



Regione Emilia-Romagna



servizio geologico
sismico e dei suoli

**CARTA DEL CONTENUTO
PERCENTUALE DI
CARBONIO ORGANICO NEI
SUOLI DELLA PIANURA
EMILIANO-ROMAGNOLA
STRATO 0-30 cm**

scala 1:50.000



NOTE ILLUSTRATIVE 2015 - 2^a edizione

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 0-30 cm.
SCALA 1:50.000. SECONDA EDIZIONE



INDICE

1	INTRODUZIONE.....	5
2	DEFINIZIONI.....	5
3	DESCRIZIONE DELLA CARTA	6
4	CONSULTAZIONE DELLA CARTA SUL WEB	8
4.1	Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH	8
4.2	Consultazione tramite WEBGIS	9
4.3	Consultazione sul sito CATALOGO DEI SUOLI REGIONALE	10
4.4	Scaricamento dati.....	11
5	METODOLOGIA UTILIZZATA	12
6	BIBLIOGRAFIA	16



CARTA DEL CONTENUTO % DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA STRATO 0-30 cm.
SCALA 1:50.000. SECONDA EDIZIONE



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.

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 geo-statistica 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.

Il SOC è uno dei principali indici di qualità del suolo.



3 DESCRIZIONE DELLA CARTA

La “Carta del contenuto percentuale di carbonio organico dei suoli della pianura emiliano-romagnola”, come più ampiamente descritto nell’allegato 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.

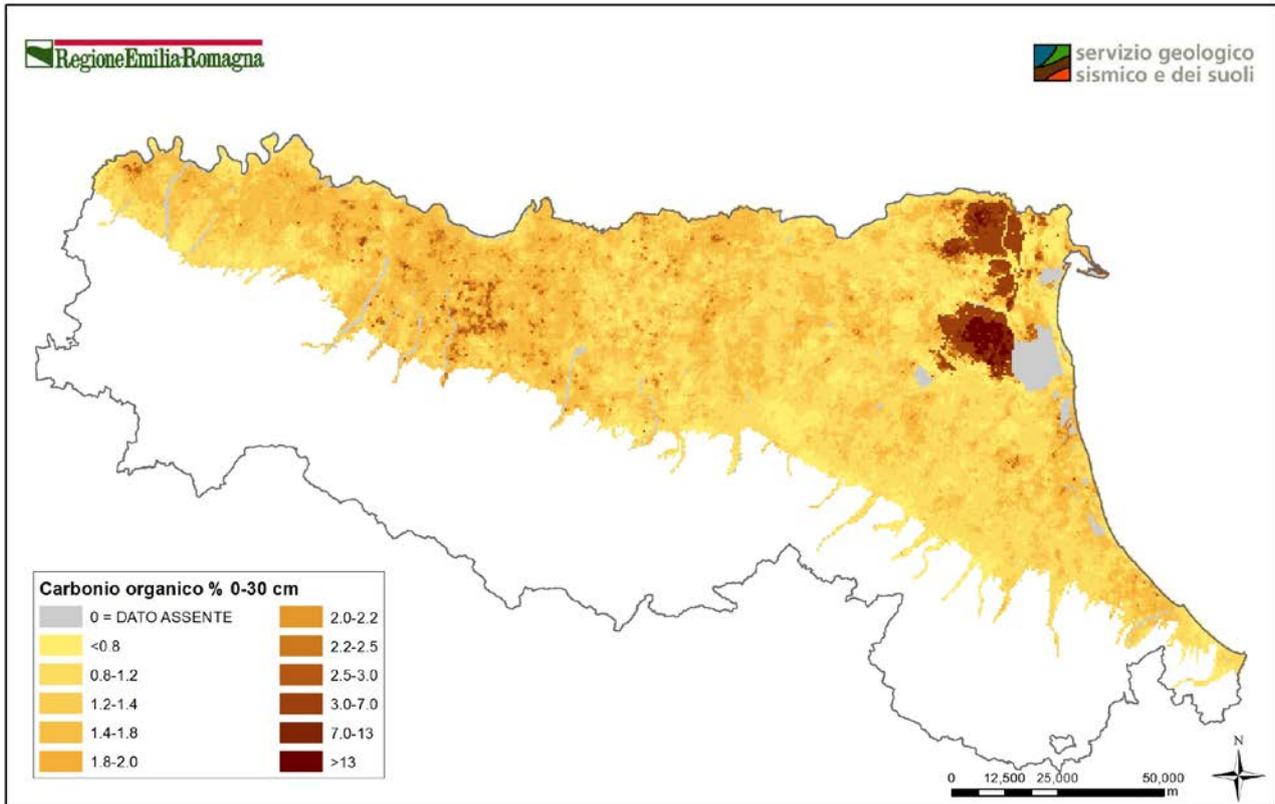


Figura 1. Carta del Carbonio Organico % 0-30 cm nei suoli di pianura, seconda edizione

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 2,16% contro una media regionale di 1,46%. In questo distretto i valori sono da imputare essenzialmente ai tipi di suoli presenti; si tratta infatti spesso di suoli sviluppatasi su depositi torbosi di aree in passato palustri ed ora bonificate. Oltre a Ferrara i valori più alti si trovano in molte zone del distretto agricolo di Reggio Emilia (1,57%), Parma (1,50%); 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 (Ravenna: 1.16%; Forlì-Cesena: 1.09%) 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	RER	1	4	7	10	13	16	19	22	25
C org. %		Piacenza	Parma	Reggio E.	Modena	Bologna	Ravenna	Forlì-Cesena	Rimini	Ferrara
Minimo	0.11	0.14	0.23	0.33	0.26	0.23	0.16	0.27	0.16	0.11
Massimo	28.9	3.12	4.09	4.11	3.71	2.55	3.69	2.38	2.67	28.9
Media	1.46	1.25	1.5	1.57	1.26	1.12	1.16	1.09	1.11	2.16
DevStandard	1.4	0.36	0.38	0.38	0.32	0.29	0.32	0.26	0.34	2.8

Tabella 1. Statistiche descrittive dalla Carta del CO% 0-30 cm, seconda edizione: 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
Pianura	462539.23	135256.34	16439.61	97347.39	711582.57	3769.02	9773.63

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

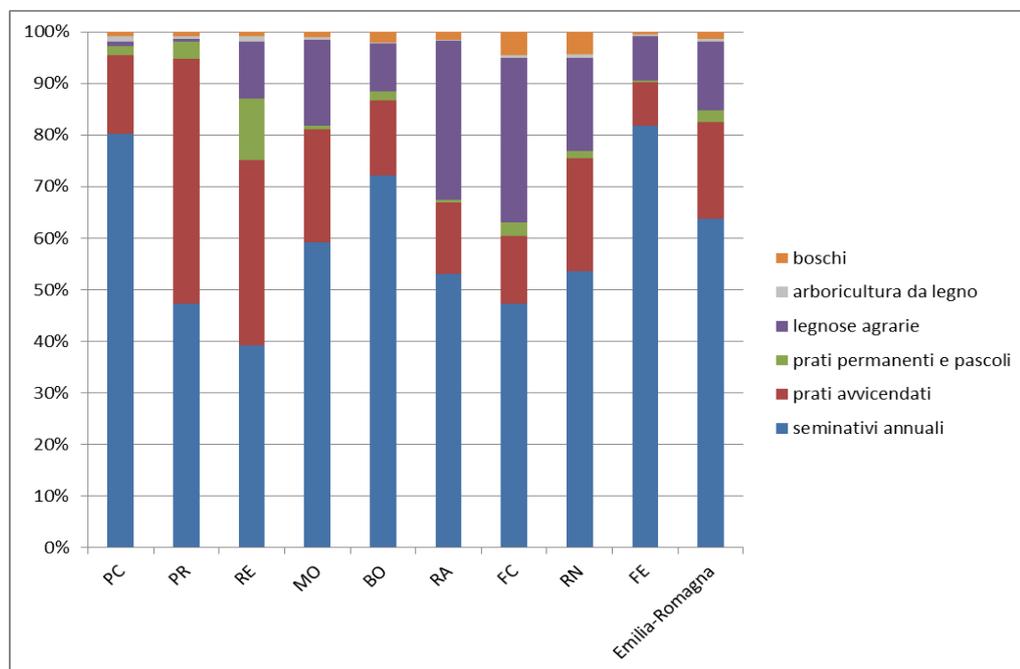


Figura 2. Superficie percentuale investita dalle aziende per tipo di coltivazione, provincia e nella zona altimetrica di pianura con localizzazione del centro aziendale (da tabella 2). Emilia-Romagna - Censimento Agricoltura 2010



4 CONSULTAZIONE DELLA CARTA SUL WEB

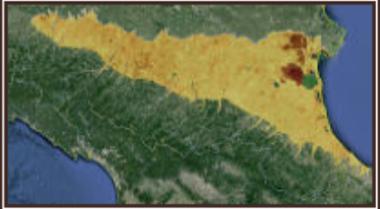
4.1 Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH

La carta della Carbonio Organico dei suoli della pianura tra 0-30 cm è consultabile sul sito [I suoli dell'Emilia-Romagna¹](http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/), definito brevemente CARTPEDO, nella sezione **Carte delle proprietà chimico-fisiche**.

1.1 Contenuto % di carbonio organico nei suoli della pianura tra 0-30 cm. 2a edizione 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 la protezione del suolo" della Commissione Europea (COM2006/231). La carta rappresenta la distribuzione areale nei suoli di pianura del contenuto percentuale di carbonio organico nello strato superficiale (0-30 cm). La carta è alla sua seconda edizione ed è stata elaborata a partire dai dati estrapolati dalla Banca Dati dei Suoli della Regione Emilia-Romagna relativi al periodo 1990-2013.



- apri la [Carta del contenuto % di carbonio organico nei suoli della pianura tra 0-30 cm. 2a edizione](#) in Google Earth
- apri la [Carta del contenuto % di carbonio organico nei suoli della pianura tra 0-30 cm. 2a edizione](#) con il Plugin di Google Earth
- apri le note illustrative della [Carta del contenuto % di carbonio organico nei suoli della pianura tra 0-30 cm. 2a edizione](#)
- visualizza i [metadati della Carta del contenuto % di carbonio organico nei suoli della pianura tra 0-30 cm. 2a edizione](#)

Figura 3. 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 0-30 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 0-30 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.

Figura 4. Interfaccia di consultazione delle singole celle

I suoli dell'Emilia-Romagna

Contenuto % di carbonio organico tra 0-30 cm.
Seconda edizione Livello di dettaglio 1:50.000

Valore %
1.04

Attendibilità della stima
Alta

Legenda

Classi

< 0.8
0.8 - 1.2
1.2 - 1.4
1.4 - 1.8
1.8 - 2.0
2.0 - 2.2
2.2 - 2.5
2.5 - 3.0
3.0 - 7.0
7.0 - 13.0
> 13.0

Note: il valore di sostanza organica può essere ricavato attraverso il fattore di Van Bemmelen (S.O. = 1,724 C.O.) (Jackson, 1965).
Il valore % non tiene conto delle superfici prive di suolo.

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



4.2 Consultazione tramite WEBGIS

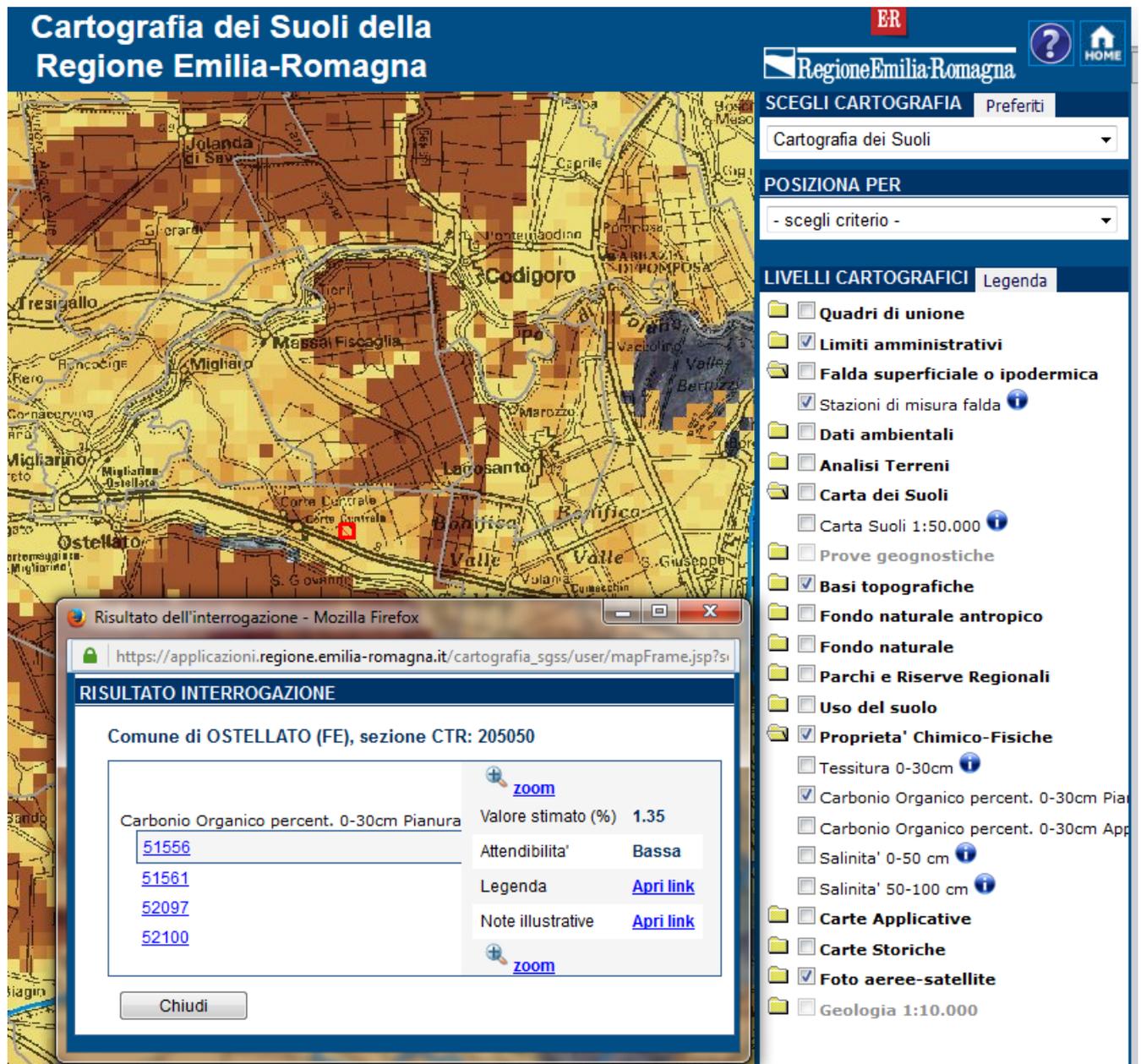
La carta della Carbonio Organico dei suoli della pianura tra 0-30 cm è consultabile sul sito [Cartografia dei suoli della Regione Emilia-Romagna²](#), definito brevemente WEBGIS. Vanno attivati i pop-up, indifferentemente dal browser utilizzato.

Nella sezione di destra sono presenti i livelli cartografici visualizzabili (alcuni attivi di default, altri attivabili dall'utente), la carta della salinità è contenuta nella cartella Carte tematiche. Nella sezione di sinistra vi sono gli strumenti di consultazione dei livelli cartografici.

Per informazioni riguardo agli strumenti di consultazione leggere la Guida accessibile dal tasto  in alto a destra.

La carta è consultabile nella parte definita interesse mediante il pulsante IDENTIFY 

Proprietà chimico-fisiche cliccando sul quadrato di



The screenshot shows the 'Cartografia dei Suoli della Regione Emilia-Romagna' website. The main map displays soil carbon content data. A pop-up window titled 'Risultato dell'interrogazione - Mozilla Firefox' is open, showing the following data for the commune of Ostellato (FE), section CTR: 205050:

Risultato dell'interrogazione	
Comune di OSTELLATO (FE), sezione CTR: 205050	
Carbonio Organico percent. 0-30cm Pianura	Valore stimato (%) 1.35
51556	Attendibilita' Bassa
51561	Legenda Apri link
52097	Note illustrative Apri link
52100	

The right sidebar shows the 'LIVELLI CARTOGRAFICI' menu with the following items checked:

- Proprieta' Chimico-Fisiche
 - Tessitura 0-30cm
 - Carbonio Organico percent. 0-30cm Pianura
 - Carbonio Organico percent. 0-30cm App...
 - Salinita' 0-50 cm
 - Salinita' 50-100 cm
- Carte Applicative
- Carte Storiche
- Foto aeree-satellite
- Geologia 1:10.000

Figura 5. Carta del contenuto percentuale di carbonio organico 0-30 cm di pianura sul sito WEBGIS

² <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis-suoli>



4.3 Consultazione sul sito CATALOGO DEI SUOLI REGIONALE

La carta dei Carbonio(**trasformato in sostanza organica**) è consultabile anche sul sito Catalogo dei suoli dell'Emilia-Romagna³.

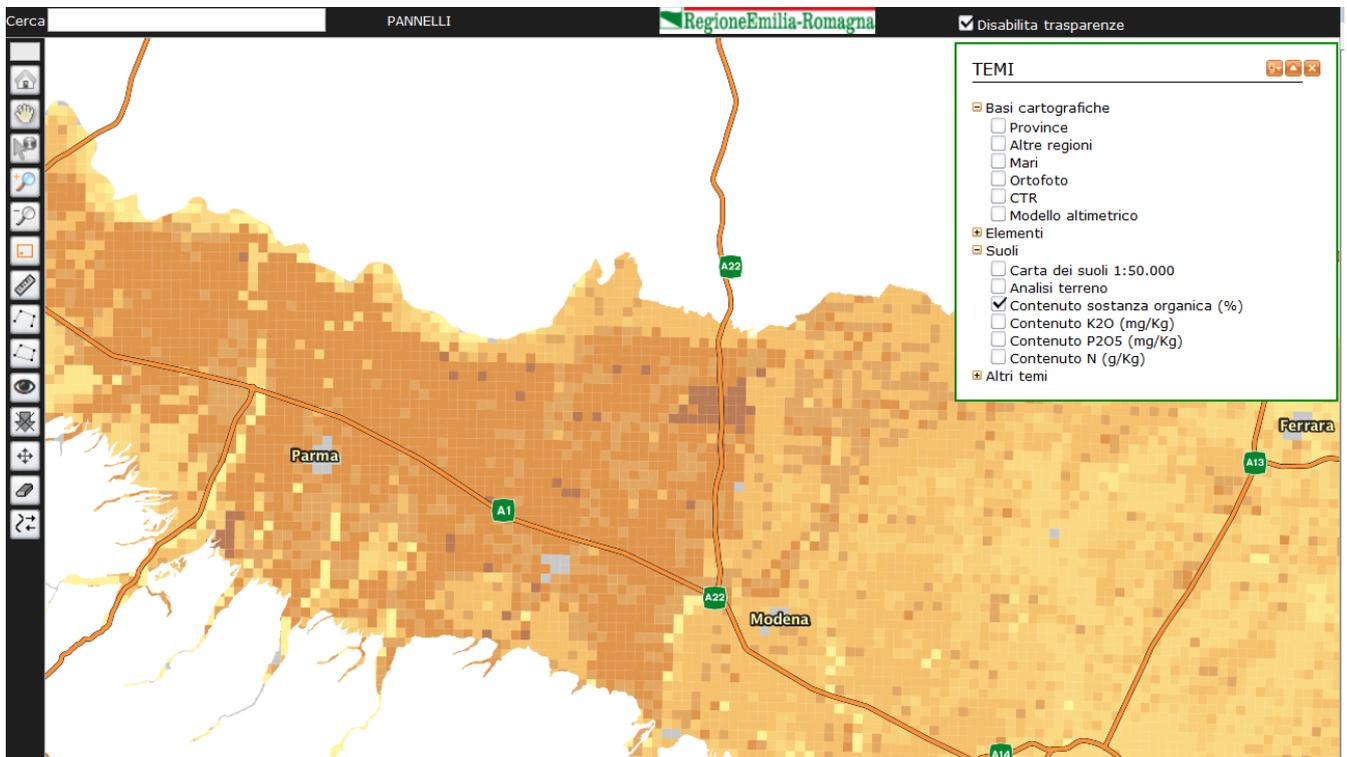


Figura 6. Home page del sito Catalogo dei suoli con la rappresentazione della Carta della Sostanza Organica

Il dato fornito dalla carta viene utilizzato come input per i piani di concimazione. Quando l'utente disegna l'appezzamento su cui vuole calcolare il piano di concimazione e sceglie di utilizzare i dati sui suoli forniti dal sito l'applicativo automaticamente recupera il dato di sostanza organica dalla cella in cui ricade l'appezzamento.

³ <https://agri.regione.emilia-romagna.it/Suoli/>



CARTA DEL CONTENUTO % DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA STRATO 0-30 cm.
SCALA 1:50.000. SECONDA EDIZIONE

4.4 Scaricamento dati

Lo shapefile della carta del contenuto percentuale di Carbonio Organico nei suoli di pianura tra 0-30 cm si scarica dal sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/> dalla sezione **Suoli- Carte proprietà chimico-fisiche dei suoli**.

The screenshot displays the 'Catalogo dei Dati Geografici' web application. The main map area shows a topographic map of the Emilia-Romagna region, with a layer for 'Contenuto perc. carbonio org. 0-30 (pianura) 2°ed.' selected. The sidebar on the left lists various data layers, including 'Fondo naturale Cr pianura', 'Fondo naturale Cu pianura', 'Fondo naturale Ni pianura', 'Fondo naturale Pb pianura', 'Fondo naturale Zn pianura', 'Salinità 0-50 pianura, 2° appr.', 'Salinità 50-100 pianura 1° appr.', 'Tessitura pianura 0-30 cm', 'Siti di campionamento', and 'Uso del Suolo'. The legend on the right provides details about the selected layer, including a download icon. The map includes a scale bar (0-40 km) and a coordinate system (UTMRER [Roma40]).

Figura 7. 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 16.603 siti dotati di dati analitici per l'intervallo di profondità di 0-30 cm, campionati in un arco temporale fra il 1990 e il 2014. 2.383 dati non sono ricollegati ad UTS e di conseguenza a gruppi funzionali; per questo motivo le osservazioni oggetto delle successive elaborazioni sono state **14.240**. I dati presenti nella banca dati dei suoli gestita dal SGSS della RER provengono da due fonti diverse:

1. prelievi effettuati nell'ambito delle attività di assistenza tecnica per l'agricoltura (Servizio ricerca, innovazione e promozione del sistema agroalimentare dell' Assessorato Agricoltura);
2. osservazioni pedologiche raccolte dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (SGSS dell'Assessorato Ambiente);

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'elaborazione è stata effettuata in base a criteri statistici e geostatistici con la seguente metodologia⁴:

- **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 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 8). 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 371 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 regionale⁵ a 500 m un valore medio di CO% (Figura 9);
- **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 cella di 500m x 500m (figura 10). 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 delimitazione 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 del Geostatistic-Scorpan Kriging (McBratney et al. 2003, Ungaro et al 2010); i residui sono stati stimati in corrispondenza di ciascuna cella del grid con simulazioni geostatistiche sequenziali. Per ogni cella sono state effettuate 100 simulazioni ed il loro

⁴ Per una più approfondita trattazione della metodologia adottata si rimanda al Report 2.1 ottobre 2015.

⁵ 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.



valore medio (figura 10) è stato sommato alla media della delineazione (figura 9) per ottenere il valore finale riportato sulla carta (figura 1).

- **validazione della carta** attraverso un set di 2839 osservazioni non ricollegate e non utilizzate in nessuna delle fasi di analisi statistica e geostatistica. Di queste osservazioni 1739 sono relative a misure effettuate prima del 1990, e 1622 a misure effettuate dal 1990 ad oggi. Gli indici di errore calcolati sull'intero data set e sui due sottoinsiemi sono l'errore medio (ME), l'errore medio assoluto (MAE) e scarto quadratico medio (MSE). Essendo le distribuzioni degli indici fortemente asimmetriche e non normali, il valore mediano è da ritenersi un indice più indicativo della tendenza centrale della distribuzione degli errori e quindi più rappresentativo dell'accuratezza generale della carta (tabella 6);
- 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 11).

Gruppo	Sottogruppo	Classe tessiturale	Disponibilità O ₂	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	Num	Std.Dev.	Std.Err.	Min	P10	Q25	Median	Q75	P90	Max
A	1.437	2850	0.399	0.007	0.418	1.044	1.16	1.392	1.624	1.914	4.658
B	1.358	1461	0.562	0.015	0.203	0.87	1.044	1.241	1.566	1.972	6.555
C	1.266	3605	0.447	0.007	0.232	0.87	0.998	1.183	1.404	1.694	7.918
D	1.097	3972	0.375	0.006	0.116	0.754	0.87	1.041	1.247	1.508	5.452
E	0.916	1553	0.31	0.008	0.174	0.58	0.719	0.87	1.044	1.276	3.074
F	0.897	335	0.574	0.031	0.116	0.348	0.522	0.708	1.172	1.624	4.35
O	15.082	65	5.043	0.625	4.988	8.451	11.659	14.965	18.155	21.752	28.944
P	4.753	210	2.156	0.149	1.323	2.262	3.173	4.292	5.916	7.747	11.833
Q	8.562	95	4.624	0.474	1.45	3.77	5.104	7.309	11.543	15.719	24.942
R	7.424	94	6.363	0.656	1.16	1.868	2.512	4.238	12.181	17.923	25.174
All Grps	1.420	14240	1.557	0.013	0.116	0.754	0.928	1.160	1.450	1.856	28.944

Tabella 5. Statistiche regionali del Carbonio organico per gruppi funzionali

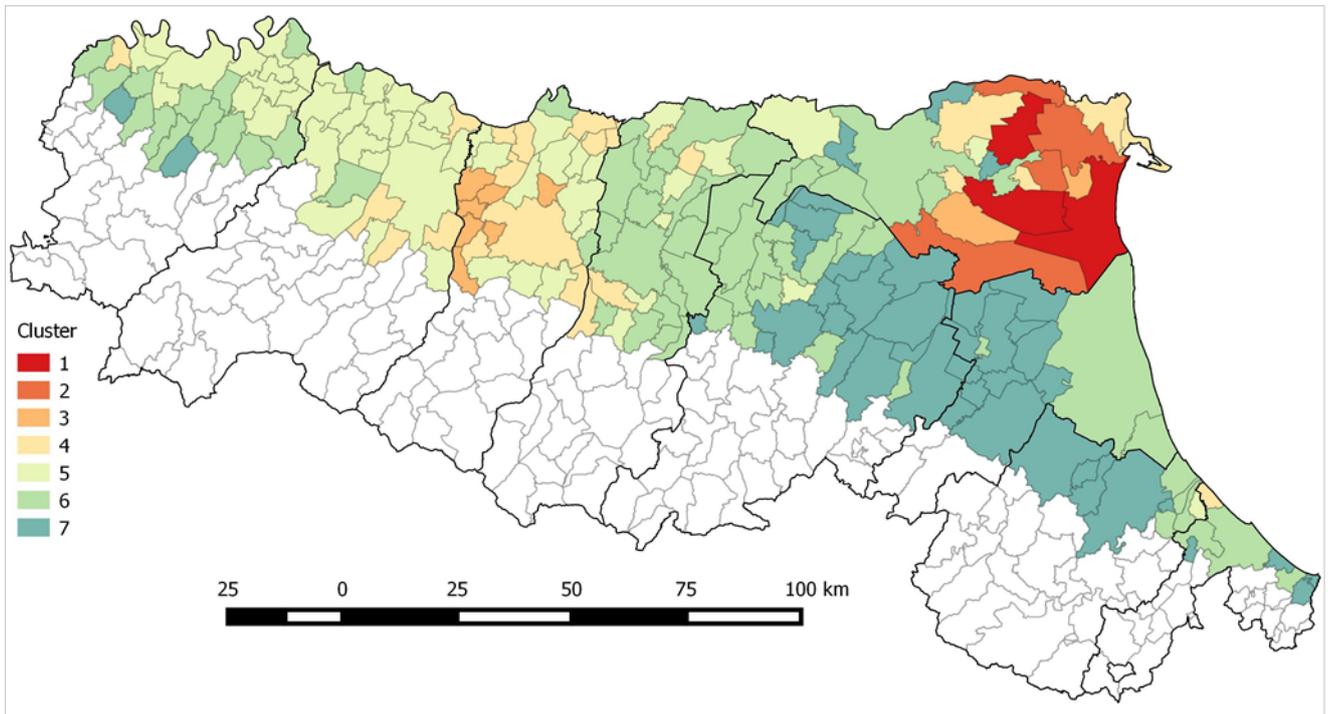


Figura 8. Accorpamento dei comuni in 7 cluster (in funzione dei valori medi di CO e degli indici di dispersione dei valori) e formazione delle "isole" ossia comuni contigui appartenenti allo stesso cluster

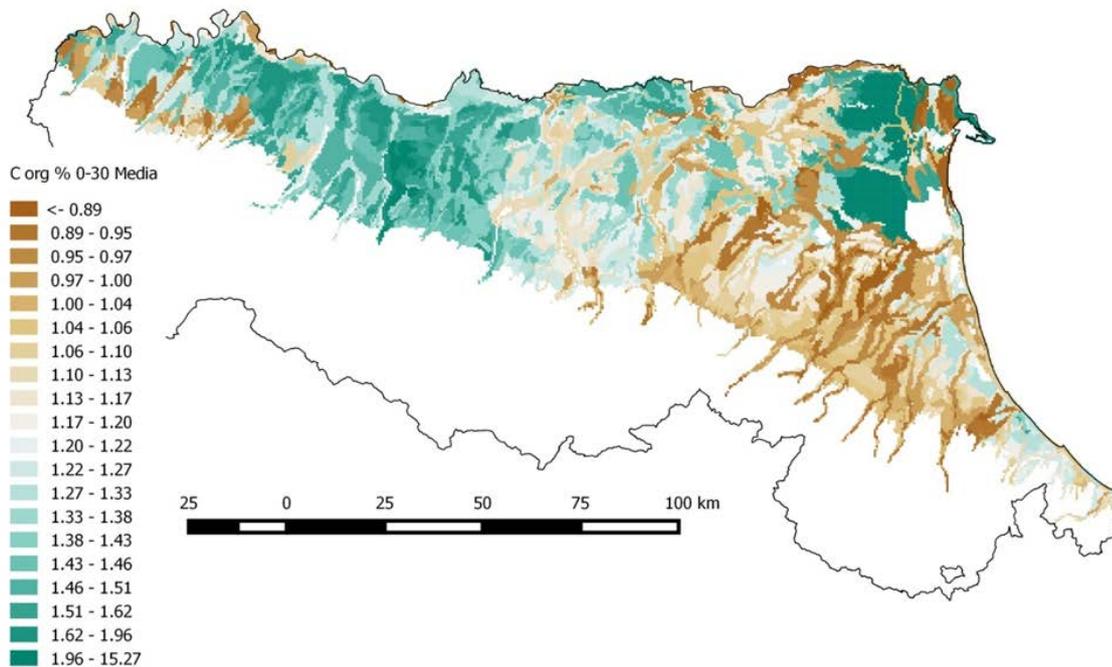


Figura 9. Valori medi assegnati alle delineazioni in funzione della ponderazione dei valori medi per SG e "isola" di appartenenza

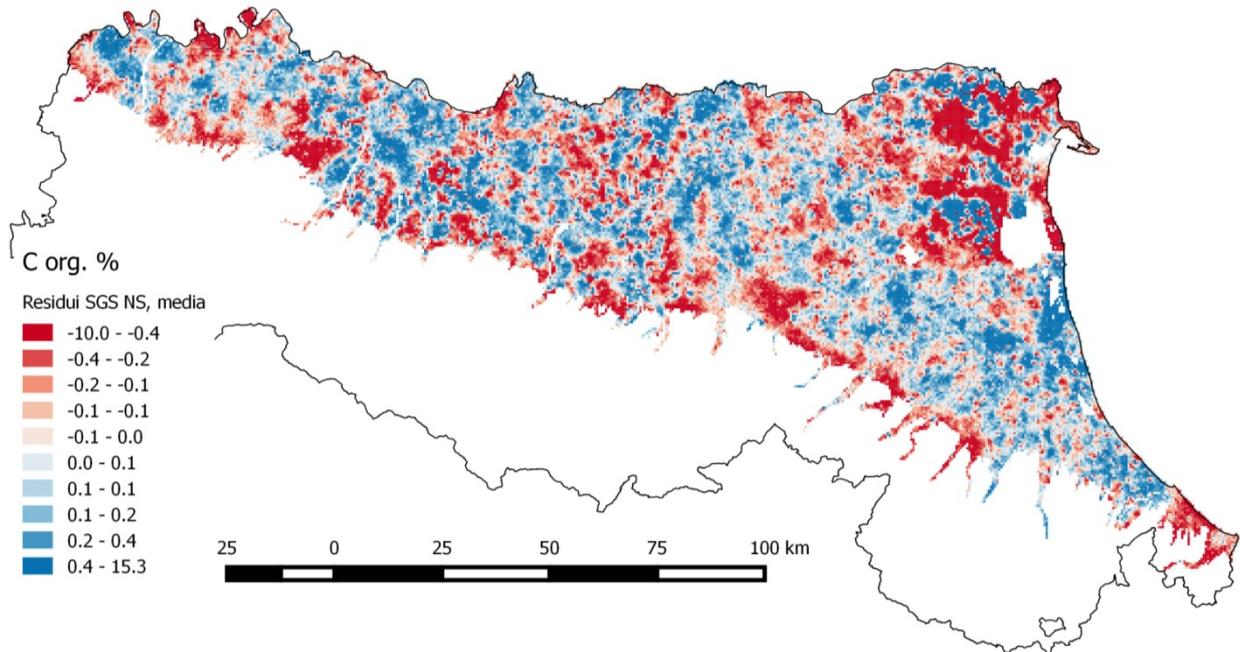


Figura 10. Valore medio del residuo assegnato a ciascuna cella in seguito a 100 simulazioni effettuate via krigaggio ordinario utilizzando la geostatistica

	Media	N	Std.Dev.	Std.Err.	Min	P10	Q25	Median	Q75	P90	Max
ME											
<1990	-0.099	1217	0.467	0.013	-3.472	-0.580	-0.341	-0.119	0.116	0.371	2.772
>1990	-0.068	1622	0.960	0.024	-13.739	-0.456	-0.172	0.000	0.098	0.406	7.757
All Grps	-0.081	2839	0.788	0.015	-13.739	-0.522	-0.259	-0.002	0.110	0.405	7.757
MAE											
<1990	0.333	1217	0.342	0.010	0.000	0.049	0.116	0.252	0.438	0.696	3.472
>1990	0.331	1622	0.904	0.022	0.000	0.000	0.000	0.121	0.349	0.737	13.739
All Grps	0.332	2839	0.719	0.013	0.000	0.000	0.053	0.185	0.406	0.709	13.739
MSE											
<1990	0.228	1217	0.711	0.020	0.000	0.002	0.014	0.063	0.192	0.484	12.056
>1990	0.927	1622	9.095	0.226	0.000	0.000	0.000	0.015	0.122	0.543	188.754
All Grps	0.627	2839	6.898	0.129	0.000	0.000	0.003	0.034	0.165	0.503	188.754

Tabella 6. Validazione C org. %: statistiche descrittive degli indici di errore

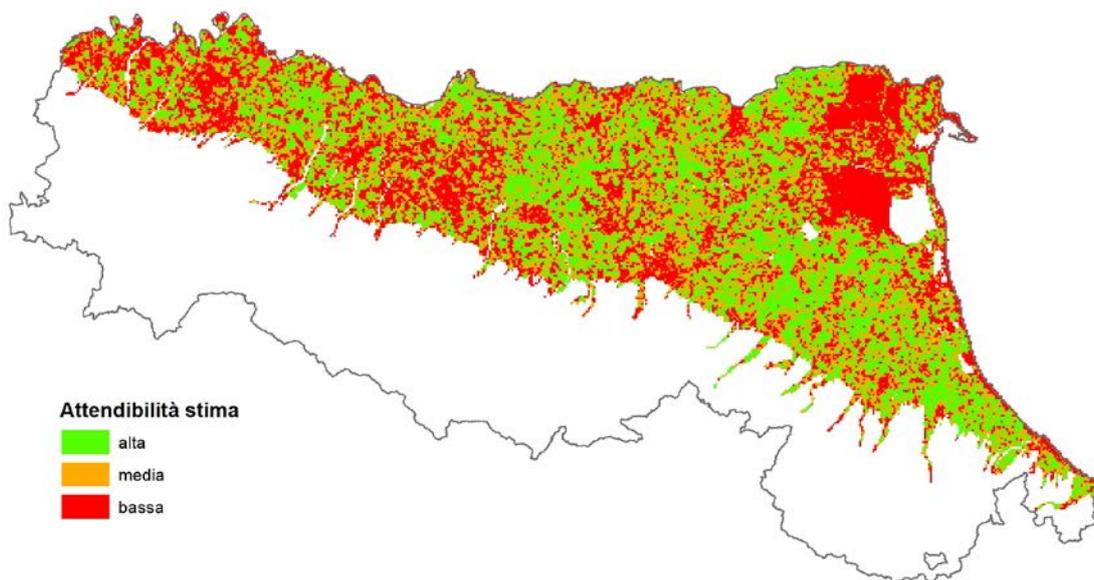


Figura 11. Indice qualitativo di accuratezza cartografica. Valori classati in base ai quantili della distribuzione



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.

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.

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.

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

MEUSIS <http://eusoils.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

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

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

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