

PROGETTO KYOTO – RICERCA SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI E IL CONTROLLO DEI GAS SERRA IN
LOMBARDIA - III annualità

Unità operativa 3 (GS3) – Linea “Stima e mappatura dei C-sinks e C-stock”

STOCK DI CARBONIO NEI SUOLI REGIONALI

RELAZIONE TECNICA



ERSAF
Struttura Sviluppo rurale, suoli e supporto alla filiera vitivinicola

Gennaio 2008

INTRODUZIONE

Il suolo è il comparto ambientale che costituisce la più grande riserva di carbonio organico negli ecosistemi terrestri. Globalmente la quantità di carbonio immagazzinata nei suoli è, come ordine di grandezza, pari a circa quattro volte quella presente nella vegetazione; nei diversi ecosistemi tale rapporto varia considerevolmente, andando da 1:1 nelle foreste tropicali a 43:1 nei suoli agricoli.

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*.

Per avere un’idea di cosa ciò significhi basti pensare che un incremento, piuttosto che una diminuzione, anche di solo lo 0,1% in valore assoluto del tenore in carbonio organico dello strato arato dei suoli coltivati a seminativo in Lombardia ((900.000 ha circa) comporterebbe una variazione nello stock di carbonio di oltre 3 milioni di tonnellate, corrispondenti a loro volta all’immagazzinamento o all’emissione di circa 10 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente.

Nei paragrafi che seguono viene analizzato, quantitativamente e nella sua distribuzione spaziale, lo stock di carbonio organico immagazzinato nei suoli e vengono esaminati alcuni indicatori di stato utili per una lettura più completa della situazione nei diversi territori regionali.

Per le elaborazioni sono stati utilizzati come fonti i dati del sistema informativo pedologico che ERSAF gestisce nel quadro del SIT della Regione Lombardia. In particolare si è fatto riferimento alla base informativa dei suoli in scala 1:250.000 che copre l’intero territorio regionale, integrata dalle informazioni di maggiore dettaglio contenute nella cartografia in scala 1:25.000-1:50.000 disponibile per l’area di pianura e prima collina (1,4 milioni di ettari circa). Per la determinazione dello stock di carbonio sono stati nel complesso elaborati dati analitici relativi ad oltre 4000 punti.

Per la delimitazione delle superfici non coperte da suolo (ghiacciai, nevai, affioramenti rocciosi, aree idriche, aree sterili e aree urbanizzate) si è invece fatto ricorso alla base informativa dell’uso del suolo DUSAF (Destinazione d’Uso dei Suoli Agricoli e Forestali, 1999).

Nell’ultima parte della relazione vengono infine proposte, come esito dell’analisi dello stato di avanzamento di progetti ed esperienze in corso in Lombardia, alcune prime linee di orientamento per l’allestimento di una rete regionale di monitoraggio dei cambiamenti del contenuto in carbonio nei suoli e per la definizione di protocolli operativi per la certificazione di tali variazioni.

STOCK DI CARBONIO NEI SUOLI

La quantità totale di carbonio organico (espressa come C, in milioni di tonnellate) immagazzinato nei suoli della Lombardia ammonta, con riferimento agli spessori indicati, a:

Spessore	30 cm	50 cm	100 cm	200 cm
Stock di carbonio (Mt)	126,82	173,73	228,15	270,41

Come è d’altronde intuibile, la maggior parte del carbonio organico è conservata negli strati più superficiali dei suoli: nei primi 30 cm è infatti presente circa il 47% dell’intero stock di carbonio, quasi 2/3 sono immagazzinati entro uno spessore di 50 cm e più dell’80% entro 1 m di profondità.

Lo stock di carbonio degli orizzonti di superficie è in ogni caso quello che riveste la maggiore importanza, perché è in questa parte del suolo che esso è più fortemente soggetto a processi dinamici di trasformazione, sia di mineralizzazione che di sintesi, e quindi all’influenza dei fattori ambientali ed antropici esterni. Il carbonio organico presente in profondità è invece più stabile e meno suscettibile a trasformazioni.

La quantità di carbonio immagazzinata nei suoli, che in Lombardia occupano 1,9 milioni di ettari di superficie, è comunque imponente: per comparazione si consideri che nei boschi di latifoglie e conifere (550.000 ha circa in Regione) si può stimare siano stoccati in tutto più o meno 20 milioni di tonnellate di carbonio.

Tuttavia esiste una ampia variabilità nella distribuzione di tale stock. Nelle figure 1 e 2 sono riportate le carte dello stock di carbonio organico espresso in t/ha contenuto, rispettivamente, nei primi 30 e nei primi 100 cm di suolo.

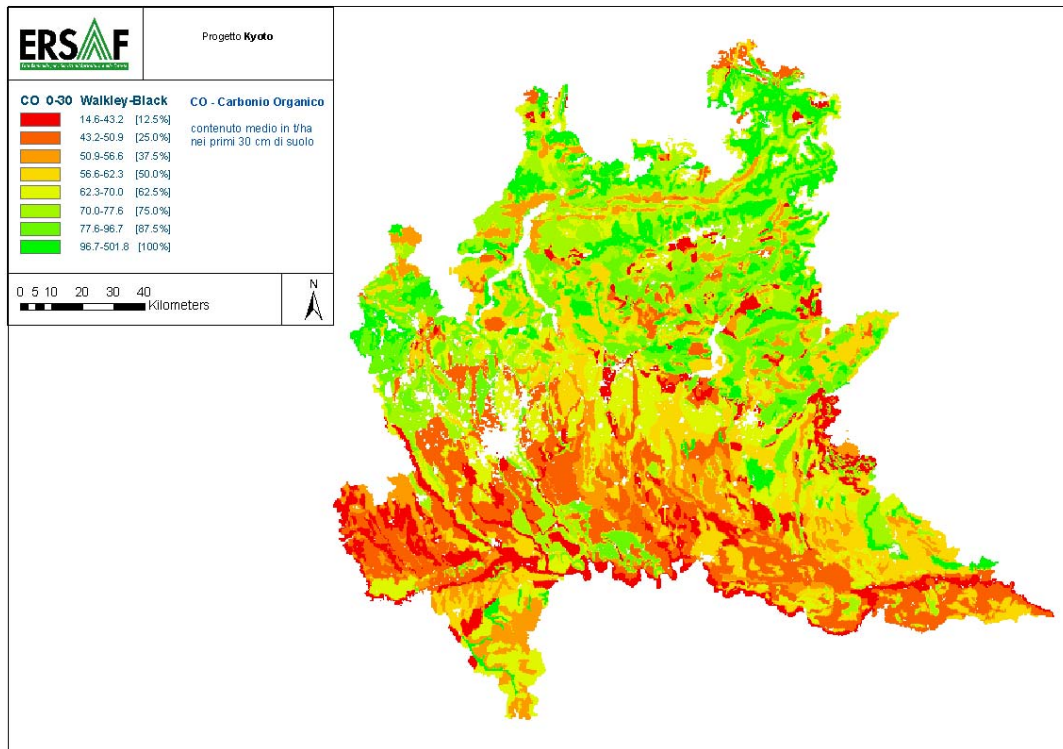


Figura 1 – stock di carbonio organico contenuto nei primi 30 cm. di suolo (metodo analisi Walkley-Black)

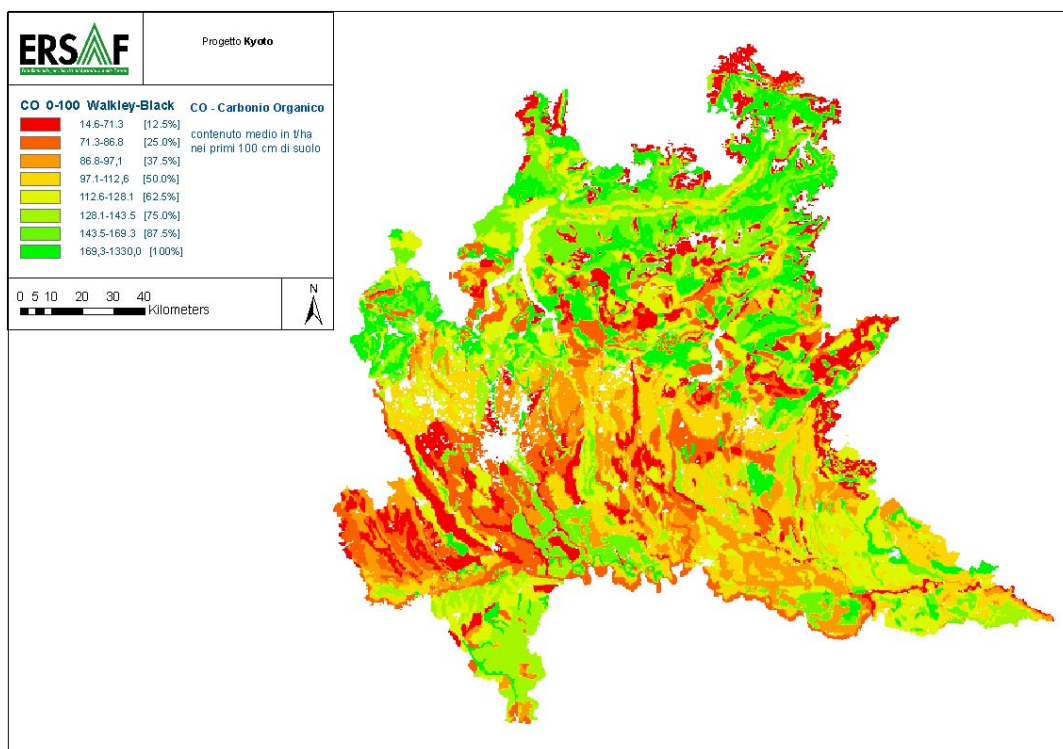


Figura 2 – stock di carbonio organico contenuto nei primi 100 cm. di suolo (metodo analisi Walkley-Black)

Dall'analisi di tali cartografie emerge principalmente che:

- I suoli della pianura sono in generale più poveri in carbonio rispetto a quelli di montagna.
- In pianura i tenori più bassi si registrano nella pianura occidentale e in vasta parte di quella centro-meridionale; in talune zone di questa parte della Regione (Lomellina soprattutto), dove si sommano gli effetti di una agricoltura intensiva, con scarsa diffusione di allevamenti, e della presenza di suoli sabbiosi, si raggiungono contenuti in carbonio organico molto bassi, inferiori a $3-4 \text{ kg/m}^2$, prossimi a quelli che potrebbero essere considerati livelli residuali.
- Stock decisamente più elevati, soprattutto nello strato superficiale, si hanno al contrario nella pianura nord-occidentale e nella zona morenica del Verbano, dove il clima umido e la discreta presenza, ancora, di superfici a prato e bosco favorisce la conservazione di suoli con spessi orizzonti *umbrici* ricchi in sostanza organica.
- Più elevati contenuti in carbonio si rilevano, in certa misura, anche nell'alta e media pianura centro-orientale dove è possibile che la zootecnia intensiva eserciti, in questo caso, un qualche effetto positivo attraverso l'abbondante apporto ai terreni coltivati di fertilizzanti organici.
- In montagna, i suoli di Alpi e Prealpi sono più ricchi in carbonio negli strati superficiali rispetto a quelli Appenninici, dove più diffusi sono seminativi e legnose agrarie (vigneti, frutteti), il clima è meno favorevole e i suoli sono più suscettibili all'erosione superficiale.
- Osservando la mappa di figura 2 si può infine notare come i suoli appenninici e dell'Oltrepo Mantovano, profondi e caratterizzati da matrici fini, tendono ad incorporare in profondità relativamente più carbonio organico rispetto ad altri suoli: comportamento opposto denotano infatti i suoli evoluti su substrati ghiaioso-sabbiosi e i suoli sottili di montagna limitati da substrati litoidi.

Il contenuto di carbonio organico per i diversi spessori di suolo è stato calcolato applicando la formula (1) proposta da Batjes (1996).

$$T_d = \sum [\rho_i \cdot P_i \cdot D_i \cdot (1 - S_i)] \quad (1)$$

dove T_d = contenuto totale di carbonio organico (t/ha) dello spessore considerato

ρ_i = densità apparente dello strato i -esimo (t/m^3) stimata tramite le PTF di Hollis

P_i = contenuto di C organico dello strato i -esimo (%)

D_i = spessore dello strato i -esimo (cm)

S_i = volume (%) dei frammenti di diametro $> 2 \text{ mm}$ nello strato i -esimo

Tale formula è una sommatoria estesa a tutti gli orizzonti (o strati) di un suolo e restituisce quindi il contenuto di carbonio organico riferito allo spessore preso in considerazione.

Per la stima della densità apparente dei diversi orizzonti di suolo sono state utilizzate le PTF (*Pedo Transfer Functions*) proposte da Hollis.

I dati analitici relativi al contenuto in C organico degli orizzonti di suolo sono stati ottenuti con il metodo Walkley-Black (DM Metodi Ufficiali di Analisi del Suolo - metodo VII.3).

Dopo la determinazione dello stock di carbonio di ciascuna tipologia di suolo, il calcolo dello stock regionale complessivo è stato effettuato utilizzando la carta dei suoli della Lombardia in scala 1:250.000, escludendo le aree di "non suolo" derivate dalla cartografia DUSAF e tenendo conto della rocciosità affiorante che contraddistingue, in particolare, il territorio montano.

Stock di carbonio valutato sulla base di dati analitici determinati con metodo ISO

Per la determinazione in laboratorio della quantità di carbonio organico nei suoli sono attualmente ammessi dalla normativa italiana tre metodi ufficiali (DM 13/09/99):

1. determinazione del C totale con analizzatore elementare: il campione viene completamente ossidato per "flash combustion"; i gas di combustione vengono separati e rilevati da un detector a conducibilità termica. Se è presente carbonato di calcio, deve prima essere rimosso con HCl;

2. Springer-Klee: ossidazione totale con bicromato di K;
3. Walkley-Black: ossidazione parziale con bicromato di K.

Questi ultimi due sfruttano la riduzione del bicromato di K generata dal C presente nei composti organici che viene così liberato come CO₂; il C contenuto nei carbonati non interferisce in quanto in questi composti è già presente con il massimo stato di ossidazione (+4) e quindi non riduce il bicromato. Il metodo Walkley-Black è più semplice e rapido del Springer-Klee, ma anche meno accurato: l'ossidazione non è completa e la quantità totale di C organico viene ricavata utilizzando un opportuno fattore di correzione (1,30) che tiene conto dell'efficienza media di ossidazione del bicromato nei confronti della SO che però varia in funzione del tipo di composto organico.

Mentre i primi due metodi sono riconosciuti a livello internazionale (secondo standard ISO), il metodo Walkley-Black, generalmente utilizzato fino ad oggi in Italia e con il quale erano stati anche determinati i tenori in carbonio organico dei suoli rilevati in Lombardia, non lo è.

Pertanto, per consentire una migliore comparabilità a livello internazionale, i valori dello stock di carbonio sono stati ricalcolati anche come espressi secondo il metodo Springer-Klee (metodo ISO 14235). A tal fine, i dati originari espressi secondo il metodo Walkley-Black sono stati convertiti, in assenza al momento di riferimenti ufficiali, con la seguente regressione (2), ottenuta dai risultati di una prova eseguita da 10 laboratori pubblici italiani, aderenti alla SILPA, incaricati dal JRC di Ispra di testare la comparabilità dei metodi ISO con i metodi nazionali in uso per diversi parametri relativi al suolo.

$$y = 1.0288x + 0.0763, (R^2 = 0.9763) \quad (2)$$

dove

x = OC (%) Italian National method (VII.3)

y = OC (%) ISO method (ISO 14235)

I valori dello stock di carbonio nei suoli così rideterminati, per gli stessi spessori precedentemente considerati, sono i seguenti:

Spessore	30 cm	50 cm	100 cm	200 cm
Stock di carbonio (Mt)	135,19	186,03	248,99	303,10

I dati, così rielaborati, indicherebbero uno stock regionale ancora superiore. Tuttavia, va tenuto presente che la regressione tra i due metodi analitici adoperata presenta ancora molti margini di incertezza e dovrebbe essere approfondita e confortata da altri più dettagliati ed estesi riscontri prima di poter essere considerata uno standard di riferimento.

In ogni caso le differenze tra i due sistemi di calcolo, variabili tra il 5 e il 10 % circa a seconda degli spessori, non appaiono particolarmente significative, collocandosi ampiamente nell'ambito dell'intervallo di confidenza che, date le approssimazioni insite nelle basi di dati utilizzate e nelle elaborazioni applicate, deve ragionevolmente essere accettato nella stima degli stock di carbonio immagazzinato nei suoli.

Infrastruttura spaziale dei dati

L'informazione sullo stock regionale di carbonio organico presente nei primi 30 cm e nel 1 m di suolo è stata riorganizzata all'interno dell'infrastruttura spaziale europea "Eurogrid Inspire 1x1 km Lambert Azimutal Equal Area", in modo da testare le potenzialità di tale strumento e delle connesse

procedure di conversione dei dati geografici dai sistemi regionali ad uno unico e comune a livello europeo per condividere e scambiare informazione rilevante sui suoli.

I risultati di tale rielaborazione, per lo spessore 0-30 cm, sono illustrati in figura 3: lo stock di carbonio riferito a ciascuna cella di 1x1 km deriva dalla media ponderata degli stock dei suoli che sottendono a tale area ed è espresso in t/ha; nel database, associato al grid, oltre al dato sullo stock è inserito anche quello relativo alla superficie complessiva di “non suolo” ricadente nella cella, in modo che sia possibile ricavare direttamente lo stock regionale o di parti di Regione di interesse.

Il processo di generalizzazione prodotto dal passaggio dalla cartografia regionale all’Eurogrid Inspire determina una perdita di informazione minima, sia nell’espressione della distribuzione nello spazio geografico (come si può evidenziare comparando le mappe delle figure 1 e 3), sia in termini quantitativi (lo stock di carbonio calcolato a partire dall’Eurogrid Inspire è pressoché identico a quello che si ottiene dalla basi informative regionali).

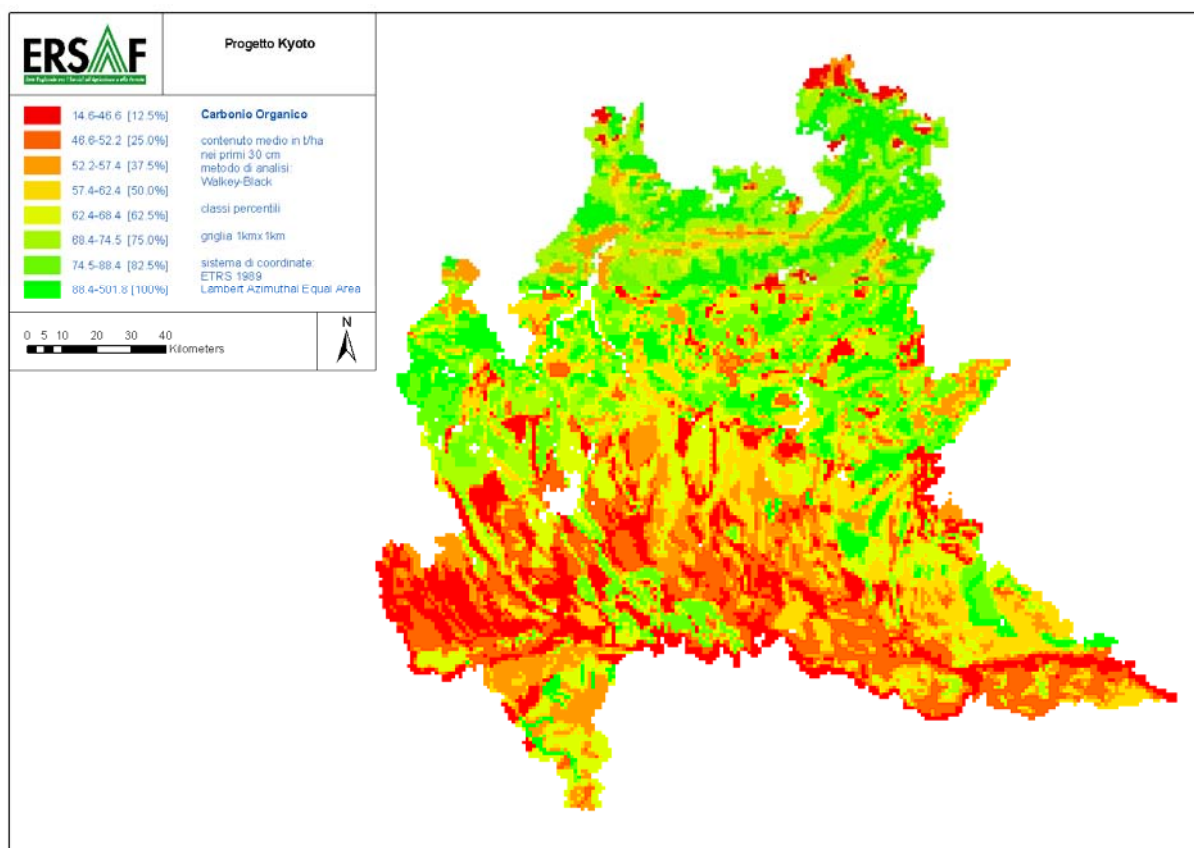


Fig. 3 - stock di carbonio organico contenuto nei primi 30 cm. di suolo – Eurogrid In spire 1x1 km

Stock di carbonio per tipologia di suolo

Nella tabella che segue sono sintetizzati i valori medi dello stock di carbonio nei primi 30 cm di suolo che contraddistinguono le “grandi” tipologie pedologiche presenti in Lombardia, identificate a livello di *Reference Soil Group*” secondo il sistema tassonomico WRB.

Nella lettura va tenuto presente che ciascuna di tali “grandi” tipologie raggruppa al suo interno vari suoli, accomunati da simili processi evolutivi che ne giustificano la collocazione nella medesima categoria tassonomica, ma spesso fra loro anche molto differenti in alcune proprietà, quali tessitura, pietrosità, spessore, uso e copertura del suolo, distribuzione geografica e quindi anche, per quello che qui più interessa, contenuto in carbonio organico.

Tipologia pedologica (RSGs WRB, 2006)	Valori medi C-stock 0-30 cm (t/ha)
Arenosols	32,9 – 36,7
Cambisols	52,8 – 79,7
Fluvisols	48,5 – 57,9
Gleysols	72,1 – 87,2
Histosols	501,8
Leptosols	58,0 – 67,5
Luvisols	40,1 – 65,9
Phaeozems	62,1 – 76,6
Podzols	115,4
Regosols	38,1 – 79,0
Umbrisols	76,4 – 99,7
Vertisols	62,7

I contenuti medi di carbonio rilevati in Regione, pur in presenza di valori generalmente abbastanza bassi nei suoli di pianura e di una ampia variabilità (coefficiente di variabilità compreso tra 0,2 e 0,3/ 0,4), non differiscono molto da quelli segnalati in bibliografia per le stesse tipologie pedologiche e simili ambienti in altre parti d'Europa.

Talune tipologie di suolo (figura 4) sono peraltro intrinsecamente caratterizzate da una più alta e tipica incorporazione di materia organica: ciò vale evidentemente in particolare per gli Histosols, suoli organici associati agli ambienti di torbiera, ma assume una rilevanza ecologica anche per gli Umbrisols, diffusi nell'alta pianura e nelle zone moreniche e prealpine occidentali, e per i Podzols, che caratterizzano le foreste di conifere e le praterie di alta quota nelle Alpi Retiche.

Il tasso di conservazione di queste tipologie di suolo può essere considerato in certa misura un indice del grado di mantenimento di un equilibrio ambientale: infatti, l'eventuale innescarsi di processi di erosione della loro naturale dotazione in materia organica si può tradurre in tempi abbastanza rapidi in forme di degrado con perdita degli elementi identificativi dei suoli stessi.



Fig 4 – da sinistra a destra Histosol (foto R.Comolli), Umbrisol (foto S. Brenna), Podzol (foto ERSAF)

Stock di carbonio nei suoli per tipo di uso del suolo

I dati della base informativa dei suoli regionale sono stati rielaborati per cercare di valutare quali fossero i quantitativi di carbonio immagazzinato nei suoli in funzione dell'uso de suolo.

I risultati di tale analisi, riportati nella tabella seguente, evidenziano, nei valori medi, differenze consistenti tra gli stock di carbonio presenti nei suoli coltivati a seminativo (57 t/ha nei primi 30 cm di suolo) e quelli dei suoli sotto foresta o formazioni prativo-pascolive (da 70 a 90 t/ha circa).

Va peraltro osservato che le popolazioni di dati evidenziano una amplissima variabilità (coefficiente di variabilità oscillante tra 0,4 e 0,5), per cui ad essi va attribuito un valore indicativo.

Uso del suolo	Valori medi C-stock 0-30 cm (t/ha)
Boschi di conifere	89,8
Boschi di latifoglie e misti	70,9 – 71,5
Praterie alpine e pascoli montani	79,2 – 80,0
Prati e marcite di pianura	64,7
Seminativi e legnose agrarie	57,0

Orizzonti olorganici

Le stime dello stock di carbonio nei suoli presentate in precedenza sono state effettuate con riferimento alla sezione minerale dei suoli stessi, compresi gli orizzonti organici sviluppatasi in condizioni di saturazione idrica (come nel caso degli Histosols), in accordo con quanto definito nelle Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF, 2003) elaborate dall'IPCC.

Non sono stati quindi presi in considerazione i cosiddetti "orizzonti olorganici" che si formano al di sopra dei suoli minerali in condizioni di non saturazione e corrispondono in pratica a quella che viene comunemente definita "lettiera" nell'insieme dei suoi vari stadi evolutivi, da accumulo di materiale vegetale indecomposto a lettiera parzialmente e completamente humificata.

La lettiera, secondo gli standard internazionali attuali, va infatti trattata come un comparto a sé stante e separatamente vanno affrontati sia la descrizione e il campionamento, che la definizione dei relativi stock di carbonio, che, negli ecosistemi forestali e naturali, possono avere anche quantitativamente un certo rilievo se si considera che 1 cm di spessore di un orizzonte olorganico humificato corrisponde a circa 5-7 t/ha di carbonio.

Le conoscenze su questo comparto sono tuttavia ancora nel complesso limitate: pochi sono gli studi e le indagini specifiche rintracciabili in bibliografia, vi sono una generale indisponibilità di dati quantitativi (sia analitici che sugli spessori di tali orizzonti) e spesso incertezze identificative, anche a causa del fatto che la descrizione della lettiera tradizionalmente è sempre stata piuttosto trascurata nei rilevamenti pedologici, poco o nulla si sa sulla variabilità e sui modelli di distribuzione nello spazio geografico degli orizzonti olorganici.

A questa regola generale non fa eccezione il sistema informativo sui suoli della Lombardia, per cui risulta impossibile effettuare con un accettabile livello di affidabilità una valutazione dello stock di carbonio complessivamente conservato nella lettiera dei suoli regionali.

In via del tutto preliminare e assolutamente orientativa si può per il momento solo stimare, tenendo conto delle superfici forestali regionali pari a circa 550.000 ha, che tale quantitativo possa ammontare ad alcune decine di milioni di tonnellate di carbonio in Lombardia.

In futuro saranno quindi necessari studi specifici per definire e testare criteri metodologici e standard di riferimento per la descrizione ed analisi degli orizzonti olorganici e l'adozione di programmi di monitoraggio dei suoli che tengano conto anche di questo comparto ambientale.

INDICATORI DI STATO RELATIVI AL CARBONIO NEL SUOLO

Il carbonio organico è un fattore chiave per numerose differenti funzioni dei suoli e svolge quindi un ruolo fondamentale nel regolare molti fenomeni di rilevanza ambientale, agricola e territoriale. La necessità di un approccio multidisciplinare e integrato nella gestione dell'ambiente richiede d'altra parte una caratterizzazione complessiva dei fattori che ne condizionano l'evoluzione per poter essere da guida nella scelta delle politiche e delle strategie di intervento più opportune. Le politiche europee coinvolte sono infatti molteplici e richiedono stretta integrazione reciproca, riguardando i temi dell'agricoltura, dello sviluppo rurale, della strategia tematica per la protezione del suolo, del cambiamento climatico, della biodiversità, della desertificazione.

Nel caso del "carbonio organico dei suoli", accanto allo "stock" sono stati a tal fine recentemente proposti alcuni altri indicatori di stato (ESEN Plenary Meeting & Common Criteria Workshop, Hannover, Germany – April 2007), per i quali sono in corso test di validazione condotti sia a scala europea che locale in diverse Regioni.

Il set di indicatori proposto si basa sulla interpretazione e rielaborazione di sistemi di conoscenze sui suoli esistenti, in modo che possano essere effettivamente implementati e mantenuti aggiornati nel tempo a costi sostenibili, siano trasparenti e misurabili, e possano pertanto divenire strumenti comuni e condivisi ai quali relazionare le politiche applicative connesse con la gestione della sostanza organica.

Partendo dalla base informativa sui suoli regionali sono stati quindi elaborati e rappresentati cartograficamente tre altri indicatori di stato sul carbonio nei suoli, che si aggiungono alla analisi dello stock regionale illustrata nel precedente paragrafo.

Tali indicatori fanno riferimento al "Potenziale di cambiamento" dello stock di carbonio nei suoli, espresso in termini di "potenziale di accumulo" e di "potenziale di perdita", e alla "Probabilità di cambiamento", espressa come "Rischio di perdita".

Le basi teoriche di questi indicatori sono descritte nella seguente figura 5.

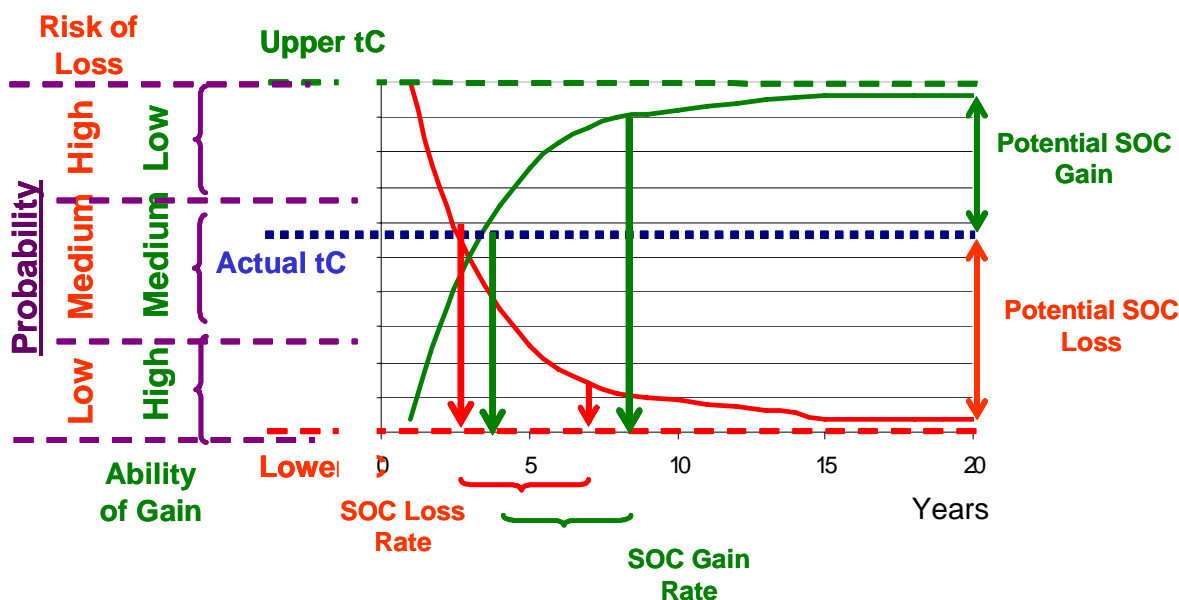


Fig 5 – schema illustrativo degli indicatori di stato relativi al carbonio nel suolo

Successivamente vengono commentati i risultati delle tre elaborazioni effettuate, che in futuro potranno eventualmente richiedere di essere approfondite o anche riviste a seguito degli sviluppi metodologici e interpretativi che avranno gli indicatori proposti.

Potenziale di accumulo di carbonio (PCS – *Potential Carbon Sequestration*)

Questo indicatore intende esprimere la capacità potenziale teorica di sequestrare carbonio da parte delle diverse tipologie di suolo, sulla base della differenza tra i valori massimi e quelli medi/modali rilevati per quel suolo in un determinato territorio..

Nell'applicazione al caso lombardo sono stati quindi presi in considerazione tutti i dati analitici riferiti alle tipologie di suolo identificate in Regione ed è stato effettuato un controllo di qualità sui dati stessi in modo da escludere quelli anomali; va inoltre tenuto presente che le elaborazioni relative alle tipologie di suolo della montagna (Alpi e Appennino) sono state tenute distinte da quelle effettuate per i suoli di pianura in modo da evitare interferenze sui risultati dovute alla occorrenza geografica in zone pedoclimatiche diverse.

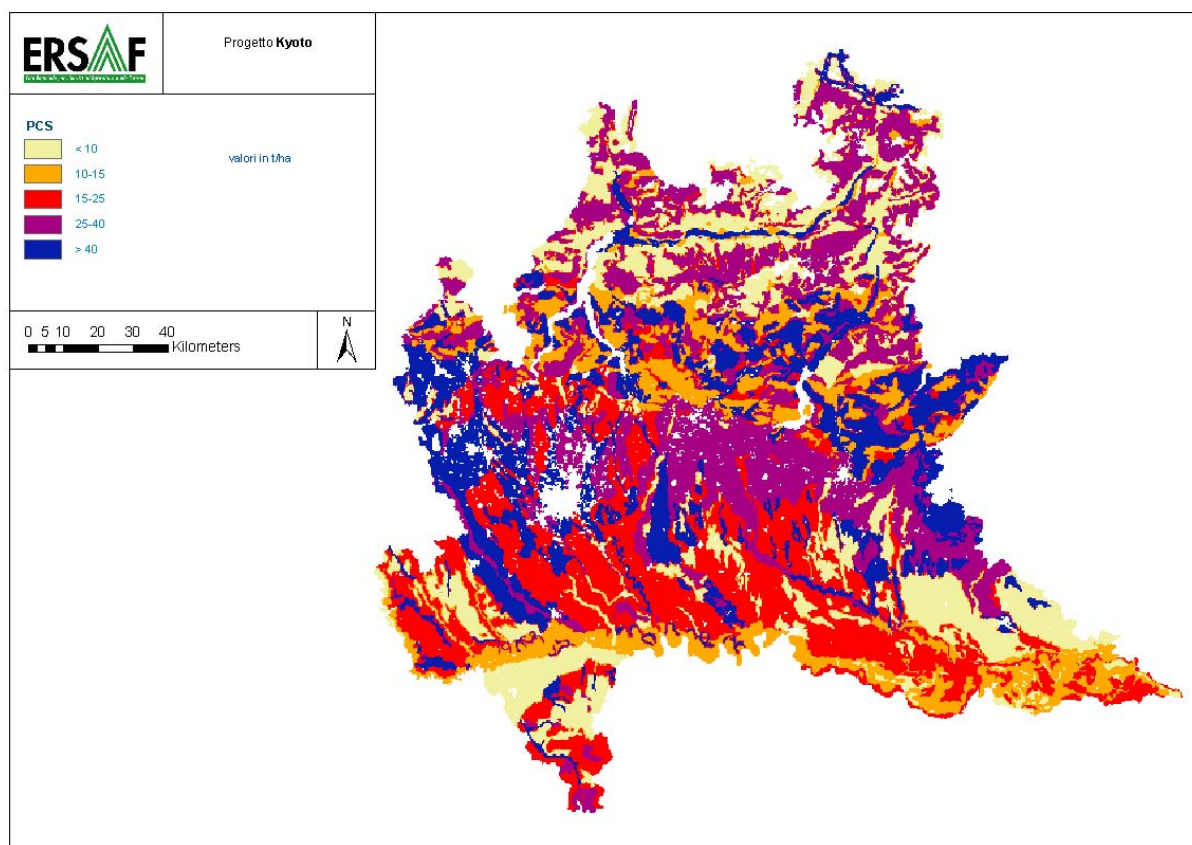


Fig 6 – potenziale di accumulo di carbonio nei suoli della Lombardia

In figura 6 è riportata la rappresentazione dell'indicatore calcolato per la Lombardia con riferimento ai primi 30 cm di suolo. La cartografia, in comparazione con quella relativa allo stock, evidenzia:

- Potenziali teorici di sequestrazione del carbonio in genere relativamente alti in pianura; ciò suggerisce l'esistenza di una situazione di depauperamento significativo dei suoli, che è in accordo con stock medi/modali tendenzialmente bassi in tale area che si accompagnano a contenuti in carbonio talora più elevati, ma isolati e "distanti dalla media".
- Potenziali molto variabili nella zona Alpina e Prealpina, correlati all'ampia differenziazione ambientale che si riflette anche in una consistente variabilità nei tenori in materia organica dei suoli; la contemporanea presenza di stock medi/modali elevati indica tuttavia poche possibilità di sequestrare in queste zone ulteriori consistenti quantitativi di carbonio, suggerendo piuttosto la necessità di privilegiare interventi finalizzati alla sua difesa e conservazione.

Potenziale di perdita di carbonio (PCL - *Potential Carbon Loss*)

L'indicatore è complementare al precedente ed esprime la potenziale perdita di carbonio da parte dei suoli in termini di differenza tra i valori medi/modali che contraddistinguono le tipologie pedologiche e i valori minimi rilevati per quelle stesse tipologie.

Dalla cartografia risultante, riportata in figura 7, emergono:

- Potenziali di ulteriore perdita di carbonio generalmente medio-bassi in pianura, in coerenza con i più limitati contenuti di carbonio dei suoli, ma pur sempre di un certo rilievo lungo le valli fluviali, soprattutto quella del Po e del Ticino, e le aree moreniche; nell'alta pianura nord-occidentale, dove i suoli sono più ricchi in sostanza organica, il potenziale di perdita risulta invece più alto e consistente, indicando, per certi aspetti, una condizione di maggiore fragilità.
- Un'ampia variabilità nei suoli montani, ma con una più spiccata diffusione di elevati potenziali di perdita di carbonio nelle Alpi Retiche e nell'Appennino rispetto alle Prealpi, con una tendenza che appare nel complesso opposta a quella segnalata dall'indicatore PCS.

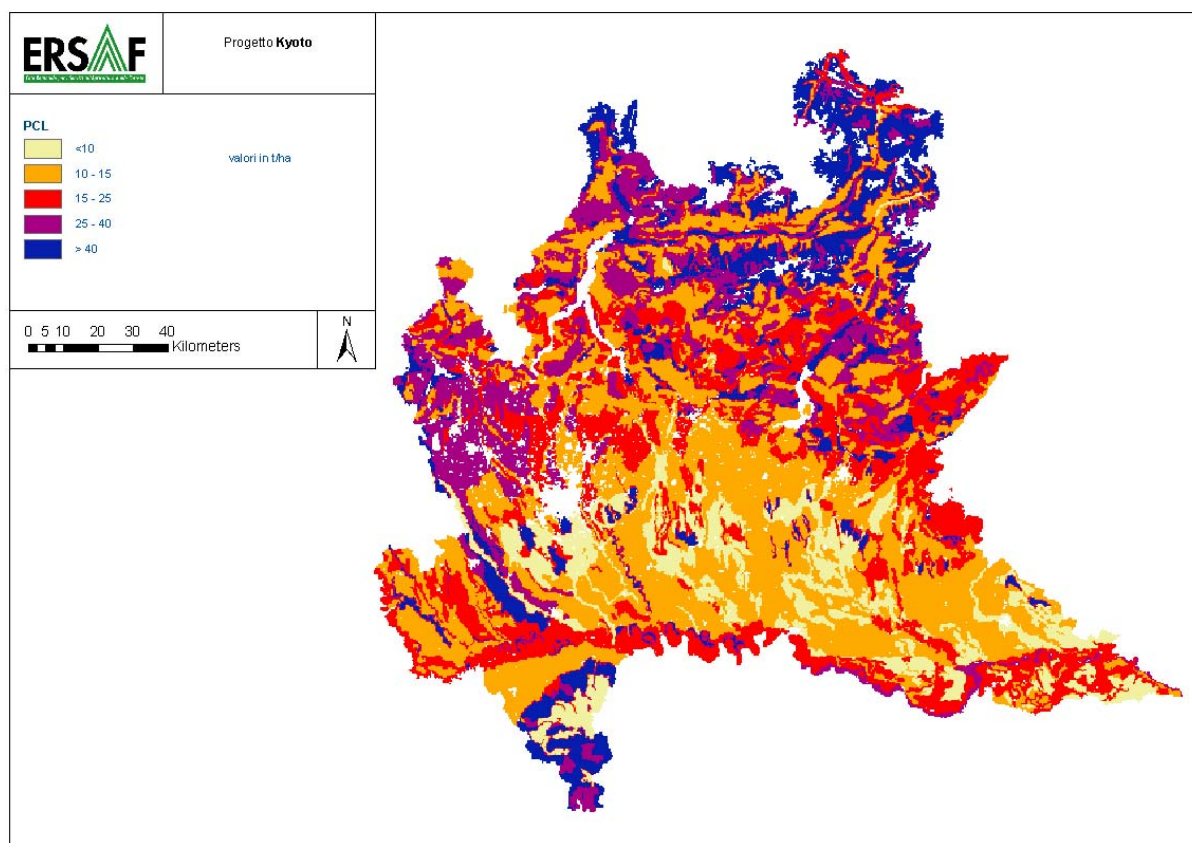


Fig 7 – potenziale di perdita di carbonio nei suoli della Lombardia

Rischio di perdita di carbonio

Questo indicatore è definito dalla posizione che assume il valore medio del contenuto di carbonio di una determinata tipologia di suolo nell'ambito dell'intervallo di variabilità che caratterizza tali valori. Se la media ricade nel terzo inferiore di tale intervallo, il rischio è considerato "basso", poiché in questo caso il set di valori rilevati per quel suolo è già spostato prevalentemente verso i valori inferiori e quindi più limitate sono anche le probabilità di andare incontro a perdite consistenti; viceversa, se la media ricade nel terzo superiore il rischio è classificato "alto".

La rappresentazione cartografica dell'indicatore, riportata in figura 8, fa rilevare:

- Rischi di perdita di carbonio dai suoli medi e bassi in pianura; il dato è in linea, anche in questo caso, con la presenza di stock di carbonio accumulati nei suoli più limitati, ma è interessante notare come la probabilità di perdere altro carbonio appaia non essere in realtà minore dove sono localizzati i suoli più poveri.
- Rischi medi e alti nelle Alpi, soprattutto quelle interne, e anche in Appennino; in questo caso può essere interessante notare che, mentre nelle Alpi ciò è associato alla presenza di suoli che immagazzinano stock consistenti di carbonio organico, negli ambienti Appenninici si verifica una relazione inversa che sembra indicare rischi elevati pur in presenza di suoli più poveri.

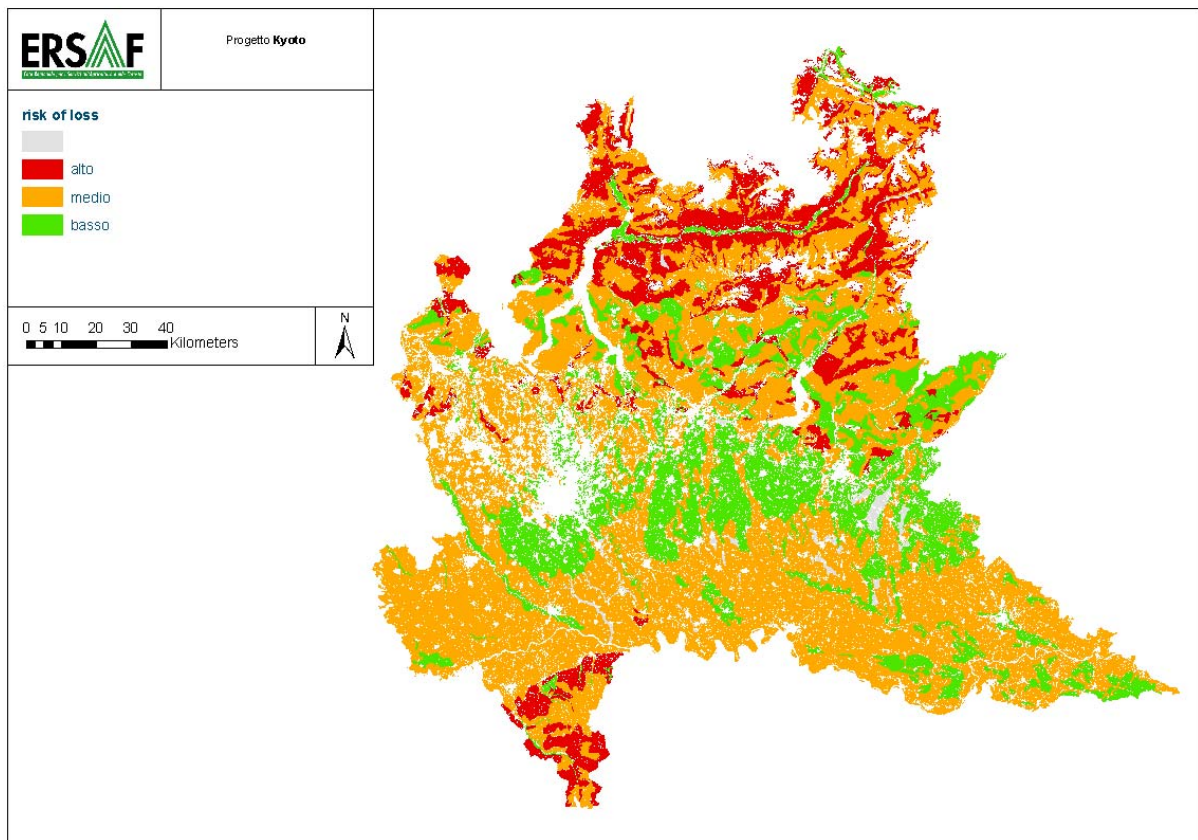


Fig 8 – rischio di perdita di carbonio nei suoli della Lombardia

Tasso potenziale annuo di incorporazione di carbonio nei suoli

In bibliografia autori diversi riportano tassi annui potenziali di incorporazione di carbonio nei suoli agroforestali variabili e caratterizzati da margini di incertezza molto elevati; a seconda degli studi vengono indicati valori che, nelle condizioni più favorevoli, possono arrivare a 2-3 fino a 4-5 t/ha/anno e, nei suoli coltivati sottoposti a forme di gestione adeguate, raggiungere ordinariamente tassi compresi tra 0,2 e 0,8 t/ha/anno.

Nel caso della Lombardia, considerando il potenziale di accumulo di carbonio (PCS – *Potential Carbon Sequestration*) rilevato per i suoli della pianura, si possono fare le seguenti valutazioni:

- se si assume che l'80% della capacità potenziale di sequestrazione di carbonio (espressa dall'indicatore PCS) venga raggiunta in 5 anni (scenario favorevole), si possono ipotizzare tassi di incorporazione di 3,5 – 4,5 t/ha/anno;
- se, secondo uno scenario più prudente, si immagina che venga coperto il 20% del potenziale di sequestrazione in un arco di tempo più lungo (15 anni), il tasso medio di incorporazione di carbonio organico nei suoli della pianura può essere stimato in 0,3 – 0,4 t/ha/anno.

In ogni caso la reale capacità di immagazzinamento di carbonio da parte dei suoli dipende da molteplici fattori e dalle interazioni spesso complesse che tra di essi si determinano.

Le condizioni pedoclimatiche, le pratiche gestionali dei terreni e il contenuto di partenza in carbonio sono i principali di tali fattori.

Tuttavia su questi aspetti le conoscenze restano ancora relativamente circoscritte e, per una migliore comprensione dei processi evolutivi del tenore in carbonio dei suoli, si rendono necessari studi condotti anche nelle diverse realtà locali.

Vi è invece un generale consenso sul fatto che effetti positivi sulla possibilità di recupero di più alti contenuti in carbonio nei suoli coltivati sono indotti da misure quali:

- la riduzione delle lavorazioni del terreno (“minimum” o “zero tillage”);
- la diversificazione delle colture e delle rotazioni;
- l’introduzione di colture di copertura da sovescio;
- l’utilizzazione razionale dei residui colturali e della fertilizzazione organica;
- la realizzazione di fasce tampone (“buffer zones”) e la conversione dei terreni marginali a prato permanente o a bosco.

Infine va ricordato che maggiori dotazioni in sostanza organica nei suoli non sono esclusivamente 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.

MONITORAGGIO DEI SUOLI

La base informativa dei suoli regionale è stata allestita nel quadro della realizzazione dei programmi di rilevamento e cartografia pedologica attivati in Lombardia tra la metà degli anni 80’ e i primi anni 2000. Guardando al futuro, tuttavia, un sistema di conoscenze sui suoli moderno e all’altezza di fornire un supporto informativo adeguato richiede che il mantenimento e l’aggiornamento di tale base di dati sia affiancato ed integrato da altri strumenti.

In particolare, come evidenziato da più parti (si veda, ad esempio, la Comunicazione della Commissione Europea COM(2002) 179 “*Verso una strategia tematica per la protezione del suolo*”), emerge l’esigenza di:

- Selezionare e validare indicatori che consentano di leggere lo “stato dei suoli” in relazione alle politiche europee in materia di agricoltura, ambiente e territorio, argomento sul quale ci si è soffermati nel precedente paragrafo, e
- Sviluppare sistemi di monitoraggio a lungo termine delle variazioni che intervengono nelle proprietà e qualità dei suoli rilevanti a fini applicativi.

Il monitoraggio dei suoli, data la complessità e la variabilità della matrice, presenta numerosi elementi di difficoltà e rende necessaria la messa in opera di approcci differenti e maggiormente articolati, rispetto a quelli tradizionalmente adottati per altri comparti ambientali, quali acque o aria. Allo scopo di indagare questi aspetti e definire, a partire dall’esame di altre esperienze e da test di verifica condotti sul campo, criteri metodologici per l’allestimento di un “sistema di monitoraggio dei suoli regionali”, ERSAF ha in corso uno specifico progetto di ricerca, denominato “Soilqualimon” e sostenuto dalla DG Agricoltura nell’ambito del Piano della Ricerca in Agricoltura, la cui conclusione è prevista nel 2009.

Gli esempi e i riferimenti di maggiore interesse sulla tematica presi in considerazione sono:

- Il Réseau de Mesure de la qualité des Sols realizzato dall’INRA in Francia;

- Le esperienze australiane, principalmente indirizzate al monitoraggio della sostanza organica, realizzate nel quadro del National Accounting Carbon System;
- Il progetto “BioSoil - Biodiversity” condotto a livello europeo in attuazione del Regolamento (CE) 2152/2003 Forest Focus;
- Il documento ANPA-CTN_SSC sul Censimento delle reti di monitoraggio sul suolo in Europa;
- Il progetto sulla valutazione della concentrazione di composti organici e inorganici persistenti attraverso lo sviluppo di una rete di monitoraggio del suolo, realizzato in provincia di Pavia.

Sulla base delle indicazioni che emergono da tali esperienze, adattati al contesto organizzativo e conoscitivo regionale, gli elementi guida individuati per l’allestimento di una rete di monitoraggio dei suoli in Lombardia sui quali si sta sviluppando la sperimentazione prevista nel progetto Soilqualimon sono sintetizzabili nei seguenti punti:

- La necessità di progettare una “rete multiscopo”, non solo indirizzata al monitoraggio del carbonio nel suolo, ma anche di altre qualità e proprietà rilevanti, quali contenuto in metalli pesanti, fosforo, ecc.
- L’opportunità di impostare la rete su un reticolo a maglie fisse, in modo anche da rendere più agevole l’integrazione in reti di monitoraggio di livello nazionale ed europeo, e ricercando un compromesso tra fittezza dei punti di campionamento e costi (nell’ambito del progetto Soilqualimon si sta sperimentando una rete basata su una griglia 18x18 km coerente con il reticolo LUCAS, come evidenziato in figura 9).

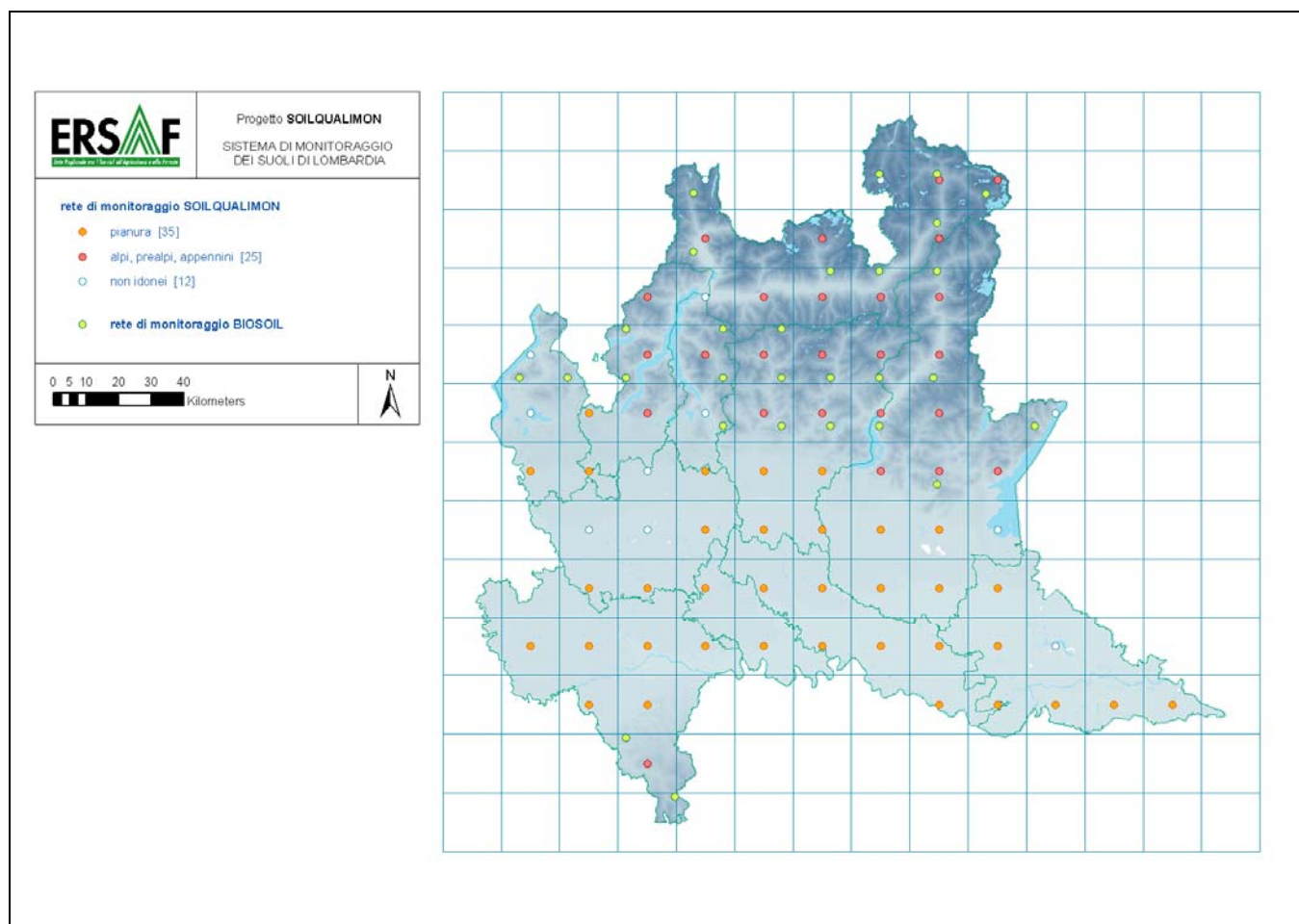


Fig. 9 – reti di monitoraggio dei suoli in Lombardia: rete progetto Soilqualimon (ERSAF) e rete Bio-Soil

- La verifica della rappresentatività dei siti campionati – sia per tipo di suolo che per combinazioni suolo-uso del suolo-gestione - , con l’eventuale integrazione della rete di monitoraggio con altri siti appositamente individuati (approccio che potrebbe essere richiesto, ad esempio, per le torbiere e in generale i suoli organici – i cosiddetti “*Hot Spots*” di interesse per la tematica carbonio – che hanno una distribuzione estremamente localizzata e quindi difficilmente intercettabile da una rete a maglie rigide).
- La definizione di criteri trasparenti e standardizzati per l’individuazione dei siti in campo e delle unità di monitoraggio, il campionamento e le analisi di laboratorio, ecc, con la predisposizione di specifici protocolli.
- L’integrazione funzionale di reti di monitoraggio previste in progetti diversi all’interno di un sistema regionale unico (in Lombardia, ad esempio, l’inserimento della rete Bio-Soil nella rete regionale Soilqualimon).
- L’esigenza di dare un carattere permanente e strutturale al monitoraggio rendendolo parte del sistema di conoscenza sui suoli regionale in diretta connessione con lo sviluppo di indicatori di stato e l’aggiornamento della base informativa pedologica.

Tornando al tema specifico dello stock di carbonio dei suoli va peraltro rilevato che la verifica nel tempo dei cambiamenti che su di esso intervengono richiedono anche:

1. di prendere in considerazione le variazioni nell’uso del suolo e il tasso di “consumo” di suolo; in proposito, approfondimenti sono ancora necessari per una precisa definizione di quanto, a parità di suolo, nelle diverse tipologie pedologiche, può variare l’incorporazione di materia organica al modificarsi della copertura vegetale o della gestione agricola (ad esempio a seguito dell’introduzione di tecniche di “minimum tillage”), sostanzialmente sconosciuta è tutta la problematica dei suoli delle aree urbane e dell’entità della reale perdita di carbonio da suoli che vengono urbanizzati. Si segnala in ogni caso che, con il completamento previsto per la fine del 2008 della nuova base informativa dell’uso e copertura del suolo DUSAF 2, sarà eventualmente possibile rideterminare lo stock di carbonio nei suoli regionali comparando la situazione a 7-8 anni di distanza.
2. di definire protocolli per “certificare” i cambiamenti intervenuti nello stock di carbonio di una determinata unità territoriale ristretta, sia essa una “unità di monitoraggio” o un appezzamento agricolo, nel caso ad esempio di applicazioni nel contesto delle misure di Sviluppo Rurale. A questo proposito va osservato che i limiti di confidenza attribuiti alla stima del contenuto in carbonio dei suoli sono, nell’opinione generale, piuttosto ampi. Uno degli aspetti chiave da considerare nel valutare l’applicabilità della metodologia di campionamento prescelta è dunque il grado di eterogeneità del suolo a cui il metodo resta operativamente valido; infatti, è comune opinione che in presenza di una alta variabilità del suolo nel sito di indagine potrebbe diventare aleatorio, se non impossibile, rilevare piccoli, ma reali, cambiamenti nello stock di carbonio immagazzinato nel suolo stesso. In ogni caso, i temi relativi alla più opportuna strategia di campionamento in condizioni differenti di suolo e vegetazione, alla precisione nella individuazione del punto di campionamento stesso in campo e ai criteri per l’esclusione di eventuali dati anomali in grado di influenzare significativamente i risultati del rilevamento sono aspetti determinanti della metodologia sui quali si stanno sviluppando esperienze specifiche nel contesto agroambientale lombardo nell’ambito del già citato progetto Soilqualimon.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ANPA CTN_SSC (2002) – *Censimento delle reti di monitoraggio sul suoli in Europa*
- Australian Greenhouse Office (2000), *National Carbon Accounting System – Technical Report n, 14*
- Batjes N.H. (1996) *Total carbon and nitrogen in the soils of the World* - European Journal of Soil Science, n° 47, pp 151-163
- Brenna S, D'Alessio M., Solaro S. (2004) *Carta dei suoli della Lombardia, scala 1:250.000* ERSAF
- Cindolo C. e Petriccione B. (2006) progetto *Biosoil Biodiversity: valutazione della biodiversità forestale sulla rete sistematica di livello 1 – Manuale Nazionale Italia*, Corpo Forestale dello Stato
- D.M. del 13/09/1999. *Approvazione dei “Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo”*. Emanato dal Ministero delle Risorse Agricole e Forestali. Pubblicato su G.U. n° 248 del 21/10/1999.
- ERSAF (2004) *Suoli e Paesaggi delle Province Lombarde* 8 volumi: Bergamo, Brescia, Cremona, Lodi, Milano, Mantova, Pavia, Varese-Como-Lecco.
- European Commission – Eurostat (2005), *LUCAS 2005 (Land Use/Cover Area Frame Survey)*
- European Commission – COM(2006) 232 *Proposal for a directive establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC*
- European Commission – COM(2002) 179, *Towards a Thematic Strategy for Soil Protection*
- European Union – Directive 2007/2/EC *establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Union (INSPIRE)*, Boll. Uff. UE L108/1 del 25.04.07
- FAO (2006) – *World reference base for soil resources 2006*, World Soil Resources Reports n. 103
- Grogan P. and Matthews R. (2004) *Review of the potential for soil carbon sequestration under bioenergy crops in the UK*, MAFF Report, Cranfield University, Silsoe, United Kingdom
- Hollis, J.M., Brown, C.D. and Hallett, S.H. (1997) *Coupling models and Geographical Information Systems for environmental risk evaluation* Actes du Séminaire National; Produits Phytosanitaires, Processus de Transfert et Modélisation dans les Bassins Versants: Hydrosystèmes. Cemagref, Nancy, France 22-23 Mai 1996, 203-213.
- IPCC (2003), *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry LULUCF*
- Jolivet C, Boulonne L., Bodineau G., Lehmann S., Berche P., Arrouays D, (2002), *Réseau de Mesure de la qualité des Sols - Cahiers des Charges*, INRA, Unité Infosol, Orléans, France
- National Soil Resources Institute (2001) *Natmap*, Cranfield University, Silsoe, United Kingdom
- Paolillo P.L. (2002) – *Problematiche del parametro suolo*, Ed. Franco Angeli
- Provincia di Pavia e Commissione Europea – IES (2006) – *Il suolo della Provincia di Pavia*, Edizioni Torchio de Ricci
- Regione Lombardia (2003) *DUSAF - Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali a scala 1:10.000*, ERSAF
- Stolbovoy V., Montanarella L., Filippi N., Selvaradjou S., Panagos P. and Gallego J. (2005) *Soil Sampling Protocol to Certify the Changes of Organic Carbon Stock in Mineral Soils of European Union*. EUR21576EN, Office for Official Publications. of the European Communities, Luxembourg.
- Stolbovoy V., Montanarella L., Filippi N., Rusco E., Toth G. (2007) *Soil Organic Carbon Status Indicators*, ESEN Plenary Meeting & Common Criteria Workshop, Hannover, Germany -April 2007
- West T.O. and Post W.M. (2002), *Soil organic carbon sequestration by tillage and crop rotation: a global data analysis*, Soil Science Society of America Journal 66:1930-1946 (2002)