



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE E FORESTALI

Corso di Dottorato di Ricerca in

Scienze e Tecnologie per la Gestione Forestale e Ambientale - XXVIII°Ciclo.

TITOLO TESI DI DOTTORATO DI RICERCA: CARBONIO ORGANICO E USO DEL SUOLO

s.s.d. AGR/13

Tesi di dottorato di:

Dott. Gianluca RENZI

Coordinatore del corso

Prof. Bartolomeo SCHIRONE

Firma

Tutore

Prof. Stefano GREGO

Firma

Co-tutor

Prof. Anna Benedetti

Firma

Data della discussione: 28/06/2016

Indice

1.Riassunto.....	pag.3
1.1. Introduzione.....	pag.4
1.2. Il suolo come stoccaggio di carbonio.....	pag.5
1.3. Composizione e funzione della sostanza organica.....	pag.6
1.4.Fattori che regolano il contenuto di sostanza organica nel terreno.....	pag.9
1.4.1. Il ruolo del terreno nella fissazione della CO₂ atmosferica	pag.12
1.4.2. L'uso del suolo e le pratiche agricole.....	pag.14
Bibliografia.....	pag.20
 2.Efficacia ambientale dello standard di condizionalità 4.1 “Protezione del pascolo permanente- progetto MO.NA.CO	
2.1.Introduzione.....	pag. 21
2.2.Materiali e Metodi.....	pag. 22
2.2Risultati.....	pag. 23
Bibliografia.....	pag. 24
 3.Modellistica per simulare il carbonio organico nel suolo degli agro- ecosistemi -progetto SOILSINK	
3.1Introduzione.....	pag.28
3.2. Risultati e Conclusioni della mappatura del bacino di Berchidda-Monti con gli scenari di cambiamento climatico previsti con i GCM e le simulazioni del carbonio organico del suolo con il modello RothC in relazione all'uso del suolo.....	pag.39
Bibliografia.....	pag.43
 4.Carbonio organico del suolo e rilievi AGRIT. Veneto e Friuli Venezia Giulia.	
Introduzione.....	pag.44
Materiali e metodi.....	pag.35
4.4.1.Risultati	pag.47
4.4.2.Campionamento delle aree di saggio.....	pag.57
4.4.3. Analisi Statistica dei dati.....	pag.61
4.4.4.Conclusioni e Discussione.....	pag.66
Bibliografia.....	pag.67
Conclusioni generali.....	pag.72

1. Riassunto

Il declino del contenuto di C organico nei suoli del bacino del Mediterraneo desta molta preoccupazione, oltre che per la perdita di fertilità dei suoli agrari, anche per i rischi correlati di aumento dei fenomeni erosivi e di desertificazione. Studiare il rapporto tra uso del suolo e contenuto attuale di carbonio organico riveste una grande importanza nell'individuazione delle migliori pratiche agronomiche per favorire il sequestro del C nel suolo. Ciò appare ancora più importante in relazione alle proposte di regolamenti che si stanno delineando e che considerano il mantenimento della sostanza organica fondamentale ai fini dell'applicazione della condizionalità, del greening e delle misure agro ambientali nella fase di programmazione 2014-2020. La qualità del suolo è l'elemento portante della fertilità e dello sviluppo agricolo sostenibile. Il concetto di sostenibilità è molto complesso e spesso la costruzione di indicatori può essere di valido aiuto per il raggiungimento dell'obiettivo. L'indicatore stock di carbonio è uno dei principali indici ambientali in grado di fornire informazioni sulla gestione sostenibile del territorio.

L'obiettivo della tesi è quello di individuare in sistemi produttivi, le tecniche conservative più efficienti in termini di immagazzinamento del C nel suolo e, quindi, l'aumento del contenuto di sostanza organica. Il bilancio del C sarà studiato in termini di dinamica dei processi che ne controllano il ciclo (riserve, mineralizzazione, umificazione, ecc.) mediante apposite determinazioni di laboratorio, inoltre l'integrazione di supporto con l'utilizzo di modelli matematici di simulazione (Roth C), e di mappatura (GIS), permetteranno di comparare i dati misurati relativi agli stock di carbonio, nei diversi anni, potendo così visionare le dinamiche e gli scenari nel tempo, per certificare i cambiamenti intervenuti nello stock di carbonio di una determinata unità di monitoraggio.

Le attività sono state svolte presso i laboratori di Ricerca del CREA-RPS di Roma, e fanno capo ai progetti di ricerca in atto e pregressi sulla tematica del carbonio del suolo.

1.1 Introduzione

Il suolo è il comparto ambientale che costituisce la più grande riserva di carbonio organico negli ecosistemi terrestri. Al comparto suolo, inizialmente poco considerato nel contesto delle azioni e degli studi connessi con il “Protocollo di Kyoto”, si guarda quindi oggi con maggiore attenzione: infatti, questa enorme massa di carbonio, da un lato è indice delle potenzialità che il suolo ha come *sink* di carbonio, ma dall’altro rappresenta anche un potenziale rischio di emissioni rilevanti di CO₂, se gestione inappropriata e cambiamento climatico dovessero portare al depauperamento di tale *stock*.

La qualità del suolo è l’elemento portante della fertilità e dello sviluppo agricolo sostenibile.

Il concetto di sostenibilità è molto complesso e spesso la costruzione di indicatori può essere di valido aiuto per il raggiungimento dell’obiettivo. L’indicatore stock di carbonio è uno dei principali indici ambientali in grado di fornire informazioni sulla gestione sostenibile del territorio.

Il suolo costituisce un’importante riserva di carbonio organico e gioca un ruolo fondamentale nel ciclo globale del carbonio e quindi nella riduzione dell’effetto serra responsabile dei cambiamenti climatici.

La SO costituita per circa il 60% da carbonio, si può definire come l’insieme dei componenti organici di qualsiasi origine che si trovano nel terreno o sulla sua superficie, costituito da materiale vivente o che è stato vivente nel passato, con l’esclusione della sola biomassa vegetale vivente sulla superficie del terreno (Baldock e Nelson, 1999). La sostanza organica è presente nel terreno in misura variabile, con massimi che per i terreni italiani rappresentano in genere l’1-3% della fase solida del terreno in peso. Una prima suddivisione è quella tra frazione attiva e sostanza organica stabile. La frazione attiva, facilmente decomponibile, deriva dai residui vegetali e dagli organismi morti, e rilascia elementi nutritivi disponibili per le piante. La sostanza organica stabile, chiamata anche humus, costituisce la maggior parte della SO del terreno, e si forma a seguito di processi che le conferiscono una struttura chimica complessa e resistente alla degradazione.

Il trend futuro dell’indicatore “stock di carbonio” è principalmente legato al consumo di suolo e ai cambiamenti d’uso. La conoscenza e l’utilizzo dell’indicatore consente di controllare la dinamica del ciclo del C, evidenziando fenomeni di diminuzione ed eventuale perdita di fertilità e di accumulo; è inoltre il riferimento per valutare il ruolo svolto dal suolo nel bilancio del carbonio dei sistemi naturali per stimarne la capacità di perdere o di catturare CO₂ e quindi contribuire alla riduzione o all’aumento dell’effetto serra, responsabile dei cambiamenti climatici.

1.2. Il suolo come stoccaggio di carbonio

Anche se, considerato isolatamente, nessun parametro è in grado di caratterizzare lo stato di un ecosistema agricolo, il contenuto di sostanza organica di un terreno (SO) è correlato con molti aspetti della produttività, della sostenibilità e dell'integrità ambientale (Smith et al., 2000). In linea generale il contenuto di sostanza organica del terreno è correlato positivamente con uno stato positivo del terreno. Infatti, essa è un substrato nutritivo ed energetico per gli organismi del suolo ed una fonte di nutrienti per le piante, regola la ritenzione dell'acqua, influenza la biodegradabilità, la persistenza e la reattività degli xenobiotici, contribuisce a limitare il fenomeno dell'erosione stabilizzando la struttura. Inoltre, costituisce un importante serbatoio di carbonio, in equilibrio dinamico con gli altri comparti nel ciclo globale del carbonio (Figura 1). Il bilancio del carbonio nel suolo è funzione dei guadagni e delle perdite di sostanza organica nel tempo. I guadagni sono costituiti da tutti gli apporti di sostanza organica (lettieria, radici, residui colturali, fertilizzanti organici), mentre le perdite dipendono dall'erosione, dalla lisciviazione e dalla decomposizione della sostanza organica. Quest'ultimo processo avviene ad opera dei microrganismi del suolo che utilizzano i composti del carbonio come fonte di energia (ossidazione), processo accompagnato da emissione anidride carbonica. La velocità di decomposizione dipende dalle caratteristiche della sostanza organica, dai microrganismi e dal suolo stesso (ad es. aerazione, temperatura ed umidità).

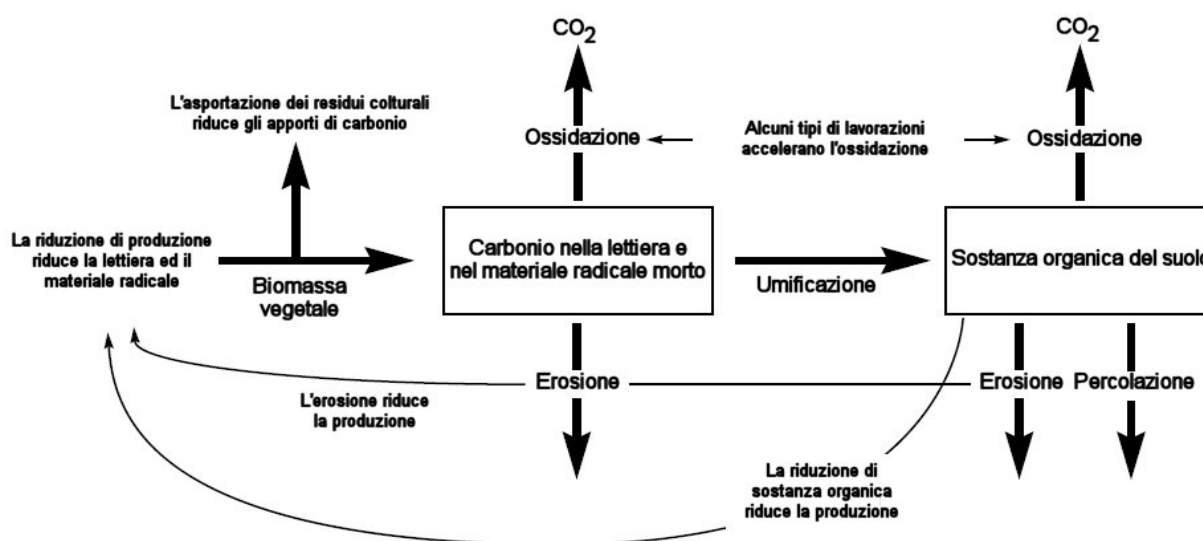


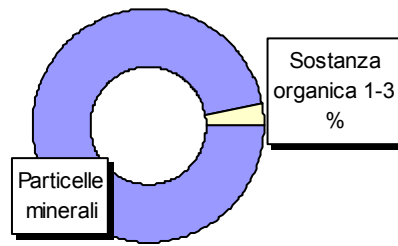
Figura 1. Il ciclo del carbonio nel suolo ed alcuni processi di degradazione (modificato da Pagiola, 1999).

1.3. Composizione e funzioni della sostanza organica

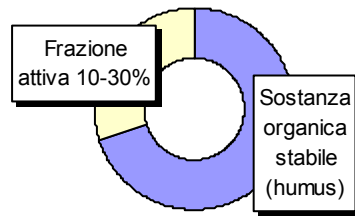
La SO si può definire come l'insieme dei componenti organici di qualsiasi origine che si trovano nel terreno o sulla sua superficie, costituito da materiale vivente o che è stato vivente nel passato, con l'esclusione della sola biomassa vegetale vivente sulla superficie del terreno (Baldock e Nelson, 1999). La sostanza organica è presente nel terreno in misura variabile, con massimi che per i terreni italiani rappresentano in genere l'1-3% della fase solida del terreno in peso.

Una prima suddivisione è quella tra frazione attiva e sostanza organica stabile. La frazione attiva, facilmente decomponibile, deriva dai residui vegetali e dagli organismi morti, e rilascia elementi nutritivi disponibili per le piante. La sostanza organica stabile, chiamata anche humus, costituisce la maggior parte della SO del terreno, e si forma a seguito di processi che le conferiscono una struttura chimica complessa e resistente alla degradazione. La frazione attiva della SO è costituita a sua volta dai prodotti di decomposizione e dagli stessi residui vegetali ed animali, e dagli organismi decompositori che vivono nel terreno (Figura 2).

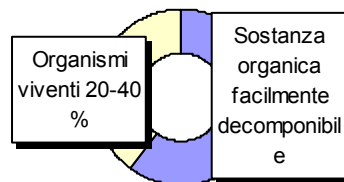
Terreno



Sostanza organica del terreno



Frazione organica attiva



Organismi decompositori del suolo

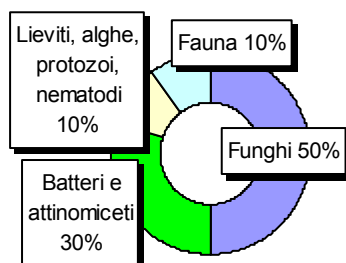


Figura 2. Composizione della sostanza organica del terreno.

La SO esercita una notevole influenza sulle proprietà del terreno, sul funzionamento dell'ecosistema e sull'entità dei vari processi che vi avvengono.

Dal punto di vista fisico:

- favorendo l'aggregazione e la stabilità delle particelle di terreno, riduce il rischio di erosione del terreno e di ruscellamento superficiale dell'acqua, il compattamento, la formazione di croste superficiali, la tendenza al crepacciamento, facilita la penetrazione delle radici e migliora la capacità del terreno di immagazzinare e trasmettere l'aria e l'acqua;
- rende il terreno più friabile, meno adesivo e più facile da lavorare;
- regola le proprietà termiche del terreno che, a loro volta, agiscono sulla degradazione della SO;
- nei terreni sabbiosi la SO aumenta la capacità di trattenuta idrica, impedendo il dilavamento degli elementi nutritivi, in particolare dell'azoto in forma nitrica, e di altri composti responsabili dell'inquinamento delle acque sotterranee; inoltre aumenta la capacità di scambio cationico e, quindi, la capacità di trattenere alcuni composti, tra cui i metalli pesanti;
- nei terreni limosi, evita la formazione di croste superficiali o di suole di lavorazione e altri strati impermeabili lungo il profilo; in questo modo contrasta i fenomeni di ruscellamento e di erosione responsabili dell'apporto di fosforo alle acque superficiali, oltre che della perdita di terreno e riduzione della capacità di invaso dei corsi d'acqua;
- nei terreni argillosi contrasta i fenomeni di compattamento, di crepacciatura estiva e di erosione nei terreni in pendenza; in questo modo riduce i fenomeni di dilavamento generati da forti precipitazioni estive dopo lunghi periodi di siccità e rende i suoli argillosi più ospitali nei confronti della copertura vegetale che, a sua volta, ha un effetto mitigatore dei fenomeni erosivi.

Dal punto di vista chimico:

- conferisce al terreno proprietà di capacità di scambio nei confronti dei cationi (es. Al, Fe, Ca, Mg, NH₄ e micronutrienti);
- ad opera delle sue capacità chelanti, i complessi stabili che si formano con i metalli ed altri elementi presenti in traccia contribuiscono a ridurre le perdite di micronutrienti, la tossicità potenziale dei metalli e anche a mantenere in forma assimilabile alcuni anioni che altrimenti sarebbero fissati al suolo, come i fosfati;
- ha effetto tampone nei confronti di agenti acidificanti che giungono a contatto con il terreno e contribuisce a mantenere il livello del pH a valori accettabili;
- riduce gli effetti ambientali negativi dei prodotti fitosanitari, modificandone la biodegradabilità, l'attività e la persistenza;

- riduce le emissioni di CO₂ in atmosfera favorendo l'accumulo di carbonio nel terreno.

Dal punto di vista biologico:

- migliora l'attività microbica del suolo, a cui fornisce l'energia metabolica necessaria per i processi biologici, stimola l'attività degli enzimi ed incrementa il numero delle specie e l'attività della mesofauna;
- rende disponibili elementi nutritivi che possono essere utilizzati dalle piante e dai microrganismi del terreno, come azoto, fosforo e zolfo;
- aumenta la resilienza di un ecosistema, cioè la sua capacità a reagire ad una perturbazione esterna di origine naturale o antropica.

In pratica, la SO ha un ruolo trasversale nel suolo (Figura 3), in grado di influenzarne le proprietà fisiche, chimiche e biologiche, l'insieme delle quali costituisce la qualità del suolo e di altre matrici ambientali (Lal et al, 1998).

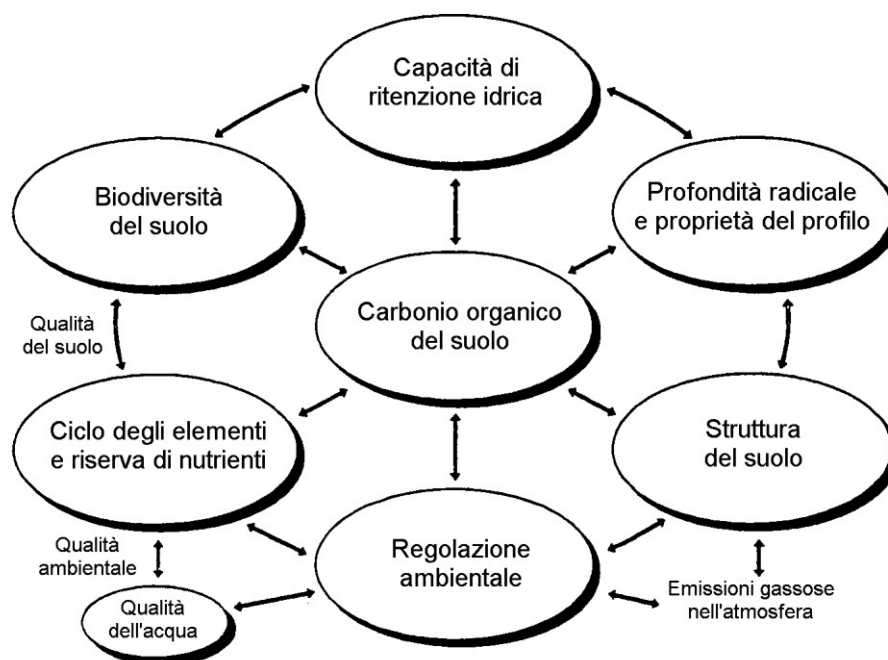


Figura 3. Relazioni tra sostanza organica e qualità del suolo.

1.4. Fattori che regolano il contenuto di sostanza organica del terreno

Il livello di sostanza organica del terreno è regolato dai 5 fattori di formazione del suolo (Stevenson, 1994): clima, vegetazione, topografia del paesaggio, materiale di origine, ed età del terreno, oltre che dall'uso del suolo e dalle pratiche agricole che esercitano l'influenza maggiore (Paustian et al., 1997).

In linea generale l'impatto dei fattori di formazione del suolo sul contenuto di SO del terreno diminuisce nell'ordine *clima > vegetazione > topografia = materiale di origine > età*. L'influenza del *clima* si esplica principalmente mediante la temperatura e le precipitazioni. La temperatura ha un'influenza negativa perché all'aumentare della temperatura aumenta l'attività microbica e, quindi, la degradazione della SO. La velocità di decomposizione è molto bassa a temperature inferiori a 4 °C, ma aumenta rapidamente fino a temperature prossime a 40 °C, purché il contenuto di acqua sia adeguato. Le precipitazioni, in generale, stimolano la crescita delle piante, ed aumentano quindi l'input di SO nel terreno. Le variazioni di umidità del terreno possono rallentare od accelerare la velocità di decomposizione della SO, a seconda del bilancio tra disponibilità di acqua e di ossigeno. Le perdite sono maggiori durante la decomposizione aerobica (in presenza di ossigeno) e minori durante quella anaerobica (in terreni eccessivamente umidi). L'effetto della *vegetazione* sul contenuto di SO del terreno è generalmente decrescente nell'ordine *prati-pascolo > foreste > terreno agricolo*. Le cause di questo effetto vanno ricercate nell'aumento di produzione di biomassa, nell'inibizione della nitrificazione, nella diminuzione di aerazione e nella rizosfera più estesa che si riscontra comunemente nei prati-pascolo e nelle foreste rispetto agli ecosistemi agricoli (Figura 4).

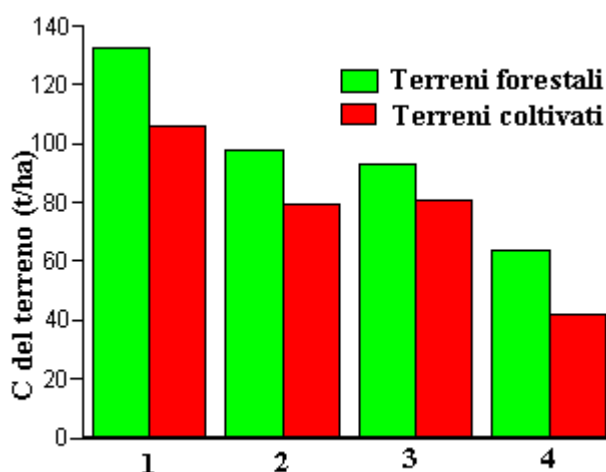


Figura 4. Carbonio del terreno in 4 tipi di suolo su terreni forestali e coltivati adiacenti (ridisegnato da Acton e Gregorich, 1995).

La *topografia* influenza il contenuto di SO del terreno mediante effetti sul microclima, il drenaggio e l'erosione. I terreni alla base di un pendio sono generalmente più umidi, hanno temperature superficiali più elevate e tessiture più fini rispetto ai terreni posti più a monte o alla sommità di una

collina. Le condizioni anaerobiche che si instaurano provocano l'accumulo di SO nel terreno a causa del rallentamento della decomposizione e del catabolismo incompleto. L'erosione lungo le linee di massima pendenza provoca il distacco e la rimozione delle particelle di terreno a cui aderisce la SO. L'effetto del *materiale di origine* è dovuto principalmente alla tessitura. La presenza di argilla, infatti, esercita un'azione di protezione sia chimico-fisica che fisica nei confronti dei costituenti organici parzialmente decomposti e di quelli labili, rallentandone la decomposizione. I valori indicativi proposti dalla SILPA (Società Italiana dei Laboratori Pubblici Agrochimici), per una valutazione generica del contenuto di SO nei suoli italiani coltivati, sono riportati nella Tabella 1. Nel caso siano necessarie valutazioni di impatto ambientale relative alla dinamica della sostanza organica, occorrerà peraltro esaminare criticamente i risultati anche in relazione alla situazione pedoclimatica locale.

Tabella 1. Valori indicativi di correlazione tra tessitura del suolo e dotazione di sostanza organica

Dotazione	Classi tessiturali secondo USDA		
	Sabbioso Sabbioso-franco Franco sabbioso	Franco Franco-sabbioso-argilloso Franco-limoso Argilloso-sabbioso Limoso	Argilloso Franco-argilloso Argilloso-limoso Franco-argilloso-sabbioso
Sostanza organica %			
Molto basso	< 0,8	< 1,0	< 1,2
Basso	0,8 - 1,4	1,0 - 1,8	1,2 - 2,2
Medio	1,5 - 2,0	1,9 - 2,5	2,3 - 3,0
Elevato	> 2,0	> 2,5	> 3,0

In generale il valore inferiore, al di sotto del quale sono possibili effetti negativi significativi dovuti alla carenza di SO, si aggira attorno all'1 %, mentre fino al 1,5-1,8 % il livello di SO è da considerare scarso per il mantenimento di una adeguata fertilità. Per garantire un'elevata efficienza del terreno rispetto al rifornimento di elementi nutritivi per le piante ed al trattenimento di potenziali elementi inquinanti il livello obiettivo di SO dovrebbe essere pari al 2 %.

L'età del terreno è molto importante soprattutto per i terreni giovani, nei quali la velocità di accumulo della SO supera quella di decomposizione.

I principali processi della pedosfera che influenzano la dinamica della sostanza organica del suolo si dividono in due categorie (Figura 5): quelli aumentano la sostanza organica e quelli che la riducono. I primi sono l'umificazione, l'aggregazione e la deposizione dei sedimenti. I secondi sono l'erosione, la percolazione e la decomposizione e volatilizzazione della sostanza organica. E' il

bilancio netto di queste due componenti, in relazione all'uso del suolo ed ai fattori antropogenetici, che determina il pool netto di sostanza organica nella pedosfera.

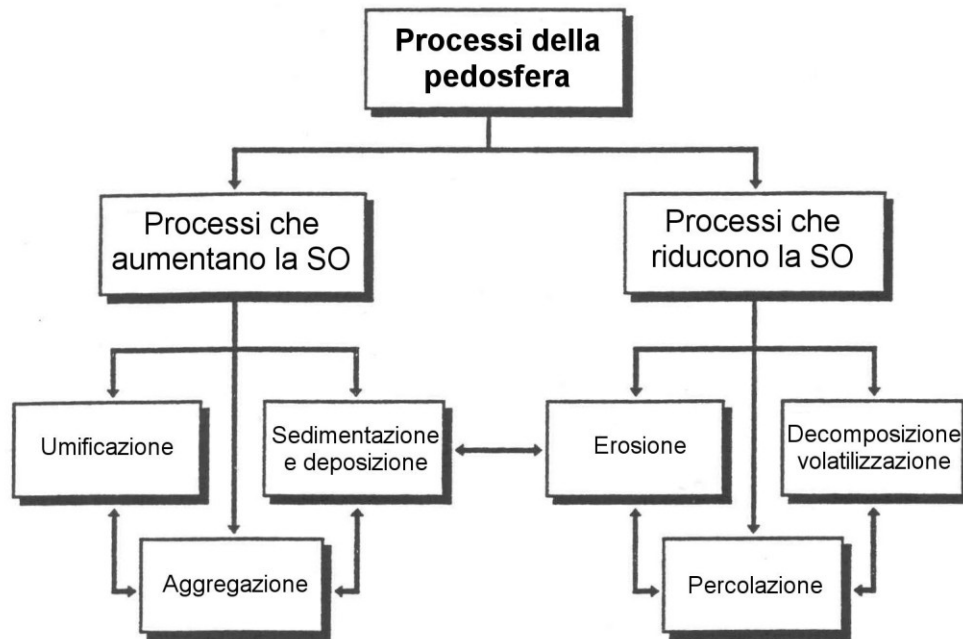


Figura 5. Principali processi della pedosfera che regolano il contenuto di carbonio organico del suolo

1.4.1. Il ruolo del terreno nella fissazione della CO₂ atmosferica

Molti aspetti relativi alla gestione agronomica del terreno hanno un effetto positivo nei confronti della riduzione delle emissioni di gas serra e dell'anidride carbonica in particolare perché aumentano il contenuto di sostanza organica (SO). Il suolo rappresenta, infatti, il maggiore serbatoio terrestre di C organico dopo i giacimenti fossili (Figura 6). Stime riportate in letteratura (Eswaran et al., 2000) attribuiscono ad 1 metro di suolo un contenuto di 1.526 Pg di C (1 Pg = 10¹⁵ g), rispetto ai 4.000 Pg dei combustibili fossili, ai 760 Pg presenti nell'atmosfera ed ai 600 Pg stimati per gli organismi vegetali terrestri.

Il carbonio inorganico del suolo ammonta invece a 940 Pg di C ed è costituito da carbonio elementare e carbonati di origine primaria e secondaria. I carbonati primari derivano dalla roccia madre, mentre quelli secondari si formano per reazione della CO₂ atmosferica con gli ioni Ca²⁺ e Mg²⁺.

Gli ordini di suolo principali con le maggiori riserve di C organico sono i gelisuoli, gli inceptisuoli, gli istosuoli, gli alfisuoli e gli ultisuoli; quelli con le riserve più elevate di C inorganico sono gli aridosuoli, gli entisuoli, i mollisuoli, gli alfisuoli e i vertisuoli (Figura 7).

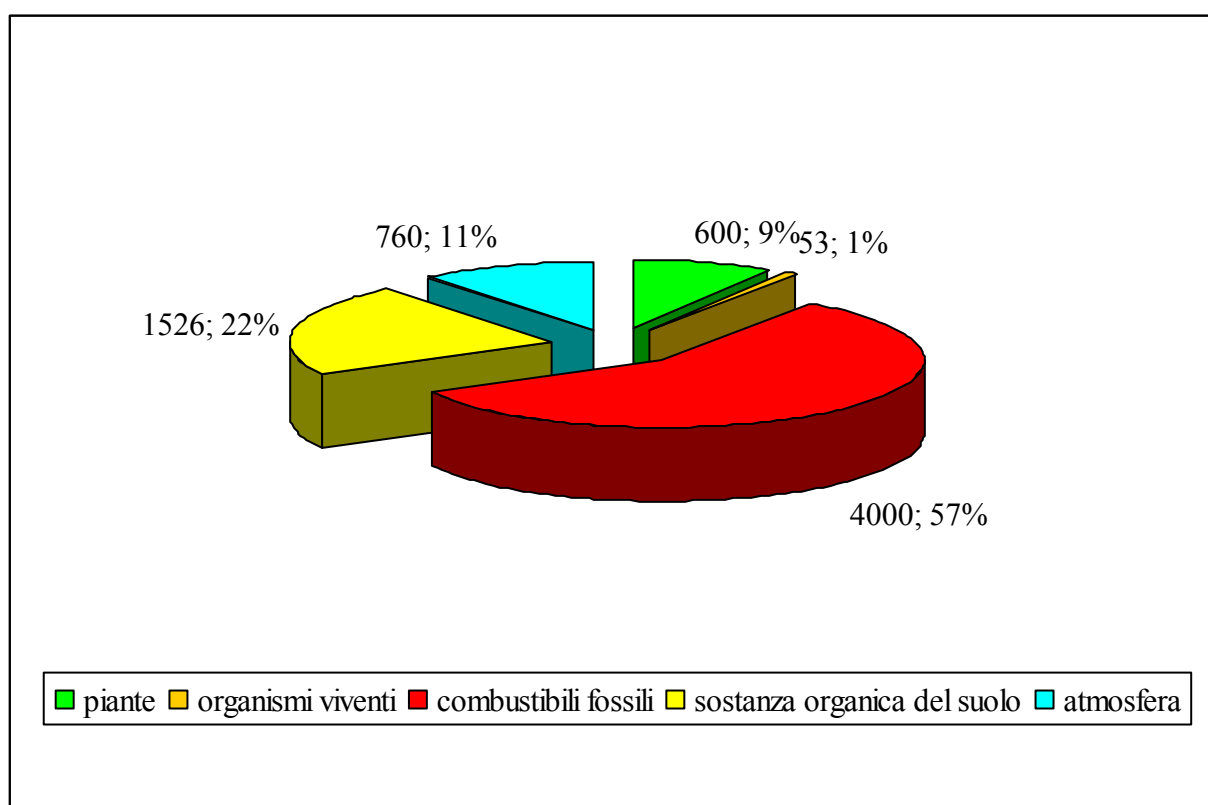


Figura 6. Ripartizione dei sink di carbonio organico (in Pg di C).

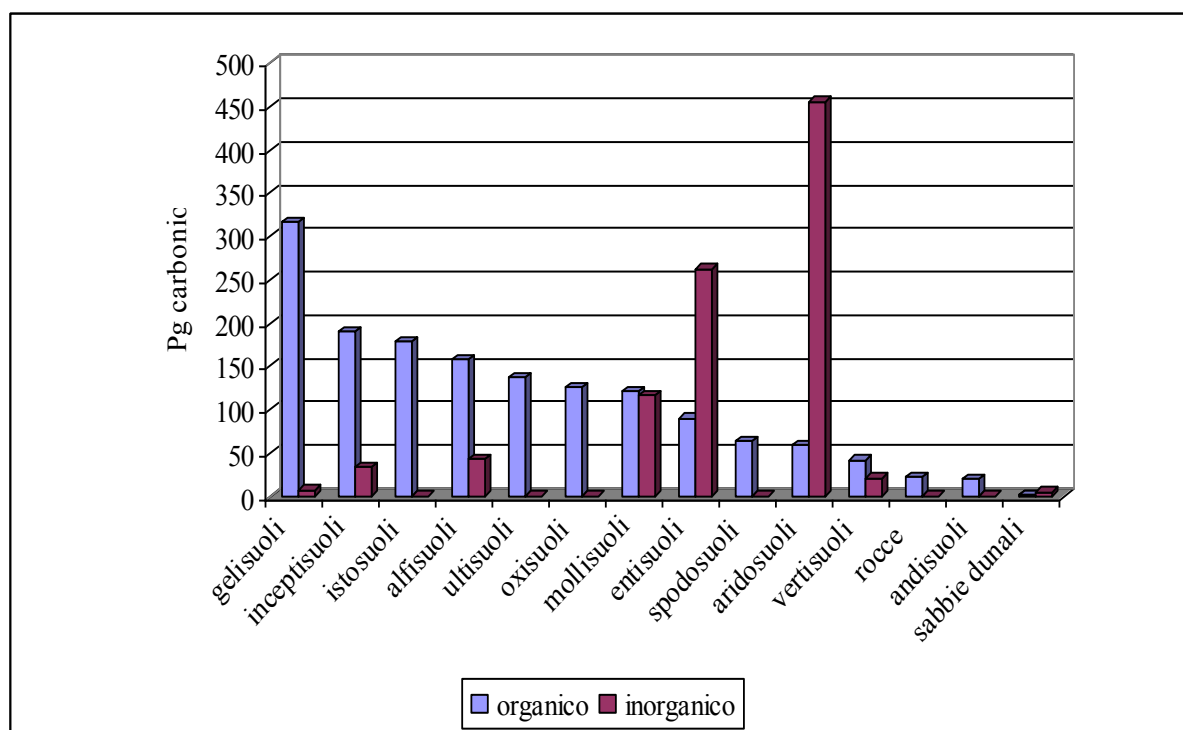


Figura 7. Riserve di carbonio nei principali ordini di suolo (Pg C riferiti ad 1 metro).

La delibera CIPE n. 123 del 19 dicembre 2002 ha approvato il Piano di azione nazionale per la riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra. Il Piano individua i programmi e le misure da attuare per rispettare l'obiettivo nazionale di riduzione delle emissioni dei gas serra stabilito dal Protocollo di Kyoto. Tale obiettivo impone che nel periodo 2008-2012 le emissioni di gas serra siano ridotte del 6.5%, rispetto al 1990, ossia non potranno superare i 487,1 Mt CO₂ eq, a fronte di una stima tendenziale delle emissioni al 2010 di 579,7 Mt CO₂ eq.

A fronte, pertanto, di un "gap" da colmare di 92,6 Mt CO₂ eq, è sorprendente fare due conti: se un ha è composto da 5×10^6 kg di suolo, se la SAU in Italia corrisponde a 13×10^6 ha, la diminuzione o l'incremento di un semplice 0,1% di C nel suolo (corrispondente a 5×10^3 kg di C, ossia $1,83 \times 10^4$ kg di CO₂ emessa per ettaro) equivale, a livello dei soli suoli agricoli nazionali, a 238 Mt CO₂ eq, che come ordine di grandezza è circa la metà delle emissioni totali nazionali previste come obiettivo.

Va comunque ricordato che i climi mediterranei hanno un metabolismo della SO del terreno sfavorevole a causa dei prolungati periodi con temperature elevate ed umidità del terreno scarse. Uno studio dell'European Soil Bureau indica che nei Paesi dell'Europa meridionale che si affacciano sul mediterraneo, quasi il 75 % dei suoli hanno un contenuto di carbonio organico dello strato superficiale minore del 2 %, percentuale di suoli che in Italia raggiunge l'86 %. Ma anche altri Paesi non sono indenni dal fenomeno. Per esempio in Inghilterra ed in Galles i suoli con un contenuto di C organico minore del 2,1 % sono saliti dal 35 al 42 % della superficie territoriale nel periodo 1980-1995.

1.4.2. L'uso del suolo e le pratiche agricole

Il taglio di un bosco o la rottura di un prato-pascolo per fini agricoli provoca, di norma, una diminuzione del contenuto di SO che si aggira tra il 20 e il 50%. Questa diminuzione è causata dall'azione concomitante di diversi fattori: in un suolo coltivato, infatti, gli apporti di carbonio organico sono notevolmente ridotti rispetto a quelli che si verificano in condizioni naturali, soprattutto se si asportano i residui colturali. Allo stesso tempo, in un suolo agricolo la velocità di mineralizzazione della SO aumenta per la migliore aerazione e la rottura degli aggregati conseguente alle lavorazioni, che espongono nuove frazioni di SO all'azione di decomposizione della biomassa microbica. La migliore e più costante disponibilità d'acqua che si riscontra in un suolo coltivato e l'eventuale correzione del pH, sono altri fattori che contribuiscono all'aumento di velocità di mineralizzazione. Il nuovo equilibrio, situato ad un livello generalmente inferiore di contenuto di SO del terreno, che nelle regioni a clima temperato viene raggiunto in genere dopo alcune decine di anni, è caratteristico delle particolari condizioni fisiche, biologiche e climatiche dello specifico ecosistema a cui il suolo appartiene, nonché del sistema di gestione a cui il suolo è sottoposto (Figura 8).

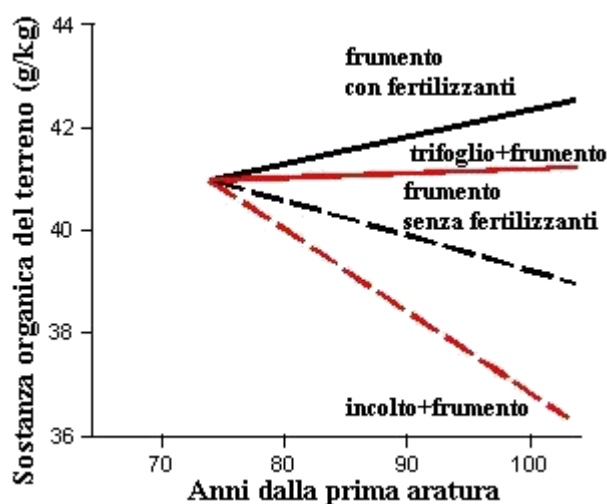


Figura 8. SO del terreno in 4 tipi di rotazioni su terreno precedentemente coltivato a prato-pascolo (ridisegnato da Acton e Gregorich, 1995).

In linea generale poi, le pratiche agricole che hanno un effetto positivo sull'equilibrio di un agroecosistema, come le cover-crops, le lavorazioni conservative, l'apporto di ammendanti organici e di residui colturali, e le pratiche per il controllo dell'erosione, aumentano anche il contenuto di SO del terreno. Le lavorazioni profonde, come l'aratura tradizionale, provocano la distribuzione della sostanza organica del terreno in tutto lo spessore interessato. Si riduce così, prima di tutto, il livello umico dello strato più superficiale ed aumenta la velocità di mineralizzazione della SO. Non ultimo l'aumento della produzione di azoto nitrico, utile per la nutrizione delle piante ma potenzialmente lisciviabile. Oltre agli inerbimenti e alle forme di set-aside erbaceo ed erbaceo-arbustivo, le

lavorazioni di tipo conservativo (no-till e lavorazioni ridotte) rappresentano invece il modo migliore per lasciare la maggior parte dei residui colturali sulla superficie o nei primi strati del terreno, esplicando anche un'azione protettiva nei confronti dell'erosione e delle perdite di acqua per ruscellamento ed evaporazione (Figure 9-10-11).

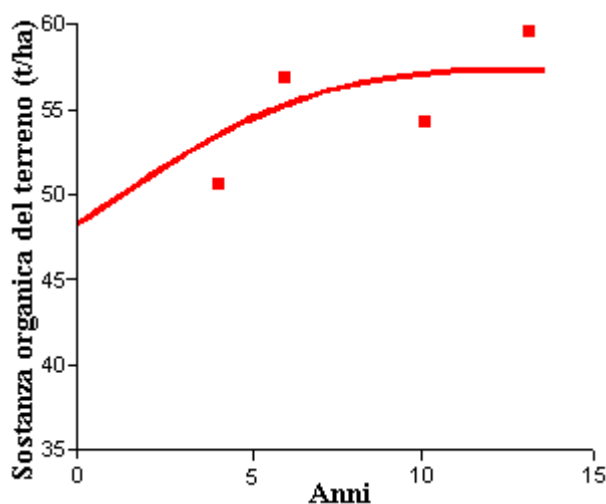


Figura 9. Effetti delle lavorazioni conservative sulla sostanza organica del terreno. Variazioni del contenuto di sostanza organica nello strato superficiale (15 cm) di un terreno, dopo la conversione da pratiche di lavorazione convenzionali (incolto+frumento) ad una monocoltura di frumento con non lavorazione (ridisegnato da Acton e Gregorich, 1995).

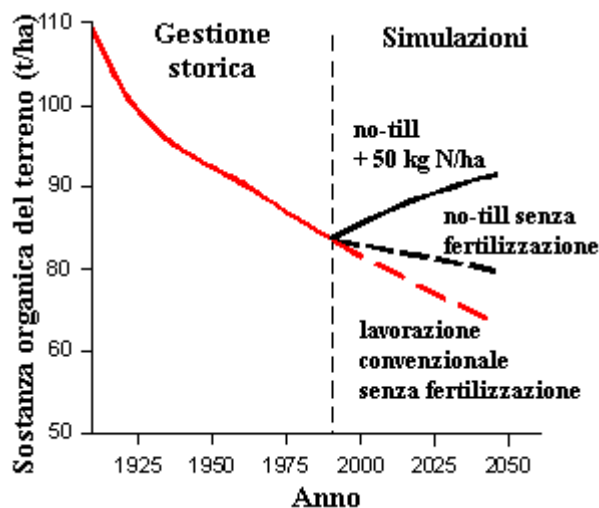


Figura 10. Simulazioni del contenuto di sostanza organica del terreno nel corso di 50 anni di lavorazione convenzionale e non lavorazione (con e senza fertilizzazione). (ridisegnato da Acton e Gregorich, 1995).

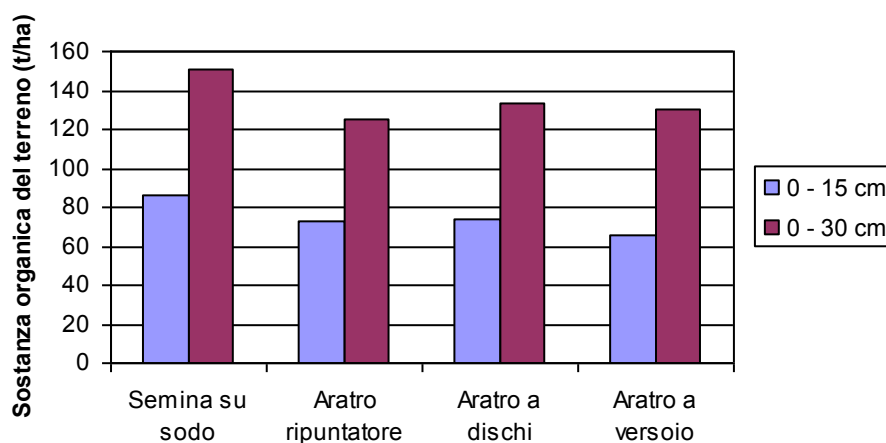


Figura 11. Sostanza organica del terreno a due profondità dopo 18 anni di lavorazioni con sistemi differenti, su una coltura di mais (elaborato da Acton e Gregorich, 1995).

Le rotazioni colturali migliori sono quelle che comprendono colture foraggere e leguminose che, avendo un apparato radicale molto esteso, lasciano grandi quantità di sostanza organica nel terreno dopo il raccolto (Figura 12). I periodi a maggese espongono il terreno all'erosione, che diminuisce il livello di SO del terreno, e creano condizioni di temperatura ed umidità che accelerano la velocità di decomposizione della SO.

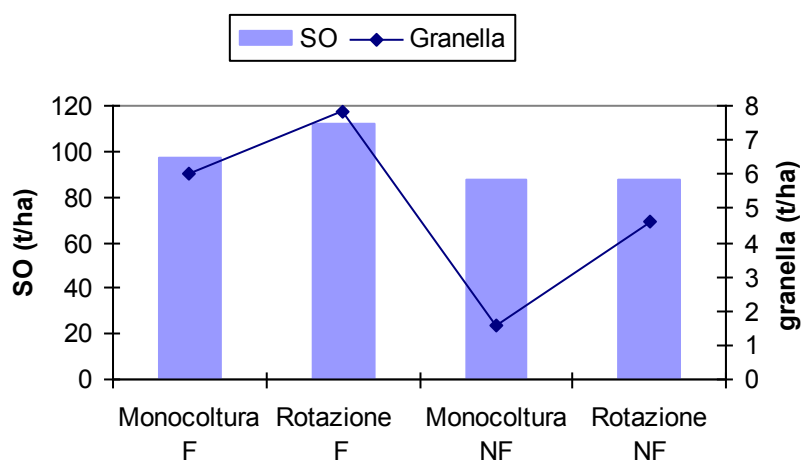


Figura 12. Sostanza organica dello strato superficiale di terreno (0-20 cm) con monocultura di mais e con rotazione mais+avena+fieno, con e senza fertilizzazione. I dati sono la media di 31 anni di coltivazione (elaborato da Acton e Gregorich, 1995).

L'aggiunta di residui colturali e di ammendanti organici come compost, letami, fanghi di depurazione e residui legnosi aumenta il livello di SO nel terreno (Figura 13) e contrasta i fenomeni erosivi perché favorisce la strutturazione delle particelle di terreno in aggregati resistenti.

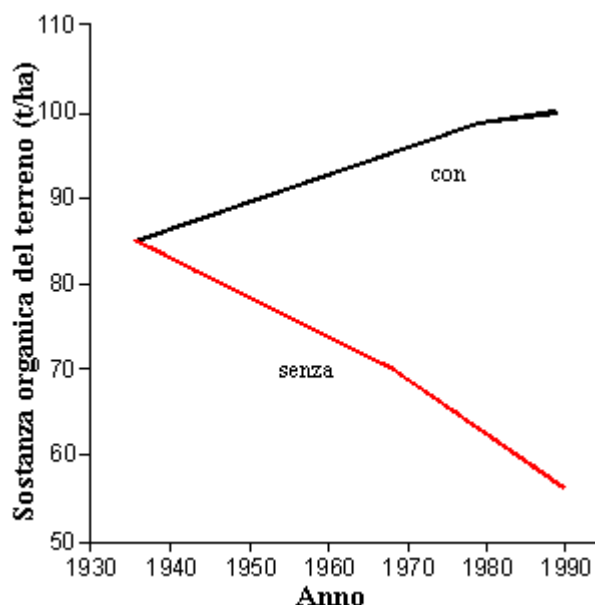


Figura 13. Variazioni della sostanza organica del terreno con e senza aggiunta di letame (ridisegnato da Acton e Gregorich, 1995).

Il controllo dell'erosione nei terreni vulnerabili consente di ridurre il distacco e il trasporto delle particelle superficiali di terreno ricche di SO. Quando l'erosione è elevata, il livello di SO diminuisce rapidamente e, nella maggior parte dei casi, non raggiunge un punto di equilibrio. Se l'erosione è assente, la SO del terreno diminuisce rapidamente, ma si livella poi ad un valore di circa l'80 % del punto di partenza (Figura 14).

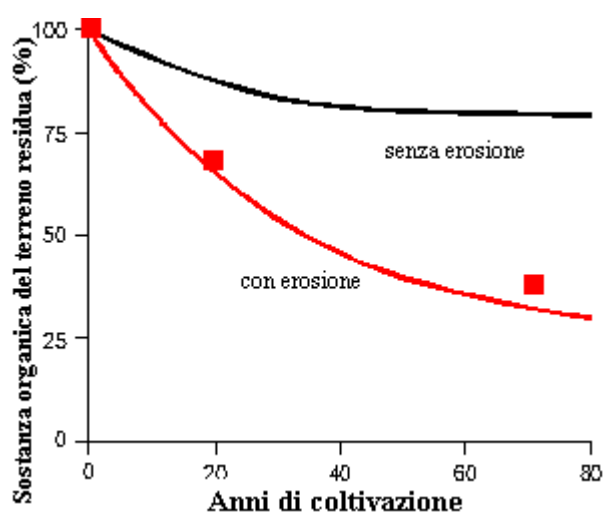


Figura 14. Effetti dell'erosione sul contenuto di SO del terreno (ridisegnato da Acton e Gregorich, 1995).

Utili per il controllo dell'erosione sono le colture foraggere, in rotazione o come colture permanenti, il mantenimento di una copertura vegetale in inverno, le colture intercalari, la gestione dei residui colturali, la consociazione di due colture seminate a fasce lungo i terreni in pendenza (strip-cropping), le lavorazioni del terreno che favoriscono la formazione di aggregati stabili, le lavorazioni e la semina lungo le curve di livello (contour cultivation) e non secondo la linea di massima pendenza, i terrazzamenti.

In particolare, la gestione dei residui colturali è attualmente uno dei metodi più efficaci per il controllo dell'erosione, con influenze positive anche sull'attività biologica ed il contenuto di SO del terreno. Gestire i residui colturali significa lasciarne una parte sulla superficie del terreno ricorrendo alle tecniche di lavorazione ridotta, invece di interrarli come avviene con le lavorazioni profonde. Stime dell'Ontario Ministry of Agriculture and Food (1992) indicano che lasciare il 20-30 % dei residui sul terreno riduce l'erosione dal 50 al 65 %.

Bibliografia

- Acton, D.F., Gregorich, L.J. (eds) 1995. The health of our soils. Towards sustainable agriculture in Canada. Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont. XIV + 138 pp.
- Baldock, J.A., Nelson, P.N. 1999. Soil organic matter. In: Handbook of Soil Science (M.E. Sumner ed.). CRC Press, Boca Raton, FL, pp. B25-B84.
- EEA 1995. Europe's Environment: The Dobris Assessment. Chapter 07: Soil. <http://themes.eea.eu.int/fulldoc.php/state/soil?fn=92-826-5409-5&l=en>.
- EEA 1999a. Environment in the European Union at the turn of the century. Chapter 3.6. Soil degradation. <http://themes.eea.eu.int/toc.php/state/soil?doc=39049&l=en>
- EEA 1999b. Environmental indicators: typology and overview. Technical report No 25, 19 pp.
- Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 1992. Field Crop Production. Best Management Practices Series. Toronto, Ontario, Canada.
- Eswaran, H., Reich, P.F., Kimble, J.M., Beinroth, F.H., Padmanabhan, E., Moncharoen, P. 2000. Global carbon stocks. In: Global climate change and pedogenetic carbonates (R. Lal, J.M. Kimble, H. Eswaran, B.A. Stewart eds). Lewis Publishers, Boca Raton, 15-25.
- Lal, R., Kimble, J., Follett, R.F. 1998. Pedospheric processes and the carbon cycle. In: Soil processes and the carbon cycle (R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett. B.A. Stewart eds.), CRC Press, Boca Raton, Boston, New York, Washington, London, 1-7.
- Pagiola, S. 1999. The global environmental benefits of land degradation control on agricultural land. World Bank Environment Paper n. 16, Washington D.C., 58 pp.
- Paustian, K., Collins, H.P., Paul, E.A. 1997. Management controls on soil carbon. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems (E.A. Paul, E.T. Elliot, K. Paustian, C.V. Cole Eds.) CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 15-49.
- Smith, O.H., Petersen, G.W., Needelman, B.A. Environmental indicators of agroecosystems. Academic Press, Advances in Agronomy 69, 75-97.
- Stevenson, F.J. 1994. Humus chemistry: Genesis, Composition, Reactions. Wiley, New York.

2.Efficacia ambientale dello standard di condizionalità 4.1 “Protezione del pascolo permanente”

2.1. Introduzione

Rispetto alle altre superfici agricole destinate ad altri utilizzi, il pascolo è caratterizzato da una maggiore biodiversità e da una maggiore protezione del suolo dovuta alla presenza di un cotico erboso permanente. McNeely *et al.* (1995) hanno osservato che i cambi di destinazione d'uso riducono la biodiversità dei pascoli permanenti. Il degrado dell'habitat dovuto al change in land use è dovuto ad un peggioramento della struttura del suolo e della soil biological quality, principalmente a causa delle lavorazioni ed alla diminuzione della biodiversità (Van Eekeren *et al.*, 2008). Il Reg. (CE) 1782/03 introduce la Condizionalità che subordina il pagamento degli aiuti al rispetto di fondamentali norme tra le quali quelle relative alle buone condizioni agronomiche e ambientali (Ruda *et al.*, 2011). Al fine di assicurare un livello minimo di mantenimento dei terreni ed evitare il deterioramento degli habitat, lo Standard 4.1 prevede che tutte le superfici a pascolo permanente siano soggette ai seguenti divieti: a) riduzione della superficie a pascolo permanente; b) conversione della superficie a pascolo permanente ad altri usi all'interno dei siti di importanza comunitaria, delle zone speciali di conservazione e delle zone di protezione speciali; c) lavorazioni del terreno fatte salve quelle connesse al rinnovo e/o infittimento del cotico erboso e alla gestione dello sgrondo delle acque. La conversione dei pascoli in seminativi è un problema rilevante per gli effetti concomitanti di degradazione ambientale, alterazione dei cicli biogeochimici ed emissioni di gas ad effetto serra. La letteratura scientifica concorda sugli effetti negativi a carico del carbonio organico del suolo che tende ad una diminuzione nella conversione da pascoli, con perdite dipendenti dal tipo di coltura e dal livello di intensificazione culturale. Mediamente il carbonio organico si riduce del 25-30% come risultato della conversione a seminativo, con un andamento esponenziale durante i primi anni, mentre successivamente il carbonio organico si stabilizza gradualmente verso una nuova condizione di equilibrio. Celik (2005) riporta una perdita del 49% di SOC dopo 12 anni dalla conversione di un pascolo in seminativo nella Turchia mediterranea. Guo e Gifford (2002) hanno rilevato che le perdite maggiori di carbonio organico dopo la conversione a seminativo sono state riscontrate dopo 30-50 anni e con precipitazioni annuali di 400-500 mm. Qiu *et al.* (2012) riportano perdite di SOC del 57-61% dopo 27 anni dalla conversione di un pascolo a seminativo in ambiente semiarido.

2.2. Materiali e Metodi

Per valutare l'efficacia dello Standard, sono state utilizzate due aziende (Fig. 1), una dell'Unità di Ricerca per la Zootecnia Estensiva (ZOE) di Bella ed una convenzionata con l'Unità di Ricerca per i sistemi Agropastorali in Ambiente mediterraneo (AAM) di Sanluri, che rappresentano due casi-studio, corrispondenti ad areali italiani rappresentativi dell'allevamento ovino al pascolo: l'Appennino meridionale e la collina sarda.

Descrizione dei siti e schema di monitoraggio

- Siligo (SS) – Azienda convenzionata CREA-AAM

L'area di studio in esame si colloca presso l'azienda Canu, nel comune di Siligo (SS) (40° 35' 15" N, 8° 43' 27" E), in una zona collinare di fondovalle a 255 m s.l.m. L'area ricade in una zona tipica a conduzione pastorale, con pascoli permanenti (pascolati da pecora di razza sarda) ed erbai. Le parcelle si collocano in un'area a pascolo naturale da oltre vent'anni, con una leggera pendenza (3% circa). Nell'autunno 2012 sono state individuate 3 aree di pascolo naturale affiancate (80 metri di lunghezza x 15 m di larghezza), alle quali sono state assegnate le seguenti condizioni: 1) Fattuale (F): pascolo naturale senza lavorazioni; 2) Controfattuale 1 (CF1): rottura del pascolo con aratura ed erpicatura *una tantum*; 3) Controfattuale 2 (CF2): rottura del pascolo con aratura ed erpicatura, e successiva semina di erbaio di avena. Nelle aree controfattuali CF1 e CF2 sono state effettuate le lavorazioni di aratura ed erpicatura. Nella parcella CF2 è stato seminato un erbaio di avena (200 Kg/ha). Nessuna operazione è stata effettuata nell'area della parcella F. Nel 2013 sono state eseguite le sole operazioni di aratura ed erpicatura nelle aree CF1 e CF2, e non è stata eseguita alcuna semina nella parcella CF2.

- Bella (PZ) – Azienda CREA-ZOE

L'area di studio in esame si colloca nel Comune di Bella (PZ) in località Bella-Muro, in una zona collinare di fondovalle (40°42' N, 15°32' E, 350 m s.l.m.), con lieve pendenza (3%). Il terreno è di origine alluvionale, ha una tessitura franco-argillosa ed è mediamente profondo. L'area è utilizzata da più di 20 anni, da capre, a pascolo naturale. In ottobre 2011 sono state individuate 3 aree omogenee, della larghezza di circa 35 m x 142 m ($\simeq 5.000 \text{ m}^2$). Alle 3 parcelle sono state assegnate le seguenti condizioni: 1) Fattuale (F): pascolo naturale senza lavorazioni, con gestione ordinaria di gregge di pecore, carico 2,6 UBA/ha; 2) Controfattuale 1 (CF1): rottura del pascolo con aratura ed erpicatura *una tantum*; 3) Controfattuale 2 (CF2): rottura del pascolo con aratura ed erpicatura, e successiva semina di erbaio annuale avena-veccia consociato. Nell'autunno 2011 (pre-monitoraggio), sono state effettuate le operazioni di aratura ed erpicatura nelle parcelle CF1 e CF2.

Nella parcella CF2 è stato quindi seminato un erbaio di avena-veccia consociato (in rapporto 80/30, 160 e 60 kg/ha). Nella tarda estate 2012 e 2013 sono state effettuate le operazioni di aratura ed

erpicatura solo nell'area CF2 e solo nel 2013 è stata effettuata la semina di un erbaio di avena-veccia (densità pari a 160 e 60 kg/ha).

Monitoraggio sostanza organica e fertilità biologica del suolo

Il contenuto di sostanza organica (SO) viene determinato indirettamente moltiplicando la concentrazione del carbonio organico del suolo (TOC) per il coefficiente di conversione di Van Bemmelen (1.724) riportato da Jackson (1965). Nel presente lavoro si farà pertanto riferimento al carbonio organico del suolo. Per la fertilità biologica (IBF) vengono considerati 6 parametri chiave (Benedetti *et al.*, 2006; Benedetti e Mocali, 2008): sostanza organica totale (SO), biomassa microbica (Cmic) (Vance *et al.*, 1987), respirazione basale (Cbas) e respirazione cumulativa (Ccum) (Isermayer, 1952), quoziente metabolico (qCO_2) dato da $(C_{bas}/C_{mic})/24 \cdot 100$ (Anderson e Domsch, 1990; 1993), quoziente di mineralizzazione (qM) espresso come $C_{cum}/TOC \cdot 100$ (Dommergues, 1960).

Azienda CREA-AAM - Sono stati prelevati campioni di terreno per le analisi, alla profondità di 0-30 cm (3 ripetizioni per parcella), nel 2012 prima della rottura del pascolo, e successivamente nel 2013 e 2014 (fine monitoraggio).

Azienda CREA-ZOE - Sono stati prelevati campioni di terreno a inizio prova (novembre 2011 e marzo 2012), a ottobre 2013 e alla fine del monitoraggio (gennaio 2015), alle profondità 0-20 e 20-40 cm (3 ripetizioni per area).

2.3. Risultati e Discussione

Azienda CREA-AAM - Alla fine del monitoraggio il contenuto di carbonio organico del suolo è stato pari a 2,11, 1,48 e 1,56% rispettivamente nelle parcelle F, CF1 e CF2. L'efficacia del trattamento fattuale rispetto ai due trattamenti controfattuali, espressa come $(F-CF)/F \cdot 100$, è stata positiva e pari a +26 e +30% rispettivamente (Fig. 2). Tra i parametri che compongono l'indice di fertilità biologica (IBF), il carbonio della biomassa microbica (C_{mic}) ha mostrato mediamente valori più elevati nella parcella con il pascolo naturale indisturbato. L'efficacia di questo trattamento rispetto ai due controfattuali è stata +11 e +22% (Fig. 3). La respirazione cumulativa (Fig. 4) è sempre stata inferiore nel pascolo naturale indisturbato rispetto ai due trattamenti controfattuali (-13 e -21% rispettivamente).

Azienda CREA-ZOE - Alla fine del monitoraggio il contenuto di carbonio organico del suolo è stato pari a 1,99, 1,47 e 1,48% rispettivamente nelle parcelle F, CF1 e CF2. L'efficacia del trattamento fattuale rispetto ai due trattamenti controfattuali, espressa come $(F-CF)/F \cdot 100$, è stata positiva e pari a +26% (Fig. 2). Tra i parametri che compongono l'indice di fertilità biologica (IBF), il carbonio della biomassa microbica (C_{mic}) ha mostrato valori lievemente più elevati nella parcella con il pascolo naturale indisturbato solo rispetto al pascolo arato e seminato. Infatti, l'efficacia di questo trattamento rispetto ai due controfattuali è stata -5 e +7% (Fig. 3). La respirazione cumulativa (Fig. 4) è stata inferiore nel pascolo naturale indisturbato rispetto ai due trattamenti controfattuali (-4 e -11% rispettivamente).

Complessivamente lo Standard quindi si è dimostrato efficace nel mantenimento del carbonio organico del suolo. Infatti alla fine del monitoraggio, le differenze tra il trattamento F e i due trattamenti CF sono state entrambe positive in entrambi i siti (+ 26 e +30%). Tra i parametri della fertilità biologica il carbonio della biomassa microbica si è dimostrato maggiormente sensibile alle variazioni di uso del suolo.



Figura 1. Localizzazione dei siti di monitoraggio AAM e ZOE

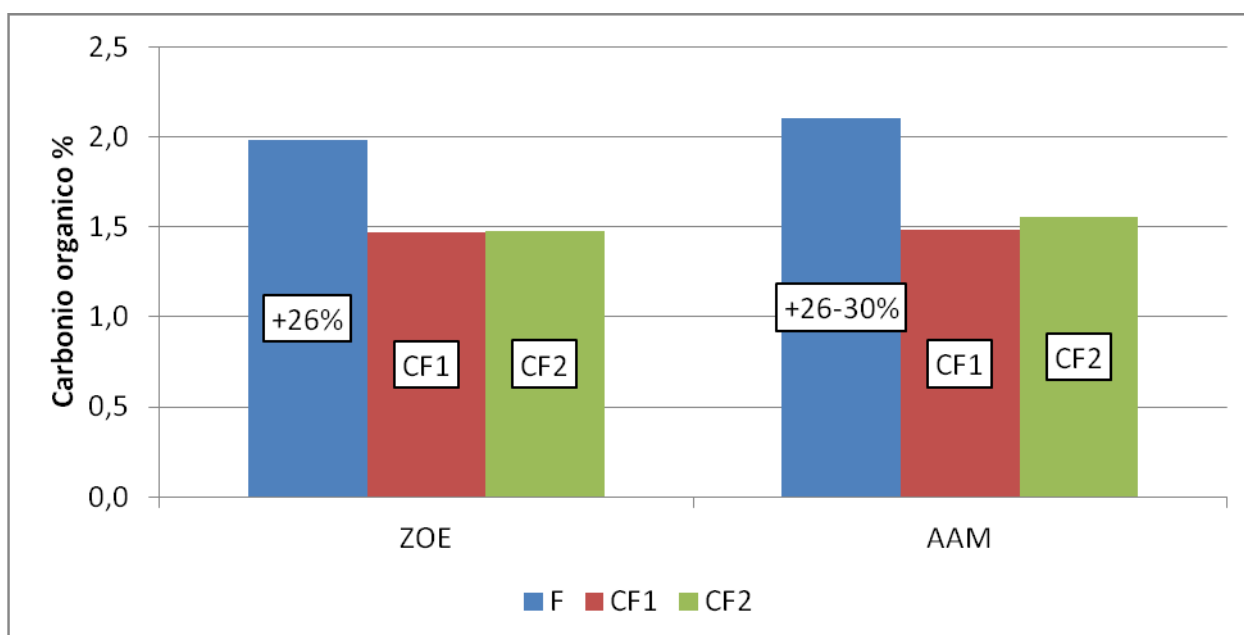


Figura 2. Carbonio organico del suolo nei due siti di monitoraggio.

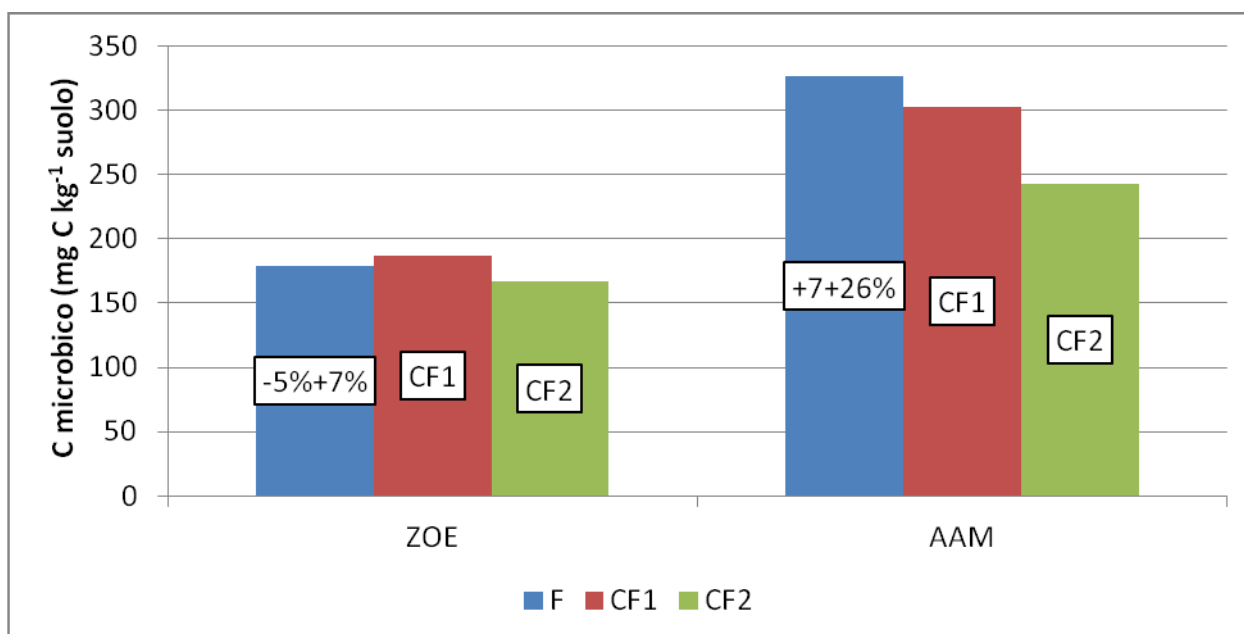


Figura 3. Carbonio della biomassa microbica del suolo nei due siti di monitoraggio

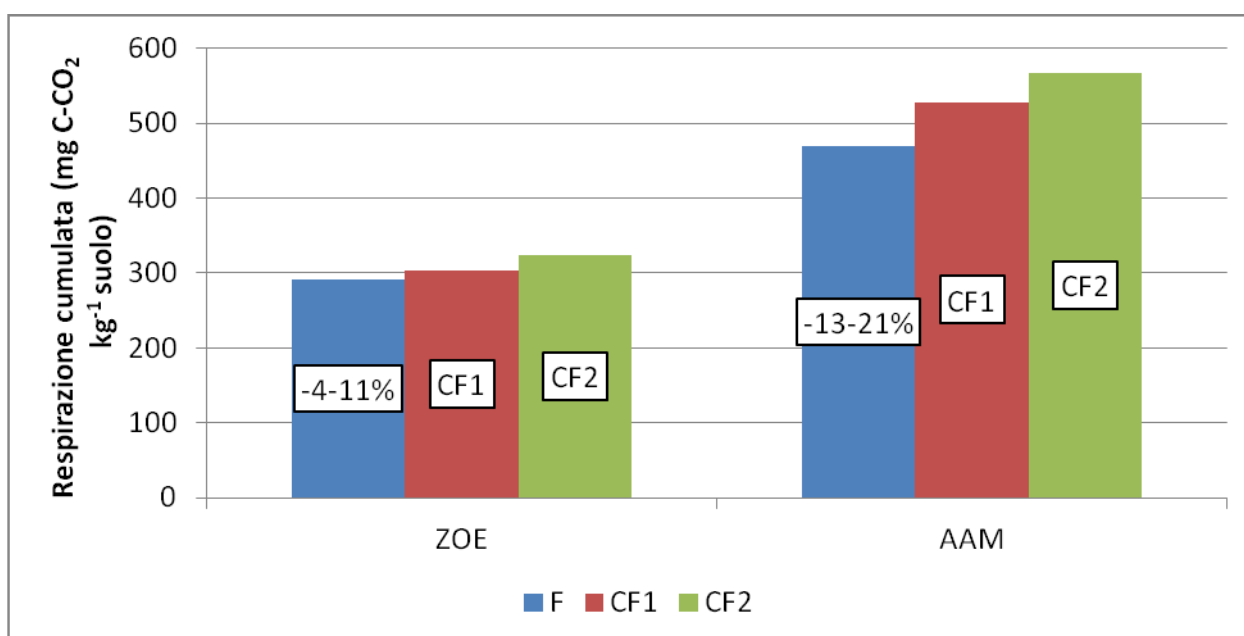


Figura 4. Respirazione cumulativa del suolo nei due siti di monitoraggio.

Bibliografia

- Anderson T.H., Domsch K.H. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.* 10, 251-255.
- Anderson T.H., Domsch K.H. 1993. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25, 393-395.
- Benedetti, A., Dell'Abate, M.T., Mocali, S., Pompili, L. 2006. Indicatori microbiologici e biochimici della qualità del suolo. In: *ATLAS – Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo*. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Osservatorio Nazionale Pedologico. Edizioni Delta Grafica, Città di Castello (Perugia).
- Benedetti, A., Mocali, S. 2008. Analisi a livello di suolo. In: *Indicatori di Biodiversità per la Sostenibilità in Agricoltura. Linee guida, strumenti e metodi per la valutazione della qualità degli agroecosistemi*. ISPRA, Report 47/2008.
- Celik I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil Till. Res.* 83, 270-277.
- Dommergues, Y. 1960. La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans le sols. *L'Agronomie Tropicale* XV (1), 54–60.
- Guo, L.B., Gifford, R.M. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8, 345-360.
- Isermeyer, H. 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Z. Pflanzenernähr Bodenkd.* 56, 26-38.
- McNeely J.A., Gadgil M., Leveque C., Padoch C., Redford K., 1995. Human influences on biodiversity. In: Heywood V.H., Watson R.T. *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge. 711-821.
- Qiu, L., Wei, X., Zhang, X., Cheng, J., Gale, W., Guo, C., Long, T. 2012. Soil organic carbon losses due to land use change in a semiarid grassland. *Plant Soil* 355, 299-309.
- Ruda P., Salis M., Carroni A.M., 2011. Effectiveness of the GAEC cross compliance standard Protection of permanent pasture: prohibition to convert permanent pasture into arable crops in avoiding habitat deterioration. *Italian Journal of Agronomy*, volume 6(s1):e12, pagg 87-91
- Van Eekeren N., Bommelè L., Bloem J., Schouten T., Rutgers M., de Goede R., Reheul D., Brussaard L., 2008. Soil Biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Appl. Soil Ecol.* 40, 432-446.
- Vance, E.D., Brookes, P.C., Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19, 703–707.

3. Modellistica per simulare il carbonio organico nel suolo degli agro- ecosistemi. SOILSINK

3.1. Introduzione

Nel sito di Berchidda (Olbia-Tempio, Sardegna) sono stati studiati gli effetti di differenti usi del suolo a diverso livello di intensificazione colturale, in un'area caratterizzata dallo stesso tipo di suolo e di vegetazione potenziale:

- Vigneti (con/senza lavorazione/inerbimento)
- Pascolo su prato migliorato con foraggiere annuali non irrigue
- Pascolo su prati naturali misti con querce da sughero sparse
- Sistemi semi-naturali (arbusteti, macchia Mediterranea e praterie), ex vigneti abbandonati da circa 30 anni
- Sugherete

Materiali e Metodi

Il modello prescelto è stato RothC, versione 26.3 (Coleman e Jenkinson, 1996), uno dei più utilizzati nel mondo per il turnover della sostanza organica del suolo. Sviluppato sulla base degli esperimenti parcellari di lungo periodo di Rothamsted (Inghilterra), è stato in seguito applicato a numerosi sistemi colturali, comprendenti seminativi, prati e suoli forestali (Jenkinson et al., 1992, 1999; Coleman et al., 1997; Smith et al., 1997). Il modello RothC è stato calibrato in Australia (Skjemstad et al., 2004), America (Cerri et al., 2003), Europa (Smith et al., 1997; Falloon et al., 2002), Nuova Zelanda (Parshotam et al., 1995), Giappone (Shirato e Taniyama, 2003; Yokozawa et al., 2010), Cina (Guo et al., 2007), Kenya (Kamoni et al., 2007), Zambia (Kaonga e Coleman, 2008).

Dati richiesti dal modello

Per le simulazioni con RothC sono necessari pochi parametri di facile reperibilità:

- a) Dati climatici mensili: 1) temperatura media dell'aria, che nel lungo periodo rappresenta in modo soddisfacente la temperatura del suolo a 20 cm di profondità; 2) pioggia mensile; 3) evaporazione da open pan mensile (in assenza di dati misurati si utilizza l'equazione di Thornthwaite diviso per 0.75).
- b) Contenuto percentuale di argilla dello strato superficiale, che regola l'acqua disponibile nel suolo e la decomposizione della sostanza organica.

- c) Una stima della decomponibilità degli input di residui vegetali, cioè il rapporto DPM/RPM.
- d) La presenza o meno di una copertura vegetale durante l'arco dell'anno, dato che la decomposizione della sostanza organica è più veloce in un suolo nudo rispetto ad uno coltivato.
- e) Input mensili di residui colturali in t ha^{-1} di C (radici, stoppie, foglie, ecc.).
- f) Input mensili di eventuali apporti organici (Farmyard manure, FYM) in t ha^{-1} di C.

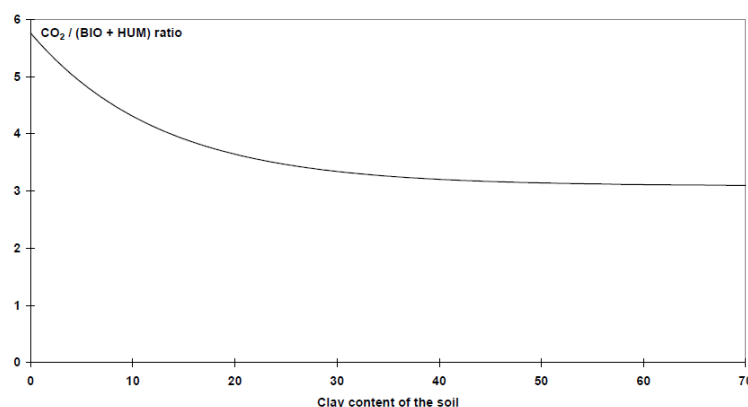
Struttura del modello

In RothC il carbonio organico del suolo è suddiviso in 4 comparti attivi ed una piccola parte di sostanza organica inerte (IOM) resistente alla decomposizione. I 4 comparti attivi sono: materiale vegetale decomponibile (DPM), materiale vegetale resistente (RPM), biomassa microbica (BIO) e sostanza organica umificata (HUM). Ogni comparto si decompone secondo una cinetica di primo ordine con uno specifico tasso di decomposizione.

Gli input di carbonio derivanti dai residui vegetali vengono suddivisi tra DPM e RPM in funzione del rapporto DPM/RPM tipico del sistema colturale. Per la maggior parte dei seminativi e per i prati migliorati è 1.44, cioè il 59 % è DPM e il 41 % RPM; per i prati naturali e gli arbusteti 0.67, con DPM 40 % e RPM 60 %; per le foreste decidue o tropicali è 0.25, cioè DPM 20 % e RPM 80 %.

DPM e RPM si decompongono in C-CO_2 , BIO e HUM. La ripartizione tra C-CO_2 e BIO+HUM dipende dal contenuto di argilla del suolo (Coleman e Jenkinson, 1996) secondo l'equazione:

$$x = 1.67 (1.85 + 1.60 \exp(-0.0786 \% \text{argilla})), \text{ con } x = \text{rapporto } \text{C-CO}_2/\text{BIO+HUM}$$



Argilla %	x	CO ₂ x/(x+1)	BIO+HUM 1/(x+1)
40	3.5	0.776	0.224
30	3.6	0.785	0.215
20	3.9	0.795	0.205
10	4.2	0.809	0.191
5	4.5	0.817	0.183

(BIO+HUM) si divide poi in 46 % BIO e 54 % HUM, ed entrambi si decompongono nuovamente in C-CO₂e BIO+HUM.

Gli input organici da FYM si decompongono in misura maggiore rispetto al materiale vegetale e vengono ripartiti in: DPM 49 %, RPM 49 %; HUM 2 %.

Decomposizione di un comparto attivo

Il tasso di decomposizione reale di ognuno dei 4 comparti attivi si modifica mensilmente in funzione della temperatura, dell'umidità del suolo e della copertura vegetale.

Se un comparto contiene $Y \text{ t C ha}^{-1}$, alla fine del mese avrà $Y e^{-abckt} \text{ t C ha}^{-1}$

con a = fattore di modifica del tasso di decomposizione per l'umidità del suolo

b = fattore di modifica del tasso di decomposizione per la temperatura

c = fattore di modifica del tasso di decomposizione per la copertura del suolo

k = tasso di decomposizione di un dato comparto

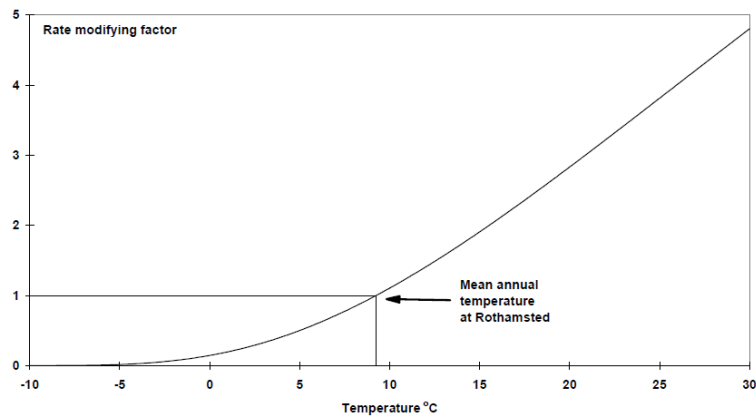
$t = 1/12$ perché k è basato su un tasso di decomposizione annuale.

Quindi $Y (1 - e^{-abckt})$ è la quantità di materiale di un comparto che si decompone in un certo mese. I valori di k per ogni comparto sono: DPM = 10; RPM = 0.3; BIO = 0.66; HUM = 0.02.

Il fattore di modifica del tasso di decomposizione per la temperatura (a) è dato da:

$$a = \frac{47.9}{1 + e^{\frac{106}{T+18.3}}}$$

con T = temperatura media mensile dell'aria in °C.



Il fattore di modifica del tasso di decomposizione per il deficit di umidità (b) del topsoil (TSMD) si calcola nel modo seguente.

Prima si calcola il deficit massimo per lo strato 0-23 cm di un dato suolo con l'equazione:

$$\text{TSMD massimo} = - (20.0 + 1.3 (\% \text{argilla}) - 0.01 (\% \text{argilla})^2)$$

Ad esempio per un suolo con %argilla = 23.4, il deficit massimo è TSMD = - 44.94 mm.

Per uno strato di suolo con profondità differente, il deficit massimo TSMD si divide per 23 e si moltiplica per lo spessore attuale in cm.

Si calcola poi il TSMD cumulato a partire dal primo mese in cui l'evapotraspirazione*0.75 supera la pioggia mensile, fino al raggiungimento del valore massimo (es. 44.94), valore che rimane tale finché la pioggia non supera nuovamente l'evapotraspirazione*0.75 ed il suolo ricomincia a diventare umido.

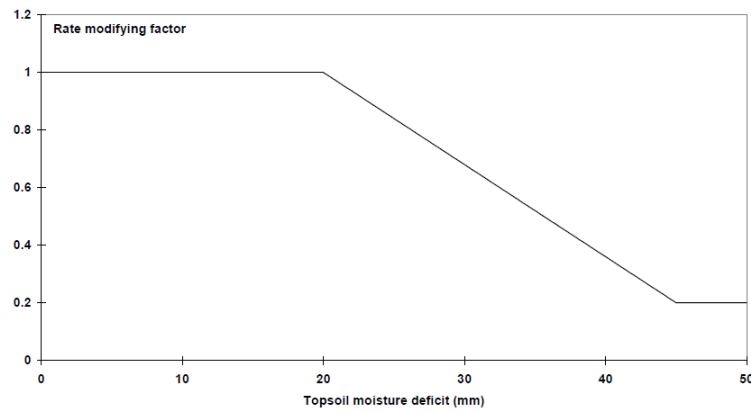
Se durante un mese il suolo è nudo, il valore massimo di TSMD si divide per 1.8 per ridurre l'evapotraspirazione, e l'umidità del suolo non può scendere al di sotto del deficit di umidità del suolo nudo (BareSMD).

Infine si calcola fattore di modifica del tasso di decomposizione per il deficit di umidità (b):

se acc. TSMD < 0.444 max TSMD, $b = 1.0$

oppure,

$$b = 0.2 + (1.0 - 0.2) \left(\frac{(\text{max TSMD} - \text{acc. TSMD})}{(\text{max TSMD} - 0.444 \text{ max TSMD})} \right)$$



Il fattore di modifica del tasso di decomposizione per la copertura del suolo(c) è:

$c = 0.6$ se il suolo ha una copertura vegetale

$c = 1.0$ se il suolo è nudo

di conseguenza la copertura vegetale rallenta la decomposizione del C organico.

La sostanza organica inerte (IOM) si calcola con l'equazione proposta da Falloon et al. (1998):

$$IOM = 0.049 \text{ TOC}^{1.139}$$

in cui TOC è il C organico totale in t ha^{-1} .

Infine, dato che RothC non include un sub-modello di accrescimento della coltura, gli input di C con i residui colturali devono essere stimati indipendentemente oppure, con lo stesso RothC, mediante un processo di inverse modelling in cui il modello cambia iterativamente gli input di C organico per fittarli con i valori misurati di C organico, in base al clima ed ai dati generali del sito (condizione di equilibrio). Per quanto riguarda il suolo sono stati utilizzati i seguenti dati di base:

Land use	IOM t C ha ⁻¹	SOC t C ha ⁻¹	Argilla %
Vigneto lavorato	2.6	32.9	11.5
Vigneto lavorato	5.2	59.9	13.5
Vigneto lavorato	3.0	37.1	13.1
Vigneto lavorato	3.2	39.1	10.5
Vigneto inerbito non lavorato	4.1	48.8	13.4
Vigneto inerbito non lavorato	1.3	18.0	11.4
Vigneto inerbito non lavorato	2.7	33.8	10.5
Vigneto inerbito non lavorato	2.3	29.6	10.9
Pascolo migliorato	6.1	69.2	12.8
Pascolo migliorato	6.5	72.6	13.4
Pascolo migliorato	8.9	96.4	14.2
Pascolo migliorato	3.7	45.0	13.1
Pascolo migliorato	3.6	43.9	11.8
Pascolo misto	5.1	59.4	13.0
Pascolo misto	4.8	55.8	14.7
Pascolo misto	3.4	41.5	13.3
Pascolo misto	5.0	58.1	13.2
Sughereta	4.3	50.5	11.4
Sistemi semi-naturali	5.2	60.3	15.0
Sistemi semi-naturali	3.3	40.3	12.3
Sistemi semi-naturali	4.6	53.9	10.3
Sistemi semi-naturali	3.7	45.1	10.0
Sistemi semi-naturali	3.4	41.2	5.9
Sistemi semi-naturali	3.5	42.5	6.7
Sistemi semi-naturali	5.1	58.8	10.2

La sughereta è stata considerata come vegetazione potenziale naturale, in base alle osservazioni tratte dalle foto aeree del 1977 acquisite dall'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione del Ministero dei Beni Culturali. Il modello è stato portato all'equilibrio in modo "inverso" sulla sughereta (in modo da far coincidere il valore simulato con il valore iniziale misurato, e calcolare gli input di carbonio apportato con i residui vegetali necessari per mantenere lo stock di carbonio). Con $IOM=4.3 \text{ t C ha}^{-1}$ e argilla 11.4%, sono necessari input di C pari a 3.74 t C ha^{-1} per raggiungere il valore misurato di 50.5 t C ha^{-1} .

Successivamente, sono stati creati appositi file di management per simulare l'effetto delle variazioni di uso del suolo a partire dal 1900, con lo scopo di approssimare il valore di C misurato e valutare poi gli effetti del cambiamento climatico. Per ogni uso del suolo si è assunto quanto segue:

- a) vigneto lavorato (TV): il modello è stato tenuto all'equilibrio fino al 1992, in seguito sono stati simulati 2 anni con zero input di C per tenere conto dei livellamenti di suolo e dell'impianto del vigneto, seguiti da 2 anni con input ridotti per simulare la fase di sviluppo del vigneto ed infine il vigneto completamente sviluppato a partire dal 1997;
- b) vigneto inerbito non lavorato (GV): il modello è stato tenuto all'equilibrio fino al 1989, in seguito sono stati simulati 2 anni con zero input di C per tenere conto dei livellamenti di suolo e dell'impianto del vigneto, seguiti da 2 anni con input ridotti per simulare la fase di sviluppo del vigneto ed infine il vigneto completamente sviluppato a partire dal 1996;
- c) pascolo migliorato (HC): il modello è stato tenuto all'equilibrio fino al 1933, ed è stata simulata la variazione di uso del suolo a partire dal 1934 con un input di C di 5.99 t C ha^{-1} ;
- d) pascolo misto (PA): il modello è stato tenuto all'equilibrio fino al 1933, ed è stata simulata la variazione di uso del suolo a partire dal 1934 con un input di C di 3.68 t C ha^{-1} ;
- e) sistemi semi-naturali (SN) rappresentati da ex-vigneti: il modello è stato tenuto all'equilibrio fino al 1938, in seguito sono stati simulati 2 anni con zero input di C per tenere conto dei livellamenti di suolo e dell'impianto del vigneto, seguiti da 2 anni con input ridotti per simulare la fase di sviluppo del vigneto, il vigneto completamente sviluppato a partire dal 1943 ed infine il suo abbandono a partire dal 1966 con il graduale sviluppo di una vegetazione naturale con un input di 4.20 t C ha^{-1} .

Per tenere conto del pascolamento su pascolo misto (6 pecore/ha da dicembre a giugno) e pascolo migliorato (3-4 pecore/ha da gennaio fino a febbraio-marzo) è stato stimato un input mensile di FYM di 0.1 e 0.025 t C ha⁻¹ rispettivamente. Per la sughereta è stato stimato un input di FYM di 0.5 t C ha⁻¹ per tenere conto del pascolamento con bovini per un mese (gennaio). Gli input sono stati stimati tramite expert judgement in relazione al carico animale, alla durata del pascolamento ed alla qualità pabulare della copertura vegetale. Solo per il pascolo migliorato è stato considerato un periodo senza copertura vegetale dopo la raccolta del fieno (da giugno a ottobre). I dati di input e le simulazioni con il modello sono riportati nella tabella 1.

Tabella 1

Uso del suolo	Argilla %	C inputs suolo t C ha ⁻¹	SOC misurato t C ha ⁻¹	SOC simulato con RothC t C ha ⁻¹	Deviazione ^a %
Vigneto lavorato, TV	11.7	1.00 ^b	36.4	36.3	-0.3
Vigneto inerbito non lavorato, GV	11.6	1.75 ^c	37.4	37.5	0.3
Pascolo migliorato, HC	12.8	5.99	57.7	54.6	-5.4
Pascolo misto, PA	13.6	3.68	53.7	52.5	-2.2
Sistemi semi-naturali, SN	9.2	4.20 ^d	47.0	44.5	-5.3
Sughereta, CO	11.4	3.74 ^e	50.5	50.5	0.0

a deviazione calcolata da $[100 * (\text{simulato} - \text{misurato}) / \text{misurato}]$

b TV inputs: 0 (1993-1994); 0.50 (1995-1996); 1.00 (dal 1997 in poi)

c GV inputs: 0 (1990-1991); 0.5 (1992-1993); 1.0 (1994-1995); 1.75 (dal 1996 in poi)

d SN inputs: 0 (1939-1940); 1.0 (1941-1942); 1.50 (1943-1965); 4.20 (dal 1966 in poi)

e modello portato all'equilibrio in "inverse mode"

Gli stock di C misurati più elevati a seguito della variazione di uso del suolo rispetto alla sughereta (50.5 t ha⁻¹) sono stati osservati per pascolo migliorato HC (57.7 t ha⁻¹), pascolo misto PA (53.7 t ha⁻¹) e sistemi semi-naturali SN (47.0 t ha⁻¹), i più bassi nei due vigneti (36.4 e 37.4 t ha⁻¹ in TV e GV rispettivamente). Rispetto alla sughereta le differenze sono state pari a +7.2 t C ha⁻¹ per pascolo migliorato (HC), + 3.2 t C ha⁻¹ per pascolo misto (PA), -3.5 t C ha⁻¹ per i sistemi semi-naturali SN, -13.1 t C ha⁻¹ per il vigneto inerbito non lavorato (GV), e -14.1 t C ha⁻¹ per il vigneto lavorato (TV).

I valori simulati con RothC sono in buon accordo con i valori misurati, infatti la deviazione percentuale è molto bassa. Inoltre, anche le simulazioni mostrano che i sistemi estensivi agropastorali rappresentati da pascolo misto e pascolo migliorato sono in grado di mantenere gli stock di carbonio rispetto alla vegetazione naturale (sughereta), con aumenti pari a 2.0 t C ha^{-1} per pascolo misto (PA) e 4.1 t C ha^{-1} per pascolo migliorato (HC). Al contrario si assiste ad una marcata diminuzione di C nei due vigneti (-14.2 e $-13.0 \text{ t C ha}^{-1}$ in TV e GV rispettivamente), mentre si osserva una minore diminuzione (-6.0 t C ha^{-1}) nei sistemi semi-naturali rappresentati da vigneti abbandonati.

I valori di C simulati più elevati si osservano per pascolo migliorato (54.6 t ha^{-1}) e pascolo misto (52.5 t ha^{-1}), i più bassi nei due vigneti (36.3 and 37.5 t ha^{-1}). I sistemi semi-naturali hanno un valore intermedio (44.5 t ha^{-1}), che si avvicina a quello della sughereta (50.5 t ha^{-1}).

Gli scenari di cambiamento climatico per il sito sperimentale, derivati dalla serie di lungo periodo della stazione di Monti ($40^{\circ} 48' \text{ N}$, $9^{\circ} 19' \text{ E}$, 296 m s.l.m.), sono stati generati dal clima di base (baseline) utilizzando due Global Climate Models (GCMs): GISS ($3^{\circ} \times 4^{\circ}$) del Goddard Institute of Space Studies, USA (Hansen et al. 2002), e HadCM3 ($2.5^{\circ} \times 3.75^{\circ}$) del Met Office Hadley Centre (UK) (Pope et al. 2000), con gli scenari climatici basati sugli scenari di emissione A2 e B2 (Barker et al. 2007). A2 corrisponde ad un cambiamento climatico marcato, B2 è uno scenario moderato interpretabile come uno scenario di mitigazione. Le simulazioni sono state proiettate su tre archi temporali per simulare uno scenario di cambiamento climatico molto vicino, intermedio e completamente realizzato:

- 30yr: 30 anni dopo il clima di base, cambiamento climatico medio per il periodo 2008-2037 (anno centrale 2020), con concentrazioni di CO_2 pari a 425 (A2) e 410 ppm (B2);
- 60yr: 60 anni dopo il clima di base, cambiamento climatico medio per il periodo 2038-2067 (anno centrale 2050), con concentrazioni di CO_2 pari a 540 (A2) e 480 ppm (B2);
- 90yr: 90 anni dopo il clima di base, cambiamento climatico medio per il periodo 2068-2097 (anno centrale 2080), con concentrazioni di CO_2 pari a 710 (A2) e 555 ppm (B2).

Tabella 2

Scenario	Anni dopo baseline	Livello CO ₂	Temperatura (+°C)		Pioggia (-%)	
			GISS	HadCM3	GISS	HadCM3
A2	30yr	425	0.52	0.73	-9.6	-2.3
	60yr	540	1.43	1.90	-16.4	-7.4
	90yr	710	3.06	3.54	-21.6	-25.5
B2	30yr	410	0.56	0.74	-8.6	-2.8
	60yr	480	0.98	1.40	-13.7	-8.8
	90yr	555	1.98	2.25	-18.4	-10.1

Nello scenario di emissione A2 si è avuto un incremento di temperatura di 0.5, 1.4 e 3.1°C (GISS) e 0.7, 1.9 and 3.5°C (HadCM3) in “30-60-90yr”, con una continua riduzione delle precipitazioni in GISS (9.6, 16.4 e 21.6%) ma una considerevole riduzione di oltre il 25% in “90yr” per HadCM3 rispetto al periodo “30-60yr” (Tabella 2). Per lo scenario di emissione B2, l’aumento di temperatura è stato 0.6, 1.0 e 2.0°C (GISS) e 0.7, 1.4 and 2.3°C (HadCM3) in “30-60-90yr”; la diminuzione delle precipitazioni 8.6, 13.7 e 18.4% in GISS, e 2.8, 8.8 e 10.1% in HadCM3 (Tabella 2).

I risultati delle simulazioni con i due scenari A2 e B2 e i due GCM in termini di SOC ($t\ C\ ha^{-1}$) e variazioni di SOC ($t\ C\ ha^{-1}\ yr^{-1}$) sono riportati nelle Tabelle 3-4. Un esempio grafico è riportato in Fig. 1 per lo scenario GISS A2.

Tabella 3

Carbonio organico del suolo simulato in t C ha⁻¹ e variazioni annuali in t C ha⁻¹ yr⁻¹ (*in corsivo*) nello scenario A2 e nei tre archi temporali (30yr, 60yr e 90yr). TV vigneto lavorato, GV vigneto inerbito non lavorato, HC pascolo migliorato, PA pascolo misto, SN sistemi semi-naturali (ex-vigneti), CO sughereta.

Uso del suolo	2007 A	GISS				Uso del suolo	HadCM3			
		30yr B	60yr C	90yr D	D-A		30yr E	60yr F	90yr G	G-A
TV	36.3	32.5	26.7	22.7	-13.6	TV	32.3	26.2	22.7	-13.6
		<i>-0.13</i>	<i>-0.16</i>	<i>-0.15</i>			<i>-0.13</i>	<i>-0.17</i>	<i>-0.15</i>	
GV	37.5	35.0	31.0	29.0	-8.5	GV	34.7	30.4	29.2	-8.3
		<i>-0.08</i>	<i>-0.11</i>	<i>-0.09</i>			<i>-0.09</i>	<i>-0.12</i>	<i>-0.09</i>	
HC	54.6	56.1	58.3	59.3	4.7	HC	55.2	55.4	57.9	3.3
		<i>0.05</i>	<i>0.06</i>	<i>0.05</i>			<i>0.02</i>	<i>0.01</i>	<i>0.04</i>	
PA	52.5	53.6	54.8	54.8	2.3	PA	53.1	53.3	54.9	2.4
		<i>0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>0.03</i>			<i>0.02</i>	<i>0.01</i>	<i>0.03</i>	
SN	44.5	45.9	47.6	48.4	3.9	SN	45.5	46.8	48.7	4.2
		<i>0.05</i>	<i>0.05</i>	<i>0.04</i>			<i>0.03</i>	<i>0.04</i>	<i>0.05</i>	
CO	50.5	51.4	52.1	52.1	1.6	CO	50.8	50.9	52.1	1.6
		<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>0.02</i>			<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>	

Tabella 4

Carbonio organico del suolo simulato in t C ha⁻¹ e variazioni annuali in t C ha⁻¹ yr⁻¹ (*in corsivo*) nello scenario B2 e nei tre archi temporali (30yr, 60yr e 90yr). TV vigneto lavorato, GV vigneto inerbito non lavorato, HC pascolo migliorato, PA pascolo misto, SN sistemi semi-naturali (ex-vigneti), CO sughereta.

Uso del suolo	2007 A	GISS				Uso del suolo	HadCM3			
		30yr B	60yr C	90yr D	D-A		30yr E	60yr F	90yr G	G-A
TV	36.3	32.7	26.7	22.7	-13.6	TV	32.4	26.5	23.0	-13.3
		<i>-0.12</i>	<i>-0.16</i>	<i>-0.15</i>			<i>-0.13</i>	<i>-0.16</i>	<i>-0.15</i>	
GV	37.5	35.0	30.7	29.0	-8.5	GV	34.3	29.7	28.0	-9.5
		<i>-0.08</i>	<i>-0.11</i>	<i>-0.09</i>			<i>-0.11</i>	<i>-0.13</i>	<i>-0.10</i>	
HC	54.6	57.0	56.0	57.4	2.8	HC	55.2	56.0	58.3	3.7
		<i>0.08</i>	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>			<i>0.02</i>	<i>0.02</i>	<i>0.04</i>	
PA	52.5	54.0	54.6	55.1	2.6	PA	53.2	54.0	55.4	2.9
		<i>0.05</i>	<i>0.04</i>	<i>0.03</i>			<i>0.02</i>	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>	
SN	44.5	46.5	47.5	48.3	3.8	SN	45.8	47.2	48.8	4.3
		<i>0.07</i>	<i>0.05</i>	<i>0.04</i>			<i>0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>0.05</i>	
CO	50.5	51.8	51.9	52.2	1.7	CO	51.1	51.5	52.6	2.1
		<i>0.04</i>	<i>0.02</i>	<i>0.02</i>			<i>0.02</i>	<i>0.02</i>	<i>0.02</i>	

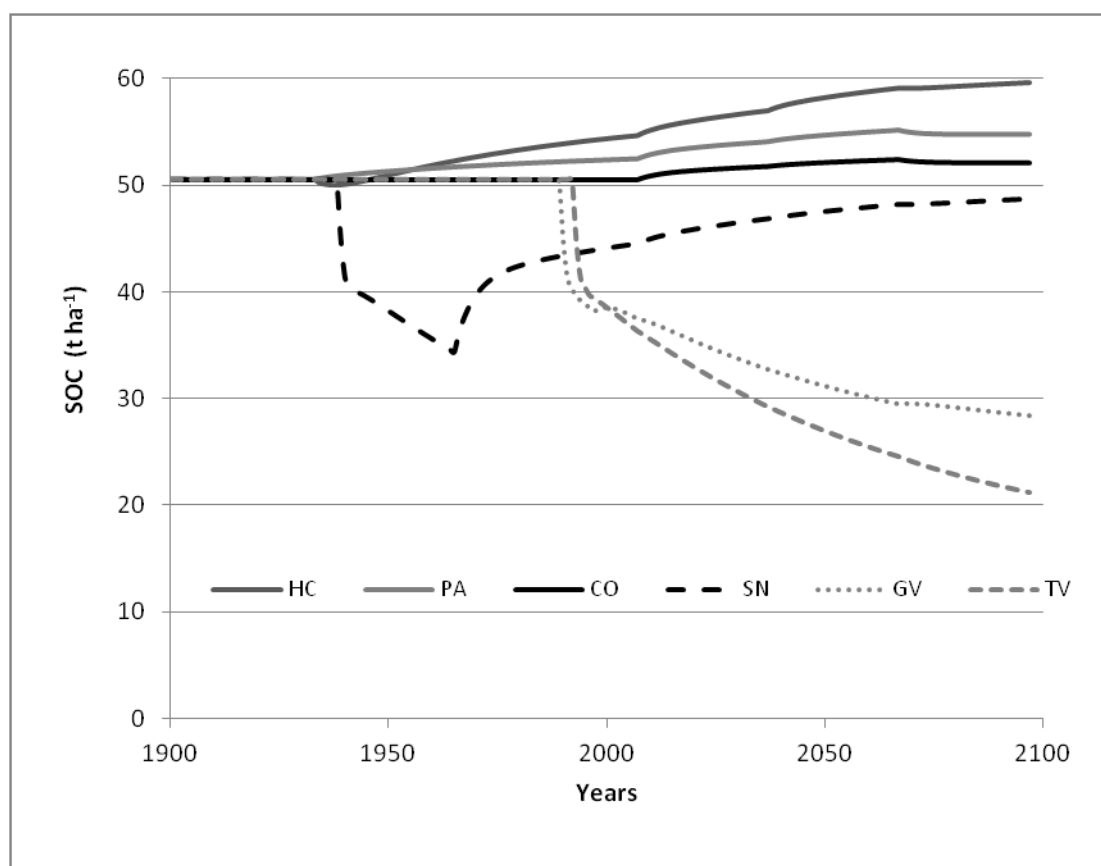


Fig. 1. Simulazione della dinamica del carbonio organico del suolo con lo scenario GISS A2. HC pascolo migliorato, PA pascolo misto, CO sughereta, SN sistemi semi-naturali (ex-vigneti), TV vigneto lavorato, GV vigneto inerbito non lavorato.

Negli usi del suolo più intensivi, vigneto lavorato (TV) e vigneto inerbito non lavorato (GV), è stata osservata una forte diminuzione di SOC dopo 90 anni rispetto ai valori iniziali misurati, compresa tra 8.3 e 13.6 t C ha⁻¹. Al contrario, negli altri usi del suolo si è sempre avuto un aumento di SOC: pascolo migliorato (HC) 2.8-4.7 t C ha⁻¹, pascolo misto (PA) 2.3-2.9 t C ha⁻¹, sistemi semi-naturali (SN) 3.8-4.2 t C ha⁻¹, sughereta (CO) 1.6-2.1 t C ha⁻¹.

3.2. Risultati e Conclusioni della mappatura del bacino di Berchidda-Monti con gli scenari di cambiamento climatico previsti con i GCM e le simulazioni del carbonio organico del suolo con il modello RothC in relazione all'uso del suolo

L'uso del suolo dell'area di studio è stato valutato tramite le elaborazioni della Regione Sardegna del 2008 e con le foto da satellite dell'ACME Mapper.

Uso del suolo	(ha)	%
aree urbanizzate	55.07	3.7
erbaio	115.65	7.9
macchia mediterranea + gariga	54.71	3.7
N.D.	218.83	14.9
pascolo	504.66	34.3
sughereta	394.67	26.8
vigneto inerbito	55.20	3.8
vigneto lavorato	73.21	5.0
Totale	1472.01	100.0

Gli usi del suolo sono quelli simulati con RothC e già descritti. Per la macchia + gariga si è fatto riferimento ai prelievi sugli ex-vigneti. Per aree N.D. si considerano quelle che non sono state oggetto di studio specifico, tipo ex-coltivi, oliveti, boschi di conifere, ecc.

I dati di C in $t\ ha^{-1}$ del 2007 sono le medie dello strato 0-20 cm dei rilevamenti di campagna, quelli del modello HadCM3, riportato come esempio, sono quelli simulati con RothC con lo scenario di emissioni A2 (Tabella 3).

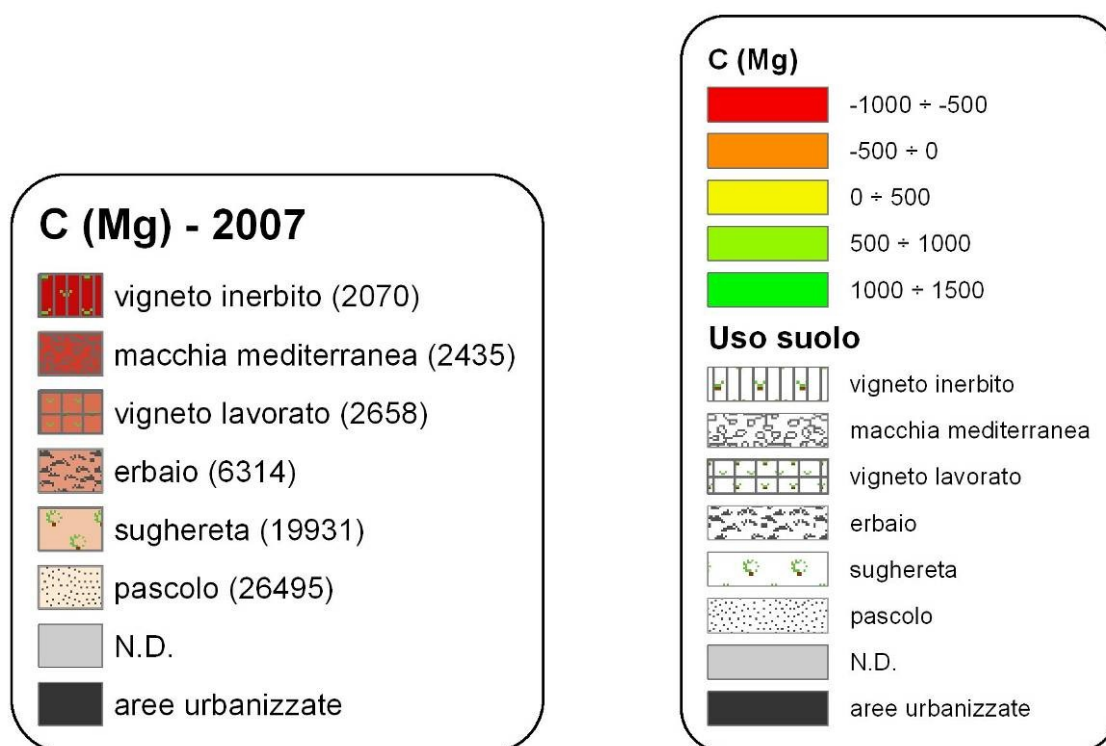
Il valore in $t\ C$ è il prodotto tra area e $t\ C\ ha^{-1}$, quindi si riferisce a tutta l'area occupata da ogni singolo uso del suolo.

Le colonne evidenziate in verde sono la differenza 2020-2007, 2050-2007, 2080-2007; i valori sono stati utilizzati nelle mappature che riportano, come esempio, le elaborazioni per il modello HadCM3 A2 nei tre archi temporali rispetto al 2007 e la situazione al 2007 (colonna in giallo).

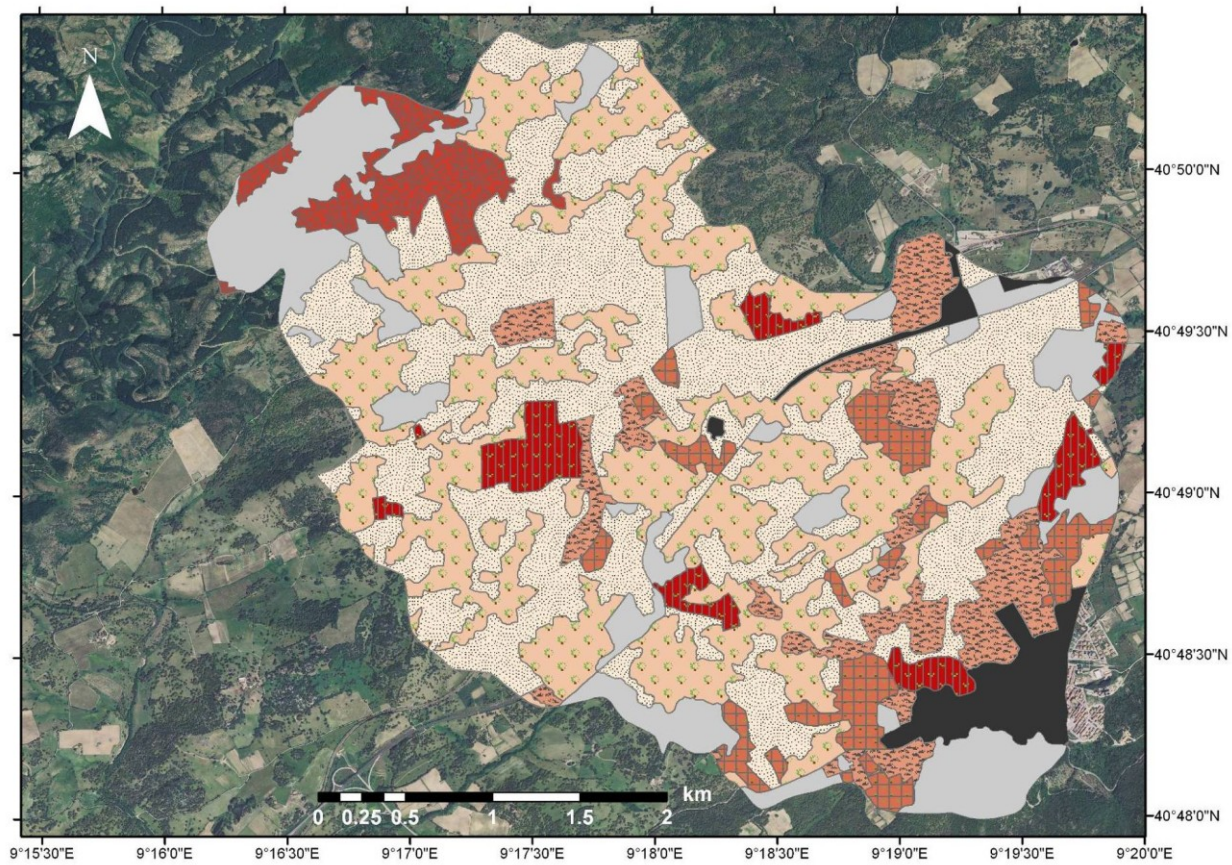
uso del suolo	Area	2007		HadCM3 A2 2020		HadCM3 A2 2050		HadCM3 A2 2080		Delta 2007 t C		
	ha	$t\ C\ ha^{-1}$	t C	$t\ C\ ha^{-1}$	t C	$t\ C\ ha^{-1}$	t C	$t\ C\ ha^{-1}$	t C	2020	2050	2080
vigneto lavorato	73.21	36.3	2658	32.3	2365	26.2	1918	22.7	1662	-293	-739	-996
vigneto inerbito	55.2	37.5	2070	34.7	1915	30.4	1678	29.2	1612	-155	-392	-458
erbaio	115.65	54.6	6314	55.2	6384	55.4	6407	57.9	6696	69	93	382
pascolo	504.66	52.5	26495	53.1	26797	53.3	26898	54.9	27706	303	404	1211
macchia + gariga	54.71	44.5	2435	45.5	2489	46.8	2560	48.7	2664	55	126	230
Sughereta	394.67	50.5	19931	50.8	20049	50.9	20089	52.1	20562	118	158	631
Totale	1198.1		59902		60000		59551		60902	98	-351	1000

Tra il 2020 e il 2080 è possibile notare, rispetto al 2007 e a livello di superficie totale, il progressivo aumento delle perdite di C dei vigneti lavorati (293-996 t C) e, in minore misura, dei vigneti inerbiti (155-458 t C), gli aumenti di C più contenuti dell'erbaio (69-382 t C) e della macchia (55-230 t C) rispetto a quelli del pascolo (303-1211 t C) e delle sugherete (118-631 t C).

Nei sistemi agro-silvo-pastorali studiati, tipici della Sardegna nord-orientale, le variazioni di uso del suolo rispetto alla vegetazione potenziale naturale rappresentata dalla sughereta, hanno modificato in modo significativo le riserve di carbonio del suolo piuttosto che i cambiamenti climatici, con una forte diminuzione nei vigneti. Di questo si dovrebbe tenere conto nelle misure per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici, adottando sistemi produttivi a basso livello di intensificazione colturale che si sono mostrati più efficaci nel mantenere le riserve di carbonio. Inoltre, nell'area di studio, la superficie agricola occupata da vigneti è in costante aumento perché maggiormente conveniente per gli agricoltori, rappresentando così un determinante economico chiave per la trasformazione delle foreste e dei pascoli. Tuttavia, i vigneti, una volta introdotti, dovrebbero essere gestiti con il minimo disturbo del suolo (cioè non lavorati ed inerbiti) per limitare la degradazione del suolo in una prospettiva di lungo termine.

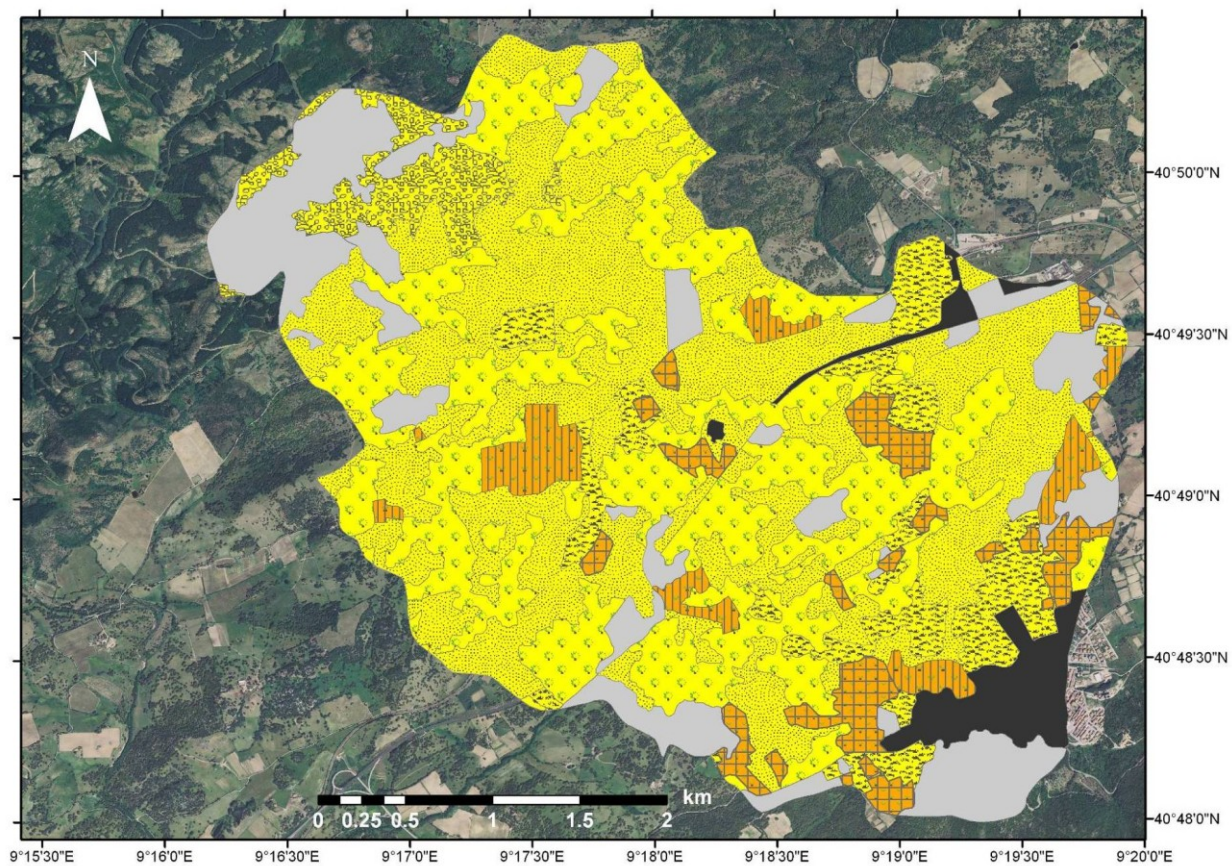


La legenda dell'uso del suolo 2007 (a sinistra) riporta i valori in ettari di tutta l'area occupata da ogni singolo uso del suolo, quella degli scenari di cambiamento climatico (a destra) è stata suddivisa in classi omogenee di 500 Mg uguali per tutti gli scenari di cambiamento climatico per un più rapido confronto tra di loro.



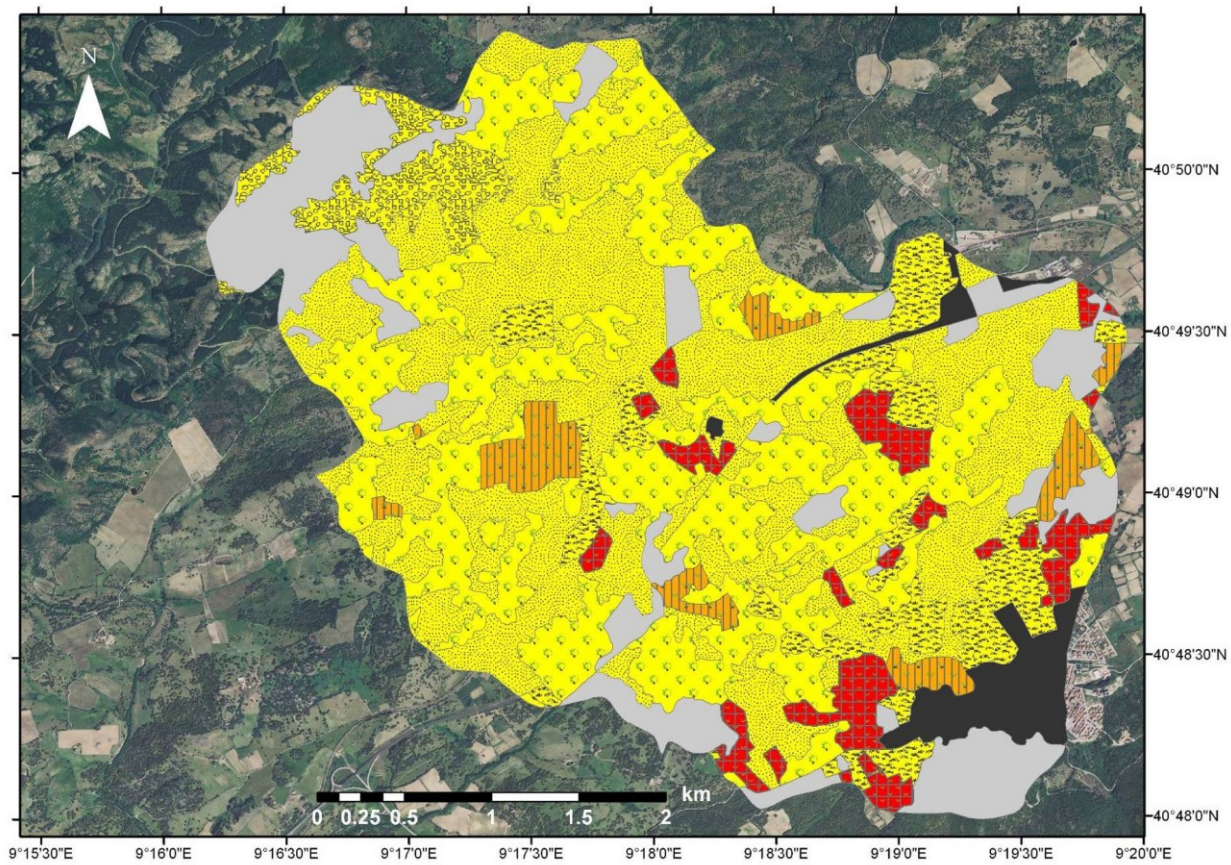
20

07



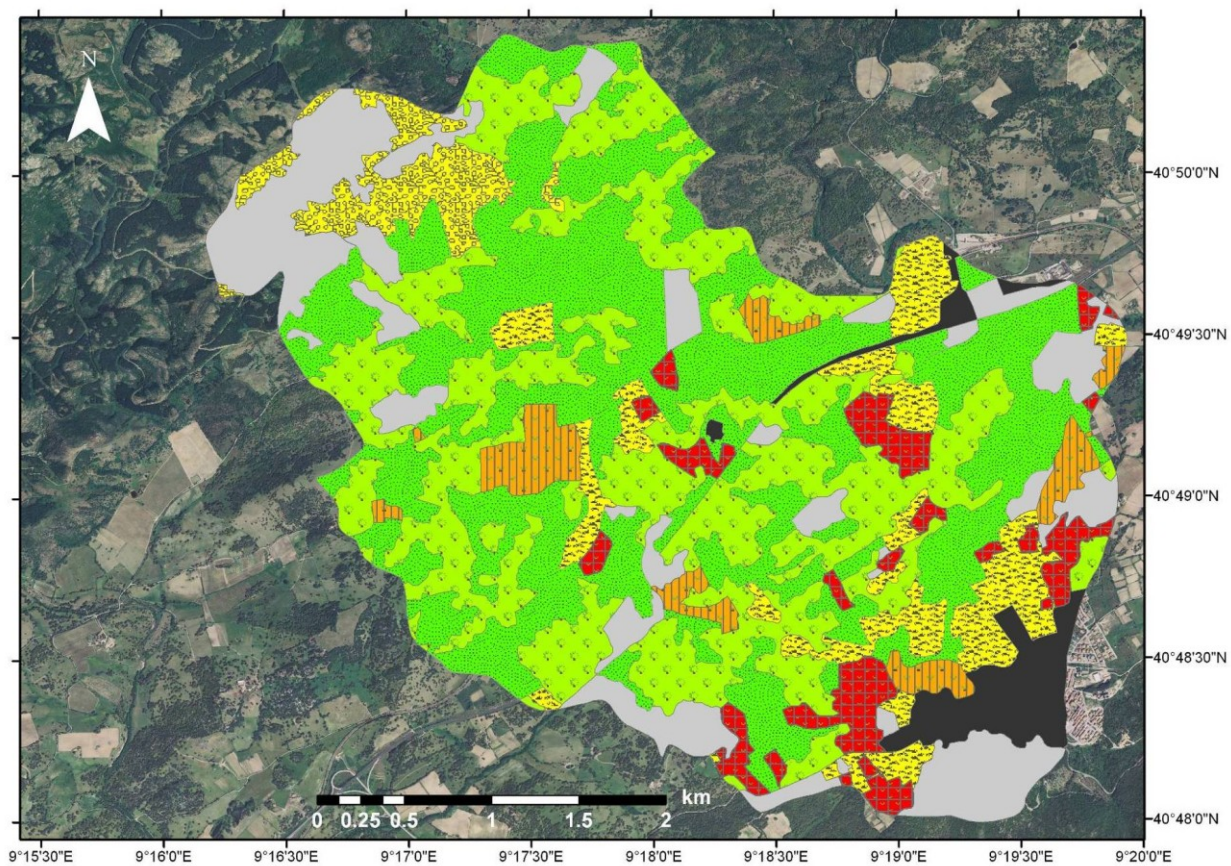
Ha

dCM3 2020 A2



Ha

dCM3 2050 A2



Ha

dCM3 2080 A2

Bibliografia

- Barker, T., Bashmakov, I., Bernstein, L., Bogner, J.E., Bosch, P., Dave, R., Davidson, O., Fisher, B.S., Gupta, S., Halsnæs, K., Heij, B., Kahn Ribeiro, S., Kobayashi, S., Levine, M.D., Martino, D.L., Masera, O., Metz, B., Meyer, L., Nabuurs, G-J., Najam, A., Nakicenovic, N., Rogner, H-H., Roy, J., Sathaye, J., Schock, R., Shukla, P., Sims, R.E.H., Smith, P., Tirpak, D.A., Urge-Vorsatz, D., Zhou, D., 2007. Technical Summary, in: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (Eds), *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report*
- Cerri C. E. P., Coleman K., Jenkinson D. S., Bernoux M., Victoria R., Cerri C. C. 2003. Modeling Soil Carbon from Forest and Pasture Ecosystems of Amazon, Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1879–1887.
- Coleman K., Jenkinson D.S. 1996. RothC-26.3: a model for the turnover of carbon in soil. In: *Evaluation of soil organic matter models using existing long-term datasets* (eds D.S. Powlson, P. Smith & P.J.U. Smith), NATO ASI Series I, Vol. 38, pp. 237–246. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Coleman K., Jenkinson D.S., Grocker G.J., Grace P.R., Klir J., Korschers M., Poulton P.R., Richter D.D. 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. *Geoderma*, 81, 29–44.
- Falloon P., Smith P., Coleman K., Marshall S. 1998 Estimating the size of the inert organic matter pool for use in the Rothamsted carbon model. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1207–1211.
- Falloon P., Smith P., Szabo' J., Pasztor L. 2002. Comparison of approaches for estimating carbon sequestration at the regional scale. *Soil Use and Management*, 18, 164–174.
- Guo L., Falloon P., Coleman K., Zhou B., Li Y., Lin E., Zhang F. 2007. Application of the RothC model to the results of long-term experiments on typical upland soils in northern China. *Soil Use and Management*, 23, 63–70.
- Hansen J.E., Sato M., Nazarenko L., Ruedy R., Lacis A., Tegen I., Hall T., Shindell D., Stone P., Novakov T., Thomason L., Wang R., Wang Y., Jacob D.J., Hollandsworth-Frith S., Bishop L., Logan J., Thompson A., Stolarski R., Lean J., Willson R., Levitus S., Antonov J., Rayner N., Parker D., Christy J. 2002. Climate forcings in Goddard Institute for Space Studies SI2000 simulations. *J. Geophys. Res.* 107, 4347, 37 pp.
- Jenkinson D.S., Harkness D.D., Vance E.D. 1992. Calculating net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and radiocarbon content of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 24, 295–308.
- Jenkinson D.S., Harris H.C., Ryan J.H. 1999. Organic matter turnover in a calcareous clay soil from Syria under a two-course cereal rotation. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 687–693.
- Kamoni P.T., Gicheru P.T., Wokabi S.M., Easter M., Milne E., Coleman K., Falloon P., Paustian K., Killian K., Kihanda F.M. 2007. Evaluation of two soil carbon models using two Kenyan long term experimental datasets. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122, 95–104.
- Kaonga M.L., Coleman K. 2008. Modelling soil organic carbon turnover in improved fallows in eastern Zambia using the RothC-26.3 model. *Forest Ecology and Management*, 256, 1160–1166.
- Parshotam A., Tate K.R., Giltrap D.J. 1995. Potential effects of climate and land-use change on soil carbon and CO₂ emissions from New Zealand's indigenous forests and unimproved grasslands. *Weather and Climate*, 15, 3–12.
- Pope VD, Gallani ML, Rowntree PR, Stratton RA 2000. The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model: HadAM3. *Clim Dyn* 16:123–146.
- Shirato Y., Taniyama I. 2003. Testing the suitability of the Rothamsted carbon model for long-term experiments on Japanese non-volcanic upland soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 49, 921–925.
- Skjemstad J.O., Spouncer L.P., Skjemstad J.O., Spouncer L.P., Cowie B., Swift R.S. 2004. Calibration of the Rothamsted organic carbon model (RothC ver. 26.3) using measurable soil organic pools. *Australian Journal of Soil Research*, 42, 79–88.

- Smith P., Smith J.U., Powlson D.S., McGill W. B., Arah J. R. M., Chertov O. G., Coleman K., Franko U., Frolking S., Jenkinson D. S., Jensen L. S., Kelly R. H., Klein-Gunnewiek H., Komarov A. S., Li C., Molina J. A. E., Muller T., Parton W. J., Thronley J. H. M., Whitmore A. P. 1997. Evaluation and comparison of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, 81, 153–225.
- Yokozawa M., Shirato Y., Sakamoto T., Yonemura S., Nakai M., Ohkura T. 2010. Use of the RothC model to estimate the carbon sequestration potential of organic matter application in Japanese arable soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56, 168–176.

4. CARBONIO ORGANICO DEL SUOLO E RILIEVI *AGRIT*: VENETO E FRIULI VENEZIA GIULIA

4.1 Introduzione

Il declino del contenuto di C organico nei suoli del bacino del Mediterraneo desta molta preoccupazione, oltre che per la perdita di fertilità dei suoli agrari, anche per i rischi correlati di aumento dei fenomeni erosivi e di desertificazione. Studiare il rapporto tra uso del suolo e contenuto attuale di carbonio organico riveste una grande importanza nell'individuazione delle migliori pratiche agronomiche per favorire il sequestro del C nel suolo. Ciò appare ancor più importante in relazione alle proposte di regolamenti che si stanno delineando e che considerano il mantenimento della sostanza organica fondamentale ai fini dell'applicazione della condizionalità, del greening e delle misure agro ambientali nella fase di programmazione 2014-2020.

AGRIT è un programma statistico messo a punto dal Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali (Direzione generale della competitività per lo sviluppo rurale) finalizzato a realizzare previsioni sulle superfici e sulle rese delle principali colture agrarie italiane. La metodologia ha il pregio di combinare i dati provenienti dalla rilevazione diretta in campo con quelli ottenuti dalle immagini telederivate (foto aeree e satellitari). L'indagine, affidata al SIN S.p.A., copre l'intero territorio nazionale, con più di 100.000 osservazioni su luoghi selezionati con metodi statistici da una "maglia" predefinita composta da circa 1.200.000 punti georeferenziati.

Nelle indagini agro-ambientali a scala territoriale un problema che spesso si deve affrontare è quello della rappresentazione delle proprietà dei suoli: i dati puntuali misurati devono essere spazializzati, con la migliore interpolazione possibile. Da diversi anni vengono applicati con successo metodi probabilistici propri della geostatistica ed è aumentato l'interesse verso i sistemi ibridi di interpolazione, in grado di combinare l'interpolazione basata unicamente sull'osservazione puntuale e quella basata sulla regressione della variabile di interesse su variabili continue spazialmente correlate note su tutta l'area (dati telerilevati). Una di queste tecniche ibride è nota come *Regression Kriging* (RK), che consiste in una regressione sulle variabili ausiliarie (predittori), e la successiva applicazione dell'algoritmo di *Kriging* sui residui.

Metodologia

Su specifica richiesta dell'Ufficio COSVIR III (Agricoltura e ambiente) del Ministero, nel 2011 è stato determinato il C organico del suolo su 1180 punti di campionamento, in ZVN e ZnVN, nelle aree di pianura e collina di Veneto e Friuli Venezia Giulia, in base alla serie storica dell'uso del suolo dal 2008-2010. Nel lavoro si presentano i risultati del Friuli, con 266 campioni suddivisi nelle classi di SAU seminativi (219), legnose agrarie (28) e foraggere (19). I dati analitici sono stati aggregati in monosuccessioni (mais, soia, frumento), rotazioni biennali (mais-frumento, soia-frumento, mais-soia), rotazioni triennali, vigneti (inerbimento parziale e/o totale, terreno nudo), erba medica, foraggere permanenti. L'indagine ha riguardato 81 comuni della Regione, di cui 38 in ZVN. I suoli sono principalmente Cambisols e Calcisols (WRB 2006).

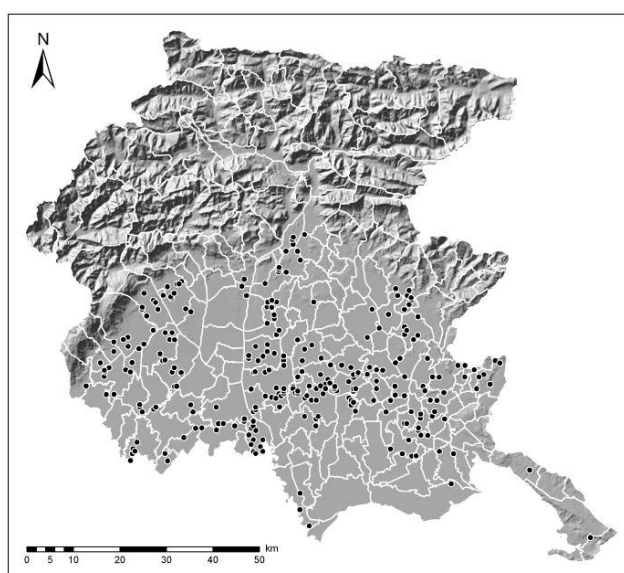


Fig.1. mappa siti di campionamento rete AGRIT

I dati ausiliari disponibili per il RK in quest'area provengono da immagini *Landsat 7 TM* (tre bande nel visibile e quattro nell'infrarosso) di agosto 2011, da un DEM con risoluzione a 75 m (<http://www.sinanet.isprambiente.it/Members/mais/DEM75/view>), e dalla tessitura dei depositi (TEXT) disponibile sul Catalogo Dati Territoriali della Regione. Dal DEM sono stati ricavati alcuni parametri geomorfometrici già utilizzati in altri studi (Hengl et al., 2004; Marchetti et al., 2011) quali pendenza (SLOPE), piano (PLANC) e profilo (PROFC) di curvatura, *Topographic Wetness Index* TWI, radiazione solare incidente (SOLAR); dalle immagini *Landsat* sono stati derivati gli indici *Normalized Difference Vegetation Index* NDVI, *Grain Size Index* GSI, *Clay Index* CI. Ai fini del RK sono state considerate tutte le componenti esclusa l'ultima (PC10) in quanto non attendibile a causa di effetti di ridondanza che si creano nella procedura di calcolo della PCA eseguita tramite ILWIS. La scelta delle componenti usate come regressori lineari con il TOC è stata effettuata

tramite procedura iterativa di step analysis che provvede a selezionare la combinazione migliore delle componenti sulla base dell'indice AIC (Akaike Information Criterion). Pertanto sono state utilizzate come regressori 5 delle 9 componenti, che spiegano più del 90% della varianza complessiva (94.21%). Il *Kriging* viene poi applicato sui residui della regressione. La derivazione degli indici e la PCA sono state effettuate tramite i *software* SAGA 2.0.7 e ILWIS 3.7 Open. Per il RK è stato utilizzato il *software* statistico R 2.15.

4.2 Materiali e Metodi

AGRIT è un programma statistico messo a punto dal Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali (Direzione generale della competitività per lo sviluppo rurale) finalizzato a realizzare previsioni sulle superfici e sulle rese delle principali colture agrarie italiane. La metodologia ha il pregio di combinare i dati provenienti dalla rilevazione diretta in campo con quelli ottenuti dalle immagini telederivate (foto aeree e satellitari). L'indagine, affidata al SIN S.p.A., copre l'intero territorio nazionale, con più di 100.000 osservazioni su luoghi selezionati con metodi statistici da una maglia predefinita composta da circa 1.200.000 punti georeferenziati.

Analisi Statistica

Su tutti i campioni è stata eseguita l'analisi statistica con il test di Fisher LSD post hoc ($p < 0,05$). Software analisi statistica Statistica 7®.

Prima dell'analisi i campioni sono stati asciugati all'aria e successivamente a 105°C. Il carbonio organico totale (TOC) è stato determinato con un Carbon Analyzer RC612 LECO; il campione viene riscaldato in una corrente di ossigeno fino a circa 600°C, e tutto il carbonio presente viene ossidato a CO₂. La quantità di CO₂ rilasciata viene misurata mediante spettroscopia ad assorbimento infrarosso e convertita in TOC. Il contenuto di C organico del suolo è stato determinato su 1160 punti di campionamento, in ZVN e ZnVN, nelle aree di pianura e collina di Veneto e Friuli Venezia Giulia, di cui era disponibile la serie storica dell'uso del suolo dal 2008 al 2011. I campioni sono stati suddivisi in tre strati informativi corrispondenti alle classi di SAU seminativi, legnose agrarie e foraggere permanenti. Prima dell'analisi i campioni sono stati asciugati all'aria e successivamente a 105°C. Il carbonio organico totale (TOC) è stato determinato con un

Carbon Analyzer RC612 LECO; durante l'analisi il campione viene riscaldato in una corrente di ossigeno fino a circa 600°C, e tutto il carbonio presente viene ossidato a CO₂. La quantità di CO₂ rilasciata, misurata mediante spettroscopia ad assorbimento infrarosso è convertita in TOC.

Dei 1160 campioni di suolo analizzati, sono stati sottoposti ad analisi chimico-fisica di approfondimento 6 campioni, il cui contenuto di carbonio organico si scostava significativamente dai valori media di quelli analizzati. Si tratta di 4 siti

coltivati a vigneto e 2 siti coltivati a foraggiere. Inizialmente sono stati determinati i parametri fisico chimico di base, tessitura, pH, P, K, CSC, Calcare attivo, Carbonati. Successivamente sono stati determinati il carbonio totale estraibile, la frazione degli acidi umici e fulvici e l'azoto totale. Per la determinazione analitica del contenuto di C e del frazionamento della sostanza organica si è utilizzato sempre un Carbon Analyzer RC612 LECO; per la determinazione del contenuto di azoto organico si è utilizzato un analizzatore elementare FP628 LECO Nitrogen Analyzer.

4.3. Risultati

In Tabella 1 si riporta la statistica descrittiva dei campioni analizzati. Su tutti i campioni è stata eseguita l'analisi statistica con il test di Fisher LSD post hoc ($p < 0,05$), ma non sono state evidenziate differenze significative tra gli usi del suolo, anche per la scarsa numerosità di alcuni gruppi. Dal punto di vista agronomico possono essere comunque tratte importanti considerazioni. Le foraggiere mostrano di costituire un gruppo a parte con i valori più elevati di media (5.65%), mediana (6.05%) e valore max del range (13.32%). Seguono in ordine decrescente l'erba medica (3.41%) ed i vigneti (2.72%). Per questi ultimi gli inerbiti hanno una media del 2.94%, con terreno nudo 1.39%. Seguono tutti gli altri usi del suolo a seminativo con valori superiori al 2%, dalla rotazione soia-frumento (2.32%) alla monosuccessione di soia (2.03%). Per la monosuccessione di mais è stato evidenziato un maggiore contenuto di C nei campioni con solo mais da granella (2.23%) rispetto alle monosuccessioni con presenza nel triennio di mais ceroso (1.87%). Infine la rotazione mais-frumento (1.53%) e la monosuccessione di frumento (1.47%) mostrano i valori più bassi. La media di tutti i campioni analizzati è di 2.48%.

Tabella 1. Statistica descrittiva dei campioni del Friuli Venezia Giulia. Valori riferiti al TOC in %.

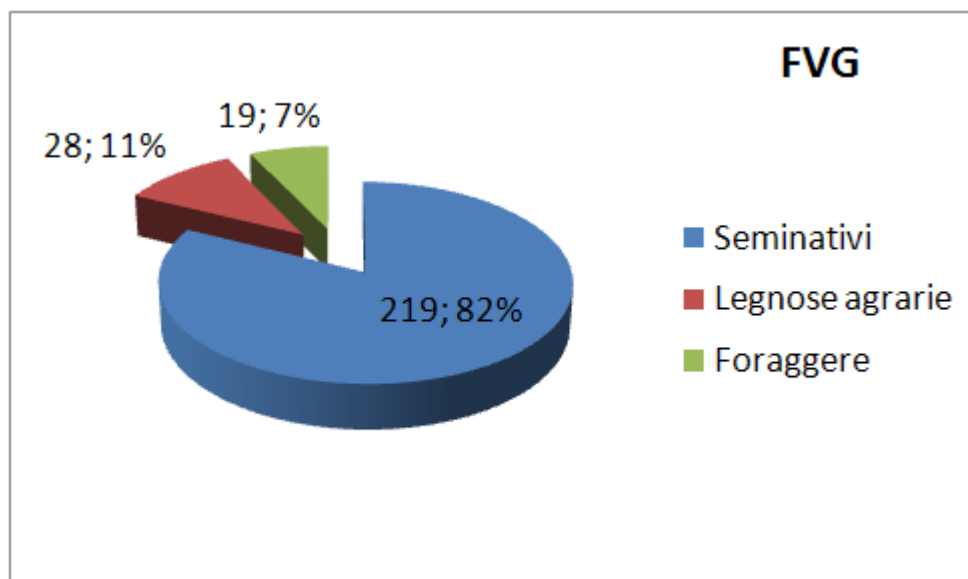
Uso suolo	n	Media ± Err. Std	Mediana	Range	Skewness	Kurtosis
Foraggiere	19	5.65 ± 0.78	6.05	1.05 - 13.32	0.46	-0.32
Medica	13	3.41 ± 0.84	2.37	1.24 - 11.83	2.30	4.92
Vigneti	28	2.72 ± 0.47	1.81	0.41 - 10.55	1.93	3.00
Soia-frumento	7	2.32 ± 0.62	1.32	1.16 - 4.77	1.11	-0.96
Mais	87	2.19 ± 0.13	1.76	1.03 - 6.62	2.18	4.69
Mais-soia	71	2.08 ± 0.19	1.64	0.15 - 11.59	3.74	18.24
Rotazioni	22	2.06 ± 0.22	1.67	0.98 - 5.22	1.80	3.07
Soia	7	2.03 ± 0.57	1.15	1.07 - 4.74	1.39	0.21
Mais-frumento	11	1.53 ± 0.09	1.44	0.99 - 2.17	0.52	1.06
Frumento	1	1.47				
Tutti	266	2.48 ± 0.12	1.75	0.15 - 13.32	2.64	7.74

Per quanto riguarda le ZVN (137 campioni su 266), è stato evidenziato mediamente un valore di TOC di 2.08%, inferiore dello 0.83% rispetto al 2.91% delle ZnVN (Tabella 2).

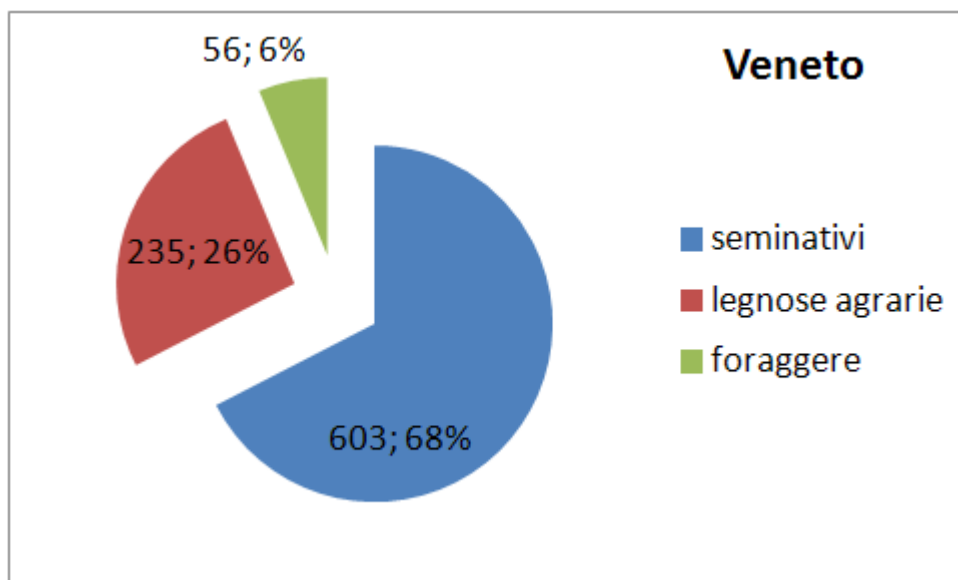
Tabella 2. Valori di TOC in % (ZnVN-ZVN).

Foraggiere	Medica	Vigneti	So-Fr	Mais	Soia	Ma-So	Rotaz.	Ma-Fr	Tutti
5.95- 4.05	4.55- 2.09	2.56-3.01	3.13- 1.25	2.63- 1.95	2.35- 1.23	2.12- 2.04	1.99-2.12	1.40-1.68	2.91- 2.08
-1.90	-2.46	0.46	-1.88	-0.69	-1.11	-0.08	0.13	0.28	-0.83

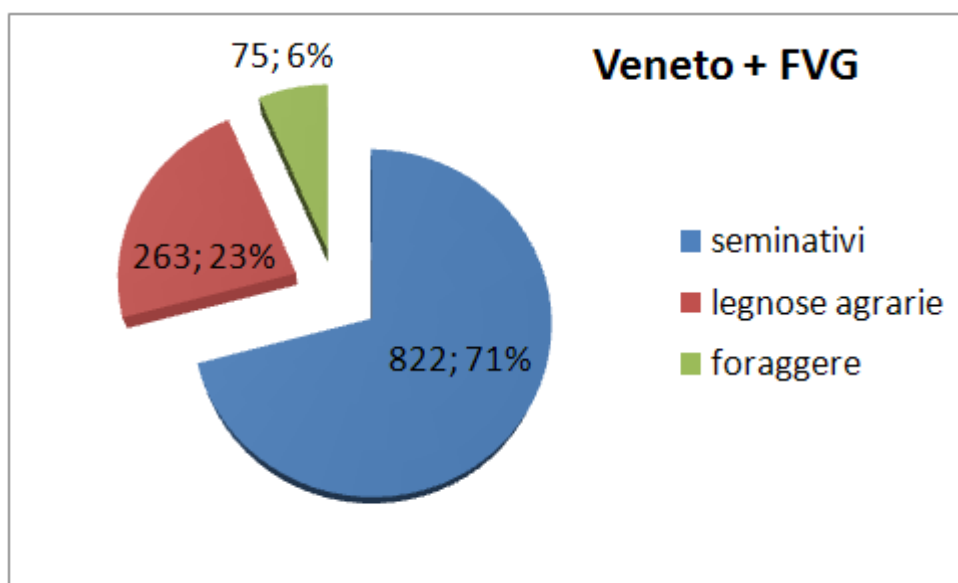
Nei grafici seguenti si riporta il dettaglio dei campionamenti secondo i tre strati informativi per i terreni agricoli della rete AGRIT.



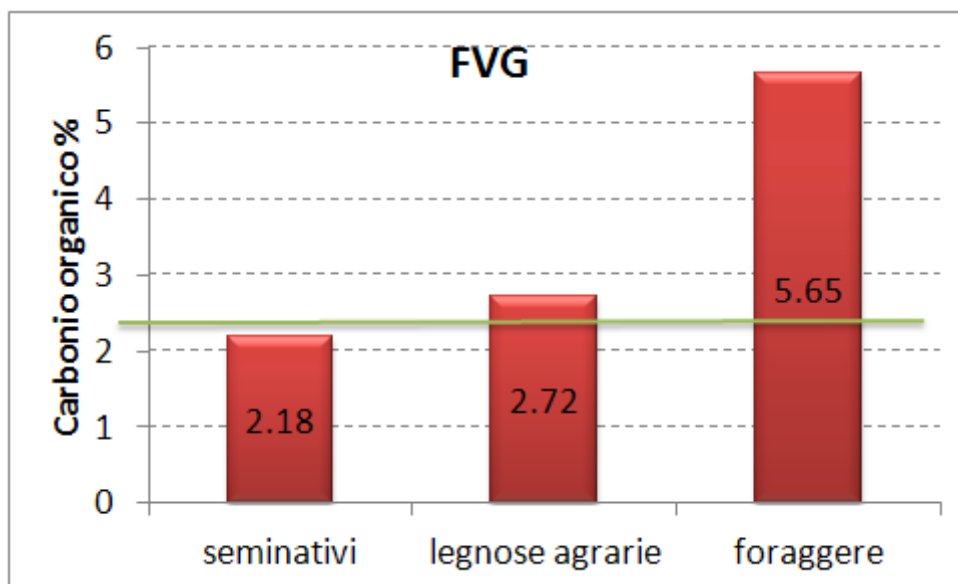
Punti di campionamento n° 266



Punti di campionamento n° 894

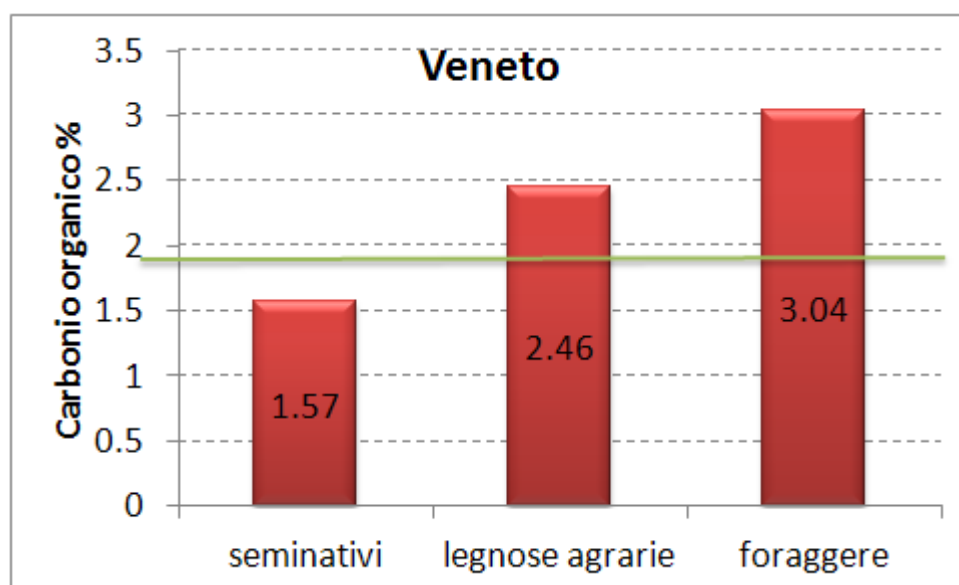


Punti di campionamento n° 1160



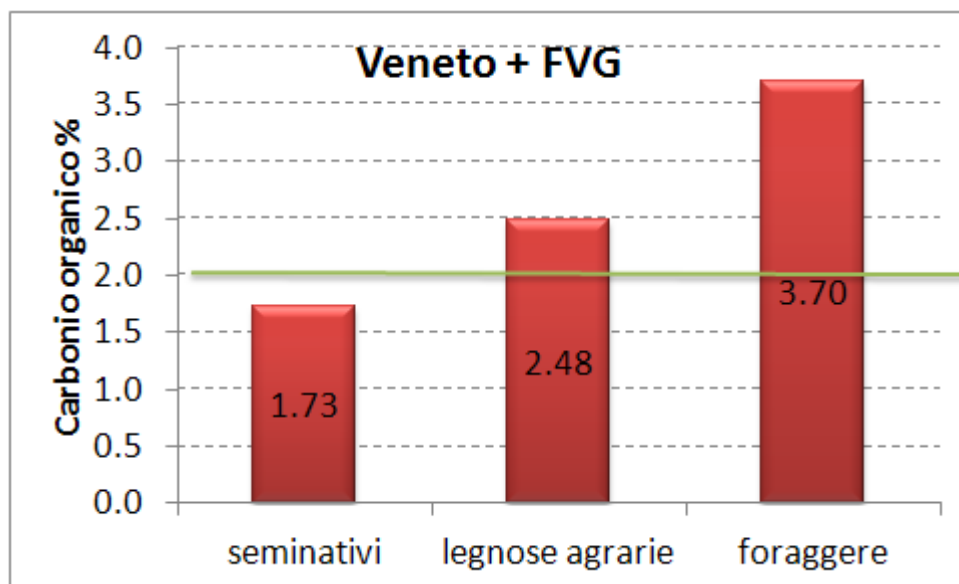
Risultati per il Friuli Venezia Giulia, la linea verde indica il valore medio = 2.48 %

Rispetto al valore medio, nei seminativi il contenuto di C organico è -0.30 %, nelle legnose agrarie + 0.24 %, nelle foraggere + 3.17 %. Rispetto ai seminativi, nelle legnose agrarie il contenuto di C organico è +0.54%, nelle foraggere +3.47%.



Risultati per il Veneto, la linea verde indica il valore medio = 1.90 %

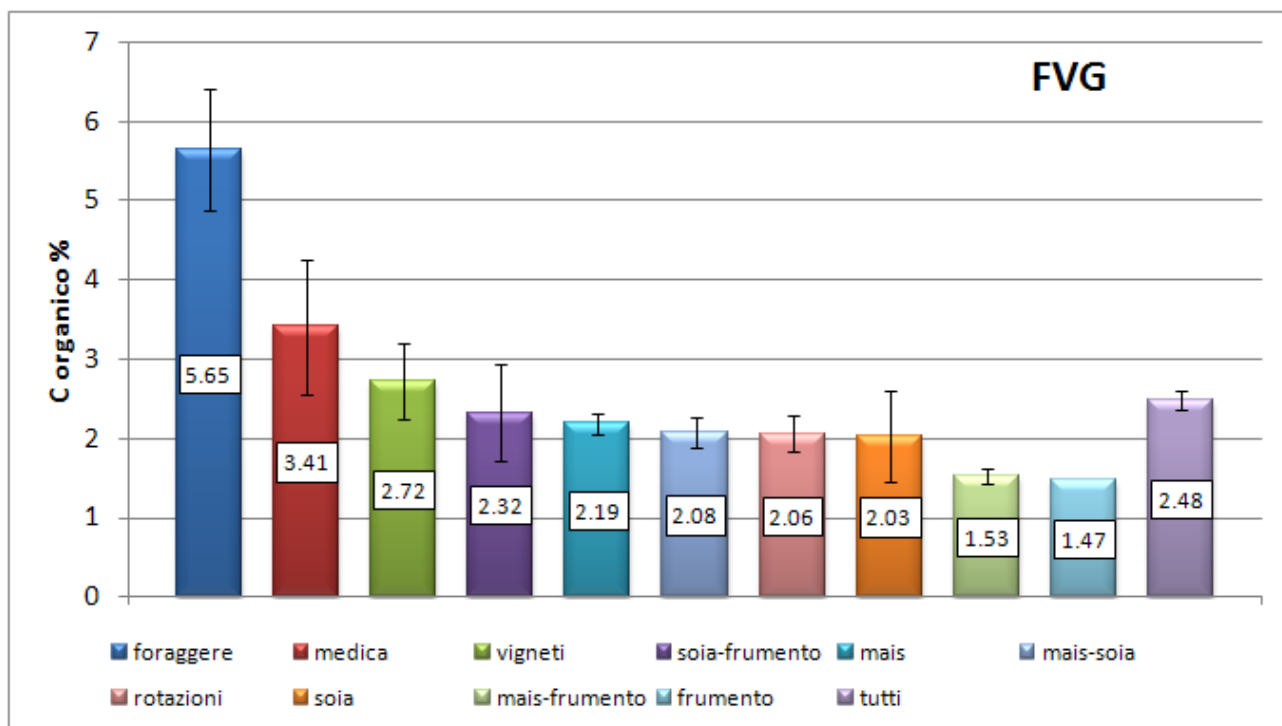
Rispetto al valore medio, nei seminativi il contenuto di C organico è -0.33 %, nelle legnose agrarie + 0.56 %, nelle foraggere + 1.14 %. Rispetto ai seminativi, nelle legnose agrarie il contenuto di C organico è +0.89%, nelle foraggere +1.47%.



Risultati FVG+Veneto, la linea verde indica il valore medio = 2.03 %

Rispetto al valore medio, nei seminativi il contenuto di C organico è -0.30 %, nelle legnose agrarie + 0.45 %, nelle foraggere + 1.67 %. Rispetto ai seminativi, nelle legnose agrarie il contenuto di C organico è +0.75%, nelle foraggere +1.97%.

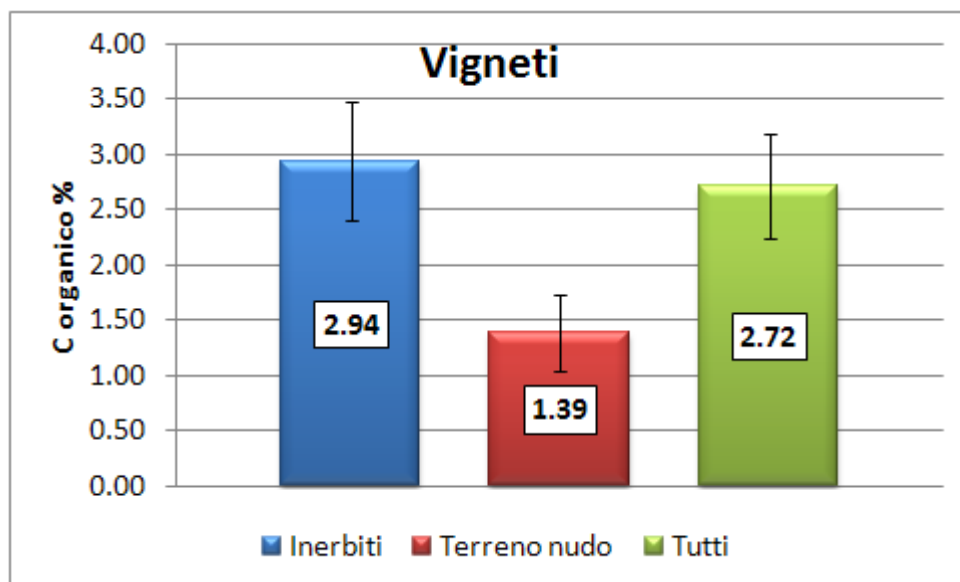
Dai grafici precedenti è evidente il contenuto più elevato di carbonio organico del suolo nei campioni del Friuli Venezia Giulia (2.48%) rispetto a quelli del Veneto (1.90 %). Il valore medio per le due Regioni (2.03%) risente naturalmente della maggiore numerosità dei dati del Veneto.



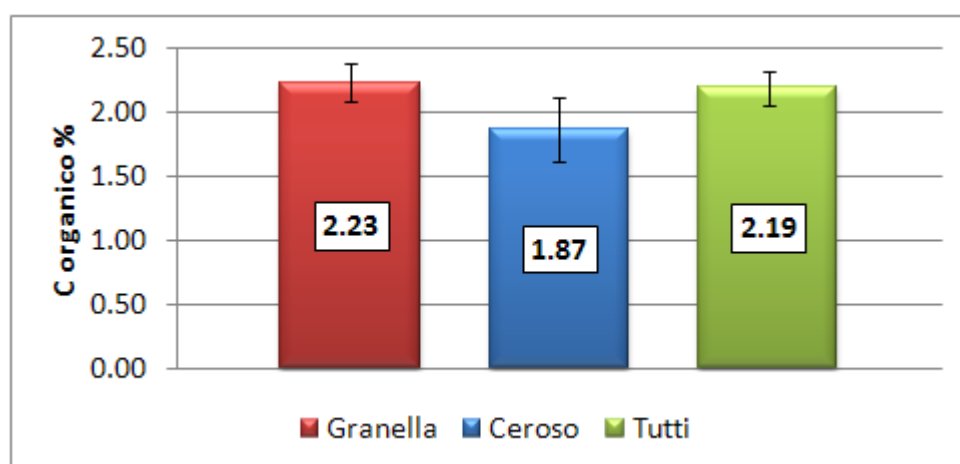
Dettaglio analitico per i campioni del Friuli Venezia Giulia

I dati analitici del FVG sono stati aggregati in monosuccessioni (mais, soia, frumento), rotazioni biennali (mais-frumento, soia-frumento, mais-soia), rotazioni triennali, vigneti (inerbimento parziale e/o totale, terreno nudo), erba medica, foraggere permanenti. L'indagine ha riguardato 81 comuni della Regione, di cui 38 in ZVN.

Non sono state evidenziate differenze significative tra gli usi del suolo, anche per la scarsa numerosità di alcuni gruppi. Dal punto di vista agronomico possono essere comunque tratte importanti considerazioni. Le foraggere mostrano di costituire un gruppo a parte con il valore medio (5.65%) più elevato. Seguono in ordine decrescente l'erba medica (3.41%) ed i vigneti (2.72%). Per questi ultimi gli inerbiti hanno una media del 2.94%, con terreno nudo 1.39%.



Seguono tutti gli altri usi del suolo a seminativo con valori superiori al 2%, dalla rotazione soia-frumento (2.32%) alla monosuccessione di soia (2.03%). Per la monosuccessione di mais è stato evidenziato un maggiore contenuto di C nei campioni con solo mais da granella (2.23%) rispetto alle monosuccessioni con presenza nel triennio di mais ceroso (1.87%).



Infine la rotazione mais-frumento (1.53%) e la monosuccessione di frumento (1.47%) mostrano il valore più basso.

Sui punti del Friuli Venezia Giulia è stata già eseguita una spazializzazione a scala territoriale con tecniche geostatistiche. E' stata considerata un'area relativa all'estensione delle superfici agricole (CLC, 2006) dei comuni interessati (in zone di pianura e di collina), escludendo le aree boscate, urbanizzate e le acque. La superficie d'indagine effettiva del territorio regionale è risultata pari a 216761 ha di SAU. L'analisi dei dati ha messo in evidenza un trend in diminuzione in direzione ONO-ESE, dall'area pedemontana N-O della provincia di Pordenone verso le quote inferiori e la costa, che può costituire una valida rappresentazione ai fini delle valutazioni agroambientali e per una stima accurata degli stock di carbonio a scala regionale.

Le aree a contenuto minore di C organico (1.0-1.5%) nella parte SO della provincia di Pordenone e SE della Provincia di Udine, che corrispondono a circa il 17% dell'area studiata; circa il 50% e il 22% sono nei range 1.5-2.0% e 2.0-3.0%. L'area restante (circa il 10%) è nei range 3.0-5.0, 5.0-7.0 e >7%.

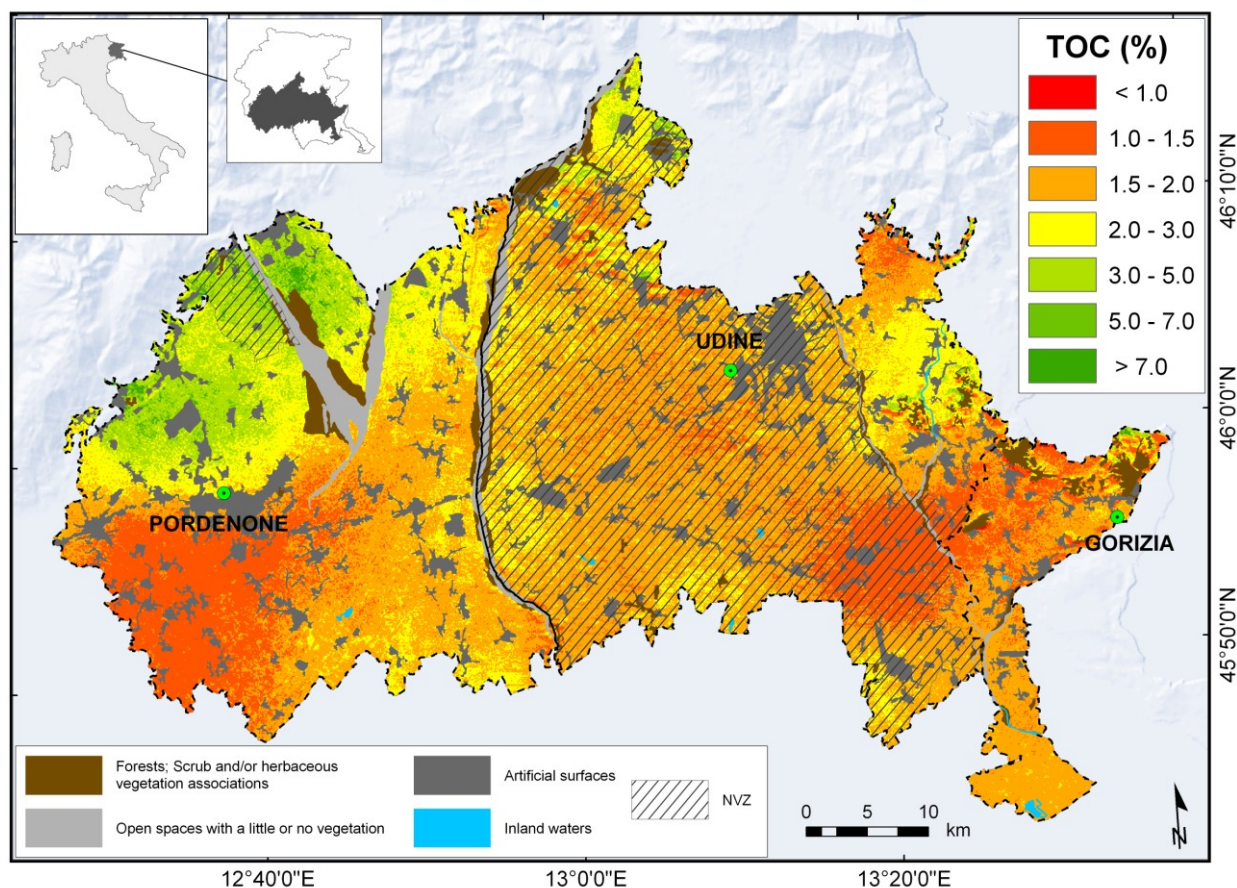
I suoli principali (WRB) sono Chromic e Fluvic Cambisols e Gleyic Calcisols (117, 92 e 36 campioni). L'analisi della varianza a due vie del TOC, ha evidenziato una relazione maggiormente significativa con la coltura e minore rispetto all'unità di suolo (Tabella 1). La variabilità del TOC in relazione alla coltura è dello stesso ordine di grandezza in ciascuna tipologia, tranne che per le foraggere che sono caratterizzate da uno spettro molto ampio dei valori (dati non riportati). In relazione al tipo di suolo, nei Chromic Cambisol il TOC è 2.69%, nei Fluvic Cambisol 2.39% e nei Gleyic Calcisols il 2.27%.

L'applicazione del RK sui dati di TOC ha messo in evidenza un trend in diminuzione in direzione ONO-ESE, dall'area pedemontana N-O verso le quote inferiori e la costa. I valori dell'errore quadratico medio della stima (ME), della radice di tale errore (RMSE) e della radice normalizzata (RMNSE) sono rispettivamente 1.01, 1.55 e 1.10. Il TOC medio stimato è 2.36%, quello misurato 2.47%. Tra i predittori hanno maggiore peso gli indici derivati dal Landsat e la tessitura dei depositi.

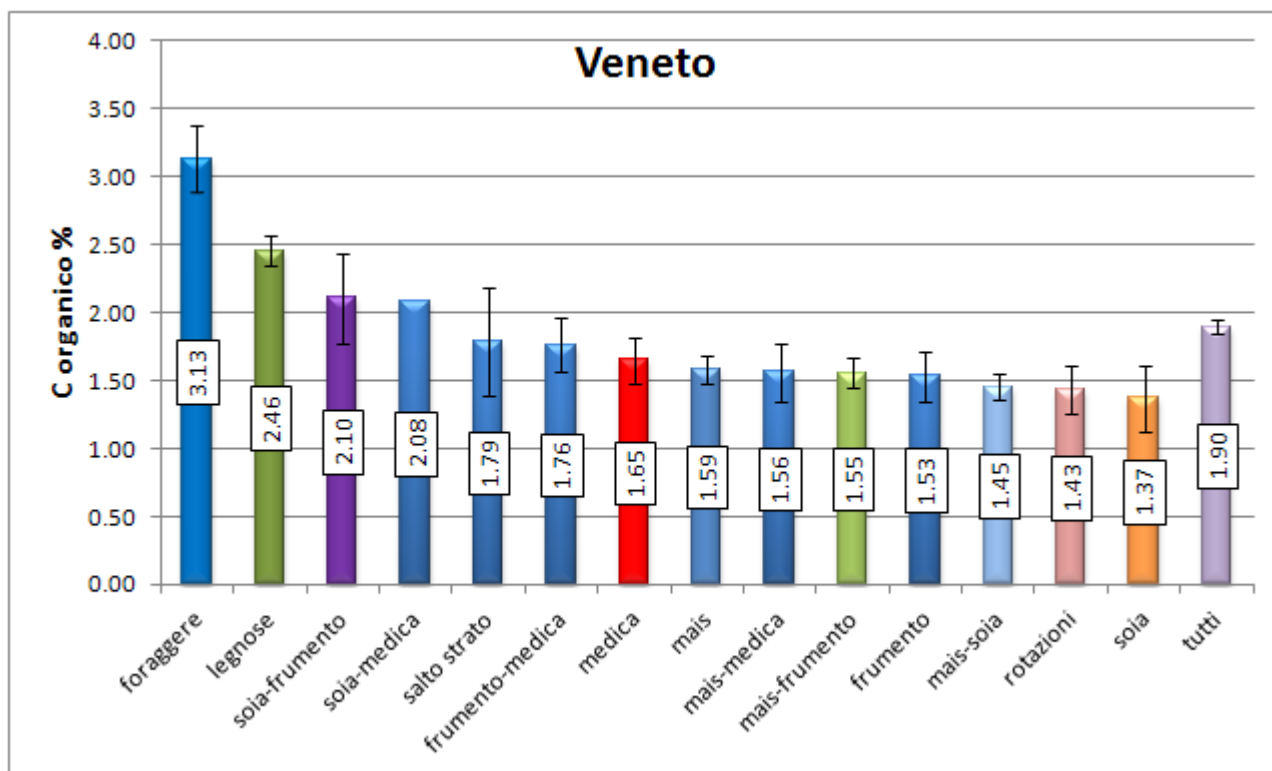
Tabella 1. Analisi della varianza del TOC

Fonte di variazione	TOC			
	Devianza totale	gdl	F	Pr(>F)
Coltura	207.55	9	7.7366	6.38E-010***
Suolo	60.31	6	3.3719	0.003326**
Coltura x Suolo	76.71	17	1.5139	0.09089 ns
Errore	679.61	228		

, * significativo rispettivamente per $p \leq 0,01$ e $0,001$; ns: non significativo

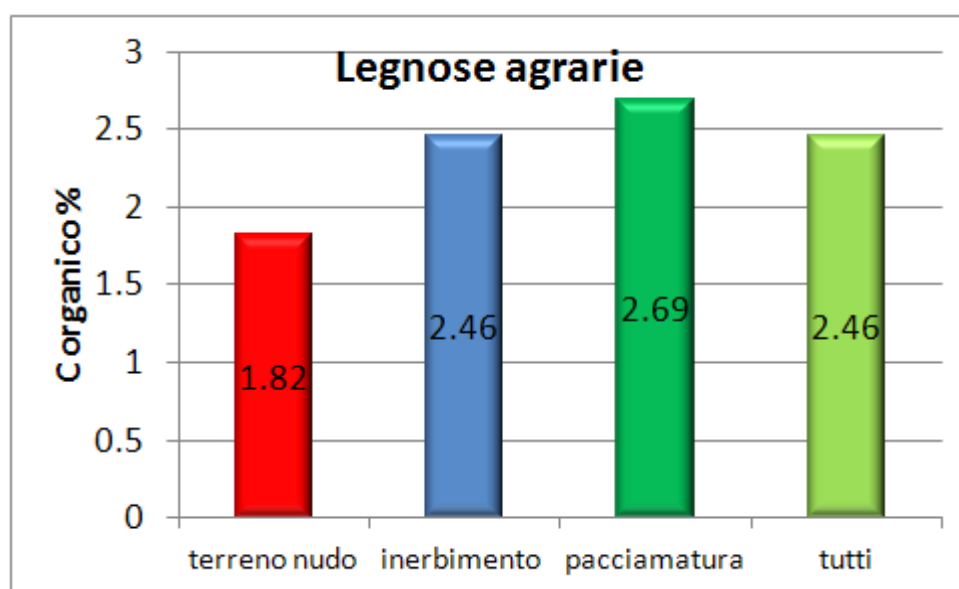


I dati analitici del Veneto sono stati aggregati in monosuccessioni (mais, soia, frumento), rotazioni biennali (mais-frumento, soia-frumento, mais-soia, soia-medica, frumento-medica, mais-medica), rotazioni triennali, legnose agrarie (con pacciamatura, inerbimento parziale e/o totale, terreno nudo), erba medica, foraggiere permanenti, salto di strato (campioni con salto di strato informativo con passaggio da seminativo a foraggera e viceversa).



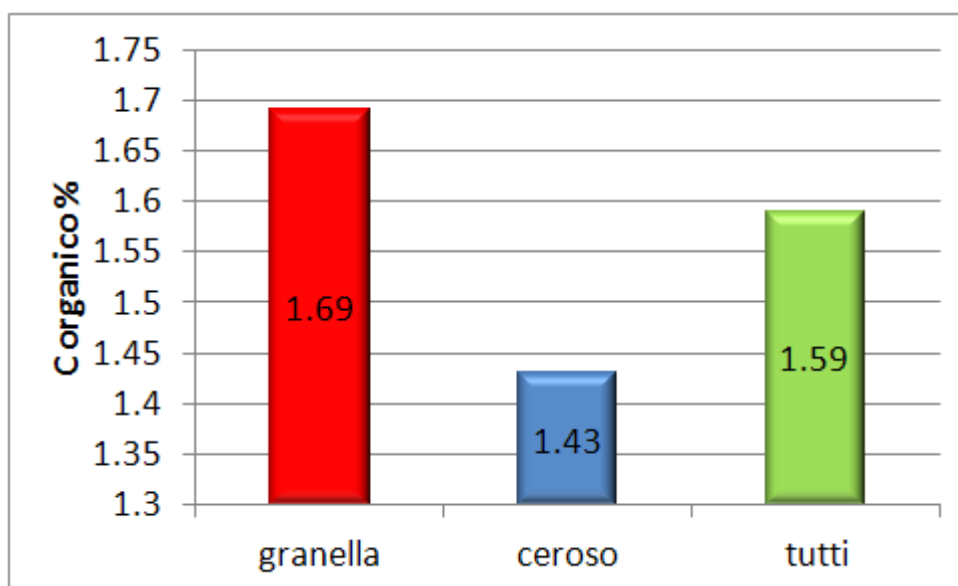
Dettaglio analitico per i campioni del Veneto

Per il Veneto le foraggiere hanno un valore medio del 3.13% e le legnose agrarie, quasi esclusivamente vigneti, del 2.46 %.



Seguono le due rotazioni biennali soia-frumento (2.10%) e soia-medica (2.08). Tutti gli altri seminativi hanno valori compresi tra 1.79% (salto di strato) e 1.37% (monosuccessione di soia).

Per quanto riguarda la monocoltura di mais, anche in Veneto è stato evidenziato un maggiore contenuto di C nei campioni con solo mais da granella (1.69%) rispetto alle monosuccessioni con presenza nel triennio di mais ceroso (1.43%).



4.4. Campionamento delle aree di saggio

Dei 1160 campioni di suolo analizzati, sono stati sottoposti ad analisi chimico-fisica di approfondimento 8 campioni, il cui contenuto di carbonio organico si scostava significativamente dai valori media di quelli analizzati. Si tratta di 8 siti, di cui 6 coltivati a vigneto e 2 siti coltivati a foraggiere(figura). Inizialmente sono stati determinati i parametri fisico chimico di base, tessitura , ph, P, K, CSC, Calcare attivo, Carbonati. Successivamente sono stati determinati il carbonio totale estraibile, l'azoto totale. Per la determinazione analitica del contenuto di tec e del frazionamento della sostanza organica si è utilizzato sempre un Carbon Analyzer RC612 LECO; per la determinazione del contenuto di azoto organico si è utilizzato un analizzatore elementare FP628 LECO Nitrogen Analyzer.

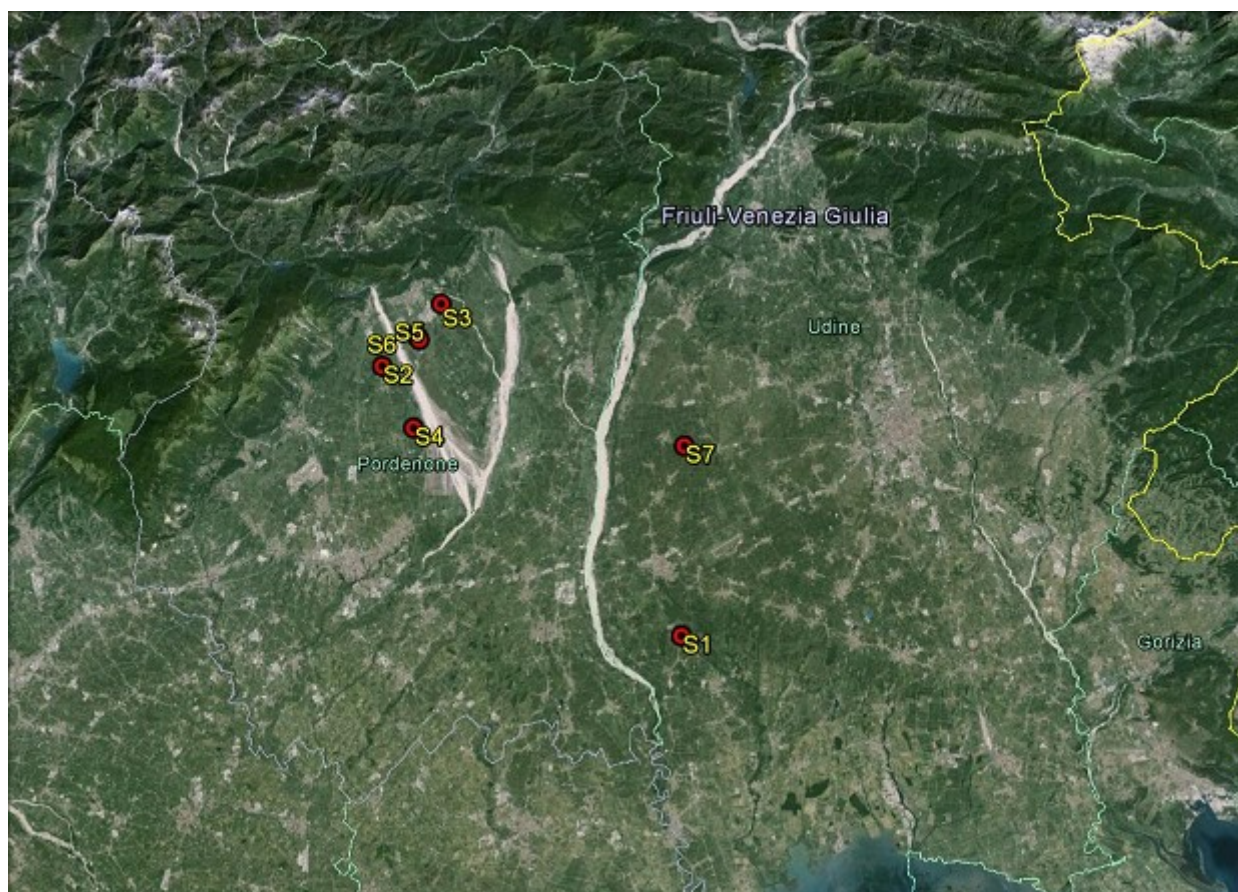


Figura 2 : mappa siti S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8(fonte google earth)

ID AGRIT 115724 Vigneto inerimento parziale (UD) TOC 5.77 % Profilo rappresentativo IUT2 Classificazione WBR Calcari-Fluvic Cambisol (CM-fv-ca)

Orizzonte	Profondità cm	Scheletro %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	TEX	pH H2O	pH KCl	Carbonati totali %	Calcare attivo %	P assimilabile mg/kg	K scambiabile mg/kg	CSC meq/100g
Ap	0-35	0	26,3	61,5	12,2	SiL	8	7,7	44	1,5	12	77	18,2
AC	35-49	0	29,4	57	13,6	SiL	8,1	7,8	47	1,4	3	48	18,3
C	49-70	0	45,3	44,4	10,3	L	8,4	8,3	67	1,4	2	28	10,8

ID AGRIT 82311 Vigneto inerimento parziale (PN) TOC 7.65 % Profilo rappresentativo ROV3 Classificazione WBR Episkeleti-Calcaric Phaeozem (PH-ca-skp)

Orizzonte	Profondità cm	Scheletro %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	TEX	pH H2O	pH KCl	Carbonati totali %	Calcare attivo %	P assimilabile mg/kg	K scambiabile mg/kg	CSC meq/100g
Ap	0-35	67	62,8	30,6	6,6	SL	7,6	7,3	46	2,5	66	282	42,3
Bw	35-57	64	60,8	30,4	8,8	SL	7,6	7,3	45	2,1	88	98	42,5
C1	57-82	71	67,3	27,3	5,4	SL	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
C2	82-110	76	61,6	27,9	10,5	SL	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

ID AGRIT 74304 Vigneto inerimento parziale (PN) TOC 10.55 % Profilo rappresentativo BAR1 Classificazione WBR Eutric-Fluvic-Cambisol CM-fv-eu

Orizzonte	Profondità cm	Scheletro %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	TEX	pH H2O	pH KCl	Carbonati totali %	Calcare attivo %	P assimilabile mg/kg	K scambiabile mg/kg	CSC meq/100g
Ap	0-40	0	20,6	53,6	25,8	SiL	6,7	6,3	0	0	22	203	16,7
Bwc	40-90	0	12	40	48	C	6,8	6,1	0	0	1	143	29,4
BC	90-127	17	30,6	45,6	23,8	L	7,8	7,7	58	1	1	78	13,8

ID AGRIT 90589 Vigneto inerimento parziale (PN) TOC 6.27 % Profilo rappresentativo VIS1 Classificazione WBR Calcari-Fluvic-Cambisol CM-fv-ca

Orizzonte	Profondità cm	Scheletro %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	TEX	pH H2O	pH KCl	Carbonati totali %	Calcare attivo %	P assimilabile mg/kg	K scambiabile mg/kg	CSC meq/100g
Ap1	0-16	3	47,7	47,3	5	SL	7,8	7,5	86	1,2	55	290	5,3
Ap2	16-49	7	59,6	36,4	4	SL	8	7,6	90	1,2	14	121	2,9
B	49-90	15	61,4	34,6	4	SL	8,1	7,8	90	1,1	3	47	0,9
Cg	90-150	14	59	36	5	SL	8,2	7,8	89	1,4	2	47	1,5

ID AGRIT 82382 Foraggera (PN) TOC 7.71% Profilo rappresentativo GIO1 Classificazione WBR Rendzic Leptosol (LP-rz)

Orizzonte	Profondità cm	Scheletro %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	TEX	pH H2O	pH KCl	Carbonati totali %	Calcare attivo %	P assimilabile mg/kg	K scambiabile mg/kg	CSC meq/100g
Ap	0-32	67	72,6	22,8	4,6	SL	7,7	7,5	4	nd	12	77	19,6
Bwc	32-40	67	77,5	18,4	4,1	LS	8,1	7,9	92	1,8	6	22	2,7
BC	40-100	70	93	4,9	2,1	S	8	7,7	98	1,1	nd	nd	nd

ID AGRIT 82383 Foraggera (PN) TOC 13.32% Profilo rappresentativo ROV1 Classificazione WBR Episkeleti-Calcaric Cambisol (CM-ca-skp)

Orizzonte	Profondità cm	Scheletro %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	TEX	pH H2O	pH KCl	Carbonati totali %	Calcare attivo %	P assimilabile mg/kg	K scambiabile mg/kg	CSC meq/100g
Ap	0-35	46	43,3	47,5	9,2	L	7,8	7,5	57	0,7	85	187	16,7
Bw	35-55	49	46,5	43,4	10,1	L	7,9	7,6	62	0,5	56	253	13,9
C1	55-75	72	68,8	25,4	5,8	SL	8,2	8,2	88	0,9	9	nd	nd
Ck	75-80	66	73,4	21,1	5,5	SL	8,4	8,6	95	1,1	6	nd	nd
C2	80-150	64	73,5	21,1	5,4	SL	8,4	8,6	98	1,1	4	nd	nd

ID AGRIT 88788 Vigneto inerimento parziale (UD) TOC 2.64% Profilo rappresentativo FLA1 Classificazione WRB Calcari-Aric Regosols (RG-ai-ca)

Orizzonte	Profondità cm	Scheletro %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	TEX	pH H2O	pH KCl	Carbonati totali %	Calcare attivo %	P assimilabile mg/kg	K scambiabile mg/kg	CSC meq/100g
Ap	0-30	45	46,7	41,1	12,2	L	7,5	7,4	17		57	377	15
2C	30-60	72	76,7	17,2	6,1	LS	8	7,9	70	1	5	24	3,4

ID AGRIT 103986 Vigneto inerimento parziale (GO) TOC 0.77 % Profilo rappresentativo RUS1 Classificazione WRB Calcari-Endoleptic Cambisol (CM-len-ca)

Orizzonte	Profondità cm	Scheletro %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	TEX	pH H2O	pH KCl	Carbonati totali %	Calcare attivo %	P assimilabile mg/kg	K scambiabile mg/kg	CSC meq/100g
Ap	0-18	6	18,3	51	30,7	SiCL	7,9	7,6	11	1,8	14	275	17,4
2Bw	18-60	53	20,6	51,4	28	CL	8	7,6	15	2,1	3	179	18,1
RC	60-80	72	23,9	48,8	27,3	CL	8	7,5	11	1,9	2	160	18,2

Tab.1. Analisi chimico fisiche degli 8 siti oggetto di studio

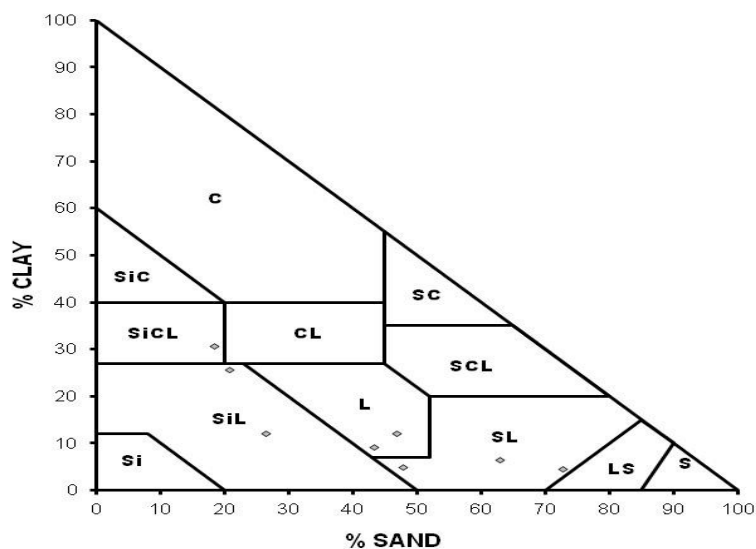


Fig.2. Tessitura strato superficiale degli 8 siti s1-s2-s3-s4-s5-s6-s7-s8.

Sito	Coltura	dem	T_med_ann	P_tot_ann	TEC	N	C/N	TOC
s1	vigneto	22	13.8	1221	2,38	0,52	11,10	5.77
s2	vigneto	245	12.6	1898	3,49	0,7	10,93	7.65
s3	vigneto	243	12.6	1951	4,9	0,96	10,99	10.55
s4	vigneto	159	13.0	1662	3,1	0,66	9,50	6.27
s5	foraggiere	255	12.6	1941	3,13	0,63	12,24	7.71
s6	foraggiere	260	12.6	1955	6,38	1,45	9,19	13.32
s7	vigneto	99	13.3	1496	0,75	0,245	10,78	2.64
s8	vigneto	148	13.4	1497	0,38	0,122	6,31	0.77

Tab.3. Analisi chimiche e parametri climatici, siti s1-s2-s3-s4-s5-s6-s7-s8.
Carbonio totale estraibile (TEC), Carbonio Totale (TOC), Azoto organico (N), dem (altezza sul livello del mare), T_med_annuale (temperatura media annuale), P_tot_annue (pioggia totale annua).

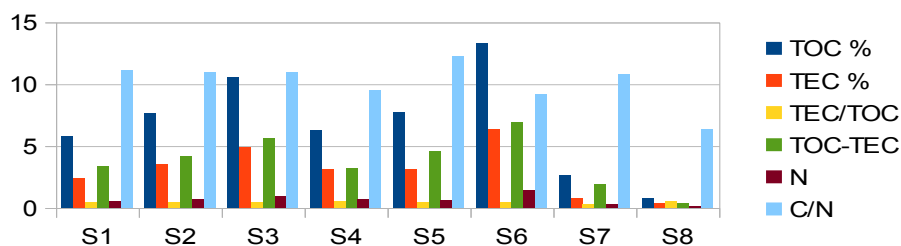


Fig.3. Grafico caratterizzazione sostanza organica degli 8 siti s1-s2-s3-s4-s5-s6-s7-s8.

Sito	Coltura	pH H2O	CaCO3	Calcare attivo	P_ assimilabile	K_ scambiabile	CSC	sabbia	limo	argilla	tex
s1	vigneto	8	44	1,5	12	77	18,2	26,3	61,5	12,2	SL
s2	vigneto	7,6	46	2,5	66	282	42,3	62,8	30,6	6,66	SL
s3	vigneto	6,7	0	0	22	203	16,7	20,6	53,6	25,8	SL
s4	vigneto	7,8	86	1,2	55	290	5,3	47,7	47,3	5	SL
s5	foraggiere	7,7	4	0	12	77	19,6	72,6	22,8	4,6	SL
s6	foraggiere	7,8	57	0,7	85	187	16,7	43,3	47,5	9,2	L
s7	vigneto	7,5	17	0	57	377	15	46,7	41,1	12,2	L
s8	vigneto	7,9	11	1,8	14	275	17,4	18,3	51	30,7	AL

Tab.4. Analisi chimico-fisiche sito S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8, pH H2O (pH determinato in soluzione acquosa), CaCO3(Carbonato di Calcio), Calcare attivo, P_assimilabile(fosforo assimilabile), K_scambiabile(potassio scambiabile), CSC(Capacità di scambio cationico), sabbia, limo, argilla, tex(tessitura)

Risultati Analisi Statistica

Comunanza

	Initial	Extraction
TEC	1,000	,855
N	1,000	,803
C/N	1,000	,314
TOC	1,000	,909
P_tot_ann	1,000	,690
sabbia	1,000	,770
limo	1,000	,455
argilla	1,000	,797
ph h20	1,000	,538
CaCO3	1,000	,324
Calcare attivo	1,000	,376
P_assimila	1,000	,420
K_scamb	1,000	,149
CSC	1,000	,189

Metodo di estrazione : analisi delle
componenti principali

Varianza Totale Spiegata

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4,798	34,272	34,272	4,798	34,272	34,272
2	2,793	19,953	54,226	2,793	19,953	54,226
3	2,428	17,344	71,569			
4	1,658	11,841	83,410			
5	1,361	9,722	93,132			
6	,696	4,969	98,101			
7	,266	1,899	100,000			
8	3,336E-16	2,383E-15	100,000			
9	2,882E-16	2,058E-15	100,000			
10	2,039E-16	1,456E-15	100,000			
11	7,630E-17	5,450E-16	100,000			
12	9,997E-18	7,141E-17	100,000			
13	-5,231E-17	-3,737E-16	100,000			
14	-2,320E-16	-1,657E-15	100,000			

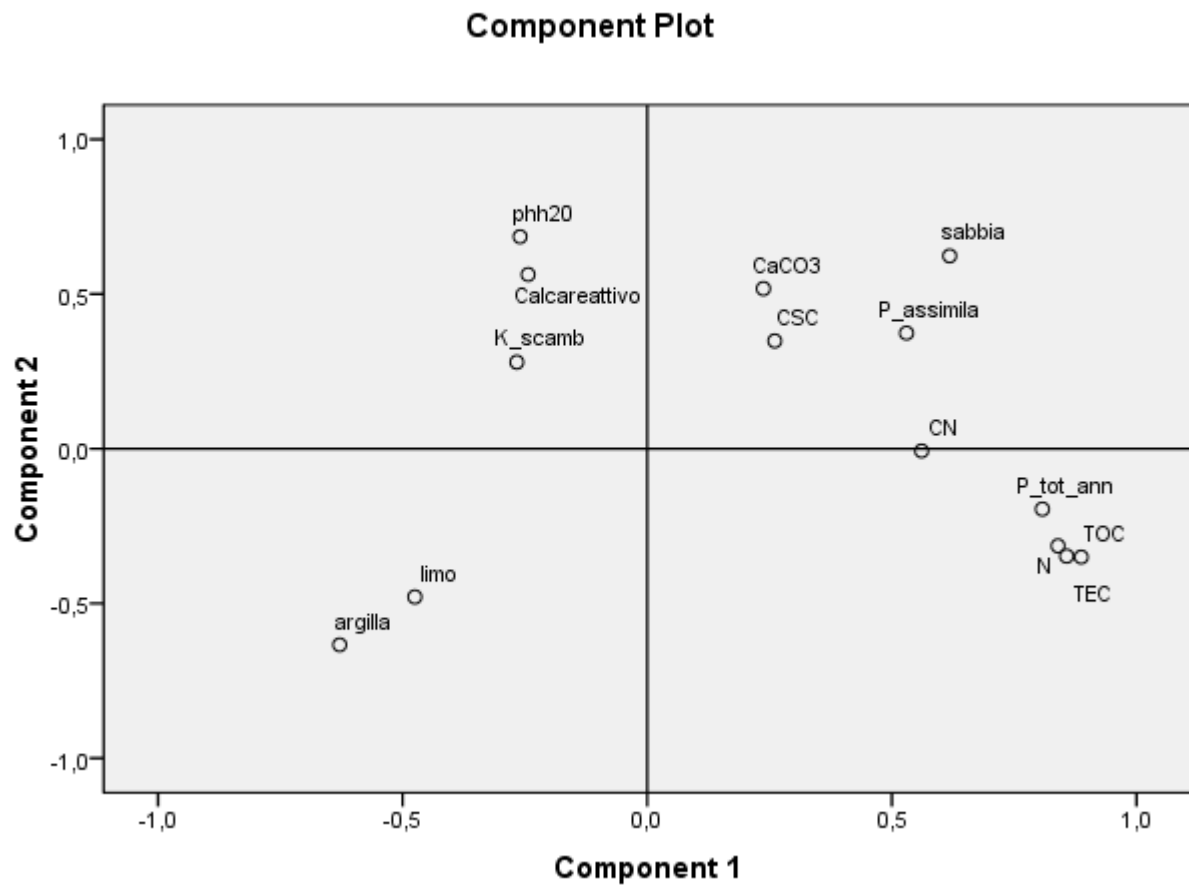
Metodo di estrazione : analisi delle componenti principali

Matrice delle componenti

	Component	
	1	2
TEC	,857	
N	,839	
C/N	,561	
TOC	,887	
P_tot_ann	,808	
sabbia	,618	,623
limo	-,475	-,479
argilla	-,629	-,634
ph h2O		,686
CaCO3		,518
Calcare attivo		,563
P_assimila	,530	
K_scamb		
CSC		

Metodo di estrazione : analisi delle
componenti principali
a. 2 components extracted.

Grafico delle componenti



Component Plot

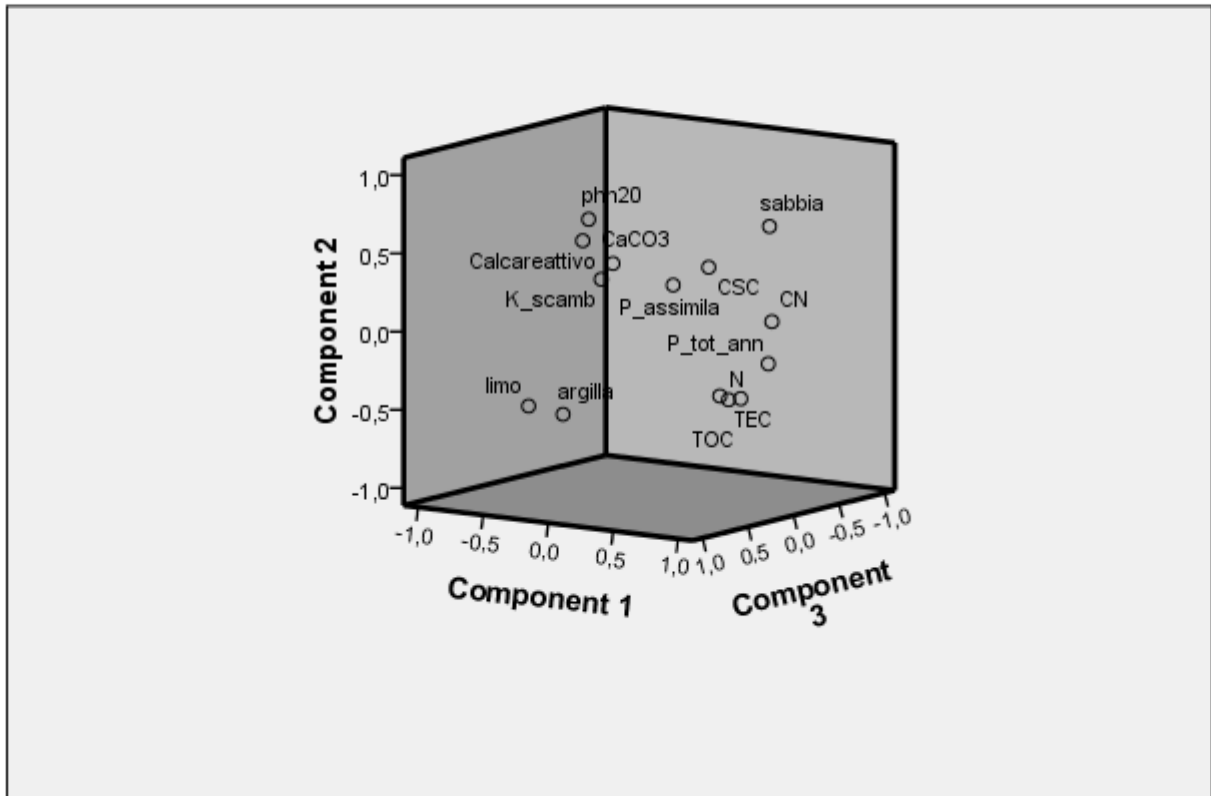


Grafico delle componenti

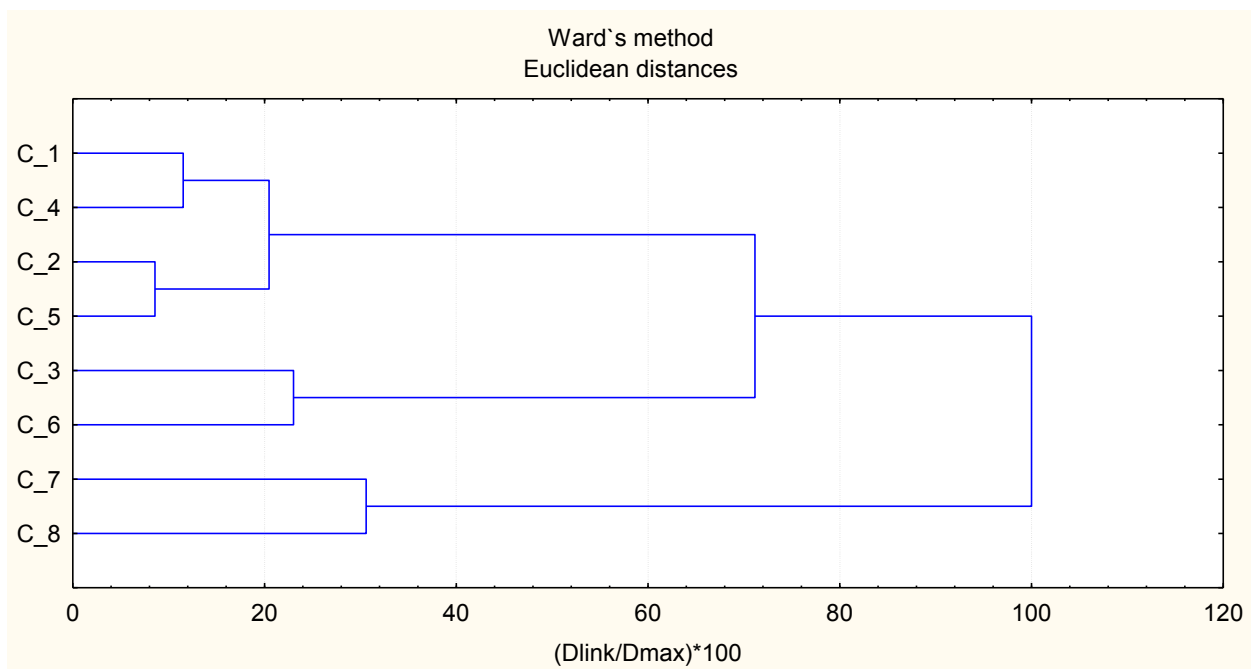


Fig.4.Dendrogramma dei siti oggetto di studio s1-s2-s3-s4-s5-s6-s7-s8.

Conclusioni e Discussione

Gli assorbimenti di carbonio garantiti dalla gestione dei suoli agricoli e dei prati-pascoli, previsti in via opzionale dal Protocollo di Kyoto, non sono contabilizzati. Dai dati riportati, seppure limitati a due sole Regioni, emerge chiaramente il contributo delle colture permanenti (vigneti soprattutto inerbiti) e pluriennali (foraggiere ed erba medica). Dal punto di vista agronomico possono essere comunque tratte importanti considerazioni. Le foraggiere costituiscono un gruppo a parte con i valori più elevati (media 5.65%, mediana 6.05%, max 13.32%). Seguono l'erba medica (3.41%) ed i vigneti (7,65%).

L'impiego di metodologie geostatistiche che utilizzano variabili ausiliarie ha permesso di costruire la mappa del TOC con un ragionevole grado di accuratezza e aderenza alla realtà territoriale, che può costituire una valida rappresentazione ai fini delle valutazioni agroambientali e per una stima accurata degli stock di carbonio a scala regionale.

Gli 8 siti oggetto di studio e di ulteriore approfondimento analitico, hanno fornito indicazioni circa la presenza di carbonio organico oltre i livelli medi, permettendo di comprendere le dinamiche relative ai processi di mineralizzazione del carbonio stesso e del frazionamento della sostanza organica presente nella forma estraibile TEC. Inoltre mettendo in relazione il contenuto di carbonio organico, il suo frazionamento nelle varie forme e il contenuto di azoto, si evidenzia come possa esistere una forte correlazione tra uso del suolo e contenuto di sostanza organica nei siti 7 ed 8, giustificando la pratica dell'inerbimento parziale, come pratica conservativa rispetto ad altre pratiche agronomiche convenzionali.

L'allontanamento di parte del C organico dal ciclo colturale nelle ZVN sembra mettere in evidenza un contenuto inferiore di TOC rispetto alle ZnVN. In questo senso la deroga alla Direttiva Nitrati concessa dalla Commissione Europea alle Regioni Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna e Veneto (Decisione n. 721/2011), considerando l'effluente d'allevamento una risorsa da valorizzare a fini agronomici, nel rispetto dei criteri fissati dalla deroga per una corretta gestione sostenibile, rappresenta un'opportunità per il reintegro della sostanza organica e della fertilità del suolo.

Bibliografia

52 North Initiative (2007) ILWIS 3.6 Open – Integrated Land and Water Information System.

<http://52north.org>.

Akaike H (1974) A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans Autom Control* 19(6): 716-723.

Burke IC, Yonker CM, Parton WJ, Cole CV, Flach K et al. (1989) Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in US grassland soils. *Soil Sci Soc Am J* 53: 800-805.

Dobos E, Hengl T (2009) Soil mapping applications. In: Hengl T, Reuter HI (Eds), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*, vol. 33, Elsevier BV, Amsterdam, 461-496.

Eldeiry AA, Garcia LA (2010) Comparison of regression kriging and cokriging techniques to estimate soil salinity using Landsat images. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 136: 355–364.

Goovaerts P (1997). *Geostatistics for natural resource evaluation*. Oxford University Press, New York.

Hengl T (2009) A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables.

http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl_2009_GEOSTATe2c1w.pdf.

Hengl T, Heuvelink GBM, Stein A (2004) A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression kriging. *Geoderma* 120: 75-93.

Mabit L, Bernard C (2010) Spatial distribution and content of soil organic matter in an agricultural field in Eastern Canada, as estimated from geostatistical tools. *Earth Surf Proc Land* 35: 278-283.

Marchetti A, Piccini C, Santucci S, Chiuchiarelli I, Francaviglia R (2011) Simulation of soil types in Teramo province (Central Italy) with terrain parameters and remote sensing data. *Catena* 85: 267-273.

- McBratney AB, Mendonça Santos ML, Minasny B (2003) On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3-52.
- Nichols JD (1984). Relation of organic carbon to soil properties and climate in the southern Great Plains. *Soil Sci Soc Am J* 48: 1382-1384.
- Odeh IOA, McBratney AB, Chittleborough DJ (1994) Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from a digital elevation model. *Geoderma* 63: 197-214.
- Olaya V (2009) Basic land-surface parameters. In: Hengl T, Reuter HI (Eds), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*, vol. 33, Elsevier 141-169.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Wackernagel H (2003). *Multivariate geostatistics*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- Xiao J, Shen Y, Tateishi R, Bayaer W (2006) Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. *Int J Remote Sens* 12(27), 2411-2422.
- Zhang S, Huang Y, Shen C, Ye H, Du Y (2012) Spatial prediction of soil organic matter using terrain indices and categorical variables as auxiliary information. *Geoderma* 171-172: 35-43.

Conclusioni generali

La qualità del suolo è l'elemento portante della fertilità e dello sviluppo agricolo sostenibile.

Il concetto di sostenibilità è molto complesso, ma spesso la costruzione di indicatori può essere di valido aiuto per il conseguimento del risultato.

L'utilizzo di indicatori basati su solide argomentazioni teoriche risultano efficaci nell'orientare i processi decisionali e capaci di restituire un concreto quadro di valutazione dei monitoraggi.

L'indicatore stock di carbonio organico del suolo, è uno dei principali indici ambientali in grado di fornire informazioni sulla gestione sostenibile del territorio.

Si stima che nel suolo siano stoccati più di 2/3 dell'intero pool di carbonio presente negli ecosistemi terrestri.

Il trend futuro dell'indicatore carbonio organico del suolo è principalmente legato al consumo di suolo e ai cambiamenti d'uso. La conoscenza e l'utilizzo dell'indicatore consente di controllare la dinamica del ciclo del C, evidenziando fenomeni di diminuzione ed eventuale perdita di fertilità e di accumulo, è inoltre il riferimento per valutare il ruolo svolto dal suolo nel bilancio del carbonio dei sistemi naturali, per stimarne la capacità di perdere o di catturare CO₂ e quindi contribuire alla riduzione o all'aumento dell'effetto serra, responsabile dei cambiamenti climatici.

Lo studio del bilancio del carbonio in termini di processi che ne controllano il ciclo, mediante tecniche di laboratorio chimiche e biochimiche, insieme all'utilizzo di modelli di simulazione matematica, ne permettono la valutazione quantitativa nel lungo termine relativamente agli effetti dei sistemi agro-forestali prescelti sul Carbon Sink.

L'utilizzo di tecnologie GIS consente l'interpolazione e la mappatura degli output dei modelli di simulazione e degli altri dati resi disponibili per fornire indicazioni ai tecnici territoriali, sulle decisioni più opportune per il contenimento dell'effetto serra attraverso un aumento delle riserve di carbonio.

Va ricordato che maggiori dotazioni di sostanza organica nel suolo non sono solamente espressione di una funzione di sink nei confronti della CO₂ atmosferica, ma si traducono in numerosi altri benefici ambientali, difficilmente quantificabili, ma tutti rilevanti, quali l'incremento a lungo termine della fertilità, una maggiore capacità tampone nei confronti di sostanze potenzialmente tossiche, una migliore regolazione dei cicli idrologici.

Il monitoraggio dei suoli, vista la complessità della matrice, presenta numerosi elementi di difficoltà e rende necessaria la messa in opera di approcci multidisciplinari, rispetto a quelli utilizzati in altri comparti ambientali come acqua e aria.

Il suolo va quindi studiato nella sua complessità e nella sua variabilità, studiando i diversi usi del suolo e la variazione di uso, in quanto nelle diverse tipologie pedologiche può variare l'incorporazione di sostanza organica al modificarsi della copertura vegetale o della gestione agricola.

Risulta quindi di valido supporto l'utilizzo di tecniche di laboratorio chimico, fisico, biologico integrate con modelli matematici di simulazione (Roth C), e di mappatura (GIS), comparando i dati misurati relativi agli stock di carbonio, nei diversi anni, potendo visionare così le dinamiche e gli scenari nel tempo per certificare i cambiamenti intervenuti nello stock di carbonio in una determinata area di monitoraggio.