



Regione Emilia-Romagna



servizio geologico  
sismico e dei suoli

**CARTA DEL CONTENUTO  
PERCENTUALE DI  
CARBONIO ORGANICO NEI  
SUOLI DELLA PIANURA  
EMILIANO-ROMAGNOLA  
STRATO 0-100 cm**

scala 1:50.000

**NOTE ILLUSTRATIVE 2016**

a cura di:

**Francesca Staffilani, Paola Tarocco**

*Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli*

**Fabrizio Ungaro**

*CNR-IBIMET, Firenze*



CARTA DEL CONTENUTO % DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA STRATO 0-100 cm.  
SCALA 1:50.000.



## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>DEFINIZIONI.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA CARTA .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>CONSULTAZIONE DELLA CARTA SUL WEB .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1</b>	<b>Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH.....</b>	<b>11</b>
<b>4.2</b>	<b>Scaricamento dati.....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA UTILIZZATA .....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>18</b>



CARTA DEL CONTENUTO % DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA STRATO 0-100 cm.  
SCALA 1:50.000.



## 1 INTRODUZIONE

Il carbonio organico costituisce circa il 58% della materia organica, che è quella frazione di suolo composta da qualsiasi cosa che una volta era vivente: resti di piante ed animali in vari stadi di decomposizione, cellule e tessuti di organismi del suolo e sostanze derivanti dalle radici delle piante e dai microrganismi.

La materia organica presente nel suolo svolge diverse funzioni quali:

- stabilizza e trattiene insieme le particelle di suolo favorendo l'aggregazione e riducendo i fenomeni di erosione;
- conserva e fornisce nutrienti necessari alla crescita vegetale e dei microrganismi;
- trattiene gli elementi nutritivi grazie alla sua capacità di scambio cationica ed anionica;
- migliora la struttura del suolo, rendendola più grumosa, con conseguente aumento della porosità e della permeabilità, contribuendo così a regolare i flussi idrici superficiali e profondi;
- riduce gli effetti negativi sull'ambiente dei fitofarmaci, metalli pesanti e molti altri inquinanti.

La materia organica, agendo sull'aggregazione del suolo, riduce la formazione di croste superficiali, aumenta la velocità di infiltrazione dell'acqua, riduce lo scorrimento superficiale e facilita la penetrazione delle radici vegetali.

Per le molteplici funzioni che svolge il carbonio organico del suolo la Commissione Europea nella "Strategia tematica per la protezione del suolo" (COM2006/231) individua nella diminuzione del contenuto di carbonio organico nei suoli una grave minaccia ed un elemento di degrado del suolo. Inoltre nel 7° programma di azione per l'ambiente (7°PAA, Decisione N.1386/2013/UE), pone come obiettivo "*un mondo esente dal degrado del suolo nel contesto dello sviluppo sostenibile*" (Conclusioni di Rio+20 "The future we want"), riconoscendo le minacce a cui è sottoposto il suolo come minacce per l'intera umanità.

Per far sì che le strategie europee e nazionali siano efficaci è necessario avere piena conoscenza del territorio e delle sue potenzialità a livello locale. A tal fine la Regione Emilia-Romagna promuove il continuo aggiornamento della banca dati dei suoli regionali e garantisce la divulgazione dei dati raccolti attraverso la produzione e la pubblicazione di cartografie tematiche.

La "Carta del contenuto percentuale di carbonio organico nei suoli della regione Emilia-Romagna" con riferimento ai primi 30 cm di suolo fornisce una stima del contenuto percentuale medio di carbonio organico,

## 2 DEFINIZIONI

Il **carbonio organico del suolo (SOC)** è una componente della materia organica del suolo (SOM) ed è con essa in stretta relazione. La materia organica del suolo deriva essenzialmente dai residui vegetali e animali che giunti al suolo vanno incontro a processi di decomposizione, fermentazione e trasformazione operata dagli organismi viventi del suolo sotto l'influenza della temperatura, dell'umidità e delle condizioni del suolo stesso. A questi fattori si aggiunge anche l'influenza esercitata dall'uso del suolo e dalla tipo di gestioni dei suoli agricoli. Il SOC è uno dei principali indici di qualità del suolo.

Data la complessità strutturale della materia organica, in laboratorio si preferisce eseguire la determinazione del contenuto di carbonio organico che per convenzione può essere ricondotto al valore di sostanza organica attraverso il fattore di Van Bemmelen (S.O. = 1,724 C.O.) (Jackson, 1965). La determinazione di laboratorio fornisce valori di carbonio organico espressi in percentuale o meglio in  $g \cdot kg^{-1}$ .

I valori analitici di CO alla base della elaborazione geostatistica sono stati determinati con due metodi di laboratorio: Walkley and Black modificato (D.M. 13/9/99 Metodo VII.3) e Analizzatore Elementare (D.M. 13/9/99 Metodo VII.1- ISO10694). Nella presente analisi, a carattere esclusivamente regionale, i metodi VII.3 e VII.1. sono stati ritenuti confrontabili.



### 3 DESCRIZIONE DELLA CARTA

La “Carta del contenuto percentuale di carbonio organico dei suoli della pianura emiliano-romagnola”, come più ampiamente descritto nel paragrafo 5- Metodologia utilizzata, è il risultato di una elaborazione che, a partire da valori puntuali di carbonio organico, tiene conto della distribuzione dei suoli, a cui questi valori si riferiscono, in ragione anche dei diversi usi del suolo e ordinamenti colturali che caratterizzano ciascun territorio comunale. Questo fa sì che ne esca un quadro descrittivo che riflette non solo la distribuzione dei suoli ma anche le pratiche colturali che insistono sui suoli stessi influenzandone il contenuto di CO.

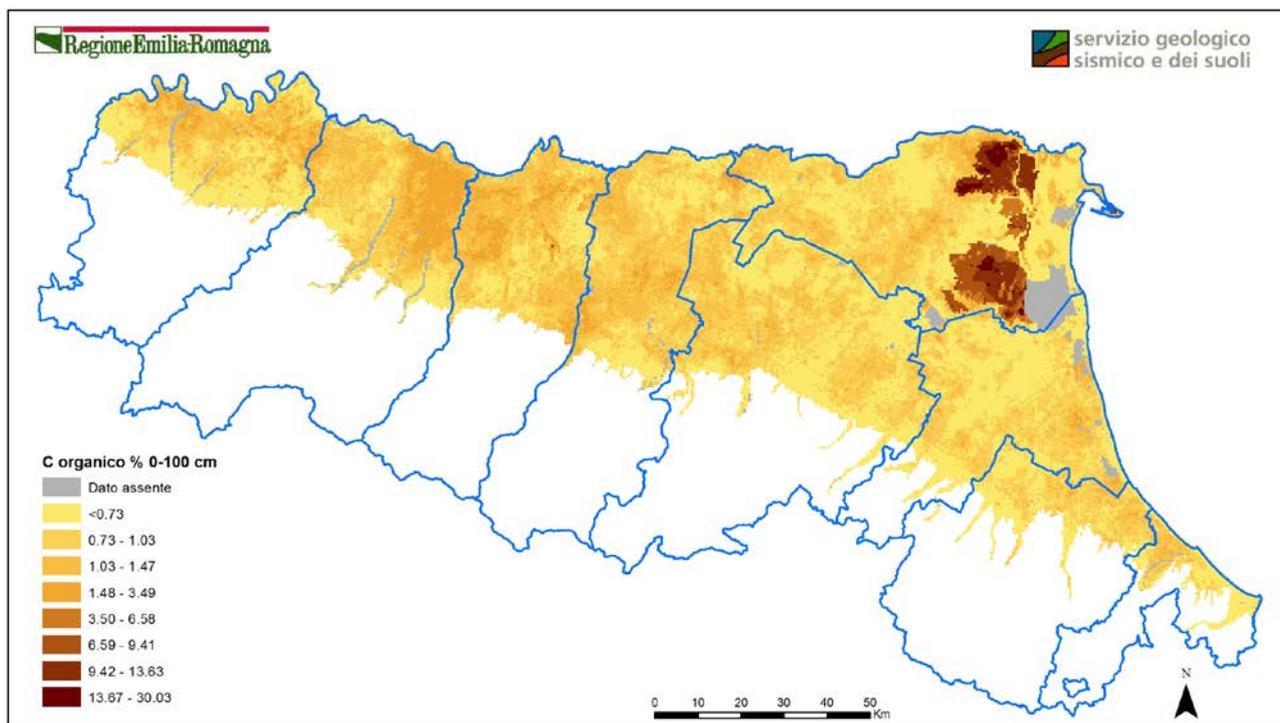


Figura 1. Carta del Carbonio Organico % nello strato 0-100 cm nei suoli di pianura

Come evidenziato in Tabella 1 le aree con maggior contenuto di carbonio organico sono presenti nel distretto agricolo di Ferrara con un valore medio pari a circa il 2.45% contro una media regionale di 1.21%. In questo distretto i valori sono da imputare essenzialmente ai tipi di suoli presenti; si tratta infatti spesso di suoli sviluppati su depositi torbosi di aree in passato palustri ed ora bonificate.

Oltre a Ferrara i valori più alti si trovano in molte zone dei distretti agricoli di Reggio Emilia (1.06%) e Parma (1.08%); il maggior contenuto di carbonio organico di queste aree è da imputarsi alle colture foraggere, sia avvicendate che di prati stabili, legate alle produzioni zootecniche e casearie (distretto del formaggio Parmigiano-reggiano), ancora oggi diffuse nel territorio (Tabella 2). I valori più bassi si osservano nel distretto di Bologna e nei distretti agricoli romagnoli dominati dalla frutticoltura (Rimini: 0.69%, Ravenna: 0.74%, Forlì-Cesena: 0.76%) dove, con l'evoluzione dell'uso e della gestione del suolo successivi agli anni '50, sono pressoché scomparse le colture foraggere ed è venuto meno nello stesso tempo l'apporto di sostanza organica da deiezioni zootecniche.

Distretto		1	4	7	10	13	16	19	22	25
C org. %	RER	Piacenza	Parma	Reggio E.	Modena	Bologna	Ravenna	Forlì-Cesena	Rimini	Ferrara
Minimo	0.07	0.10	0.11	0.18	0.20	0.14	0.09	0.15	0.09	<b>0.07</b>
Massimo	30.03	3.07	2.92	9.57	3.45	2.39	2.2	1.73	1.57	<b>30.03</b>
<b>Media</b>	1.21	0.86	1.08	1.06	0.94	0.78	0.74	0.76	0.69	2.45
DevStandard	1.87	0.40	0.45	0.37	0.31	0.24	0.25	0.23	0.3	3.77

Tabella 1. Statistiche descrittive dalla Carta del CO% 0-100 cm: dati aggregati per distretto agricolo



Provincia	seminativi annuali	prati avvicendati	prati permanenti e pascoli	legnose agrarie	SAU	arboricoltura da legno	boschi
Piacenza	41077.53	7761.99	929.15	386.9	50155.57	553.87	460.48
Parma	28632.56	28799.06	2027.86	324.44	59783.92	336.15	482.27
Reggio Emilia	27162.6	24947.87	8318.24	7621.50	68050.21	730.15	586.69
Modena	51204.17	18833.91	579.57	14403.14	85020.79	512.8	865.96
Bologna	85498.79	17281.96	2049.14	10920.83	115750.72	322.33	2403.38
Ravenna	56321.13	14627.02	651.1	3'639.65	104238.9	199.43	1709.70
Forlì-Cesena	20046.9	5529.22	1099.97	13542.91	40219	193.49	1935.04
Rimini	6534.53	2660.87	178.18	2'197.18	11570.76	79.78	539.9
Ferrara	146061.02	14814.44	606.4	15310.84	176792.7	841.02	790.21
<b>Pianura</b>	<b>462539.23</b>	<b>135256.34</b>	<b>16439.61</b>	<b>97347.39</b>	<b>711582.57</b>	<b>3769.02</b>	<b>9773.63</b>

Tabella 2. Superficie investita dalle aziende per tipo di coltivazione, provincia e nella zona altimetrica di pianura con localizzazione del centro aziendale. Superficie in ettari. Emilia-Romagna - Censimento Agricoltura 2010

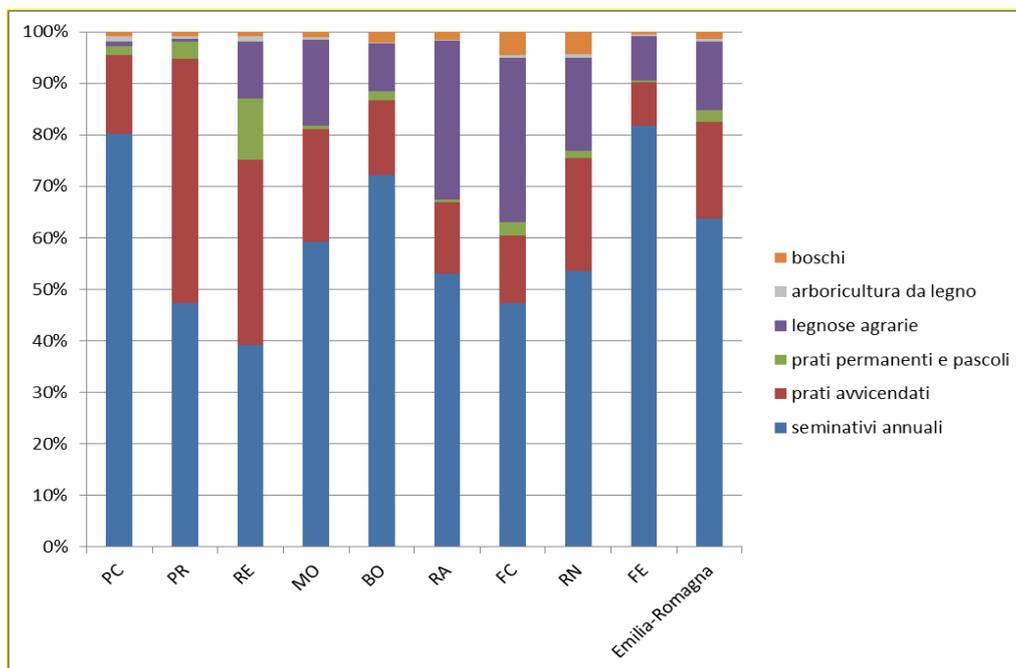


Figura 2. Superficie percentuale investita dalle aziende per tipo di coltivazione, provincia e nella zona altimetrica di pianura con localizzazione del centro aziendale (da tabella 2). Emilia-Romagna - Censimento Agricoltura 2010

In generale nei suoli il contenuto di carbonio organico decresce con la profondità tranne nel caso di presenza di orizzonti sepolti o di livelli organici. Il decremento può essere contenuto, come ad esempio nel caso dei suoli molto argillosi oppure drastico, come nel caso dei suoli antichi pleistocenici, motivo questo del basso valore medio di carbonio della pianura piacentina, dove questi suoli sono particolarmente diffusi (fig. 6).

Nei grafici che seguono (da figura 3 a figura 10) sono rappresentati alcuni **trend dell'andamento del contenuto di CO con l'aumentare della profondità di alcuni suoli tipici** della pianura. In ordinata i valori di CO%, in ascissa le profondità in cm.

I CER1 (fig. 3) sono suoli sabbiosi, molto diffusi nella pianura costiera e caratterizzati da valori di CO molto bassi. I BEG1 (fig. 4), tipici delle depressioni della pianura alluvionale reggiana, modenese e bolognese, sono suoli molto argillosi con decremento del contenuto di CO contenuto col crescere della profondità. I MON1 (fig. 5) si trovano nelle conoidi della piana pedemontana a cavallo della via Emilia tra Parma e Bologna, sono suoli caratterizzati da un aumento del contenuto di CO alla profondità di circa 100 cm dovuto alla presenza di orizzonti sepolti, ossia di orizzonti un tempo presenti in superficie dove hanno avuto modo di arricchirsi di CO e successivamente ricoperti da materiale alluvionale su cui si sono evoluti i suoli MON1. I CTD1 (fig. 6) sono suoli molto antichi, si trovano nel margine appenninico piacentino e parmense e presentano un brusco calo del CO sotto l'orizzonte superficiale che si mantiene poi quasi costante



attestandosi mediamente su valori molto bassi ( $\leq 0.2\%$ ). I suoli VME1 (fig. 7) si trovano nella valle del Mezzano nel ferrarese, sono suoli organici formatisi su depositi torbosi con valori elevati di CO anche in profondità, che possono essere interrotti dalla presenza di strati a prevalente componente minerale.

I suoli CLN1 (fig. 8), anch'essi caratterizzati da elevati contenuti di carbonio organico, si trovano invece nelle valli intorno a Jolanda di Savoia nel Ferrarese. A differenza dei suoli VME1, i contenuti più elevati di carbonio legati agli orizzonti organici si trovano in profondità, alternati a strati a prevalente componente minerale. Lo stesso trend si trova nei suoli JOL1, che si ritrovano nei medesimi ambienti.

I SMB (fig. 9 e 10) sono suoli recenti, diffusissimi nei dossi dei principali fiumi appenninici e nelle zone di transizione verso le valli e sono caratterizzati da un decremento regolare del contenuto di CO con l'aumentare della profondità.

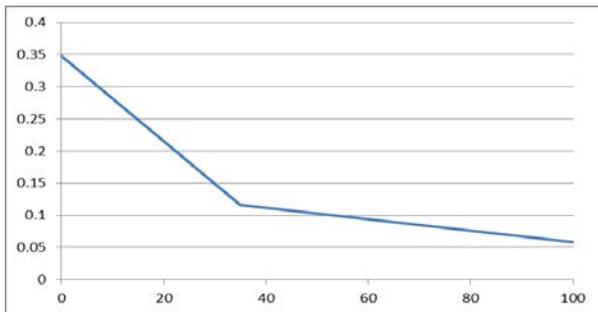


Figura 3. Suoli CER1. Pianura costiera

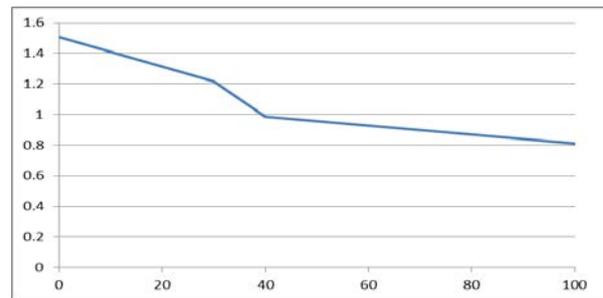


Figura 4. Suoli BEG1. Depressioni pianura alluvionale

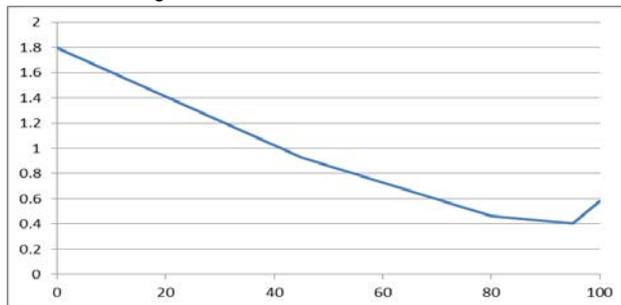


Figura 5. Suoli MON1. Conoidi piana pedemontana

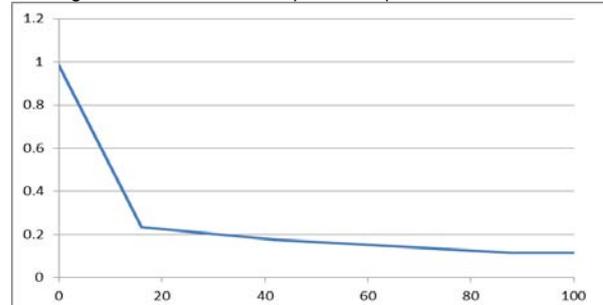


Figura 6. Suoli CTD1. Paleconoidi margine appenninico

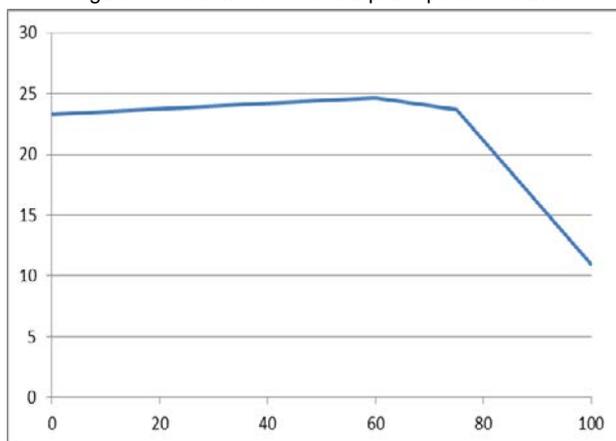


Figura 7. Suoli VME1. Valli di recente bonifica pianura deltizia

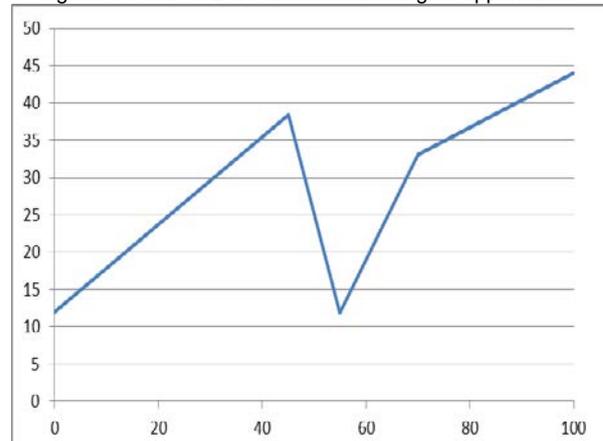


Figura 8. Suoli CNL1. Valli della pianura deltizia

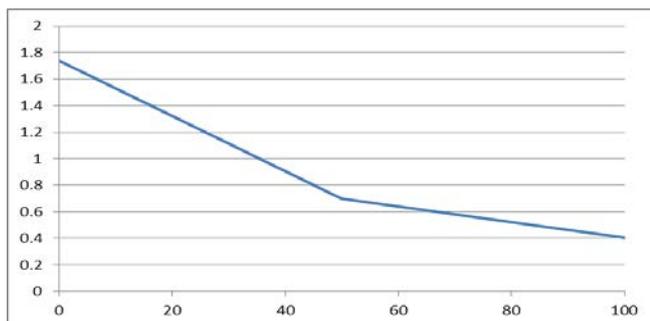


Figura 9. Suoli SMB1. Dossi pianura alluvionale emiliana

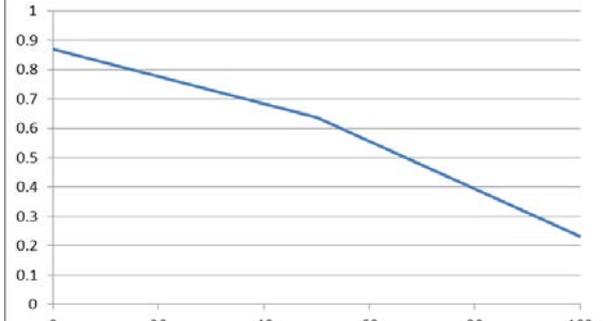


Figura 10. Suoli SMB2. Dossi pianura alluvionale romagnola



Nelle immagini seguenti si è focalizzata l'attenzione su alcune zone della pianura, raffigurando la carta dei suoli 1:50.000 sovrapposta alla carta del CO.

In figura 11 è rappresentata parte della pianura ferrarese e si nota subito la distribuzione non omogenea del contenuto di carbonio. Il valore medio provinciale di CO in questi casi ha poco significato, considerando la presenza in questa provincia dell'ambiente della piana deltizia esterna, dove si trovano suoli organici o ad elevato contenuto di carbonio (valori più alti della pianura) e la piana costiera dove si trovano suoli sabbiosi con i valori più bassi dell'intera pianura. E' comunque interessante notare, in quest'ultimo ambiente, la presenza di valori di CO più alti in corrispondenza delle antiche zone interdunali (unità cartografiche CER1/CER2, CER2/BTT1), ora spianate e morfologicamente meno cospicue, ma ancora evidenziabili in campagna dalla presenza visiva, nei suoli arati, di "bande" di colore più scuro (sabbie chiare-sabbie scure).

In figura 12 è rappresentata parte della pianura piacentina, dove sono evidenti i bassi valori di CO nei suoli antichi delle paleoconoidi (unità cartografiche GHI1, CTD1, BAR1), o all'opposto nei suoli recenti della piana a meandri del fiume Po (unità cartografiche CAS1-MOR1).

In figura 13 è rappresentata l'alta pianura fra le province di Parma e Reggio Emilia, dove è evidente l'influenza della componente agronomica-gestionale dei suoli sul contenuto di carbonio organico; è infatti la zona del Parmigiano-Reggiano dove sono diffusi i prati permanenti e avvicendati e dove è ancora frequente l'uso di concimi organici legati alla zootecnia. In queste aree il contenuto di CO è diffusamente alto anche se i caratteri del suolo ne influenzano il contenuto come testimoniato dai bassi valori di CO presenti sull'altopiano del Ghiardo in provincia di Reggio Emilia (unità cartografiche GHI1-BAR1 e GHI1), dove sono diffusi suoli antichi a forte componente limosa, nonostante che in questa zona, considerata la culla del Parmigiano-Reggiano, siano ampiamente diffusi i prati stabili.

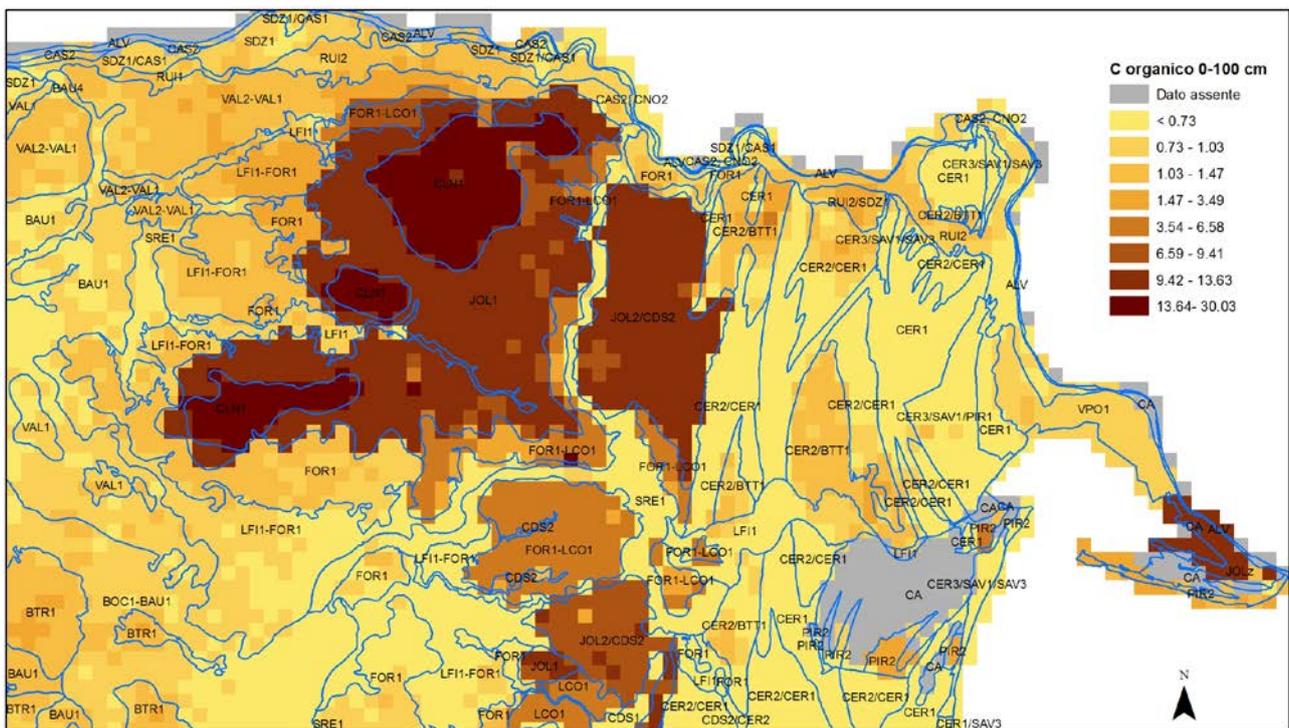


Figura 11. Particolare della carta del CO con sovrapposta la carta dei suoli in scala 1:50.000 (pianura ferrarese)



CARTA DEL CONTENUTO % DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA STRATO 0-100 cm.  
SCALA 1:50.000.

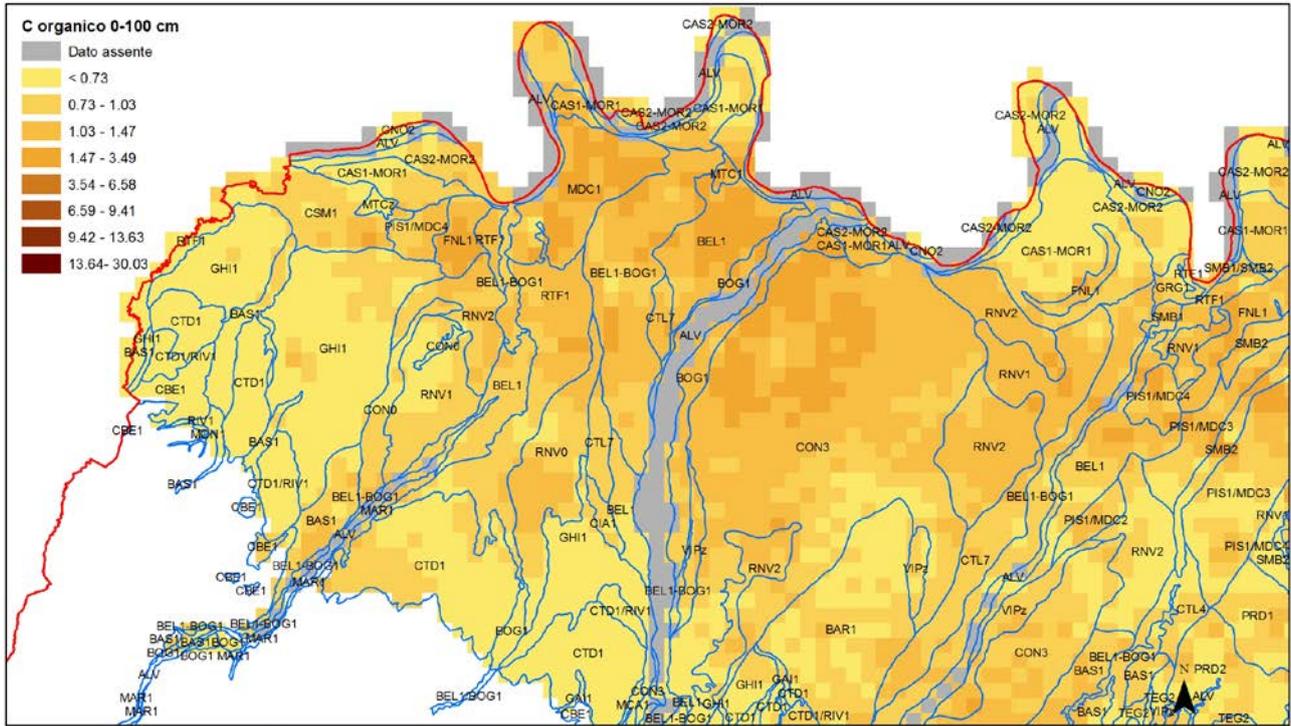


Figura 12. Particolare della carta del CO con sovrapposta la carta dei suoli in scala 1:50.000 (pianura piacentina)

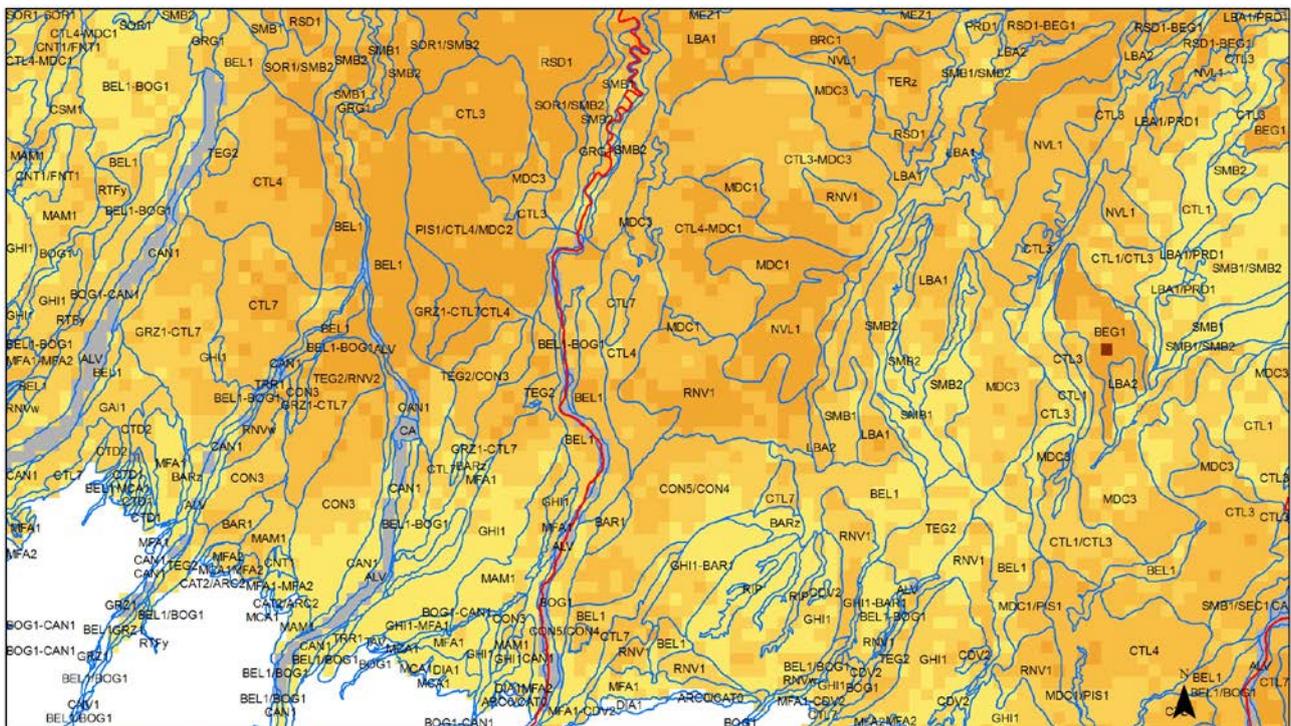


Figura 13. Particolare della carta del CO con sovrapposta la carta dei suoli in scala 1:50.000 (pianura reggiana-parmense)



## 4 CONSULTAZIONE DELLA CARTA SUL WEB

### 4.1 Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH

La carta della Carbonio Organico dei suoli della pianura tra 0-100 cm è consultabile sul sito [I suoli dell'Emilia-Romagna<sup>1</sup>](#), definito brevemente CARTPEDO, nella sezione **Carte delle proprietà chimico-fisiche**.

**1.2 Contenuto % di carbonio organico nei suoli della pianura tra 0-100 cm.** new

**Scala 1:50.000**

Il carbonio organico costituisce circa il 58% della materia organica, ossia quella frazione di suolo composta da qualsiasi cosa che una volta era vivente. La materia organica svolge diverse funzioni essendo in grado di influenzare positivamente le proprietà fisiche, chimiche e biologiche del suolo.

La diminuzione del contenuto di materia organica nei suoli è considerata una minaccia ed un elemento di degrado del suolo così come indicato nella comunicazione "Strategia tematica per le protezioni del suolo" della Commissione Europea (COM2006/231).

La carta rappresenta la distribuzione areale nei suoli di pianura del contenuto percentuale di carbonio organico nel primo metro (0-100 cm). La carta è stata elaborata a partire dai dati estrapolati dalla Banca Dati dei Suoli della Regione Emilia-Romagna relativi al periodo 1974-2015.

- apri la [Carta del contenuto % di carbonio organico nei suoli della pianura tra 0-100 cm.](#) in Google Earth
- apri la [Carta del contenuto % di carbonio organico nei suoli della pianura tra 0-100 cm.](#) con il Plugin di Google Earth
- apri le note illustrative della [Carta del contenuto % di carbonio organico nei suoli della pianura tra 0-100 cm.](#)
- visualizza i [metadati della Carta del contenuto % di carbonio organico nei suoli della pianura tra 0-100 cm.](#)

Figura 14. Interfaccia iniziale della carta nel sito I suoli dell'Emilia-Romagna

Questo sito è di facile utilizzo e usa come base cartografica GOOGLE EARTH. Presenta il vantaggio di poter essere personalizzato a piacere in quanto l'utente può sovrapporre alle cartografie proposte nel sito i suoi tematismi personalizzati.

Attivando il primo o il secondo link si apre la [Carta del Carbonio Organico dei suoli della pianura tra 0-100 cm](#) su base Google Earth.

La rappresentazione del territorio avviene attraverso una struttura a maglia costituita da celle con lato di **500 m**.

Sebbene la carta sia rappresentata per classi, l'informazione a cui si accede, interrogando la singola cella, è relativa al contenuto specifico di carbonio organico (espresso come % in peso). Il valore si riferisce allo strato 0-100 cm ed è stato attribuito alla cella attraverso analisi geostatistica applicata alla carta dei suoli della pianura emiliano-romagnola in scala 1:50.000.

Viene definita l'**attendibilità della stima**, ovvero il grado di affidabilità del valore fornito, informazione questa molto importante per una corretta interpretazione della carta.

E' possibile anche aprire le note illustrative correlate.

Il dato assente è stato assegnato agli alvei di piena ordinaria e ai corpi d'acqua.

**I suoli dell'Emilia-Romagna**

*Contenuto % di carbonio organico tra 0-100 cm nei suoli di pianura.*  
Livello di dettaglio 1:50.000

**Valore stimato %**  
1.20

**Attendibilità della stima**  
Alta

**Legenda**

**Classi**

<0.73
0.73 - 1.03
1.04 - 1.47
1.48 - 3.49
3.50 - 6.58
6.59 - 9.41
9.42 - 13.63
13.64 - 30.03

Note: il valore di sostanza organica può essere ricavato attraverso il fattore di Van Bemmelen (S.O. = 1,724 C.O.) (Jackson, 1965).

**Anno di aggiornamento**  
2016

[Apri note illustrative](#)

Regione Emilia Romagna

Figura 15. Interfaccia di consultazione delle singole celle

<sup>1</sup> <http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/>



CARTA DEL CONTENUTO % DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA STRATO 0-100 cm.  
SCALA 1:50.000.

## 4.2 Scaricamento dati

Lo shapefile della carta del contenuto percentuale di Carbonio Organico nei suoli di pianura tra 0-100 cm si scarica dal sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/> dalla sezione **Suoli- Carte proprietà chimico-fisiche dei suoli**.

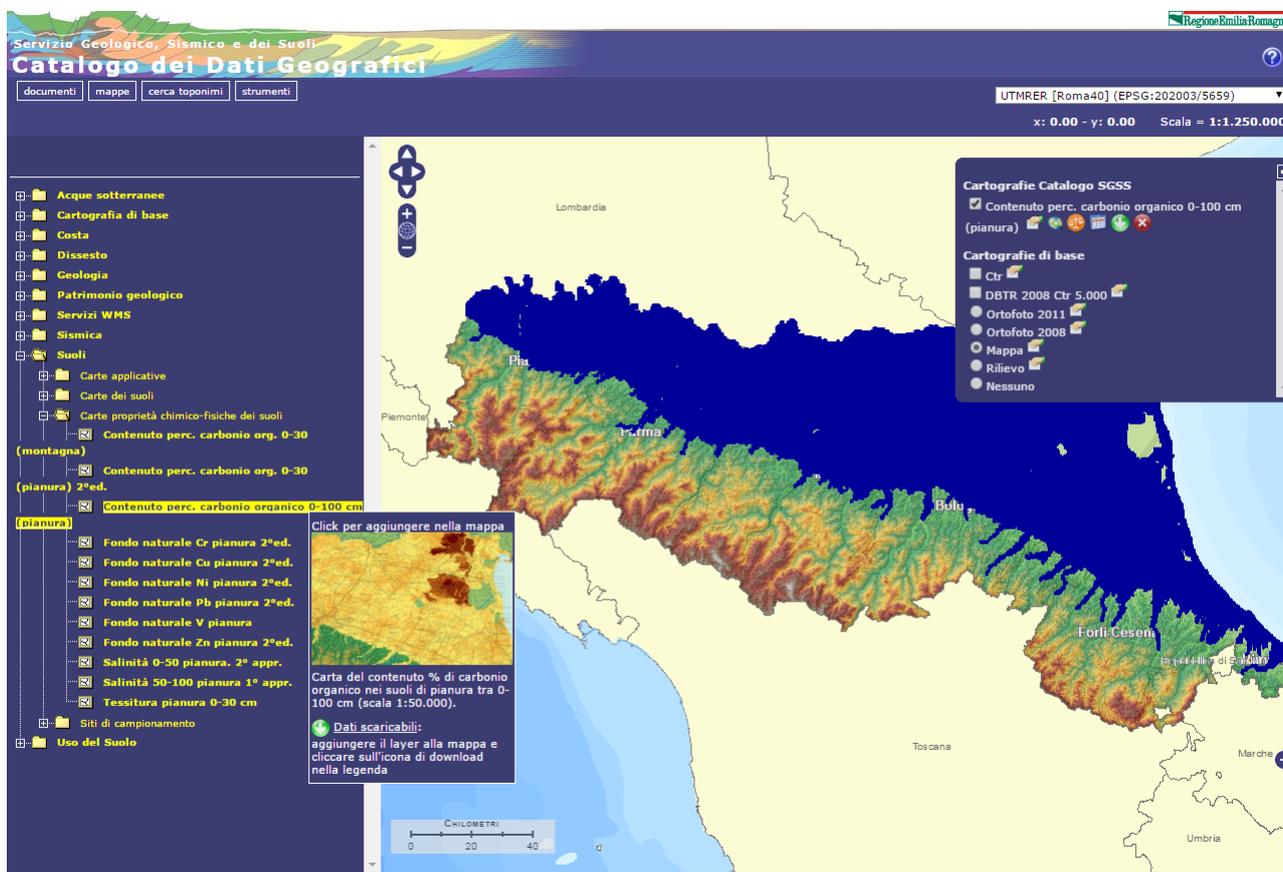


Figura 16. Interfaccia di scaricamento dei dati geografici



## 5 METODOLOGIA UTILIZZATA

La base cartografica di riferimento è costituita dalla “Carta dei suoli di pianura 1:50.000” edizione 2014, prodotta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. La Carta dei suoli descrive il territorio di pianura attraverso poligoni (o delimitazioni) che rappresentano una porzione di territorio omogenea per i tipi di suoli in essa presenti.

Il data set complessivo consiste in 4150 siti dotati di dati analitici per l'intervallo di profondità di 0-100 cm, campionati in un arco temporale fra il 1974 e il 2015. Alcuni dati non sono ricollegati ad UTS e di conseguenza a gruppi funzionali; per questo motivo le osservazioni oggetto delle successive elaborazioni sono state **3971**. I dati presenti nella banca dati dei suoli gestita dal SGSS della RER provengono da due fonti diverse:

1. 84% sono osservazioni pedologiche raccolte dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (SGSS dell'Assessorato Ambiente);
2. 16% sono prelievi effettuati nell'ambito delle attività di assistenza tecnica per l'agricoltura (Servizio Agricoltura Sostenibile dell'Assessorato Agricoltura).

I valori analitici di carbonio organico della banca dati regionale sono essenzialmente riconducibili a due metodi di laboratorio: Walkley and Black modificato (D.M. 13/9/99 Metodo VII.3) e Analizzatore Elementare (D.M. 13/9/99 Metodo VII.1- ISO10694). Nella presente analisi, a carattere esclusivamente regionale, i metodi VII.3 e VII.1. sono stati ritenuti confrontabili.

L'andamento del contenuto di C organico con la profondità è stato calcolato utilizzando in ambiente R-Studio lo script di R **mpspline** (mass preserving spline, Malone et al., 2009). Lo script fornisce i valori % di C organico ponderati su intervalli di profondità fissa (0-5; 5-15; 15-30; 30-60 e 60-100 cm) o relativi a incrementi di un centimetro. Questi ultimi sono stati utilizzati per il calcolo del valore medio di ciascun profilo considerando la sezione 0-100 cm.

L'elaborazione successiva dei valori medi è stata effettuata in base a criteri statistici e geostatistici con la seguente metodologia<sup>2</sup>:

- **raggruppamento di tutti i tipi di suoli (UTS) di pianura in 10 gruppi (GF) e 16 sottogruppi (SG) funzionali**; ossia associazioni di suoli affini per uno o più dei seguenti aspetti: classe tessiturale dell'orizzonte superficiale, disponibilità di ossigeno, quantitativi di carbonio organico (tabella 3 e 4);
- **calcolo delle statistiche descrittive dei valori di carbonio organico** contenuti nel data set (media, minimo, massimo, deviazione standard, errore standard, mediana, 1° e 3° quartile, 10° e 90° percentile) per ciascun “gruppo” funzionale e “sottogruppo” (tabella 5);
- **definizione del trend spaziale medio dei valori di carbonio organico** che ne descrive l'andamento generale a scala regionale. Il trend spaziale viene considerato come la risultante di due effetti sovrapposti, uno dovuto alle caratteristiche dei suoli ed uno risultante dall'uso e dalle pratiche di gestione del suolo. Per descrivere le due componenti si è ricorso nel primo caso al calcolo dei valori medi dei gruppi funzionali presenti all'interno delle singole delimitazioni della carta dei suoli 1:50,000, nel secondo ai valori medi di CO% osservati a livello comunale e raggruppati tramite cluster analysis in base al valore medio e ad un indice di dispersione, calcolato dalla differenza tra il valore del 90° e del 10° percentile osservati su base comunale (Figura 17, tabella 6). In termini di continuità spaziale, i cluster sono caratterizzati da più poligoni (“isole”), per cui, ai fini del calcolo dei residui da sottoporre ad analisi geostatistica, i valori medi saranno calcolati sulla base delle aree di comuni contigui (isole) ricondotti allo stesso cluster. Dall'intersezione tra sottogruppi funzionali e cluster “isole”, sono state ottenute **53** combinazioni i cui valori medi ponderati in funzione della percentuale di occorrenza dei SG nelle singole delimitazioni della carta dei suoli sono stati utilizzati per attribuire a ciascuna cella della griglia regionale<sup>3</sup> a 500 m un valore medio di CO% (Figura 18);
- **calcolo della differenza tra i valori puntuali di carbonio organico presenti nelle delimitazioni e il valore medio attribuito alla delimitazione**. Tale differenza, detta residuo, è stata oggetto di analisi geostatistica. L'analisi geostatistica ha come riferimento raster la griglia regionale con dimensione della

<sup>2</sup> Per una più approfondita trattazione della metodologia adottata si rimanda al Report 2.1 ottobre 2015.

<sup>3</sup> Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli ha costruito a livello regionale ai fini delle analisi geografiche e della modellizzazione, una griglia multiscala con celle di dimensione di 100m aggregabili a 500m e ad 1Km con sistema di riferimento ED50 UTM fuso 32. La griglia è stata costruita con riferimento a quanto indicato dal progetto MEUSIS del JRC-European Commission.



cella di 500m x 500m (figura 19). La stessa griglia viene utilizzata come base per la restituzione degli elaborati. Il valore finale assegnato a ciascuna cella è dunque il valore medio della delineazione in cui ricade il centroide della cella stessa, corretto con il valore assegnato attraverso l'analisi geostatistica dei residui.

- La metodologia applicata è una delle possibili varianti dello *Scorpan Kriging* (McBratney et al. 2003, Ungaro et al 2010); i residui, previa normalizzazione con *normal score transform*, sono stati stimati in corrispondenza di ciascuna cella del grid con simulazioni geostatistiche sequenziali utilizzando il semivariogramma calcolato sui residui normalizzati. Il modello di semivariogramma è un modello doppio sferico con una componente di nugget ( $C_0 = 0.28$ ); le due componenti spazialmente correlate  $C_1$  (0.58) e  $C_2$  (0.09) hanno *range* di autocorrelazione pari rispettivamente a 1,225 e 31,620 m. Per ogni cella sono state effettuate 100 simulazioni ed il loro valore medio (figura 19) è stato sommato alla media della delineazione (figura 18) per ottenere il valore finale riportato sulla carta (figura 1). Nei casi in cui il valore calcolato è risultato negativo o ragionevolmente troppo basso, allora il valore della cella è stato assegnato al valore minimo ponderato per delineazione. La correzione ha interessato il 4.7% dei valori stimati.
- **validazione della carta** attraverso un set di 140 osservazioni non ricollegate e non utilizzate in nessuna delle fasi di analisi statistica e geostatistica. La radice dello scarto quadratico medio è pari a 0.18%.
- infine è stato **calcolato un indice di accuratezza del dato stimato** costruito sulla base della deviazione standard del valore medio attribuito alla delineazioni e della deviazione standard dei residui risultanti dalle 100 simulazioni sequenziali. Entrambe le grandezze sono state oggetto di interval normalization, per ricondurre i valori all'interno dell'intervallo [0,1], sommate e nuovamente standardizzate. Il risultato di questa operazione fornisce un indice sintetico dell'accuratezza del valore stimato per ciascuna cella (figura 20).

Gruppo	Sottogruppo	Classe tessiturale	Disponibilità O <sub>2</sub>	Numero UTS
A	1	Fine	Buona/moderata	31
	2		Imperfetta	12
B	1	Moderatamente fine	Buona/moderata	29
	2		Imperfetta	3
C	1	Media-fine	Buona/moderata	55
	2		Imperfetta	3
D	1	Media	Buona/moderata	44
	2		Imperfetta	4
E	1	Mod. grossolana	Buona/moderata	23
F	1	Grossolana	Buona/moderata	12
	2		Imperfetta	2
O	2	Organico	Imperfetta	2
P	2	Org. da fine a moderatamente fine	Imperfetta	3
Q	2	Org. da media a media-fine	Imperfetta	4
R	1	Org. da grossolana a mod. grossolana	Moderata	2
	2	Org. moderatamente grossolana	Imperfetta	2

Tabella 3. Elenco delle unità funzionali in cui sono state raggruppati i suoli

Classe tessiturale generale	Classe tessiturale USDA
GROSSOLANA	S, SF
MOD. GROSSOLANA	FS, F
MEDIA	FL, L
MEDIA-FINE	FLA, FA, FAS con valore modale <35%
MOD. FINE	FLA, FA con valore modale >35%
FINE	AL, A, AS
ORGANICO	Suoli organici e suoli con orizzonti superficiali minerali ma con contenuto di CO tipicamente > 2.5%

Tabella 4. Classi tessiturali generali



GF	Media	IC -0.95	IC 0.95	N	Std. Dev.	Std. Err.	Min	p10	Q25	Mediana	Q75	p90	Max
A	1.080	1.047	1.113	823	0.486	0.017	0.236	0.687	0.826	1.035	1.229	1.477	9.568
B	0.903	0.867	0.939	461	0.395	0.018	0.140	0.490	0.641	0.846	1.108	1.355	2.887
C	0.869	0.851	0.887	996	0.291	0.009	0.210	0.572	0.675	0.827	1.007	1.215	2.801
D	0.755	0.740	0.771	1031	0.255	0.008	0.099	0.473	0.584	0.723	0.900	1.075	1.930
E	0.625	0.607	0.643	439	0.192	0.009	0.134	0.391	0.495	0.611	0.742	0.883	1.523
F	0.467	0.410	0.525	148	0.355	0.029	0.066	0.150	0.200	0.381	0.600	0.967	2.196
O	15.436	12.364	18.508	14	5.321	1.422	7.428	9.308	10.219	15.972	18.289	22.910	24.017
P	9.760	7.717	11.803	23	4.723	0.985	2.476	5.860	5.983	7.859	14.253	14.388	19.689
Q	17.100	12.371	21.829	17	9.197	2.231	1.172	4.269	6.629	19.456	24.450	26.918	30.027
R	5.679	3.643	7.715	19	4.225	0.969	0.724	1.298	2.151	4.110	8.640	12.562	15.518
<b>All Grps</b>	<b>1.040</b>	<b>0.985</b>	<b>1.096</b>	<b>3971</b>	<b>1.787</b>	<b>0.028</b>	<b>0.066</b>	<b>0.481</b>	<b>0.620</b>	<b>0.804</b>	<b>1.040</b>	<b>1.291</b>	<b>30.027</b>

Tabella 5. Statistiche regionali del carbonio organico per gruppi funzionali

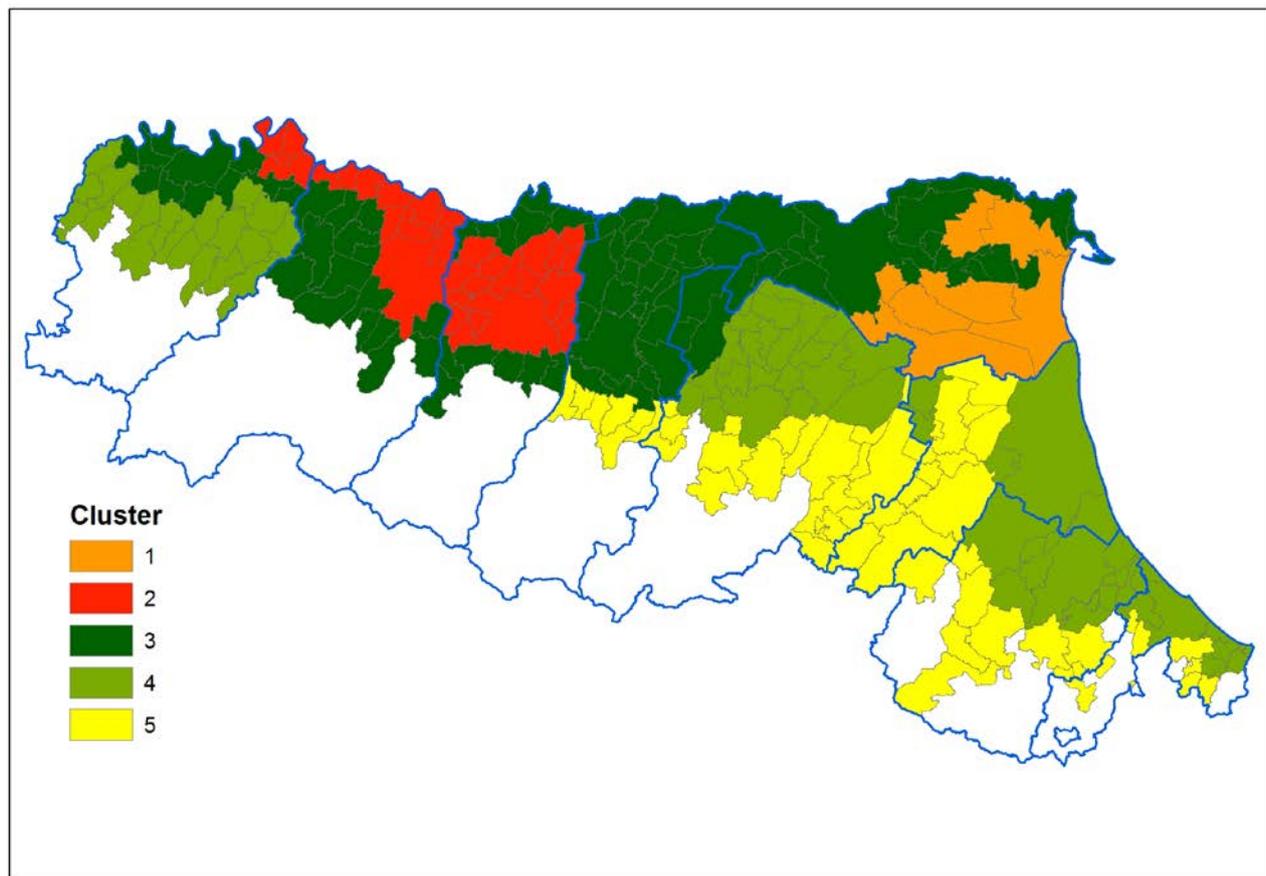


Figura 17. Accorpamento dei comuni in 5 cluster (in funzione dei valori medi di CO e degli indici di dispersione dei valori) e formazione delle "isole" ossia comuni contigui appartenenti allo stesso cluster

Cluster	Media	IC -0.95	IC 0.95	N	Std. Dev.	Std. Err.	Min	p10	Q25	Mediana	Q75	p90	Max
1	5.208	4.108	6.308	167	7.202	0.557	0.066	0.422	0.715	1.118	8.271	16.699	30.027
2	1.119	1.068	1.170	466	0.557	0.026	0.134	0.601	0.831	1.107	1.346	1.589	9.568
3	0.990	0.950	1.030	1276	0.727	0.020	0.100	0.583	0.749	0.921	1.129	1.338	19.451
4	0.742	0.728	0.757	1329	0.270	0.007	0.081	0.430	0.570	0.716	0.883	1.077	2.653
5	0.670	0.656	0.684	733	0.190	0.007	0.140	0.445	0.547	0.665	0.772	0.909	1.648
<b>All Grps</b>	<b>1.040</b>	<b>0.985</b>	<b>1.096</b>	<b>3971</b>	<b>1.787</b>	<b>0.028</b>	<b>0.066</b>	<b>0.481</b>	<b>0.620</b>	<b>0.804</b>	<b>1.040</b>	<b>1.291</b>	<b>30.027</b>

Tabella 6. Statistiche regionali del carbonio organico per i cluster su base comunale



CARTA DEL CONTENUTO % DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA STRATO 0-100 cm.  
SCALA 1:50.000.

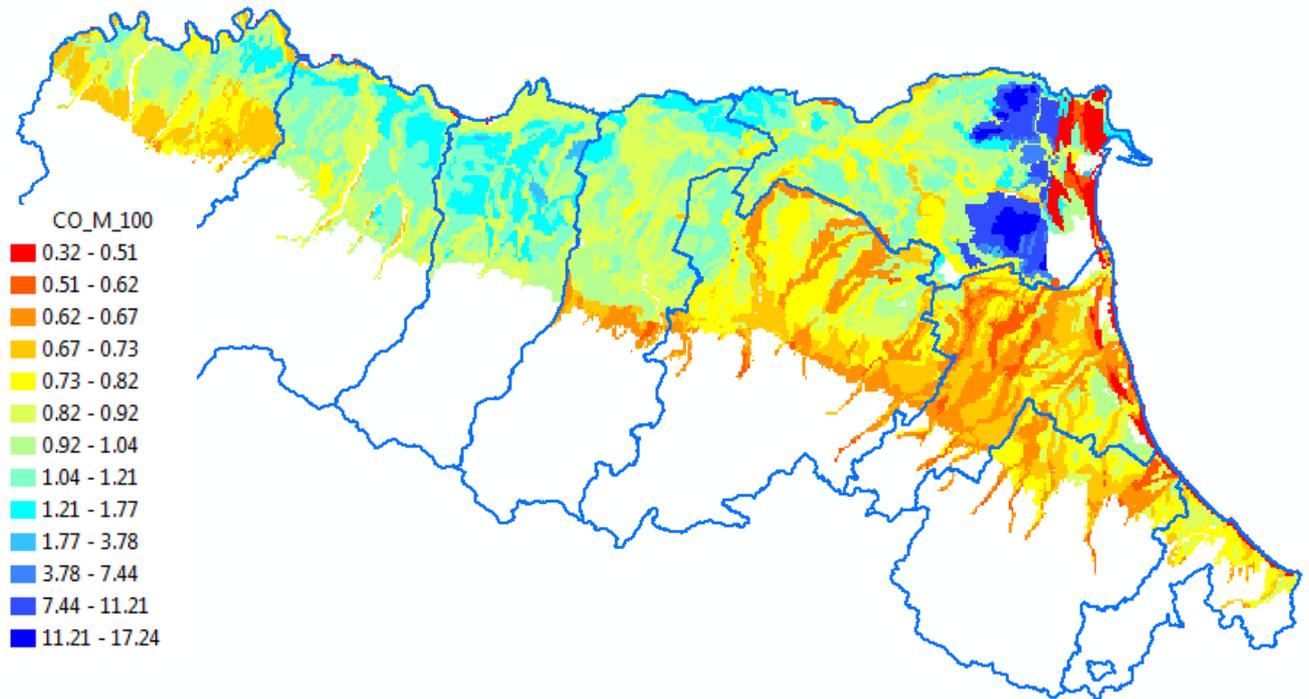


Figura 18. Valori medi di CO assegnati alle delineazioni in funzione della ponderazione dei valori medi per SG e cluster di appartenenza

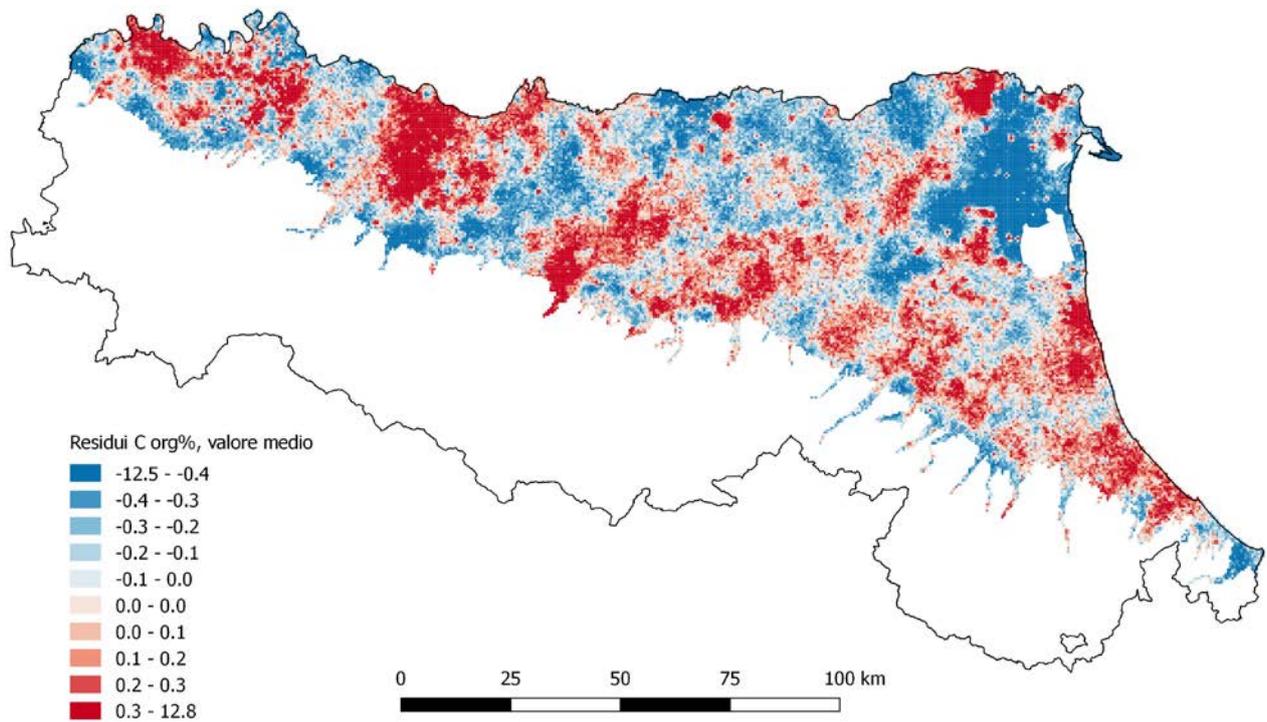


Figura 19. Valore medio del residuo assegnato a ciascuna cella in seguito a 100 simulazioni effettuate via krigaggio ordinario utilizzando la geostatistica sulla griglia regionale con dimensione della cella di 500m x 500m.



CARTA DEL CONTENUTO % DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA STRATO 0-100 cm.  
SCALA 1:50.000.

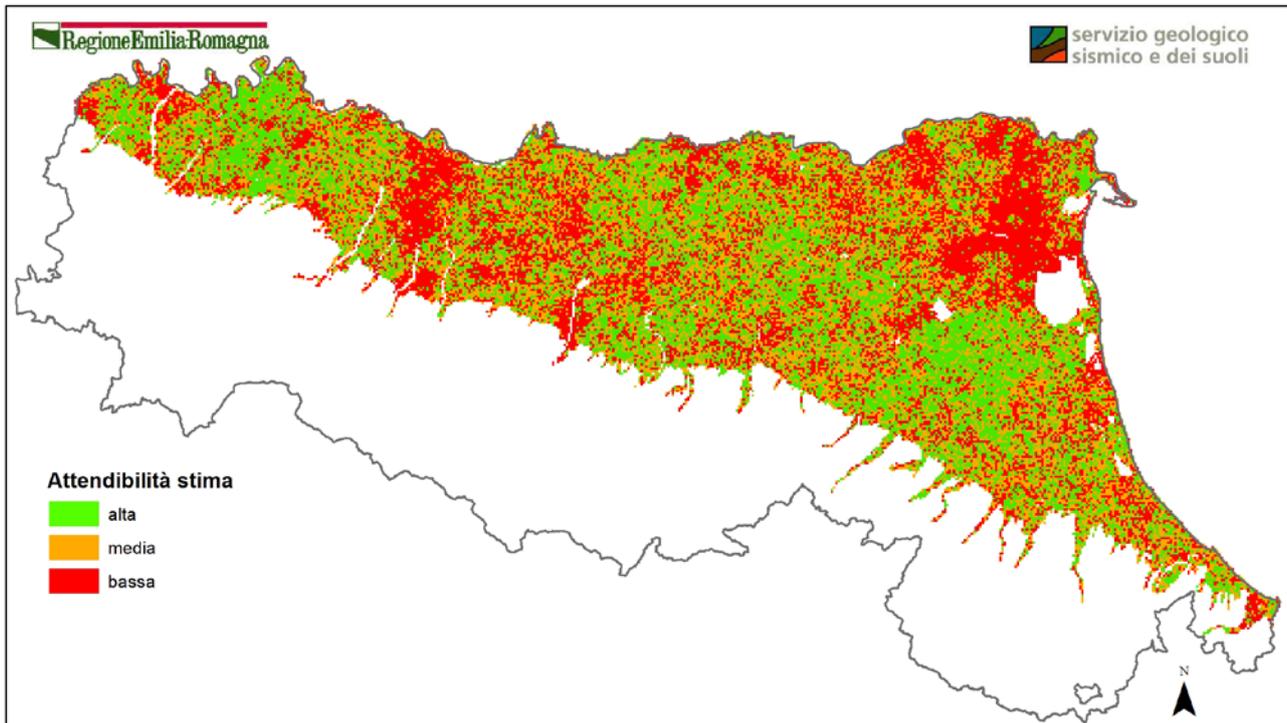


Figura 20. Indice qualitativo di accuratezza cartografica. Valori classati in base ai quantili della distribuzione



## 6 BIBLIOGRAFIA

6° Censimento dell'agricoltura (2010) <http://www.istat.it/it/emilia-romagna>

COM 2006/231 definitivo. Strategia tematica per la protezione del suolo.  
[http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com\\_2006\\_0231\\_it.pdf](http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com_2006_0231_it.pdf).

COM 2006/232 definitivo. Direttiva del parlamento europeo e del che istituisce un quadro per la protezione del suolo e modifica la direttiva 2004/35/CE. [http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com\\_2006\\_0232\\_it.pdf](http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com_2006_0232_it.pdf).

Giustolisi, O, Savic, D. A., 2006 A symbolic data-driven technique based on evolutionary polynomial regression. *Journal of Hydroinformatics*, 8 (3), 207–222

European Climate Change Programme (ECCP) Working Group Sinks Related to Agri Agricultural Soils - Final Report [http://europa.eu/comm/environment/climat/pdf/finalreport\\_agricsoils.pdf](http://europa.eu/comm/environment/climat/pdf/finalreport_agricsoils.pdf).

McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L., Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117, 3-52.

MacQueen J. B. (1967): "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability", Berkeley, University of California Press, 1:281-297

Malone, B.P., McBratney, A.B., Minasny, B., Laslett, G.M., 2009. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. *Geoderma* 154: 138–152.

MEUSIS <http://eusois.jrc.ec.europa.eu/projects/Meusis/main.html>

Pebesma, E.J., 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, 30: 683-691.

Regione Emilia-Romagna. Campioni analisi terreni (SACT) della regione Emilia-Romagna (2014) [http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/ANALISI\\_TERRENI\\_SACT.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/ANALISI_TERRENI_SACT.pdf)

Regione Emilia-Romagna. Carta dei suoli della pianura e di parte della collina emiliano-romagnola in scala 1:50.000. Edizione 2014.  
[http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/carta\\_suoli\\_50k.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/carta_suoli_50k.pdf)

Regione Emilia-Romagna. Carta del contenuto percentuale di Carbonio organico nei suoli della pianura emiliano-romagnola. Strato 0-30 cm. Seconda edizione (2015)  
[http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/NOTE\\_ILLUSTRATIVE\\_CO\\_pianura.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/NOTE_ILLUSTRATIVE_CO_pianura.pdf)

Regione Emilia-Romagna. Carta del carbonio organico immagazzinato nei suoli della pianura emiliano-romagnola. Strato 0-30 cm. Seconda edizione (2015)  
[http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/NOTE\\_ILLUSTRATIVE\\_stockCO30\\_pianura.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/NOTE_ILLUSTRATIVE_stockCO30_pianura.pdf)

R version 3.2.0, 2015. The R Foundation for Statistical Computing, <https://www.r-project.org/>

RStudio Team (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/> versione 0.98.1103.

Ungaro, F. , Calzolari, C., Tarocco, P., Giapponesi, A. and Sarno, G. 2005. Quantifying spatial uncertainty of soil organic matter indicators using conditional sequential simulations: a case study in Emilia Romagna plain (Northern Italy). *Canadian Journal of Soil Science*, 85, 499-510

Ungaro F., Staffilani F., Tarocco P, 2010. Assessing and mapping topsoil organic carbon stock at regional scale: a Scorpan Kriging approach conditional on soil map delineations and land use Land Degrad. Develop. DOI: 10.1002/ldr.998



CARTA DEL CONTENUTO % DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA STRATO 0-100 cm.  
SCALA 1:50.000.

Ungaro F., Calzolari C. Carta del contenuto percentuale e dello stock di carbonio delle frazioni granulometriche, e della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola (0-30 cm). Rapp. 2.1 Ott. 2015  
[http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio\\_pdf/suoli/Rapporto\\_2\\_1\\_ottobre\\_2015.pdf/at\\_download/file/Rapporto\\_2\\_1\\_ottobre\\_2015.pdf](http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio_pdf/suoli/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf/at_download/file/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf)

Ward S.E., Smart S.M., Quirk H., Tallowin J.R., Mortimer S.R., Shiel R.S., Wilby A., Bardgett R.D. Legacy effects of grassland management on soil carbon to depth. *Global Change Biology* (2016), doi: 10.1111/gcb.13246