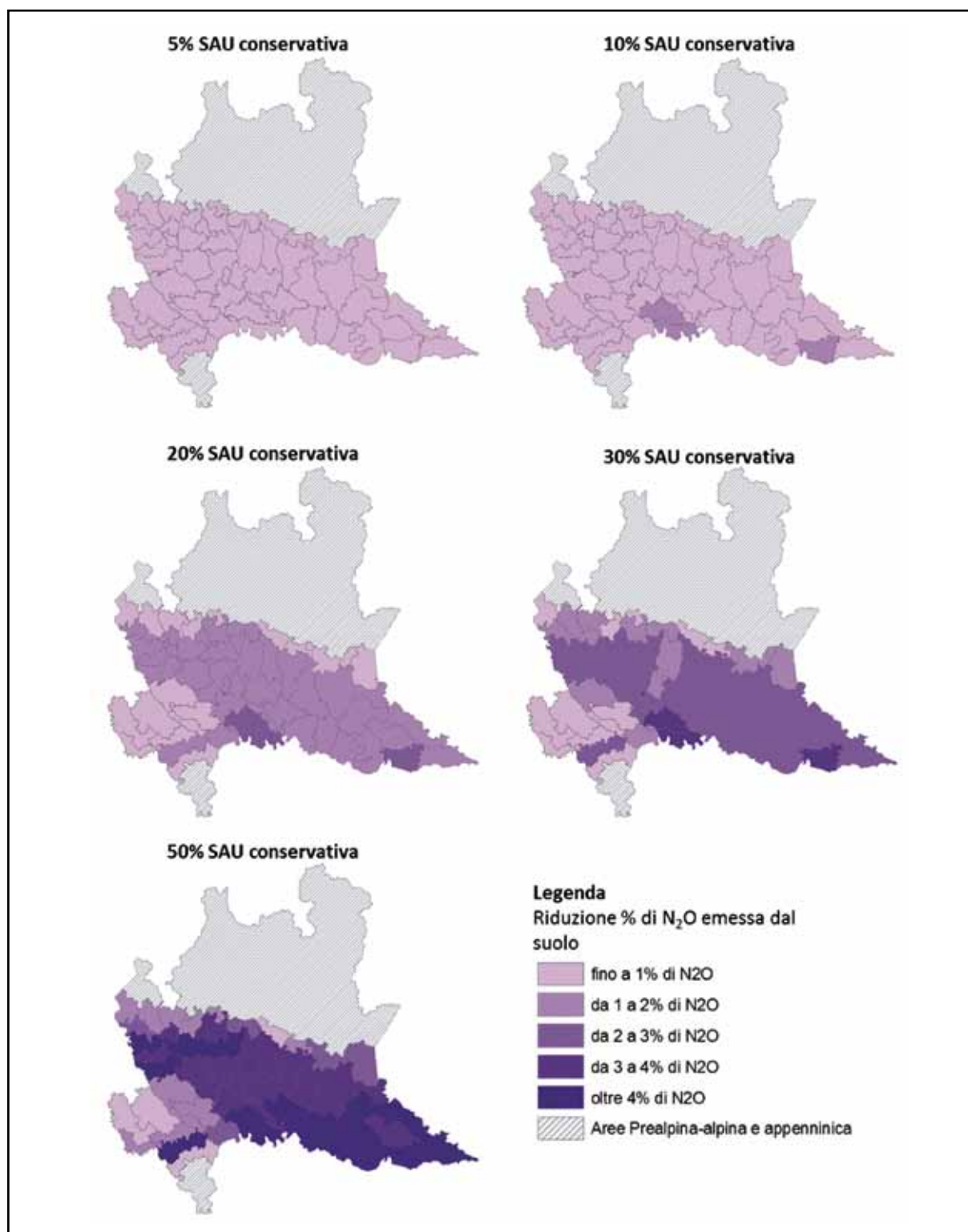


Figura 2.19 – Diminuzione percentuale dell'emissione di N₂O in funzione della percentuale di SAU coltivata secondo le tecniche conservative.

al., 2003, Guzha, 2004 e Bhatia *et al.*, 2010) riportano che l'incremento della densità apparente, che è usuale nelle tecniche conservative, determinano una riduzione della macro porosità e un aumento del contenuto idrico; ciò può ridurre la diffusione dell'ossigeno e promuovere i processi anaerobici favorendo la produzione di N₂O. Questo effetto risulta ancora più marcato nei suoli a tessitura fine (MacKenzie *et al.*, 1998). L'analisi condotta con il modello predisposto ha mostrato una riduzione costante passando dalle tecniche convenzionali alle tecniche conservative.

2.3 Contributo della misura 214 azione M del PSR della Regione Lombardia sulla quantità di carbonio stoccato nei suoli

Misura 214 azione M - Introduzione di tecniche di agricoltura conservativa

L'azione ha il principale obiettivo di aumentare il quantitativo di carbonio (C) nei suoli contrastando gli effetti secondari sfavorevoli conseguenti alla semplificazione degli ordinamenti colturali e alla gestione intensiva del suolo tramite arature profonde con inversione degli strati di suolo, lavorazioni ripetute e periodi con suolo nudo. Le conseguenze dell'utilizzo delle tecniche di agricoltura convenzionale e che l'agricoltura conservativa si pone di diminuire sono per esempio l'emissione di CO₂, gli alti consumi energetici, la riduzione della biodiversità e della fertilità dei suoli (riduzione sostanza organica, aumento dei fenomeni erosivi in particolare di trasposto solido in pianura, compattamento).

L'azione è stata introdotta per la prima volta nel programma nel 2011 a seguito dell'Health check della comunità europea, ed è stata riproposta anche per il 2012 (Regione Lombardia 2011, 2012). Le aziende partecipanti durante il primo anno sono state 159 da 107 comuni con terreni però in 232 comuni per una somma ammessa al pagamento di 2.039.522,25 euro. L'anno successivo l'azione ha avuto un successo maggiore e le aziende partecipanti sono state 435 suddivise su 417 comuni della regione Lombardia; il totale ammesso al pagamento è stato di 5.721.607,44 euro.

L'azione si applica su tutto il territorio regionale per le superfici coltivate a seminativo a seguito del rispetto delle seguenti condizioni per almeno 5 anni continuativi. Le aziende per aderire all'azione M della misura 214 devono garantire una superficie minima di 1 ha e comunque non meno del 10 % della superficie aziendale totale. Di seguito vengono sintetizzati gli interventi e le condizioni necessarie per partecipare al bando le immagini dei territori interessati e delle quantità per ora spese:

- intervento di introduzione della semina diretta su sodo: tecnica agronomica che consiste nella deposizione del seme nel terreno senza alterarne la struttura preesistente, eccetto che per una fascia ristretta di larghezza massima di 8-10 cm e profondità massima di 6-8 cm in corrispondenza di ogni fila di semina;
- intervento di minima lavorazione: tecnica agronomica che prevede di effettuare lavorazioni del terreno a profondità non superiori ai 15 cm, garantendo al contempo che una parte della superficie resti coperta da residui colturali. Si deve garantire la non inversione degli strati di terreno;
- divieto di effettuare qualunque lavorazione del terreno che inverta gli strati di suolo;
- mantenere in loco i residui colturali delle colture praticate; è importante mantenere sul terreno una quantità di residui tale da permettere la copertura del terreno quando questo non è coltivato;
- utilizzare macchinari conformi all'agricoltura conservativa o che seguano le regole imposte dalla Regione Lombardia per accedere al finanziamento;
- impegno aggiuntivo facoltativo coltura di copertura: vengono stanziati fondi in più a chi applica anche "cover crop" per almeno 2 volte ogni 5 anni;
- impegno aggiuntivo facoltativo "iniezione diretta di effluenti di allevamento non palabili": vengono stanziati fondi in più a chi applica gli effluenti con macchine idonee all'interramento immediato (iniezione) degli effluenti.

Entità dell'indennizzo annuale:

Intervento 1: Agricoltura BLU

- Semina su sodo (SD) = 208,00 euro/ha
 - Semina su sodo + *cover crop* = 290,00 euro/ha
 - Semina su sodo + iniezione diretta effluenti non palabili = 278,00 euro/ha
 - Semina su sodo + *cover crop* + iniezione diretta effluenti non palabili = 360,00 euro/ha
- Intervento 2: Minima lavorazione (ML)
- Lavorazione minima = 190,00 euro/ha
 - Lavorazione minima + *cover crop* = 272,00 euro/ha
 - Lavorazione minima + iniezione diretta effluenti non palabili/interramento effluenti = 260,00 euro/ha
 - Lavorazione minima + *cover crop* + iniezione diretta effluenti non palabili = 342,00 euro/ha

In *figura 2.20* vengono riportate le analisi effettuate sulle domande di pagamento e sui comuni interessati dalla misura 214 azione M. I comuni interessati dalla

misura sono stati per il 2011 pochi (232), ma distribuiti in modo eterogeneo tra le province con comuni prevalentemente di pianura. Le province maggiormente interessate dal finanziamento sono Milano, Lodi, Cremona e Pavia. La misura nel secondo anno di finanziamento, il 2012, dimostra di essere stata maggiormente apprezzata dagli agricoltori. Sono aumentate le aziende (435) che hanno fatto domanda con accesso al finanziamento e sono aumentati anche i terreni e le superfici e di conseguenza il numero di comuni interessati (417).

La superficie interessata dal finanziamento nel 2012 ha riguardato 24.550 ha, aumentati più del doppio dall'anno precedente (ca 8.306 ha). Di seguito viene riportata la mappa dei comuni (*figura 2.21*) in cui vengono versati i maggiori contributi per l'utilizzo delle pratiche di agricoltura conservativa.

Rispetto alla simulazione effettuata attraverso il modello ARMOSA (riferita ai dati del 2011) si può notare nel 2012 un interessamento di alcuni comuni o superfici non prevalentemente di pianura come alcuni comuni in provincia di Sondrio o di Pavia e Varese. Il dato legato al comune e provincia di Milano non stupisce poiché nel Parco Agricolo Sud Milano sussiste il regola-

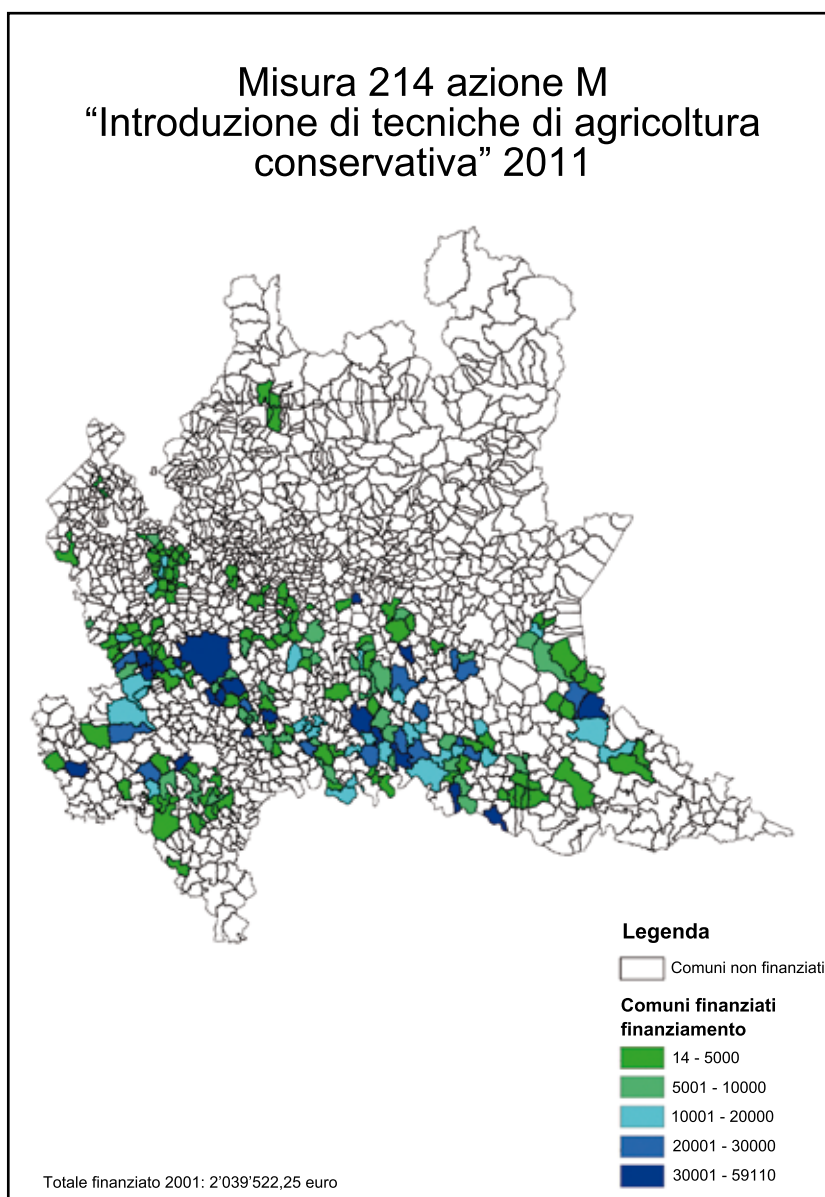


Figura 2.20 - Misura 214 azione M anno 2011 – Comuni interessati da agricoltura conservativa.

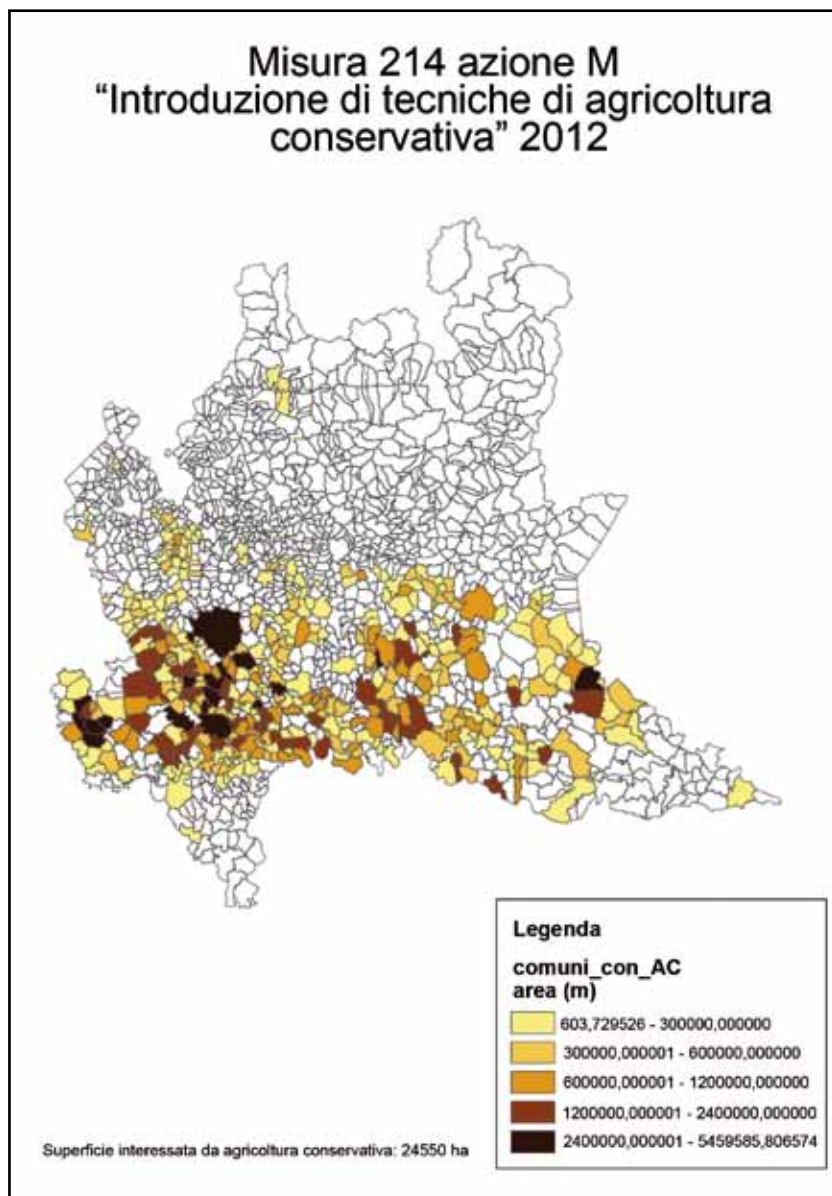


Figura 2.21 – Comuni con uso di tecniche di agricoltura conservativa nel 2012. In marrone più scuro i Comuni che percepiscono più finanziamenti e che hanno superfici più interessate da tecniche conservative.

mento che prevede per le aree agricole la “diffusione di tecniche agronomiche a minor impatto ambientale [...] anche attraverso corsi di formazione rivolti agli agricoltori” (art 15 del Piano di Settore Agricolo che deriva dal Piano Territoriale di Coordinamento del Parco Agricolo Sud Milano D.G.R. n° 7/818 del 3 Agosto 2000).

Nel capitolo successivo viene riportata la suddivisione dei finanziamenti erogati grazie alla programmazione del PSR nelle diverse azioni della misura 214. Le azioni maggiormente finanziate da parte della misura 214 fino al 2011 sono state l’azione A (Fertilizzazione bilanciata e Avvicendamento), B (Produzioni agricole integrate) e C (Produzioni vegetali estensive) e di conseguenza la misura M ha avuto a disposizione una quota contenuta del contributo stanziato.

Se i livelli di finanziamenti dell’intero PSR nella prossima programmazione (2014-

2020) dovessero rimanere simili a quelli della presente, come sembrano suggerire i comunicati della Commissione europea, si può pensare di ottenere una superficie interessata da tecniche di agricoltura conservativa pari al 5% o al massimo il 10% della SAU delle regioni interessate.

Come descritto nel precedente capitolo non è ancora certo che cosa ci si possa aspettare dalla nuova politica europea e tantomeno quali possano essere i livelli di contributi accessibili dagli agricoltori. Di sicuro la tendenza porta a supporre verso un ampliamento di contributi verso le politiche legate all’ambiente e alla visione di un’agricoltura che si occupi in maniera multifunzionale del territorio. Pertanto i livelli di contributo verso una misura come la 214 potrebbero rimanere inalterati. In base anche a questo si è provveduto a valutare l’accumulo di carbonio con i contributi distribuiti nell’anno 2012 sui terreni investiti. Utilizzando il modello ARMOSA si è calcolato per ogni regione agraria i quantitativi di carbonio stoccati mantenendo costanti i finanziamenti e le superfici interessate dal finanziamento nel 2012.

Reg. agraria	Cluster predominante	CO iniziale (t)	SAU (ha)	CO iniziale (t/ha)	% di SAU interessato dalla misura M nel 2012	Delta TRAD vs CONS output ARMOSA	C (t) stoccato (20 anni di tecniche conservative)
12-02	6	98.054,518	1.245	78,74	0,36%	0,00%	3,60
12-03	6	83.324	1.058	78,74	0,0%	0,00%	0,52
12-04	6	138.277	1.758	78,66	0,0%	0,00%	0,00
12-05	6	108.517	1.374	78,96	3,5%	0,42%	455,46
12-06	6	200.815	2.541	79,03	2,7%	0,28%	571,75
13-01	6	406.350,99	5.177	78,50	0,01%	0,18%	722,62
13-09	6	198.734	2.532	78,50	5,7%	0,47%	931,67
13-10	6	143.082	1.840	77,78	0,2%	0,01%	16,36
13-13	6	216.890	2.794	77,62	9,1%	0,77%	1.664,02
14-05	6	410.235,57	5.285	77,62	0,01%	0,18%	729,53
14-06	6	726.322,93	9.358	77,62	0,04%	0,18%	1.291,64
15-01	6	122.990	1.587	77,48	1,3%	0,17%	206,82
15-02	6	259.920	3.284	79,14	2,9%	0,26%	676,22
15-03	6	201.115	2.591	77,62	2,5%	0,29%	586,05
15-04	6	450.429	5.757	78,24	2,3%	0,24%	1.068,21
15-05	3	461.048	7.444	61,94	6,9%	0,75%	3.478,93
15-06	3	250.927	4.268	58,79	13,0%	0,95%	2.384,59
15-07	3	1.014.380	16.786	60,43	6,0%	0,56%	5.648,03
15-08	3	1.231.057	20.924	58,84	14,1%	0,80%	9.900,57
15-09	4	41.737	645	64,68	2,6%	0,22%	93,48
16-06	6	129.323	1.639	78,88	0,0%	0,00%	0,00
16-07	6	160.855	1.995	80,61	0,0%	0,00%	0,00
16-08	6	165.325	2.178	75,92	0,0%	0,00%	0,00
16-09	3	969.130	16.415	59,04	0,7%	0,06%	567,60
16-10	3	765.541	12.297	62,25	1,6%	0,16%	1.188,71
17-10	1	430.461	5.792	74,32	2,2%	0,14%	582,32
17-11	1	806.549	11.121	72,52	1,0%	0,05%	404,63
17-12	3	1.384.142	22.063	62,74	3,3%	0,35%	4.828,81
17-13	4	1.866.536	26.215	71,20	2,5%	0,38%	7.142,18
17-14	1	2.692.925	35.315	76,26	1,4%	0,13%	3.388,53
18-02	1	949.705	13.568	70,00	0,3%	0,00%	12,25
18-04	1	2.107.495	29.773	70,79	7,4%	0,08%	1.770,35
18-05	2	1.781.732	28.231	63,11	3,9%	0,06%	1.046,09
18-06	2	283.459	4.454	63,64	12,6%	0,41%	1.173,16
18-07	3	1.058.832	18.276	57,93	16,1%	0,54%	5.704,82
18-08	1	776.398	10.733	72,34	8,3%	0,30%	2.363,91
18-09	1	662.802	9.172	72,26	0,6%	0,02%	137,79
18-10	1	1.120.894	15.337	73,08	2,1%	0,24%	2.699,25
18-11	4	677.864	10.036	67,54	9,3%	0,97%	6.565,73
19-01	3	489.215	8.191	59,73	1,7%	0,19%	950,25
19-02	4	1.467.548	20.931	70,11	3,3%	0,55%	8.067,38
19-03	4	536.898	7.658	70,10	2,1%	0,32%	1.691,29
19-04	4	1.387.355	18.987	73,07	6,0%	1,09%	15.085,34
19-05	4	1.425.413	19.985	71,32	4,3%	0,67%	9.592,69
19-06	4	1.340.323	18.573	72,17	1,7%	0,29%	3.912,54
19-07	1	1.423.385	18.779	75,80	2,5%	0,23%	3.224,42
20-01	4	698.182	10.079	69,27	4,3%	0,58%	4.053,24
20-02	1	1.952.352	25.408	76,84	0,8%	0,09%	1.662,12
20-03	4	1.418.170	20.272	69,96	0,7%	0,10%	1.378,70
20-04	1	1.430.076	18.873	75,77	1,0%	0,09%	1.276,79
20-05	4	1.290.810	18.467	69,90	0,0%	0,00%	0,00
20-06	1	1.168.950	15.786	74,05	0,0%	0,00%	0,00
20-07	1	1.351.872	18.266	74,01	0,0%	0,00%	43,67
20-09	4	216.471	3.420	63,29	3,2%	0,14%	298,87
97-04	6	28.352	353	80,27	0,0%	0,00%	0,00
97-05	6	294.598	3.783	77,87	0,0%	0,01%	15,82
98-01	3	1.059.516	7.109	61,93	5,9%	0,61%	6.486,67
98-02	4	1.196.428	16.354	73,16	4,5%	0,94%	11.212,56
98-03	4	734.093	9.888	74,24	5,5%	1,09%	7.998,59
						TOTALE (t)	146.957,16

Tabella 2.14 – Superfici di ciascuna regione agraria interessate da agricoltura conservativa e carbonio stoccato nei suoli qualora si mantenesse la stessa gestione per 20 anni.

Dalla *tabella 2.14*, che riporta tutte le regioni agrarie interessate dal finanziamento, si può estrapolare la quantità di carbonio stoccato se per 20 anni si mantengono le stesse condizioni di tecniche conservative sugli stessi suoli come quelle applicate nel 2012.

In definitiva dallo stanziamento dei finanziamenti del PSR e dalla somma erogata nel 2012 per l'azione M della misura 214 è pensabile credere in un investimento del 5% o poco più del territorio della regione Lombardia con tecniche di agricoltura conservativa.

L'investimento potrebbe far rientrare nel computo del C stoccato nei suoli (quindi la quantità di CO₂ equivalenti non emesse) la quantità realmente misurata legata a tecniche conservative e quindi con la possibilità di essere inserita nei calcoli LULUCF (*Land Use, Land-Use Change and Forestry*).

Lo Stato italiano, a partire dal 2008, utilizza i crediti di carbonio generati solamente dal settore forestale per il raggiungimento degli obiettivi del Protocollo di Kyoto. In assenza di strumenti di conteggio e remunerazione sono stati creati meccanismi di mercato volontario, caratterizzati dalla vendita dei titoli di carbonio, provenienti da pratiche agro-forestali, a soggetti esterni che li utilizzano o per compensazione delle loro emissioni o per volontà di contribuire alla riduzione delle emissioni complessive attraverso azioni di sostegno alle attività di carbon sequestration. Esperienze simili sono nate in l'Australia (con la Carbon Farming Initiative) e in Canada (con la Alberta Carbon Offset System) e sono descritte nelle esperienze internazionali (*Capitolo 4*).

Nel bilancio regionale e nazionale si potrebbe quindi inserire anche la quotaparte di CO₂ equivalenti stoccati nei suoli con conversione di tecniche da convenzionali a conservative.

In realtà, come descritto in precedenza, la misura 214 azione M garantisce un finanziamento di 5 anni verso gli agricoltori che convertono le proprie tecniche di coltivazione da convenzionali a conservative. Il finanziamento ha lo scopo di ridurre i costi di conversione, che le aziende devono sostenere, legati al cambio dei macchinari, alla formazione dell'agricoltore e alle possibili minori produzioni che si possono registrare nei primi anni.

Dopo il quinto anno lo stock acquisito, se verificato da un ente certificatore, potrebbe rientrare nei crediti di emissione provenienti da progetti volontari che sono conosciuti come *Voluntary Emissions Reductions* (VERs) o più semplicemente *Emission Reduction*. In caso di verifica, il credito volontario assume la denominazione di *Verified Emission Reduction* (VER).

CAPITOLO 3

**Stock di carbonio, fertilità biologica e biodiversità
in suoli coltivati con tecniche di
agricoltura conservativa e tradizionale**

3.1 Stock di carbonio organico e fertilità biologica

La capacità di incorporazione del carbonio nei suoli coltivati varia a seconda della modalità di gestione con cui l'attività agricola viene praticata.

Essa in particolare varia in relazione al tipo di suolo, al tipo di lavorazioni meccaniche eseguite, al tipo di suolo e all'intensità con cui sono applicate, in termini di profondità e frequenza d'intervento.

I sistemi conservativi, caratterizzati da una bassa intensità di lavorazione abbinata a colture di copertura e diversificazione delle rotazioni, vogliono enfatizzare i processi naturali d'incorporazione dei residui vegetali e di organizzazione strutturale del suolo, che permettono lo sviluppo di uno strato superficiale competitivo con il tradizionale orizzonte arato, sotto il profilo delle funzioni ecosistemiche svolte, del sequestro di carbonio organico, della fertilità biologica e della riduzione dei consumi energetici e dei combustibili fossili utilizzati nelle lavorazioni.

3.1.1 Obiettivi

Lo scopo del lavoro è stato quello di verificare il grado di incorporamento di carbonio organico nello strato superficiale di suolo (topsoil) dovuto all'adozione di tecniche di gestione conservativa (semina su sodo e minima lavorazione) rispetto a modalità tradizionali (aratura) di lavorazione dei terreni.

La ricerca ha preso in esame due obiettivi (tabella 3.1):

A. confrontare gestioni differenti (tradizionale e conservativo) di lungo corso (almeno 10 anni) nelle aree di studio: Oltrepo Pavese e Lodigiano;

B. valutare l'evoluzione del contenuto di carbonio di un terreno dopo la conversione da tecniche di agricoltura tradizionale a tecniche di agricoltura conservativa nell'area di studio: azienda agricola Carpaneta.

Obiettivi	Area di studio	Descrizione dell'indagine	Parametri
A	Oltrepo Pavese Lodigiano	Confronto di gestioni agronomiche differenti	Stock CO, IBF
B	Azienda agricola Carpaneta	Confronto ante e post conversione da tecniche tradizionali a tecniche conservative	Stock CO, proprietà del suolo

Tabella 3.1 – Obiettivi dell'indagine.

3.1.2 Aree di studio

In figura 3.1 sono rappresentate le tre aree di studio del progetto AgriCO2ltura contraddistinte da caratteristiche pedo-paesaggistiche ed orientamenti culturali differenti.

La prima area di studio, l'Oltrepo Pavese, è caratterizzata da un'attività agricola a prevalente orientamento cerealicolo-foraggero, i cui campi sono costituiti generalmente da suoli argillosi, argilloso limosi e limoso fini riconducibili tassonomicamente a Vertisols e a Vertic Cambisols calcarei (WRB, 2006).

Le aziende agricole oggetto della sperimentazione sono ubicate nella piana alluvionale olocenica posta a sud del Po; tale piana è connessa in prevalenza alle dinamiche deposizionali dei corsi d'acqua di provenienza appenninica.

La seconda area di studio, il Lodigiano, è contraddistinta da una attività cerealicola foraggera a orientamento zootecnico condotta su suoli franco sabbiosi, subacidi, ben drenati, tassonomicamente riconducibili a Luvisols (WRB, 2006).

Le aziende agricole oggetto della sperimentazione sono ubicate nel tratto più meridionale della piana würmiana, nell'ambito della porzione distale del Livello Fondamentale della Pianura, caratterizzata da sedimenti prevalentemente sabbiosi e da un reticolo idrografico permanente

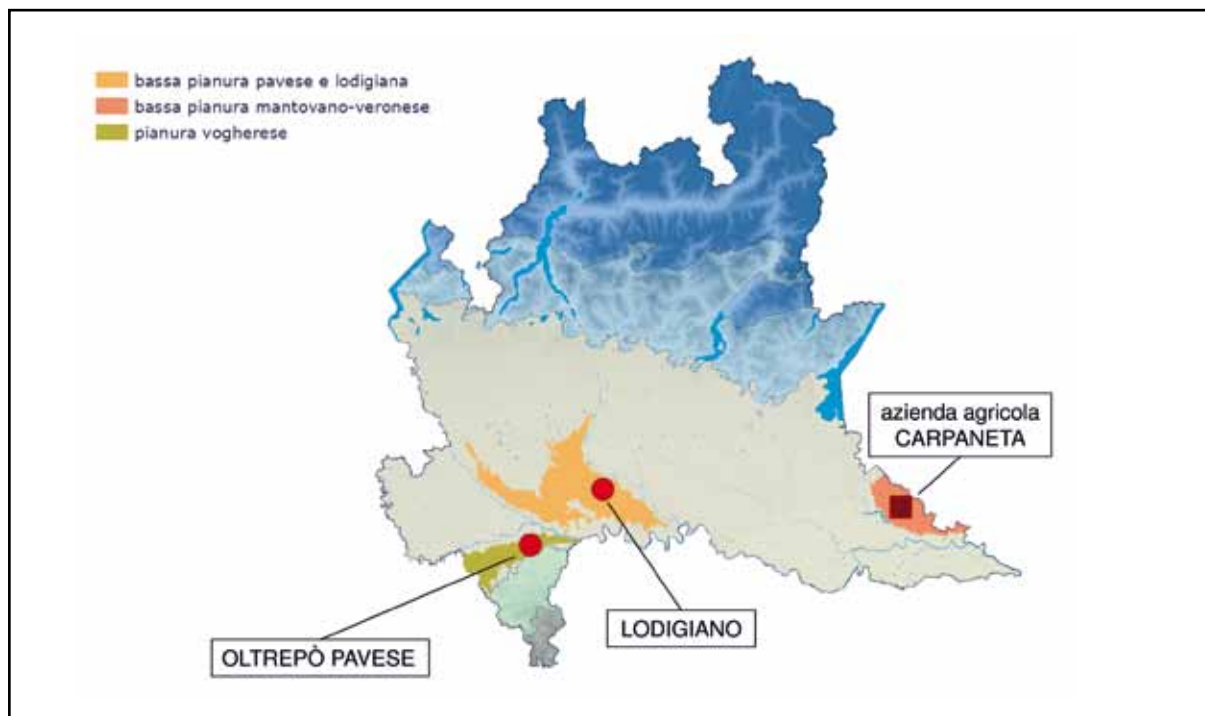


Figura 3.1 – Ubicazione delle aree di studio per il progetto AgriCO₂ltura.

di tipo meandriforme in un paesaggio costituito da superfici stabili, a morfologia pianeggiante o leggermente ondulata.

Carpaneta (comune di Bigarello, provincia di Mantova) è una azienda agricola gestita da ERSAF a orientamento cerealicolo foraggero zootecnico ubicata nella porzione centrale del livello fondamentale della pianura, le cui terre evidenziano tessitura franco limosa, elevati contenuti di calcare e bassi tenori di sostanza organica iniziali oltre a intensi fenomeni di idromorfia, riconducibili alla presenza di una falda sottosuperficiale. I suoli sono riconducibili tassonomicamente a Calcisols (WRB, 2006).

In *figura 3.2* vengono riportati i dati termo-pluviometrici dell'anno 2011 (diagrammi di Bagnouls-Gaussen) relativi alle stazioni meteo di riferimento per le tre aree di studio, in ognuna delle quali si verificano due periodi di scarsità di precipitazioni compresi tra la prima decade di aprile e la fine di maggio (il primo) e tra l'ultima decade di luglio e la prima di ottobre (il secondo). A fine capitolo è riportata l'ubicazione dei siti di monitoraggio sedi delle attività progettuali qui presentate.

3.1.3 Materiali e metodi

Per ogni obiettivo si è proceduto al prelievo di campioni di suolo seguendo standard di campionamento coerenti con le norme ISO/FDIS 10381-1:2002 e 10381-1 e ISO/FDIS 10381-4:2003 e in modo conforme alle linee guida IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2003) come di seguito descritto.

Schema di campionamento – Oltrepo Pavese e Lodigiano

In Oltrepo Pavese sono stati individuati sei siti di monitoraggio, coincidenti con altrettanti appezzamenti agricoli, di cui quattro a gestione conservativa e due a gestione tradizionale.

Nel Lodigiano sono stati individuati sei siti di monitoraggio, di cui tre a gestione conservativa e tre a gestione tradizionale.

Ogni sito di monitoraggio ha un'estensione di circa cinque ha; in *tabella 3.2* sono riportate le colture principali negli anni 2009-2010 e 2011 nei siti oggetto di indagine.

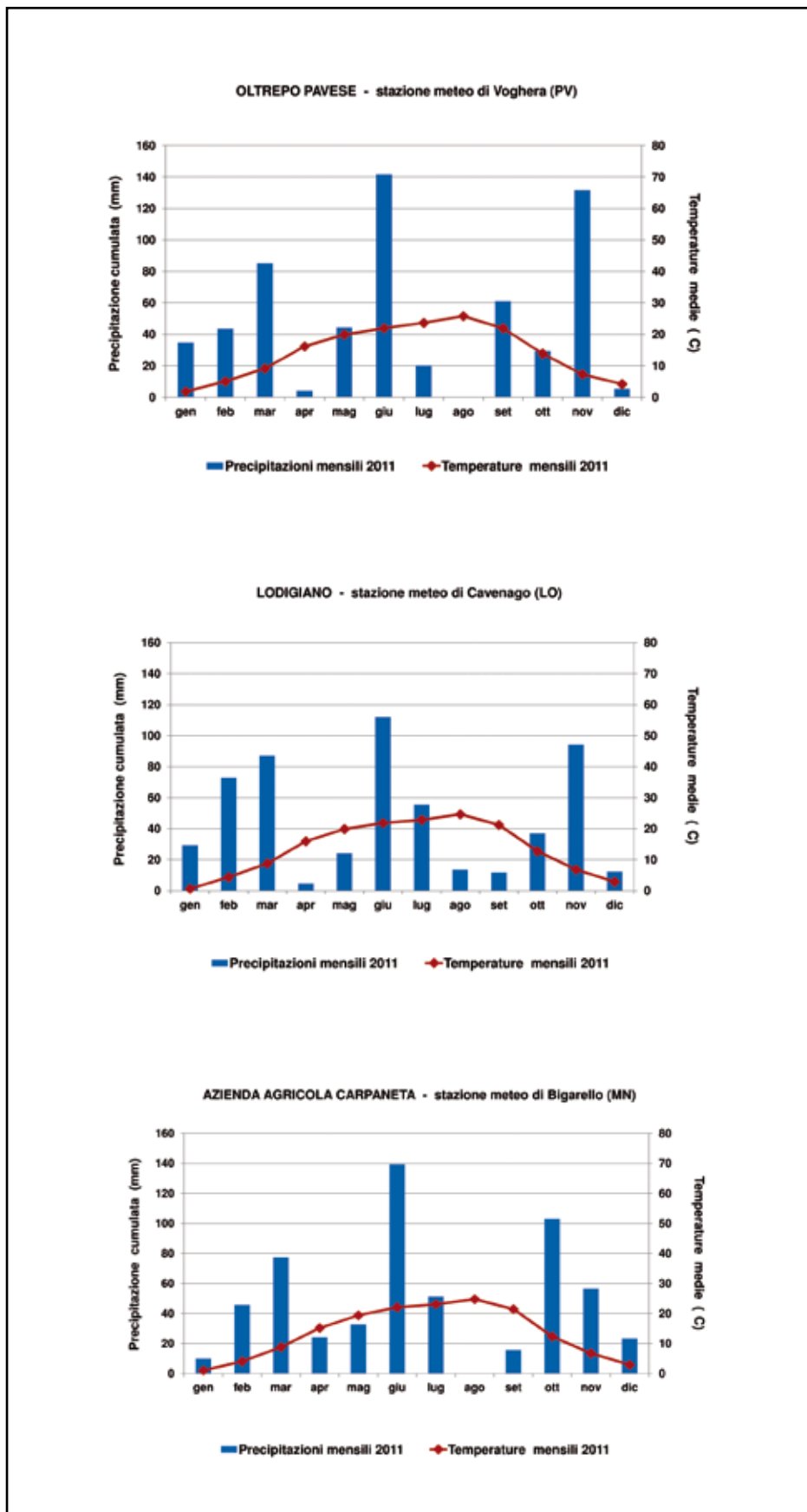


Figura 3.2 – Dati termo-pluviometrici delle aree di studio.

Area di studio	Gestione del suolo	Sito di monitoraggio	Data campionamento	Coltura principale		
				2009	2010	2011
OLTREPO PAVESE	tradizionale	OLP_T-1	9-lug-10	patata	frumento	cipolla
		OLP_T-2	8-lug-10	mais	frumento	mais
	conservativa	OLP_C-1	14-ott-10	frumento	soia	mais
		OLP_C-2	15-set-10	soia	frumento	mais
		OLP_C-3	12-ott-10	frumento	mais	frumento
		OLP_C-4	22-set-10	frumento	mais	frumento
LODIGIANO	tradizionale	LOD_T-1	22-set-11	mais	mais	mais
		LOD_T-2	16-set-11	mais	mais	mais
		LOD_T-4	22-set-11	mais	mais	mais
	conservativa	LOD_C-1	26-set-11	mais	frumento	mais
		LOD_C-3	27-set-11	mais	mais	mais
		LOD_C-4	29-feb-12	mais	mais	frumento

Tabella 3.2 – Siti di monitoraggio in Oltrepo Pavese e Lodigiano.

La metodologia di campionamento utilizzata è consistita in un adattamento del metodo Area-Frame Randomized Soil Sampling (AFRSS). Tale metodo definisce una modalità pratica di campionamento dei suoli, abbinando la raccolta di campioni composti con tecniche randomizzate di posizionamento geografico dei punti di prelievo (Stolbovoy *et al.*, 2006).

All'interno di un ogni sito di monitoraggio sono state identificate tre aree di campionamento coincidenti con tre celle di una griglia a maglia regolare di passo pari a 20 metri; esse sono state disposte in modo tale che i loro centri fossero posizionati sui vertici di un triangolo rettangolo aventi cateti di lunghezza pari a 80 e 40 metri (*figura 3.3*). Tale configurazione di campionamento (chiamata "configurazione a L") è stata precedentemente testata nel progetto SOILQUALIMON (Brenna *et al.*, 2010).

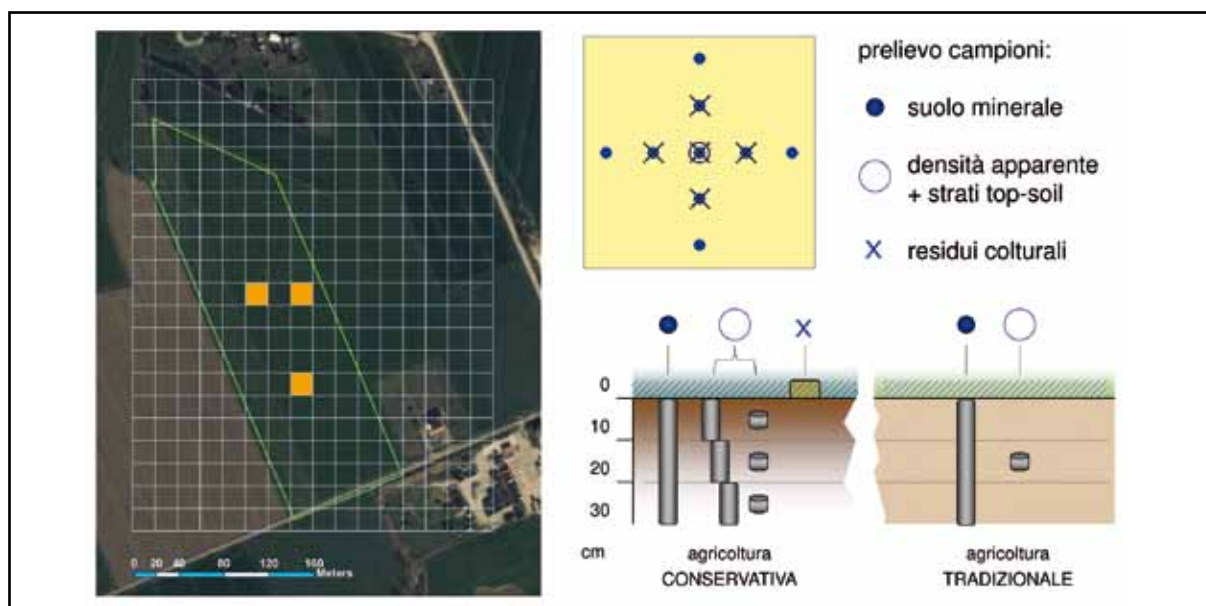


Figura 3.3 – Schema di campionamento in Oltrepo Pavese e Lodigiano.

Le aree di campionamento sono state selezionate in modo da non risultare adiacenti ai bordi dell'appezzamento e non ricadere in zone che presentassero evidenti anomalie. Ogni area di campionamento è stata geograficamente localizzata con l'ausilio di sistemi di rilevamento GPS ad alta precisione, identificando sul campo il punto corrispondente al suo centro.

In ogni area di campionamento sono stati previsti 9 punti di prelievo disposti secondo lo schema a croce. I punti di prelievo sono stati distanziati tra loro di 4 metri lungo due assi perpendicolari, uno dei quali allineato lungo la direzione di semina.

In ogni area di campionamento sono stati prelevati i seguenti campioni:

- campioni di suolo minerale nello strato superficiale (top-soil): il prelievo di suolo ha riguardato lo strato 0-30 cm ed è stato effettuato in tutti i 9 punti di prelievo prestabiliti; i sub-campioni ottenuti sono stati miscelati e omogeneizzati in un unico campione composto sul quale sono state poi eseguite le analisi di laboratorio;
- campioni di suolo minerale degli strati 0-10, 10-20 e 20-30 cm (top-soil): il prelievo è stato eseguito solo nei siti a gestione conservativa in un unico punto localizzato nel centro dell'area di campionamento;
- campioni di residui colturali: nei siti a gestione conservativa sono stati raccolti i residui vegetali presenti sul suolo campionando un'area nota pari a 0,63 m² in cinque punti di ogni area di campionamento;
- campioni per la determinazione della densità apparente: il prelievo è stato effettuato in corrispondenza del centro dell'area di campionamento, in particolare:
 - nei terreni gestiti in modo tradizionale è stato prelevato un unico campione indisturbato alla profondità di 10-20 cm;
 - nei terreni gestiti con tecniche conservative sono stati prelevati tre campioni indisturbati in successione verticale alle profondità di 0-10, 10-20, 20-30 cm.

In ogni area è stato poi eseguito un secondo campionamento, ripetendo la stessa procedura in punti situati a 5 metri di distanza dai punti del primo prelievo. Lo scopo, in accordo con quanto previsto dalla metodologia adottata (Stolbovoy *et al.*, 2007), è quello di stimare la "riproducibilità" del campionamento, ossia l'errore medio dovuto alla inerente variabilità delle caratteristiche del suolo a breve distanza, che il primo campionamento non è in grado di rilevare. La riproducibilità stimata può essere così associata ad un campionamento eseguito a distanza di tempo nello stesso sito di monitoraggio, in modo da rappresentare l'errore dovuto ad una intrinseca imprecisione di posizionamento. Tale variazione è sito-specifica anche se tende ad assumere valori comuni in ambienti affini, simili combinazioni suolo-vegetazione, analoghe pratiche di gestione dei terreni. In pratica la riproducibilità corrisponde al cambiamento minimo rilevabile di una determinata proprietà del suolo monitorata in una certa condizione pedoclimatica e colturale; questo al fine di verificare in una campagna di monitoraggio successiva se la variazione nel tempo di un parametro monitorato evidenzia realmente un dato di crescita o riduzione e non casuale.

Le operazioni di campionamento in un sito di monitoraggio sono state realizzate nella stessa giornata a fine ciclo colturale, prima delle lavorazioni e delle concimazioni relative alla coltura successiva.

Schema di campionamento – azienda agricola Carpaneta

A partire dall'anno 2010 parte delle superfici dell'azienda Carpaneta (circa 8,6 ha) è stata convertita, dal punto di vista della gestione agronomica, da tecniche di lavorazione tradizionale, basate su aratura e successive erpicature, a quelle di agricoltura conservativa.

Gli effetti di tale conversione sono stati quindi seguiti sia sotto il profilo agronomico (Colombari *et al.*, 2012), sia valutando l'evoluzione della sostanza organica e della fertilità del suolo.

A tale scopo è stata condotta un'attività di monitoraggio in due distinti periodi:

- ottobre 2009, al termine della gestione condotta con metodi tradizionali, in modo da ottenere una conoscenza del contenuto di carbonio organico prima dell'inizio della nuova gestione agronomica;
- ottobre 2012, dopo 3 anni di applicazione delle tecniche conservative.

Nel caso specifico il monitoraggio è stato eseguito in 6 siti, situati all'interno dell'area di avvicendamento di tre colture (mais, soia e frumento) e gestiti tre a semina su sodo e tre a minima lavorazione (tabella 3.3).

Sito di monitoraggio	Gestione conservativa	Coltura in atto			Area (ha)
		2010	2011	2012	
CRP_C2_sd	semina su sodo*	frumento	mais	soia	1,6
CRP_C2_ml	minima lavorazione	frumento	mais	soia	1,3
CRP_C3_sd	semina su sodo	mais	frumento	mais	1,6
CRP_C3_ml	minima lavorazione	mais	frumento	mais	1,2
CRP_C4_sd	semina su sodo	mais	soia	frumento	1,4
CRP_C4_ml	minima lavorazione	mais	soia	frumento	1,5

Tabella 3.3 – Siti di monitoraggio nell'azienda agricola ERSAF Carpaneta.

(* = gestito a minima lavorazione anziché a semina su sodo nel primo anno di sperimentazione)

Lo schema di campionamento adottato in questo caso è descritto nella figura 3.4.

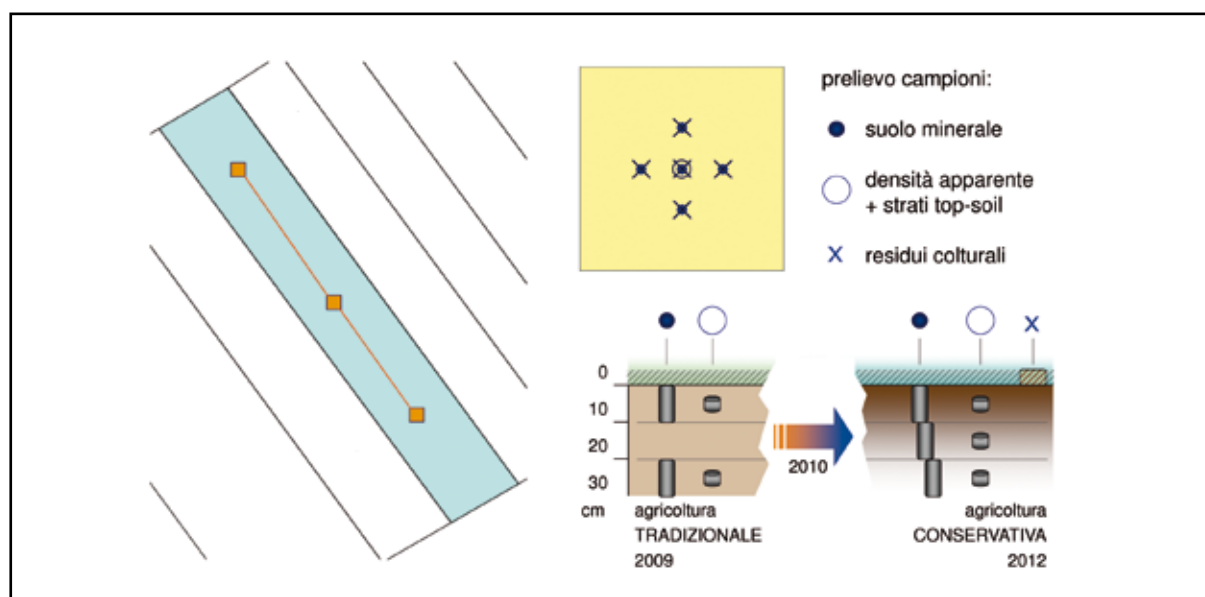


Figura 3.4 – Schema di campionamento nell'azienda agricola ERSAF Carpaneta.

Il campionamento è stato ripetuto all'interno di ogni sito in tre aree di 20x20 m ciascuna, aventi 5 punti di prelievo distanziati di 4 metri, ed ha riguardato i tre strati superficiali di terreno (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm) sia per i campioni di suolo minerale che per i campioni per la determinazione della densità apparente. I campioni di suolo minerale provenienti dalle aree di campionamento sono stati poi accuratamente miscelati in modo da ottenere un solo campione composto per ogni singolo strato. La raccolta dei residui vegetali è stata compiuta nel secondo monitoraggio solamente sui siti gestiti con la tecnica della semina su sodo.

Materiali

I campioni di suolo sono stati prelevati con idonee attrezzature e strumentazioni.

Per il campionamento di suolo minerale è stata utilizzata una sgorbia Eijkelkamp (codice 04.02.01.30.C) di 50 cm di lunghezza operativa e 30 mm di diametro. I campioni per la determinazione della densità apparente sono stati prelevati con anelli campionatori di 100 cm³ di volume e diametro 60 mm impiegando strumentazione Eijkelkamp (codice 07.60.SC).

Analisi di laboratorio

I campioni di suolo minerale sono stati sottoposti a trattamenti di essiccazione, frantumazione, setacciatura a 2 mm e omogeneizzazione.

In *tabella 3.4* vengono rappresentati i parametri chimico-fisico-biologici determinati nel corso delle successive analisi di laboratorio.

Gli standard di riferimento per le analisi di laboratorio sono quelli previsti dai metodi ufficiali della legislazione italiana (DM, 1997, 1999, 2002, 2004), come riportato in bibliografia.

Tessitura (6 frazioni) pH (H ₂ O,KCl) Complesso di scambio per terreni con pH>6.5 in KCl con ammonio acetato, mentre per terreni con pH<6.5 con bario cloruro Calccare totale-attivo
Carbonio organico [metodiche di analisi: Analizzatore elementare(metodo Dumas) - Walkley-Black - Springer-Klee]
Carbonio organico nell'estratto e nelle sue frazioni [metodo Springer-Klee] TEC (carbonio estraibile) + CH (carbonio umificato composto da acidi fulvici e umici) + relativi quozienti di calcolo
Azoto totale
Fosforo assimilabile (metodo Olsen)
Fertilità biologica (carbonio della biomassa microbica, respirazione basale e cumulativa, quoziente metabolico, quoziente di mineralizzazione)
Conducibilità elettrica
Densità apparente

Tabella 3.4 – *Analisi di laboratorio.*

3.1.4 Determinazione degli indicatori di qualità del suolo

Stock di carbonio organico

Lo stock di carbonio organico per un dato volume di suolo a una determinata profondità è stato calcolato in base alla seguente equazione (Batjes, 1996):

$$\text{Eq. 3.1} \quad \text{stockCO}_1 = CO_1 \cdot da_1 \cdot s_1 \cdot (1-rm_1) \cdot \frac{1}{10}$$

dove stockCO è espresso in t/ha, i rappresenta lo strato di suolo campionato, CO è il contenuto in carbonio organico (g di carbonio/kg di terra fine), da è la densità apparente (g/cm³), s è lo spessore dello strato di suolo (cm), rm rappresenta la frazione del volume di frammenti rocciosi (diametro > 2 mm) contenuta nello strato.

La densità apparente del suolo è a sua volta data da:

$$\text{Eq. 3.2} \quad da = \frac{M}{V}$$

dove da è espresso in g/cm³, M rappresenta la massa (g) del campione raccolto allo scopo dopo averlo fatto essiccare a 105°C per almeno 48 ore, V è il volume (cm³) dell'anello campionario. A partire dall'*equazione 3.1* e in presenza di un set di campioni riferiti ad una data profondità è stato possibile distribuire la varianza dello stock di carbonio organico risultante nelle varianze

dei singoli fattori e nelle covarianze tra i fattori medesimi utilizzando la seguente equazione (Schrumpf *et al.*, 2011):

$$\text{Eq. 3.3} \quad \text{var}(\text{stockCO}) = (\text{stockCO})^2 \cdot \left(\frac{(\sigma_{\text{co}})^2}{\text{CO}^2} + \frac{(\sigma_{\text{da}})^2}{\text{da}^2} + 2 \cdot \frac{(\sigma_{\text{co-da}})^2}{\text{CO} \cdot \text{da}} \right)$$

dove σ_{CO} e σ_{da} indicano la deviazione standard rispettivamente del carbonio organico e della densità apparente, mentre $\sigma_{\text{CO-da}}$ rappresenta la covarianza tra i corrispondenti parametri. La riproducibilità del monitoraggio è stimata a partire dal risultato di due campionamenti paralleli mediante la seguente equazione (Stolbovoy *et al.*, 2006):

$$\text{Eq. 3.4} \quad R = \frac{(\Delta \text{stockCO})}{\text{stockCO}_1} \cdot 100 = \frac{\text{stockCO}_2 - \text{stockCO}_1}{\text{stockCO}_1} \cdot 100$$

dove R è dato in %, stockCO_1 e stockCO_2 sono rispettivamente il risultato del primo e del secondo campionamento.

Indice di fertilità biologica

Il grado di fertilità biologica del suolo è stato stimato attraverso il modello interpretativo sviluppato da CRA-ISPIN Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante (De Benedetti e Pompili in Sequi *et al.*, 2006).

Tale modello (definito come indice di fertilità biologica) prevede l'utilizzo dei seguenti parametri (Fondazione Minoprio *et al.*, 2009):

- sostanza organica, calcolata a partire dal dato di carbonio organico totale e utilizzando poi il fattore di conversione di Van Bemmelen (1,724), che si basa sull'assunzione secondo la quale la sostanza organica del suolo contiene circa il 58% di carbonio organico;
- carbonio della biomassa microbica: fornisce una indicazione sulla quantità di massa microbica presente nel suolo;
- respirazione basale e cumulativa: la respirazione stima l'attività metabolica della popolazione microbica. La respirazione basale descrive l'attività dei microorganismi in condizione standardizzate di laboratorio, mentre la respirazione cumulata fornisce indicazioni sulla velocità di mineralizzazione della frazione più labile della sostanza organica;
- quoziente metabolico: rapporto tra la respirazione basale ed il carbonio della biomassa microbica. Tale parametro stima la respirazione specifica della biomassa microbica, ovvero l'efficienza metabolica dei microorganismi attivi;
- quoziente di mineralizzazione: rapporto tra la respirazione cumulata e il carbonio organico totale. Tale parametro mette in relazione la velocità della respirazione microbica alla dotazione di sostanza organica nel suolo, nello specifico la capacità dei microorganismi di mineralizzare la frazione più labile della sostanza organica.

A ogni singolo parametro viene assegnato un punteggio calcolato in base ad intervalli di valori specifici; la somma algebrica dei punteggi ottenuti per ciascun parametro origina un punteggio complessivo correlato ad una scala di fertilità biologica indicizzata in cinque classi, come descritto nella *tabella 3.5*.

3.1.5 Risultati e discussione

Oltrepo Pavese – stock di carbonio organico

I suoli dei siti di monitoraggio conservativi hanno evidenziato – nei primi 30 cm – uno stock di carbonio organico maggiore di circa il 45,9 % in media rispetto ai suoli dei siti tradizionali (73,9 t/ha contro 50,7 t/ha).

PARAMETRO	PUNTI DA ASSEGNARE				
	1	2	3	4	5
Sostanza organica (%)	< 1	1-1,5	1,5-2	2-3	> 3
Carbonio della biomassa microbica (ppm)	< 100	100-200	200-300	300-400	> 400
Respirazione basale (ppm)	< 5	5-10	10-15	15-20	> 20
Respirazione cumulata (ppm)	< 100	100-250	250-400	400-600	> 600
Quoziente metabolico (/h)	> 0,4	0,3-0,4	0,2-0,3	0,1-0,2	< 0,1
Quoziente di mineralizzazione (%)	< 1	1-2	2-3	3-4	> 4
Punteggio complessivo	6	7-12	13-18	19-24	25-30
CLASSE DI FERTILITA'	I	II	III	IV	V
Descrizione stato	stress allarme	stress preallarme	media	buona	alta

Tabella 3.5 – *Indice di fertilità biologica.*

Gestione	Sito di monitoraggio	N°. campioni	DA (g/cm ³)			CO (g/kg)			stock CO (t/ha)			
			Media	d.s.	CV %	Media	d.s.	CV %	Media	d.s.	CV %	R
aC	1	6	1,50	0,03	2,1	18,5	1,5	8,3	83,5	6,9	8,3	2,5
	2	6	1,38	0,08	5,9	16,6	0,9	5,2	68,5	6,9	10,1	4,7
	3	6	1,41	0,07	5,2	16,2	1,4	8,4	68,4	5,1	7,4	5,6
	4	6	1,43	0,09	6,3	17,5	2,5	14,0	75,2	12,0	16,0	14,7
aT	1	6	1,48	0,07	5,0	10,8	0,4	3,8	48,1	3,3	7,0	8,9
	2	6	1,30	0,11	8,6	13,7	0,8	6,0	53,2	6,5	12,2	6,4

Tabella 3.6 – *Oltrepo Pavese - sintesi dei risultati ottenuti per il campionamento di suolo minerale (0-30 cm)*
aC = agricoltura conservativa, aT = agricoltura tradizionale, DA = densità apparente, CO = carbonio organico.
d.s. = deviazione standard, CV = coefficiente di variazione, R = riproducibilità.

* metodo di analisi del carbonio organico = Walkley-Black

La *tabella 3.6* mostra la sintesi dei risultati mentre la *tabella 3.7* riporta tutti i dati rilevati. La concentrazione media di carbonio organico è risultata pari a 17,2 g/kg per i siti conservativi e a 12,3 g/kg per quelli tradizionali. La densità apparente non è risultata sostanzialmente differente, mostrando valori leggermente più bassi nei siti tradizionali (1,39 g/cm³) rispetto ai siti conservativi (1,43 g/cm³).

La differenza osservata per lo stock di carbonio organico (23,2 t/ha) è significativa, come è possibile dedurre dai grafici di distribuzione dei dati di *figura 3.5*.

Ipotizzando che all'inizio del processo di conversione alla gestione conservativa (circa dieci anni fa) tutti i terreni dei siti oggi in esame avessero lo stesso stock di carbonio organico e che durante questo periodo i siti tradizionali non siano stati interessati da rilevanti variazioni di stock, questo significa stimare un tasso di incorporazione di carbonio organico nel suolo pari circa a 2 t/ha/anno.

I valori della riproducibilità (R) di campionamento sono risultati in media pari a 7,1 %, con un campo di variazione da 2,5 % a 14,7 %. I dati sono fortemente influenzati dal risultato ottenuto nel sito di monitoraggio OLP_C-4: tuttavia R è risultato sempre inferiore al corrispondente coefficiente di variazione in tutti i siti di monitoraggio conservativi; questo significa che, nella stima dello stock di carbonio organico, l'errore dovuto al posizionamento è modesto e che quindi la metodologia è in grado di rilevare differenze significative dovuta all'intrinseca variabilità dei suoli.

Gestione	Sito di monitoraggio	Area di campionamento	DA (g/cm ³) campioni		CO (g/kg) campioni		Stock CO (t/ha) campioni	
			1°	2°	1°	2°	1°	2°
aC	1	A	1,55	1,50	16,9	20,7	78,7	93,2
		B	1,50	1,45	19,4	17,3	87,4	75,3
		C	1,50	1,52	19,5	17,3	87,5	78,8
	2	A	1,31	1,28	16,2	15,4	63,7	59,2
		B	1,39	1,37	16,7	16,0	69,7	65,8
		C	1,51	1,41	17,0	17,9	77,1	75,5
	3	A	1,31	1,40	18,3	16,0	72,0	67,4
		B	1,53	1,39	16,1	14,5	74,0	60,4
		C	1,42	1,38	15,3	17,3	65,2	71,6
	4	A	1,46	1,40	14,3	19,7	62,5	82,6
		B	1,55	1,34	19,2	19,6	89,2	79,2
		C	1,32	1,50	14,8	17,6	58,5	79,2
aT	1	A	1,53	1,36	11,0	11,0	50,5	44,8
		B	1,48	1,44	11,0	10,0	48,7	43,2
		C	1,56	1,50	11,0	11,0	51,6	49,5
	2	A	1,36	1,27	14,0	14,0	57,2	53,4
		B	1,43	1,20	14,0	12,0	60,0	43,2
		C	1,14	1,38	14,0	14,0	47,9	57,9

Tabella 3.7 – *Oltrepo Pavese* - risultati analitici del campionamento di suolo minerale (0-30 cm)
 aC = agricoltura conservativa, aT = agricoltura tradizionale, DA = densità apparente, CO = carbonio organico.
 *metodo di analisi del carbonio organico = Walkley-Black

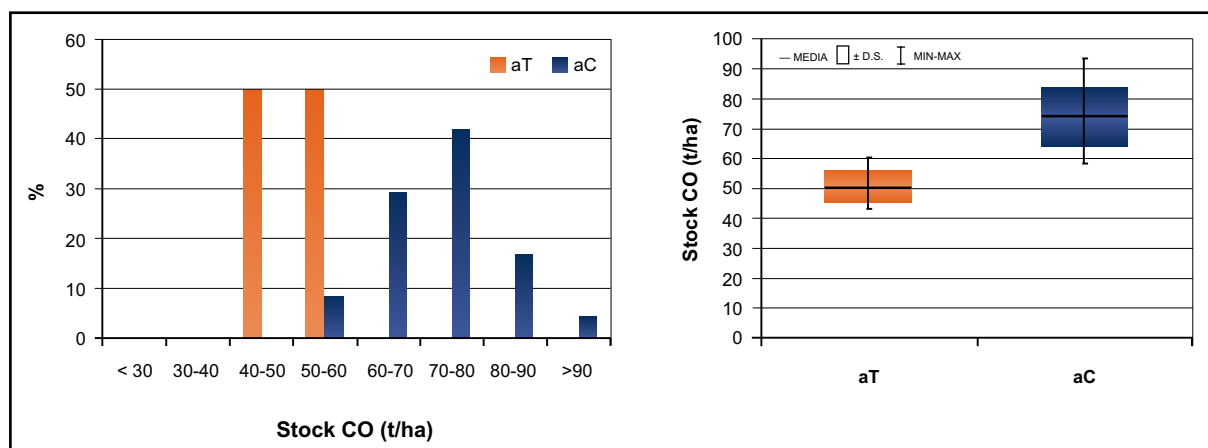


Figura 3.5 – *Oltrepo Pavese*: distribuzione dello stock di carbonio organico (0-30 cm).
 A sinistra: istogramma di frequenza relativa. A destra: media, deviazione standard, minimo e massimo.
 aC = agricoltura conservativa, aT = agricoltura tradizionale.

Il campionamento di suolo minerale effettuato ogni 10 cm nei siti conservativi ha evidenziato una significativa stratificazione nello stock di carbonio organico, con valori di contenuto molto più elevati nello strato superficiale (18,3 g/kg a 0-10 cm) e decrescenti negli strati profondi (15,1 g/kg a 10-20 cm e 14,1 g/kg a 20-30 cm). È interessante inoltre osservare come il contenuto medio di carbonio organico nei primi 30 cm nei siti a gestione tradizionale (12,3 g/kg) risulti inferiore a quello misurato a 20-30 cm nei siti a gestione conservativa (tabella 3.8).

La distribuzione dei valori rilevati è rappresentata in figura 3.6.

Il risultato dell'analisi della varianza dello stock di carbonio organico condotto per ogni strato di suolo ha evidenziato che il contenuto di carbonio organico fornisce il contributo maggiore alla

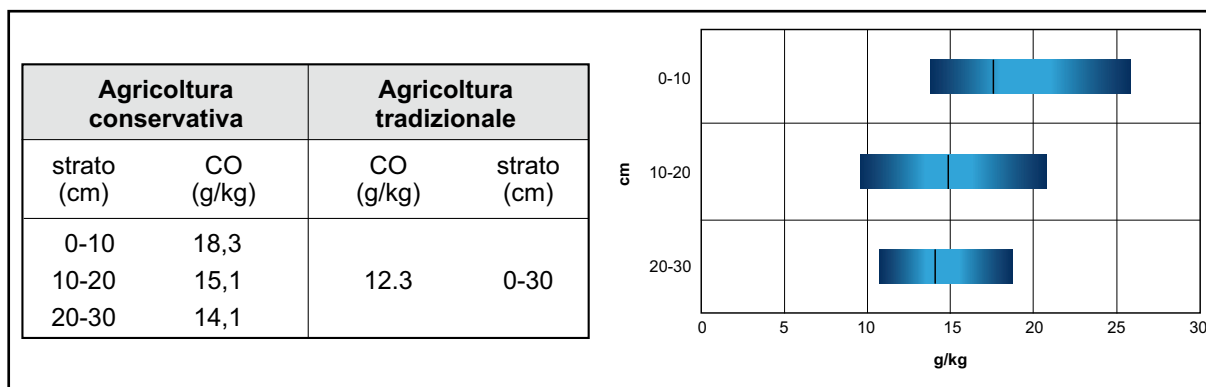


Tabella 3.8 – Oltrepo Pavese - valori medi di contenuto di carbonio organico (CO) per strato di suolo.

Figura 3.6 – Oltrepo Pavese - minimo, mediana e massimo dei valori di contenuto di carbonio organico (CO) per strato di suolo nei siti a gestione conservativa.

varianza totale, rispetto alla densità apparente e alla covarianza tra i due fattori (figura 3.7). Quest'ultima ha evidenziato segno negativo per gli strati più profondi, 10-20 cm e 20-30 cm, e segno positivo per lo strato superficiale, 0-10 cm.

In tabella 3.9 viene riportato infine il risultato della valutazione dello stock di carbonio organico proveniente dai residui colturali giacenti nei siti di monitoraggio a gestione conservativa. Lo stock medio (2,5 t/ha) è risultato pari a al 3,4 % dello stock di carbonio organico presente nello strato superficiale (0-30 cm) di suolo.

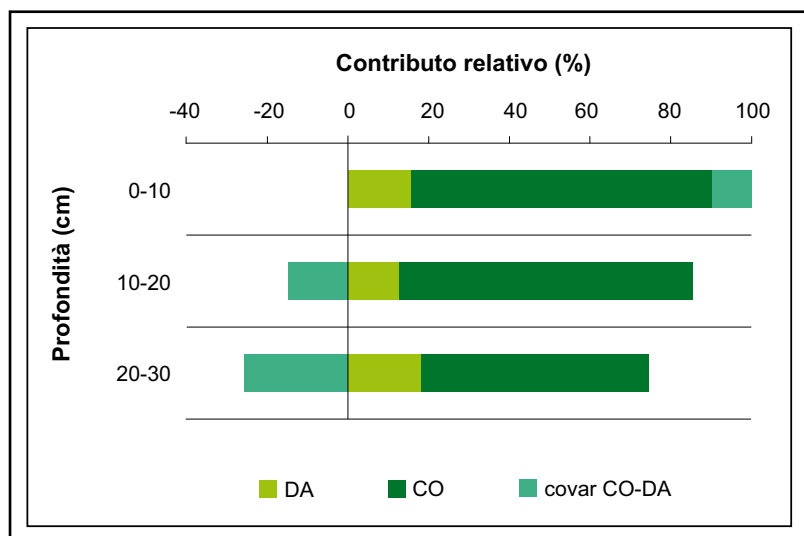


Figura 3.7 – Oltrepo Pavese: contributo relativo alla varianza dello stock di carbonio organico da parte di: DA = densità -apparente, CO = contenuto di carbonio organico, covarCO-DA = covarianza tra densità apparente e carbonio organico. Calcolo sui siti di monitoraggio a gestione conservativa.

Sito di monitoraggio	Coltura raccolto	N°. campioni	Densità superficiale (kg/m ²)			CO (g/kg)			stock CO (t/ha)		
			Media	d.s.	CV %	Media	d.s.	CV %	Media	d.s.	CV %
OLP_C-1	soia	6	1,0	0,2	24	213,6	52,3	24	2,2	0,9	40
OLP_C-2	frumento	6	0,7	0,7	95	244,9	102,0	42	1,2	0,6	48
OLP_C-3	mais	6	1,0	0,3	24	332,8	16,0	5	3,5	0,9	25
OLP_C-4	mais	6	1,0	0,2	19	305,3	52,6	17	3,1	0,9	28

Tabella 3.9 – Oltrepo Pavese - risultati del campionamento dei residui colturali nei siti a gestione conservativa. d.s.= deviazione standard, C.V.= coefficiente di variazione, CO = carbonio organico.

* metodo di analisi del carbonio organico = Walkley-Black

Oltrepo Pavese – fertilità biologica

La tabella 3.10 (pagina seguente) riporta i valori medi e di variazione per i parametri che concorrono a formare l'indice di fertilità biologica: si riscontrano differenze fra le due diverse tecniche

	S.O.* g/kg	CBM µgC/g	R.B. mgC-CO ₂ /kg	R.C. mgC-CO ₂ /kg	Q.Min. %	Q.Met. %/h	IBF
aT	campioni	12	12	12	12	12	3 media
	media	25,0	192,4	9,1	252,5	1,7	
	dev.st.	2,5	53,8	2,5	49,3	0,2	
	C.V. %	10,0	27,9	27,1	19,5	14,1	
aC	campioni	24	24	24	24	24	4 buona
	media	33,4	199,2	16,5	420,0	2,2	
	dev.st.	3,4	87,1	3,0	75,0	0,5	
	C.V. %	10,3	43,7	18,0	17,9	21,8	

Tabella 3.10 – *Oltrepo Pavese*: media, deviazione standard e coefficiente di variazione (C.V.) dei parametri della fertilità biologica e indice di fertilità biologica (IBF) calcolati per i siti di monitoraggio a gestione conservativa (aC) e tradizionale (aT).

S.O. = sostanza organica, CBM = carbonio della biomassa microbica, R.B. = respirazione basale, R.C. = respirazione cumulata (R.C.), Q.Min. = quoziente di mineralizzazione, Q.Met. = quoziente metabolico.

Campioni di suolo minerale (0-30 cm). * metodo di analisi del carbonio organico totale = Sprenger-Klee

agronomiche esaminate, tradizionale e conservativa. Si osserva in primo luogo un maggiore contenuto di sostanza organica nei siti ad agricoltura conservativa, come visto nei paragrafo precedente, dovuto all'applicazione di tale tecnica agronomica. Stessa considerazione è valida anche per i parametri relativi alla dotazione di carbonio della biomassa microbica e, in particolare, alla respirazione (cumulata e basale). Valori alti di respirazione sono legati alla maggior disponibilità di sostanza organica per la biomassa microbica. Il quoziente di mineralizzazione, ovvero la velocità di mineralizzazione della sostanza organica a opera dei microrganismi, presenta valori complessivamente medio-bassi in tutti i siti, tendenzialmente maggiori nei siti a gestione conservativa. Il quoziente metabolico (efficienza energetica del sistema) è invece il parametro con più alta variabilità, con valori simili tra le due tecniche.

La *figura 3.8* riporta i punteggi di fertilità attribuiti alla mediana dei valori dei singoli parametri, calcolati in base al modello interpretativo CRA-ISNP. Il valore complessivo dell'indice di fertilità biologica è elevato nei siti gestiti con la tecnica conservativa, dove si raggiunge una classe di fertilità buona, mentre nei siti a gestione tradizionale si rileva un indice di fertilità media. In

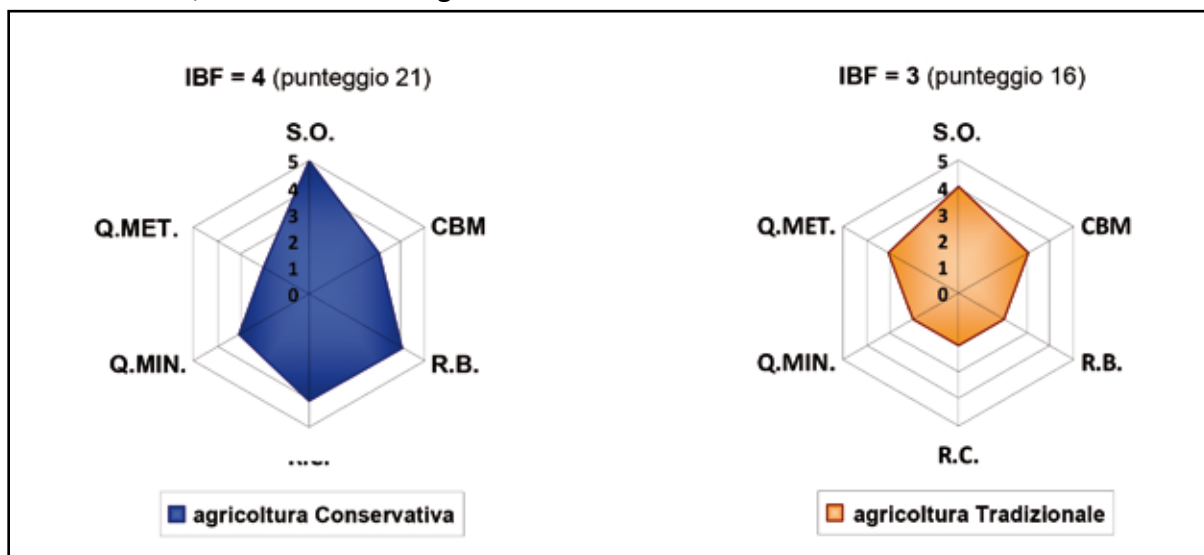


Figura 3.8 – *Oltrepo Pavese*: punteggio di fertilità biologica attribuito alla mediana dei parametri di fertilità biologica nei siti di monitoraggio a gestione conservativa e tradizionale. L'indice di fertilità biologica (IBF) è dato dalla somma dei punteggi dei singoli parametri. Mediana calcolata sull'insieme dei campioni prelevati nello strato 0-30 cm.

S.O. = sostanza organica, CBM = carbonio della biomassa microbica, R.B. = respirazione basale, R.C. = respirazione cumulata (R.C.), Q.Min. = quoziente di mineralizzazione, Q.Met. = quoziente metabolico.

base ai dati raccolti tale condizione sembra essere attribuibile, nei siti indagati, al maggior tenore di sostanza organica ed alla più elevata attività microbica.

Per approfondire la conoscenza sullo stato di fertilità biologica nei siti a gestione conservativa dell'Oltrepo Pavese è stato effettuato un secondo monitoraggio a distanza di sei mesi dal primo, campionando tre strati di profondità (0-30 cm / 30-60 cm / 60-90 cm). Tale campionamento ha evidenziato quanto segue:

- conferma della buona condizione di fertilità nello strato superficiale di terreno (0-30 cm): IBF = 4;
- negli strati inferiori (30-90 cm) la condizione del terreno si attesta generalmente su livelli medi: IBF = 3.

Lodigiano – stock di carbonio organico

La *tabella 3.11* mostra la sintesi dei risultati mentre la *tabella 3.12* (pagina seguente) riporta tutti i dati rilevati.

Gestione	Sito di monitoraggio	N°. campioni	DA (g/cm ³)			CO (g/kg)			stock CO (t/ha)			
			Media	d.s.	CV %	Media	d.s.	CV %	Media	d.s.	CV %	R
aC	1	6	1,61	0,08	4,9	9,5	1,6	16,5	45,9	7,1	15,4	1,0
	3	6	1,49	0,09	6,1	9,7	1,6	16,8	43,6	8,6	19,8	16,5
	4	6	1,61	0,05	3,3	9,3	0,2	1,8	45,1	1,2	2,7	1,7
aT	1	6	1,60	0,12	7,7	9,6	0,8	7,9	46,4	5,9	12,8	11,0
	2	6	1,49	0,09	5,8	12,4	1,4	10,8	56,0	8,8	15,8	2,2
	4	6	1,62	0,12	7,3	9,0	0,7	8,0	43,8	4,2	9,6	10,3

Tabella 3.11 – Lodigiano - sintesi dei risultati ottenuti per il campionamento di suolo minerale (0-30 cm).

aC = agricoltura conservativa, aT = agricoltura tradizionale, DA = densità apparente, CO = carbonio organico.

d.s. = deviazione standard, CV = coefficiente di variazione, R = riproducibilità

* metodo di analisi del carbonio organico = Walkley-Black

Il contenuto medio di carbonio organico misurato è pari a 9,5 g/kg nei siti conservativi e 10,4 g/kg nei siti tradizionali, mentre la densità apparente è risultata uguale (1,57 g/cm³). I valori leggermente più alti di stock di carbonio organico misurati nei siti a gestione tradizionale (48,7 t/ha contro 44,8 t/ha) in base all'analisi statistica non hanno evidenziato una differenza significativa rispetto a quanto riscontrato nei siti a gestione conservativa, come può essere anche osservato nei grafici di distribuzione dei dati (*figura 3.9*). La riproducibilità di campionamento R risulta in media pari a 7,1 %, con un campo di variazione da 1,0 a 16,5 %. Come in Oltrepo Pavese, R risulta inferiore al coefficiente di variazione, con l'eccezione di un sito a gestione tradizionale.

Nel Lodigiano il campionamento degli strati di 10 cm di suolo ha interessato non solo i siti a gestione conservativa ma anche quelli a gestione tradizionale. Esaminando i dati si osserva nei siti a gestione conservativa la tipica distribuzione del contenuto di carbonio organico, con valori più alti nello strato superficiale (13,0 g/kg), in diminuzione verso gli strati più profondi (10,5 g/kg a 10-20 cm e 9,2 g/kg a 20-30 cm). Invece nei siti a gestione tradizionale si osserva sostanzialmente lo stesso valore di concentrazione in tutti e tre gli strati esaminati, a conferma del rimescolamento derivante dall'aratura (*tabella 3.13* e *figura 3.10*).

L'analisi della varianza dello stock di carbonio organico condotta per ogni strato di suolo (*figura 3.11*) indica come anche nel Lodigiano il contenuto di carbonio organico fornisca il contributo maggiore alla varianza totale; in questo caso il termine della covarianza tra densità apparente e carbonio organico ha sempre mostrato segno negativo.

In *tabella 3.14* viene riportato infine il risultato della valutazione della quantità di carbonio organi-

Gestione	Sito di monitoraggio	Area di campionamento	DA (g/cm ³) campioni		CO (g/kg) campioni		Stock CO (t/ha) campioni	
			1°	2°	1°	2°	1°	2°
aC	1	A	1,61	1,49	11,6	11,2	56,3	50,3
		B	1,64	1,73	9,0	9,2	44,2	47,7
		C	1,57	1,61	8,0	8,1	37,7	38,8
	3	A	1,45	1,56	10,8	9,6	47,2	45,2
		B	1,49	1,34	10,2	6,5	45,6	26,3
		C	1,51	1,60	11,0	9,0	49,7	47,5
	4	A	1,52	1,66	9,6	9,3	43,8	46,5
		B	1,62	1,57	9,3	9,3	45,2	43,6
		C	1,66	1,63	9,1	9,5	45,2	46,4
aT	1	A	1,65	1,70	10,2	9,6	50,2	49,1
		B	1,63	1,69	10,9	9,1	52,9	45,8
		C	1,58	1,36	9,3	8,8	44,1	36,2
	2	A	1,50	1,52	11,8	11,4	53,1	51,7
		B	1,37	1,41	12,0	11,2	49,4	47,4
		C	1,60	1,56	14,0	14,3	67,3	66,9
	4	A	1,75	1,45	9,0	9,4	47,5	41,1
		B	1,63	1,70	10,2	8,7	49,6	44,5
		C	1,69	1,51	8,1	8,5	41,3	38,6

Tabella 3.12 –Lodigiano - risultati analitici del campionamento di suolo minerale (0-30 cm).
 aC = agricoltura conservativa, aT = agricoltura tradizionale, DA = densità apparente, CO = carbonio organico.
 * metodo di analisi del carbonio organico = Walkley-Black

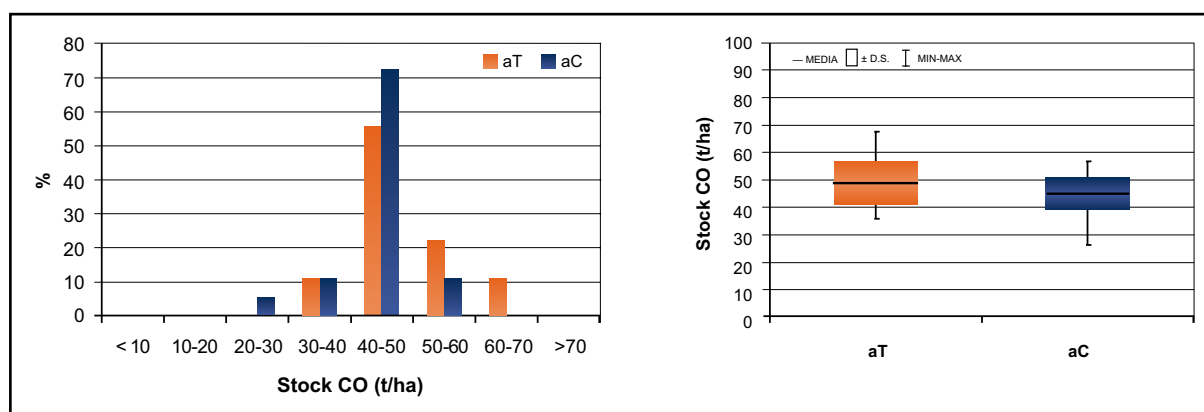


Figura 3.9 – Lodigiano: distribuzione dello stock di carbonio organico (0-30 cm).
 A sinistra: istogramma di frequenza relativa. A destra: media, deviazione standard, minimo e massimo.
 aC = agricoltura conservativa, aT = agricoltura tradizionale

co stoccato nei residui colturali giacenti nei siti di monitoraggio a gestione conservativa. Lo stock medio (4,2 t/ha) è risultato pari a al 9,4 % dello stock di carbonio organico presente nello strato superficiale (0-30 cm) di suolo.

Lodigiano – fertilità biologica

La sintesi dei risultati ottenuta per i parametri di fertilità biologica è riportata in *tabella 3.15*, mentre la *figura 3.12* rappresenta i punteggi di fertilità attribuiti in base al modello interpretativo CRA-ISNP. Rispetto a quanto osservato in Oltrepo Pavese, il contenuto di carbonio organico, il carbonio della biomassa microbica e la respirazione risultano complessivamente inferiori. Di-

Agricoltura conservativa		Agricoltura tradizionale	
strato (cm)	CO (g/kg)	CO (g/kg)	strato (cm)
0-10	13,0	11,4	0-10
10-20	10,5	11,6	10-20
20-30	9,2	11,1	20-30

Tabella 3.13 – Lodigiano - valori medi di contenuto di carbonio organico (CO) per strato di suolo.

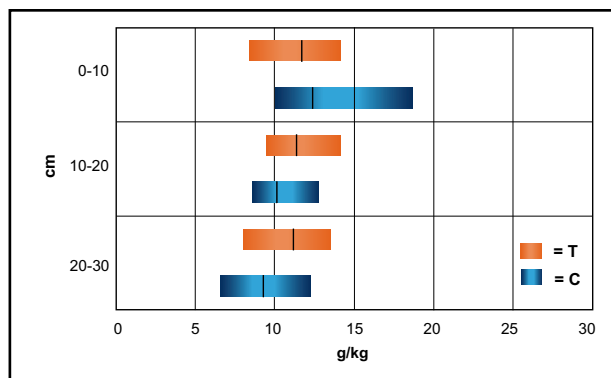


Figura 3.10 – Lodigiano - minimo, mediana e massimo dei valori di contenuto di carbonio organico (CO) per strato di suolo nei siti a gestione conservativa (aC) e tradizionale (aT).

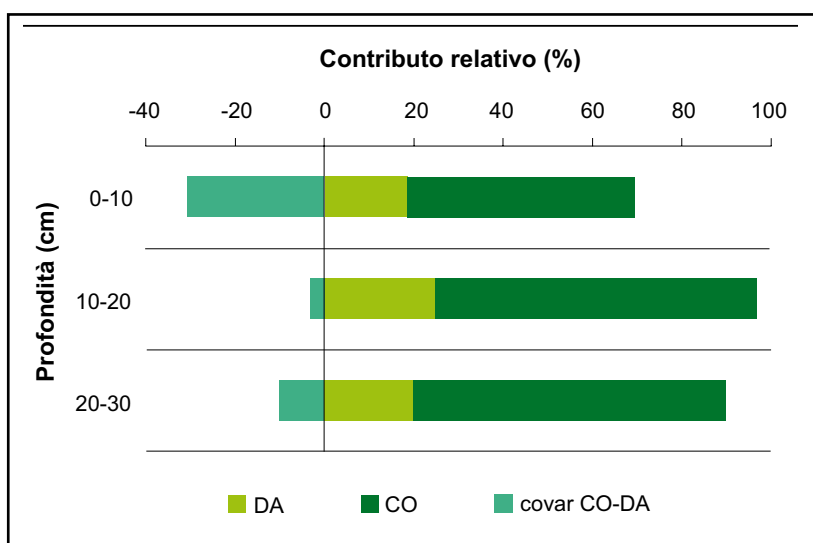


Figura 3.11 – Lodigiano: contributo relativo alla varianza dello stock di carbonio organico da parte di: DA = densità -apparente, CO = contenuto di carbonio organico, covarCO-DA = covarianza tra densità apparente e carbonio organico. Calcolo sui siti di monitoraggio a gestione conservativa.

Sito di monitoraggio	Coltura raccolto	N°. campioni	Densità superficiale (kg/m ²)			CO (g/kg)			stock CO (t/ha)		
			Media	d.s.	CV %	Media	d.s.	CV %	Media	d.s.	CV %
LOD-EL_C1	mais	3	1,5	0,2	14	300,4	47,4	16	4,6	0,8	18
LOD-EL_C3	mais	3	2,2	0,2	10	274,8	37,4	14	6,0	0,3	4
LOD-EL_C4	frumento	3	1,4	0,4	30	138,6	71,2	51	2,0	1,6	76

Tabella 3.14 – Lodigiano - risultati del campionamento dei residui colturali nei siti a gestione conservativa. d.s.= deviazione standard, C.V.= coefficiente di variazione, CO = carbonio organico. * metodo di analisi del carbonio organico = Walkley-Black

verso discorso per il quoziente di mineralizzazione, ovvero la velocità di mineralizzazione della sostanza organica a opera dei microrganismi, che risulta invece maggiore nei siti del Lodigiano, senza particolari differenze fra le tecniche osservate.

Elevata la variabilità del quoziente metabolico, che è risultato mediamente di valore positivo, con bassa efficienza per i siti tradizionali di Lodi. Tutto questo porta ad ottenere punteggi di fertilità non elevati, con valori medi per i siti a gestione conservativa e bassi per i siti a gestione tradizionale.

Azienda agricola Carpaneta – stock di carbonio organico

La tabella 3.16 presenta i dati ottenuti nelle due campagne di monitoraggio effettuate in ottobre al termine del periodo colturale negli anni 2009 e 2012 relativamente ai parametri di

	S.O.* g/kg	CBM µgC/g	R.B. mgC-CO ₂ /kg	R.C. mgC-CO ₂ /kg	Q.Min. %	Q.Met. %/h	IBF	
aT	campioni	18	18	18	18	18	2 pre- allarme	
	media	21,6	55,8	7,9	245,5	2,0		0,63
	dev.st.	3,9	16,2	3,3	50,8	0,3		0,3
	C.V. %	18,2	29,0	41,5	20,7	15,7		51,9
aC	campioni	18	18	18	18	18	3 media	
	media	19,9	97,4	5,3	233,0	2,0		0,26
	dev.st.	2,4	41,5	1,8	38,3	0,3		0,1
	C.V. %	12,1	42,6	33,7	16,4	15,5		46,9

Tabella 3.15 – Lodigiano: media, deviazione standard e coefficiente di variazione (C.V.) dei parametri della fertilità biologica e indice di fertilità biologica (IBF) calcolati per i siti di monitoraggio a gestione conservativa (aC) e tradizionale (aT).

S.O. = sostanza organica, CBM = carbonio della biomassa microbica, R.B. = respirazione basale, R.C. = respirazione cumulata (R.C.), Q.Min. = quoziente di mineralizzazione, Q.Met. = quoziente metabolico.

Campioni di suolo minerale (0-30 cm).

* metodo di analisi del carbonio organico totale = Sprenger-Klee

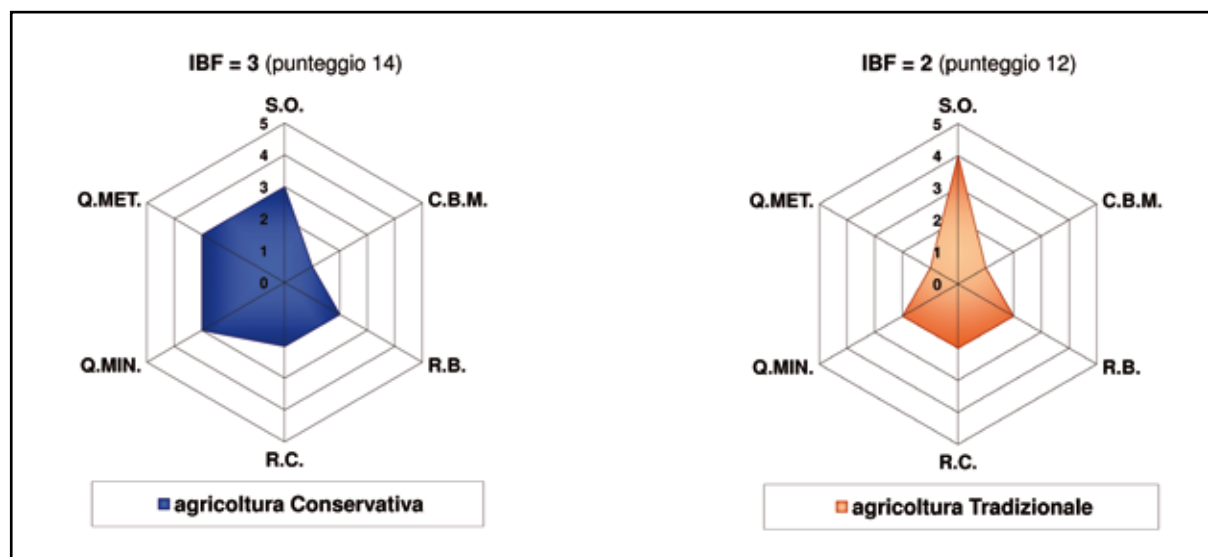


Figura 3.12 – Lodigiano: punteggio di fertilità biologica attribuito alla mediana dei parametri di fertilità biologica nei siti di monitoraggio a gestione conservativa e tradizionale. L'indice di fertilità biologica (IBF) è dato dalla somma dei punteggi dei singoli parametri. Mediana calcolata sull'insieme dei campioni prelevati nello strato 0-30 cm.

S.O. = sostanza organica, CBM = carbonio della biomassa microbica, R.B. = respirazione basale, R.C. = respirazione cumulata (R.C.), Q.Min. = quoziente di mineralizzazione, Q.Met. = quoziente metabolico.

densità apparente e contenuto di carbonio organico nel suolo. La *tabella 3.17* presenta una statistica descrittiva applicata a tali dati per l'orizzonte superficiale (0-10 cm) e profondo (20-30 cm). In *figura 3.13* è rappresentata la variazione percentuale media rilevata per la densità apparente e il contenuto di carbonio organico tra le due campagne di monitoraggio.

I dati raccolti consentono di fare le seguenti osservazioni:

- la densità apparente media di tutti i siti, alle due profondità considerate, è aumentata di circa il 7 % dal 2009 al 2012. Ciò è evidente soprattutto nei siti gestiti a semina su sodo dove nello strato superficiale (0-10 cm) si è osservato una maggiore compattazione del terreno e un aumento medio della densità pari al 19 % (da 1,27 a 1,52 g/cm³) mentre nei campi a minima lavorazione si è notato per contro una variazione negativa (- 5,1 %). Il discorso si capovolge nello strato 20-30 cm, dove l'aumento della densità del suolo è risultato maggiore nei siti gestiti a minima lavorazione (due siti su tre) rispetto a quelli gestiti a semina su sodo (uno su tre);

Sito di monitoraggio	Pratica conservativa	Profondità (cm)	DA (g/cm ³)		CO (g/kg)*	
			2009	2012	2009	2012
CRP_C2_sd	Semina su sodo	00-10	1,42	1,50	11,9	13,1
		10-20		1,57		8,9
		20-30	1,63	1,59	12,5	9,4
CRP_C2_ml	Minima lavorazione	00-10	1,22	1,09	10,9	10,1
		10-20				10,4
		20-30	1,33	1,46	10,1	11,0
CRP_C3_sd	Semina su sodo	00-10	1,19	1,52	9,6	12,2
		10-20		1,59		10,7
		20-30	1,28	1,61	11,3	10,5
CRP_C3_ml	Minima lavorazione	00-10	1,38	1,25	12,4	13,2
		10-20				16,3
		20-30	1,61	1,47	13,2	14,2
CRP_C4_sd	Semina su sodo	00-10	1,21	1,54	10,6	11,3
		10-20		1,61		10,8
		20-30	1,56	1,46	10,9	8,5
CRP_C4_ml	Minima lavorazione	00-10	1,20	1,27	9,4	10,9
		10-20		1,55		7,8
		20-30	1,20	1,60	9,8	9,9

Tabella 3.16 – azienda agricola Carpaneta: risultati del monitoraggio per densità apparente (DA) e carbonio organico (CO) nei due anni di campionamento 2009 e 2012.

* metodo di analisi del carbonio organico = Dumas (analizzatore elementare)

Profondità (cm)	Tipo di sito	Anno di monitoraggio	N°dati	DA (g/cm ³)			CO (g/kg)*		
				media	dev.st.	CV %	media	dev.st.	CV %
0-10	tutti i siti	2009	6	1,27	0,10	8,1	10,8	1,2	11,1
		2012	6	1,36	0,18	13,6	11,8	1,2	10,5
	semina su sodo	2009	3	1,27	0,13	10,3	10,7	1,2	11,0
		2012	3	1,52	0,02	1,2	12,2	0,9	7,3
	minima lavorazione	2009	3	1,27	0,10	7,7	10,9	1,5	13,5
		2012	3	1,20	0,10	8,1	11,4	1,6	14,0
20-30	tutti i siti	2009	6	1,43	0,18	12,9	11,3	1,3	11,7
		2012	6	1,53	0,08	4,9	10,6	2,0	18,6
	semina su sodo	2009	3	1,49	0,18	12,3	11,6	0,8	7,0
		2012	3	1,55	0,08	5,3	9,5	1,0	10,4
	minima lavorazione	2009	3	1,38	0,21	15,0	11,1	1,9	17,1
		2012	3	1,51	0,08	5,2	11,7	2,2	18,9

Tabella 3.17 – azienda agricola Carpaneta: media, deviazione standard e coefficiente di variazione per densità apparente (DA) e carbonio organico (CO) nei due anni di campionamento 2009 e 2012.

* metodo di analisi del carbonio organico = Dumas (analizzatore elementare)

- per il carbonio organico, dopo tre anni di conversione da aratura tradizionale a pratiche di agricoltura conservativa, è stato possibile osservare dati interessanti considerando i risultati ottenuti nei singoli siti di monitoraggio alle diverse profondità. Infatti si è notata una distribuzione verticale del carbonio organico dovuto all'esercizio di pratiche conservative. In particolare lo strato di suolo 0-10 cm ha registrato rispetto al 2009 un aumento medio di circa il 14 % di contenuto di carbonio organico nei siti gestiti a semina su sodo (+4,5 % nei siti a minima lavorazione). A questo ha fatto riscontro nello strato 20-30 cm una sensibile diminuzione di carbonio organico per i siti a semina su sodo (-18 % in media), mentre i siti condotti a minima lavorazione la variazione è risultata ancora positiva (+ 6 %). Il maggior contenuto di carbonio

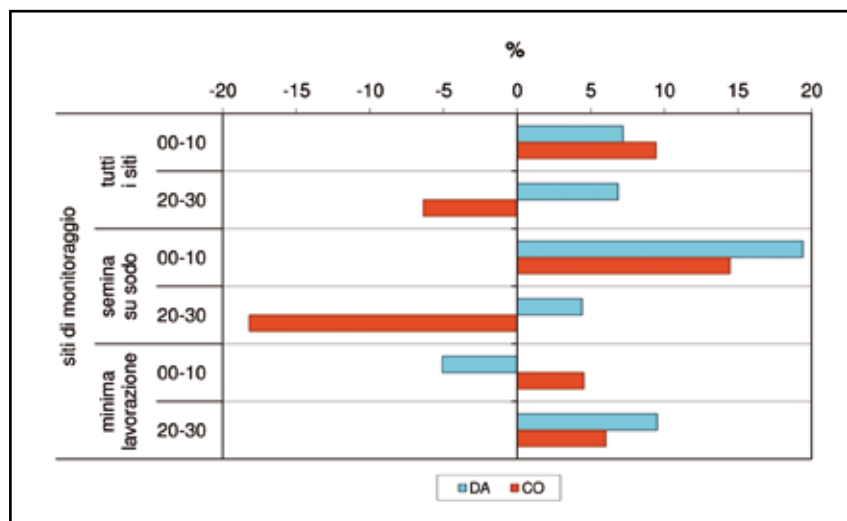


Figura 3.13 – Azienda agricola Carpaneta: variazioni percentuali medie tra le due campagne di monitoraggio (2012 – 2009) per densità apparente (DA) e contenuto di carbonio organico (CO): dati per tutti i siti di monitoraggio, suddivisi per gestione del suolo.

organico si è manifestato nei siti CRP_C3_sd e CRP_C3_ml; in particolar modo nel primo dei due, gestito a semina su sodo, si è registrato il più elevato incremento di carbonio organico nello strato 0-10 cm pari a 2,7 g/kg ed equivalente ad una variazione di + 0,1 %/anno nei tre anni di sperimentazione agronomica. Di contro la variazione negativa più alta si è registrata per il sito CRP_C2_sd (semina su sodo) pari a - 3 g/kg; va osservato che in tale sito la gestione a semina su sodo è stata applicata a partire dal secondo anno di sperimentazione. Infine si nota come nei siti a semina su sodo i dati di carbonio organico per tutte le profondità esaminate presentino una minima variabilità, con coefficienti di variazione inferiori rispetto a quelli riscontrati nei siti a minima lavorazione.

La stima dello stock di carbonio organico è rappresentata in tabella 3.18; nel calcolo relativo ai primi 30 cm (somma dei valori di stock ottenuti per diverse profondità), poiché nel 2009 non era stato indagato lo strato 10-20 cm, si è assunto per tale orizzonte un valore pari alla media degli stock calcolati negli strati adiacenti superiore e inferiore.

Sito di monitoraggio	Pratica conservativa	Stock CO (t/ha)*					
		0-30 cm		0-10 cm		20-30 cm	
		2009	2012	2009	2012	2009	2012
CRP_C2_sd	Semina su sodo	55,9	48,6	16,9	19,6	20,3	15,0
CRP_C2_ml	Minima lavorazione	40,1	40,9	13,3	11,0	13,5	16,1
CRP_C3_sd	Semina su sodo	38,8	52,5	11,3	18,6	14,5	16,8
CRP_C3_ml	Minima lavorazione	57,5	61,9	17,1	16,4	21,2	20,9
CRP_C4_sd	Semina su sodo	44,6	47,2	12,8	17,4	17,0	12,4
CRP_C4_ml	Minima lavorazione	34,8	41,9	11,4	13,9	11,8	15,9

Tabella 3.18 – Azienda agricola Carpaneta: stock di carbonio organico per sito di monitoraggio.

* metodo di analisi del carbonio organico = Dumas (analizzatore elementare)

La determinazione dello stock di carbonio organico risulta influenzata dal comportamento della densità apparente e del contenuto di carbonio organico sino a qui descritti. In media si è osservato – come è possibile osservare in *tabella 3.19* – un aumento di carbonio organico nei primi 30 cm di suolo (+ 3,6 t/ha), particolarmente rilevante per i siti gestiti a semina su sodo nello strato 0-10 cm (+ 4,9 t/ha) e per i siti a minima lavorazione nello strato 20-30 cm (+ 2,1 t/ha). Lo stock di carbonio organico, qui espresso a volume costante (30 cm di spessore) è risultato

Sito di monitoraggio	$\Delta\text{stockCO} \pm \text{E.S. 2009/2012 (t/ha)}^*$		
	0-30 cm	0-10 cm	20-30 cm
Tutti	3,6 ± 2,8	2,4 ± 1,4	-0,2 ± 1,6
Semina su sodo	3,0 ± 6,0	4,9 ± 1,3	-2,5 ± 2,4
Minima lavorazione	4,1 ± 1,8	-0,1 ± 1,4	2,1 ± 1,3

Tabella 3.19 – azienda agricola Carpaneta – variazione media di stock di carbonio organico tra due campagne di monitoraggio (2009 e 2012).

* metodo di analisi del carbonio organico = Dumas (analizzatore elementare)

Confronto tra campagne di monitoraggio dello stock di carbonio organico

In presenza di due campagne di monitoraggio indipendenti (A e B) effettuate in periodi temporali differenti la variazione media dello stock di carbonio organico rilevata è data da:

$$\text{Eq. 3.5} \quad \overline{(\Delta sCO)} = \frac{1}{n} \sum_j^n (\text{stockCO}_{jB} - \text{stockCO}_{jA}) = (\overline{sCO_B} - \overline{sCO_A})$$

dove n è il numero di osservazioni ottenute nella campagna di monitoraggio, ovvero il numero dei dati che concorrono a formare il valore medio di stock (rispettivamente $\overline{sCO_A}$ e $\overline{sCO_B}$).

L'incertezza del risultato di una misura definisce la dispersione dei valori che possono essere ragionevolmente attribuiti alla quantità misurata (IPCC, 2003). L'incertezza relativa alle variazioni a distanza di tempo dello stock di carbonio organico parametri del suolo monitorati può essere valutata attraverso il calcolo dell'errore standard (ES) della media delle variazioni stimate (Stolbovoy et al., 2007):

$$es(\Delta sCO) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_j^n (\Delta sCO_j - \overline{\Delta sCO})^2}$$

dove $\Delta sCO_j = (\text{stockCO}_{jB} - \text{stockCO}_{jA})$ rappresenta la variazione nello stock di carbonio organico tra le due campagne di monitoraggio per l'osservazione j, $\overline{\Delta sCO}$ è la media delle variazioni di stock CO come data dall'equazione 3.5.

In conclusione il risultato in termini di stock di carbonio organico ottenuto dall'esecuzione di due campagne successive di monitoraggio è dato dalla seguente espressione:

$$\Delta\text{stockCO} = \overline{(\Delta sCO)} \pm es(\Delta sCO)$$

fortemente influenzato dalle variazioni delle densità apparente e dalle forti variabilità dei suoli già presenti al momento del primo campionamento. Ciò introduce elementi di incertezza nella valutazione dei risultati, che comunque evidenziano i processi di trasformazione nel suolo a seguito del cambiamento di gestione. In particolare è interessante osservare che nei terreni gestiti a sodo l'aumento di compattamento in superficie (maggiore densità) è stato accompagnato da un aumento del contenuto di carbonio, mentre nei terreni a minima lavorazione, dove questa situazione non si è verificata in quasi tutti i siti, si è notato un maggior compattamento e un maggior contenuto di carbonio negli strati sottosuperficiali. Pertanto quest'ultimo processo potrebbe essere dovuto, almeno in parte, a lavorazioni un po' più profonde di quelle che normalmente interessano la minima lavorazione e che potrebbero avere incorporato a profondità maggiori i residui colturali organici. In ogni caso i risultati suggeriscono che tre anni sono un periodo troppo breve per apprezzare in modo completo le trasformazioni indotte negli equilibri della sostanza organica dal cambiamento delle pratiche gestionali, soprattutto in presenza di alta variabilità nei suoli come viene anche confermato dai valori relativamente elevati assunti dall'errore standard.

Sito di monitoraggio	Pratica conservativa	Coltura raccolto	Densità superficiale (kg/m ²)	CO (g/kg)	stock CO (t/ha)
CRP_C2_sd	semina su sodo	soia	1,65	348,16	5,75
CRP_C3_sd	semina su sodo	mais	1,93	244,42	4,71
CRP_C4_sd	semina su sodo	frumento	2,50	156,82	3,93

Tabella 3.20 – Azienda agricola Carpaneta - risultati del campionamento dei residui colturali nei siti gestiti a semina su sodo.

* metodo di analisi del carbonio organico = Dumas (analizzatore elementare)

Complessivamente i dati ottenuti hanno mostrato a seguito della conversione da tecniche tradizionali a tecniche conservative una tendenza all'incorporamento di carbonio organico nel suolo, la cui entità e dinamica potranno essere meglio comprese con monitoraggi di più lungo periodo. Va inoltre sottolineato che le risposte dei suoli a modifiche nella loro gestione sono sito specifiche, dipendono cioè dal tipo di suolo e dalle condizioni climatiche e ambientali. Verifiche sperimentali si rendono quindi necessarie prima di valutare risultati in presenza di suoli e ordinamenti colturali molto diversi. Occorre tenere presente che nei "sistemi a sodo" una quota di carbonio organico rimane stoccato nei residui colturali che restano sulla superficie del suolo. In *tabella 3.20* viene riportato il risultato della determinazione dello stock di carbonio organico presente nei residui colturali nei siti di monitoraggio gestiti a semina su sodo.

Azienda agricola Carpaneta – fertilità biologica

Dall'analisi statistica dei dati relativi all'indice di fertilità biologica (*tabella 3.21*) non sono emerse differenze di rilievo fra le due diverse gestioni agronomiche (minima lavorazione e semina su sodo), ma solo delle tendenze ed alcune differenze nei singoli parametri che compongono l'indice di fertilità biologica. La dotazione di carbonio organica è maggiore negli strati superficiali fino a 20 cm, soprattutto in minima lavorazione.

	S.O.* g/kg	CBM µgC/g	R.B. mgC-CO ₂ /kg	R.C. mgC-CO ₂ /kg	Q.Min. %	Q.Met. %/h	IBF
Semina su sodo	campioni	3	3	3	3	3	3 media
	00-10	19,8	157,5	12,6	348,1	3,0	
	10-20	18,6	96,6	9,8	311,3	2,9	
	20-30	16,9	104,5	8,3	296,1	3,1	
Minima lavorazione	campioni	3	3	3	3	3	3 media
	00-10	22,8	168,9	13,9	385,9	3,0	
	10-20	20,2	129,3	11,1	323,9	2,8	
	20-30	18,1	102,8	9,2	313,0	3,0	

Tabella 3.21 – azienda agricola Carpaneta: valori medi nei singoli strati di suolo dei parametri della fertilità biologica e indice di fertilità biologica (IBF) calcolati per i siti a gestione conservativa (semina su sodo e minima lavorazione).

S.O. = sostanza organica, CBM = carbonio della biomassa microbica, R.B. = respirazione basale, R.C. = respirazione cumulata (R.C.), Q.Min. = quoziente di mineralizzazione, Q.Met. = quoziente metabolico.

* metodo di analisi del carbonio organico = Sprenger-Klee

La dotazione di carbonio della biomassa decremmenta all'aumentare della profondità nella tecnica della minima lavorazione, mentre non si denotano differenze sostanziali nel sistema su sodo. La respirazione, cumulativa e basale, decremmenta all'aumentare della profondità e risulta tendenzialmente maggiore nella minima lavorazione rispetto alla tecnica su sodo. Il quoziente metabolico non ha evidenziato particolari variazioni fra le due tecniche osservate e relativamente alla profondità, anche perché segue l'andamento dei parametri che compongono il quoziente

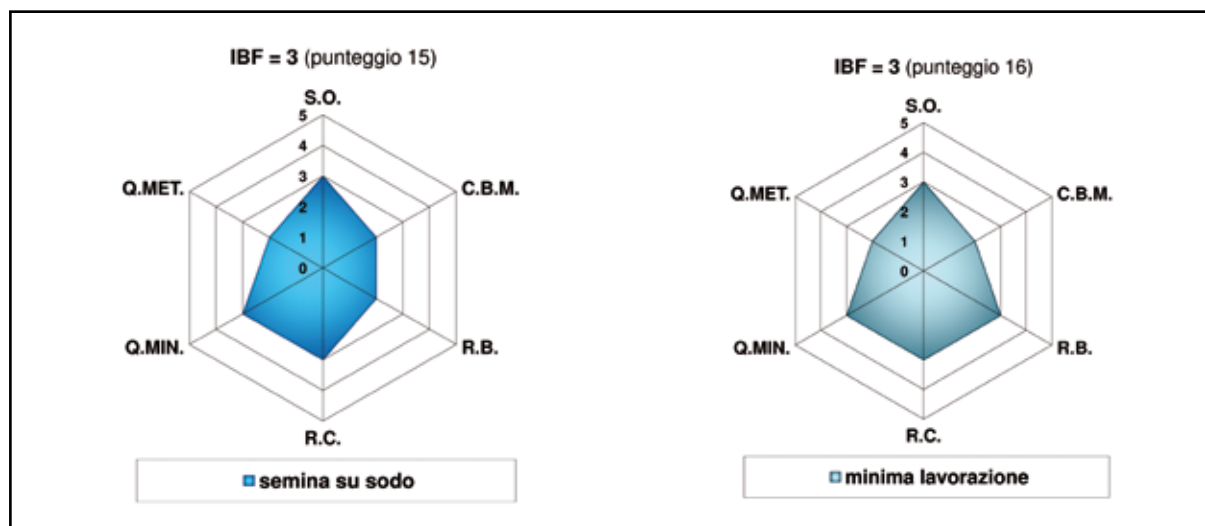


Figura 3.14 – Azienda agricola Carpaneta: punteggio di fertilità biologica attribuito alla mediana dei parametri di fertilità biologica nei siti di monitoraggio a gestione conservativa (semina su sodo e minima lavorazione). L'indice di fertilità biologica (IBF) è dato dalla somma dei punteggi dei singoli parametri. Mediana calcolata sull'insieme dei campioni di suolo prelevati agli strati (0-10, 10-20, 20-30 cm). Campagna di monitoraggio 2012.

S.O. = sostanza organica, CBM = carbonio della biomassa microbica, R.B. = respirazione basale, R.C. = respirazione cumulata (R.C.), Q.Min. = quoziente di mineralizzazione, Q.Met. = quoziente metabolico.

(carbonio della biomassa microbica e respirazione basale). Il quoziente di mineralizzazione è risultato tendenzialmente più elevato per la tecnica della minima lavorazione. I risultati ottenuti dal calcolo dell'indice di fertilità biologica evidenziano solo poche differenze tra semina su sodo e minima lavorazione (figura 3.14).

Tutti i siti indagati rientrano nella classe 3 corrispondente a una condizione di fertilità media. Va osservato in proposito che è stato possibile effettuare le determinazioni analitiche necessarie per il calcolo dell'indice di fertilità solo sui campioni prelevati nel corso del secondo monitoraggio (effettuato nel 2012), di conseguenza non è stato possibile effettuare un confronto con la situazione di partenza.

3.1.6 Conclusioni

Lo stock di carbonio organico è un indicatore efficace dell'impatto delle modalità di gestione del suolo. Allo stato attuale la ricerca scientifica punta l'attenzione sui terreni ad uso seminativo con bassi tenori di sostanza organica, in modo da valutare le soluzioni in grado di invertire questa tendenza negativa (Lal and Kimble, 1997; West and Marland, 2002). L'agricoltura conservativa è considerata una tecnica adatta a stimolare la naturale vitalità dei suoli così da innalzarne il contenuto di carbonio organico (Basch *et al.*, 2012; Reicosky *et al.*, 2003).

Non di meno i risultati ottenuti confermano che l'incorporazione del carbonio organico è ancora un processo complesso, come riportato in letteratura (Govaerts *et al.*, 2009; Baker *et al.*, 2007). Tipologia di suolo e condizioni pedoclimatiche da una parte, interventi storici e gestione colturale dall'altra, hanno un ruolo determinante nella costituzione dello stock di carbonio organico presente e futuro (Sleutel *et al.*, 2006; Kucharik *et al.*, 2001). Le differenze osservate nello stock di carbonio organico possono poi essere dovute a una immissione elevata di sostanza organica e/o a una inferiore mineralizzazione del carbonio organico; le interazioni tra tutti i possibili fattori coinvolti sono molto complesse e ciò può rendere difficile interpretare differenti situazioni.

I risultati dello studio realizzato indicano che i Vertisols dell'Oltrepo Pavese sono fortemente sensibili alle variazioni di gestione agronomica. L'agricoltura conservativa applicata nei siti indagati è caratterizzata, oltre che dalla non aratura, anche da un ampio uso di colture di copertura e intercalari nonché da una rotazione diversificata. Tutto questo ha portato a un alto accumulo

di carbonio organico rispetto a suoli gestiti in modo tradizionale. Anche altri autori hanno in effetti rilevato un elevato potenziale di incorporamento di carbonio organico nei Vertisols, laddove pratiche conservative sono introdotte (Dalal *et al.*, 2011; Potter, 2006 and 2010; Follett *et al.*, 2005).

L'area di studio del Lodigiano non è molto distante dall'Oltrepo Pavese, ma le condizioni ambientali sono completamente differenti. Le proprietà tipiche dei Luvisols possono facilitare l'attività microbica rendendo la sequestrazione di carbonio organico molto bassa (Bajgai *et al.*, 2011). Nondimeno dovrebbe essere sottolineato che in tale zona i terreni gestiti tradizionalmente sono stati fertilizzati con letamazioni annualmente e per lungo tempo, ricevendo quantità di sostanza organica maggiori di quelle fornite dai soli residui colturali nei terreni gestiti in modo conservativo. Si può dedurre di conseguenza che, poiché i terreni ad agricoltura conservativa hanno mostrato stock di carbonio organico simili ai terreni ad agricoltura tradizionale sebbene gli input di carbonio organico fossero fortemente inferiori, il bilancio tra accumulo e perdita di carbonio sia stato in realtà positivo anche se in questo caso non visibile. La ridistribuzione del carbonio organico in profondità osservata nei siti di monitoraggio con gestione agronomica conservativa conforta questa evidenza.

Ad ogni modo questa assunzione è da considerare ancora provvisoria. Ulteriori ricerche sul bilancio del carbonio organico a scala regionale e a livello di campo, così come l'approfondita conoscenza sulla partizione del carbonio organico in frazione stabile e labile, potrebbero fornire ulteriori e più dettagliate indicazioni (Cerli *et al.*, 2012). Un altro argomento di rilievo è legato agli effetti della variazione della massa del suolo sui risultati. Nello studio effettuato nei siti dell'Oltrepo Pavese e del Lodigiano la densità apparente non ha mostrato valori differenti passando da suoli ad agricoltura conservativa a quelli ad agricoltura tradizionale; inoltre non fornisce un contributo significativo alla varianza dello stock di carbonio organico. Invece laddove siano presenti variazioni notevoli di densità apparente, la determinazione delle variazioni di stock di carbonio organico potrebbe essere più accuratamente valutata a parità di massa equivalente di suolo (Schrumpf *et al.* 2011; Ellert *et al.*, 2002).

Le conoscenze sviluppate nella ricerca confermano comunque che mantenere od ottimizzare livelli di carbonio organico nei suoli della Lombardia attraverso l'adozione di pratiche di gestione dei suoli riconducibili ai principi dell'Agricoltura Conservativa è possibile e può portare a una considerevole sequestrazione di CO₂ atmosferica, contributo importante per la mitigazione dei cambiamenti climatici. Questi sono i presupposti per la formazione di nuove opportunità economiche per le aziende agricole, per esempio attraverso lo sviluppo di meccanismi di compensazione volontaria del carbonio mediante crediti prodotti in agricoltura.

Anche il monitoraggio dell'indice di fertilità biologica ha confermato l'influenza positiva dovuta all'applicazione delle tecniche agronomiche più conservative: infatti la sola dotazione di carbonio organico di un suolo, pur essendo fattore importante e significativo per la funzionalità globale di un suolo, non è di per sé sufficiente a determinare una forte attività della flora microbica.

D'altro canto i risultati raccolti concorrono a evidenziare che il minor disturbo dell'ecosistema suolo e l'aumento della sostanza organica, che le tecniche di agricoltura conservativa comportano, stimolano l'attività microbiologica - batterica e in generale della fauna terricola.

Nel tempo la raccolta di set di dati più estesi potrà consentire di individuare soglie e standard di riferimento per le diverse situazioni pedologiche e colturali.

3.2 Flussi di CO₂ da suoli a diversa intensità di lavorazione

Il rilascio di anidride carbonica (CO₂) attraverso la respirazione del suolo è la più grande sorgente di carbonio in molti ecosistemi (W.H. Schlesinger, J.A. Andrews, 2000) e gioca un ruolo

significativo nel ciclo globale del carbonio e del riscaldamento globale. Si stima infatti che le pratiche agricole contribuiscano circa al 25 % delle emissioni di CO₂ (Post *et al.*, 1990; Duxbury, 1994), nonostante il contenuto di carbonio dei suoli agricoli sia solamente poco più del 10 % del carbonio nei suoli degli ecosistemi terrestri (Schlesinger, 1997). Si stima nel medesimo lavoro un contenuto di 170 Pg C nei suoli agricoli e di 1500 Pg C nei suoli di tutti gli ecosistemi terrestri.

C'è dunque un interesse crescente sulle pratiche agricole che possano ridurre le emissioni di carbonio dal suolo. Infatti, l'aratura aumenta l'aerazione dello strato superficiale di suolo e rimescola i residui agricoli con il suolo stesso ed è quindi considerata una pratica che favorisce le emissioni dai suoli agricoli. Nell'agricoltura su sodo la nuova coltura è seminata sulle stoppie del precedente raccolto o in sottili e poco profondi solchi, senza effettuare alcuna aratura. L'aggregazione dello strato superficiale di suolo può diventare più stabile, grazie anche alla decomposizione dei residui colturali, e quindi il carbonio organico può aumentare nello strato superficiale. Tuttavia, non essendo incorporati residui agricoli nel suolo, il contenuto di carbonio degli strati più profondi potrebbe diminuire accelerando la decomposizione nello strato superficiale (Fontaine *et al.*, 2004) come osservato da Six *et al.* (2004) in un esperimento quinquennale di agricoltura su sodo in climi aridi.

Misure accurate dei flussi di anidride carbonica tra suolo, vegetazione e atmosfera sono un requisito essenziale per la quantificazione delle sorgenti e dei pozzi di un ecosistema e per lo sviluppo di un bilancio locale e globale del carbonio. Il flusso rappresenta la quantità di un gas che passa attraverso una superficie nell'unità di tempo ed è una misura significativamente più importante di una misura di concentrazione del gas stesso. Diversi approcci sono utilizzati per determinare gli scambi di CO₂ tra un ecosistema e l'atmosfera, ciascuno con i propri vantaggi e svantaggi (Kutzbach *et al.* 2007). Questi diversi approcci includono tecniche micrometeorologiche come l'*eddy covariance* o il gradiente aerodinamico (tipicamente utilizzate per misure su torri al di sopra degli ecosistemi studiati), modelli di diffusione per la stima degli scambi di specchi d'acqua e misure utilizzando camere statiche o dinamiche (e.g. Matson and Harriss, 1995; Norman *et al.*, 1997).

La tecnica dell'*eddy covariance* permette di misurare il flusso di un gas calcolando la covarianza tra la componente verticale del vento e la concentrazione del gas stesso. La tecnica dell'*eddy covariance* è basata sulla turbolenza atmosferica e richiede costosi sensori veloci, omogeneità orizzontale e condizioni di forte rimescolamento. Per questa ragione, la tipica stratificazione atmosferica notturna può aumentare significativamente l'incertezza delle misure. Tuttavia questa tecnica di misura ha una ottima risoluzione temporale, non perturba l'ecosistema studiato e permette un'integrazione spaziale su lunghe superfici (e.g. I. A. Janssens *et al.*, 2001 ; S. Ohkudo *et al.*, 2006).

La tecnica delle camere (statiche o dinamiche) permette di misurare i flussi di CO₂ analizzando il tasso di accumulo o rimozione di CO₂ nel tempo all'interno della camera che chiude la superficie dalla quale si vuole misurare il flusso (Kutzbach *et al.* 2007). Tuttavia, la chiusura stessa della camera e il conseguente accumulo/deplezione di CO₂ in aria altera il gradiente di concentrazione presente tra il suolo o la vegetazione e l'atmosfera e andrebbe quindi ad inficiare la misura stessa. Pertanto, per evitare questo tipo di problema, nella stima del flusso viene stimato il tasso di accumulo/deplezione di CO₂ alla chiusura della camera stessa, cioè quando la variazione del gradiente di concentrazione tra il suolo e l'atmosfera è minima (Livingston and Hutchinson, 1995).

Nell'ambito del progetto AgriCO₂ltura è stato effettuato il monitoraggio dei flussi di CO₂ su due ecosistemi agricoli condotti con differenti tecniche agronomiche (aratura tradizionale e coltura su sodo). Le campagne di misura sono state effettuate su due coppie di campi prima nell'Oltrepò Pavese e poi nelle campagne lodigiane. Durante le campagne di misura effettuate

nell'Oltrepò Pavese sono emerse alcune difficoltà che hanno portato a sviluppare due sistemi di camere statiche per una migliore valutazione dei flussi di CO₂ dal suolo.

3.2.1 Materiali e metodi

Nel corso dell'estate 2010 in Oltrepò pavese è stata installata una stazione micrometeorologica nel comune di Casanova Lonati (PV) – su un campo sottoposto ad aratura tradizionale e, sempre nello stesso periodo (luglio/agosto 2010) è stata installata un'analogha stazione nel comune di Barbianello (PV), su un campo coltivato a sodo.

Le misure sono state condotte per un anno al termine del quale le stazioni sono state spostate e installate nel Lodigiano, una in un campo coltivato a sodo situato a San Martino in Strada (LO) e l'altra in un campo coltivato con aratura tradizionale presso Secugnago (LO), anche in questo caso le misure sono durate un anno. A partire da luglio 2012, fino ad ottobre dello stesso anno, un sistema di camere statiche per la misure dei flussi di CO₂ dal suolo è stato installato nel sito coltivato a sodo e a partire da settembre anche nel sito coltivato con aratura tradizionale.

3.2.2 Tecniche di misura

Eddy Covariance

La tecnica di misura inizialmente scelta per la misura dei flussi di CO₂, energia ed acqua in questo progetto, è la tecnica nota con il nome di *eddy covariance (EC)*. Si tratta di una tecnica di micrometeorologia che permette di misurare il flusso verticale di un qualsiasi scalare, come per esempio la concentrazione di un gas o la temperatura. Il flusso è dato dalla covarianza tra le fluttuazioni del vento verticale e le fluttuazioni dello scalare studiato attorno al suo valore medio, individuato solitamente su un periodo di mediazione di mezzora. Si calcola quindi una matrice con tutte le covarianze e successivamente viene trasformata mediante due rotazioni di coordinate (McMillen, 1988): la prima per allineare il vettore del vento con la direzione del vento medio, la seconda per correggere un eventuale deviazione dalla posizione verticale dell'anemometro. I flussi verticali di anidride carbonica, calore sensibile e latente (FCO₂, H e λE) si ottengono dagli elementi della matrice ruotata, scegliendo gli elementi della matrice tra le fluttuazioni delle variabili corrispondenti (concentrazione di anidride carbonica, temperatura T e umidità specifica q rispettivamente) e la componente verticale del vento w. I flussi di anidride carbonica, calore sensibile e latente sono dunque dati dalle seguenti equazioni:

$$\text{Eq. 3.2.1} \quad F_{CO_2} = \overline{w' CO_2'}$$

$$\text{Eq. 3.2.2} \quad H = \rho c_p \overline{w' T'}$$

$$\text{Eq. 3.2.3} \quad \lambda E = \lambda \rho \overline{w' q'}$$

Nel caso dei flussi di CO₂ misurati al di sopra di un ecosistema vegetale, i flussi sono da intendersi come scambio ecosistemico netto (NEE, *Net Ecosystem Exchange*).

Per arrivare a questo calcolo, tuttavia, è necessario verificare che il campione semiorario soddisfi le condizioni di stazionarietà per gli scalari in oggetto; nel caso contrario dovrà essere scartato. Ulteriori controlli di qualità dei dati sono stati necessari per la misura dei flussi di CO₂: essendo gli analizzatori utilizzati a cammino aperto sono stati scartati i dati in presenza di rugiada sulle parti ottiche, cioè quando un analizzatore rileva una diminuzione pari o superiore al 50% del valore della mezzora precedente i campioni vengono scartati finché il sensore non evidenzia un successivo aumento repentino del segnale, superiore al 50% di quello riportato in precedenza.

Camere per la respirazione del suolo

Con il termine camera si intende una struttura mobile di forma prismatica unita ad una base inserita nel suolo; la camera, tipicamente di materiale trasparente alla luce, può chiudersi sulla sua base e la concentrazione del gas, del quale si vogliono misurare i flussi, può:

- aumentare, se il gas è emesso dal suolo;
- diminuire, se il gas è assorbito dal suolo;
- rimanere costante, se il gas non interagisce con il suolo.

In caso di emissione di CO₂ dal suolo, al momento della chiusura, la concentrazione di CO₂ all'interno della camera è pari a quella ambientale e aumenta al passare del tempo. In una prima fase la concentrazione di CO₂ aumenta linearmente per tendere poi ad un valore asintotico a causa dell'annullamento del gradiente di concentrazione. L'utilizzo di questa tecnica per la misura dei flussi di CO₂ è possibile grazie alla stima della variazione nel tempo della concentrazione di CO₂ al momento della chiusura. Il flusso risulta essere dato dall'equazione 3.2.4:

$$\text{Eq. 3.2.4} \quad F_{\text{CO}_2} = \frac{d\text{CO}_2}{dt} \frac{P}{RT} \frac{V}{A}$$

dove $d\text{CO}_2/dt$ è la derivata rispetto al tempo della concentrazione di CO₂ valutata all'istante della chiusura della camera, V è il volume della camera, A è la superficie di suolo oggetto di studio, P è la pressione atmosferica, T è la temperatura dell'aria e R è la costante universale dei gas perfetti (figura 3.15).

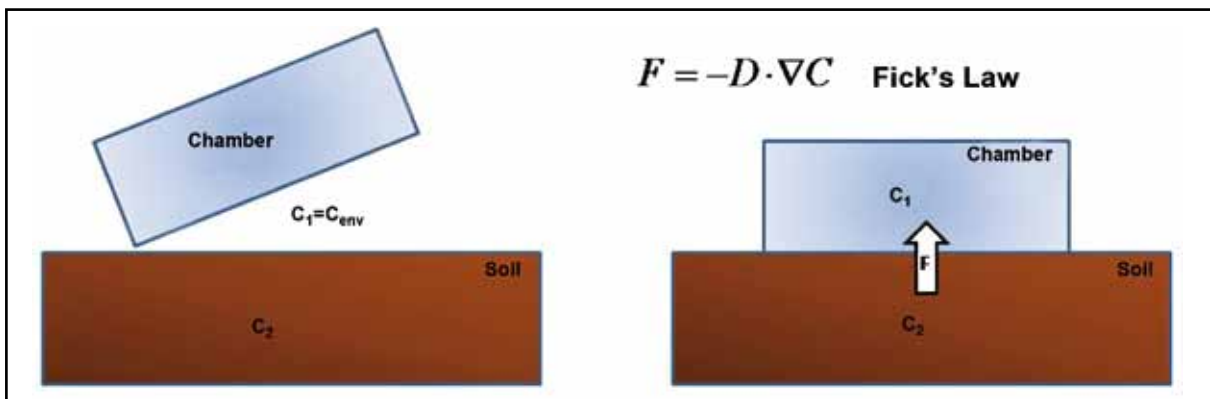


Figura 3.15 – Rappresentazione schema del funzionamento delle camere statiche. Prima della chiusura della camera la concentrazione misurata è pari a quella ambientale, dopo la chiusura la concentrazione aumenta.

3.2.3 Strumentazione

Nell'ambito del progetto sono state utilizzate due stazioni di misura micrometeorologiche per la misura dei flussi di CO₂, calore sensibile e calore latente mediante la tecnica dell'*eddy covariance*. Le stazioni erano costituite da un tripode sulla cui sommità sono stati posti un anemometro-termometro ultrasonico triassiale USA-1 (*Metek*, D) e un analizzatore veloce di CO₂ e acqua, in una stazione si trattava di un OP-2 (*ADC Bioscientific*, UK) mentre nell'altra un LICOR 7500 (*LICOR*, USA), entrambi a cammino ottico aperto. Il segnale in uscita da questi analizzatori è stato campionato e digitalizzato dal convertitore A/D dell'anemometro ultrasonico a 20 Hz. Quest'ultimo inviava a un computer i dati digitalizzati, insieme alle velocità del vento rilevate lungo le tre direzioni cartesiane e alla temperatura sonora, tramite una linea seriale.

Oltre ai sensori rapidi il sistema è stato dotato di sensori ancillari, a velocità minore, per la rilevazione dei flussi termici nel suolo (una sonda HFP01sc, *Hukseflux*, NL), umidità del suolo (una sonda TDR CS616, *Campbell sci.*, UK e una sonda EC5, *Decagon*, USA), temperatura e umidità dell'aria (sonda 50Y, *Campbell sci.*, UK), radiazione solare globale (SKS 1110/s, *Skye*, UK), radiazione fotosinteticamente attiva (Li190sz, *LICOR*, USA), radiazione netta (NR-Lite, *Kipp&Zonen*,

NL), temperatura del suolo (Pt100, *GMRstrumenti*, I), pioggia (52203, *Young*, USA). I dati dei sensori ancillari sono acquisiti da un *datalogger* CR10x (*Campbell sci*, UK) con la frequenza di un dato al minuto e restituiti come medie semiorarie. In *figura 3.16* a sinistra si può vedere una delle due stazioni impiegate con un'indicazione degli strumenti.

A partire da maggio 2011, è stato inoltre sviluppato (in collaborazione con *ECOMETRICS* s.r.l., spin-off company dell'Università Cattolica del Sacro Cuore) un sistema di campionamento, chiamato *SASSFLUX* (Static Automatic Sampler for Soil FLUX measurement), per la misura dei flussi di CO₂ (*figura 3.16* a destra). Il sistema è controllato da un computer mediante un programma, scritto in linguaggio *LABVIEW*, e una scheda di interfaccia della *National Instruments* (NI USB-6008, Austin, TX, USA). Il sistema apre e chiude automaticamente 4 camere del volume di 13 litri circa. L'aria, mediante 8 elettrovalvole comandate via software, viene alternativamente campionata, attraverso dei tubi, da ciascuna delle camere per poi esse re-immessa nella camera campionata. La misura della concentrazione di CO₂ viene effettuata mediante un analizzatore *Carbocap GMP 343* (*Vaisala*, S). Prima di ogni misura di concentrazione di CO₂ (sia ambientale che all'interno della camera chiusa) viene effettuata la procedura di avvinamento, cioè il lavaggio dei tubi: viene attivata la pompa e l'aria viene fatta circolare nel sistema idraulico di campionamento per un periodo sufficientemente lungo al termine del quale inizia la registrazione dei dati.



Figura 3.16 – Stazione micrometeorologica utilizzata nei campi coltivati a sodo (sinistra) e sistema di camere statiche *SASSFLUX* impiegato nella fase finale del progetto.

3.2.4 Risultati

In questa sezione verranno illustrati alcuni dei principali risultati raccolti nei due anni durante i quali sono state effettuate le campagne di misura. In particolare, l'attenzione verrà criticamente focalizzata su alcuni aspetti delle misure del primo anno che hanno mostrato problematiche legate alla tecnica di misura dell'*eddy covariance* e che hanno portato alla necessità di sviluppare il sistema di camere statiche per la misura dei flussi CO₂ (*SASSFLUX*). Per quanto riguarda le campagne di misura del secondo anno la comparazione tra le misure del periodo invernale (2010/11) nei due siti è di difficile realizzazione in quanto nel sito coltivato con aratura tradizionale era presente una coltura vernina mentre nell'altro sito era presente suolo nudo. L'attenzione sarà pertanto rivolta alla fase finale di esse quando il sistema *SASSFLUX* è stato installato prima nel sito coltivato a sodo e poi in quello coltivato ad aratura tradizionale.

Oltrepo Pavese - Misure di flusso in flusso in campi coltivati con aratura tradizionale, sito di Casanova Lonati (OLP_T-2)

In *figura 3.17* sono mostrati gli andamenti medi dei flussi di CO₂ nei mesi da luglio a dicembre

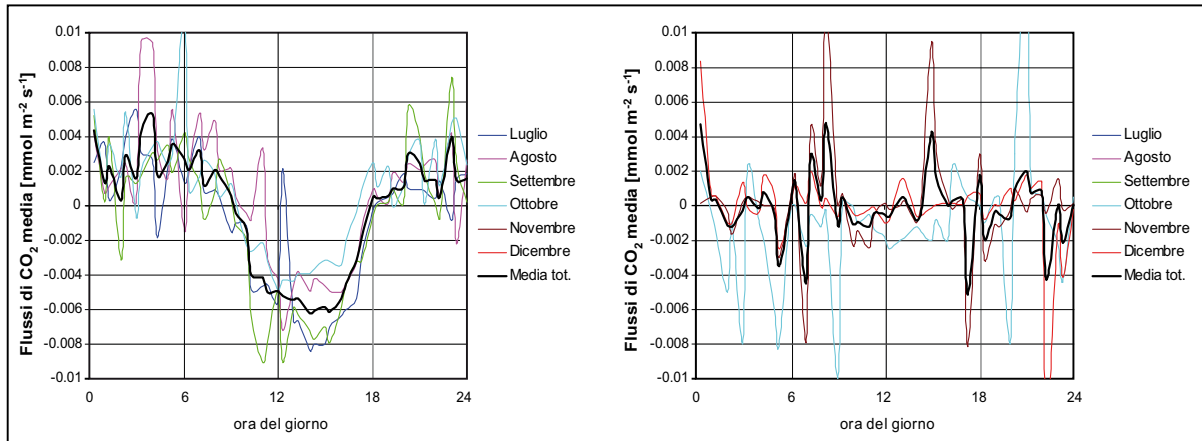


Figura 3.17 – Andamento medio giornaliero dei flussi di CO₂ prima dell’abbassamento dei sensori (grafico di sinistra) e dopo l’abbassamento dei sensori.

2010. I sensori sono stati posti a 2 m di altezza dal suolo e si può osservare una chiara tendenza alla rimozione di CO₂ nelle ore centrali della giornata anche nei mesi in cui non era presente vegetazione nel campo oggetto di studio, con valori intorno alle 6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ nelle ore centrali della giornata. Questo fenomeno può essere spiegato con la prevalenza della fotosintesi della vegetazione circostante sulla respirazione dei batteri presenti nel suolo. Nelle ore notturne, con la riduzione della turbolenza e dei movimenti atmosferici, l’influenza della vegetazione circostante si fa meno forte e si può quindi apprezzare la respirazione dei suoli sottostanti. Mentre l’assorbimento di CO₂ è diminuito al progredire della stagione autunnale, l’emissione di CO₂ notturna è rimasta pressoché costante attorno a un valore medio di 3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Per cercare di eliminare l’influenza della vegetazione circostante, dal 19/10/2010 i sensori di flusso sono stati abbassati fino a meno di 1 m dal suolo. Il risultato è stato la sostanziale scomparsa del picco di assorbimento di CO₂ nelle ore centrali del giorno, ma anche un indebolimento del segnale di emissione notturna. Resta comunque una tendenza alla emissione di CO₂ nelle prime ore del mattino e nel tardo pomeriggio.

In figura 3.18 è mostrato il confronto tra i flussi di CO₂ osservati nei 15 giorni precedenti l’aratura (effettuata il 3 agosto) e nei 15 giorni seguenti; si può osservare un picco di assorbimento di CO₂ nelle ore centrali del giorno meno pronunciato nella fase post aratura rispetto a quello

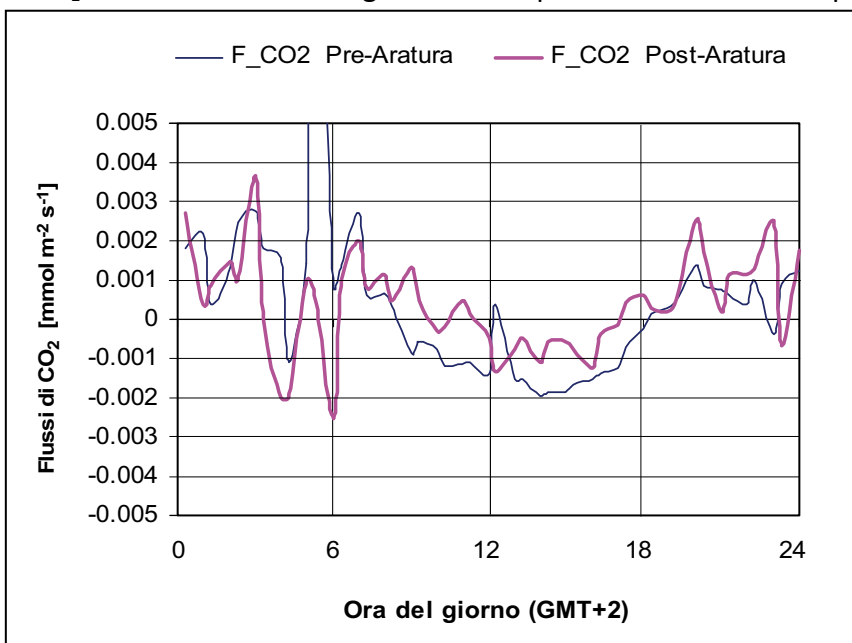


Figura 3.18 – Flussi medi di CO₂ nei 15 giorni precedenti all’aratura e nei 15 giorni successivi.

prearatura. Per contro i flussi nelle ore serali e notturne non sembrano aver subito alcun significativo incremento. Il flusso di CO₂ dal campo prearatura è stato di 20,2 mmol m⁻² d⁻¹ contro le 34,1 mmol m⁻² d⁻¹ postaratura. Su base media giornaliera, dunque, l'aratura ha comportato un aumento medio degli efflussi di CO₂ dal campo verso l'atmosfera di circa 14 mmol m⁻² d⁻¹, pari a circa il 70% in più.

Osservando poi l'andamento medio dei flussi di CO₂ per quattro mesi del 2011 (non sono disponibili ulteriori misure in questo sito per problemi strumentali) si può notare come, anche in mesi in cui la vegetazione era assente, nelle ore centrali della giornata la debole attività fotosintetica della vegetazione ai bordi del campo o da colture vernine presenti nei campi vicini influenzi le misure che mostrano un assorbimento netto di CO₂ (figura 3.19)

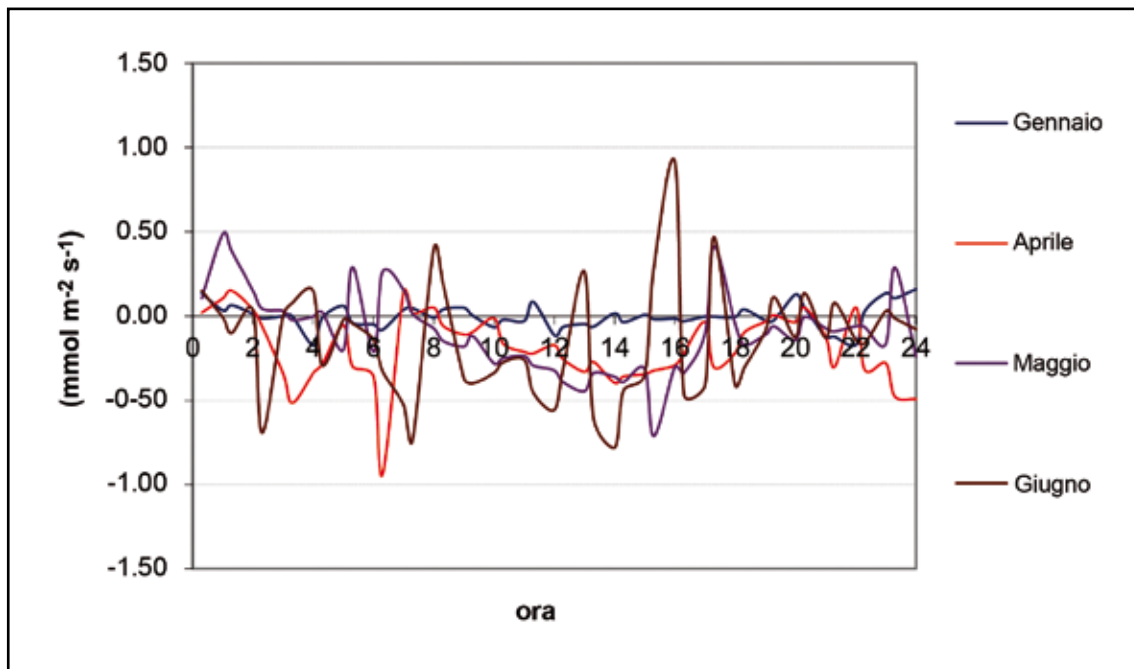


Figura 3.19 – Andamento medio giornaliero dei flussi di CO₂ nell'anno 2011.

Oltrepo Pavese - Misure di flusso in campi coltivati a sodo, sito di Barbianello (OLP_C-2)

Alcuni problemi tecnici sulla linea di corrente elettrica durante l'installazione della stazione di misura hanno causato il guasto sia del computer che dell'analizzatore di CO₂, ritardando, di fatto, l'inizio delle misure a settembre.

I flussi di CO₂ (figura 3.20) sono stati caratterizzati da un picco diurno di assorbimento di CO₂, soprattutto nel mese di settembre, con una forte attenuazione nei mesi successivi fino alla

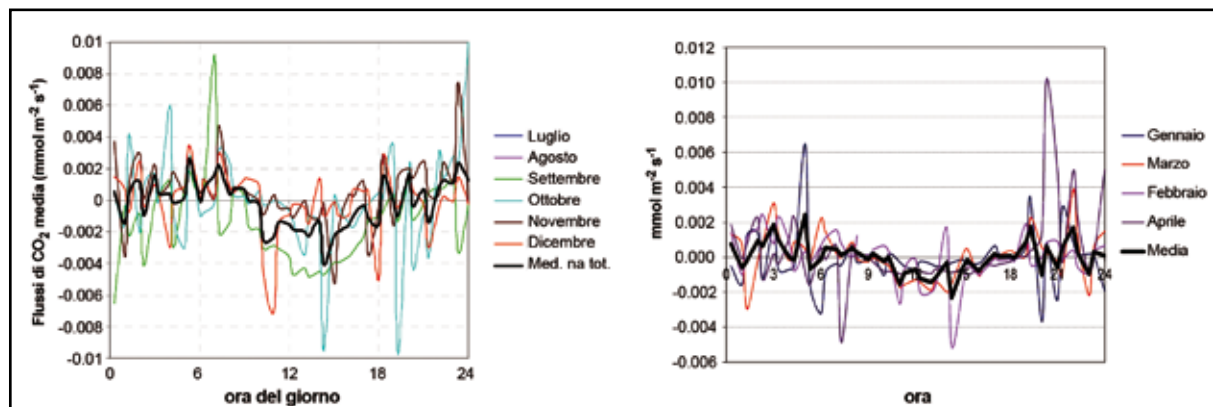


Figura 3.20 – Andamento medio giornaliero dei flussi di CO₂ nell'anno 2010 (a sinistra) e nei primi mesi dell'anno 2011. Le misure di settembre nel grafico a sinistra sono riferite a prima dell'abbassamento dei sensori.

quasi scomparsa nel mese di dicembre. Va ricordato che i dati del mese di settembre si riferiscono alle misure effettuate con i sensori di flusso posti a oltre 2 m di altezza, mentre quelle dei mesi successivi si riferiscono a quelle effettuate dopo l'abbassamento dei sensori al di sotto del metro di altezza.

Comparato con le misure del sito di Casanova Lonati, tuttavia, il picco di assorbimento di settembre pare del 50% più attenuato: 0,004 mmol m⁻² s⁻¹ di minimo a Barbianello contro gli 0,008 mmol m⁻² s⁻¹ a Casanova Lonati. Nelle ore serali e notturne si è evidenziata una tendenza all'efflusso di CO₂ con valori medi mai superiori alle 0,002 mmol m⁻² s⁻¹ contro le 0,003 mmol m⁻² s⁻¹ osservate a Casanova Lonati.

Le misure effettuate nei primi quattro mesi dell'anno 2011 (*figura 3.20*) mostrano un debole respirazione notturna, mediamente inferiore a quella dei mesi precedenti (circa 0,001 mmol m⁻² s⁻¹) al limite di rilevabilità per questo tipo di misure. Anche in questo caso, nelle ore centrali della giornata, si può osservare un assorbimento di CO₂ (circa 0,001 mmol m⁻² s⁻¹) spiegabile solamente con l'influenza della vegetazione al di fuori del campo oggetto di studio. Provando a confrontare il bilancio della CO₂ mese per mese si può osservare come in molti mesi, anche in assenza di vegetazione si sia osservata una prevalenza della fotosintesi sulla respirazione, probabilmente per l'influenza della vegetazione circostante. Solo nei mesi di novembre e dicembre si è osservato un bilancio positivo della CO₂ con una emissione, a novembre, dal campo coltivato a sodo doppia rispetto a quella del campo coltivato con aratura tradizionale.

Nel mese successivo l'emissione del campo coltivato con aratura tradizionale è stata molto maggiore (4,5 volte) del campo coltivato a sodo (*tabella 3.22*).

	Casanova (tradizionale) mmol m ⁻² d ⁻¹	Barbianello (conservativa) mmol m ⁻² d ⁻¹	Differenza Casanova -Barbianello mmol m ⁻² d ⁻¹	Differenza %
Settembre	-150	-119,4	-30,6	
Ottobre	-57,8	-4	-53,8	
Novembre	25,5	50,4	-24,9	-51%
Dicembre	38,7	8,1	30,6	478%
Gennaio	-4,1	-0,11	-4,0	<
Febbraio	x	0,04		
Marzo	x	0,07		
Aprile	-273,5	x		
Maggio	-139,2	x		
Giugno	-212,3	x		

Tabella 3.22 – Bilancio mensile dei flussi di CO₂ nel sito di Casanova Lonati (coltivato con aratura tradizionale), nel sito di Barbianello (coltivato a sodo), differenza tra i due siti e differenza percentuale.

Lodigiano - Misure di flusso in campi coltivati a sodo, sito di San Martino in Strada (LOD_C-1) Misure di flusso con la tecnica dell'eddy covariance

Gli andamenti dei flussi di calore latente e sensibile misurati utilizzando la tecnica dell'*eddy covariance*, sono mostrati in *figura 3.21*. Ogni figura mostra per entrambi i flussi il grafico del giorno medio di uno specifico mese da luglio a ottobre. Sono stati utilizzati solo i dati che soddisfano i controlli di qualità.

In tutti i mesi l'andamento dei flussi di calore sensibile e latente mostra il tipico andamento a campana, legato essenzialmente alla disponibilità di energia ricevuta sotto forma di radiazione solare. L'energia disponibile influenza in ciascun mese sia i valori massimi che la durata del periodo nel quale l'agro-ecosistema rilascia calore sensibile e latente. Nel mese di luglio si osserva una forte predominanza del flusso di calore latente (LE) sul flusso di calore sensibile (H) con valori massimi per il primo intorno ai 500 W m⁻² e per il secondo intorno ai 200 W m⁻². Il flusso di calore sensibile diventa negativo nelle ore notturne, cioè di notte l'agroecosistema assorbe

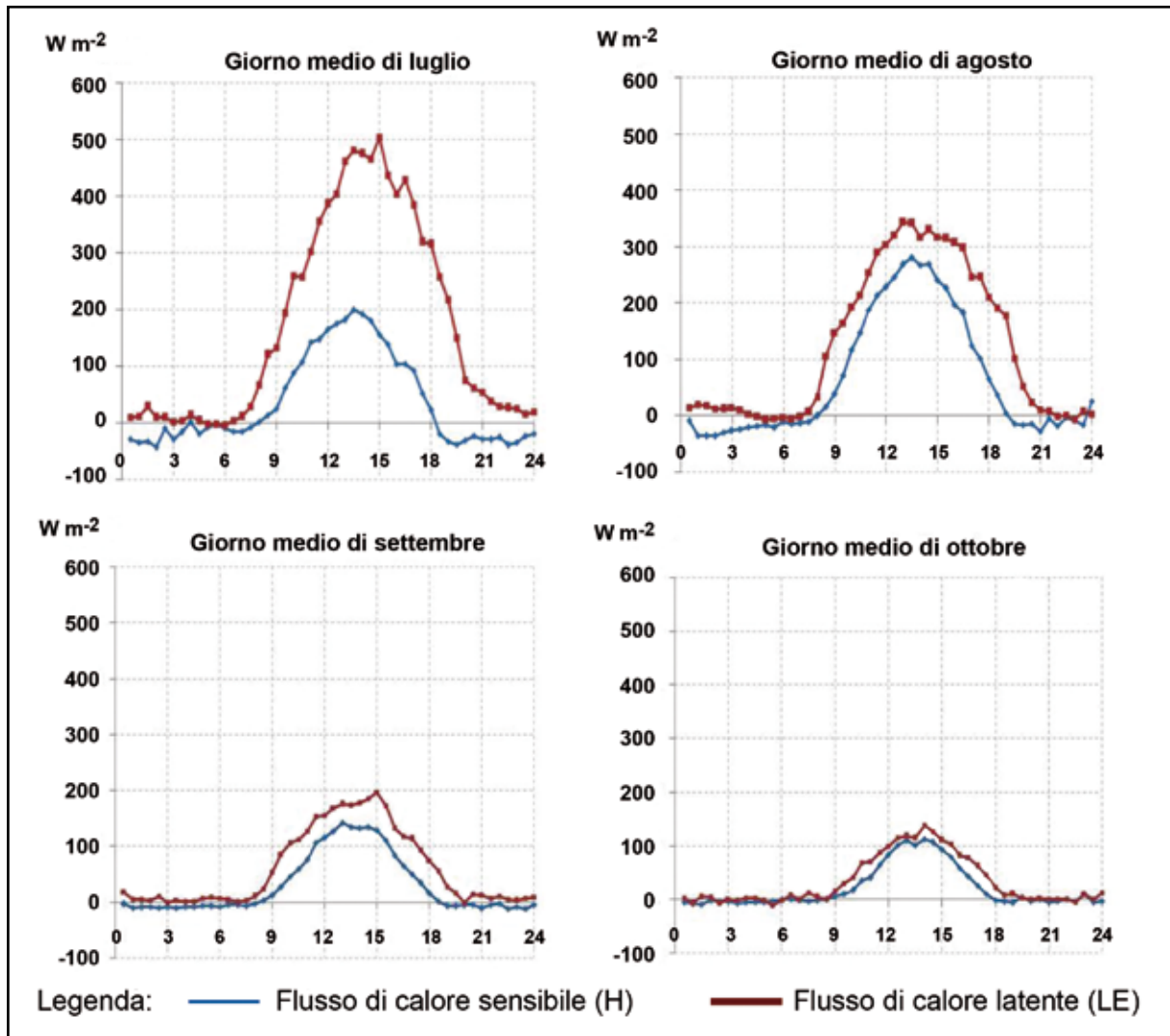


Figura 3.21 – Andamento dei flussi di calore sensibile (linea blu) e calore latente (linea rossa) nei mesi di luglio (in alto a sinistra), agosto (in alto a sinistra), settembre (in basso a sinistra) e ottobre (in basso a destra).

calore dall'aria calda circostante. Il valore medio del flusso di calore sensibile è stato di $37,7 \text{ W m}^{-2}$ mentre quello di flusso di calore latente di $182,3 \text{ W m}^{-2}$. La differenza tra i due flussi si riduce dall'inizio del mese di agosto, fino al giorno 10, dopo il quale H ed LE hanno andamenti e valori confrontabili. Questo andamento può essere spiegato con la maturazione della coltura che comporta una significativa riduzione della traspirazione. L'evapotraspirazione massima (350 W m^{-2}), così come il massimo del flusso di calore sensibile (280 W m^{-2}), vengono osservati intorno alle 13. Nelle ore notturne l'agroecosistema si comporta da *sink* per il calore con valori di H negativi. Sono stati misurati flussi medi di $73,1 \text{ W m}^{-2}$ (H) e $136,7 \text{ W m}^{-2}$ (LE) rispettivamente. Dopo aver effettuato il raccolto a inizio settembre, entrambi i flussi sperimentano una riduzione di circa il 60% a causa della rimozione della copertura vegetativa. Non si osservano variazioni nel rapporto tra i due flussi, che registrano un valore massimo di 150 W m^{-2} e di 200 W m^{-2} rispettivamente. Di notte il flusso di calore sensibile è solo debolmente negativo, il che implica una ridotta escursione termica tra giorno e notte. Il valore medio per H è stato $32,9 \text{ W m}^{-2}$, $64,8 \text{ W m}^{-2}$ per LE. A ottobre entrambi i flussi mostrano un'altra significativa riduzione, ma di minore portata, che porta i flussi massimi a 100 W m^{-2} per H e 150 W m^{-2} per LE. In quest'ultimo mese i valori medi misurati sono $24,3 \text{ W m}^{-2}$ e $37,3 \text{ W m}^{-2}$ rispettivamente.

Nei mesi tra luglio e ottobre oltre ai flussi di calore latente e sensibile, sono stati misurati anche il flusso e la concentrazione atmosferica dell'anidride carbonica (CO_2). A partire dai dati di flus-

so è stato calcolato per ciascun mese il bilancio netto degli scambi di carbonio (Net Ecosystem Exchange, NEE). Gli andamenti medi mensili dei flussi e delle concentrazioni atmosferiche di CO₂ per i quattro mesi presi in esame sono mostrati rispettivamente in *figura 3.22* e *figura 3.23* (pagina seguente). In luglio si sono registrati flussi massimi notturni di 10-15 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ e flussi minimi di -25 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ nelle ore notturne, mentre si sono avuti valori massimi di concentrazione attorno ai 400 ppm nelle ore notturne, e valori minimi di circa 240 ppm nelle ore diurne. Considerando il mese nel suo complesso si è misurato un assorbimento netto di -341,8 gCO₂ m⁻² che indica una predominanza della fotosintesi sulla respirazione. I livelli massimi e minimi della concentrazione di CO₂ si mantengono stazionari nel mese di agosto, mentre i

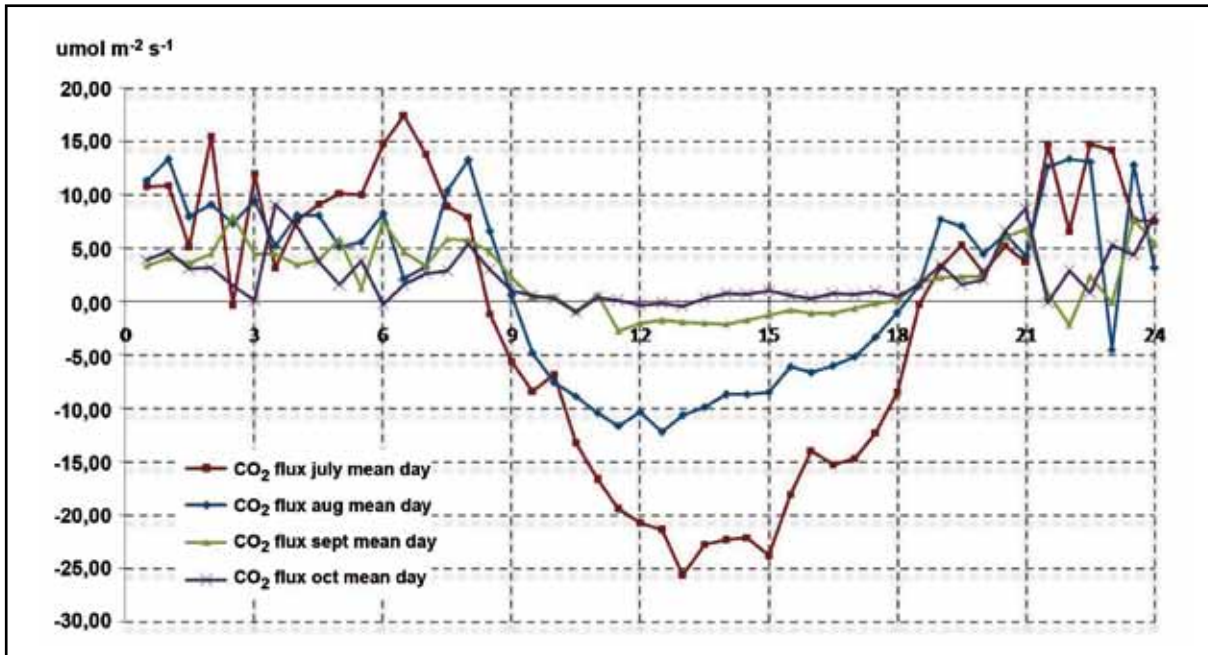


Figura 3.22 – Andamenti medi dei flussi di CO₂: luglio (linea rossa), agosto (linea blu), settembre (linea verde) e ottobre (linea viola).

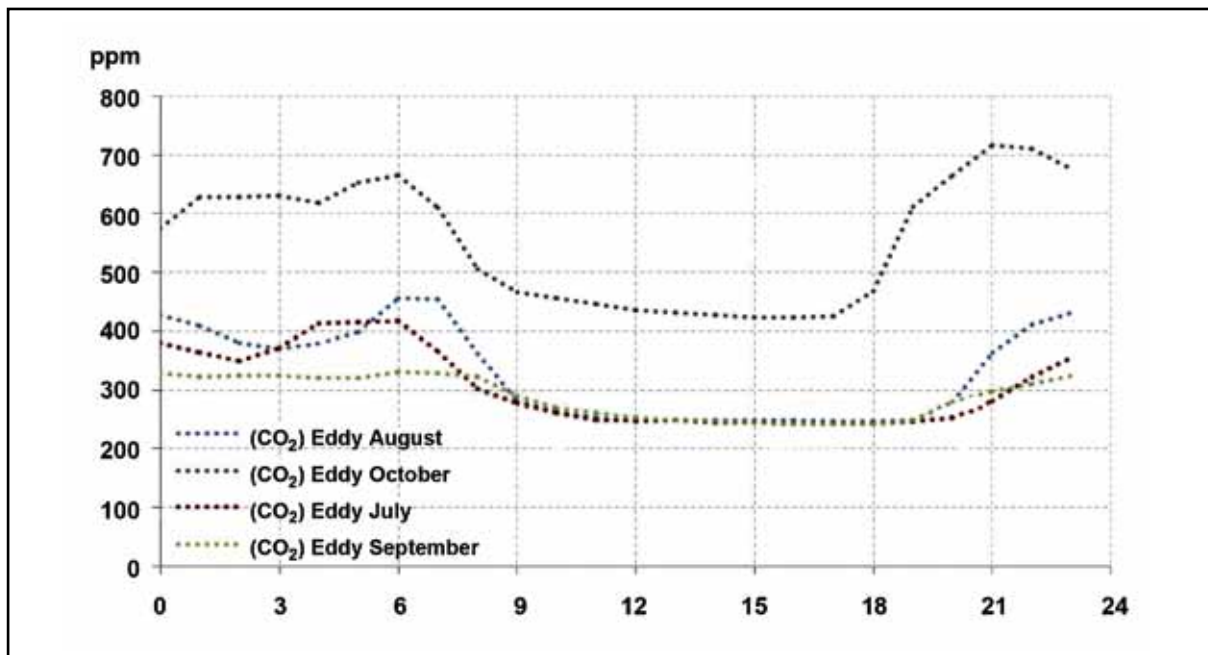


Figura 3.23 – Andamenti medi della concentrazione atmosferica di CO₂: luglio (linea rossa), agosto (linea blu), settembre (linea verde) e ottobre (linea viola).

flussi notturni sperimentano una leggera riduzione. Molto più importante la riduzione nell'intensità dei flussi diurni, che passano da -25 a $-10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Questo ridotto assorbimento CO_2 di è indice di una minore attività fotosintetica che porta il bilancio totale del carbonio a una leggera predominanza della respirazione, con una emissione totale di $23,9 \text{ gCO}_2 \text{ m}^{-2}$ di CO_2 . In settembre le concentrazioni notturne e diurne di CO_2 sono caratterizzate da notevole stabilità, infatti di notte si mantengono intorno a 320 ppm, mentre di giorno si attestano circa a 240 ppm come nei due mesi precedenti. Dopo il raccolto la fotosintesi viene quasi completamente annullata, anche se si misurano ancora deboli flussi diurni negativi dovuti probabilmente alla presenza di vegetazione spontanea presente nel campo o ai suoi bordi. Anche il flusso respiratorio notturno viene ridotto a circa $5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mentre si misura un'emissione netta di $199,2 \text{ gCO}_2 \text{ m}^{-2}$. In ottobre si assiste a un notevole incremento nell'andamento delle concentrazioni su tutte le 24h; le concentrazioni notturne oscillano infatti tra 500 e 700 ppm, mentre quelle diurne si mantengono a circa 450 ppm. Tale aumento generalizzato è probabilmente dovuto alle mutate condizioni climatiche, infatti in ottobre predomina un clima freddo e nuvoloso con frequenti nebbie, tipiche condizioni di stratificazione e abbassamento del boundary layer non solo di notte, ma anche nelle ore diurne. È probabile che anche l'incremento nell'uso di riscaldamento e autoveicoli dia un contributo apprezzabile. In quest'ultimo mese il freddo riduce ulteriormente le funzioni metaboliche dell'ecosistema e l'intensità dei flussi, sia notturni (in media $3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) che diurni, che sono più bassi dei mesi precedenti.

*Lodigiano - Misure di flusso in campi coltivati a sodo, sito di San Martino in Strada (LOD_C-1)
Misure di flusso con la tecnica delle camere statiche*

Nel sito di San Martino in Strada il sistema SASSFLUX è stato impiegato per gli stessi quattro mesi trattati sinora, cioè tra luglio e ottobre. In ciascuna delle quattro figure seguenti sono riportati i grafici del flusso di CO_2 del giorno medio mensile per ciascuna camera del sistema. È stato aggiunto anche l'andamento della concentrazione di CO_2 esterna.

In ciascun mese considerato i flussi misurati dalle varie camere sono stati confrontati tra loro; leggere differenze in fase e intensità sono facilmente spiegabili tenendo conto che ciascuna camera ha una differente esposizione alla luce solare la quale scalda diversamente il suolo e influenza l'attività microbica nel suolo stesso. Si può notare che, a differenza delle misure effettuate con la tecnica dell'*eddy covariance*, tutti i flussi misurati sono sempre positivi. Tutti i grafici delle concentrazioni di CO_2 mostrano invece il tipico andamento a campana rovesciata. In luglio (*figura 3.24*) si è misurato un flusso medio di $1,86 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e una concentrazione media di 541 ppm (circa 6-700 ppm di notte, 450 di giorno). Il flusso massimo è stato misurato nelle prime ore del pomeriggio, in corrispondenza del massimo delle temperature, e quindi del metabolismo microbico del suolo. Nelle ore notturne sono stati misurati flussi compresi tra le 1,5 e $2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per tutte e tre le camere, mentre nelle ore di luce il flusso misurato dalla camera 4 è leggermente inferiore all'andamento giornaliero medio delle camere 1 e 3 che mostrano tra di loro un buon grado di comparabilità a tutte le ore del giorno.

In agosto (*figura 3.25*) è stato misurato un flusso medio di $3,46 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ di CO_2 e una concentrazione media di 636 ppm, con picchi nelle ore notturne di oltre 900 ppm e valori diurni abbastanza stabili intorno ai 400 ppm. L'incremento in questi valori è probabilmente una diretta conseguenza di temperature superiori. Inoltre, l'apparato radicale ha raggiunto la sua piena estensione prima del raccolto e questo porta ad un aumento della respirazione radicale. Il flusso massimo si osserva nel primo pomeriggio come nel mese di luglio, con le tre camere che misurano flussi compresi tra le $3,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e le $4,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mentre di notte i flussi oscillano tra $2,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Osservando i massimi e i minimi dell'andamento misurato dalla camera 1, si può notare che esso sembra traslato un'ora

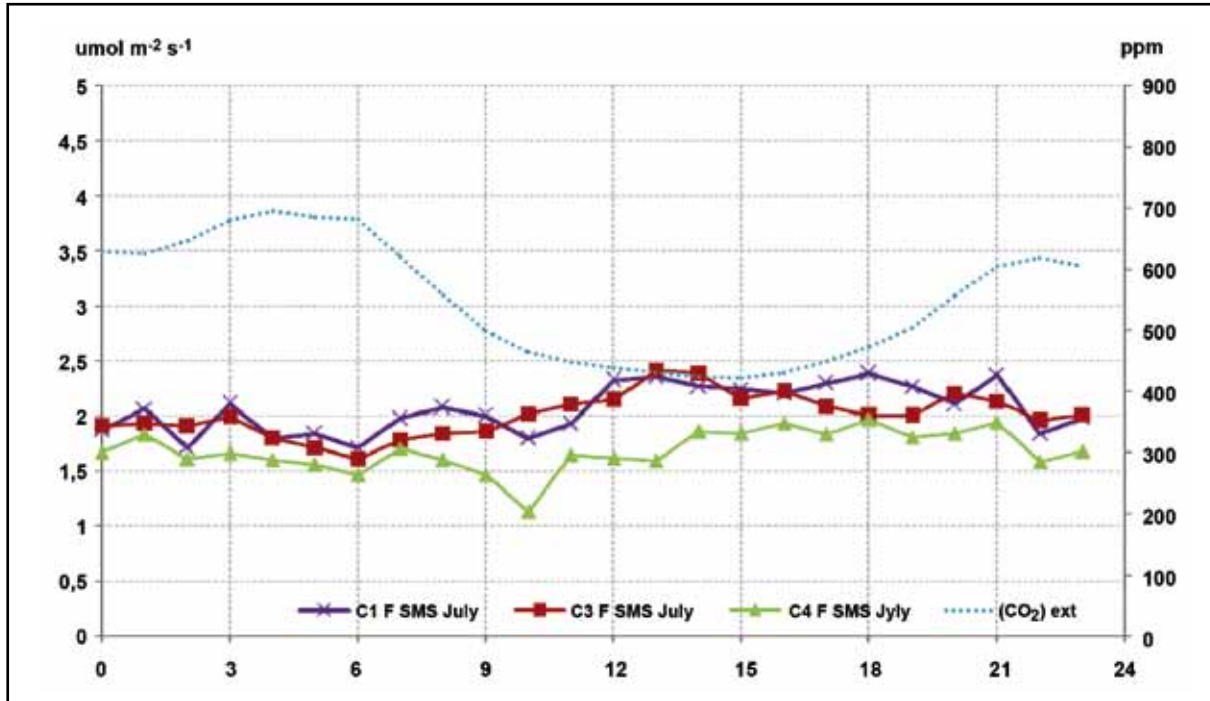


Figura 3.24 – Flussi medi giornalieri nel mese di luglio per ciascuna camera nel sito di San Martino in Strada. La linea tratteggiata della concentrazione di CO₂ si riferisce all'asse verticale destro.

in avanti rispetto agli altri due, riguardo le intensità dei flussi invece, è da evidenziare che la camera 2 rileva praticamente sempre flussi inferiori rispetto alle altre due camere. Tutti i flussi presentano una variabilità superiore a quella rilevata nel mese di luglio.

Appena prima dell'inizio delle misure in settembre è stato effettuato il raccolto; viene registrato un flusso medio di 2,53 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e una concentrazione media di 572 ppm. Anche in questo caso i valori maggiori si osservano durante i picchi mattutino e serale, con concentrazioni di circa 700 ppm, mentre di giorno la concentrazione è minore (circa 400 ppm). Tempera-

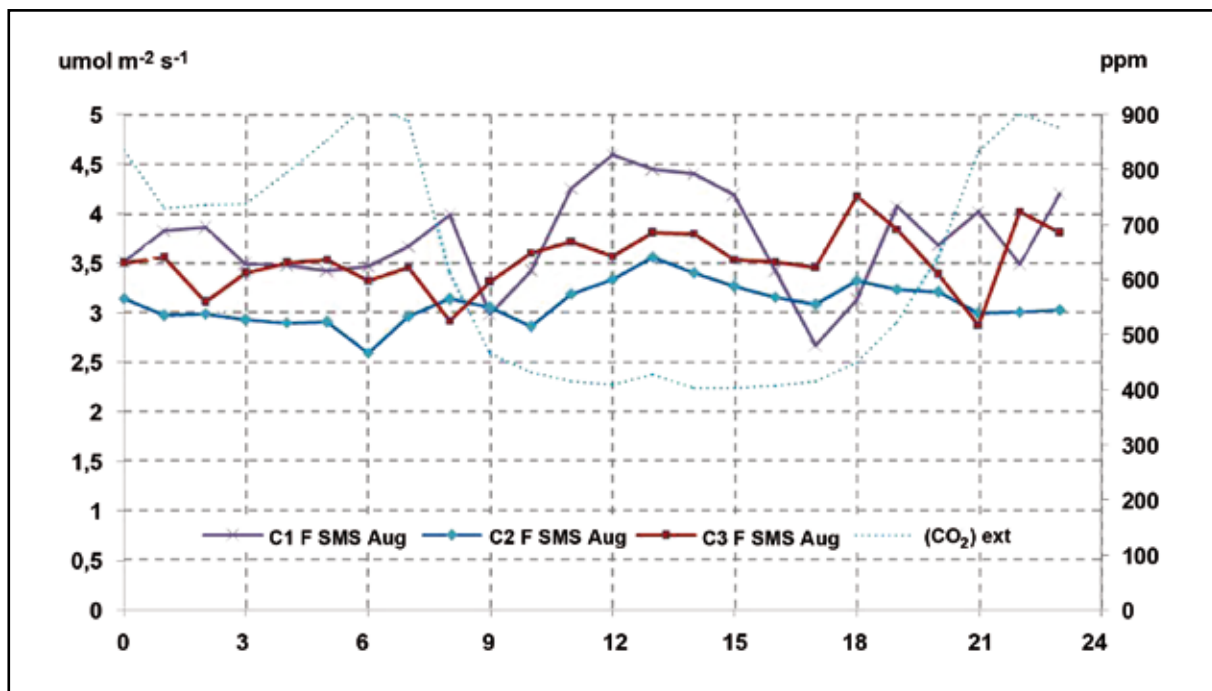


Figura 3.25 – Flussi medi giornalieri nel mese di agosto per ciascuna camera nel sito di San Martino in Strada. La linea tratteggiata della concentrazione di CO₂ si riferisce all'asse verticale destro.

ture più basse e una riduzione nella respirazione radicale sono responsabili dei flussi minori. In generale, le tre camere mostrano un buon grado di accordo durante le ore notturne, con flussi intorno ai $2,5-3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mentre di giorno gli andamenti differiscono in modo sostanziale durante il giorno. Durante le ore di luce infatti, le camere 2 e 3 misurano una riduzione del flusso fino a valori di circa $2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mentre la camera 1 registra un flusso crescente fino a un massimo di $3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nel pomeriggio. L'andamento della camera 2 presenta uno sfasamento di circa due ore rispetto a quello misurato dalle altre due camere (figura 3.26). Un'ulteriore riduzione nel flusso e nelle temperature si misura in ottobre (figura 3.27); in questo mese il flusso medio è stato di $2,23 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mentre la concentrazione media si attesta sui 603 ppm, con valori massimi di circa 750 ppm nelle ore dopo il tramonto, 600 ppm prima del sorgere del sole e 450 ppm nelle ore diurne. Anche se il flusso di CO_2 è sempre positivo, tutte le camere mostrano un andamento giornaliero simile a quello a campana rovesciata, con una marcata riduzione del flusso nelle ore diurne. Si può notare che in questo caso l'andamento dei flussi è simile a quello della concentrazione atmosferica di CO_2 , con flussi massimi di $2,5-3,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ alla sera, $2-2,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dopo la mezzanotte e valori minimi compresi tra $1,2$ e $2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ durante il giorno. Anche in questo caso la camera 3 ha misurato flussi minori delle altre.

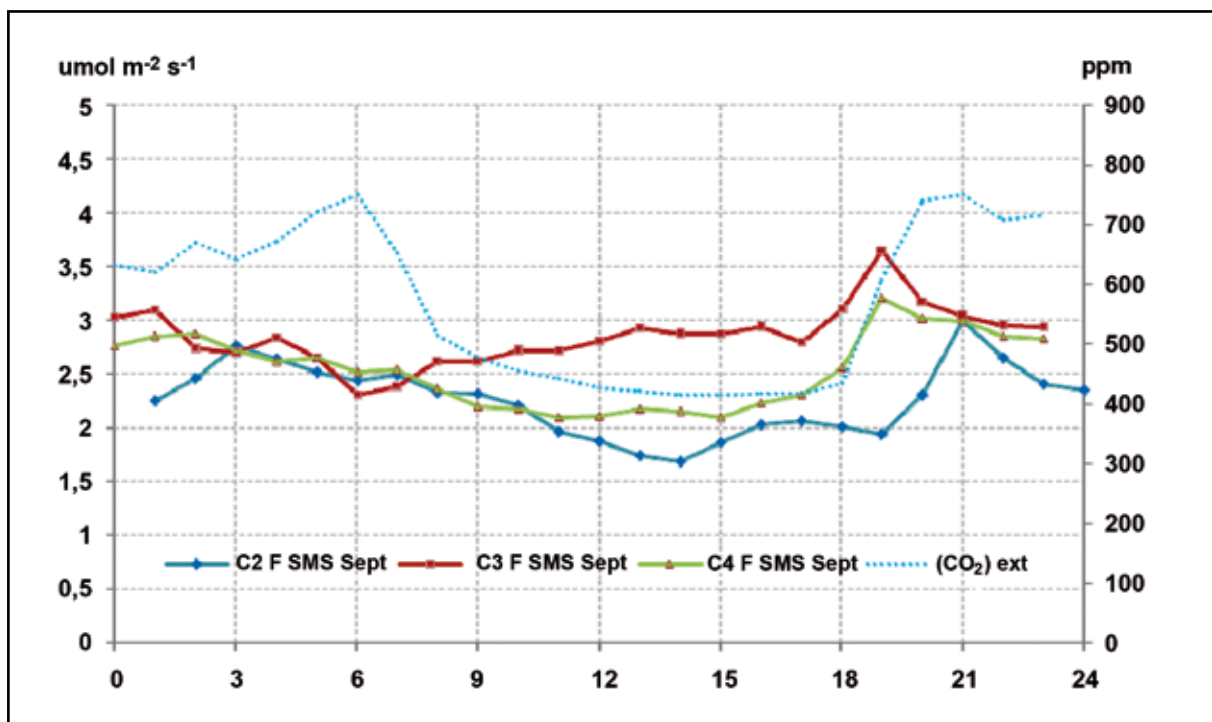


Figura 3.26 – Flussi medi giornalieri nel mese di settembre per ciascuna camera nel sito di San Martino in Strada. La linea tratteggiata della concentrazione di CO_2 si riferisce all'asse verticale destro.

Confronto tra le tecniche di misura

La variabilità delle misure ottenute utilizzando la tecnica dell'*eddy covariance* è molto maggiore di quella delle misure ottenute con il SASSFLUX. Nella figura 3.28 viene mostrato il confronto tra l'andamento del flusso medio e della concentrazione atmosferica di CO_2 misurati con le due tecniche nei mesi di luglio e ottobre.

Se da una parte il flusso medio misurato dal sistema SASSFLUX si mantiene relativamente costante nel corso della giornata e passa da valori di poco inferiori a $5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ad agosto a valori intorno a $2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ad ottobre, le misure ottenute con l'EC mostrano una maggiore variabilità passando da un massimo di $15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e un corrispondente minimo di

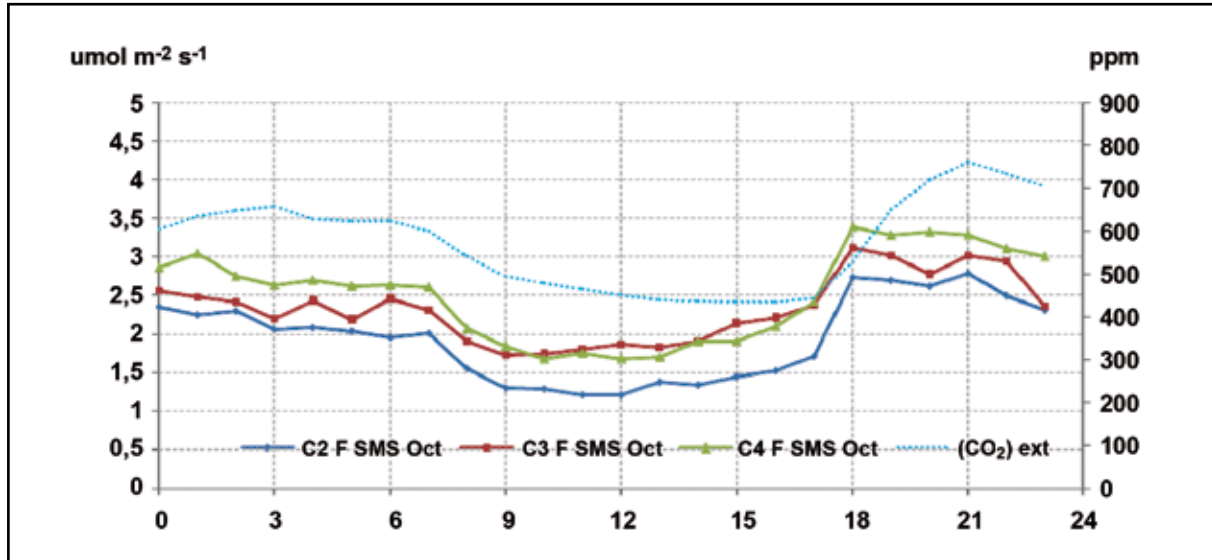


Figura 3.27 – Flussi medi giornalieri nel mese di ottobre per ciascuna camera nel sito di San Martino in Strada. La linea tratteggiata della concentrazione di CO₂ si riferisce all'asse verticale destro.

-25 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nel per il mese di luglio a un massimo di 5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a un corrispondente minimo di -1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nel mese di ottobre. La medesima variabilità o stabilità si ritrova anche negli andamenti delle concentrazioni di CO₂. Mentre le concentrazioni misurate dal sistema SASSFLUX si mantengono abbastanza simili sia nel mese di luglio che in quello di ottobre, con un massimo di circa 700 ppm nelle ore notturne, 450 ppm di giorno e con l'unica differenza degna di nota rappresentata da un picco mattutino ridotto in inverno, le concentrazioni atmosferiche di CO₂ misurate con la tecnica EC hanno valori massimi che passano da oltre 400 ppm in luglio a 300 ppm in ottobre, mentre i valori minimi diurni si mantengono sui 250 ppm in entrambi i mesi.

Lodigiano - Misure di flusso in campi coltivati con aratura tradizionale, sito di Secugnago (LOD_T-3)

Misure di flusso con la tecnica delle camere statiche

Un secondo sistema SASSFLUX è stato impiegato nel sito di Secugnago (coltivato con aratura tradizionale) a partire dal 6 settembre, i valori di flusso e di concentrazione di CO₂ sono dunque disponibili per due mesi.

In settembre (figura 3.29) le camere 1 e 2 mostrano un andamento dei flussi molto simile, mentre quelli della camera 4 e soprattutto della camera 3 sono molto differenti a causa di diversi periodi di funzionamento; la camera 3 infatti ha smesso di funzionare l'11 settembre per un guasto meccanico, lo stesso è capitato alla camera 4 il 15 settembre.

Restrungendo le misurazioni al periodo 6-11 settembre si ottengono quattro andamenti simili, che confermano la coerenza delle misure tra tutte le camere del sistema. Si è rilevato un flusso medio di 0,77 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per le camere 1 e 2, 1,16 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per la camera 3 e 0,9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per la camera 4, mentre la concentrazione media di CO₂ è stata di 583 ppm. Le camere 1 e 2 mostrano un andamento a campana rovesciata, anche se il flusso misurato non è mai negativo e passa da un massimo di circa 1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a un minimo di 0,3 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in tarda mattinata. La riduzione nel flusso giornaliero è appena abbozzata invece per la camera 4 (valore minimo 0,7 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), mentre la camera 3 presenta un andamento in cui il flusso è maggiore nelle ore diurne che in quelle notturne. L'andamento della camera 3 presenta due massimi: uno alle ore 15 di 1,4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e il secondo alle 18 di circa 1,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

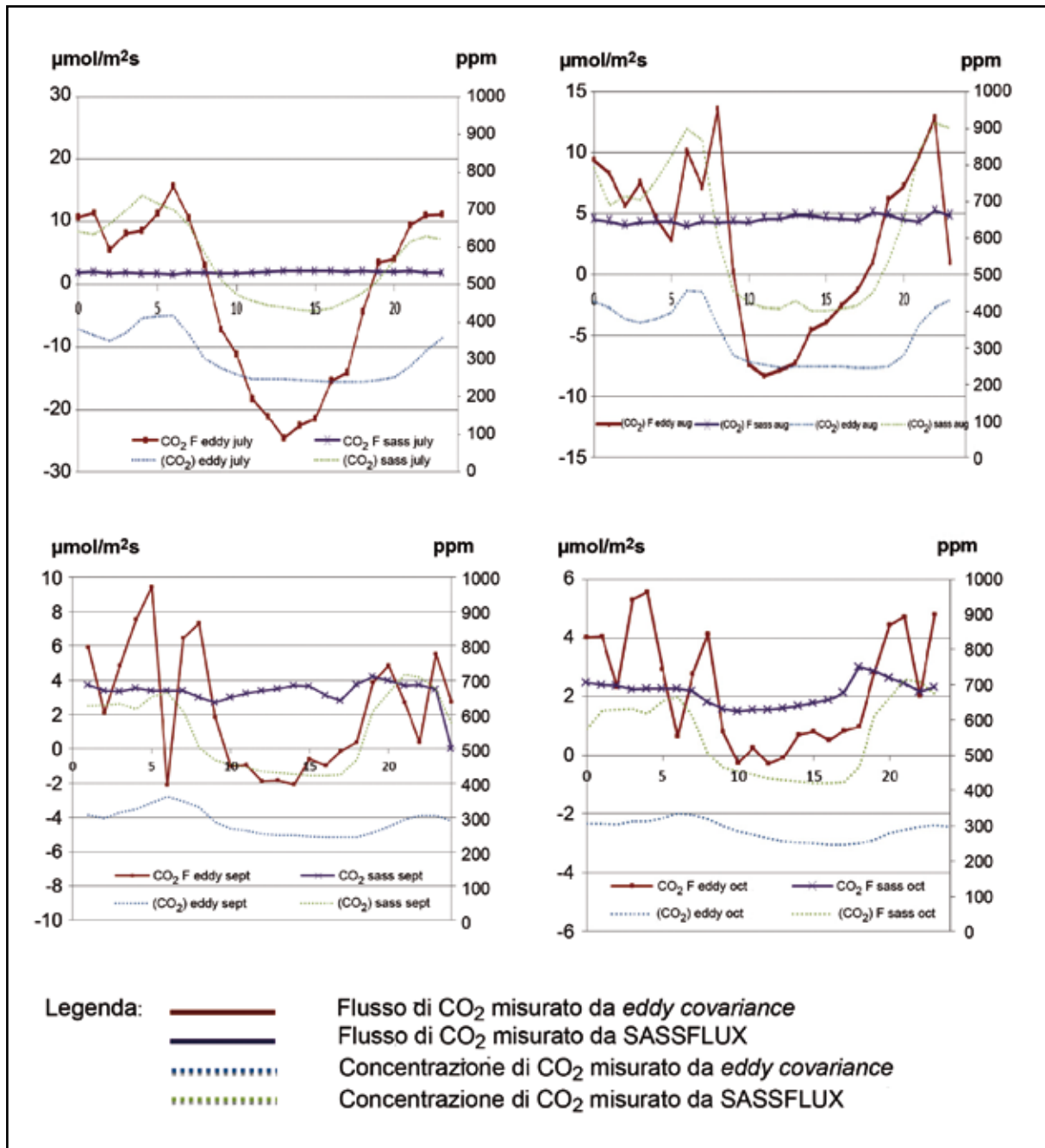


Figura 3.28 – Confronto tra l'andamento del flusso medio e della concentrazione atmosferica di CO₂ misurati con le due tecniche nei mesi di luglio (in alto a sinistra), agosto (in alto a destra), settembre (in basso a sinistra) e ottobre (in basso a destra).

La concentrazione atmosferica di anidride carbonica è massima di notte (poco meno di 700 ppm) e si riduce durante il giorno (circa 450 ppm); il valore medio giornaliero è 583 ppm.

In ottobre (figura 3.30) è stata simulata un'aratura superficiale sulla camera 1, e questo ha portato a differenze nel flusso osservato. La camera 1 infatti presenta un tipico andamento in cui i flussi misurati sono maggiori durante il giorno, con due picchi: uno alle ore 13 ($0,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e il secondo tra le 18 e le 19 ($0,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Le camere 2 e 3 invece mostrano un profilo a campana rovesciata con andamenti simili per tutto il giorno. I flussi misurati in queste camere sono di circa $0,4-0,6$ nel periodo notturno e si riducono nelle ore di luce fino a $0,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per la camera 3 e $-0,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per la camera 2. Questo flusso negativo è un chiaro segnale di attività fotosintetica, infatti nel

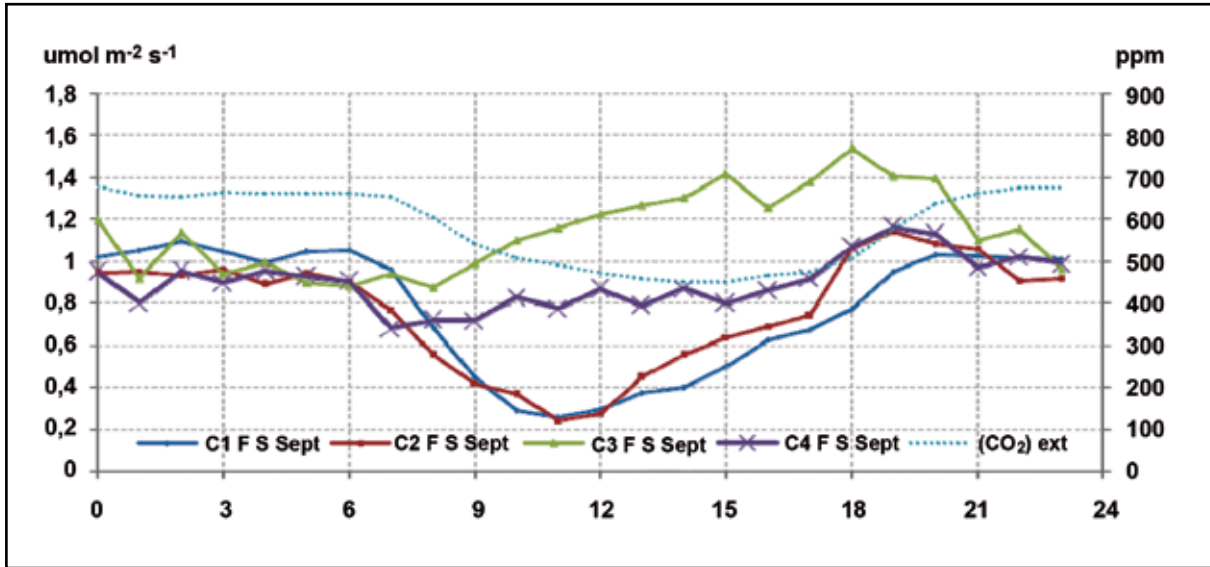


Figura 3.29 – Flussi medi giornalieri nel mese di settembre per ciascuna camera nel sito di Secugnago. La linea tratteggiata della concentrazione di CO₂ si riferisce all’asse verticale destro.

sito di Secugnago era presente una sottile patina verde che copriva il suolo. Essa è stata rimossa dall’aratura simulata, eliminando in questo modo anche l’assorbimento diurno di anidride carbonica.

La camera 4 è rimasta bloccata per tutto il mese. I flussi medi giornalieri sono stati rispettivamente 0,558 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (camera 1), 0,289 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (camera 2) e 0,471 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (camera 3), mentre il valore medio per la concentrazione di CO₂ è stato di 586 ppm. La concentrazione atmosferica è massima alle ore 21, dove raggiunge valori superiori ai 750 ppm, e decresce abbastanza costantemente fino a valori minimi di 500 ppm nelle prime ore del pomeriggio.

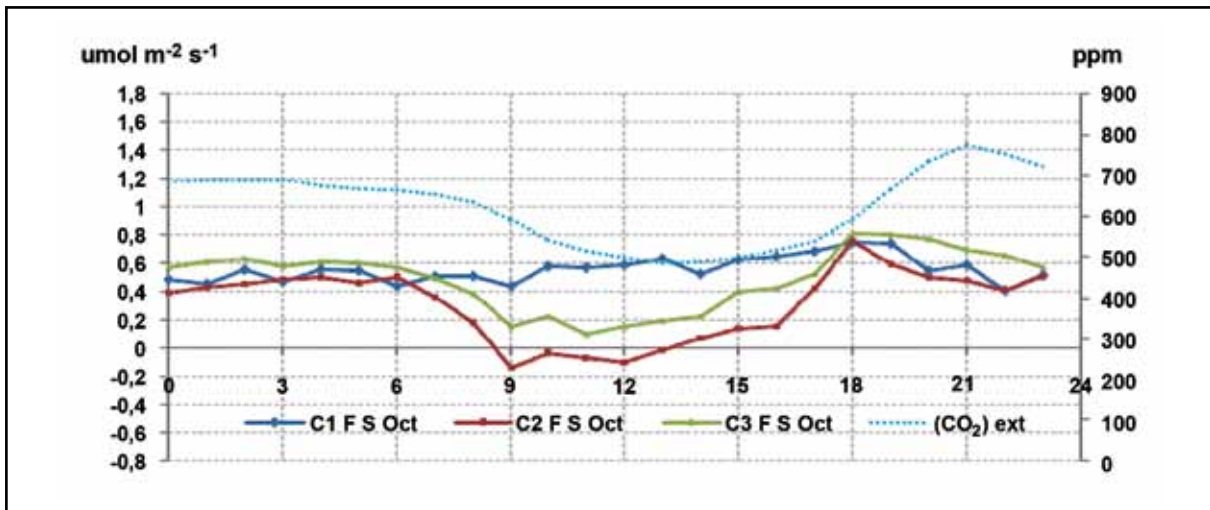


Figura 3.30 – Flussi medi giornalieri nel mese di ottobre per ciascuna camera nel sito di Secugnago. La linea tratteggiata della concentrazione di CO₂ si riferisce all’asse verticale destro. Confronto tra lavorazione a sodo e tradizionale.

Confronto tra lavorazione a sodo e tradizionale

In entrambi i siti di misura è stato effettuato il raccolto, anche se a circa 10 giorni di distanza l’uno dall’altro. A seguito della rimozione della copertura vegetale, il flusso medio sperimenta solo una limitata variazione, infatti nel sito di San Martino in Strada esso passa da 4,8 a 4,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ mentre nel sito di Secugnago i flussi medi prima e dopo il raccolto sono rispet-

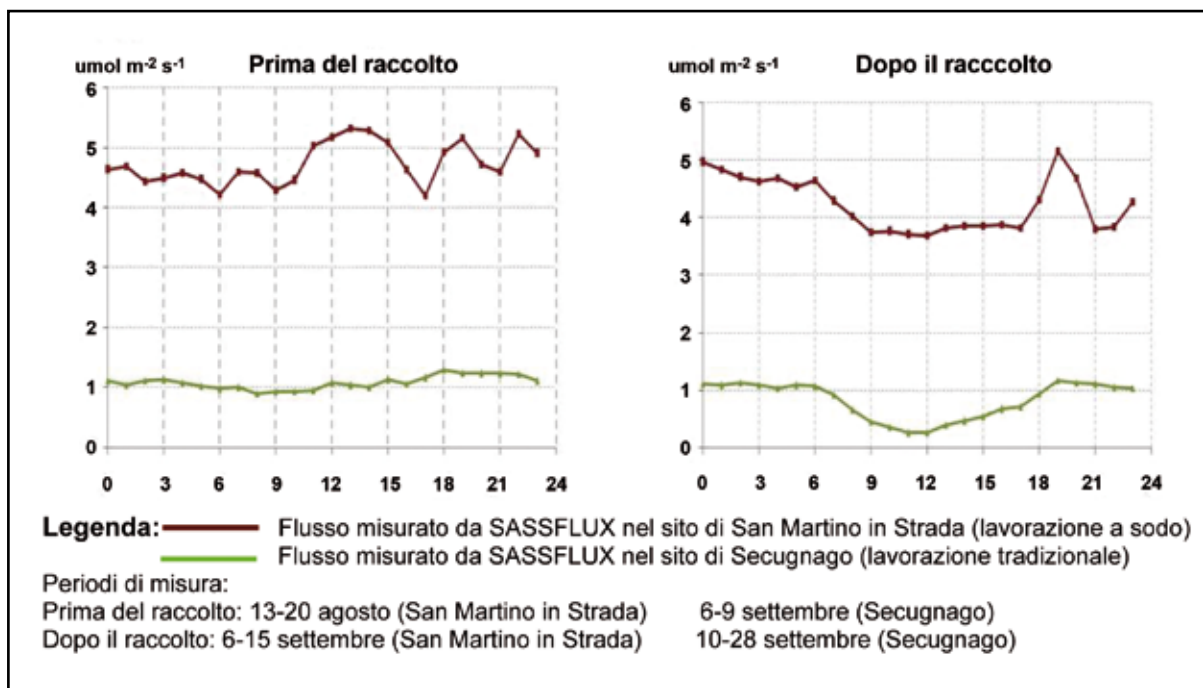


Figura 3.31 – Dopo il raccolto, in entrambi i siti si misura una riduzione nel flusso diurno di circa $1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Nel sito di San Martino in Strada questo si accompagna con un leggero aumento del flusso notturno.

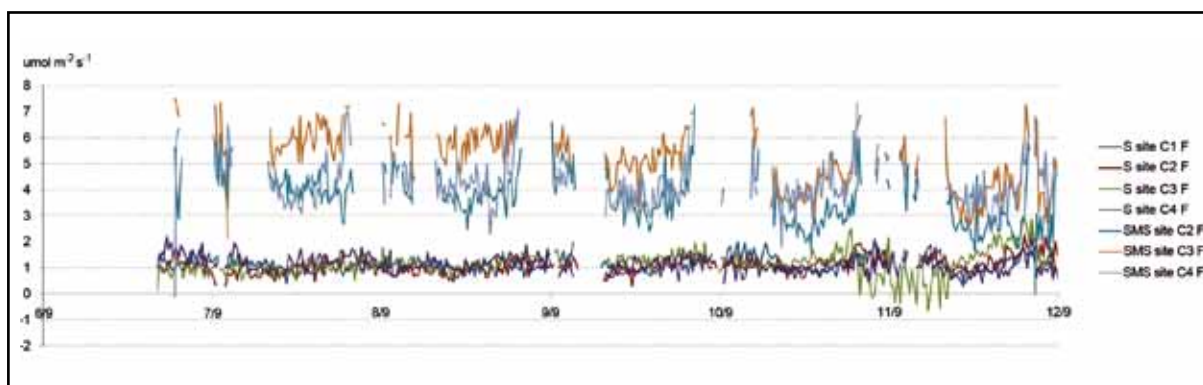


Figura 3.32 – Striscia dei dati di flusso raccolti da ciascuna delle camere dei due sistemi SASSFLUX tra il 6 e il 12 settembre 2012. Tutte le camere del sito di San Martino in Strada (lavorazione a sodo) hanno sempre misurato flussi molto maggiori di quelle del sito di Secugnago (lavorazione tradizionale). Nel sito di Secugnago inoltre si è rilevata una maggiore omogeneità nelle misure delle varie camere.

tivamente $1,1$ e $0,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Tuttavia, viene rilevata una marcata riduzione nell'efflusso diurno di CO_2 . Tale riduzione è di circa $1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nel sito di San Martino in Strada e di circa $0,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nel sito di Secugnago. Nel sito di San Martino in Strada si è misurato anche un leggero aumento nel flusso notturno.

Il flusso medio misurato nel sito di San Martino in Strada lungo l'intera campagna di acquisizione dati è $2,78 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mentre nel sito di Secugnago il flusso medio misurato è di $0,79 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Il rapporto tra i due valori medi è quindi di $3,52$, mentre le concentrazioni atmosferiche medie nei due siti sono molto simili, rispettivamente di 570 ppm nel sito di San Martino in Strada e 600 ppm nel sito di Secugnago.

Nella *figura 3.32* si vede chiaramente che tutte le camere poste nel sito di San Martino in Strada hanno sempre misurato un flusso molto maggiore di quello misurato nel sito di Secugnago, accompagnato da una maggiore variabilità nei flussi misurati da camera a camera. Più nello specifico, nel sito di San Martino in Strada i flussi erano per lo più nell'ordine delle

4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con punte massime fino a 7 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e minimi di 3 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Le camere poste sul sito di Secugnago invece mostrano una grande omogeneità nei flussi misurati.

3.2.5 Discussione

Nel corso delle misure effettuate nell'Oltrepò Pavese, presso i siti di Barbianello e Casanova Lonati sono emerse alcune problematiche legate all'utilizzo della tecnica di misura dei flussi (*eddy covariance*): anche in assenza di vegetazione è stato osservato un flusso discendente (negativo) di CO_2 nelle ore centrali della giornata. Un tale flusso indica chiaramente un assorbimento, legato alla fotosintesi, da parte della vegetazione circostante (*figura 3.17* e *figura 3.20*). Per cercare di risolvere questo problema si è provato ad abbassare la strumentazione a 1 m dal terreno riducendo il *fetch*¹, ma anche questa soluzione non ha completamente risolto il problema (*figura 3.17* a destra, *figura 3.20* a destra): a una sensibile riduzione della fotosintesi nelle ore centrali è corrisposto anche un segnale più rumoroso e una diminuzione della respirazione notturna.

Infatti, gli scambi gassosi tra una superficie e l'atmosfera sono regolati da fenomeni turbolenti, caratterizzati da una sovrapposizione di vortici (in inglese *eddy*) di svariate dimensioni. Nel caso di un flusso ascendente (emissione dalla superficie sottostante) il passaggio di un vortice vicino ai sensori è caratterizzato da velocità negative e basse concentrazioni del gas studiato, seguite da velocità positive e più alte concentrazioni, ottenendo come risultato netto un flusso positivo. Le dimensioni di questi vortici diminuiscono, e con esse la loro velocità e la loro energia, a causa dell'attrito sia tra le molecole d'aria stesse sia per il passaggio sopra un ostacolo sia soprattutto per l'attrito proprio con la superficie oggetto di studio; avvicinandosi ad essa l'attrito riduce le loro dimensioni fino a far sparire i vortici stessi. Inoltre, in prossimità della superficie, si osserva uno strato d'aria, detto sottostrato laminare, dove il trasporto non avviene più in maniera turbolenta ma per diffusione molecolare. In questo modo avvengono gli scambi verticali misurabili con la tecnica dell'*eddy covariance*. A questi vortici è tuttavia anche associato un trasporto orizzontale, durante il quale i vortici passando prima sulla superficie oggetto di studio ne "trasportano" poi le caratteristiche agli analizzatori che registrano le misure.

I problemi osservati durante le misure nell'Oltrepò Pavese trovano spiegazione in questi fenomeni di trasporto: se la strumentazione è posta al di sopra di un campo senza vegetazione che emette 2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ma sopravento alla strumentazione c'è un campo con una coltura che assorbe -7 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (il segno meno indica per convenzione un flusso discendente), la strumentazione registrerà un flusso di -5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Il flusso emesso dal suolo si è rivelato essere tipicamente molto inferiore di quello della fotosintesi della vegetazione circostante ai campi studiati. Nelle ore notturne questo problema viene a mancare, infatti di notte l'intensità del vento orizzontale diminuisce sensibilmente riducendo così il *fetch* e le misure tornano ad essere rappresentative della superficie oggetto di studio. L'abbassamento dei sensori effettuato in ottobre non ha completamente risolto questo problema. Infatti avvicinandosi al suolo le masse d'aria in transito attraverso gli analizzatori *open-path* risentono maggiormente della rugosità del terreno dando luogo a un segnale molto più rumoroso (*figura 3.17*, *figura 3.19* e *figura 3.20*). L'effetto della fotosintesi è sensibilmente ridotto anche se ancora presente.

I fenomeni di trasporto orizzontali sono influenzati anche dalle condizioni meteorologiche: in inverno, in pianura padana, si creano spesso condizioni di alta pressione con una ridotta mobilità delle masse d'aria e solamente nei mesi di novembre e dicembre 2010 (*tabella 3.22*) è stato

¹Con *fetch* si intende la distanza fino alla quale la strumentazione vede l'influenza della superficie sottostante, il *fetch* è legato alla altezza della strumentazione e all'intensità del vento orizzontale.

osservato un bilancio positivo della CO₂, seppur con risultati parzialmente contrastanti, con un'emissione maggiore dal campo coltivato a sodo in un mese e un'emissione molto inferiore rispetto al campo coltivato con aratura tradizionale il mese successivo. Un altro significativo risultato che è stato possibile osservare nel sito di Casanova Lonati (coltivato con aratura tradizionale) è nei quindici giorni successivi all'aratura l'emissione di CO₂ è stata del 70% più alta rispetto ai quindici giorni antecedenti all'aratura (*figura 3.18*)

Alla luce di queste considerazioni, e tenendo conto della scelta di siti di misura che non si sono rivelati adeguati per le misure di flusso con la tecnica dell'*eddy covariance*, è difficile realizzare un bilancio complessivo delle emissioni di CO₂ dal suolo, è invece possibile cercare di utilizzare un *proxy*, la respirazione notturna, quando la fotosintesi della vegetazione circostante è assente e le condizioni meteorologiche riducono il *fetch*. In queste condizioni sono state osservate delle emissioni medie di 2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dal campo coltivato a sodo e di 3 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dal campo coltivato con aratura tradizionale.

Tenendo conto delle difficoltà emerse durante le prime campagne di misura, è stato sviluppato un sistema automatico di camere statiche per la misura dei flussi di CO₂ dal suolo (SASSFLUX) nonostante questo tipo di attività non fosse prevista all'interno del progetto. L'utilizzo di questo sistema, sebbene i periodi di utilizzo nei siti lodigiani siano stati relativamente ristretti, ha permesso di trarre alcune importanti conclusioni.

Innanzitutto è stato possibile misurare per quattro mesi (da luglio a settembre 2012) le emissioni di CO₂ dal suolo coltivato a sodo. Nei primi due mesi le camere sono state posizionate nelle interfila del granoturco e sono risultate più alte ad agosto quando la coltura aveva già raggiunto la maturazione, con valori medi di 1,86 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a luglio e 3,46 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ad agosto. Questi dati non risultano confrontabili nemmeno con le misure notturne effettuate con la tecnica dell'*eddy covariance* nei medesimi mesi (10 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a luglio e 8 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ad agosto) tuttavia questi dati trovano una semplice spiegazione che è illustrata in *figura 3.33*.

Come si può osservare in *figura 3.33* a destra, in presenza di vegetazione fotosinteticamente attiva, nella zona della *canopy* si ha una convergenza del flusso con una rimozione della CO₂, sia dalla parte inferiore per le emissioni del suolo (misurata con le camere) sia dalla parte superiore (misurata con l'*eddy covariance*). I due sistemi stanno dunque misurando due fenomeni diversi. Tutto ciò trova un'ulteriore conferma osservando le concentrazioni misurate con i due sistemi (*figura 3.28*) dove si osservano concentrazioni più alte a livello del suolo e differenze maggiori durante la notte.

Le misure dei due mesi successivi al raccolto (effettuato alla fine di agosto) hanno confermato la bontà di quanto precedentemente ipotizzato per le misure nell'Oltrepò Pavese, cioè che la respirazione notturna misurata con la tecnica dell'*eddy covariance* possa approssimare l'emissione di CO₂ dal suolo, come si può osservare nelle *figure 3.10* e *3.11* dove i valori notturni, misurati con le due tecniche, in assenza di vegetazione, risultano confrontabili.

È importante inoltre osservare come nelle ore diurne, le misure effettuate con la tecnica dell'*eddy covariance* risultino significativamente più basse e addirittura negative in settembre (*figura 3.12*), questa debole attività fotosintetica può essere spiegata con la presenza di infestanti presenti nel campo dopo il raccolto. A seguito di un diserbo effettuato alla fine di settembre, nel mese successivo non si osservano flussi negativi ma nulli o leggermente positivi (*figura 3.28*).

L'installazione del secondo sistema SASSFLUX presso il campo coltivato con aratura tradizionale ha permesso di effettuare alcuni confronti. Innanzitutto come si può osservare in *figura 3.15* e in *figura 3.16* le emissioni dal campo coltivato a sodo sono risultate mediamente quasi quattro volte (1,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e 4,3 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) più grandi di quelle del campo coltivato con

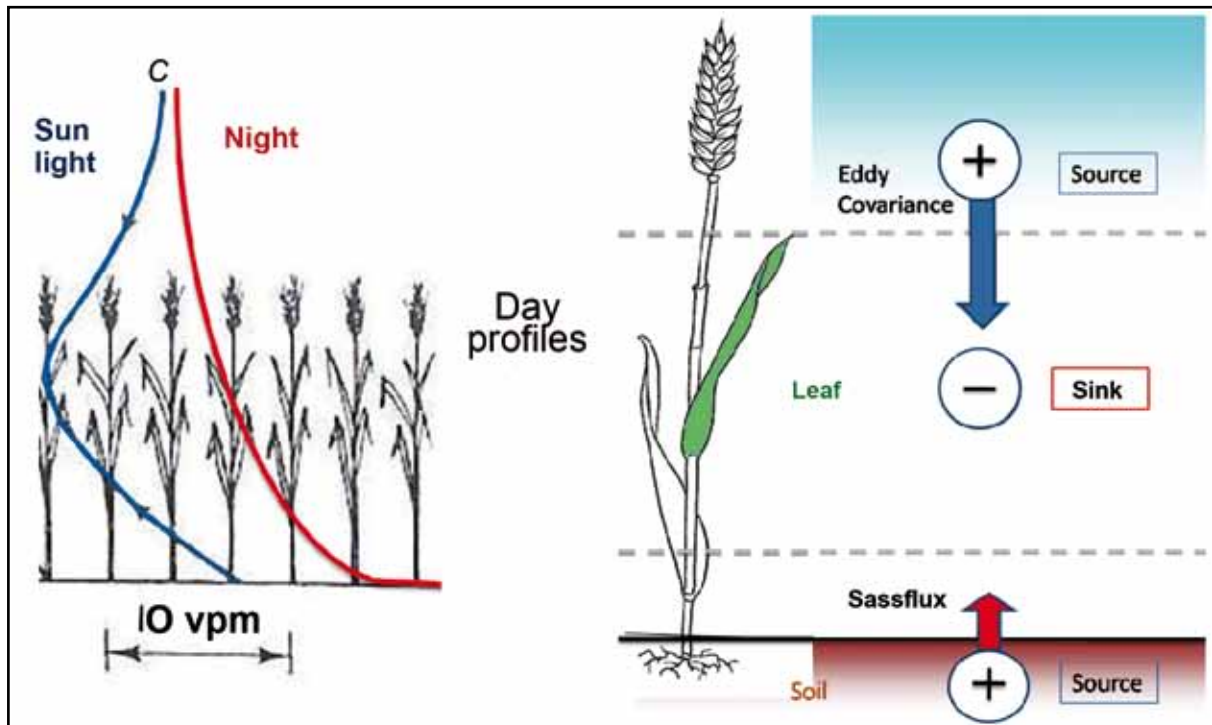


Figura 3.33 – Profilo di concentrazione di CO₂ (sinistra) e rappresentazione schematica dei flussi a destra in presenza di vegetazione. L'immagine a sinistra è presa da (J. L. Monteith, M. H. Unsworth, *Principles of Environmental Physics*, Academic Press, 2008, p232).

aratura tradizionale. Infatti, sebbene i contenuti di carbonio organico dei suoli dei due campi fossero confrontabili, la distribuzione verticale è diversa: più omogenea nel campo coltivato con aratura tradizionale, mentre nel campo coltivato a sodo è stato osservato un gradiente di concentrazione con una concentrazione, nello strato da 0 a 10 cm, maggiore rispetto all'altro campo, come osservato anche in altre ricerche (Fontaine *et al.*, 2004). Inoltre nel campo coltivato a sodo è stata osservata una maggiore densità di micro-artropodi e un indice di Shannon H' più elevato (l'indice di Shannon è un indice che caratterizza la biodiversità). Bisogna ricordare che questi risultati sono specifici di questo tipo di suolo, altri tipi di suoli in altre condizioni meteorologiche potrebbero mostrare comportamenti simili ovvero opposti.

Tuttavia, sebbene il confronto tra i flussi di CO₂ dal suolo nei due campi risulti per certi versi sorprendente e con dei risultati inattesi (maggiore emissione dal suolo coltivato a sodo), al fine di una più corretta valutazione del bilancio sarebbe necessario considerare l'intero ciclo di vita della coltura. Infatti il consumo di carburante, e quindi di CO₂, necessario per le operazioni di aratura potrebbe infatti incidere significativamente sulle emissioni di CO₂.

3.2.6 Conclusioni

Le misure di flussi di CO₂ svolte nell'ambito del progetto AgriCO₂ltura hanno mostrato la complessità della stima delle emissioni di questo composto. Innanzitutto con le sole misure di flusso con la tecnica dell'*eddy covariance* non è stato possibile effettuare misure sufficientemente accurate per realizzare un bilancio di questo gas serra. Infatti le emissioni dal suolo si sono rivelate estremamente basse al punto da essere influenzate dalla vegetazione o dai campi circostanti agli stessi campi studiati. Tuttavia dalle misure effettuate nell'Oltrepo Pavese (dove è stata utilizzata solo questa tecnica) è stato possibile estrapolare una maggiore emissione dal campo coltivato con tecniche di aratura tradizionale. Questo dato è invece risultato in contrasto con le misure effettuate nel Lodigiano dove è stato utilizzato il sistema di camere statiche per la misura della respirazione del suolo. Nessuna delle due tecniche può essere considerata

migliore dell'altra, ma sono piuttosto da considerarsi complementari perché nel periodo di crescita della coltura misurano due processi differenti.

3.3 Biodiversità edafica

Il suolo è una risorsa naturale indispensabile per il sostentamento della vita poiché i processi che avvengono in esso contribuiscono alla funzionalità degli ecosistemi terrestri (Jeffery *et al.*, 2010; Menta, 2012). I servizi (*Ecosystem services*) che fornisce il suolo sono molteplici e appartengono a tutte le categorie riconosciute dagli esperti (Millennium Ecosystem Assessment, 2005): sostiene le popolazioni attraverso le produzioni agro-alimentari (*Provisioning services*); in esso avviene la degradazione della sostanza organica a opera della fauna edafica e alcuni cicli biogeochimici si concludono rimettendo in circolo le sostanze nutritive (*Supporting services*); coopera o è attore diretto nel sequestro del carbonio e nel regolare il ciclo dell'acqua (*Regulation services*); sorregge le attività umane, comprese quelle ricreative, e contiene la testimonianza del passato sotto forma di siti archeologici (*Cultural services*). Nonostante la molteplicità delle funzioni svolte e del fatto che un suolo "in salute" è caratterizzato da una buona qualità e contribuisce a preservare la qualità della vita degli animali e degli uomini, non molta importanza è stata attribuita in passato alla componente vivente del suolo. La fauna del suolo non solo risulta essere coinvolta in numerosi processi che garantiscono la funzionalità del comparto, ma è possibile utilizzarla come indicatore della qualità del suolo (van Straalen, 1998, 2004; Menta, 2008). Infatti, gli organismi edafici trascorrono nel suolo l'intero ciclo vitale o parte di esso e hanno nel tempo acquisito caratteristiche morfologiche (miniaturizzazione, riduzione o perdita degli apparati visivi, riduzione della pigmentazione, riduzione degli arti e delle antenne) e fisiologiche (sviluppo di igrorecettori e chemiorecettori) specifiche di adattamento a questo particolare habitat e che sono comuni anche a gruppi di organismi filogeneticamente distanti per effetto della convergenza evolutiva (Parisi & Menta, 2008).

3.3.1 Fauna edafica e fertilità biologica nei sistemi agrari

La frazione vivente del suolo comprende microflora (batteri, protozoi, funghi e alghe), fauna edafica (nematodi, lombrichi, artropodi come acari e collemboli, piccoli mammiferi) e radici delle piante (rizosfera). Gli organismi animali che popolano il suolo sono estremamente diversificati vista la molteplicità di nicchie ecologiche che occupano. Non a caso Usher *et al.* (1979) hanno definito il suolo come "la foresta pluviale dei poveri": 1 m² di un suolo agricolo può contenere 1000 specie con densità delle popolazioni nell'ordine di 10⁶/m² per i nematodi, 10⁵/m² per i microartropodi e 10⁴/m² per altri invertebrati (Altieri, 1999). Il suolo riveste quindi anche una grande importanza come riserva di biodiversità.

L'azione svolta dalla fauna edafica è fondamentale nel processo di formazione dei suoli, soprattutto perché tende a modificare e, in genere, a migliorare alcune delle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli (porosità, aerazione, dislocazione della sostanza organica), tra cui la fertilità.

La fauna edafica ha un ruolo chiave nella degradazione della sostanza organica e nel riciclo dei nutrienti e dei flussi energetici (Jeffery *et al.*, 2010). In particolare, le funzioni che vengono svolte dai vari organismi del suolo nel processo di decomposizione dei residui vegetali e animali sono cruciali per la crescita delle piante e della produzione primaria (Maharning *et al.*, 2008). Il tasso di decomposizione è generalmente correlato positivamente con la biomassa animale ed è necessaria una fauna ben diversificata al fine di stimolare la diversità microbica (Marshall, 2000): ogni funzione, da quelle prettamente di disgregazione meccanica a quelle chimiche, risulta fondamentale ai fini del successo del processo dato che sono strettamente connesse le une con le altre.

La fertilità di un suolo è scomponibile in tre componenti: fertilità fisica, chimica e biologica. La componente biologica è quella che dipende direttamente dagli organismi del suolo che come è stato detto in precedenza cooperano nel rendere nuovamente disponibili gli elementi nutritivi. Le pratiche agricole tradizionali, tra cui l'aratura, l'intensificazione delle colture, l'utilizzo di ammendanti e di sostanze chimiche come fertilizzanti, erbicidi e pesticidi, hanno influenzato anche in modo piuttosto serio le abbondanze e la diversità delle comunità edafiche (Backer, 1998; Altieri, 1999; Bedano *et al.*, 2006; Tabaglio *et al.*, 2009). Questo comporta una riduzione delle abbondanze degli organismi edafici e una semplificazione delle comunità con *taxa* maggiormente adattati al suolo e quindi più sensibili al disturbo che diminuiscono o scompaiono e, mentre altri *taxa* più resistenti che tendono a predominare. L'aratura tradizionalmente svolta, fino a oltre 30-40 cm di profondità, altera la normale stratificazione del terreno ritornando a uno stadio iniziale di successioni ecologica (Altieri, 1999; Dittmer and Schrader, 2000), causando la perdita delle condizioni favorevoli per lo sviluppo a numerosi organismi.

Per mantenere la funzionalità dei sistemi agricoli senza dover dipendere esclusivamente da input esterni e rispondendo alle direttive mondiali di difesa e protezione degli habitat, a partire dal nuovo millennio (Biodiversity Action Plan for Agriculture, 2001; Kiev Resolution on Biodiversity, 2003; EU Soil Thematic Strategy, 2006), risulta necessario valutare sistemi alternativi per la produzione agricola. Le pratiche conservative ne rappresentano un tentativo di risposta in questo senso.

Il presente studio vuole valutare gli effetti delle pratiche conservative sulle comunità edafiche del suolo rispetto a quelle tradizionalmente messe in atto.

3.3.2 Materiali e metodi

Prelievo dei campioni di suolo, estrazione e identificazione dei microartropodi edafici

Un totale di 18 siti sono stati investigati complessivamente, di cui 7 campi ad agricoltura tradizionale (AT) e 11 ad agricoltura conservativa (AC).

Le province lombarde coinvolte nello studio sono tre: nell'Oltrepò Pavese della provincia di Pavia (45°03'09" N, 9°09'27" E) sono stati considerati 6 campi coltivati a mais nel 2010, di cui 2 ad AT (OLP_T-1, OLP_T-2) e 4 ad AC con semina su sodo, (OLP_C-1, OLP_C-2, OLP_C-3, OLP_C-4); nella campagna di Lodi (45°16'27" N, 9° 32'49" E) sono stati indagati 6 campi coltivati a mais nel 2011, di cui 3 ad AT (LOD_T-1, LOD_T-2, LOD_T-5) e 3 ad AC con semina su sodo (LOD_C-1, LOD_C-2, LOD_C-3); nell'azienda agricola Carpaneta in provincia di Mantova (45°11'53" N, 10°55'35" E) sono stati indagati 6 campi coltivati a mais e frumento nel 2011, di cui 2 ad AT (CRP_T-1, CRP_T-2), 4 ad AC (CRP_C2-sd e CRP_C3-sd, siti ad agricoltura con semina su sodo; CRP_C2-ml e CRP_C3-ml, siti ad agricoltura con minima lavorazione).

In ogni sito, 3 repliche di campioni di suolo (100 cm² e 10 cm di profondità ciascuno) sono stati prelevati con l'aiuto di una vanga (*figura 3.34*), trasportati in laboratorio entro le successive 48 ore in buste di polietilene debitamente etichettate e disposti su selettori di Berlese-Tüllgren per effettuare l'estrazione (*figura 3.35*). Questo metodo di estrazione è di tipo dinamico: esso sfrutta infatti i movimenti degli animali che fuggono dalla superficie, che gradualmente si dissecca ad opera di una lampadina posta a 25 cm di distanza, finché non cadono nell'imbuto e nel barattolo di raccolta in cui è presente una miscela conservante di 2 parti di alcool e 1 di glicerina. Gli organismi presenti sono quindi stati esaminati con l'ausilio di uno stereomicroscopio ed identificati a livello di ordine per Chelicerata, Hexapoda e Insecta, di classe per Myriapoda. Gli organismi appartenenti allo stesso gruppo sono stati contati per la stima della densità alla profondità considerata (0-10 cm) e il numero degli individui è stato relazionato ad 1 m² di superficie (ind/m²).



Figura 3.34 – Prelievo della zolla di terreno.



Figura 3.35 – Estrattore di Berlese-Tullgren.

Indici biologici

Per ogni sito indagato è stato possibile definire le abbondanze dei gruppi di microartropodi presenti (densità espresse come ind/m²).

Sono stati quindi calcolati alcuni indici per stimare la biodiversità delle comunità edafiche descritte: il numero dei taxa presenti (NT), l'indice di diversità di Shannon (H'), l'indice di equiripartizione di Pielou (J).

L'indice di Shannon rappresenta la biodiversità di una biocenosi con un valore compreso tra 0 (cenosi con un'unica specie) ed un valore massimo rappresentato dal logaritmo naturale del numero di specie (H'_{max}), raggiunto teoricamente quando tutte le specie sono equiripartite. Il valore dell'indice si calcola con la seguente formula:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i \qquad p_i = n_i / N$$

La diversità di una cenosi può essere determinata sia dal numero di specie sia dalla loro equiripartizione. Per tale motivo oltre all'indice di Shannon si utilizza anche l'indice di Pielou J che varia tra 0 e 1, avvicinandosi al valore unitario più le specie sono ugualmente rappresentate. L'evenness è calcolata come:

$$J = H' / H'_{max}$$

L'indice di Shannon e l'indice di equiripartizione sono stati calcolati utilizzando il numero degli organismi osservati per ogni gruppo di microartropodi rinvenuto.

La qualità del suolo è stata invece stimata attraverso il rapporto tra Acari e Collemboli (A/C; Bachelier, 1986) e mediante l'indice di qualità biologica del suolo QBS-ar (Parisi *et al.*, 2005; Menta *et al.*, 2010; Menta *et al.*, 2011) basato sull'intera comunità di microartropodi del suolo. Il rapporto A/C, seppur a volte di difficile interpretazione, permette di determinare le condizioni biodinamiche del suolo. In condizioni di equilibrio la percentuale di acari rispetto ai collemboli, è elevata mentre questa tende a diminuire in favore di questi ultimi in condizioni di degrado.

Il QBS-ar considera interamente la comunità dei microartropodi del suolo, i quali sono contraddistinti da particolari caratteristiche morfologiche in relazione al grado di adattamento alla vita ipogea (Parisi, 1974). I microartropodi possono quindi essere suddivisi secondo i

caratteri di adattamento al comparto suolo utilizzando l'approccio delle Forme Biologiche (FB). Per ogni gruppo tassonomico valutato dall'indice QBS-ar presente nelle tre repliche viene attribuito un valore di indice ecomorfologico (EMI), compreso tra 1 e 20 e che aumenta progressivamente con l'adattamento al suolo. Per ognuno di questi, si utilizza solo il valore EMI più elevato tra quelli osservati. La somma di tali valori EMI corrisponde al punteggio dell'indice QBS-ar. Più elevato è il valore dell'indice, maggiore è la presenza di FB adattate al suolo e quindi più vulnerabili in caso di disturbo. Sulla base della presenza/assenza di questi gruppi euedafici si può valutare la stabilità e la qualità del suolo, quest'ultima definita come la capacità del suolo di mantenere la propria funzionalità per sostenere la produttività biologica, di mantenere la qualità dell'ecosistema e di promuovere la salute di piante e animali (Knoepp *et al.*, 2000).

I confronti tra le densità dei gruppi di microartropodi e gli indici sono stati eseguiti mediante il test non parametrico U di Mann-Whitney utilizzando il programma statistico R (versione 2.12.1., R Development Core Team, 2001).

3.3.3 Risultati e discussione

Fauna edafica nei siti considerati

Le comunità di microartropodi edafici sono risultate dominate da acari e collemboli, i quali sono stati rinvenuti in tutti i campioni. Alcuni gruppi maggiormente sensibili alle fonti di disturbo (come proturi, pauropodi, sinfili e chilopodi) sono stati osservati sia nei siti ad agricoltura tradizionale che conservativa.

Nel dettaglio verranno analizzate le comunità rinvenute nelle aree studiate.

Oltrepo Pavese

Le comunità di microartropodi rinvenute nei siti situati nell'Oltrepò pavese sono risultate essere piuttosto ben diversificate con un numero di taxa di 10-12 nei siti ad agricoltura tradizionale e tra i 7 e i 13 in quella conservativa (tabella 3.23).

Acari e collemboli sono i gruppi presenti in ogni campione seppur con abbondanze differenti

	<i>Agricoltura Tradizionale</i>		<i>Agricoltura Conservativa</i>			
	OLP_T-1	OLP_T-2	OLP_C-1	OLP_C-2	OLP_C-3	OLP_C-4
Araneidi	7 ± 4	7 ± 3	7 ± 4	7 ± 4		21 ± 6
Acari	1.083 ± 116	1.670 ± 281	2.215 ± 161	1.897 ± 323	1.153 ± 206	4.763 ± 235
Isopodi		7 ± 3				
Diplopodi	85 ± 6					14 ± 3
Pauropodi		99 ± 24	7 ± 4	7 ± 4		14 ± 7
Sinfili		7 ± 3	21 ± 7	35 ± 4		57 ± 9
Chilopodi	14 ± 7	21 ± 6				14 ± 3
Proturi	7 ± 4			7 ± 4	7 ± 4	
Dipluri						28 ± 9
Collemboli	453 ± 36	333 ± 53	1.238 ± 367	1.047 ± 113	906 ± 52	6.376 ± 589
Psocotteri	14 ± 7	50 ± 15		7 ± 4		64 ± 11
Emitteri	7 ± 4	28 ± 7	14 ± 8		7 ± 5	
Tisanotteri						21 ± 1
Coleotteri	14 ± 4	7 ± 3	28 ± 16	14 ± 8	57 ± 9	35 ± 3
Imenotteri	14 ± 7	14 ± 3	14 ± 8		35 ± 17	14 ± 7
Ditteri						
Larve Coleotteri	21 ± 1	21 ± 6	21 ± 7	14 ± 8		35 ± 9
Larve ditteri		7 ± 3	156 ± 80	7 ± 4	7 ± 5	28 ± 7

Tabella 3.23 – *Abbondanze (ind/m²) dei taxa rinvenuti nei campi della provincia di Pavia (2010) espressi come media ± errore std dei valori osservati nelle repliche.*

tra i siti AT e AC. In particolare le densità di questi gruppi raggiungono densità maggiori nei siti conservativi. Alcuni taxa maggiormente adattati alla vita ipogea, come proturi, pauropodi e sinfili, nonché alcuni importanti detritivori (diplopodi) e predatori (chilopodi) sono stati osservati sia nei siti coltivati con pratiche tradizionali che con quelle conservative. In quasi tutti i siti sono stati osservati coleotteri adulti ed imenotteri, essenzialmente formicidi, e forme larvali di ditteri e coleotteri.

Gli indici di diversità di Shannon sono nella maggior parte dei casi minori di 1 (1,07-0,99 in AT, 0,83-0,97 in AC), mentre l'evenness è relativamente bassa (0,39-0,45 in AT, 0,10-0,47 in AC) con un minimo assoluto registrato per il sito OLP_C-1, confermando la dominanza di acari e collemboli. Il rapporto tra Acari e Collemboli ha mostrato valori piuttosto alti nei siti tradizionali (2,39 e 5,02), mentre i valori si avvicinano ad uno e quindi all'equilibrio nei siti conservativi. I valori dell'indice QBS-ar risultano essere piuttosto elevati sia per i siti tradizionali (105-133) che per i conservativi (da 77 a 167), dovuti essenzialmente alla presenza di diversi gruppi euedafici maggiormente adattati alla vita nel suolo.

Lodigiano

Le comunità di microartropodi edafici sono anche in questo caso dominate da acari e collemboli (*tabella 3.24*).

Le abbondanze degli acari risultano essere piuttosto elevate nei siti AT e non si nota una significativa differenza rispetto a quelle osservate nei siti AC. Diversamente, le densità dei collemboli sembrano crescere nei siti AC rispetto a quelli AT. Il NT è simile nelle due categorie di pratiche agricole considerate: essi variano tra 7 e 10 taxa nei siti AT e tra 8 e 10 in quelli AC. Gruppi di microartropodi estremamente adattati al suolo sono stati osservati in questi siti, anche se non in tutti.

Nei siti tradizionali sono stati rinvenuti alcuni miriapodi come pauropodi, sinfili e chilopodi; nei siti conservativi oltre a pauropodi e diplopodi, è stato possibile osservare isopodi. In maniera analoga, i valori di H' sono piuttosto contenuti nei siti AT (0,59-0,64) con relativi J con-

	<i>Agricoltura Tradizionale</i>			<i>Agricoltura Conservativa</i>		
	LOD_T-1	LOD_T-2	LOD_T-5	LOD_C-1	LOD_C-2	LOD_C-3
Araneidi	85 ± 41	7 ± 4		127 ± 46		57 ± 4
Acari	4.381 ± 1.000	2.909 ± 423	3.892 ± 873	679 ± 99	4.692 ± 826	
Isopodi				21 ± 6		
Diplopodi						21 ± 11
Pauropodi		35 ± 8				
Sinfili			7 ± 4			
Chilopodi	14 ± 4	14 ± 8		106 ± 17	7 ± 4	92 ± 43
Proturi						
Dipluri	7 ± 4					
Collemboli	1.125 ± 101	878 ± 178	198 ± 28	3.185 ± 1.216	142 ± 43	6.334 ± 1.795
Psocotteri		71 ± 24	163 ± 100	85 ± 44	28 ± 11	7 ± 4
Emitteri	7 ± 4	14 ± 4	28 ± 17	28 ± 7	14 ± 9	142 ± 27
Tisanotteri						
Coleotteri	7 ± 4	42 ± 7	28 ± 11	14 ± 7	14 ± 4	50 ± 16
Imenotteri		14 ± 3	14 ± 9	42 ± 17	7 ± 4	57 ± 20
Ditteri	14 ± 7					
Larve Coleotteri	21 ± 12	234 ± 36	21 ± 8	78 ± 26		64 ± 17
Larve Ditteri	7 ± 4	7 ± 4		57 ± 30	7 ± 4	78 ± 13

Tabella 3.24 – *Abbondanze (ind/m²) dei taxa rinvenuti nei campi della provincia di Lodi (2011) espressi come media ± errore std dei valori osservati nelle repliche.*

tenuti (0,26-0,28) i quali indicano delle dominanze piuttosto marcate di alcuni gruppi; i valori degli stessi indici tendono a crescere nei siti AC (H': 0,86-1,05; J: 0,39-0,44). Il rapporto A/C assume valori piuttosto elevati nei siti AT (4,22; 8,41; 14,68), mentre ha fatto registrare valori altalenanti nei siti AC (1,22; 4,80; 0,74). I valori di QBS-ar osservati sono risultati abbastanza simili tra le pratiche agricole (AT: 83; 114; 98 - AC: 97; 68; 112).

Azienda Agricola Carpaneta

Le comunità a microartropodi edafici risultano essere ben diversificate soprattutto nei siti AC (tabella 3.25).

Infatti, oltre ad Acari e collemboli presenti in ogni sito, diplopodi, chilopodi, sinfili e pauropodi si ritrovano anche nei siti AT, mentre nei siti AC sono stati osservati anche proturi e isopodi. Il NT è simile nei siti AT e in quelli AC con minima lavorazione (AT: 5-9; ACm: 7-8), cresce invece piuttosto sensibilmente nei siti AC con semina su sodo (9-12). I valori degli indici calcolati risultano essere piuttosto altalenanti, impedendo di valutare tendenze particolari. I valori dell'indice QBS-ar, al contrario, risultano più alti per i siti AC con semina su sodo (140-155) rispetto ai siti AC con minima lavorazione (95-116) e ai siti AT (71-136).

	Agricoltura Tradizionale		Agricoltura Conservativa			
	CRP_T-1	CRP_T-2	CRP_C2-sd	CRP_C2-ml	CRP_C3-sd	CRP_C3-ml
Araneidi	4 ± 2		4 ± 2	4 ± 2	7 ± 4	7 ± 5
Acari	2.042 ± 524	1.402 ± 350	5.927 ± 1.024	3.142 ± 883	3.135 ± 868	3.751 ± 804
Isopodi				4 ± 2		
Diplopodi		4 ± 2	4 ± 2	25 ± 8	4 ± 2	11 ± 6
Pauropodi		22 ± 9	4 ± 2		4 ± 2	7 ± 4
Sinfili		7 ± 4	18 ± 9	50 ± 10		
Chilopodi	10 ± 7		28 ± 9	21 ± 10	11 ± 3	18 ± 6
Proturi			7 ± 4	7 ± 3	7 ± 2	
Dipluri	4 ± 2	25 ± 12	7 ± 2	25 ± 12	11 ± 5	78 ± 10
Collemboli	1.154 ± 38	1.373 ± 274	1.419 ± 153	998 ± 289	1.409 ± 318	832 ± 130
Psocotteri	4 ± 3			32 ± 6		
Emitteri	4 ± 2			4 ± 2		
Tisanotteri						
Coleotteri	53 ± 18	18 ± 6	35 ± 8	25 ± 5	14 ± 7	11 ± 4
Imenotteri		4 ± 2	25 ± 10	683 ± 328		106 ± 51
Ditteri						
Larve Coleotteri	81 ± 13	43 ± 7	53 ± 24	14 ± 2	117 ± 28	7 ± 4
Larve Ditteri	524 ± 46	11 ± 5	556 ± 155	106 ± 29	457 ± 163	7 ± 5

Tabella 3.25 – *Abbondanze (ind/m²) dei taxa rinvenuti nei campi della provincia di Mantova (2011) espressi come media ± errore std dei valori osservati nelle repliche.*

Confronti tra l'agricoltura tradizionale e conservativa

Dalla descrizione delle comunità di microartropodi osservati emergono alcune differenze tra i gruppi che sono presenti nei siti AT e in quelli AC.

Acari e collemboli sono i *taxa* dominanti, presenti in ogni sito, ma con densità differenti nei siti AT e AC. In particolare le abbondanze tendono a essere maggiori nei siti AC (figura 3.36) con p<0,01 per i collemboli. Questo risultato conferma i dati presenti in letteratura (Bedano *et al.*, 2006; Menta *et al.*, 2010)

Un discorso analogo può essere fatto per i gruppi euedafici. Confrontando le densità dei gruppi con maggiori adattamenti all'ambiente ipogeo (quali proturi, dipluri, sinfili, chilopodi e pauropodi) che sono stati osservati sia nei siti AT che AC, si possono evidenziare alcune differenze (figura 3.37). La frequenza di ciascuno di questi gruppi aumenta passando da AT ad AC, ad

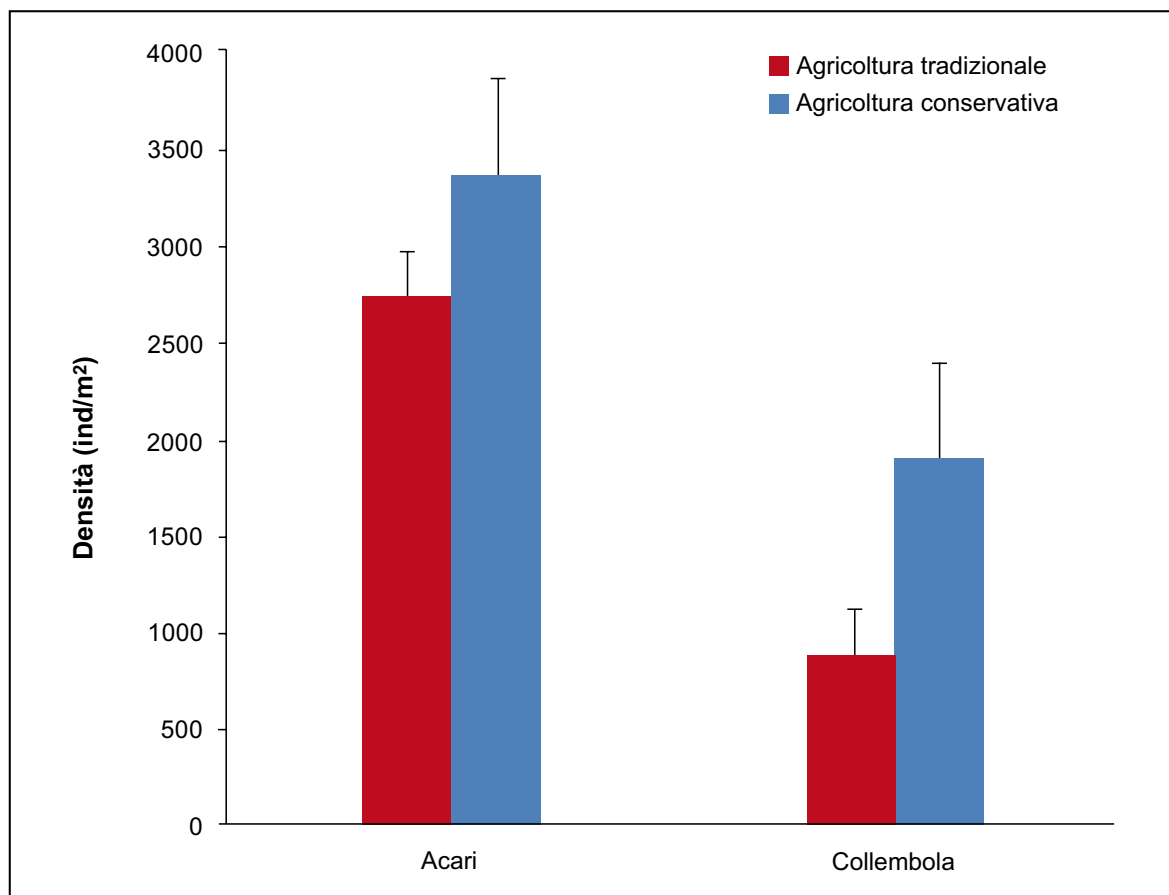


Figura 3.36 – Densità (ind/m²) di Acari e Collemboli in AT (rosso) e AC (blu).

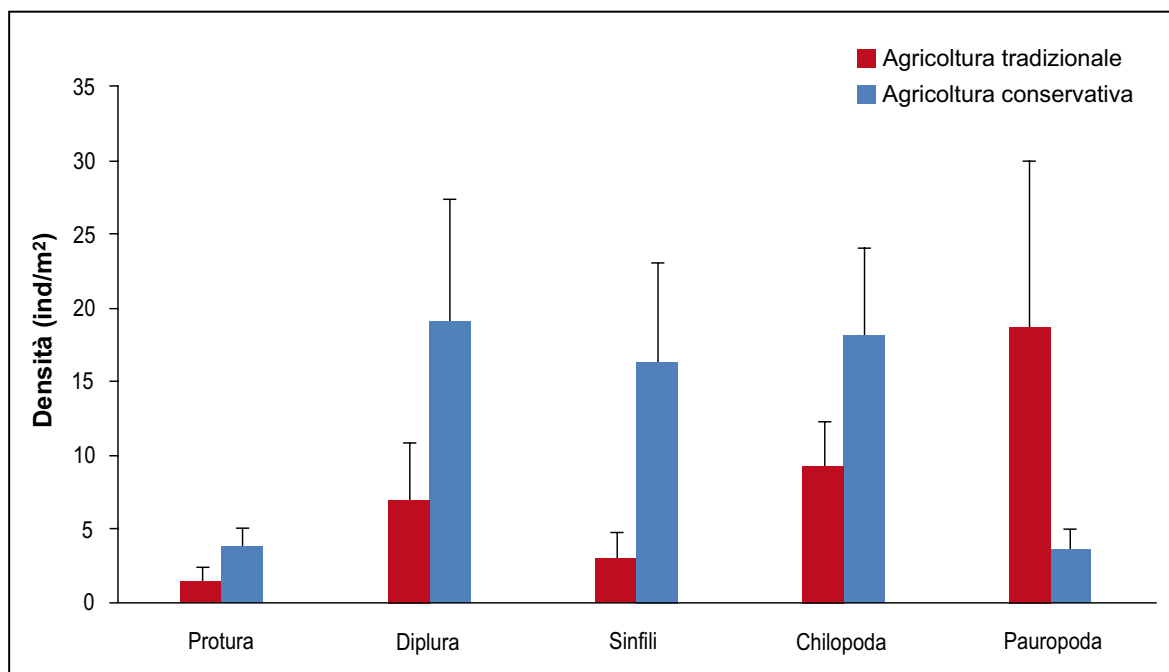


Figura 3.37 – Densità (ind/m²) di Acari e Collemboli in AT (rosso) e AC (blu).

eccezione dei dipluri la cui frequenza non cambia tra i siti: i proturi sono presenti nel 22 % dei siti AT, mentre si trovano nel 50 % di quelli AC; i sinfili vengono osservati nel 33% dei siti AT, mentre nel 47 % di AC; i pauropodi sono nel 33% dei siti AT e nel 40 % dei siti AC; i chilopodi

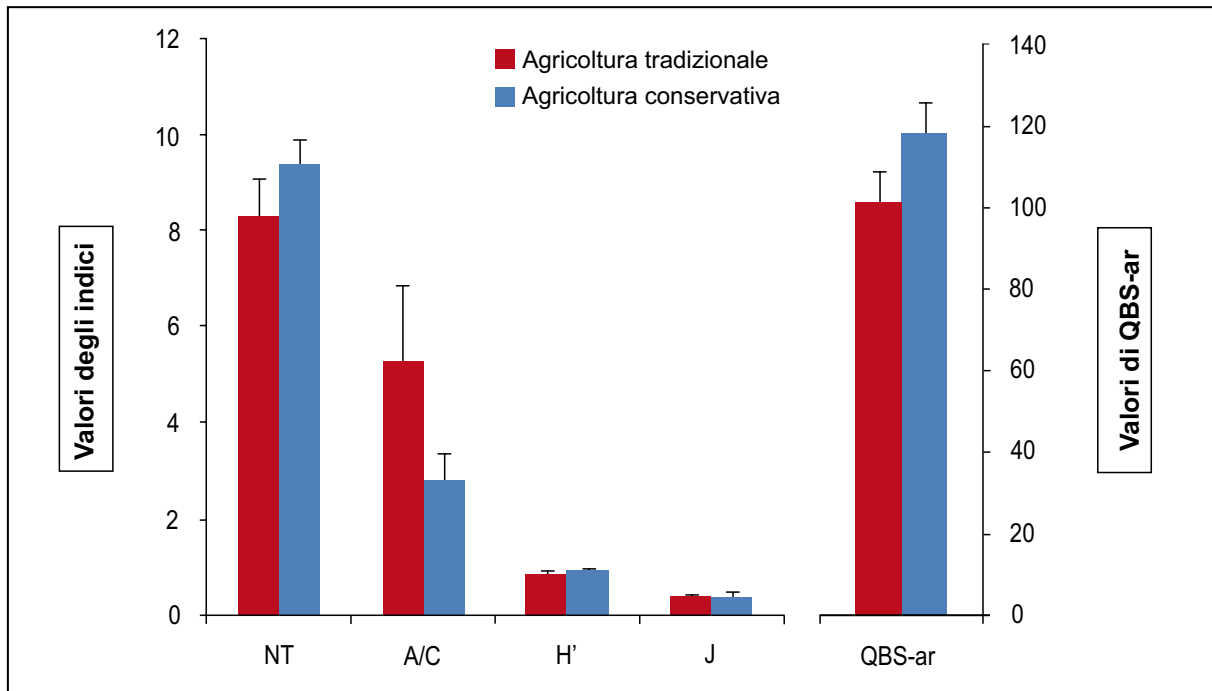


Figura 3.38 – Valore degli indici espresso come media \pm errore std.

si ritrovano nel 55% dei siti AT, salendo fino all'80% nei siti AC. Anche le abbondanze di questi taxa aumentano nei siti AC, con differenze significative ($p < 0,05$). Un aumento delle abbondanze dei gruppi di microartropodi edafici è atteso con le pratiche agricole sostenibili quali le pratiche conservative con semina su sodo o minima lavorazione (Hendrix *et al.*, 1986; Paoletti *et al.*, 1991; Wardle, 1995; Bedano *et al.*, 2006; Tabaglio *et al.*, 2009; Ponce *et al.*, 2011): questo risultato è giustificato sia da una riduzione o dall'assenza di disturbi meccanici, sia da una maggiore copertura del suolo e un contenuto di sostanza organica maggiore, componenti che, da una parte, contribuiscono ad evitare brusche variazioni di temperatura e a ridurre la perdita di umidità (Bedano *et al.*, 2006), dall'altra migliorano la stabilità del suolo e la disponibilità di risorse trofiche (Sapkota *et al.*, 2012).

Al contrario, per i pauropodi si osserva un andamento opposto a quello degli altri gruppi maggiormente adattati al suolo: nonostante siano più frequenti nei siti AC, è però nei siti AT che raggiungono le maggiori densità ($p < 0,05$). Questo potrebbe essere spiegato da una maggiore porosità che si ritrova nei siti AT. Nei siti AC, soprattutto nei primi anni dalla conversione, il suolo risulta più compatto. Tabaglio *et al.* (2008) hanno dimostrato che sono necessari almeno 3 anni dal passaggio a gestioni conservative del suolo per poter iniziare ad osservare una stabilizzazione della sostanza organica. Ipotizziamo quindi che, in maniera analoga, occorra più tempo per osservare porosità maggiori nei siti con semina su sodo dovuta all'azione degli organismi edafici e conseguentemente densità di pauropodi paragonabili a quelle rinvenute in AT.

Confrontando gli indici calcolati (figura 3.38), la tendenza è quella di avere valori maggiori per i siti AC. I valori dell'Indice di Shannon sono tutti piuttosto contenuti e l'indice di equiripartizione sottolinea la dominanza nella comunità edafiche di acari e collemboli. Il QBS-ar ha raggiunto valori piuttosto elevati soprattutto nei siti AC. L'indice A/C, al contrario mostra valori maggiori lontani dall'unità nei siti AT: in questi siti l'aratura allontana il suolo da condizioni di stabilità, alterandone la struttura e modificando le comunità esistenti, le quali devono ricostituirsi a partire dai gruppi pionieri, per esempio gli acari, i quali si accrescono numericamente molto più velocemente degli altri.

Nell'azienda agricola Carpaneta è stato anche possibile mettere a confronto due differenti tipologie di AC, quella con semina su sodo e quella con minima lavorazione del terreno. Il confronto dei valori dell'indice QBS-ar sottolinea la somiglianza tra i siti AT e AC con minima lavorazione (AT: 71-136; ACm: 95-116), mentre entrambi differiscono significativamente ($p < 0.05$) dal sito AC con semina sul sodo (ACs: 140-155) (figura 3.39). La lavorazione, anche se solo parziale e superficiale, sembra che disturbi le comunità edafiche con effetti simili a quelli osservati su AT, mentre la semina su sodo sembra favorire maggiormente le comunità edafiche. Per confermare questa tendenza sarebbe necessario proseguire e ampliare gli studi.

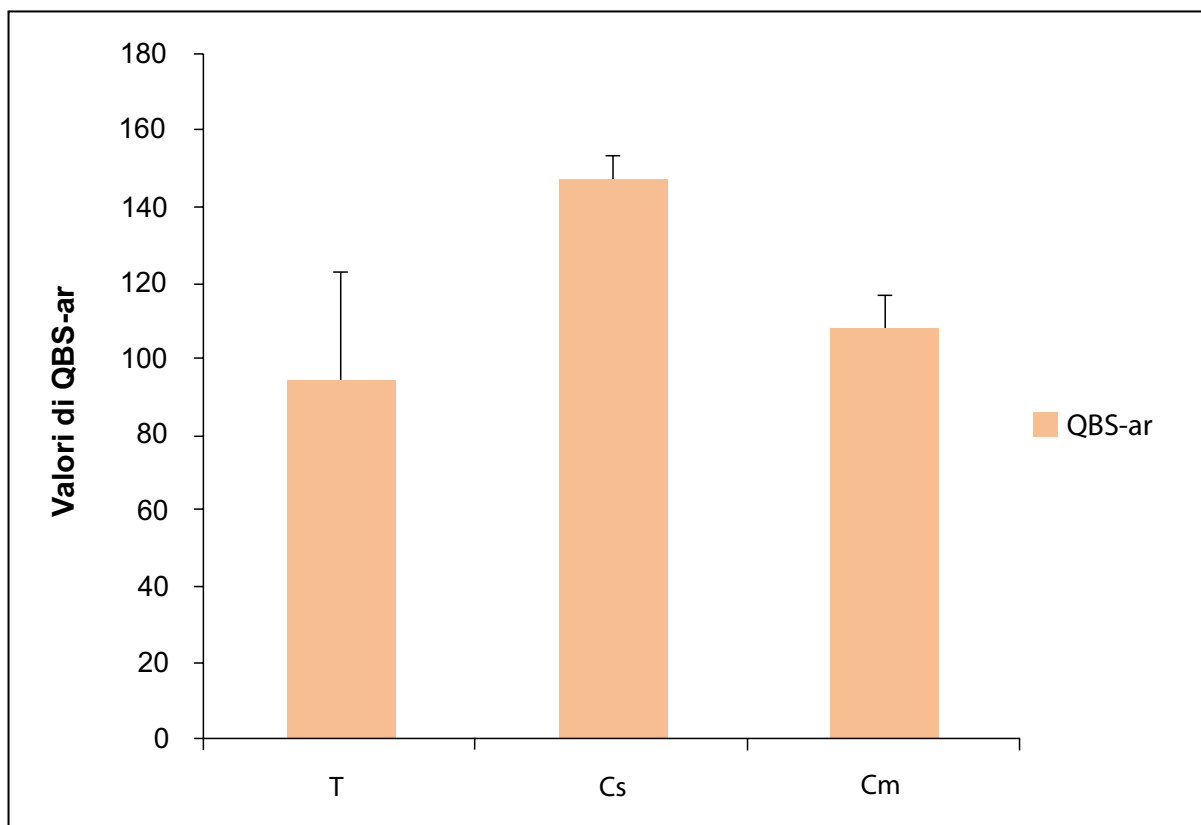


Figura 3.39 – Valori degli indici QBS-ar per le tre tipologie di agricoltura nei siti dell'azienda agricola Carpaneta (T: tradizionale, Cs: semina su sodo; Cm: minima lavorazione). I valori sono espressi come media \pm errore std.

2.3.4 Conclusioni

I risultati ottenuti sembrano confermare gli effetti benefici che ha sul suolo la gestione di tipo conservativo. Infatti la maggiore protezione e copertura del suolo permette di mitigare gli effetti degli agenti abiotici e fornisce le risorse nutritive per gli organismi del suolo. Le comunità di microartropodi edafici sono maggiormente diversificate in AC e numerosi gruppi, generalmente sensibili ai disturbi antropici, sono presenti anche con discrete densità. Da questo studio emerge quindi come le pratiche agricole conservative proteggano e promuovano la biodiversità dei sistemi agrari, aspetto cruciale per la sostenibilità, ambientale ed economica, degli agroecosistemi (Altieri, 1999).

CAPITOLO 4

Interventi per migliorare il bilancio del carbonio nei suoli agricoli

La partecipazione degli agricoltori alle politiche di carattere volontario o a libera partecipazione è determinata da fattori principalmente legati al bilancio aziendale e alla massimizzazione degli utili mentre altri fattori, quali le caratteristiche delle aziende, l'età del conduttore o il livello di istruzione, influenzano il successo di una politica o di una misura (Bertoni D., 2008). Queste considerazioni sono necessarie per capire che i passi verso politiche di immagazzinamento del carbonio nei terreni sono stati fatti ma si rende necessario sempre più un supporto all'agricoltore che accetta di applicarle (finanziamento, corsi di formazione, divulgazione delle possibilità di partecipazione a determinate politiche).

4.1 PAC, PSR e Greening

Di seguito vengono raccolte le principali politiche dirette o indirette riguardanti gli agricoltori volte alla riduzione delle emissioni e dell'immagazzinamento del carbonio nei suoli. La maggior parte di queste politiche passano attraverso finanziamenti e partecipazioni volontarie:

- la PAC condiziona l'erogazione dei finanziamenti agli agricoltori ad alcuni parametri ambientali direttamente e indirettamente legati all'incorporazione di CO₂ nei suoli (norme di condizionalità).
- il PSR introduce come priorità comunitaria (a seguito dell'health check del 2009) la lotta ai cambiamenti climatici recependo così l'orientamento strategico 3.4 derivante dal protocollo di Kyoto che richiede al settore agricolo e forestale un maggiore contributo alla limitazione dell'emissione di gas a effetto serra e all'aumento del sequestro del carbonio (Pettenella D., Zanchi G., 2006).
- la direttiva nitrati, che incide in particolar modo nell'emissione dovute alla gestione o spandimento degli effluenti di allevamento attraverso un controllo delle quantità prodotte per unità di superficie, è inclusa nei finanziamenti della PAC e del PSR come condizionalità.

Più in generale il settore agricolo ha la necessità di cominciare a delineare le proprie prospettive strategiche post 2013, quando, al termine dell'attuale periodo di programmazione, il vigente regime di aiuto alle aziende dovrebbe essere probabilmente sostituito da meccanismi di sostegno diversamente modulati.

Nella PAC post 2013, oltre al mantenimento di obiettivi volti a promuovere la conservazione e il sequestro del carbonio nel settore agricolo e forestale, è stata proposta l'introduzione del *greening*, considerata dalla maggioranza degli osservatori come una delle principali novità della proposta di riforma del pagamento unico, accanto all'abbandono del modello di riferimento storico dei pagamenti diretti.

La prima novità nella proposta della commissione europea riguarda gli assi di suddivisione della PAC e PSR della programmazione 2007-2013. Nella nuova politica proposta si avranno 6 priorità:

- trasferimento delle conoscenze in agricoltura;
- competitività dell'agricoltura e vitalità delle aziende;
- organizzazione delle catene alimentari e gestione del rischio;
- preservare e migliorare gli ecosistemi dipendenti dall'agricoltura;
- transizione verso una *low carbon economy*;
- sviluppo del potenziale occupazionale e dello sviluppo rurale.

Le misure dello sviluppo rurale saranno 25 e non più 40.

La novità maggiore però è rappresentata dal *greening* che, consolidando il processo di attenzione della PAC verso tematiche ambientali e di protezione dell'ambiente, si configura di fatto come una sorta di "titolo verde" addizionale al regime di pagamento di base e alle altre componenti, riconosciuto agli agricoltori attivi, a condizione di rispettare obblighi agronomici e am-

bientali. Al pagamento verde verrebbe, a seguito di questa proposta, dedicato un importo pari al 30% del massimale nazionale per pagamenti diretti e assumerebbe la forma di un pagamento annuo per ettaro di superficie ammissibile, ottenuto dividendo il relativo massimale per gli ettari ammissibili dichiarati da uno Stato membro.

I vincoli del *greening*, delineati nel documento la PAC verso il 2020, in prima ipotesi, prevedono di mantenere le superfici a foraggiere permanenti presenti nell'azienda, di diversificare le colture con almeno 3 specie coltivate, se la superficie a seminativi è >3 ha, e di destinare come minimo il 7% della superficie ammissibile (escluse le foraggiere permanenti) ad aree di interesse ecologico, terreni lasciati a riposo, terrazze, elementi caratteristici del paesaggio, fasce tampone e superfici oggetto di imboschimento PSR.

Il disegno del *greening* è in continua evoluzione e nel mese di gennaio 2013 sono state formulate alcune ipotesi di modifica, da parte dei ministri dell'agricoltura dei diversi Paesi, del nuovo regolamento proposto, che dovranno essere valutate dalla Commissione europea.

Da una prima valutazione, COMAGRI (la commissione agricoltura della Comunità europea) ha accettato la modifica di alcuni vincoli del *greening* secondo queste indicazioni (EU COMAGRI, 2013):

- è stata reso facoltativo il *greening* e gli agricoltori potranno comunque contare su un contributo minimo del pagamento pari al 70 % dell'intero contributo;
- la soglia minima di terreno per essere vincolati alla diversificazione è di 10ha. Dai 10 ai 30 ettari il vincolo di diversificazione è su 2 colture anziché 3 come nella prima proposta;
- è stata accettata la proposta di considerare come aree a interesse ecologico anche i terreni coltivati a leguminose oltre a quelli già inseriti nel primo documento;
- sulle aree ecologiche sono stati riviste le percentuali di obbligo che passano dal 7% al 3% con l'obiettivo però successivamente di essere portate al 5%;
- per il calcolo delle aree ecologiche devono essere esclusi i terreni con le colture arboree.

Qualunque sia il documento finale, tutto ciò non può non determinare un effetto di ridisegno complessivo della strategia ambientale della PAC e dei PSR. Questi, in un quadro di tendenziale riduzione delle risorse pubbliche, potrebbero ridurre i finanziamenti destinati alle misure agro ambientali. Finanziamenti maggiori possono quindi essere destinate a pratiche colturali e agricole che si pongono l'obiettivo di riduzione delle emissioni e aumento del carbonio nei suoli con la futura possibilità di creazione di un mercato stabile di crediti di carbonio venduti direttamente dagli agricoltori dopo una certificazione dell'immagazzinamento di CO₂.

L'introduzione di queste modifiche alle politiche agricole indica comunque una maggiore attenzione europea verso le tematiche ambientali, verso una riduzione delle emissioni di gas a effetto serra (GHG) e verso la definizione di obiettivi incentrati a trovare strumenti diretti o indiretti per stoccare il carbonio nei suoli, diminuendo così l'impatto europeo nella produzione di GHG.

4.2 Regione Lombardia – politiche in attuazione

Di seguito si descrivono le politiche a livello regionale legate all'accumulo di carbonio o alla diminuzione delle emissioni nel comparto agricolo.

Partendo dal Piano di azione nazionale per lo sviluppo delle fonti rinnovabili (PAN), adottato ai sensi dell'articolo 4 della direttiva 2009/28/CE e trasmesso alla Commissione europea il 31 luglio 2010, che definisce gli obiettivi nazionali e le misure al 2020 per contenere i consumi finali e sviluppare interventi per l'energia da fonti rinnovabili, si è individuata la ripartizione delle quote complessive di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo per le varie regioni e province autonome attraverso il decreto 15 marzo 2012 "Definizione e qualificazione degli obiettivi regionali in materia di fonti rinnovabili e definizione della modalità di gestione dei casi

di mancato raggiungimento degli obiettivi da parte delle regioni e delle provincie autonome” (c.d. Burden Sharing) (pubblicato in G.U. n. 78 del 02/04/12).

A livello regionale le emissioni di gas ad effetto serra sono state pari, nel 2005, a 93,6 MtCO₂ equivalente, cresciute in maniera rilevante rispetto ai 58,7 MtCO₂ equivalente del 1990 (fonte INEMAR – INventario EMissioni ARia Regione Lombardia). Secondo il rapporto INEMAR 2010 le emissioni regionali registrate si sono attestate a un livello inferiore al 2005 e in particolare sono state di 83,4 MtCO₂, di cui il 9% derivante dal settore agricolo (7,8 MtCO₂).

Numerose sono le politiche regionali attivate in questi anni in ambito ambientale, energetico (Programma Energetico Regionale - PER - e Piano d’Azione per l’Energia - PAE) e agricolo, funzionali alla mitigazione e riduzione delle emissioni climalteranti in atmosfera.

In particolare la l.r. 24/2006 “Norme per la prevenzione e la riduzione delle emissioni in atmosfera a tutela della salute e dell’ambiente”, indica l’adozione delle migliori tecniche disponibili per la conduzione e la gestione delle aziende agricole come strumento funzionale al contenimento di emissioni azotate e di carbonio e alla prevenzione della formazione e dispersione in atmosfera di particolato fine. La legge 24/2006 promuove e incentiva alla possibilità di ricorrere ai meccanismi flessibili definiti dal Protocollo di Kyoto allo scopo di migliorare la capacità regionale di assorbimento del carbonio atmosferico e sostenere la generazione di crediti di carbonio anche nell’ambito di azioni comuni o di cooperazione internazionale. Inoltre prevede la creazione di un inventario regionale delle emissioni in aria nel quale viene istituita, tramite l’articolo 4, la sezione dedicata ai depositi di carbonio atmosferico assorbiti e stoccati dagli ecosistemi forestali, dai terreni agrari, dai pascoli e dai sistemi vegetazionali esistenti e classificati dalla regione Lombardia.

La sfida di fronte alla quale si trova il sistema economico e produttivo lombardo, stanti i livelli di emissioni attuali, appare sicuramente impegnativa; pertanto l’individuazione di altri ambiti di intervento accreditabili per la generazione di crediti di carbonio nel settore agroforestale può contribuire ad articolare e rafforzare le strategie di approccio alla problematica.

Politiche importanti a livello regionale per ridurre le emissioni e aumentare l’incorporazione di carbonio sono anche le misure del PSR che in Lombardia apportano finanziamenti ad azioni che, direttamente o indirettamente, stimolano pratiche volte ad aumentare il sequestro di carbonio nei suoli e a ridurre le emissioni da terreni e aziende agricole.

4.3 PSR

Il PSR si divide in 4 principali assi comuni a livello europeo che riguardano la competitività e l’innovazione (ASSE 1), lo sviluppo agricolo e forestale sostenibile (ASSE 2), la qualità della vita e la diversificazione dell’economia rurale (Asse 3) e l’attuazione dell’approccio leader ovvero la possibilità dei territori di essere motori di azione locale (ASSE 4). A loro volta i quattro assi sono suddivisi in misure scelte direttamente dalla regione che ha la possibilità di attivare quelli che maggiormente ritiene più favorevoli agli scopi che si prefigge. Ciascuna misura si articola in OBIETTIVI (finalità dell’intervento), RICHIEDENTI (chi può fare domanda), TIPOLOGIA DI INTERVENTO (intervento finanziato), ENTITÀ DEGLI AIUTI, TERRITORI AMMISSIBILI (dove può essere applicata). Le misure che favoriscono maggiormente il raggiungimento dell’incremento del tenore di carbonio nei suoli agricoli e dell’incremento degli stock di carbonio forestali sono state individuate attraverso il quadro intermedio di valutazione del PSR della Regione Lombardia (2010); esse si riferiscono specificatamente al secondo asse. Il documento indica a scala crescente da “nessun impatto” a “impatto massimo” il grado di incremento del tenore di carbonio nei suoli agricoli. Il quadro di valutazione intermedia del PSR individua le seguenti misure:

- Misura 214 – Pagamenti agroambientali (A - Fertilizzazione bilanciata e avvicendamento,

B - Produzioni agricole integrate, C - Produzioni vegetali estensive, E - Produzioni agricole biologiche, F - Mantenimento di strutture vegetali lineari e fasce tampone boscate, H - Salvaguardia delle risorse genetiche, G - Miglioramento ambientale del territorio rurale, I - Conservazione della biodiversità nelle risaie, L - Conservazione della biodiversità delle praterie ad alto valore naturalistico, M - Introduzione di tecniche di agricoltura conservativa);

- Misura 216 – Investimenti non produttivi;
- Misura 221 – Imboschimento dei terreni agricoli;
- Misura 223 – Imboschimento delle superfici non agricole;
- Misura 226 – Ricostituzione del potenziale forestale.

Al fine di studiare la distribuzione geografica degli aiuti erogati dal PSR e dalle misure di cui sopra, è stato strutturato un data-base fondato su dati derivanti da diverse fonti, tra cui la principale è il SIARL (Sistema Informativo Agricoltura Regione Lombardia) che consente di conoscere e aggiornare i dati del fascicolo aziendale delle Imprese Agricole Lombarde e d' inoltrare domande elettroniche, ed è utilizzato dalle amministrazioni della Regione per la raccolta e l'elaborazione delle domande PAC e PSR.

Grazie ai dati ricevuti è stato possibile esplorare l'universo delle aziende che partecipano alle misure riuscendo ad individuare in quali anni la misura è stata finanziata, quante aziende hanno partecipato a ciascuna misura, l'entità del finanziamento, la localizzazione dell'intervento e le superfici interessate.

Di seguito vengono riportate le descrizioni delle misure prese in considerazione e una localizzazione dei finanziamenti dell'ultima programmazione del PSR. I dati estratti si riferiscono al periodo 2007-2011, poiché l'anno in corso non è stato ancora elaborato definitivamente dagli enti preposti alla valutazione delle domande e all'erogazione dei fondi.

Asse 1	33,35%
Asse 2	52,83%
Asse 3	11,03%
Assistenza tecnica	2,78%
Totale	100,00%
di cui asse	45,00%

Tabella 4.1 – Ripartizione economica del FEASR nei 4 assi del PSR.

Il fondo FEASR – Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale – è il principale fondo di finanziamento delle misure del PSR. La ripartizione tra le misure è stata predisposta sulla base della dotazione di risorse di spesa pubblica complessiva disponibile per la Lombardia, pari a 899.756.701 euro, maggiore rispetto ai 806.620.000 della programmazione precedente. La ripartizione prevede il finanziamento di 22 misure su 33 possibili.

Nella *tabella 4.1* si può notare la ripartizione dei fondi nei 4 assi e l'importanza maggiore data all'asse 2, quello collegato alle misure di maggior interesse per il progetto.

4.3.1 Misura 214 – Pagamenti agroambientali

La misura 214, una tra le più adottate dagli agricoltori lombardi, ha erogato dal 2007 al 2011 circa 92 milioni di euro suddivisi tra le azioni che la compongono. Alla misura 214 sono destinati 226.039.245 euro (273.797.954 euro dopo la revisione del 2009 – *Health Check*), circa il 54 % dell'intero stanziamento per l'asse 2. La misura 214 è assimilabile alla misura F della precedente programmazione (2000-2006), la quale aveva uno stanziamento di circa 170 milioni di euro per l'intero periodo. I due dati non sono però del tutto confrontabili poiché alcune azioni finanziate nella nuova programmazione non esistevano o ricadevano in altre misure nel periodo 2000-2006.

Sono 10 le azioni presenti nella misura che finanziano campi molto differenti e non tutte sono state attivate dal 2007. Molte infatti sono state inserite nella programmazione dopo la valutazione intermedia e l'*Health Check* della Comunità europea. Le azioni di maggior interesse per l'immagazzinamento di carbonio sono state individuate tramite il quadro di valutazione

intermedia del PSR e uno studio effettuato con il Di.S.A.A. (Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali).

La *tabella 4.2* mostra la suddivisione dei finanziamenti della misura 214 per le aziende e gli anni:

Misura 214			Sottomisure									
finanziamento	Anno	Totale (euro)	A	B	C	E	F	G	H	I	L	M
	2007	967.103				967.103						
	2008	10.668.242	1.905.897	5.457.805	1.636.030	1.417.891	62.149		188.471			
	2009	18.940.699	4.352.242	8.168.818	4.465.059	1.638.449	58.573		257.591			
	2010	24.744.550	6.029.039	8.464.975	4.990.553	1.786.175	74.933		294.138	3.104.935		
	2011	37.437.831	7.467.970	11.722.531	5.377.627	2.022.269	81.031		344.747	3.914.843	4.463.060	2.043.754

Tabella 4.2 – Ripartizione economica del finanziamento della misura 214 nelle azioni e negli anni.

Di seguito si riporta anche il numero di aziende finanziate dalla Misura 214 suddivise per anno e per sottomisura (*tabella 4.3*) che cresce progressivamente nel corso degli anni.

Misura 214		Sottomisure										
Aziende finanziate	Anno	A	B	C	E	F	G	H	I	L	M	
	2007				284							
	2008	701	1.380	1.244	579	115		185				
	2009	1.049	2.161	1.714	699	118		282				
	2010	1.280	2.289	1.867	746	124		308	406			
	2011	1.448	2.894	1.988	842	151		331	527	1.311	187	

Tabella 4.3 – Numero di aziende finanziate da ciascuna azione negli anni.

Nelle pagine seguenti vengono riportate le mappe della dislocazione dei finanziamenti suddivisi per comune e per le azioni che hanno riferimento diretto o indiretto con processi di incorporazione di carbonio nei suoli.

Misura 214 azione A – Fertilizzazione bilanciata e avvicendamento. Impatto significativo nell'incremento del tenore di carbonio nei suoli per il rapporto di valutazione intermedia del PSR: l'azione ha avuto bandi dal 2008 al 2012. Le aziende partecipanti sono 1568 suddivise su 255 comuni. Il totale finanziato fino al 2011 è di 21.754.174 euro. I terreni nei quali può essere applicato sono quelli seminativi e si può accedere ai finanziamenti se si rispettano le seguenti condizioni:

- formulare e rispettare un piano di concimazione che sia fondato su analisi fisiche/chimiche del terreno;
- alternare almeno 3 colture ogni 5 anni (principale, miglioratrice, da rinnovo);
- sottoscrivere un impegno aggiuntivo facoltativo volto all'aggiunta di due semine ogni 5 anni di una coltura di copertura (*cover crops*).

Nella mappa in *figura 4.1* si può notare che, nonostante tutto il territorio regionale sia interessato dall'azione, la maggior parte dei comuni finanziati ricade nelle provincie di Mantova, Cremona e nei comuni a sud della provincia di Brescia, territori nei quali si concentrano i seminativi e parte degli allevamenti lombardi. Molto buona è anche la partecipazione dei comuni dell'Oltrepò Pavese che, pur avendo terreni prevalentemente coltivati con colture permanenti e colture energetiche o da legno, riescono a partecipare al bando e ottenere finanziamenti.

Misura 214 azione C – Produzioni vegetali estensive. Impatto molto elevato nell'incremento del tenore di carbonio nei suoli secondo il rapporto di valutazione intermedia del PSR: principale obiettivo dell'azione è il mantenimento di prati e pascoli che conservino e permettano l'ac-

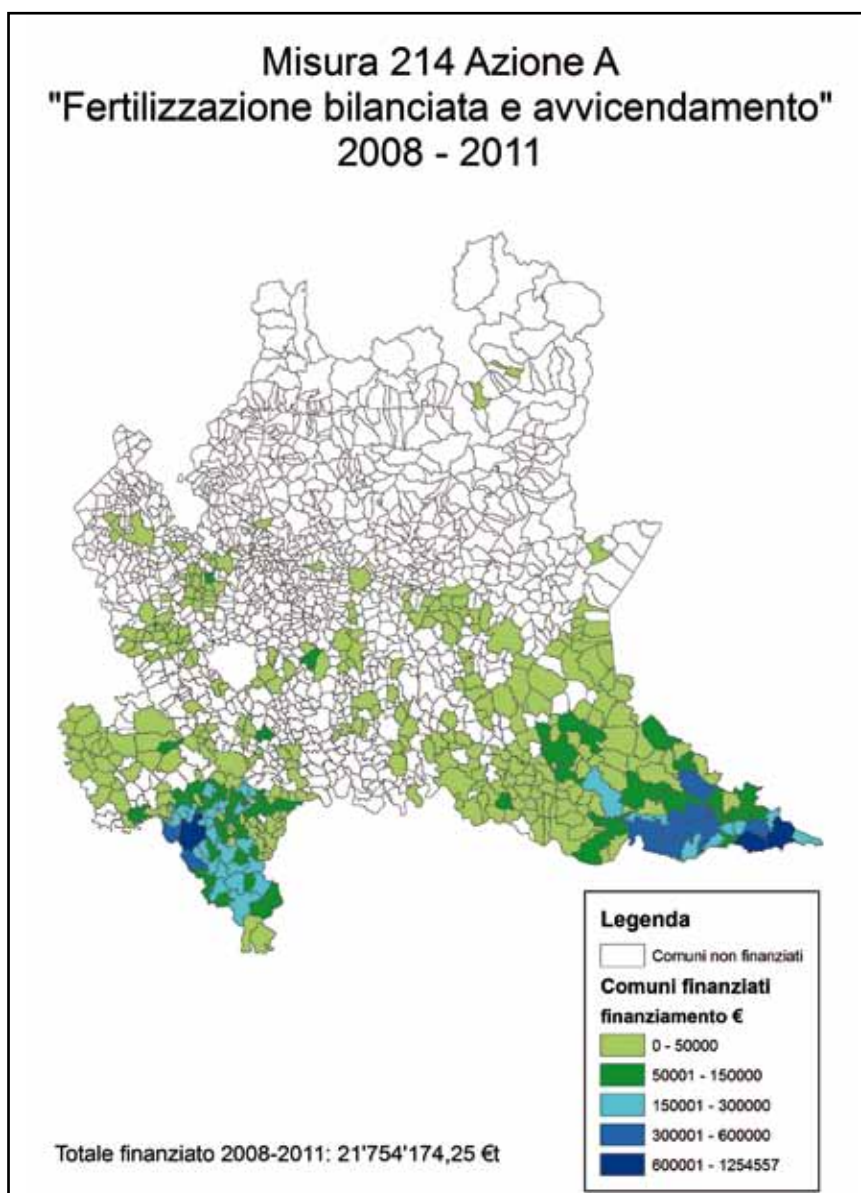


Figura 4.1 – Comuni nei quali esistono terreni finanziati attraverso la Misura 214 azione A.

cumulo di sostanza organica e quindi di carbonio nei suoli, specialmente in quelli sciolti, con abbondante scheletro. L'azione è stata bandita dal 2008 al 2012. Le aziende partecipanti sono 2111 suddivise su 509 comuni. Il totale finanziato fino al 2011 è di 16.428.479 euro. I terreni campo di applicazione sono quelli classificati da ISTAT in aree di pianura e collina non ricadenti in zone svantaggiate, già comprese in altre forme di finanziamento, e si può accedere ai finanziamenti se si rispettano le seguenti condizioni:

- mantenere le particelle a prato per tutta la durata dell'impegno;
 - non utilizzare prodotti fitosanitari e diserbanti;
 - eseguire almeno tre sfalci all'anno asportando i prodotti ottenuti;
 - non utilizzare fanghi;
 - eseguire tutte le operazioni di cura e protezione del cotico che mirano ad ottenere una buona composizione floristica ed al contenimento delle specie infestanti, come gli interventi di erpicatura, rullatura, trasemina, fertilizzazione ecc., come indicato nel suddetto disciplinare.
- L'azione come si vede dalla mappa (figura 4.2) interessa tutte le provincie con terreni prevalen-

temente in pianura e collina e in particolare i terreni ricadenti nella fascia dei fontanili dove la gestione dei terreni a prato è caratteristica. La zona montana delle provincie di Brescia, Bergamo, Pavia e Sondrio è esclusa dai finanziamenti poiché le zone sono interessate dalla misura 211 legata alle zone svantaggiate.

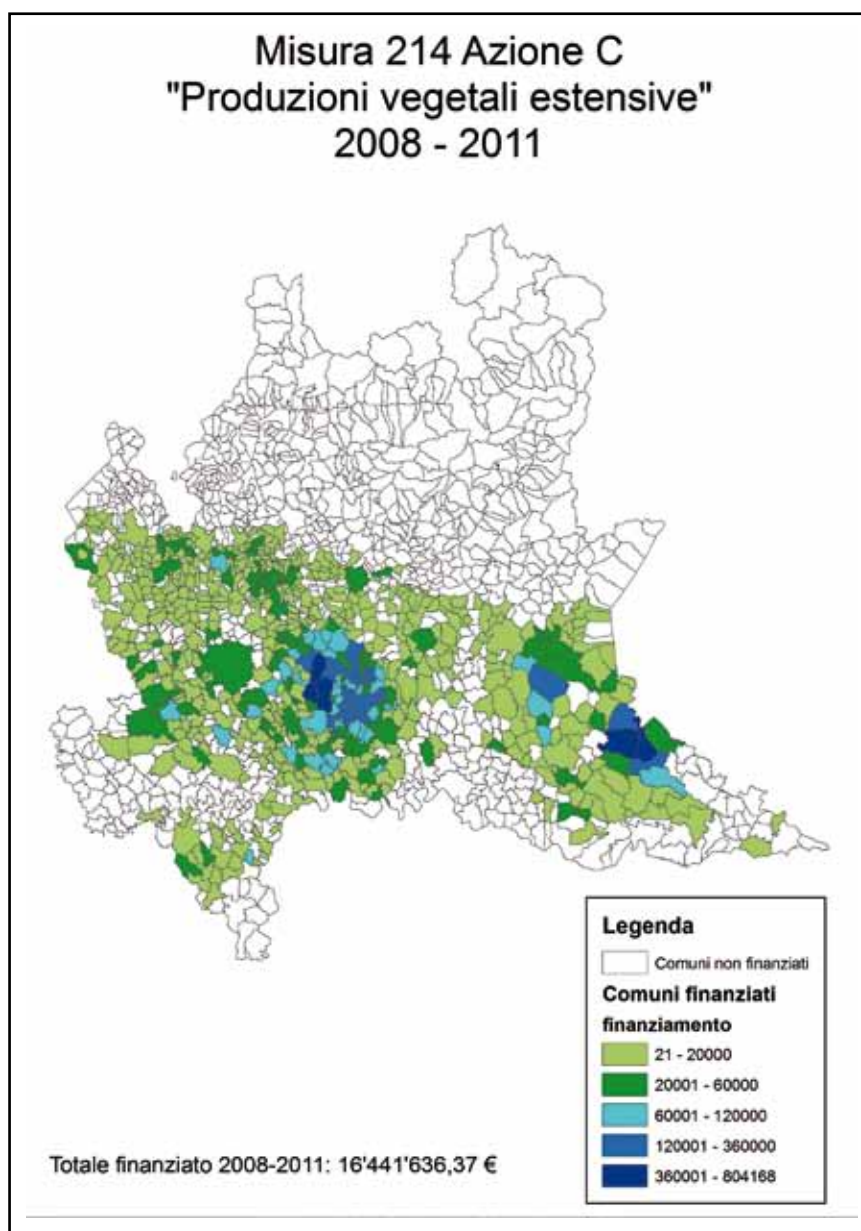


Figura 4.2 – Comuni nei quali esistono terreni finanziati attraverso la Misura 214 azione C.

Misura 214 azione E – Produzioni agricole biologiche. Impatto elevato nell'incremento del tenore di carbonio nei suoli per il rapporto di valutazione intermedia del PSR: principale obiettivo dell'azione è il mantenimento delle superfici coltivate a biologico o in conversione. L'azione ha avuto bandi dal 2007 al 2012, le aziende partecipanti sono 406 (biologiche e in conversione) suddivise su 207 comuni, il totale finanziato fino al 2011 è di 8.760.734 euro, i terreni in cui si applica l'azione sono tutti quelli ricadenti in regione Lombardia, e si può accedere ai finanziamenti se si rispettano le seguenti condizioni:

- condurre le superfici aziendali in conformità ai metodi di produzione definiti dal Reg. (CE) 834/2007;
- convertire tutta la SAU aziendale al biologico;

- condurre l'allevamento in conformità al Reg. (CE) 834/2007. L'azione non esclude dal finanziamento nessuna provincia. Si possono notare però delle concentrazioni dei finanziamenti nelle provincie di Pavia, Mantova e nella provincia di Brescia sulla sponda del Lago di Garda (*figura 4.3*).

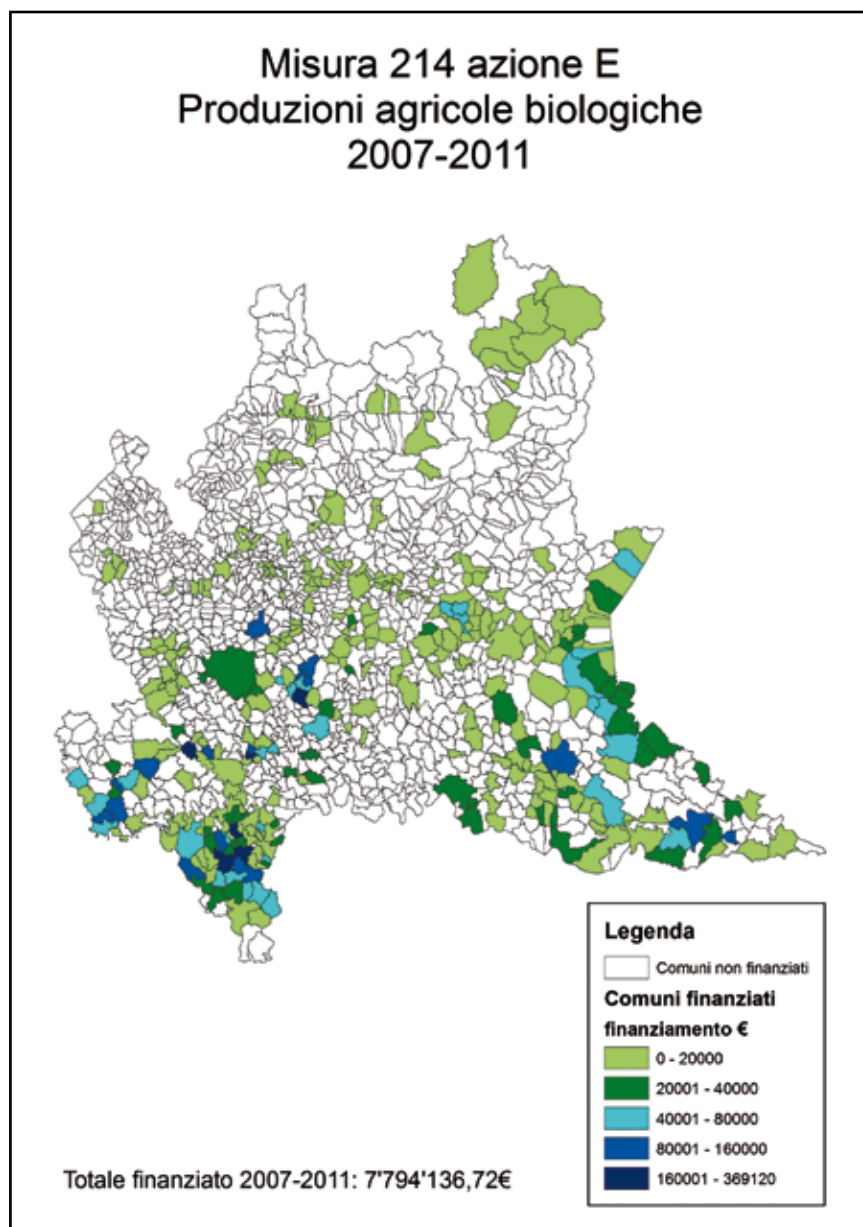


Figura 4.3 – Comuni nei quali esistono terreni finanziati attraverso la Misura 214 azione E.

Misura 214 azione F – Mantenimento delle strutture vegetali lineari e fasce tampone boscate (FTB). Impatto significativo nell'incremento del tenore di carbonio nei suoli per il rapporto di valutazione intermedia del PSR: l'azione ha scarso valore dal punto di vista della partecipazione e dal punto di vista di una quantificazione di carbonio stoccato nei suoli. La misura finanzia le siepi e i filari non per superficie interessata ma per metro lineare in manutenzione. Più interessante sembra invece essere la superficie gestita a fascia tampone boscata. Di seguito si riportano ugualmente i dati che possono essere interessanti per sviluppi futuri del progetto. L'azione ha avuto bandi dal 2008 al 2012, le aziende partecipanti sono 131 suddivise su 92 comuni, il totale finanziato fino al 2011 è di 276.650 euro. I terreni campo di applicazione sono quelli

ricadenti in regione Lombardia e che permettono la creazione di corridoi ecologici e quindi per lo più ricadenti nella rete ecologica regionale (RER); si può accedere ai finanziamenti se si rispettano le seguenti condizioni:

- divieto di diserbo chimico e lotta fitosanitaria;
- effettuare i lavori di manutenzione quali irrigazione di soccorso, reintegrazione delle fallanze, cure colturali e cure localizzate;
- mantenere libera da coltivazioni agrarie (prato escluso) una fascia di rispetto.

La misura interessa pochi comuni, che hanno per lo più territori limitrofi ai grandi fiumi della pianura lombarda, Adda, Serio, Oglio e Mincio. La misura infatti tende a finanziare progetti che connettano aree della rete ecologica rurale (RER) per creare corridoi verdi di passaggi di fauna e riserva di biodiversità (figura 4.4).

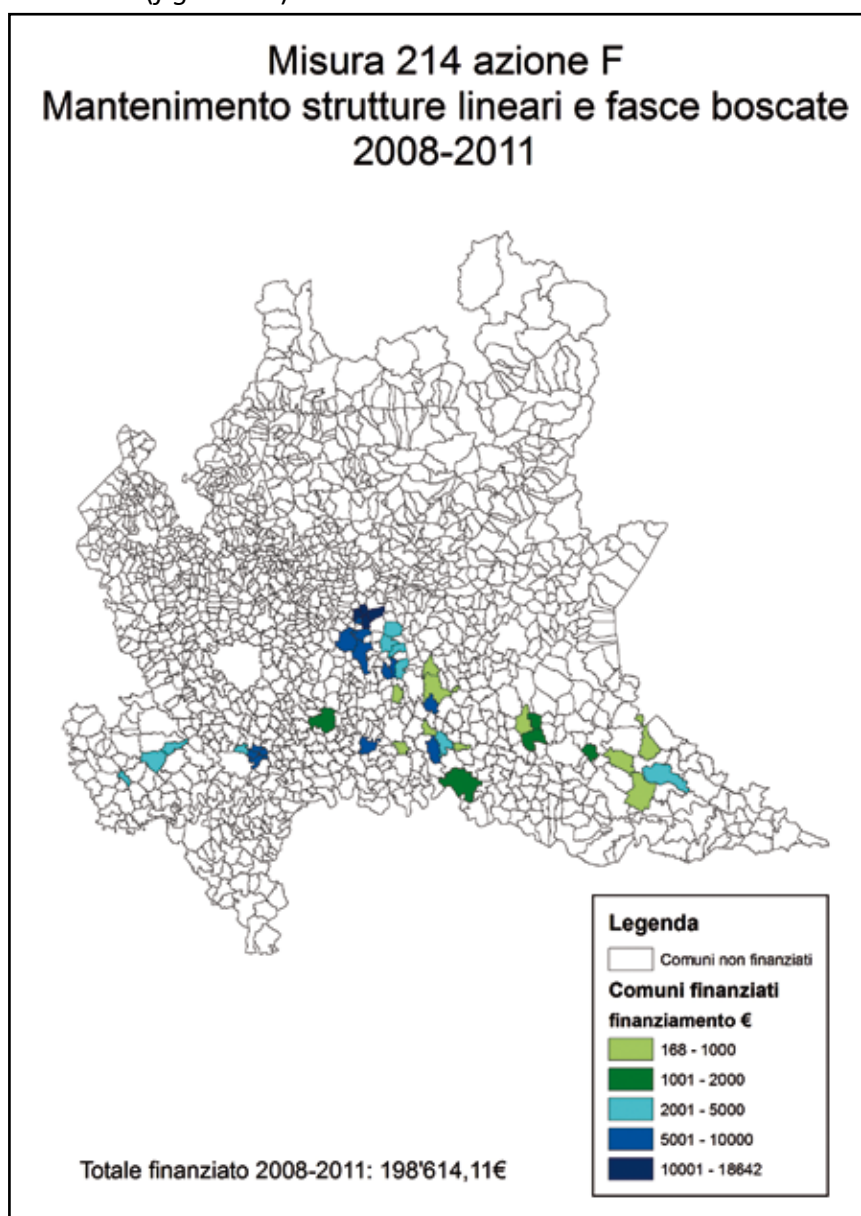


Figura 4.4 – Comuni nei quali esistono terreni finanziati attraverso la Misura 214 azione F.

4.3.2 Misura 216 – Investimenti non produttivi

La misura 216 finanzia interventi di tutela dell'ambiente e di miglioramento del paesaggio rurale con l'obiettivo di supportare gli investimenti aziendali non remunerativi necessari alla rea-

lizzazione degli obiettivi delle misure agroambientali, contribuire alla tutela dell'ambiente e al miglioramento del paesaggio e conservare la biodiversità, tutelare e diffondere sistemi agro-silvo-forestali ad alto valore naturalistico.

La Misura 216 è strettamente connessa con la Misura 214 "pagamenti agroambientali", in particolare con le azioni F "Mantenimento di strutture vegetali lineari e fasce tampone boscate" e G "Miglioramento ambientale del territorio rurale".

Dal 2010 al 2011 sono stati erogati circa 21 milioni di euro, dei circa 34 milioni stanziati a inizio programmazione, suddivisi tra 2 differenti pratiche. Le pratiche della misura sono di interesse per l'immagazzinamento di carbonio poiché favoriscono la piantumazione di nuove alberature o siepi e la creazione di zone naturali non più soggette a rivoltamenti di suolo.

Vengono riportate di seguito la descrizione delle pratiche finanziate dalla misura:

– *Azione A: Realizzazione strutture vegetali lineari e fasce tampone boscate*

Attraverso questa azione è possibile realizzare nuove siepi (struttura vegetale plurispecifica di arbusti o alberi ad andamento lineare), filari (struttura vegetale plurispecifica di alberi ad andamento lineare) e fasce tampone boscate (copertura arborea arbustiva localizzata lungo scoline, fossi, rogge e canali di bonifica).

– *Azione B: Miglioramento ambientale del territorio rurale*

B.1 - Recupero dei fontanili

Questa tipologia di intervento prevede il recupero ambientale e funzionale di fontanili e risorgive, compresi gli interventi finalizzati a ripristinare la portata idrica prodotta, mediante interventi di manutenzione straordinaria sulla testa o sull'asta dei fontanili.

B.2 - Rinaturalizzazione di altri tipi di zone umide

Gli interventi sono finalizzati alla realizzazione di zone umide d'interesse vegetazionale e faunistico su terreni agricoli.

Di seguito si riporta la mappa dei comuni interessati dai finanziamenti della misura 216 (figura 4.5). Le aziende che hanno partecipato fino al 2011 alla misura sono 323 con progetti che interessano le superfici di 203 comuni. I comuni ricadono per lo più nella fascia dei fontanili dove risiedono la maggior parte dei progetti legati alla rete ecologica rurale e alla creazione di passaggi ecologici.

4.3.3 Misura 221 – Imboschimento dei terreni agricoli

La misura 221 finanzia la costituzione di boschi permanenti e di impianti di arboricoltura da legno su terreni agricoli in Lombardia, che rappresenta uno degli interventi principali per l'incorporazione di carbonio nei suoli. Gli obiettivi principali sono quelli di contribuire alla protezione dell'ambiente e alla prevenzione delle avversità ambientali, con particolare attenzione alla mitigazione del cambiamento climatico, di favorire il miglioramento del paesaggio e della funzionalità degli ecosistemi attraverso la ricostituzione di reti ecologiche e di incentivare le produzioni legnose ecologicamente sostenibili.

La misura è aperta agli agricoltori, ma anche alle amministrazioni pubbliche che posseggono terreni agricoli. Gli interventi sono finanziati solo per i suoli classificati dall'Istat come "Pianura" e "Collina" e quindi non tutto il territorio regionale può essere interessato dal finanziamento.

Le tipologie finanziate riguardano sia pioppeti che cedui da biomassa con cicli brevi per cui i terreni risultano impegnati per almeno 8 anni, e arboricoltura da legno e boschi permanenti con cicli più lunghi per cui i terreni risultano impegnati per almeno 15 anni.

La misura ricalca in parte il regime comunitario di aiuti alle misure forestali nel settore agricolo istituito dai fondi strutturali nel 1992 attraverso il regolamento 2080/92, non più in vigore, che finanziava l'impianto, la manutenzione e il mancato reddito per arboricoltura. Anche in questa misura viene finanziato l'impianto nei terreni agricoli. La manutenzione e il mancato reddito vengono garantiti solamente ai terreni impegnati per un maggior numero di tempo.

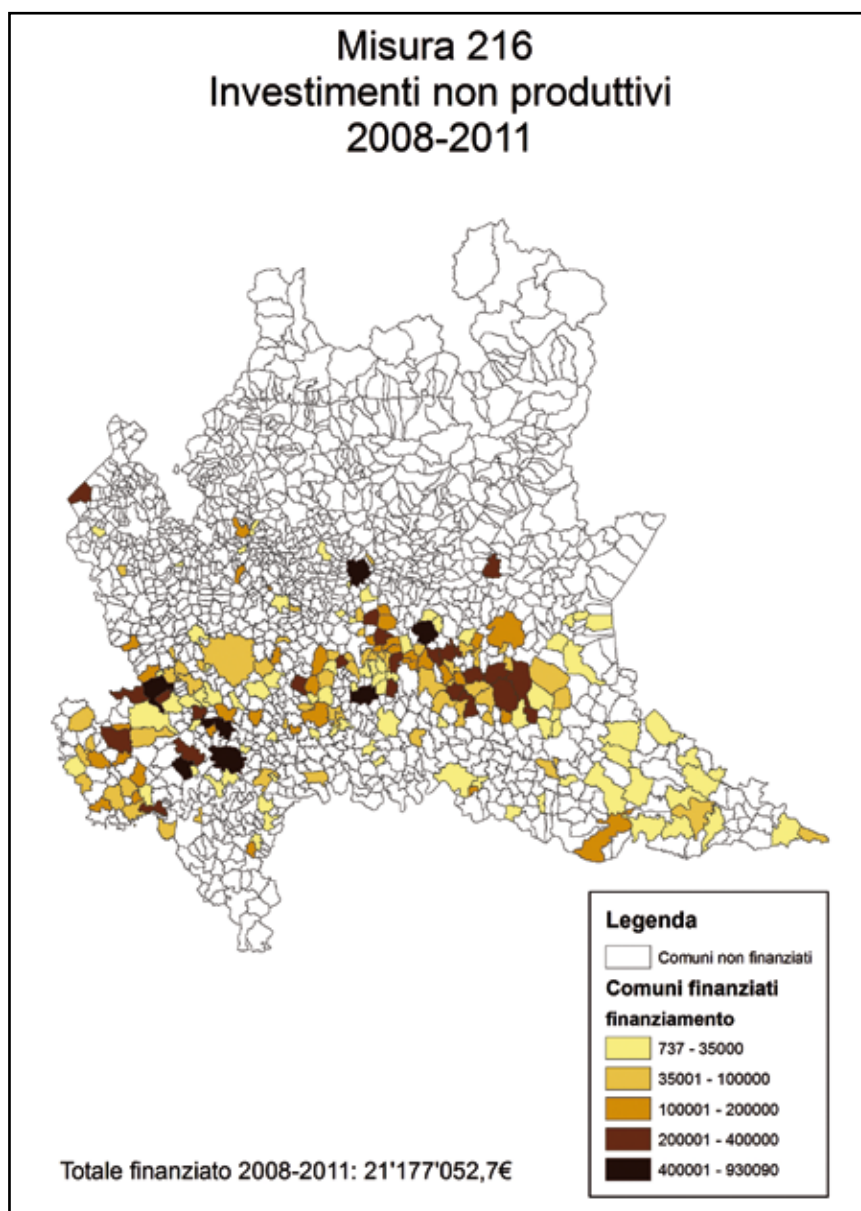


Figura 4.5 – Comuni nei quali esistono terreni finanziati attraverso la Misura 216.

Nella scorsa programmazione la misura assimilabile era la misura H alla quale erano destinati circa 60 milioni di euro di finanziamenti. Nell'attuale programmazione il finanziamento stanziato è di 120 milioni, ma poco di questo è stato utilizzato.

Le tipologie di intervento ammissibili a finanziamento sono:

- Tipologia A: Boschi permanenti, a scopo ambientale, paesaggistico o protettivo, con durata dell'impegno di anni 15 ma con vincolo forestale permanente;
- Tipologia B: Arboricoltura da legno a ciclo medio - lungo, per la produzione di legname di pregio con durata dell'impegno di anni 15;
- Tipologia C: Arboricoltura da legno con ceduzione a turno breve, per la produzione di biomassa a fini energetici o di legname da lavoro, con durata dell'impegno di anni 8;
- Tipologia D: Arboricoltura da legno a rapido accrescimento, pioppeti, con durata dell'impegno di anni 8.

Le condizioni per cui un conduttore può partecipare al finanziamento riguardano per lo più il terreno su cui avverrà l'impianto che deve essere agricolo a tutti gli effetti e cioè nei due anni precedenti deve essere stato coltivato con seminativi o altre erbacee avvicendate. Non posso-

no rientrare terreni gestiti fino all'impianto con prato o pascolo. Di seguito si riporta la localizzazione dell'intervento (figura 4.6). La misura è attiva dal 2008 e ha permesso il finanziamento di 286 aziende dislocate su 174 comuni; sino a tutto il 2011 sono stati erogati 4.786.642 euro. Dalla distribuzione dei finanziamenti risulta chiara quale tipologia (C e D in particolar modo) sia stata maggiormente scelta dagli agricoltori. I comuni interessati dal finanziamento sono quelli limitrofi ai corsi d'acqua dove le zone golenali e i terreni in prossimità dei fiumi sono coltivati a pioppo o a colture energetiche.

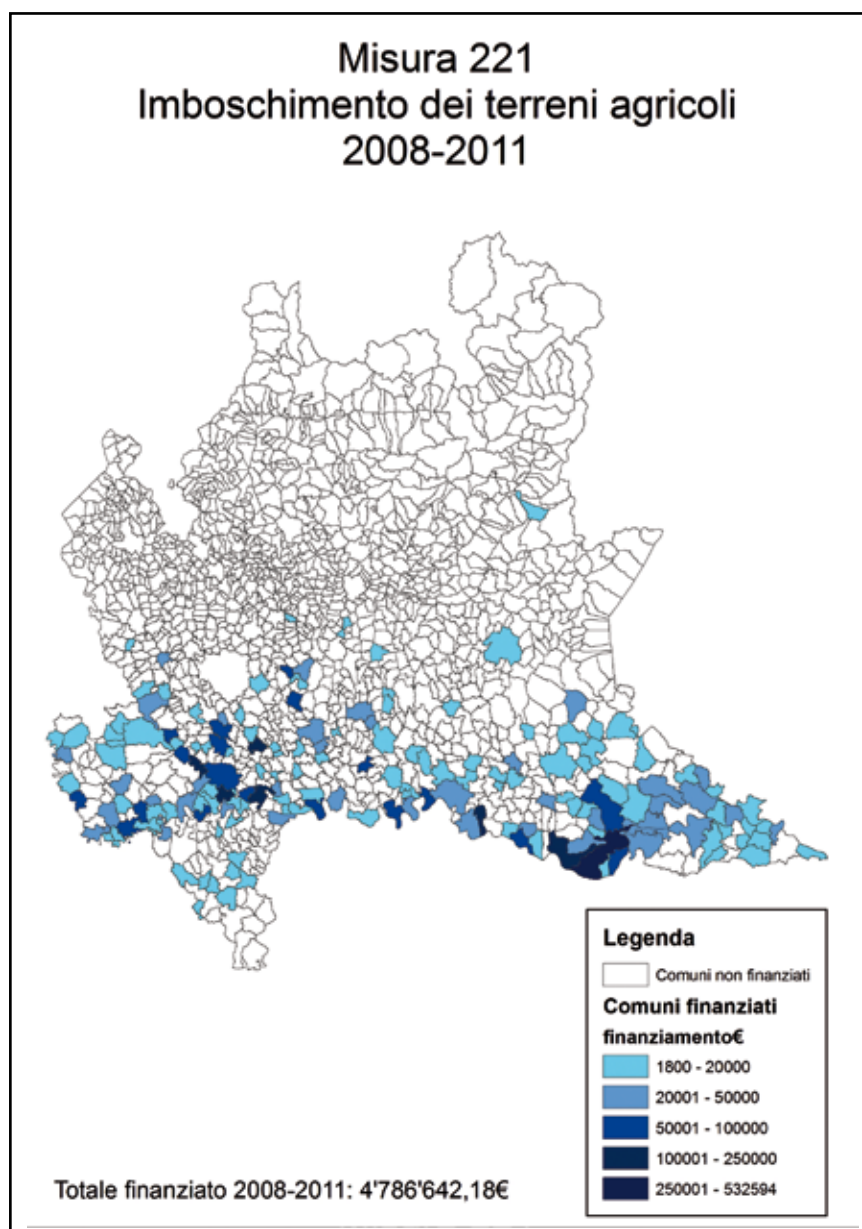


Figura 4.6 – Comuni nei quali esistono terreni finanziati attraverso la Misura 221.

4.3.4 Misura 223 – Imboschimento delle superfici non agricole

La misura 223, che finanzia la costituzione di boschi permanenti su terreni non agricoli in Lombardia, è una delle meno partecipate di tutto il PSR. In 4 anni di bando sono stati effettivamente erogati solamente 121.170 euro, rispetto al totale stanziato di 4.317.243 euro. La misura potrebbe essere maggiormente utilizzata per obiettivi di incorporazione di carbonio nei suoli, tanto più che possono parteciparvi anche consorzi e comuni oltre che agricoltori. I territori non utilizzati potrebbero diventare suoli per stoccare carbonio attraverso la creazione di boschi

e foreste. Gli obiettivi della misura sono invece quelli di miglioramento del paesaggio e della funzionalità degli ecosistemi attraverso la ricostituzione, soprattutto in pianura, di reti ecologiche essenziali per la conservazione della biodiversità e di evitare l'abbandono e il degrado del territorio a seguito dell'abbandono colturale.

Di seguito si riporta la localizzazione dell'intervento (*figura 4.7*). La misura è attiva dal 2008 e ha permesso il finanziamento di 6 aziende/comuni dislocate su 6 comuni.

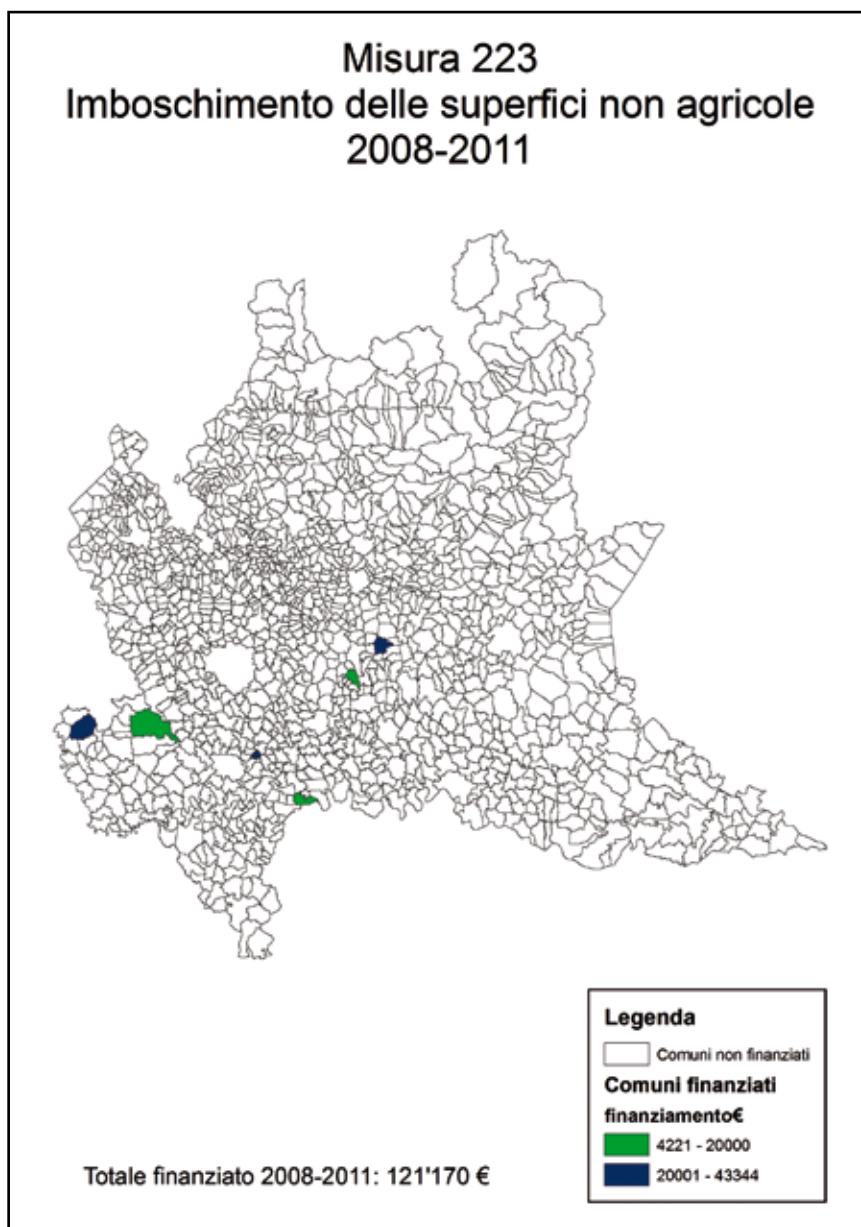


Figura 4.7 – Comuni nei quali esistono terreni finanziati attraverso la misura 223.

4.3.5 Misura 226 – Ricostituzione del potenziale forestale.

La misura 226 finanzia la ricostituzione e il ripristino di boschi danneggiati da disastri naturali e da incendi, il miglioramento dei soprassuoli forestali con l'obiettivo di salvaguardare la biodiversità e la stabilizzazione dei versanti potenzialmente instabili e il consolidamento del reticolo idrografico minore. Gli interventi finanziati sono tutti quelli previsti per la ricostituzione e il miglioramento di un bosco danneggiato e quindi: taglio del materiale danneggiato, creazione di buche per il rinnovamento del bosco, piantumazione di nuovi alberi e la conversione ad alto fusto i boschi cedui non più utilizzati; pratiche che permettono una migliore

gestione del bosco e una crescita delle piante e quindi un maggior accumulo di carbonio nel legno e nei suoli.

Di seguito si riporta la localizzazione dell'intervento (*figura 4.8*). La misura è attiva dal 2009 e ha permesso il finanziamento di 66 consorzi/comuni/conduttori di superfici forestali dislocate su 61 comuni. I fondi erogati sono fino al 2011 15.569.211 euro.

Il comune di Milano risulta essere uno dei comuni finanziati a causa della presenza della sede legale di diverse amministrazioni pubbliche. Questo dato risulta essere anomalo poiché i dati di finanziamento devono indicare le aree di progetto.

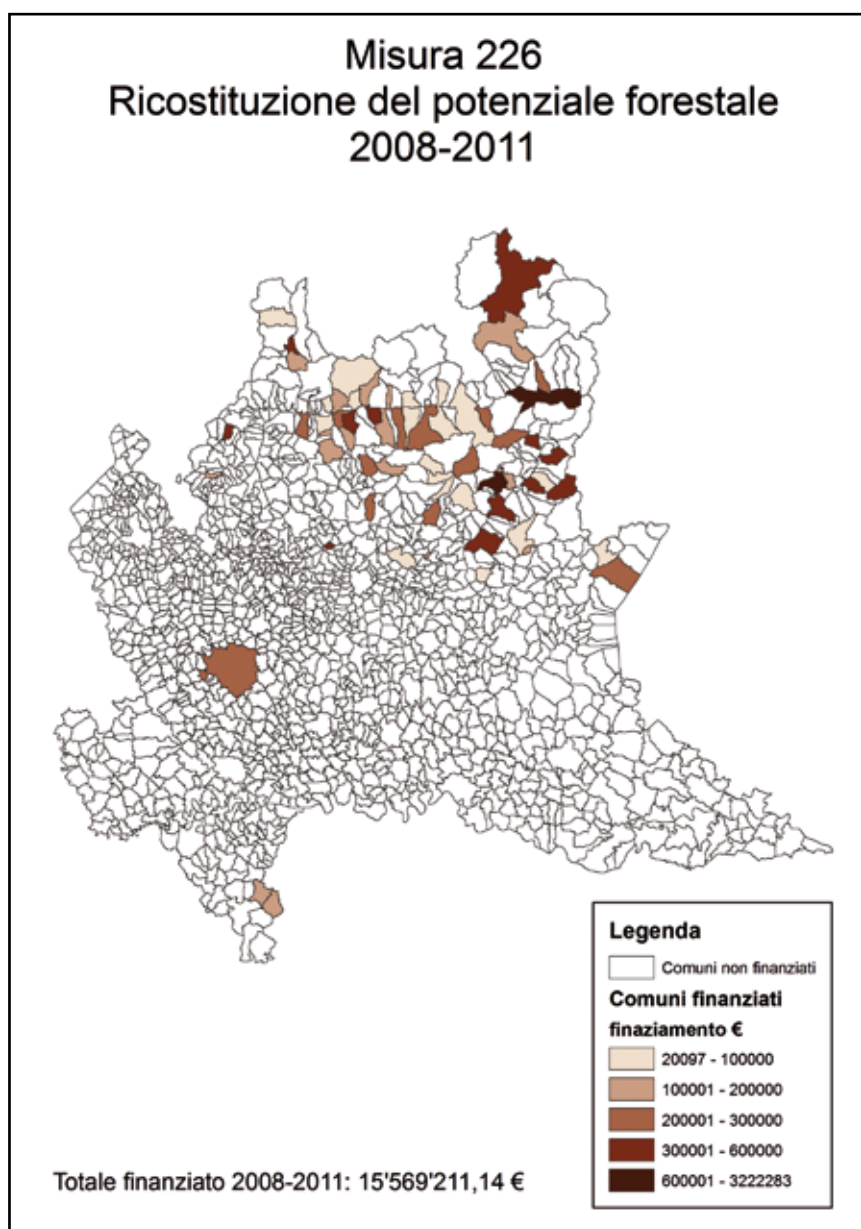


Figura 4.8 – Comuni nei quali esistono terreni finanziati attraverso la misura 226.

4.4 Politiche extraeuropee

Dal protocollo di Kyoto e da meccanismi possibili per rientrare nelle prescrizioni del protocollo sono nate e poi sono state applicate politiche volte alla diminuzione delle emissioni e allo stoccaggio di carbonio nei suoli in tutto il mondo.

Di seguito indichiamo per ogni continente le politiche assunte da diversi Paesi nel mondo che direttamente o indirettamente influiscono sull'incorporazione di carbonio nei suoli, sfruttando pratiche agricole o forestali, o sulla riduzione di emissioni nel comparto agricolo.

4.4.1 USA e Canada

Gli Stati Uniti sono la nazione con le emissioni più alte che non ha ratificato il Protocollo di Kyoto. Nel 1998 il governo Clinton aveva firmato il protocollo di Kyoto, ma nel 2001 l'amministrazione G.W. Bush ha respinto il protocollo a seguito del voto negativo del Senato americano. Allo stesso modo il Canada si è ritirato dal protocollo di Kyoto nel Dicembre del 2011 a seguito degli obblighi imposti dal protocollo e che avrebbe dovuto pagare per il non rispetto dei parametri prestabiliti sulle emissioni.

Le pratiche per sequestrare carbonio sono sostenute nei diversi Paesi da politiche di carattere volontario, come condizionalità ad alcuni finanziamenti e da un mercato di crediti di carbonio. In Nord America sono state proposte politiche per la riduzione di emissioni come la *Clear Skies Initiative* che si pone l'obiettivo di ridurre le emissioni entro il 2018 di biossido di zolfo (SO_2) del 73%, degli ossidi di azoto (NO_x) del 67% e di mercurio del 69 %, rispetto ai livelli del 2000 attraverso l'imposizione di un tetto alle emissioni e la creazione di un mercato di crediti di emissioni (*cap and trade*). In particolare la politica introdotta dall'amministrazione G.W. Bush influisce in modo sostanziale sulle piogge acide e sull'inserimento di nuove tecnologie più efficienti nell'abbattimento dei suddetti gas. La legge non introduce invece una soglia sulle emissioni di CO_2 , il cui abbattimento è invece obiettivo di altre due politiche proposte nel 2003, ma mai promulgate, con lo scopo di ridurre i gas a effetto serra più rapidamente della precedente legge (*Clear Skies Initiative*) sempre attraverso il mercato di crediti: il *Clean Air Planning Act* e il *Clean Power Act*. Le due leggi avrebbero dovuto riguardare le aziende produttrici di energia che avrebbero dovuto sottostare a determinati limiti di emissioni di CO_2 , NO_x , SO_2 e $PM_{2.5}$.

In alcuni casi sono stati sviluppati programmi pilota che si proponevano di ridurre le emissioni o stoccare nei suoli il carbonio attraverso l'adozione di pratiche di non lavorazione, come il *Chicago Climate Exchange (CCX)* che dal 2003 cerca di abbattere le emissioni dei 6 maggiori gas attraverso un sistema di commercializzazione di crediti.

Il programma prevede che i sostenitori e gli aderenti al programma rispettino il protocollo per l'abbattimento del carbonio attraverso le migliori pratiche agricole ed in particolare attraverso una lavorazione conservativa o la riconversione dei seminativi a prato. I terreni sono individuati dall'*USDA (United States Department of Agriculture)* e dall'*LRR (Land Resource Regions)* e devono sottostare ad un periodo di almeno 5 anni durante i quali viene garantita la non riconversione a terreni con pratiche tradizionali.

Le pratiche agricole che vengono ritenute valide per accedere allo schema CCX sono:

- nessuna lavorazione;
- lavorazione a strisce;
- semina su sodo;
- lavorazione a zolle;
- lavorazione a zone.

I finanziamenti sono mutati negli anni da circa 1 dollaro/ton di carbonio assorbito a circa 6 dollari.

In Canada il GHG Mitigation Program prodotto dal ministero AAFC (Agriculture and Agri-Food Canada) è un programma volontario per l'assunzione da parte degli agricoltori delle migliori tecniche disponibili per ridurre le emissioni nel comparto agricolo e fare in modo che il suolo diventi un assorbitore (sink) di carbonio. Il programma, nato per dare risposta al protocollo di Kyoto, ha previsto l'indirizzo di 21 milioni di dollari come incentivi agli agricoltori che utilizzano pratiche

volte a ridurre l'emissione di GHG o ad aumentare l'incorporazione di carbonio nei suoli. Una componente del programma è la verificabilità della diminuzione delle emissioni o dell'aumento dell'incorporazione nei suoli di carbonio a livello scientifico anche attraverso modelli di calcolo delle emissioni dalle aziende (*Canadian cattlemen's association greenhouse gas calculator*).

Un programma pilota introdotto in Canada è il *Canada's Pilot Emission Removals, Reductions and Learning's* (PERRL) che permetteva agli agricoltori di ricevere 11,08 dollari/t CO₂ stoccata. Le tonnellate di CO₂ stoccate venivano calcolate attraverso dei coefficienti di sequestro del carbonio. Gli agricoltori dovevano rispettare le tecniche di non lavorazione, non potevano arare il terreno e non potevano bruciare le stoppie. Il PERRL nel 2007 è stato abbandonato dopo 15 milioni di finanziamento.

Una provincia del Canada, l'Alberta, ha predisposto e regolamentato un sistema di compensazione delle emissioni di carbonio per tutte le aziende (ricadenti nel settore industriale ed energetico) con emissioni superiori a 100.000 t CO₂equivalenti. Le aziende devono abbattere la propria emissione del 12% rispetto ai livelli base (calcolati come media delle emissioni avvenute nel triennio 2003-2005) e possono farlo attraverso il rinnovamento delle tecnologie impiegate o l'utilizzo di macchinari meno impattanti sull'ambiente. Qualora i livelli eccedessero il target di riduzione delle emissioni, l'azienda avrebbe la possibilità di compensare l'eccedente con crediti comprati nel mercato, *Alberta offset market*, che commercia crediti derivanti anche da pratiche agricole dopo effettiva certificazione dello stoccaggio nei suoli di carbonio. I protocolli di controllo riportano anche tabelle e coefficienti di stoccaggio di carbonio per pratiche agricole e forestali o per cambiamenti di tecniche colturali. Gli agricoltori che partecipano volontariamente al programma ricevono finanziamenti per le quantità di crediti di carbonio creati (Alberta Protocol, 2012).

4.4.2 Asia

I Paesi più popolati dell'Asia (Cina, India) hanno firmato e ratificato il Protocollo di Kyoto nel 2002, che però non impone alcun impegno di riduzione di emissione a causa del loro status di Paesi in via di sviluppo. Il Giappone al contrario, firmatario del protocollo con un impegno di riduzione del 6% delle emissioni rispetto ai livelli del 1990, nel dicembre 2011 ha però ritirato la sua partecipazione chiedendo ai paesi firmatari di intrattenere trattative con le nazioni che emettono di più e che non sono obbligate a ridurre le proprie emissioni (Cina, USA, India, Brasile).

In Asia, particolarmente in Cina, attraverso la *Land Reclamation Regulation*, e in India, sono state adottate politiche di riforestazione e di riconversione a prato di zone degradate, non come impegno verso la riduzione di emissioni di GHG, ma contro la desertificazione; queste pratiche risultano comunque positive nel bilancio complessivo di GHG.

La *Land Reclamation Regulation* (LRR), adottata dalla Cina nel 1998, ha come obiettivo il recupero delle zone degradate da costruzioni o da scavi minerari abbandonati attraverso la bonifica, che viene incrementato attraverso pratiche agricole o di riforestazione. Le imprese che hanno utilizzato aree come miniere o per costruzioni devono accollarsi le spese di bonifica e riportare i territori ad uno stato con caratteristiche definite dalla LRR.

Allo stesso modo politiche che si rifanno alla convenzione sulla biodiversità (*Convention on Biological Diversity* – CBD, UN 1992), convenzioni per combattere la desertificazione (*United Nations Convention to Combat Desertification* -UNCCD) e azioni per uno sviluppo sostenibile supportano progetti di riforestazione e salvaguardia di specie erbacee e arboree che possono incrementare lo stoccaggio di carbonio nei suoli.

In Indonesia, Papua Nuova Guinea e Vietnam si sono sviluppati invece programmi nati per iniziativa delle Nazioni Unite al fine di salvaguardare le foreste da deforestazione e degrado con l'obiettivo primario di ridurre le emissioni, aumentare il sequestro di carbonio atmosferico

e preservare la biodiversità, quali il REDD (*Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation*). Il sistema tende a disincentivare la deforestazione rendendo conveniente il mantenimento delle foreste attraverso incentivi e finanziamenti (il progetto viene descritto nel sottoparagrafo 4.4.4).

4.4.3 Oceania

In Oceania le politiche di restrizioni sulle emissioni legate al cambio d'uso dei suoli messe in campo da Australia e Nuova Zelanda (entrambe firmatarie del protocollo di Kyoto) hanno portato a nuove forestazioni. Inoltre in Australia si è creato un sistema di crediti di carbonio che ha incentivato l'utilizzo del suolo come *sink* di carbonio. Attraverso l'ASCAS (*Australian Soil Carbon Accreditation Scheme*) alcune aree chiamate *Defined Sequestration Areas* (DSAs) possono accedere ai crediti di carbonio che sono pagamenti per tonnellata di CO₂ equivalente stoccata (Jones C., 2007). Il pagamento avviene per il reale stoccaggio di carbonio nei suoli misurato ogni anno e confrontato con l'iniziale stock di partenza.

Gli agricoltori per accumulare carbonio nei suoli possono mettere in campo la tecnica più congeniale alle strumentazioni in possesso e che ritengono più opportuna. Per determinare se è avvenuto un reale aumento di carbonio vengono fatte inizialmente delle analisi sul suolo che definiscono la quota base, successivamente viene fatto un monitoraggio tramite campionamenti di suolo ripetuti nel tempo, definiti dal *National Carbon Accounting System* (McKenzie et al. 2000). I campionamenti riguardano 8 strati di suolo (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-70, 70-90, 90-110 cm) da cui si estrae la reale quantità di carbonio accumulato attraverso monitoraggi annuali per un periodo iniziale di tre anni. Ad ogni aumento di 0.15 pc di carbonio nel suolo si ha un equivalente di 23.1 t/ha di carbonio.

Il carbonio stoccato (tC/ha) viene moltiplicato per 3.67, ciò permette di determinare l'equivalente di CO₂ stoccata nel terreno. Gli agricoltori sono pagati 90 dollari/ton/anno in maniera retroattiva per l'aumento di carbonio nei loro suoli per i primi 3 anni attraverso *Rio Tinto Coal*, società mineraria che gestisce un fondo per il finanziamento della politica, che garantirà il finanziamento per i primi tre anni di prova.

La *Carbon Farming Initiative* (CFI), approvata dal governo australiano nel 2011, è un'altra politica che consente agli agricoltori e alle amministrazioni di ottenere crediti di carbonio grazie a pratiche agricole e forestali che permettono di immagazzinare carbonio o di ridurre le emissioni di gas a effetto serra. I crediti derivano da attività come la riforestazione, la gestione accurata della savana per la prevenzione degli incendi, la riduzione dell'inquinamento del comparto zootecnico e di fertilizzanti ed il maggior utilizzo di tecniche conservative. I crediti inoltre possono essere venduti a privati e aziende che desiderano compensare le loro emissioni (CFI, 2013). Attraverso il *Clean Energy Future plan*, programma che comprende la CFI, sono stati destinati 1.7 miliardi di dollari AUD (1 euro = 1,33 AUD) al settore agricolo per i progetti utili all'immagazzinamento del carbonio.

In Nuova Zelanda dal 2008 esiste il *New Zealand Emissions Trading Scheme* (NZ ETS) che cerca di coprire attraverso ETS le emissioni della silvicoltura, dell'energia inoperante, dei processi industriali e dei combustibili fossili liquidi, che sono collettivamente responsabili di circa il 50 per cento delle emissioni di Nuova Zelanda. Dal 2015 entreranno nello schema anche le emissioni provenienti dal campo agricolo. La piantumazione permette ai possessori di foreste di avere dei crediti da vendere alle imprese che ne necessitano. Il numero di crediti dati ad ogni foresta è stabilito dalla legge a seconda dell'anno di impianto.

Di seguito si riporta lo schema del *New Zealand Emissions Trading Scheme* (figura 4.9).

Lo schema riporta sinteticamente ciò che può accadere in un mercato di crediti di emissioni: l'impresa che ha emissioni superiori ai limiti imposti dalla legge (NZ ETS) può comprare i crediti

dai possessori di terreni che hanno fatto crescere boschi o foreste e quindi acquisito crediti di carbonio rivendibili, dopo aver certificato il reale aumento di carbonio nei suoli. I crediti possono essere anche comprati dall'impresa terza che attraverso il miglioramento tecnologico è riuscita ad abbattere più emissioni rispetto a quelle imposte e che può quindi immettere sul mercato i crediti in *surplus*.

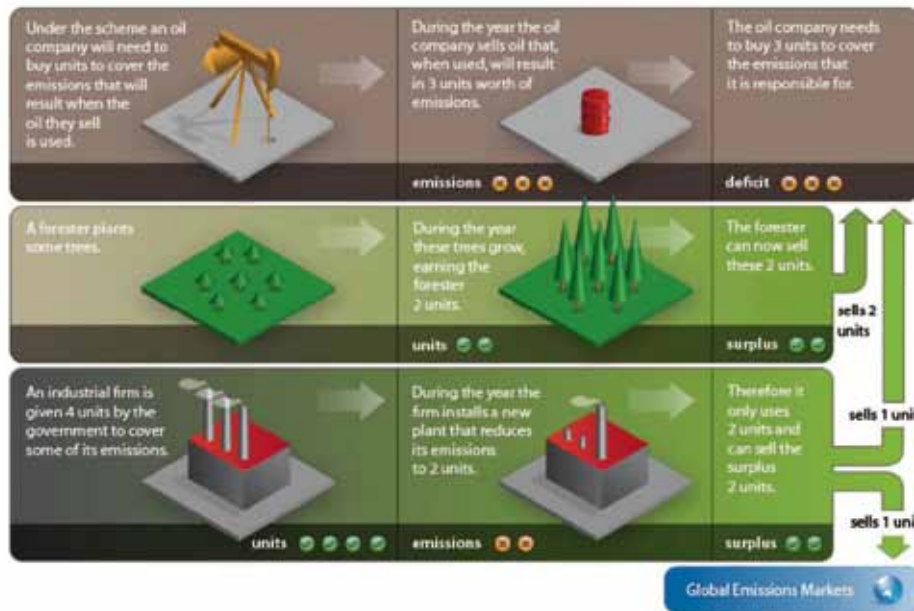


Figura 4.9 – Mercato di crediti di carbonio secondo la NZ ETS Immagine estratta dal sito <http://www.climatechange.govt.nz/emissions-trading-scheme/>

4.4.4 America centrale, America latina, Africa

In America latina, nei Caraibi e in Africa la mitigazione dei cambiamenti climatici non è ancora stata considerata come un aspetto centrale delle politiche da implementare (Smith P. *et al.* 2007). In alcuni Paesi si sono sviluppati progetti REDD (Riduzione delle Emissioni derivanti dalla Deforestazione e dalla Degradazione delle foreste), omologhi a quelli dei Paesi asiatici, per preservare le foreste dal degrado e dalla deforestazione aumentando di conseguenza l'accumulo di carbonio nel terreno.

Attualmente, il programma supporta attività in 3 Paesi pilota di America Latina e Caraibi: Bolivia, Panama e Paraguay. Come già detto in precedenza ci sono 3 progetti in Asia: Indonesia, Papua Nuova Guinea e Vietnam.

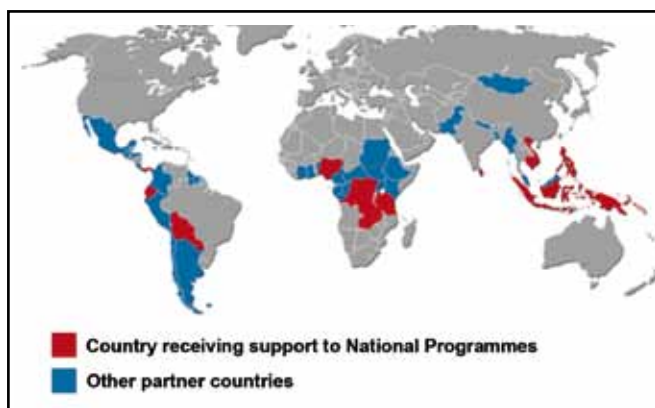


Figura 4.10 – Paesi partecipanti al progetto UN REDD – fonte <http://www.un-redd.org/>

In Africa i Paesi interessati da questi progetti sono: Repubblica Democratica del Congo, Tanzania e Zambia (figura 4.10).

Il meccanismo dei REDD si basa sull'istituzione di un sistema di pagamenti per i Paesi in via di sviluppo che dimostrino la capacità di ridurre le emissioni derivanti dalla deforestazione e degradazione forestale (Brotto *et al.* 2010). Il progetto prevede anche Paesi-partner dove non esiste alcun progetto pilota, ma dove sono avviati studi per un successivo sviluppo della politica.

BIBLIOGRAFIA

E AUTORI

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 1

ACUTIS M., CAROZZI M., FUMAGALLI M., 2010. *Tanti benefici per suolo, aria e acqua*. Ed. Terra e vita.

ALISCIANI F., CARBONE F., 2010. *L'esperienza neozelandese del mercato dei crediti di carbonio per le aziende forestali*. L'Italia Forestale e Montana / Italian Journal of Forest and Mountain Environments 65 (3): 299-311, Accademia Italiana di Scienze Forestali.

CIPE, 2002. *Strategia d'azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia*. CIPE deliberazione n. 57 del 2 agosto 2002.

Comunicazione della commissione al consiglio europeo e al parlamento europeo, 2007. *Una politica energetica per l'europa*. Bruxelles, 10.1.2007 COM(2007).

Comunicazione della commissione al consiglio europeo e al parlamento europeo, 2009. *Adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo sui cambiamenti climatici*. Libro bianco, COM/2009/147 def.

Comunicazione della commissione al consiglio europeo e al parlamento europeo, 2010. *La protezione e l'informazione sulle foreste nell'UE: preparare le foreste ai cambiamenti climatici*. Libro verde, COM/2010/66 def.

Comunicazione della commissione al consiglio europeo e al parlamento europeo, 2010. *La PAC verso il 2020*. COM/2010/ 672/5.

CO₂now, 2012 <http://co2now.org/images/stories/data/co2-atmospheric-mlo-monthly-scripps.pdf>.

Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, 2009 *Promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili*. 2009/28/CE.

European Commission, 2008. *Review of existing information on the interrelations between soil and climate change*. CLIMSOIL. Technical Report - 2008 - 048. ISBN: 978-92-79-20667-2 doi: 10.2779/12723.

European Environment Agency (EEA), 2012. *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2012 - Tracking progress towards Kyoto and 2020 targets*. European Environment Agency report N° 6/2012.

FAO, 2013. *Agricoltura conservativa*. <http://www.fao.org/ag/ca/>.

FREIBAUER A., ROUNSEVELL M., SMITH P., VERHAGEN J., 2004. *Carbon sequestration in the agricultural soils of europe*. Ed. Geoderma.

INEMAR, 2010. *Emissioni in Lombardia nel 2010 - dati per revisione pubblica*. Fonte: http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/webdata/elab_standard_reg.seam?cid=34930 - INEMAR ARPA Lombardia.

ISPRA, 2013. *Annuario dei dati ambientali*: http://annuario.isprambiente.it/content/schedaindicatore/?id_ind=2313&id_area=A01&id_tema=T32.

LAL R., 2004. *Soil carbon sequestration to mitigate climate change*. Geoderma 123 (2004) 1-22

PETTENELLA D., CICCARESE L., 2010. *Agricoltura, selvicoltura e cambiamenti climatici*. Ed. Agrire-gionieuropa, giugno 2010.

PISANTE M., 2007. *Agricoltura Blu - la via italiana dell'agricoltura conservativa*. Ed. Edagricole.

UNFCCC, 2007. Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its second session, held at Nairobi from 6 to 17 November 2006. FCCC/KP/CMP/2006/10/Add.1 - 2 March 2007.

VELDERS G. J. M., ANDERSEN S. O., DANIEL J. S., FAHEY D. W., MCFARLAND M., 2007. *The importance of the Montreal Protocol in protecting climate*, 2007. Ed. by William C. Clark, Harvard University, Cambridge.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 2

ACUTIS M., BRENNIA S., PASTORI M., BASILE A., DE MASCELLIS R., BONFANTE A., MANNA P., PEREGO A., FUMAGALLI M., GUSBERTI D., VELARDO M.C., TREVISIOL P., SCIACCALUGA M., ALBANI G., MALUCELLI F., VINGIANI S., OREFICE N., 2007. *Modellizzazione della dinamica dell'acqua e dell'azoto nei suoli agricoli lombardi – Progetto ARMOSA*. Regione Lombardia quaderno della ricerca n. 65, 128 pp.

ACUTIS M., BECHINI L., FUMAGALLI M., PEREGO A., CAROZZI M., BERNARDONI E., BRENNIA S., PASTORI M., MAZZETTO F., SALI G., VIDOTTO F., 2008. *Gestione dell'azoto sostenibile a scala aziendale, Itinerari tecnici – Progetto GAZOSA*. Regione Lombardia quaderno della ricerca n. 94, 52 pp.

ACUTIS M., PROVOLO, G., BERTONCINI G., 2009. An expert system for the nitrate issue in Lombardian agriculture. *Proceedings of the 16th Nitrogen Workshop*, Turin (Italy), June 28th – July, 1st 2009, 553-554.

AL-KAISI M.M., YIN X., 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of Environmental Quality* 34, 437-445.

BAGGS E.M., STEVENSON M., PIHLATIE M., REGAR A., COOK H., CADISCH G., 2003. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. *Plant Soil* 254, 361–370.

BALL B.C., SCOTT A., PARKER J.P., 1999. *Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland*. Soil and Tillage Research 53, 29-39.

BALLARIN DENTI A., GIANNELLA S., LAPI M., 2008. *Progetto Kyoto Lombardia*. Regione Lombardia – Fondazione Lombardia per l'Ambiente: 79-110.

BATJES N.H., 1996. *Total carbon and nitrogen in the soils of the world*. European Journal of Soil Science, June, 47, 151–163

BHATIA A., SASMAL S., JAIN N., PATHAK H., KUMAR R., SINGH A., 2010. *Mitigating nitrous oxide*

emission from soil under conventional and no-tillage in wheat using nitrification inhibitors. Agriculture, Ecosystems and Environment 136, 247–253.

BRENNA S., D'ALESSIO M. AND SOLARO S., 2004. *Carta dei suoli della Lombardia – scala 1:250.000. Regione Lombardia – ERSAF.*

CURTIN D., WANG H., SELLES F., MCCONLEY B.G., CAMPBELL C.A., 2000. *Tillage effects on carbon fluxes in continuous wheat and fallow-wheat rotations. Soil Science Society of America Journal* 64, 2080-2086.

DARAGHMEH O.A., JENSEN J.R., PETERSEN C.T., 2009. *Soil structure stability under conventional and reduced tillage in a sandy loam. Geoderma* 150, 64-71.

DELGADO J.A., GROFFMAN P.M., NEARING M.A., GODDARD T., REICOSKY D., LAL R., KITCHEN R., RICE C. W., TOWERY D. T., SALON P., 2001. *Conservation practices to mitigate and adapt to climate change. Journal of soil and water conservation*, 66, 118-128.

EAGLE A. J., OLANDER L- P., HENRY L. R., KOZYRA K. H., 2010. *Greenhouse gas mitigation potential of agricultural land management in the united states a synthesis of the literature. Technical working group on agricultural greenhouse gases, Nicolas Institute, Duke university. <http://nicholasinstitute.duke.edu/ecosystem/land/TAGGDLitRev>.*

ELMI A.A., MADRAMOOTOO C., HAMEL C., LIU A., 2003. *Denitrification and nitrous oxide to nitrous oxide plus dinitrogen ratios in the soil profile under three tillage systems. Biol. Fertil. Soils* 38, 340–348.

ERSAF, 2003. *Progetto DUSAF - Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali. Regione Lombardia, Milano.*

GUZHA, A.C., 2004. *Effects of tillage on soil microrelief, surface depression storage and soil water storage. Soil Till. Res.* 76, 105–114.

KERN J.S., JOHNSON M.G., 1993. *Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. Soil Science Society of America Journal* 57, 200-210.

LAL R., KIMBLE J.M., 1997. *Conservation tillage for carbon sequestration. Nutrient Cycling in Agroecosystem* 49, 243-253.

LI C., FROLKING S., FROLKING T.A., 1992. *A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity. Journal of Geophysical Research* 97: 9759-76.

MACKENZIE, A.F., FAN, M.X., CADRIN, F., 1998. Nitrous oxide emission in three years as affected by tillage, corn–soybean–alfalfa rotations, and nitrogen fertilization. *J. Environ. Qual.* 27, 698–703.

PEREGO A., ACUTIS M., BRENNA S., CAROZZI M., 2011. “L’azoto nei suoli agricoli: interazioni con acqua e atmosfera” – Progetto ARMOSA”. Regione Lombardia quaderno della ricerca n. 130, 40 pp.

Regione Lombardia, 2011. Misura 214 “Pagamenti Agroambientali”. Bando per l’anno 2011. Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia n. 14, serie ordinaria 8 aprile 2011.

Regione Lombardia, 2012. Misura 214 “Pagamenti Agroambientali”. Bando per l’anno 2012. Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia n. 12, serie ordinaria 23 marzo 2012.

RICHTER D. AND MARKEWITZ D, 2001. *Understanding soil change*: Cambridge University Press.

SMITH J.U., SMITH P., MONAGHAN R., MACDONALD A.J, 2002. *When is a measured soil organic matter fraction equivalent to a model pool?* European Journal of Soil Science 53:405-416.

STOLBOVOY V., MONTANARELLA L., FILIPPI N., JONES A., GALLEGGO J., GRASSI G., 2007. *Soil Sampling Protocol to Certify the Changes of Organic Carbon Stock in Mineral Soils of European Union*. EUR 21576 EN/2, 48 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

TUGEL AJ, WILLS SA, HERRICK JE, 2008. *Soil Change Guide: Procedures for Soil Survey and Resource Inventory, Version 1.1*. (USDA, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE) http://soils.usda.gov/technical/soil_change/index.html.

WRB, IUSS Working Group, 2006. *World reference base for soil resources 2006*. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 3

ALTIERI M.A., 1999. *The ecological role of biodiversity in agroecosystems*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 74: 19-31.

BACHELIER G., 1986: *La vie animale dans le sol*. ORSTOM, Paris.

BACKER G.H., 1998. *Recognising and responding to the influences of agriculture and other land-use practices on soil fauna in Australia*. Applied Soil Ecology, 9: 303-310.

BAJGAI Y., KRISTIANSEN,P., HULUGALLE,N. AND MC HENRY,M., 2011. *A laboratory study of soil carbon dioxide emissions in a Vertisol and an Alfisol due to incorporating crop residues and simulating tillage*. Journal of Organic Systems 6(3) ISSN 1177-4258.

BAKER J.M., OCHSNER T.E., VENTEREA R.T. AND GRIFFIS T.J., 2007. *Tillage and soil carbon sequestration - What do we really know?* Agriculture Ecosystems and Environment 118 1-5.

BASCH G., KASSAM A., GONZALEZ-SANCHEZ E.J., STREIT B., 2012. *Making Sustainable Agriculture Real*. CAP 2020. Life+Agricarbon project ISBN 978-84-615-B106-1.

BATJES N.H., 1996. *Total carbon and nitrogen in the soils of the world*. European Journal of Soil Science, June, 47, 151–163.

BEDANO J.C., CANTÚ M.P., DOUCET M.E., 2006. *Soil springtails (Hexapoda: Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda: Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina)*. European Journal of Soil Biology, 42: 107-119.

BRENNA S., ROCCA A., SCIACCALUGA M, VALAGUSSA M., 2010a. *SOILQUALIMON. Sistema di monitoraggio della qualità dei suoli di Lombardia*. Quaderno della Ricerca, n. 110 maggio 2010. Regione Lombardia.

CERLI C., CELI L., KALBITZ K., GUGGENBERGER G., KAISER K., 2012. *Separation of light and heavy organic matter fractions in soil - Testing for proper density cut-off and dispersion level*. *GEODERMA* (ISSN:0016-7061), Vol. 170: 403- 416.

COLOMBARI G., NEGRI F., PREUS P., ARALDI F., MARCHESI M., 2012. *Carpaneta: secondo anno di prove dimostrative*. Speciale Coltivare Conservando - Terra e Vita, supplemento al n. 28 del 14 luglio 2012: 12-33.

COM (Commission of the European Communities), 2006. *Thematic Strategy for soil protection*. Document 231.

DALAL R.C., ALLEN D.E., WANG W.J., REEVES S., GIBSON I., 2011. *Organic carbon and total nitrogen stocks in Vertisols following 40 years of no-tillage*. *Soil and Tillage Research* 112 issue 2: 133-139.

D.M. 1/08/1997 SO n. 173 GU 204 2/09/1997.

D.M. 13/09/1999 SO n. 185 GU n° 248 21/10/1999.

D.M. 25/03/2002 GU n. 84 10/04/2002.

D.M. 23/02/2004 SO GU 61 13/03/2004.

DITTMER S., SCHRADER, 2000. *Longterm effects of soil compaction and tillage on Collembola and straw decomposition in arable soil*. *Pedobiologia*, 44: 527-538.

DUXBURY J.M., 1994. *The significance of agricultural sources of greenhouse gases*. *Fertil. Res.* 38, 151–163.

ELLERT, B.H., JANZEN, H.H., ENTZ T., 2002. *Assessment of a method to measure temporal change in soil carbon storage*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1687-1695.

EU (European Union), 2001. *Biodiversity Action Plan for Agriculture*. Brussels, 27 March 2001. COM 162 Vol. 3.

FONTAINE S., BARDOUX G., ABBADIE L., MARIOTTI A., 2004. *Carbon input to soil may decrease soil carbon content*. *Ecol. Lett.* 7, 314–320.

FOLLETT F.R, CASTELLANOS J.Z., BUERGER E.D., 2005. *Carbon dynamic and sequestration in an irrigated Vertisol in Central Mexico*. *Soil and Tillage Research* 83: 148-158.

Fondazione Minoprio, MAC Minoprio Analisi e Certificazioni, Agricola 2000, Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, 2009. *FERSOIL. La gestione della fertilità biologica dei suoli nelle coltivazioni cerealicole e foraggere della pianura padana*. Regione Lombardia, Quaderno della Ricerca, n. 105 ottobre 2009.

GOVAERTS B., VERHULST N., CASTELLANOS-NAVARRETE A., SAYRE K.D., DIXON J., DENDOOVEN L., 2009. *Conservation Agriculture and Soil Carbon Sequestration: Between Myth and Farmer reality*. Crit. Rev. Plant Sci. 28(3): 97-122.

HENDRIX P.F., PARMELEE R.W., CROSSLEY JR D.A., COLEMAN D.C., ODUM E.P., GROFFMAN P.M., 1986. *Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems*. Bioscience, 36: 374-380.

International Organization for Standardization (ISO), 2002. Soil quality – Sampling – Part 1: *Guidance on the design of sampling programmes*. ISO/FDIS 10381-1:2002.

International Organization for Standardization (ISO), 2003. Soil quality – Sampling – Part 4: *Guidance on the procedure for investigation of natural, near-natural and cultivated sites*. ISO/FDIS 10381-4:2003.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003. PENMAN J., GYTARSKY M., HIRAISHI T., KRUG T., KRUGER D., PIPATTI R., BUENDIA L., MIWA K., NGARA T., TANABE K. AND WAGNER F. *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*. IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan

JANSEN I.A., KOWALSKI A.S., CEULEMANS R., 2001. *Forest floor CO₂ fluxes estimated by eddy covariance and chamber based model*. Agric. Forest Meteorol. 106 (1), 61–69.

JEFFERY S., GARDI C., JONES A., MONTANARELLA L., MARMO L., MIKO L., RITZ K., PERES G., RÖMBKE J., VAN DER PUTTEN W.H., eds, 2010. *European Atlas of Soil Biodiversity*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

KUCHARIK C.J., BRYE K.R., NORMAN J.M., FOLEY J.A., GOWER S.T., BRUNDY L.G., 2001. *Measurements and modelling of carbon and nitrogen cycling in agroecosystems of southern Wisconsin: potential for SOC sequestration during the next 50 years*. Ecosystems 4: 237-258.

KNOEPP J. D., COLEMAN D. C., CROSSLEY JR D. A., CLARK J. S., 2000. *Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use*. Forest Ecology and Management, 138: 357-368.

KUTZBACH L., SCHNEIDER J., SACHS T., GIEBELS M., NYKONEN H., SHURPALI N.J., MARTIKAINEN P.J., ALM J., AND WILMKING A.M., 2007. *CO₂ flux determination by closed-chamber methods can be seriously biased by inappropriate application of linear regression*. Biogeosciences, 4, 1005–1025.

LAL R. AND KIMBLE J.M., 1997. *Conservation tillage for carbon sequestration*. Nutr. Cycl. Agroecosys. 49: 244-253.

LIVINGSTON G. P. AND HUTCHINSON G. L., 1995. *Enclosure-based measurement of trace gas exchange: applications and sources of error*. Biogenic Trace Gases: Measuring Emissions from Soil and Water, edited by: Matson, P. A. and Harriss, R. C., Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, 15–51.

MAHARNING A.R., MILLS A.A.; ADL S.M., 2008. *Soil community changes during secondary succession to naturalized grasslands*". Applied Soil Ecology, 41: 137-147.

MARSHALL V.G., 2000. *Impacts of forest harvesting on biological processes in northern forest soils*. Forest Ecology and Management, 133: 43-60.

MATSON P. A. AND HARRISS R.C. (Eds.), 1995. *Measuring Emissions from Soil and Water*. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, 383 pp.

McMILLEN R.T., 1988. *An eddy correlation technique with extended applicability to non-simple terrain*. *Boundary-Layer Meteorology* 43, 231–245.

MENTA C., 2008: *Guida alla conoscenza della biologia e dell'ecologia del suolo. Funzionalità, Diversità biologica, indicatori*. Gruppo Perdisa Editore/Airplane srl, Bologna: pp. 163-170.

MENTA C., 2012. *Soil fauna diversity - function, soil degradation, biological indices, soil restoration*. In: Lameed, G.A. (Ed.), *Biodiversity conservation and utilization in a diverse world*. InTech Published, Croatia.

MENTA C., LEONI A., GARDI, C., CONTI F.D., 2011. *Are grasslands important habitats for soil microarthropod conservation?*. *Biodiversity and Conservation*, 20: 1173-1087.

MENTA C., LEONI A., TARASCONI T., AFFANNI P., 2010. *Does compost use affect microarthropod soil communities?* *Fresenius environmental Bulletin*, 19: 2303-2311.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA), 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington.

NORMAN J. M., KUCHARIK C. J., GOWER S. T., BALDOCCHI, D. D., CRILL P. M., RAYMENT M., SAVAGE K., STRIEGL R. G., 1997. *A comparison of six methods for measuring soil-surface carbon dioxide fluxes*. *J. Geophys. Res.*, 102D, 28 771–28 777.

OHKUBO S., KOSUGI Y., TAKANASHI S., MITANI T., TANI M., 2006. *Comparison of the eddy covariance and automated closed chamber methods for evaluating nocturnal CO₂ exchange in a Japanese cypress forest*. *Laboratory of Forest Hydrology, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan*.

PAOLETTI M.G., FAVRETTO M.R., STINNER B.R., PURRINGTON F.F., BATER, J.E., 1991. *Invertebrates as bioindicatorsof soil use*. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 34: 341-362.

PARISI V., 1974. *Biologia e ecologia del suolo: tecniche di ricerca*. Boringheri, Torino.

PARISI V., MENTA C., 2008. *Microarthropods of the soil: convergence phenomena and evaluation of soil quality using QBS-ar and QBS-c*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (8): 1170-1174.

PARISI V., MENTA C., GARDI C., JACOMINI C., MOZZANICA E., 2005. *Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy*. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 105: 323-333.

PONCE C., BRAVO C., GARCÍA DE LÉON D., MAGAÑA M., ALONSO J.C., 2011. *Effects of organic farming on plant and arthropod communities: a case study in Mediterranean dryland cereal*. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 141: 193-201.

POST W.M., PENG T.H., EMANUEL W.R., KING A.W., DALE V.H., DEANGELIS D.L., 1990. *The global*

carbon cycle. Am. Sci. 78, 310–326.

POTTER K.N., 2006. *Soil carbon content after 55 years of management of a Vertisol in central Texas*. Journal of Soil and Water Conservation 61 n.6: 332-343.

POTTER K.N., 2010. *Building soil carbon content of Texas Vertisols*. In: 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1–6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.

R Development Core Team, 2011. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Regione Lombardia, 2010. *Rapporto di Valutazione intermedia PSR 2007-2013 Lombardia – 2010*. Ed. Agriconsulting.

REICOSKY D.C., 2003. *Tillage-induced CO₂ emissions and carbon sequestration: effect of secondary tillage and compaction*. In: Garcia-Torres L., Benites J., Martinez-Vilela A., Holgado-Cabrera A. (Eds). Conservation Agriculture. Kluwer Acad. Pub. Dordrecht The Netherlands: 291-300.

SAPKOTA T.B., MAZZONCINI M., BÀRBERI P., ANTICHI D., SILVESTRI N., 2012 *Fifteen years of no till increase soil organic matter, microbial biomass and arthropod diversity in cover crop-based arable cropping systems*. Agronomy for sustainable development, 32 (4): 853-863.

SCHLESINGER W.H., 1997. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*, Academic Press, San Diego, CA, 588pp.

SCHLESINGER W.H., ANDREWS J.A., 2000. *Soil respiration and the global carbon cycle*. Biogeochemistry 48, 7–20.

SCHRUMPF M., SCHULZE E.D., KAISER K., SCHUMACHER J., 2011. *How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories?* Biogeosciences 8: 1193-1212.

SEQUI P., DE BENEDETTI A., DELL'ABATE MT., 2003. *ATLAS. Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo*. CRA - Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante. Ristampa 2006.

SIX J., OGLE S.M., BREIDT F.J., CONANT R.T., MOSIER A.R., PAUSTIAN K., 2004. *The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term*. Global Change Biol. 10, 155–160.

SLEUTEL S., DE NEVE S., HOFMAN G., BOECKX P., BEHEYDT D., VAN CLEEMPUT O., MESTDAGH I., LOOTENS P., CARLIER L., VAN CAMPO N., VERBEECK H., VANDE WALLE I., SAMSON R., LUST N., LEMEUR R., 2003. *Carbon stock changes and carbon sequestration potential of Flemish cropland soils*. Glob. Change Biol. 9: 1193-1203

STOLBOVOY V, FILIPPI N., MONTANARELLA L., PIAZZI M., PETRELLA F., GALLEGGO J. AND SELVARADJOU S., 2006. *Validation of the EU soil sampling protocol to verify the Changes of Organic Carbon Stock in Mineral Soil (Piemonte region, Italy)* EUR 22339 EN, 41 pp.

STOLBOVOY V., MONTANARELLA L., FILIPPI N., JONES A., GALLEGO J AND GRASSI G., 2007. *Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soil of the european union*. Version 2. EUR 21576 EN/2 – DG Joint Research Centre, Institute for the Environment and Sustainability EUR - Scientific and Technical Research series; ISSN: 1018-5593 ISBN: 978-92-79-05379-5.

TABAGLIO V., GAVAZZI C., MENTA C., 2008. *The influence of no-till, conventional tillage and nitrogen fertilization on physico-chemical and biological indicators after three years of monoculture barley*. Italian Journal of Agronomy, 4: 233-240.

TABAGLIO V., GAVAZZI C., MENTA C., 2009. *Physico-chemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize*. Soil and Tillage Research, 105: 135-142.

UN/ECE (United Nations, Economic Commission for Europe). 2003. *Kyiv resolution on biodiversity*. Fifth Ministerial Conference “Environment for Europe”, Kyiv, Ukraine, 21–23 May 2003. Document ECE/CEP/108.

USHER M.B., DAVIS P., HARRIS J. AND LONGSTAFF B., 1979. *A profusion of species? Approaches towards understanding the dynamics of the populations of microarthropods in decomposer communities*. In: Populations dynamics. Blackwell Scientific Publications, 359-384.

VAN STRAALEN N. M., 2004. *The use of soil invertebrates in ecological survey of contaminated soils*. In: P. Doelman, H.J.P. Eijsackers (Eds.), *Vital Soil Function, Value and Properties*, Elsevier, pp. 99-125.

VAN STRAALEN, 1998. *Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities*. Applied Soil Ecology: 9, 429-437.

VANDENBYGAART A.J., 2006. *Monitoring Soil Organic Carbon Stock changes in agricultural landscapes: Issues and a proposal approach*. Can. J. Soil Sci. 86: 451-463.

WARDLE D.A., 1995. *Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices*. In: Begon M., Fitter A.H. (eds) *Advances in Ecological Research*. Academic, New York, pp 105-185.

WEST T.O. AND MARLAND G., 2002. *A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and the net carbon flux in agriculture*. Agriculture Ecosystems and Environment 91: 217-232.

WRB, IUSS Working Group, 2006. *World reference base for soil resources 2006*. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 4

ACUTIS M., CAROZZI M., FUMAGALLI M. “Tanti benefici per suolo, aria e acqua” ed. Terra e vita, 2010.

BERTONI D., CAVICCHIOLI D., PRETOLANI R., OLPER A., “Agri-environmental measures adoption: new evidence from lombardi region” Seminar Viterbo, Italy, November 20-21,2008.

BROTTO L., PETTENELLA D. "Progetti REDD+: nuove frontiere e vecchie barriere nel mercato forestale del carbonio" Ed. Agriregionieuropa 2010.

CIPE "Strategia d'azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia" (CIPE deliberazione n. 57 del 2 agosto 2002).

Comunicazione della commissione al consiglio europeo e al parlamento europeo "Una politica energetica per l'europa" Bruxelles, 10.1.2007 COM(2007).

Comunicazione della commissione al consiglio europeo e al parlamento europeo "Adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo sui cambiamenti climatici" Libro bianco (COM/2009/147 def.).

Comunicazione della commissione al consiglio europeo e al parlamento europeo "La protezione e l'informazione sulle foreste nell'UE: preparare le foreste ai cambiamenti climatici" Libro verde (COM/2010/66 def.).

Comunicazione della commissione al consiglio europeo e al parlamento europeo "La PAC verso il 2020", COM/2010/ 672/5.

CO₂now, 2012 <http://co2now.org/images/stories/data/co2-atmospheric-mlo-monthly-scripps.pdf>

Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio "Promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili" 2009/28/CE.

European Environment Agency (EEA) "Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2012 - Tracking progress towards Kyoto and 2020 targets" European Environment Agency report N° 6/2012.

EU COMAGRI - EU farm policy reform plans as voted by the Agriculture Committee – site: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+IM-PRESS+20130124BKG59668+0+DOC+PDF+V0//EN&language=IT>, EU Agriculture committee 26-02-2013.

FAO sito di agricoltura conservativa : <http://www.fao.org/ag/ca/> , 2013.

FREIBAUER A., M ROUNSEVELL, P. SMITH, J. VERHAGEN "Carbon sequestration in the agricultural soils of europe". Ed. Geoderma – 2004

INEMAR - Emissioni in Lombardia nel 2010 - dati per revisione pubblica. Fonte: - http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/webdata/elab_standard_reg.seam?cid=34930 - INEMAR ARPA Lombardia, 2010.

ISPRA – sito dell'annuario dei dati ambientali 2013: http://annuario.isprambiente.it/content/schedaindicator/?id_ind=2313&id_area=A01&id_tema=T32.

JONES C. "Australian Soil Carbon Accreditation Scheme (ASCAS)" 'Managing the Carbon Cycle' Katanning Workshop, 2007.

KLUG H., JENEWEIN P. "Spatial modeling of agrarian subsidy payments as an input for evaluating changes of ecosystem services" Ed. Ecological complexity 7 (2010) 368-377.

LAL R. "Soil carbon sequestration to mitigate climate change" geoderma 123 (2004) 1-22.

N.J. MCKENZIE, D.W. JACQUIER, L.J. ASHTON AND H.P. CRESSWELL "Estimation of Soil Properties Using the Atlas of Australian Soils" CSIRO Land and Water, Canberra ACT - Technical Report 11/00, February 2000.

PETTENELLA D., ZANCHI G. "Inquadramento generale del protocollo di Kyoto . Opportunità e limiti per il settore forestale". Università di Padova, 2006.

PETTENELLA D., CICCARESE L. "Agricoltura, selvicoltura e cambiamenti climatici" ed. Agriregionieuropa, giugno 2010.

PISANTE M, "Agricoltura Blu – la via italiana dell'agricoltura conservativa" Ed. Edagricole, 2007.

Regione Lombardia "Rapporto di Valutazione intermedia PSR 2007-2013 Lombardia – 2010", Ed. Agriconsulting, 2010.

SMITH P., MARTINO D., CAI Z., GWARY D., JANZEN H., KUMAR P., MCCARL B., OGLE S., O'MARA F., RICE C., SCHOLDS B., SIROTENKO O., HOWDEN M., MCALLISTER T., PAN G., ROMANENKOV V., SCNEIDER U., TOWPRAYOON S., "Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture". Review of Agriculture Ecosystems and Environment, 2007.

STERN N. "The economics of climate change" Paper of American Economic Association (2008).

UN "Convention on Biological Diversity", UN 1992.

UNFCCC "Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its second session, held at Nairobi from 6 to 17 November 2006" FCCC/KP/CMP/2006/10/Add.1 - 2 March 2007.

UN-REDD "The United Nations Collaborative Programme on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries" UN-REDD Programme strategie 2011-2015.

VELDERS G. J. M., ANDERSEN S. O., DANIEL J. S., FAHEY D. W., MCFARLAND M. "The importance of the Montreal Protocol in protecting climate", 2007 Ed. by William C. Clark, Harvard University, Cambridge.

XIA CAO "Regulating mine land reclamation in developing countries: The case of China" Land Use Policy 24 (2007) 472-483.

AUTORI

Cap. 1 - Introduzione all'agricoltura conservativa

Stefano Corsi¹, Antonio Ballarin Denti², Andrea Tosini²

1. DEMM - Dipartimento di Economia, Management e Metodi quantitativi, Università degli Studi di Milano
2. FLA - Fondazione Lombardia per l'Ambiente

Cap. 2.1 - Stock di carbonio organico in funzione del cambiamento dell'uso del suolo

Stefano Brenna, Alberto Rocca, Marco Sciacaluga

ERSAF - Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste

Cap. 2.2 - Il bilancio del carbonio nei sistemi agricoli lombardi

Marco Acutis, Andrea Giussani, Alessia Perego

DISAA - Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali – Produzione, Territorio, Agroenergia, Università degli Studi di Milano

Cap. 2.3 - Contributo della misura 214 azione M del PSR della Regione Lombardia sulla quantità di carbonio stoccato nei suoli

Stefano Corsi¹, Andrea Tosini²

1. DEMM - Dipartimento di Economia, Management e Metodi quantitativi, Università degli Studi di Milano
2. FLA - Fondazione Lombardia per l'Ambiente

Cap. 3.1 - Stock di carbonio organico e fertilità biologica

Stefano Brenna¹, Alberto Rocca¹, Marco Sciacaluga¹, Massimo Valagussa², Raffaella Scaccabarozzi²

1. ERSAF - Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste
2. MAC - Minoprio Analisi e Certificazioni s.r.l.

Cap.3.2 - Flussi di CO₂ da suoli a diversa intensità di lavorazione

Giacomo Gerosa¹, Angelo Finco¹⁻², Fabio Boschetti¹, Riccardo Marzuoli¹

1. Dipartimento di Matematica e Fisica, Università Cattolica del Sacro Cuore, Brescia
2. Ecometrics s.r.l. Spin-off company Università Cattolica del Sacro Cuore, Brescia

Cap. 3.3 - Biodiversità edafica

Ciro Gardi¹⁻², Federica D. Conti¹, Cristina Menta¹

1. Dipartimento di Bioscienze, Università degli studi di Parma
2. Land Management & Natural Hazards Unit, Institute for Environment & Sustainability (IES), Commissione Europea - DG JRC Ispra (VA)

Cap. 4 - Interventi per migliorare il bilancio del carbonio nei suoli agricoli

Stefano Corsi¹, Andrea Tosini², Mita Lapi²

1. DEMM - Dipartimento di Economia, Management e Metodi quantitativi, Università degli Studi di Milano
2. FLA - Fondazione Lombardia per l'Ambiente

Le sperimentazioni agronomiche nell'azienda agricola Carpaneta, citate nel capitolo 3 (pagina 57), sono state condotte a cura di:

Colombari Gianni, Francesco Negri, Fabio Araldi, Mario Marchesi
ERSAF - Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura ed alle Foreste

Si ringraziano per la collaborazione:

Mauro Grandi, Giuseppe Elias

AIGACOS - Associazione Italiana per la Gestione Agronomica e Conservativa dei Suoli



Roberto Bartolini, Lorenzo Benvenuti

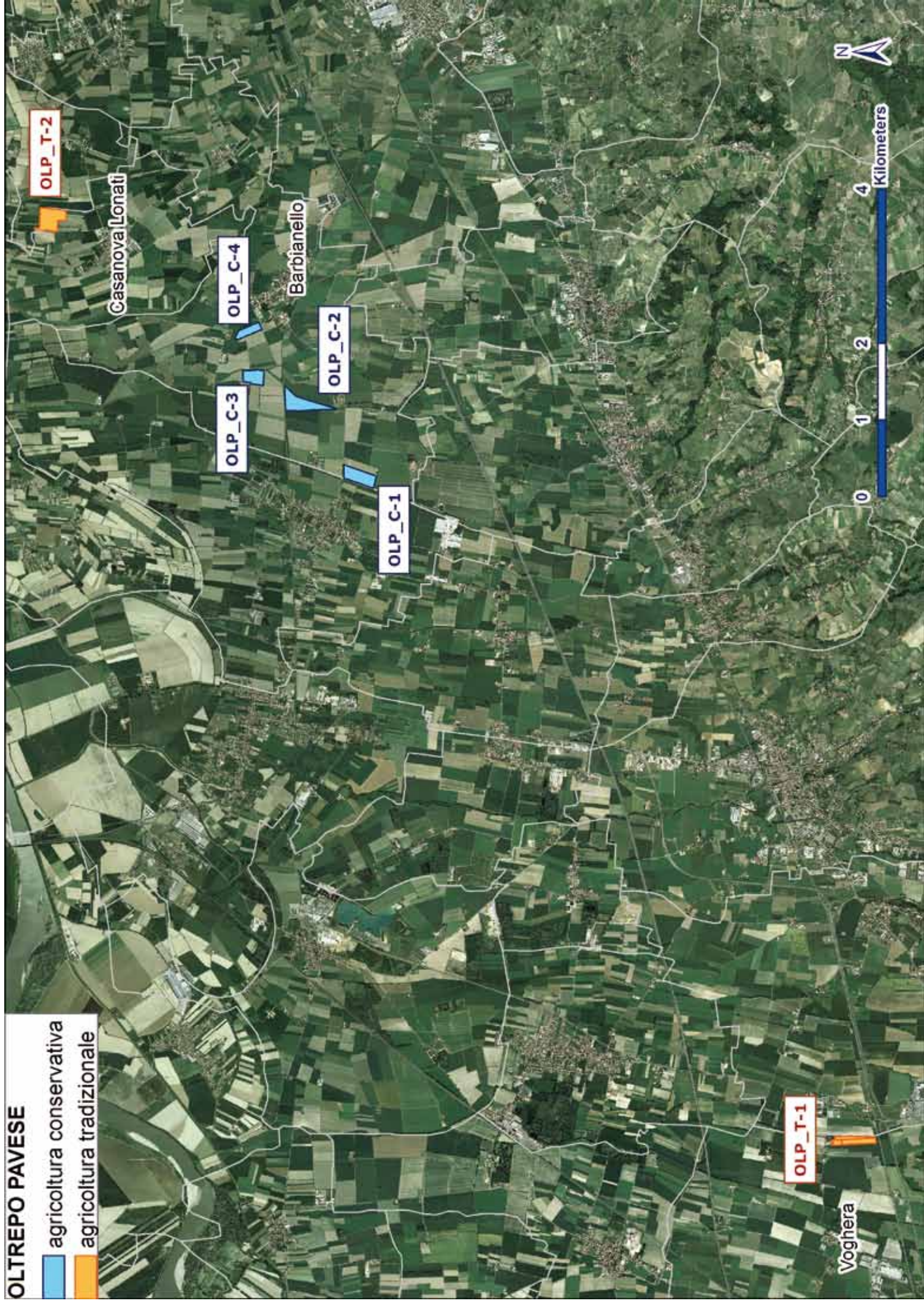
Il Sole 24 Ore Business Media

ALLEGATI

Siti di monitoraggio nelle aree di studio

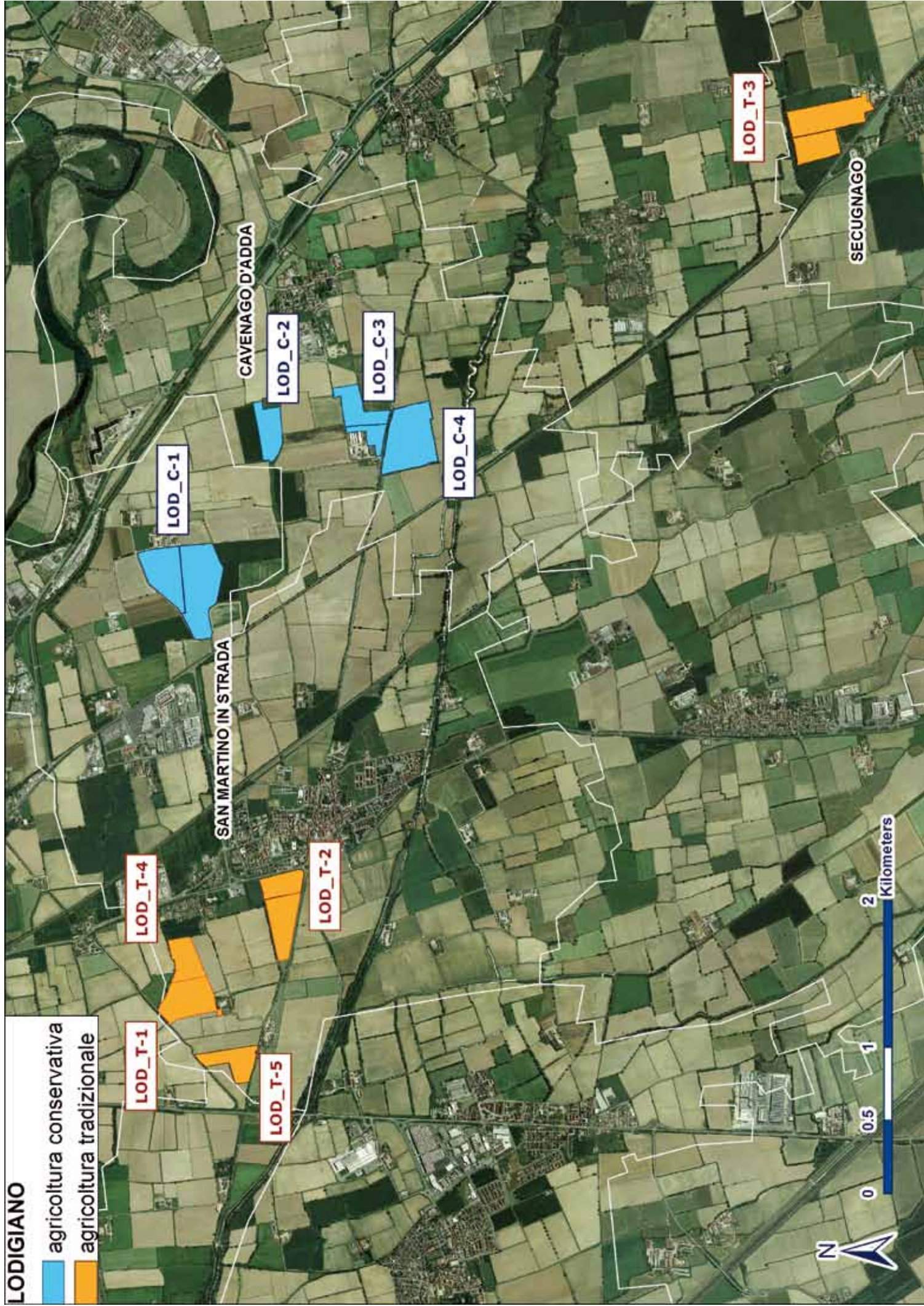
OLTREPO PAVESE

-  agricoltura conservativa
-  agricoltura tradizionale






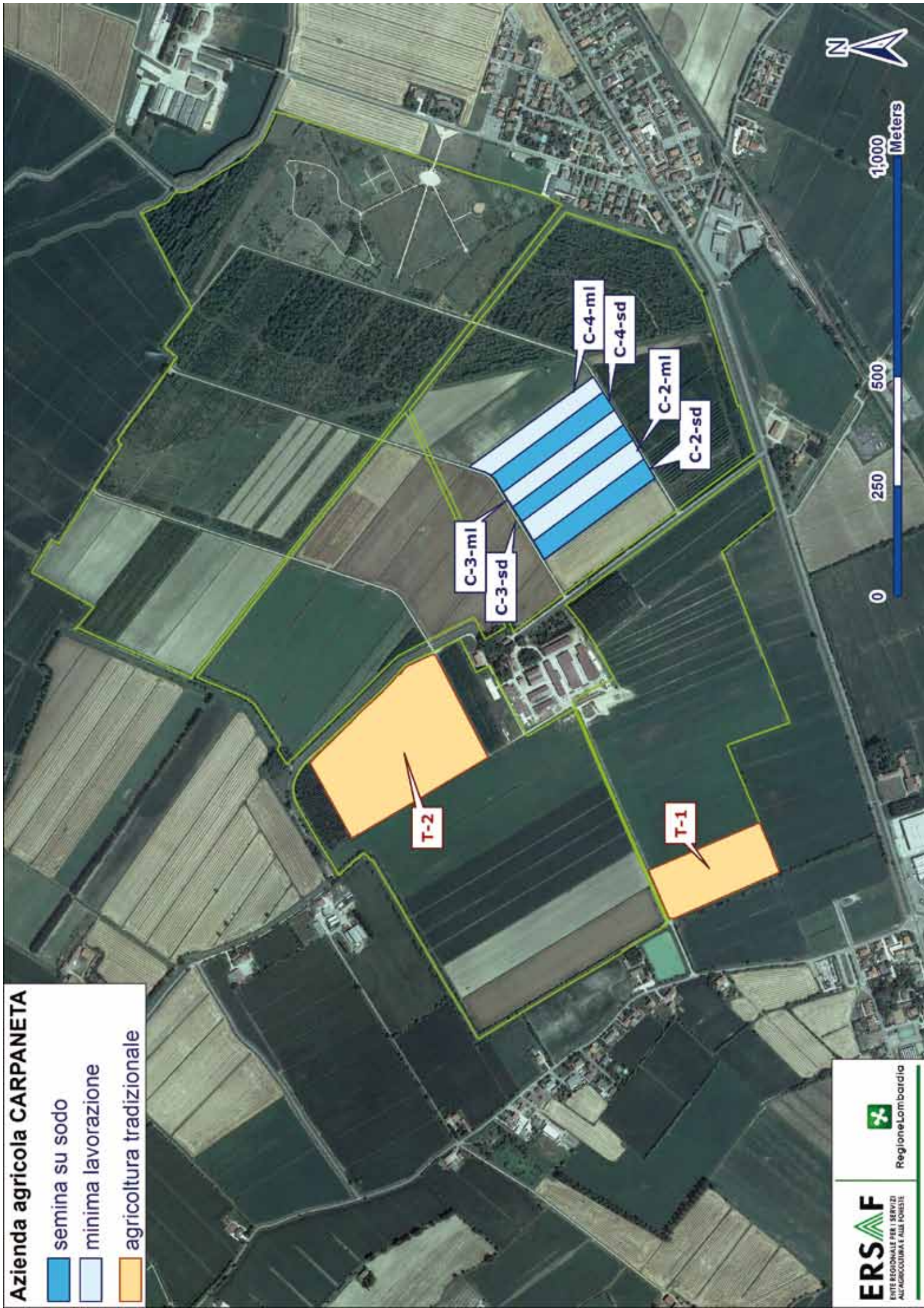
LODIGIANO

- agricoltura conservativa
- agricoltura tradizionale



Azienda agricola CARPANETA

-  semina su sodo
-  minima lavorazione
-  agricoltura tradizionale



Progetto grafico e impaginazione: Tania Feltrin - Fondazione Lombardia per l'Ambiente

Finito di stampare presso "Arti Grafiche Fiorin"
di Sesto Ulteriano - S. Giuliano Milanese
nel mese di giugno 2013.

Questo volume è stato stampato su carta certificata FSC®



Regione Lombardia
Agricoltura

Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura
www.agricoltura.regione.lombardia.it