



 **Regione Emilia-Romagna**
AREA GEOLOGIA, SUOLI E SISMICA

 **Consiglio Nazionale
delle Ricerche** | **Istituto
per la BioEconomia**

**CARTA DEL CONTENUTO
PERCENTUALE DI
CARBONIO ORGANICO
NEI SUOLI DELLA
REGIONE
EMILIA-ROMAGNA
strato 0-30 cm**

scala 1:50.000

2023
3^a edizione

NOTE ILLUSTRATIVE

a cura di:

**Fabrizio Ungaro
Paola Tarocco
Alessandra Aprea**

*Consiglio Nazionale delle Ricerche
Area Geologia, Suoli e Sismica - RER
Area Geologia, Suoli e Sismica - RER*

A cura di:

Fabrizio Ungaro - CNR – Istituto per la Bioeconomia

Paola Tarocco - Area Geologia, Suoli e Sismica. Settore Difesa del Territorio – Regione Emilia-Romagna

Alessandra Aprea - Area Geologia, Suoli e Sismica. Settore Difesa del Territorio – Regione Emilia-Romagna

In copertina:

foto Archivio Area Geologia, Suoli e Sismica

Immagine coordinata:

Simonetta Scappini

Area Geologia, Suoli e Sismica - Settore Difesa del Territorio – Regione Emilia-Romagna

Il presente documento è rilasciato secondo i termini della licenza Creative Commons 4.0 Attribution (Attribuzione). I contenuti (salvo marchi, segni distintivi o altro diversamente specificato) possono essere riprodotti, distribuiti, comunicati, esposti, rappresentati e modificati rispettando la seguente condizione:

citazione della fonte ("Regione Emilia-Romagna") e il titolo del documento.

Una sintesi della licenza si trova alla pagina <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.it>

Per eventuali aggregazioni o rielaborazioni dei contenuti finalizzate alla realizzazione di prodotti diversi dall'originale, pur permanendo l'obbligo di citazione della fonte, si declina ogni responsabilità



Direzione Generale cura del territorio e dell'ambiente

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Viale della Fiera 8, 40127 Bologna

telefono: 051 5274792

fax: 051 5274208

e-mail: segrgeol@regione.emilia-romagna.it

PEC: segrgeol@postacert.regione.emilia-romagna.it

Sito web: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cosa-fa-la-regione-2>



INDICE

1	INTRODUZIONE.....	5
2	DEFINIZIONI.....	6
3	DESCRIZIONE DELLA CARTA	6
4	METODOLOGIA UTILIZZATA	14
4.1	Metodologia utilizzata per la pianura.....	14
4.2	Stime statistiche e geostatistiche.....	14
4.2.1	Preparazione dati puntuali.....	14
4.2.2	Calcolo delle statistiche descrittive	15
4.2.3	Definizione del valore medio di riferimento e calcolo dei valori ponderati	16
4.2.4	Elaborazione geostatistica	16
4.3	Metodologia utilizzata per l'Appennino.....	18
5	CONSULTAZIONE DELLA CARTA DEI SUOLI SUL WEB	22
5.1	Elenco dei siti di consultazione e loro caratteristiche.....	22
5.2	Consultazione sul sito Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna (MokaSuoli)	23
5.3	Consultazione sul GeoViewER Moka	24
5.4	Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH	25
5.5	Consultazione sul sito CATALOGO DEI SUOLI REGIONALE	26
5.6	Scaricamento dati.....	27
5.7	Consultazione come servizio WMS	28
6	ALLEGATO. DESCRIZIONE DELLE PROVINCE DI TERRE (L2)	29
7	BIBLIOGRAFIA	31



CARTA DEL CONTENUTO % DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA STRATO 0-30 cm.
SCALA 1:50.000. TERZA 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 minerali del 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.

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.

Nel 2021 la Commissione Europea ha approvato la "Strategia del Suolo per il 2030" COM(2021) 699 (sotto l'ombrello del Green Deal) con diversi obiettivi, fra i quali c'è anche quello di favorire l'accumulo di carbonio organico nei suoli, per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici, anche attraverso azioni legislative che proteggano e vincolino le zone umide e i suoli organici.

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 e la loro periodica revisione ed aggiornamento.

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. Rispetto alle carte precedentemente pubblicate (2015 pianura con risoluzione 500mx500m; 2010 Appennino con risoluzione 1Kmx1Km) questa terza edizione interessa tutta la Regione (con l'eccezione dei due comuni della Val Marecchia aggregati nel 2021) ed è ad una risoluzione di 100mx100m.



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 (SO) attraverso il fattore di Van Bemmelen (SO = 1,724 CO, 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 nei suoli della regione Emilia-Romagna", come più ampiamente descritto nel paragrafo Metodologia Utilizzata, è il risultato di due diversi tipi di elaborazione a seconda dell'ambiente (pianura e Appennino) e della numerosità dei dati presenti. Entrambe le elaborazioni, a partire da valori puntuali di carbonio organico, tengono conto della distribuzione dei diversi tipi di suolo nel territorio regionale. Ne esce un quadro descrittivo che riflette non solo la distribuzione dei suoli ma anche le pratiche colturali che insistono sui suoli influenzandone il contenuto in sostanza organica.

Nell'ambiente di **pianura** si è utilizzato un approccio basato su simulazioni **geostatistiche** (in modo analogo alla carta pubblicata nel 2015), il quale, a partire da valori puntuali di carbonio organico, tiene conto della distribuzione dei suoli a cui questi valori si riferiscono condizionando la stima al valore medio delle delimitazioni della carta dei suoli in scala 1:50,000.

Nell'ambiente dell'**Appennino**, a causa del ridotto numero di dati puntuali disponibili, si è utilizzato invece un approccio di Digital Soil Mapping (DSM) che si basa su algoritmi di tipo regressivo per stimare la distribuzione spaziale delle caratteristiche dei suoli utilizzando come predittori un numero variabile di covariate. Queste sono tipicamente variabili di tipo continuo, quali ad esempio la quota e altri parametri derivati dal modello digitale di elevazione (DEM), le variabili meteo-climatiche, e gli indici spettrali e vegetazionali da remote sensing. A queste si accompagnano spesso variabili di tipo categorico quali ad esempio l'uso del suolo, e le unità della carta dei suoli a diversi livelli, di scala. Poiché non esistono metodi di DSM che siano in assoluto migliori di altri e che l'individuazione dello strumento più adatto dipende fortemente dal contesto oggetto di studio (Guevara et al., 2018), l'approccio seguito ha utilizzato degli script di R per testare diversi algoritmi e selezionare il migliore sulla base di statistiche di validazione, relative ad un sub-set di dati indipendenti non utilizzati per la calibrazione del modello spaziale.

Il dato stimato **risulta più preciso in pianura** che in Appennino, dovuto sia alla maggiore quantità di dati disponibili sia alla metodologia di stima utilizzata. La geostatistica, infatti, restituisce il valore misurato nel punto di osservazione (es. restituisce nel pixel i dati dei siti che vi ricadono dentro), mentre il DSM, essendo basato su algoritmi di tipo regressivo, tende a penalizzare i valori estremi e a restituire valori stimati caratterizzati da una minore dispersione intorno al valore medio. La parte montana presenta meno dati puntuali, mal distribuiti e una carta dei suoli meno accurata dato che la carta dei suoli 50k è disponibile solo in parte del territorio. Per questo motivo è necessario il contributo di covariate spaziali note su tutta l'area di studio a supporto della procedura di stima della distribuzione spaziale dei parametri pedologici.

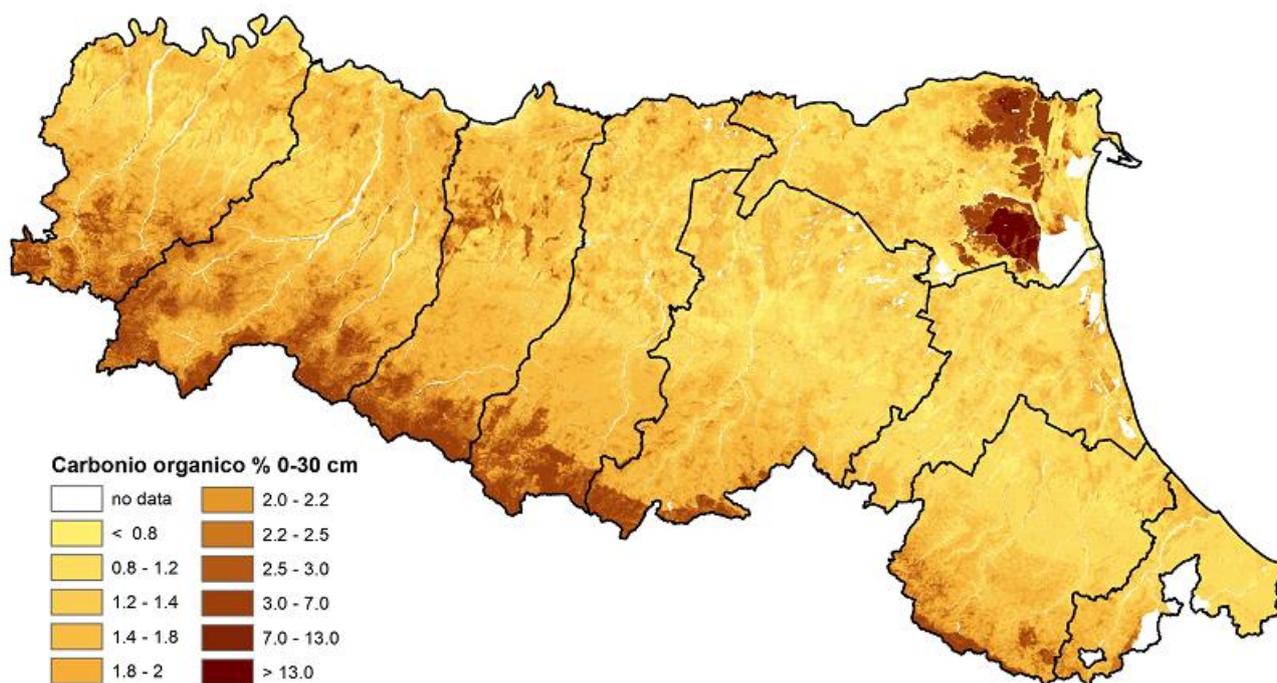


Figura 1. Carta del Carbonio Organico % 0-30 cm nei suoli regionali, terza edizione

A differenza delle edizioni precedenti, che erano strati vettoriali, la carta presente è composta da **2 strati raster a pixel di 100m x 100m**: carbonio organico%, e accuratezza dei valori stimati.

Il livello di **accuratezza** è definito in termini di deviazione standard del del valore stimato in ciascuna cella del grid: minore la deviazione standard, più accurata la stima. Considerando che la distribuzione spaziale dei parametri è stimata in modo diverso in pianura e in Appennino anche la relativa accuratezza viene stimata in modo diverso, ma all'utente è restituita con un giudizio qualitativo in termini di classi di accuratezza (alta, media, bassa) in modo da rendere comparabili i valori.

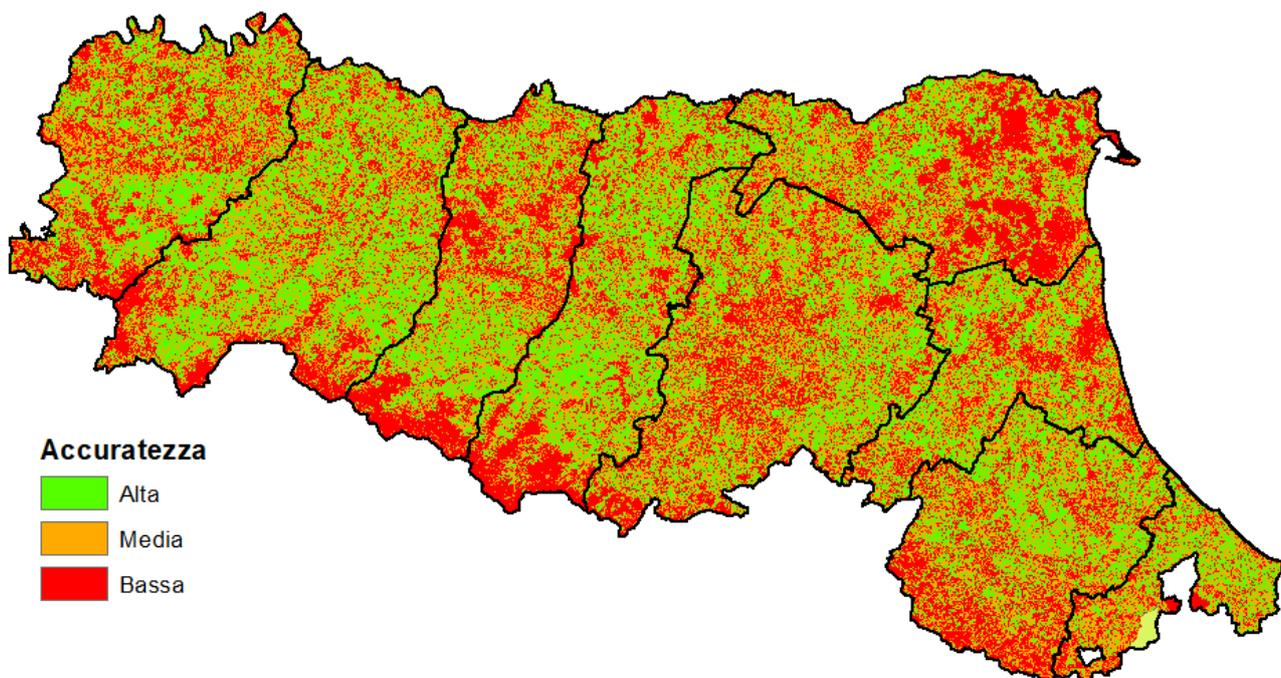


Figura 2. Carta dell'attendibilità (indice qualitativo di accuratezza cartografica) del contenuto di carbonio organico %

in questa carta i valori medi di carbonio organico nell'area di pianura risultano molto simili, se non più bassi, rispetto alla edizione del 2015 (figure 3-4). Nella carta precedente erano stati utilizzati **14.240** dati puntuali (epoca di campionamento 1990-2013), contro i **18.393** (epoca di campionamento 1990-2022) della carta



attuale. Nel periodo 2013-2022 si sono aggiunti 2.498 punti, oltre ai 1.644 punti del periodo 1990-2013 che non erano stati presi in considerazione nell'edizione 2015 (se non come parziale dataset di validazione) in quanto non ricollegati a tipi di suolo. Fare un'elaborazione scartando i dati, per esempio, del periodo 1990-2005 avrebbe ridotto molto la base dati e l'accuratezza della carta.

È cambiata anche la metodologia di calcolo, in quanto, pur utilizzando sempre la geostatistica, nella carta attuale si sono ridotte le covariate e sono stati utilizzati tutti i dati disponibili.

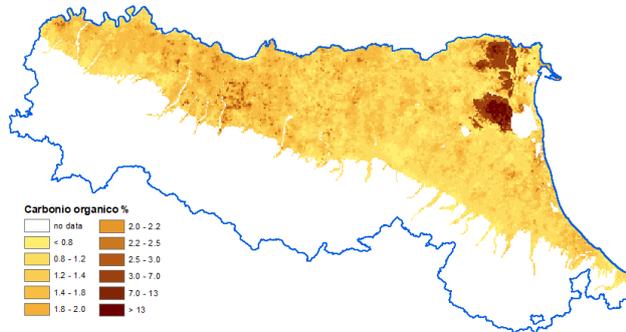


Figura 3. Carta CORG% pianura ed. 2015

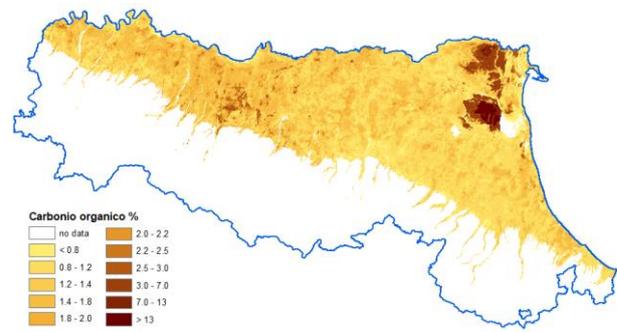


Figura 4. Carta CORG% pianura ed. 2023

Confronto C org. % 2015-2023

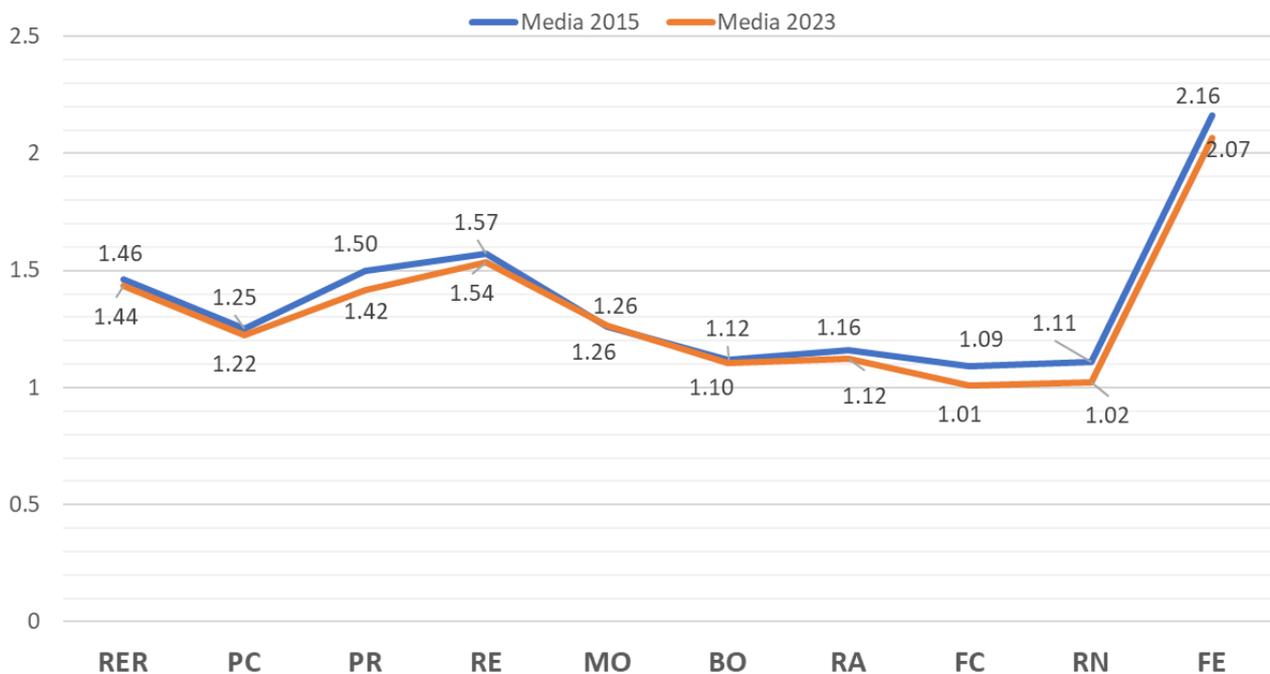


Figura 5. Confronto fra l'edizione 2015 e l'edizione 2023 (dati medi provinciali) per l'area di pianura

Il confronto fra la carta dell'Appennino ed. 2023 e quella del 2010 invece è più difficile in quanto la carta precedente, oltre che ad essere restituita su una maglia di 1km x 1km, era basata su un numero molto basso di dati puntuali e calcolata con una metodologia molto differente.

Il risultato finale dell'edizione 2023 è visibile nella figura 1.

La pianura, specialmente nella sua parte occidentale e nel Ferrarese, appare mediamente ricca di carbonio organico (almeno per quanto riguarda lo standard per i paesi mediterranei), mentre la zona collinare e in particolare quella centro-orientale risulta decisamente molto più povera di carbonio organico. I valori ritornano a salire nel medio Appennino, fino a raggiungere valori piuttosto elevati nell'Alto Appennino, dove sono molto più frequenti boschi e pascoli e le temperature medie più basse favoriscono la conservazione della sostanza organica.



Nelle descrizioni della distribuzione geografica dei contenuti di carbonio organico nel testo si fa riferimento alle **province di terre** (fig. 6, Tabella 1) che rappresentano le unità di suolo-paesaggio della regione alla **scala 1:1.000.000**. Nell'allegato a pag. 30 la descrizione per esteso delle unità.

La pianura della Regione Emilia-Romagna, che si estende su una superficie di circa 12.032 Km² (di cui circa il 19% è occupata da acque e suolo impermeabilizzato), è caratterizzata da un contenuto medio % di carbonio organico, considerando i primi 30 cm di suolo, di circa **1.49% ±1.51 (deviazione standard)**. In Appennino, sempre nello stesso intervallo di riferimento 0-30 cm, il contenuto medio % di carbonio organico è di circa **1.78% ±0.66**. Considerando tutta l'area del territorio regionale, si osserva un contenuto medio di poco superiore ai **1.63% ±1.19**.

In **pianura**, le zone dove sono presenti le maggiori quantità di carbonio organico sono nella piana deltizia inferiore (unità A2) nel Ferrarese grazie alla diffusione di suoli sviluppatasi su depositi torbosi di aree in passato palustri ed ora bonificate (media 6.49%±4.97); nel Parmense destra Taro e in provincia di Reggio Emilia dove l'elevato contenuto di carbonio organico (rispettivamente 1.50%±0.38 e 1.57%±0.48 %) è da ricondursi alle colture foraggere, sia avvicendate che di prati stabili legate alle produzioni zootecniche e casearie (distretto del formaggio Parmigiano-reggiano).

Nel resto dell'Emilia si trovano valori discreti, ad eccezione dei grandi dossi (Taro, Crostolo, Secchia, Panaro e Reno) della bassa pianura alluvionale (unità A6) dove i valori di carbonio sono più bassi per la presenza diffusa della frutticoltura e viticoltura (con valori medi pari a 1.25% ±0.30, e 1.11 % ± 0.27 nelle province di Modena e Bologna rispettivamente). A maggior ragione questo è ancora più evidente in Romagna, dove la frutticoltura è largamente presente. In queste aree 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, anche se negli ultimi anni si sta notando un'inversione di tendenza dovuto alla sempre più diffusa pratica dell'inerbimento di vigneti e frutteti.

I valori più bassi di carbonio si riscontrano dove prevalgono i suoli sabbiosi ossia nella pianura costiera (unità A1- 1.22%±0.61) ed in questa la provincia di Rimini ha il valore più basso (0.93%±0.29) e nella piana a meandri (unità A4, 1.08% ±0.36); valori molto bassi si trovano anche nei suoli desaturati del margine appenninico (unità A10, 1.1% ±0.37), in particolare nelle province di Ravenna (0.83%±0.23) e Bologna (0.81%±0.25).

In Appennino si osserva un trend generale crescente con la quota con valori medi carbonio organico nei primi 30 cm che vanno da **1.23%± 0.27** nel basso appennino, a **1.84%± 0.31** nel medio e **2.90%±0.58** nell'alto appennino.

Per quanto riguarda il **basso Appennino** i suoli su sabbie e argille plioceniche (Unità B1) sono caratterizzati dai valori medi più bassi, pari a ca 1.08%±0.22, con un trend negativo da nord-ovest a sud-est, caratterizzato da valori medi compresi fra 1.28 e 1.16% nel basso appennino piacentino, parmense, reggiano e modenese, con valori di circa 1.14% ±0.22 nel basso appennino bolognese, e infine con valori compresi fra 1.02 e 0.94% nel basso appennino romagnolo. L'unità B2 su argille instabili presenta un valore medio di 1,35% ±0.25 (il più alto della collina), con un range di valori medi compresi tra 1.53% ±0.22 nel reggiano e 1.05% ±0.14 nel forlivese. Le peliti e le arenarie del basso appennino (unità B3) hanno un contenuto medio di 1.30% ±0.25, con valori mediamente più elevati nel reggiano (1.38%±0.14) e più bassi nel riminese (1.1%±0.18). La Marnosa Arenacea Romagnola del basso appennino (unità B4) è infine caratterizzata da valori medi di ca. 1.14% ±0.25.

Il valore medio di carbonio organico nelle unità L2 del **medio Appennino** varia dal 2.11%±0.3 dei suoli su rocce ofiolitiche (unità C5) all'1.69% ±0.29 dei suoli sui flysch calcareo-marnosi (unità C2); i suoli del medio appennino su argille instabili (unità C1) e i suoli sui flysch arenaceo-pelitici (unità C3) hanno valori medi pari a circa 1.9% ±0.30, mentre tenori mediamente più elevati (2.1%±0.17) caratterizzano i suoli su gessi e calcari cavernosi (unità C4). Nelle unità del medio appennino C1, C2 e C3 si osserva un trend generalmente decrescente tra Piacenza e Modena o Bologna, trend che poi si inverte per risalire nelle province romagnole con un massimo in quella di Rimini.

Nell'**alto Appennino** valori mediamente più elevati si osservano nei suoli su arenarie con un valore medio sui 30 cm di 3.1% ±0.64 (unità D1), mentre i valori mediamente più bassi (2.6% ±0.39) caratterizzano i suoli su sui flysch calcareo-marnosi e peliti (unità D2). Valori intermedi, pari a circa il 3% ±0.45, si osservano infine nei suoli su ofioliti (unità D3).

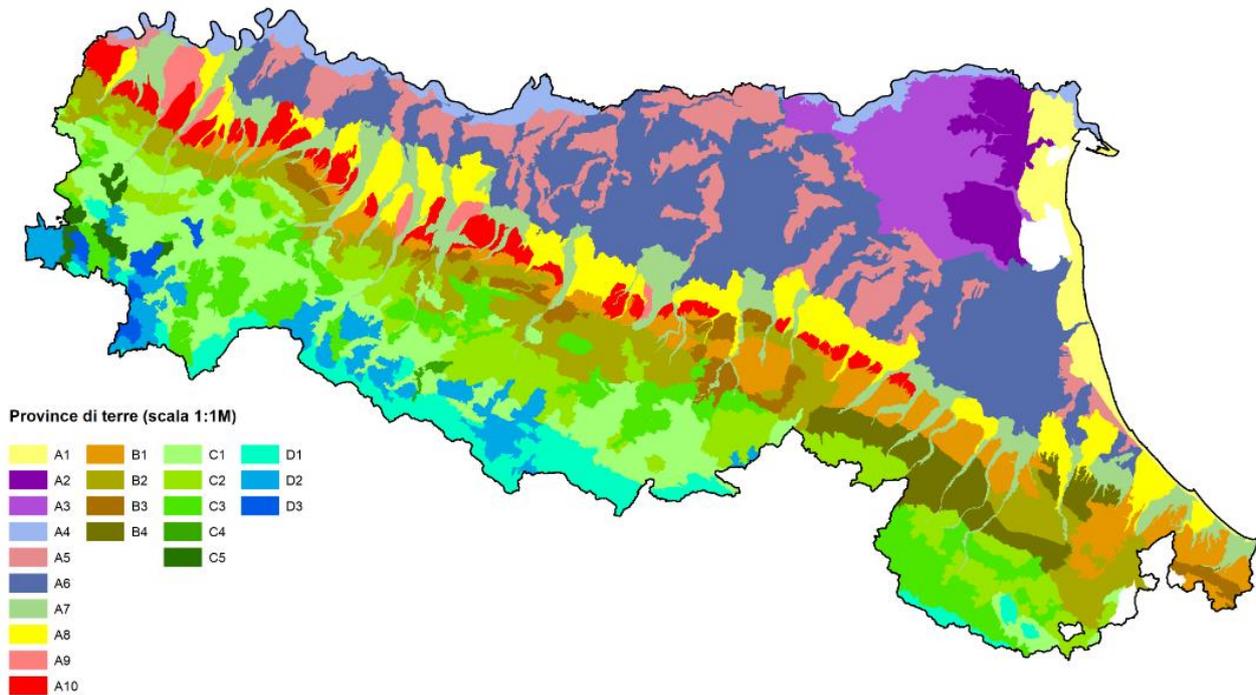


Figura 6. Carta delle province di terre (scala 1:1.000.000) ed. 2021 (livello L2)

L1	L2	ha	Media	Mediana	DevSt	Min	Max
Pianura	A1	46977	1.223	1.142	0.612	0.000	8.900
	A2	46830	6.494	4.713	4.972	0.002	28.940
	A3	101358	1.210	1.144	0.450	0.000	13.739
	A4	46866	1.081	1.089	0.356	0.001	5.179
	A5	171305	1.481	1.455	0.352	0.007	23.961
	A6	360362	1.214	1.187	0.320	0.000	7.410
	A7	89360	1.316	1.283	0.491	0.000	5.817
	A8	166161	1.294	1.249	0.394	0.000	7.920
	A9	22476	1.505	1.439	0.456	0.002	4.760
	A10	72115	1.100	1.084	0.368	0.002	5.529
Basso Appennino	B1	124184	1.079	1.035	0.218	0.091	2.901
	B2	162315	1.353	1.337	0.252	0.242	3.493
	B3	38314	1.305	1.273	0.251	0.100	4.085
	B4	61838	1.138	1.117	0.250	0.091	2.149
Medio Appennino	C1	190501	1.889	1.892	0.297	0.908	4.182
	C2	150479	1.691	1.682	0.285	0.746	3.511
	C3	144651	1.912	1.896	0.302	0.100	3.483
	C4	1812	2.076	2.058	0.167	1.648	2.648
	C5	11720	2.110	2.075	0.299	1.240	3.342
Alto Appennino	D1	80970	3.110	3.033	0.639	1.267	12.780
	D2	67435	2.644	2.631	0.391	1.299	4.840
	D3	11288	2.968	2.961	0.451	1.669	5.366
Alvei e corpi d'acqua		114	2.390	2.057	2.462	0.091	13.389
REGIONE		2169431	1.627	1.423	1.188	0.000	28.940

Tabella 1. Statistiche descrittive del contenuto di C organico % per province di terre (L2)

Proseguendo la disamina e facendo riferimento ai 25 distretti agricoli in cui è stata suddivisa la Regione in base all'uso del suolo e alla gestione agricola, la situazione si articola in modo leggermente differente.



CARTA DEL CONTENUTO % DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA STRATO 0-30 cm.
SCALA 1:50.000. TERZA EDIZIONE

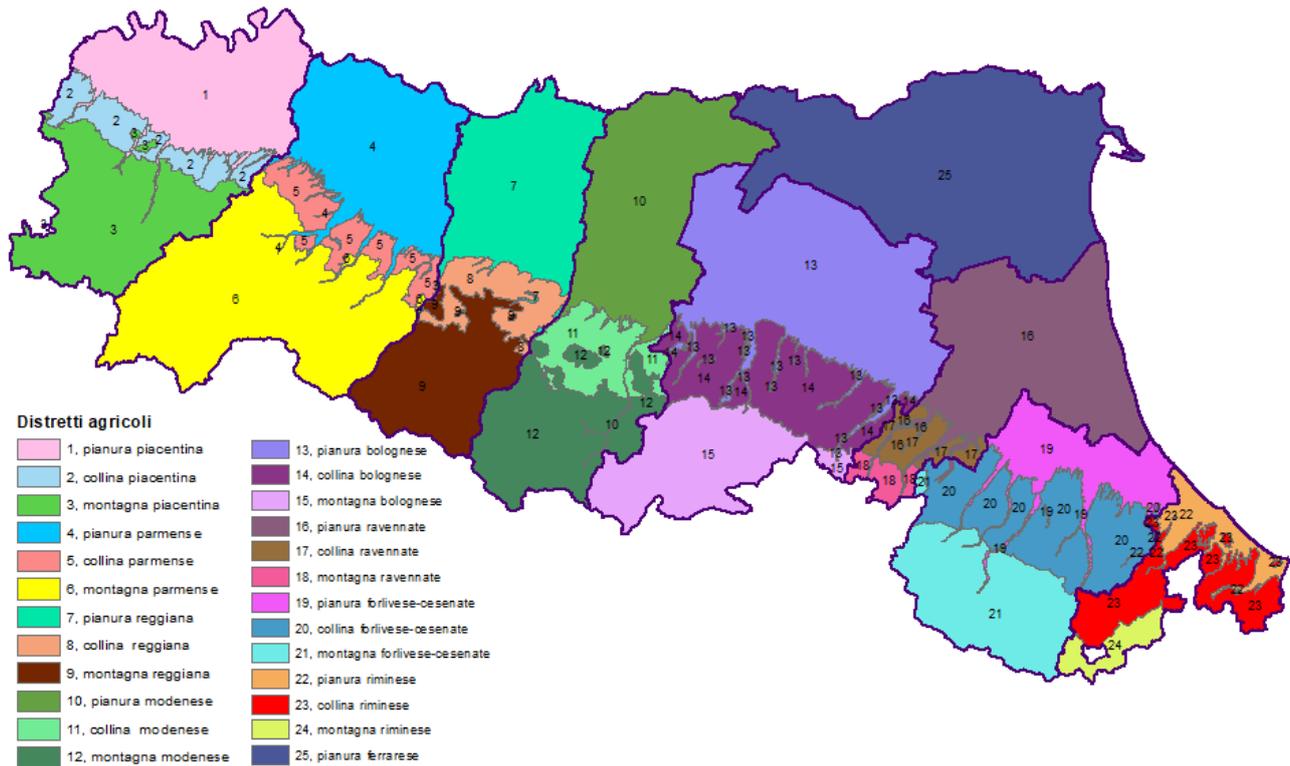


Figura 7. Carta dei 25 distretti agricoli della regione Emilia-Romagna

Distretto	RER	1	4	7	10	13	16	19	22	25
C org. %		Piacenza	Parma	Reggio E.	Modena	Bologna	Ravenna	Forli-Cesena	Rimini	Ferrara
Minimo	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.000
Massimo	28.940	5.293	5.529	23.961	7.410	5.817	4.723	3.000	2.670	28.940
Media	1.484	1.283	1.496	1.573	1.295	1.121	1.161	1.098	1.138	2.239
DevStandard	1.504	0.382	0.378	0.475	0.324	0.313	0.302	0.279	0.319	3.060

Tabella 2. Statistiche descrittive dalla Carta del CO% 0-30 cm, terza edizione: dati aggregati per i distretti agricoli di pianura

Distretto	RER	2	5	8	11	14	17	20	23
C org. %		Piacenza	Parma	Reggio E.	Modena	Bologna	Ravenna	Forli-Cesena	Rimini
Minimo	0.091	0.091	0.476	0.097	0.176	0.091	0.091	0.100	0.091
Massimo	3.701	3.171	3.294	3.493	2.687	3.701	3.128	2.697	2.679
Media	1.236	1.318	1.302	1.463	1.409	1.246	0.975	1.098	1.198
DevStandard	0.279	0.206	0.187	0.220	0.227	0.276	0.175	0.235	0.328

Tabella 3. Statistiche descrittive dalla Carta del CO% 0-30 cm, terza edizione: dati aggregati per i distretti agricoli di collina

Distretto	RER	3	6	9	12	15	18	21	24
C org. %		Piacenza	Parma	Reggio E.	Modena	Bologna	Ravenna	Forli-Cesena	Rimini
Minimo	0.039	0.918	0.039	0.548	0.882	0.175	0.854	0.100	1.010
Massimo	12.780	5.366	9.475	12.780	6.392	5.704	2.160	5.098	3.733
Media	2.101	2.091	2.197	2.260	2.242	1.946	1.446	1.879	1.907
DevStandard	0.604	0.485	0.560	0.719	0.714	0.563	0.224	0.510	0.361

Tabella 4. Statistiche descrittive dalla Carta del CO% 0-30 cm, terza edizione: dati aggregati per i distretti agricoli di montagna

Per quanto riguarda l'area di **pianura**, come evidenziato nella tabella 2 le aree con maggior contenuto di carbonio organico sono presenti nel distretto agricolo di Ferrara con un valore medio pari a circa il 2.24% contro una media regionale di **1.48%**. 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%) e Modena (1.30%); 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. Anche il distretto di Piacenza ha valori comparabili (1.28%) dovuto anche qui alla presenza diffusa di colture foraggere per la produzione del Grana Padano. I valori più bassi si osservano nel distretto di Bologna (1.12%) dove prevalgono i seminativi e nei distretti agricoli romagnoli dominati dalla frutticoltura (Ravenna: 1.16%; Forlì-Cesena: 1.10%) dove, con l'evoluzione dell'uso e della gestione del suolo successivi agli anni '50, sono molto diminuite le colture foraggere (anche se l'avvicendamento di seminativi con la medica è ancora presente) ed è venuto meno nello stesso tempo l'apporto di sostanza organica da deiezioni zootecniche.

La **collina** è l'ambiente dove il contenuto di carbonio è più basso a livello regionale. I distretti occidentali hanno livelli di contenuto di carbonio bassi (da 1.46% di Reggio Emilia a 1.3% di Parma) ma ancora relativamente accettabili dovuto alla presenza diffusa di prati avvicendati (medica soprattutto) e colture arboree (vigneti per lo più), dove l'inerbimento delle interfile è molto praticato. Giova anche la presenza diffusa di boschi cedui. I valori più bassi rispetto a distretti di pianura sono dovuti al diffuso degrado del suolo (erosione e movimenti di massa), associato ad una gestione spesso non ottimale dei prati quali la distribuzione di letame poco maturo e ipersfruttamento con conseguente impoverimento della componente floristica. Nel settore orientale della regione invece i valori sono decisamente bassi (i più bassi in regione) con valori di 0.98% a Ravenna, 1.1% nel forlivese-cesenate e 1.2% a Rimini e Bologna. Ciò è dovuto alla diffusa presenza di arboree (frutteti e vigneti), spesso impiantati dopo severi interventi di livellamento meccanico dei versanti che porta in superficie il substrato roccioso, e con interfile spesso non inerbite. Tutto ciò, associato alla prevalente presenza di suoli a tessitura media o più grossolana (nelle province occidentali invece i suoli sono tendenzialmente più argillosi), comporta alti gradi di erosione e di conseguente perdita di fertilità del suolo.

Nell'**ambiente montano** i valori medi di carbonio sono i più alti della regione. Ciò è dovuto soprattutto alla elevata presenza di boschi¹: boschi cedui di latifoglie mesofile a prevalenza di cerro o con abbondanza di carpino nero e roverella, oltre che castagneti, coprono il 62% del medio Appennino, mentre nell'alto Appennino foreste di faggio e secondariamente abetine coprono l'84% della superficie. L'uso agricolo è dedicato per lo più a prati avvicendati o permanenti (nei quali comunque si trovano gli stessi problemi di gestione menzionati per l'ambiente collinare), mentre alle quote più alte si trovano pascoli e oltre il limite superiore della vegetazione arborea predominano cespuglieti a mirtillo e praterie a nardo. I valori più alti di carbonio si trovano nelle quattro province occidentali (da 2.26% di Reggio Emilia a 2.1% di Piacenza), mentre nelle province orientali i valori più bassi sono sempre quelli delle province di Ravenna e Forlì-Cesena (per la presenza di versanti ad elevate pendenze, boschi poveri ed erosione ancora elevata). La montagna riminese (senza i due comuni nuovi) presenta valori di carbonio più alti (1.9%).

La provincia di Ravenna nel complesso ha i valori di carbonio più bassi di tutta la regione (tab. 5) sia come media che come mediana. Ferrara invece (grazie all'apporto dei suoli organici) ha i valori più alti come media, ma non come mediana che invece compete alla provincia di Parma.

Provincia	ha	Media	Mediana	DevSt	Min	Max
PC	250130	1.63	1.55	0.57	0.00	5.37
PR	334609	1.86	1.79	0.60	0.00	9.47
RE	224896	1.80	1.67	0.65	0.00	23.96
MO	263359	1.64	1.48	0.66	0.00	7.41
BO	359363	1.35	1.25	0.51	0.00	5.82
RA	174963	1.16	1.12	0.30	0.00	4.72
FC	235157	1.39	1.25	0.53	0.00	5.10
RN	84541	1.28	1.18	0.42	0.00	3.73
FE	240623	2.24	1.27	3.06	0.00	28.94

Tabella 5. Dati statistici del contenuto di C organico % per provincia

¹ Dati carta forestale regionale 2014



Provincia	Seminativi	Vite	Legnose agrarie	Orti familiari	Prati permanenti e pascoli	SAU	Arbor. legno	Boschi
Piacenza	98.783,51	5.961,55	532,61	128,45	14.038,41	119.444,53	782,63	22.208,02
Parma	102.694,80	739,66	422,23	84,84	23.086,06	127.027,59	667,21	34.266,60
Reggio Emilia	77.336,56	8.015,32	1.067,04	79,44	16.806,51	103.304,87	852,50	15.669,06
Modena	96.631,98	7.920,35	10.173,30	169,29	14.734,14	129.629,06	623,50	17.373,94
Bologna	141.672,07	6.863,58	10.805,42	283,01	14.017,36	173.641,44	691,91	26.935,71
Ferrara	167.850,28	610,46	14.782,07	83,76	734,86	184.061,43	997,13	913,90
Ravenna	75.688,80	16.337,65	21.692,67	172,20	2.268,06	116.159,38	323,54	7.640,93
Forlì-Cesena	54.972,10	7.057,87	12.029,95	255,33	15.017,67	89.332,92	1.326,54	34.119,81
Rimini	28.155,78	2.464,71	2.254,59	194,61	3.289,08	36.358,77	269,94	6.718,87
Emilia-Romagna	843.785,88	55.971,15	73.759,88	1.450,93	103.992,15	1.078,96	6.534,90	165.846,84

Tabella 6. Superficie investita dalle aziende per tipo di coltivazione e provincia e con localizzazione del centro aziendale. Superficie in ettari. Emilia-Romagna - Censimento Agricoltura 2010 (i dati del censimento 2022 non sono ancora disponibili)

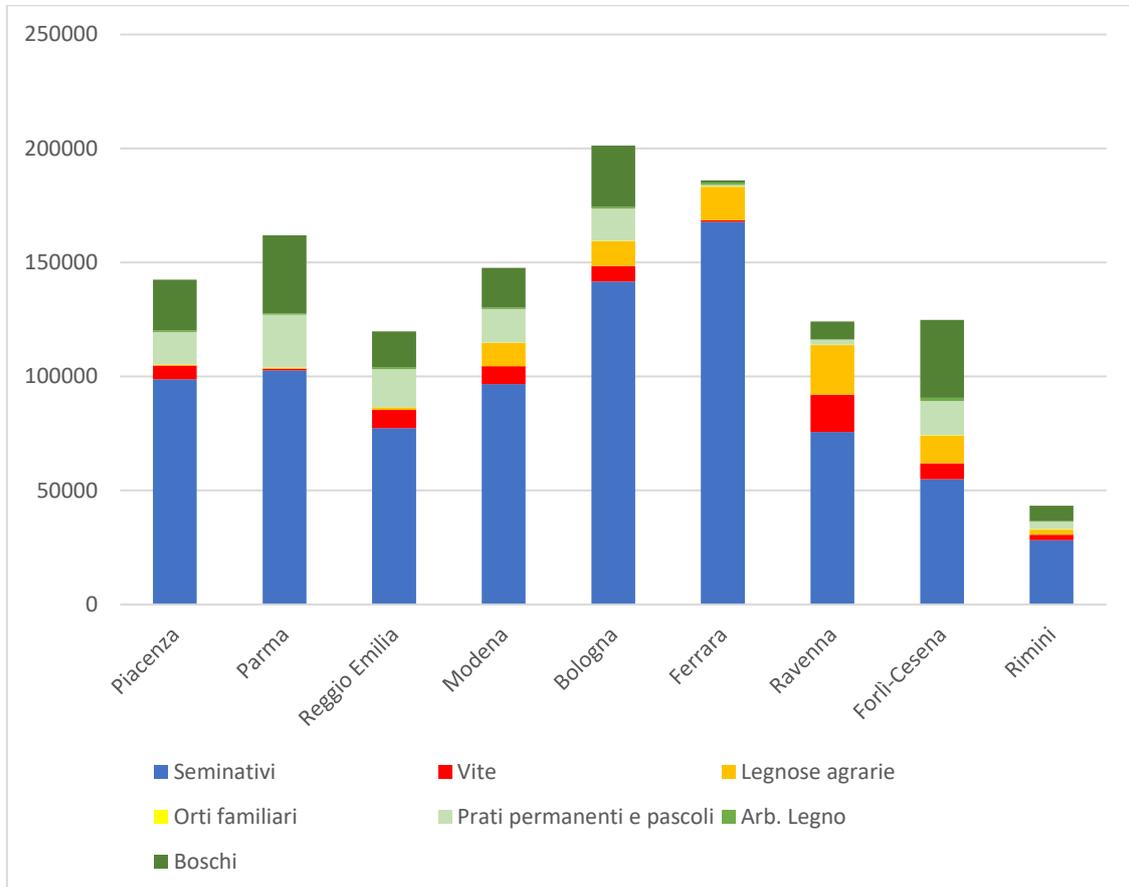


Figura 8. Superficie investita dalle aziende per tipo di coltivazione e provincia, con localizzazione del centro aziendale (da tabella 6). Emilia-Romagna - Censimento Agricoltura 2010



4 METODOLOGIA UTILIZZATA

4.1 Metodologia utilizzata per la pianura

I dati di carbonio organico sono stati dapprima armonizzati dall'area Geologia, Suoli e Sismica e poi elaborati attraverso analisi statistica e geostatistica da parte del CNR IBE. Sono stati tentati tre diversi approcci basati su diverse modalità di definizione e calcolo del valore medio condizionante la stima e utilizzato per il calcolo dei residui:

1. medie dei poligoni utilizzando i dati 0-30 cm relativi ai siti benchmark;
2. medie per unità L4 per 12 comprensori agricoli definiti dal AGSS-RER in base agli ordinamenti prevalenti;
3. medie per unità L4 per 11 comprensori agricoli definiti dal AGSS-RER in base agli apporti di sostanza organica derivante da effluenti agricoli.

Di fronte a risultati sostanzialmente simili in termini statistici (precisione e accuratezza dei valori stimati), si è optato per il primo approccio. L'elaborazione complessiva è stata effettuata in base a criteri statistici e geostatistici con la seguente metodologia:

1. Calcolo delle statistiche descrittive riferite allo strato 0-30 cm. Ove necessario (nel caso di più valori per l'intervallo 0-30 cm) il dato per l'intervallo di riferimento è stato interpolato tramite spline (Bishop et al., 199; Malone et al., 2009);
2. definizione del valore medio per ogni poligono della carta dei suoli in scala 1:50.000
3. calcolo della differenza ("residuo") tra i valori puntuali presenti nelle delimitazioni e il valore medio attribuito alla delimitazione dove i punti stessi ricadono.
4. analisi geostatistica dei residui ed elaborazioni cartografiche basate su simulazioni sequenziali.

4.2 Stime statistiche e geostatistiche

La procedura di spazializzazione seguita, nota come *scorpan kriging*, si è poi articolata nelle seguenti fasi:

1. Preparazione dati puntuali da parte di AGSS-RER
2. Calcolo da parte di AGSS-RER dei valori medi di carbonio organico % per ciascuna delimitazione mediante l'utilizzo dei siti benchmark;
3. Analisi statistica descrittiva e calcolo dei residui dal valore medio per ciascuna osservazione;
4. variografia sperimentale dei residui e modellizzazione del variogramma dei residui;
5. Simulazioni sequenziali gaussiane con kriging ordinario dei residui su grid regolare 100 m e somma della media del residuo simulato ($N = 25$) al valore medio attribuito alla cella e controllo sui range dei valori così ottenuti;
6. Carta del valore stimato e dell'indice di accuratezza cartografica; questa viene definita in base alla deviazione standard dei valori simulati ($N = 25$) in ciascuna cella del grid di stima a 100 m.

4.2.1 Preparazione dati puntuali

I dati presenti nella banca dati dei suoli provengono da tre fonti diverse:

1. osservazioni pedologiche raccolte dall'area Geologia, Suoli e Sismica del settore Difesa del Territorio della direzione Cura del territorio e dell'Ambiente);
2. prelievi effettuati nell'ambito delle attività di assistenza tecnica per l'agricoltura di proprietà del Settore programmazione, sviluppo del territorio e sostenibilità delle produzioni della Direzione Agricoltura);
3. dati di monitoraggio provenienti da varie fonti, fra cui i dati LUCAS raccolti da ESDAC². Per i monitoraggi sono stati utilizzati i dati analitici più recenti.

Il data set complessivo consiste in **18.393** siti dotati di dati analitici per l'intervallo di profondità di 0-30 cm, campionati in un arco temporale fra il 1990 e il 2022. Sono stati esclusi (come fu fatto anche per la carta del 2015) i dati campionati prima del 1990, in quanto ritenuti non più rappresentativi della attuale gestione agronomica.

² JOINT RESEARCH CENTRE. European Soil Data Centre



ORIGINE	Periodo campionamento		Numero totale	%
BD suoli	1990	2022	5.601	30.4
SACT	1990	2022	12.482	67.9
Monitoraggi	1999	2021	310	1.7
			18.393	100

Tabella 7. Analisi disponibili C organico strato 0-30 cm in pianura

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.

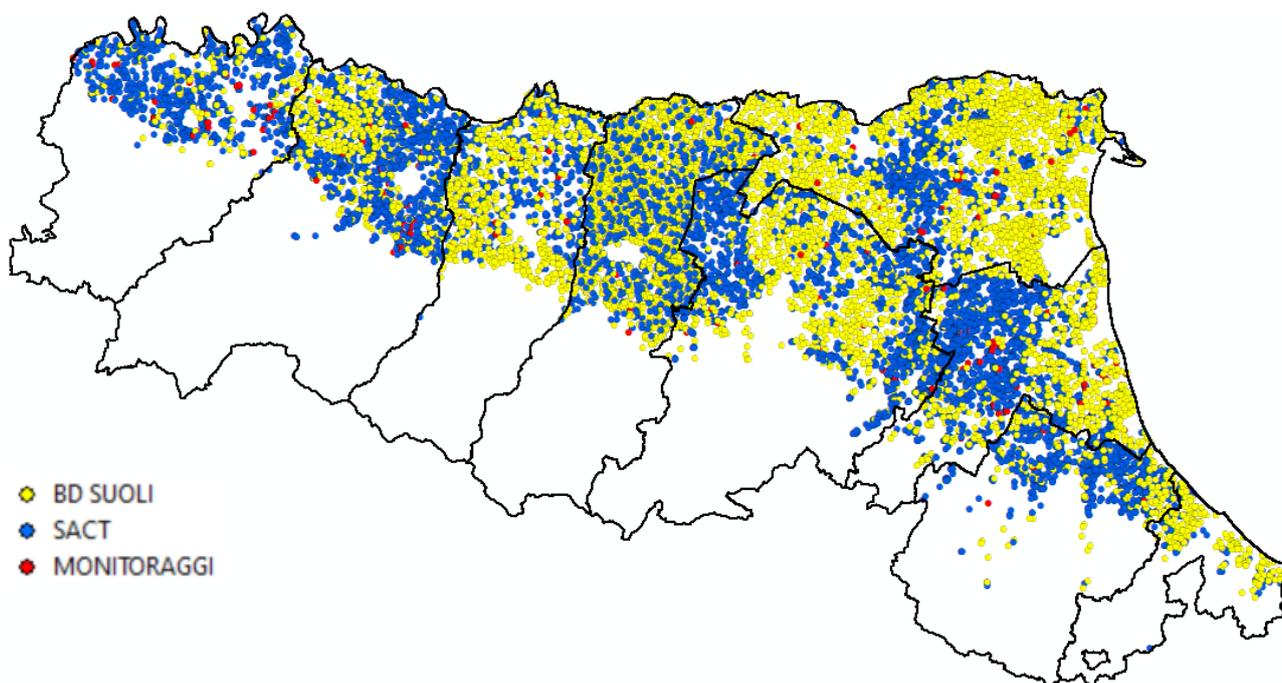


Figura 9. Distribuzione dei 18.393 siti in base alla banca dati di provenienza

4.2.2 Calcolo delle statistiche descrittive

Sono stati presi in considerazione tutti i dati che avessero valori di carbonio nell'orizzonte di superficie. Gli orizzonti organici O sono stati esclusi dalla selezione. Il CNR IBE ha calcolato per tutti i siti il carbonio organico per lo strato 0-30 cm utilizzando uno script di R per interpolare i valori all'interno dell'intervallo di riferimento con spline cubiche.

È stato eseguito il calcolo delle statistiche descrittive dei valori di carbonio organico contenuti nel data set (media, minimo, massimo, deviazione standard, intervalli di confidenza, errore standard, mediana, quartili, 1° e 9° decile).



Variabile	Media	Dev. Std.	Errore Std.	IC - 95%	IC 95%	Min.	P10	Q25	Mediana	Q75	P90	Max
Carbonio organico	1.440	1.478	0.0109	1.419	1.462	0.004	0.750	0.930	1.180	1.510	1.966	28.94

Tabella 8. Statistiche descrittive (N = 18.393)

4.2.3 Definizione del valore medio di riferimento e calcolo dei valori ponderati

La base cartografica di riferimento è costituita dalla “**Carta dei suoli 1:50.000**” edizione 2021, prodotta dall’area Geologia, Suoli e Sismica, che copre interamente l’area della pianura regionale. La carta dei suoli descrive il territorio attraverso poligoni (o delimitazioni) che rappresentano una porzione di territorio omogenea per i tipi di suoli in essa presenti.

Sono stati calcolati i valori medi ponderati di carbonio in base alla percentuale di occorrenza di ogni suolo all’interno della delimitazione sulla base dei siti di riferimento o benchmark locali a cui ogni suolo è stato collegato.

Il CNR IBE ha calcolato per tutti i siti benchmark il valore di carbonio organico per lo strato 0-30 cm con il utilizzando spline cubiche per interpolare i valori dove necessario.

Delineazione				Valori 0-30 cm siti benchmark		Valori ponderati	Valore medio ponderato per la delimitazione
xid_delin	sigla_uc	suolo	%	ID_SITO	corg	corg*%	
6463	SMB1	SMB1	55	788	1.04	0.572	1.247
		SMB2	30	4	1.68	0.504	
		FSL1	5	10767	1.16	0.058	
		SEC1	5	762	1.22	0.061	
		VIL2	5	412	1.04	0.052	

Tabella 9. Esempio di calcolo della media ponderata nella delimitazione 6463

4.2.4 Elaborazione geostatistica

La definizione dei valori medi delle delimitazioni della carta dei suoli di pianura (scala 1:50.000) è alla base della successiva analisi geostatistica. In questo modo è stato possibile calcolare la differenza tra il valore medio attribuito alla delimitazione ed il valore puntuale osservato. Tale differenza, detta residuo, è stato oggetto di elaborazione geostatistica. L’analisi geostatistica ha come riferimento raster la griglia regionale³ con dimensione della cella di 100m x 100m. La stessa griglia viene utilizzata come base per la restituzione degli elaborati. Il valore assegnato a ciascuna cella è dunque il valore medio della delimitazione in cui ricade il centroide della cella stessa, corretto con il valore del residuo assegnato attraverso l’analisi geostatistica.

La metodologia applicata è una delle possibili varianti del Geostatistic-Scorpan Kriging (McBratney et al. 2003, Ungaro et al. 2010). In particolare, si tratta di un’analisi che si restituisce *N* valori simulati in corrispondenza di ciascuna cella del raster regionale. L’insieme delle simulazioni fornisce dunque una serie di *N* rappresentazioni equiprobabili (mappe) la cui statistiche descrittive calcolate in corrispondenza di ciascuna cella anche forniscono non solo un valore medio ma anche indicazioni sull’incertezza del dato stimato.

Il valore del residuo del parametro attribuito ad ogni cella è il valore medio delle *N*=25 simulazioni, mentre l’indice di accuratezza cartografica, ossia l’**attendibilità del dato stimato**, si basa sulla deviazione standard dei valori risultanti dalle 25 simulazioni. In particolare, la deviazione standard calcolata in corrispondenza di ciascuna cella è stata classata in tre intervalli definiti in base ai decili della distribuzione della deviazione standard (vedi figura 2). L’implementazione delle simulazioni sequenziali richiede i seguenti passaggi:

1. Trasformazione dei dati (*Normal score transform*);
2. Calcolo del semivariogramma sperimentale;
3. Modellizzazione del semivariogramma;
4. Definizione del grid di stima e utilizzo del semivariogramma modello per le simulazioni sequenziali;
5. Trasformazione inversa dei dati e calcolo del valore medio stimato e della deviazione standard di stima in corrispondenza di ciascuna cella del grid;
6. Rappresentazione cartografica del valore stimato e della sua deviazione standard in ambiente GIS.

³ L’area Geologia, Suoli e Sismica ha costruito a livello regionale, ai fini delle analisi geografiche e della modellizzazione, una griglia multiscala con celle di dimensione di 100 m aggregabili a 500 m o ad 1Km. La griglia è stata costruita con riferimento a quanto indicato dal progetto MEUSIS del JRC-European Commission.



Tutti passaggi sopradescritti, ad eccezione del terzo e dell'ultimo, sono stati effettuati con il software WinGSLib (Statis LLC, 2000) che utilizza gli eseguibili della libreria fortran GSLIB (Deutsch and Journel, 1998). La modellizzazione del semivariogramma sperimentale è stata fatta ricorrendo ad uno script di R che utilizza la libreria 'gstat' versione 2.0-9 (Pebesma, 2004; Gräler et al., 2016).

Gli istogrammi dei residui e i semivariogrammi sperimentali omnidirezionali dei residui normalizzati del contenuto % di carbonio organico sono illustrati nella figura 10; in tutti i casi l'incremento lineare sulla distanza (*lag*) per il calcolo della semivarianza è stato posto uguale a 500 m. I parametri del modello utilizzato per interpolare il semivariogramma sperimentale dei residui normalizzati sono riportati nella Tabella 10.

	Carbonio organico % 0-30 cm	
Modello	Sill	Range (m)
Nugget, C_0	0.180	-
Sferico, C_1	0.402	711.6
Sferico, C_2	0.313	18002.6

Tabella 10. Parametri del modello utilizzato per interpolare il semivariogramma sperimentale dei residui normalizzati.

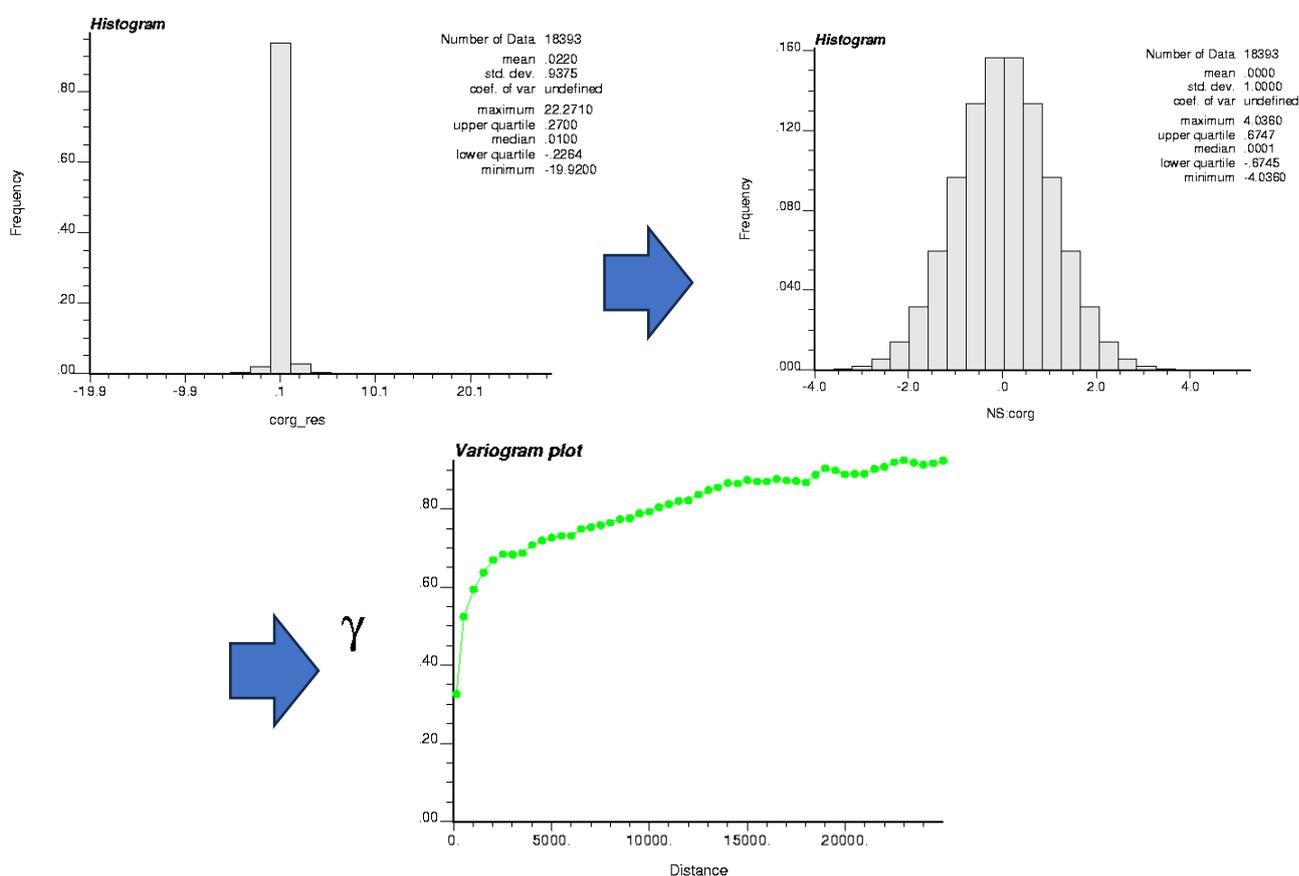


Figura 10. C org. % 0-30 cm: Istogramma delle frequenze dei residui e semivariogramma omnidirezionale dei residui standardizzati



4.3 Metodologia utilizzata per l'Appennino

Per la stima delle grandezze e la realizzazione delle carte in Appennino si è scelto di utilizzare la **Digital Soil Mapping (DSM)**. Questo metodo è stato scelto in quanto i dati disponibili per la zona appenninica non sono distribuiti in maniera omogenea lungo tutta la regione e pertanto ci si avvale del contributo che le cosiddette covariate ambientali possono portare al processo di stima. Le covariate ambientali sono quindi alla base della digital soil mapping e la loro selezione determina in larga misura la precisione e l'accuratezza cartografica, specialmente nei casi in cui il numero di campioni di suolo sia limitato ma l'eterogeneità spaziale elevata come accade nel territorio collinare e montano della regione. Utilizzando algoritmi propri del *machine learning*, questo metodo consente di predire e spazializzare le proprietà del suolo a partire da dati puntuali di natura pedologica acquisiti tramite rilevazione ed analisi in campo di profili/trivellate (CO, tessitura, pH ecc..) combinati con dati di natura ambientale (covariate) il cui valore è noto su tutto il territorio oggetto di studio (es. esposizione, clima, uso, copertura, vegetazione, organismi, parent material) attraverso un modello predittivo.

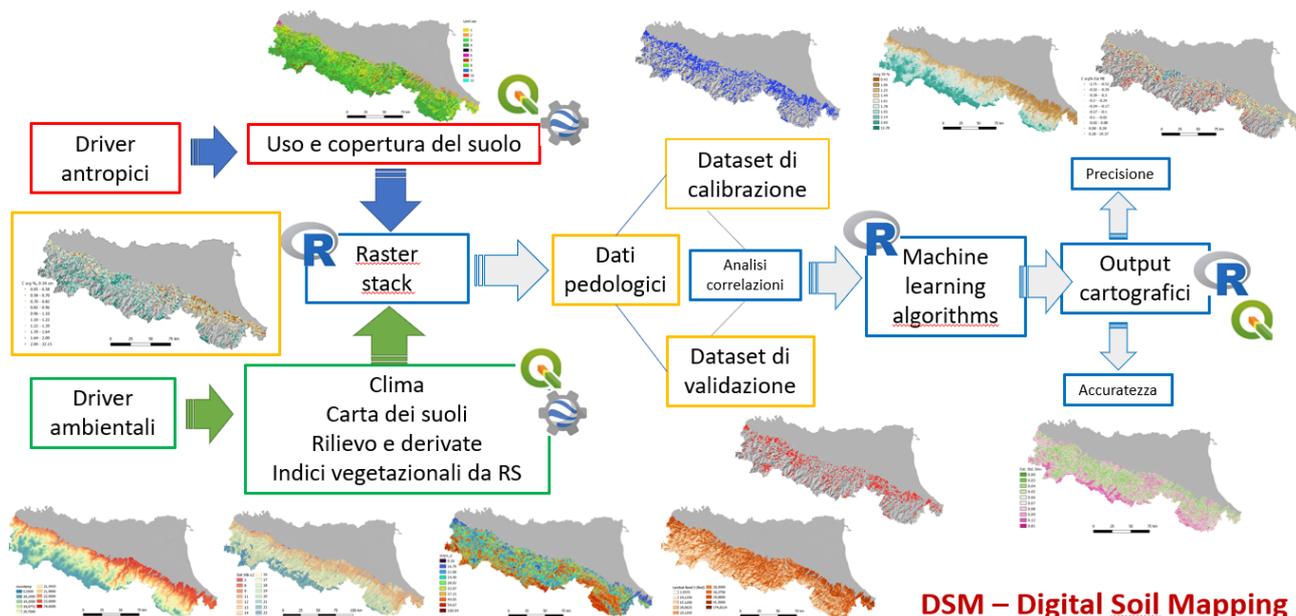


Figura 11. Schema del processo di DSM

Anche per questa zona si sono utilizzati dati puntuali che, come per la pianura, provengono da tre fonti diverse:

1. osservazioni pedologiche raccolte dall'area Geologia, Suoli e Sismica del settore Difesa del Territorio della direzione Cura del territorio e dell'Ambiente);
2. prelievi effettuati nell'ambito delle attività di assistenza tecnica per l'agricoltura di proprietà del Settore programmazione, sviluppo del territorio e sostenibilità delle produzioni della Direzione Agricoltura);
3. dati di monitoraggio provenienti da varie fonti, fra cui i dati LUCAS raccolti da ESDAC⁴. Per i monitoraggi sono stati utilizzati i dati più recenti.

Il data set complessivo consiste in **9.553** siti dotati di dati analitici per l'intervallo di profondità di 0-30 cm, campionati in un arco temporale fra il 1974 e il 2022. A differenza dell'area di pianura i dati più vecchi del 1990 sono stati utilizzati perché in caso contrario la base dati sarebbe stata poco consistente (solo 4.036 siti).

ORIGINE	Periodo campionamento		Numero totale	%
BD suoli	1974	2021	1927	20.1
SACT	1980	2022	7216	75.6
Monitoraggi	2004	2021	410	4.3
			9553	100

Tabella 11. Analisi disponibili del contenuto di carbonio organico per lo strato 0-30 cm nell'area appenninica

⁴ JOINT RESEARCH CENTRE. European Soil Data Centre

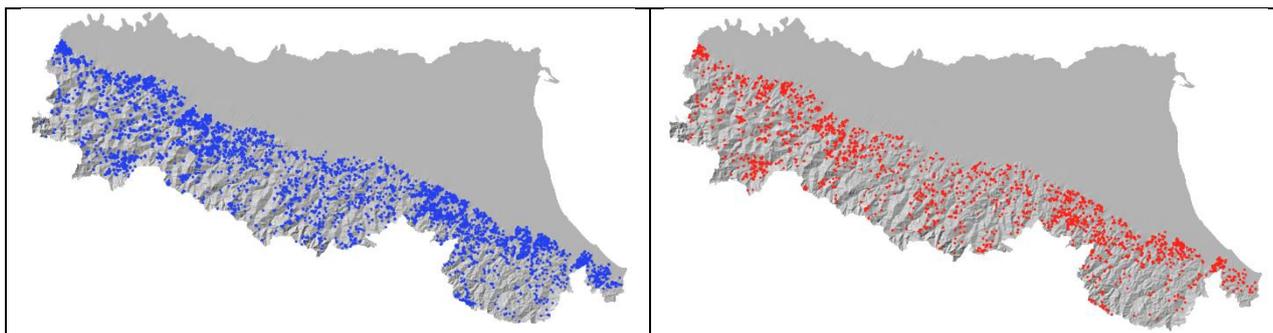


Figura 12. Distribuzione dei 7165 siti utilizzati

Figura 13. Distribuzione dei 2388 siti di test

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.

Il modello predittivo utilizzato per ognuna delle variabili è riportato nella tabella seguente dove:

- **ME** è l'errore medio indica la discrepanza media fra i valori dei dati osservati ed i valori dei dati stimati.
- **AE** errore assoluto medio è la differenza in modulo tra il valore teorico della misura effettuata e il valore effettivamente misurato: questo dà un'idea di quanto i dati raccolti si discostino dal valore che si vuole misurare.
- **SE** è l'errore standard di una misura definito come la stima della deviazione standard della predizione del modello. È dunque una stima della variabilità del modello, cioè una misura della sua imprecisione.
- **R2** è il coefficiente di determinazione un indice che misura il legame tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato. Intuitivamente, esso è legato alla frazione della varianza non spiegata dal modello.
- **IoA** è l'index of agreement ovvero una misura standardizzata del grado di errore di previsione del modello che varia tra 0 (non c'è corrispondenza tra dati misurati e stimati) e 1 (corrispondenza perfetta).

Variabile	Data set	Num. Oss	DSM	Me_rf	Ae_rf	SE_rf	R2_rf	IoA
Corg%	TUTTI	9048	RF	-0.108	0.328	0.575	0.687	0.855
	TRAIN	7174		-0.110	0.303	0.538	0.746	0.880
	TEST	2392		-0.104	0.406	0.675	0.477	0.746

Tabella 12. Riepilogo degli indici di errore del DSM per i data set di calibrazione (TRAIN) e validazione (TEST)

Tutte le covariate utilizzate sono elencate nella tabella 13.

Nome layer	Descrizione	SCORPAN factor	Anno agg.	Layer tipo	Tipo variabile	Risol. Spaz.	U.M.	Fonte
Aspect	Esposizione da DEM	R	2016	Raster	Categorica	10 m	°	A
Avg_provlulc	Valore medio C org. % per uso del suolo per comprensorio	O	2022	Raster	Continua	10 m	%	A
Soil_L2_a	Province di terre (livello L2)	S	2021	Vector	Categorica	1Mk	classe	A
Erosione	RUSLE RER	S+R+C+O	2019	Raster	Continua	20 m	Mg/ha/anno	A
Landuse_recl	Carta uso del suolo RER (CLC) accorpata	O	2020	Vector	Categorica	10k	classe	A
evi	Modis (enhanced vegetation index)	O	2015	Raster	Continua	250 m		H
gfc_tcov	Global forest tree canopy cover	O	2019	Raster	Continua	25 m	%	C
ndvis5	Modis NDVI Sum of May-September (5 layers)	S+O	2015	Raster	Continua	250 m	index	D



Nome layer	Descrizione	SCORPAN factor	Anno agg.	Layer tipo	Tipo variabile	Risol. Spaz.	U.M.	Fonte
nir	Landsat Band 4 (Near Infrared reflectance)	S+O	2019	Raster	Continua	25 m	DN 8 bit ⁵	C
red	Landsat Band 3 (Red)	S+O	2019	Raster	Continua	25 m	DN 8 bit	C
swir	Landsat Band 5 (Short wave infrared)	S+O	2019	Raster	Continua	25 m	DN 8 bit	I
nort	Northness (orientation in combination with the slope)	R	2016	Raster	Continua	25 m	index	G
slope	Pendenza da DEM	R	2016	Raster	Continua	25 m	%	A
dem	Modello digitale del terreno (quote)	R	2016	Raster	Continua	10 m	m	A
geomorfo	geomorphological forms	R	2016	Raster	Categorica	25 m	classe	F
mrivbf	Multi Resolution Index of Valley Bottom Flatness	R	2016	Raster	Continua	25 m	none	E
mwmtemp_es	T media del mese di luglio C°, 1970-2000	C	2017	Raster	Continua	100 m	°C	I
twi	Topographic Wetness Index	R	2016	Raster	Continua	25 m	m ² rad ⁻¹	E
vdnc	Vertical distance Channel network	R	2016	Raster	Continua	25 m	m	E
vdepth	Valley depth	R	2016	Raster	Continua	25 m	m	E

Tabella 13. Elenco covariate utilizzate

- A Regione Emilia-Romagna
- B Costantini E.A.C., Barbetti R., Fantappie M., L'Abate G., Lorenzetti R., Magini S., 2013b. Pedodiversity, in Costantini, E.A.C., Dazzi, C., (Eds.), *The Soils of Italy, World Book Series, Springer Science+Business Media Dordrecht, Netherlands.* https://doi.org/10.1007/978-94-007-5642-7_6
- C Hansen M.C. et al., 2013, (2019 update)
- D Langella G. 2008
- E Copernicus EU-DEM v1.1
- F GRASS: r.geomorphon
- G GDAL: gdaldem gdal_calc.py
- H MODIS
- I Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. Worldclim 2.1: New 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas

Covariate	IncNodePurity	
aspect	17.8385	0.84%
avg_provIulc	216.08415	10.12%
dem	260.97457	12.23%
erosione	114.19988	5.35%
evi	88.22886	4.13%
geomorfo	25.57765	1.20%
gfc_tcov	72.97737	3.42%
landuse_recl	28.30417	1.33%
mrivbf	65.21476	3.06%
mwmtemp_es	330.22364	15.47%
ndvi5	110.00485	5.15%
nir	66.62887	3.12%
nort	66.99637	3.14%
red	81.0804	3.80%
slope	75.78955	3.55%
soil_L2_a	200.28537	9.38%
swir	65.55194	3.07%
twi	62.37358	2.92%
vdnc	106.02355	4.97%
vdepth	79.89494	3.74%

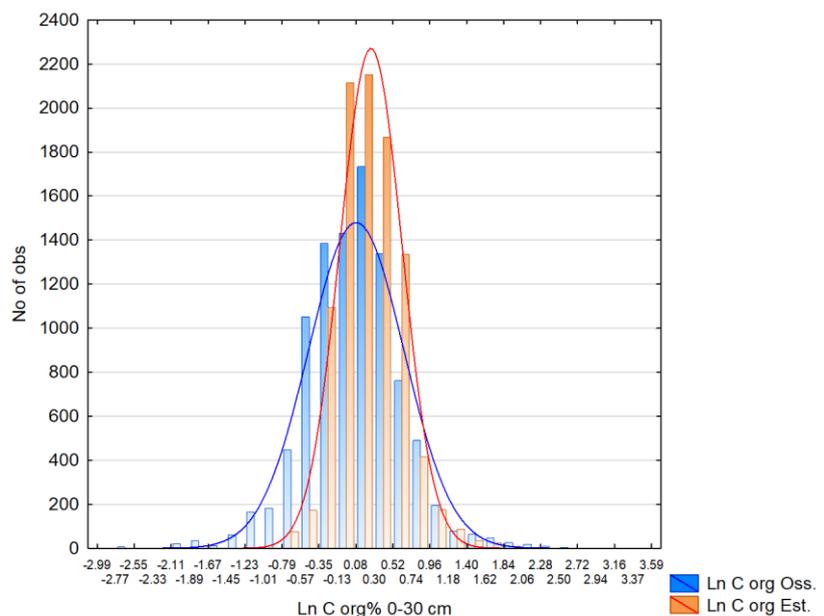


Figura 14. Covariate utilizzate e loro efficacia predittiva

Figura 15. Confronto delle distribuzioni dei valori di CORG stimati e osservati

⁵ Digital number 8 bit



Nella fig. 16 sono illustrati i valori statistici di stima anche in funzione delle diverse province di terre (carta dei suoli a scala 1:M -covariata soil_L2_a), comparando le distribuzioni dei dati misurati e stimati dal modello per ogni unità. Per la descrizione delle province di terre si veda l'Allegato 1.

Le covariate più con maggiore efficacia predittiva sono risultate essere la temperatura del media del mese di luglio (periodo di riferimento 1970-2000), la quota topografica, il contenuto medio di C org. % per usi del suolo semplificati su base provinciale, la carta dei suoli a livello di unità di province di suoli (L2), l'erosione (Mg/ha/y) e l'NDVI (somma mesi giugno – settembre).

Come si può vedere (fig. 17) dal raffronto tra le distribuzioni dei dati misurati (blu) e i dati stimati (arancioni) il modello predittivo sottostima leggermente i valori agli estremi della gaussiana, mentre tende a sovrastimare l'occorrenza dei valori centrali della distribuzione. Tuttavia i valori di IoA sono vicini ad 1 per cui, nel complesso, il modello può considerarsi valido per la stima del contenuto in C org. %.

È stata valutata la bontà del modello in funzione delle diverse province di terre (carta dei suoli a scala 1:M -covariata soil_L2_a), comparando le distribuzioni dei dati misurati e stimati dal modello per ogni unità. Dal Box and whisker plot (Figure 16) si può vedere che in generale i dati stimati hanno una variabilità più bassa rispetto a quella dei dati osservati.

Si notano tuttavia differenze significative per alcune unità quali B1, B4, C1, C2, e C3 dove i valori medi stimati sovrastimano significativamente i valori medi osservati.

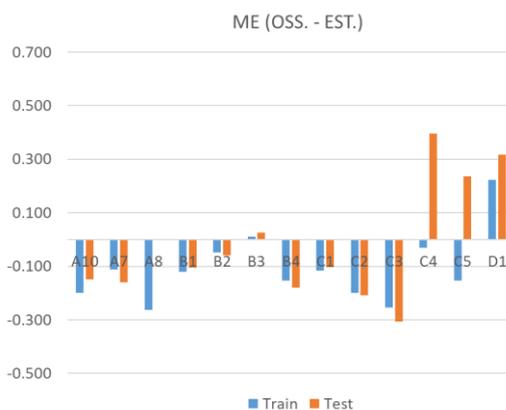
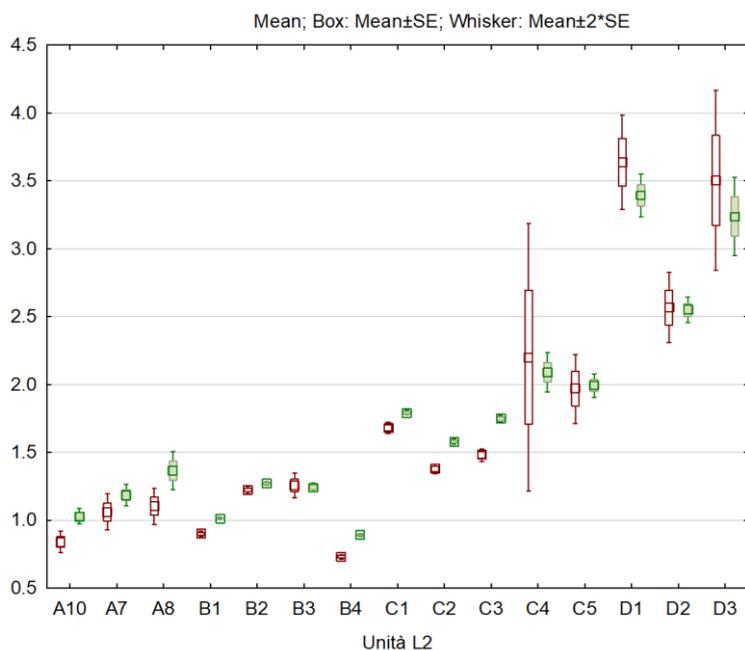


Figura 16: Box and whisker plot di confronto per i dati di C org. % (0-30 cm)

Figura 17: Grafico dell'errore medio ME

Anche l'errore medio ME calcolato come la differenza tra il valore osservato e quello stimato è basso (ca. 0.1%) nel complesso (fig. 17). Andandolo ad analizzare in funzione delle diverse unità pedologiche si nota che l'errore commesso è in generale sempre modesto rispetto al valore medio di C organico (1.27%), e comparabile tra i dati utilizzati per training del modello (blu) o test (arancio), eccetto che per unità C4 (pochi dati) e A8 (elevata variabilità tessiturale in quanto questa unità in Appennino consiste di terrazzi isolati e frammentati).



5 CONSULTAZIONE DELLA CARTA DEI SUOLI SUL WEB

5.1 Elenco dei siti di consultazione e loro caratteristiche

La carta del carbonio organico dei suoli dell'Emilia-Romagna è consultabile su numerosi **siti WEBGIS**⁶. Nella tabella sottostante vi è un elenco dei siti disponibili e loro collocazione. Nelle pagine seguenti ogni sito viene descritto in modo dettagliato.

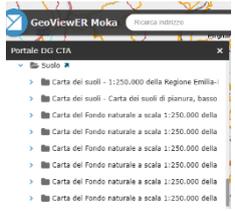
SITO	NOTE	URL
Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna 	Sito che contiene tutte le carte dei suoli e carte derivate, oltre che alcuni temi puntuali (dati SACT, dati ambientali, stazioni della rete della falda ipodermica). Permette la consultazione contemporanea di più strati. Presenti molti voli aerei dal 1954 al 2022. È rivolto in particolare ad utenti del settore ambientale e educativo (es. ARPAE, scuole, CEA).	https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/applicazioni/ped
I suoli dell'Emilia-Romagna 	Sito che contiene tutte le carte dei suoli e derivate, rivolto a tutti gli utenti. Sono consultabili legende, catalogo dei suoli e glossario. È sviluppato su GOOGLE EARTH, per cui permette la navigazione 3D, la disponibilità di foto aeree di diversi anni e la possibilità di sovrapporre dati dell'utente. <u>La nuova carta del carbonio organico non è ancora disponibile.</u>	http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/
Catalogo dei suoli dell'Emilia-Romagna 	Veloce e di facile utilizzo, è diretto in particolare ad utenti del settore agricolo. Erede dello storico sito attivo sin dal 1998, permette il calcolo del piano di concimazione utilizzando, oltre che dati analitici in possesso degli utenti, anche i dati presenti nelle banche dati regionali. È presente un modulo di riconoscimento dei suoli. <u>La nuova carta del carbonio organico non è ancora disponibile.</u>	https://agri.regione.emilia-romagna.it/Suoli/
GeoViewer Moka 	Visualizzatore del portale MinERva della Direzione Cura dell'Ambiente e del territorio. Sono disponibili tutte le cartografie prodotte dalla Direzione in ambito ambientale, pianificatorio e dei trasporti. Dal sito MinERva sono scaricabili i dati sotto forma di shapefile/raster e tabelle collegate.	https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/geoviewer2
Mappe Emilia-Romagna 	Visualizzatore del Geoportale regionale. Sono disponibili tutte le cartografie prodotte dalla regione Emilia-Romagna, fra cui anche le carte dei suoli nella sezione Informazioni Geoscientifiche. Permette la visualizzazione in 3D. Dal geoportale sono scaricabili i dati sotto forma di shapefile/raster e tabelle collegate (nella sezione WMS).	https://mappe.regione.emilia-romagna.it/

Tabella 14. Elenco dei siti WEBGIS in cui è possibile visualizzare e consultare la carta del carbonio organico %

⁶ <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/conoscere-suolo/siti-web-sul-suolo-in-emilia-romagna>.



5.2 Consultazione sul sito Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna (MokaSuoli)

La carta del carbonio organico % strato 0-30 cm è consultabile sul sito [Cartografia dei suoli della Regione Emilia-Romagna](#)⁷, definito brevemente in seguito MokaSuoli.

La visualizzazione funziona solo per scale > 1:250.000.

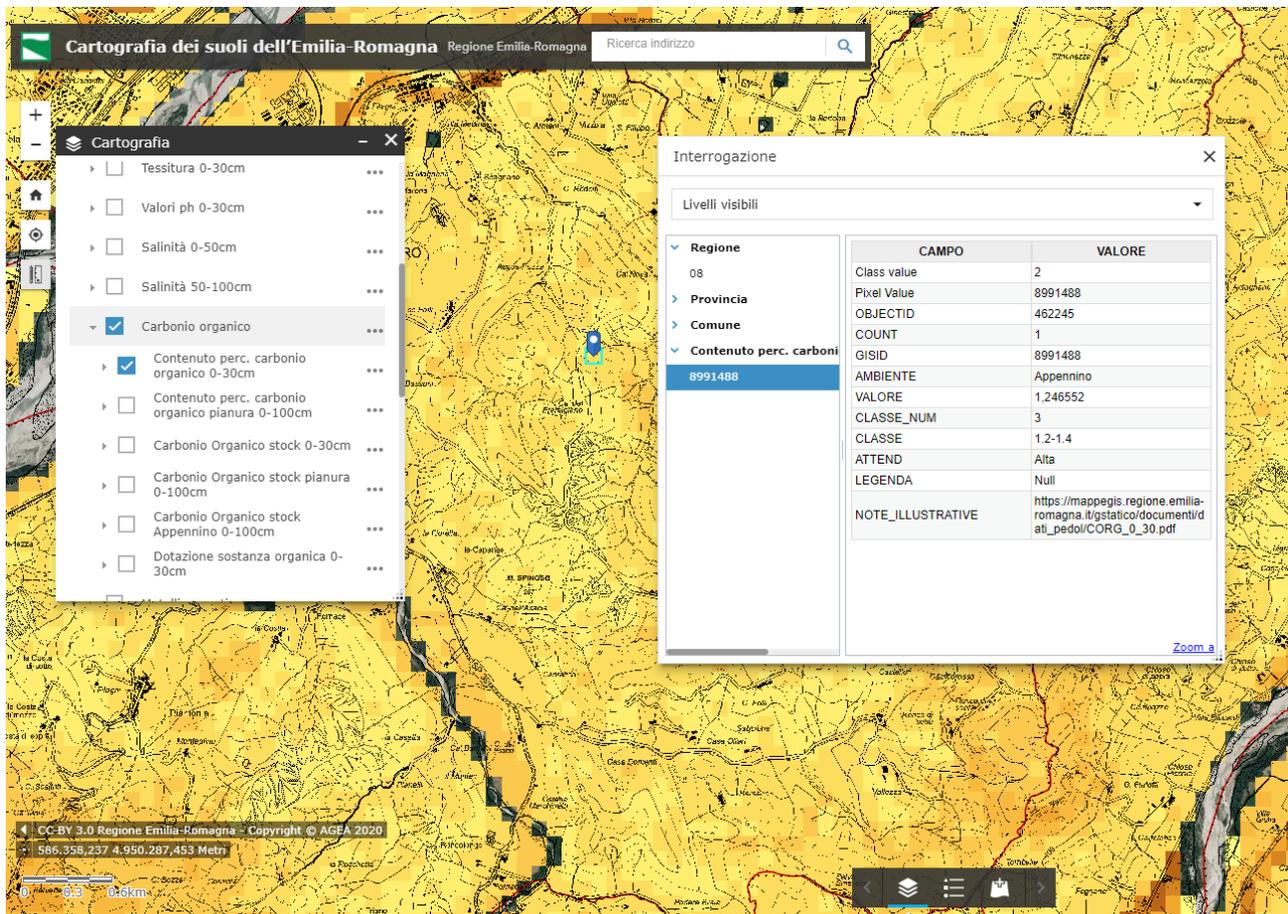


Figura 18. Esempio di consultazione della carta del carbonio organico % sul sito Moka-Suoli

⁷ <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/applicazioni/ped>



5.3 Consultazione sul GeoViewER Moka

La carta del carbonio organico % strato 0-30 cm è consultabile al momento solo dal visualizzatore del portale Minerva (GeoViewER Moka)⁸. Dal pannello di destra (Portale DG CTA) dal gruppo Suolo si aggiunge la carta del carbonio organico 0-30 cm cliccando sull'icona del WMS.

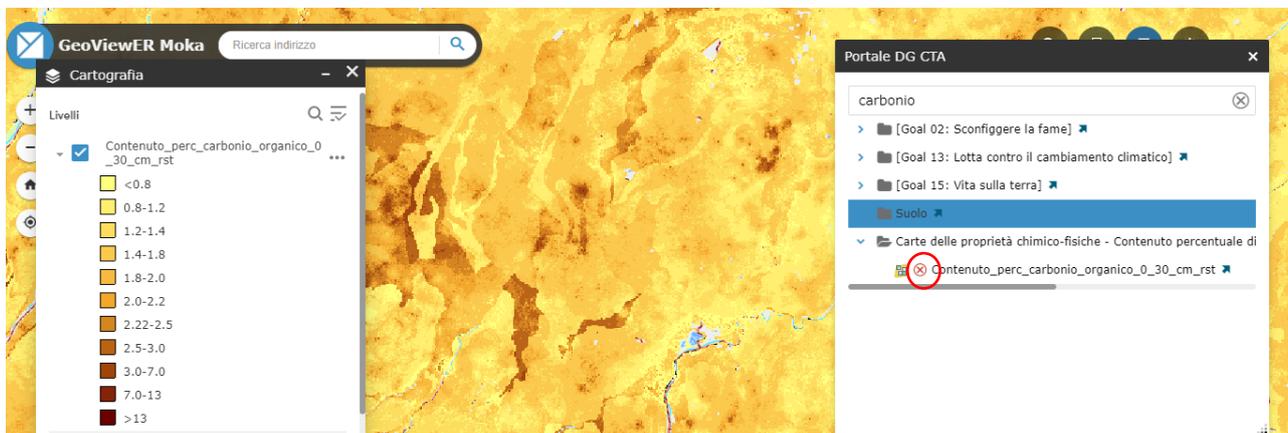


Figura 19. Schermata di esempio della carta del carbonio organico % sul GeoViewER

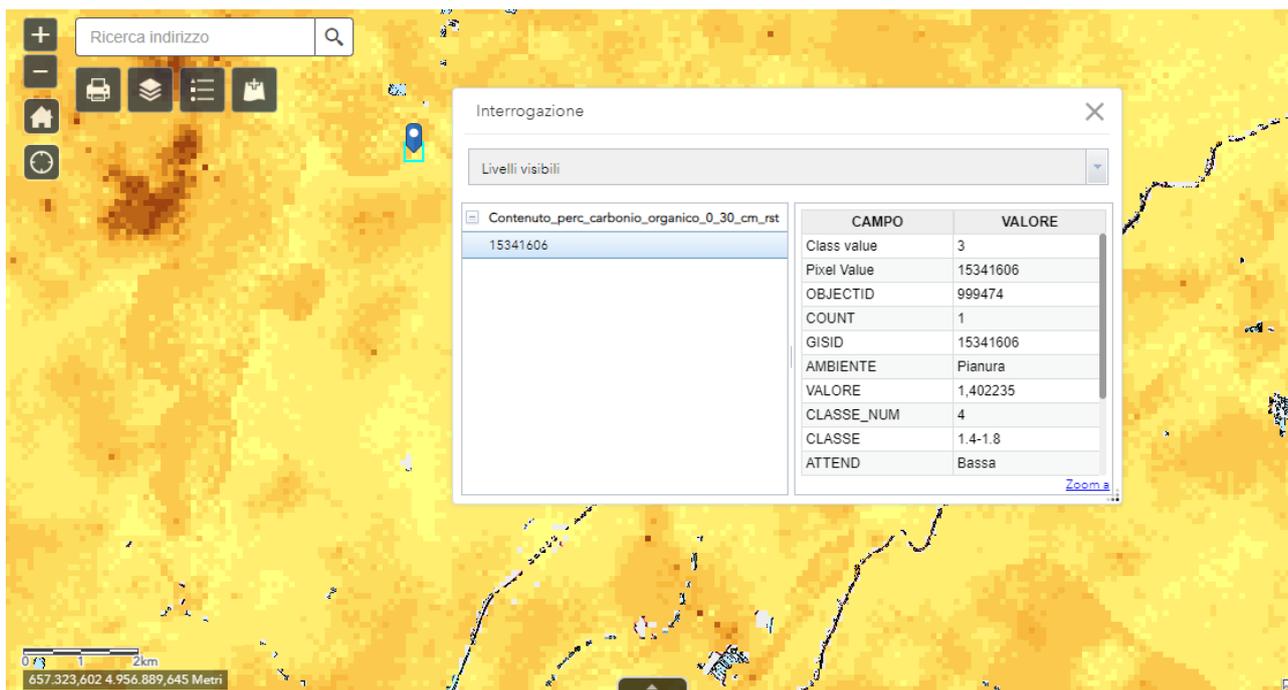


Figura 20. Esempio di interrogazione della carta del carbonio sul GeoViewER

⁸ <https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/geoviewer2>



5.4 Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH

La carta della Carbonio Organico dei suoli della pianura tra 0-30 cm (**edizione 2015**) è consultabile sul sito [I suoli dell'Emilia-Romagna](http://suoli.dell'Emilia-Romagna.it)⁹, 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 21. 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 uno strato con quadrati di **500 m x 500m**.

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.

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

È possibile anche aprire le note illustrative correlate.

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

Figura 22. 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.

⁹ <http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/>



5.5 Consultazione sul sito CATALOGO DEI SUOLI REGIONALE

La carta dei Carbonio organico dei suoli di pianura (**edizione 2015**) è stata trasformata in **carta della sostanza organica** con la formula $SOSTORG = CORG * 1,724$ ed è consultabile sul sito Catalogo dei suoli dell'Emilia-Romagna¹⁰.

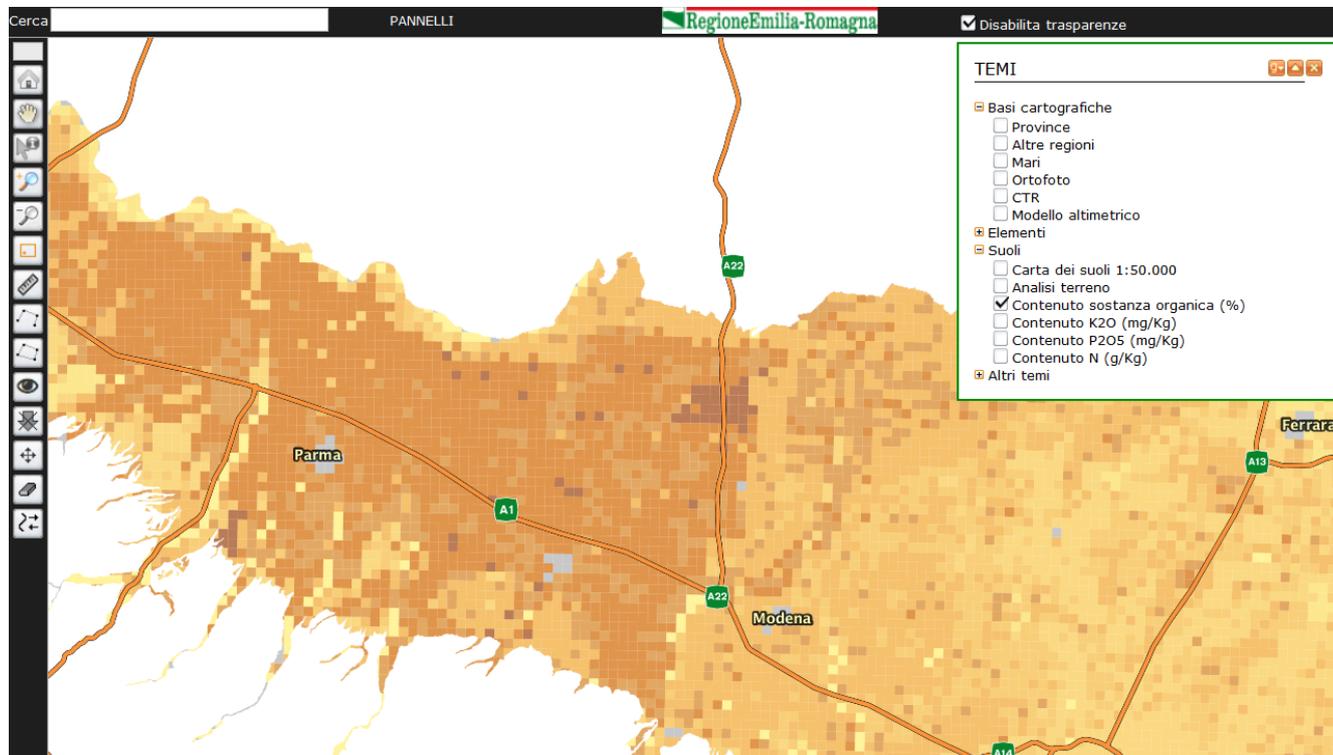


Figura 23. Home page del sito Catalogo dei suoli con la rappresentazione della Carta della Sostanza Organica dei suoli di pianura

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.

¹⁰ <https://agri.regione.emilia-romagna.it/Suoli/>



5.6 Scaricamento dati

Lo scaricamento dei dati si effettua sul sito Minerva¹¹ nel gruppo SUOLI sotto forma di file zippato preconfezionato. Nel file si trovano i seguenti **2 strati raster** con i 2 parametri elencati.

1. Carbonio organico %
2. Attendibilità del dato

Sia i raster che lo shapefile sono georeferenziati nel sistema di riferimento RDN2008 UTM zona 32N (EPSG 7791).

Dopo avere trovato lo strato Carta del carbonio organico % 0-30 cm sul motore di ricerca, si clicca dal pulsante Esplora la sottovoce Download e il file scarica direttamente (figura 24).

Carte delle proprietà chimico-fisiche - Contenuto percentuale di carbonio organico nei suoli regionali tra 0-30 cm - terza edizione

La Carta del contenuto percentuale di carbonio organico nei suoli regionali, con riferimento ai primi 30 cm di suolo, fornisce una stima del contenuto percentuale medio di CO in un dato ambito territoriale in ragione dei diversi tipi di suolo in esso presenti. La rappresentazione del territorio avviene attraverso un raster con pixel con lato di 100 m. Sebbene la carta sia rappresentata per classi, l'informazione a cui si accede, interrogando la singola cella, è relativa al contenuto specifico di CO (espresso come % in peso). Il valore si riferisce allo strato 0-30 cm ed è stato attribuito alla cella attraverso un'analisi geostatistica in pianura e di Digital Soil Mapping in Appennino.

Risorse

-  [Carte delle proprietà chimico-fisiche - Contenuto ...](#)
access point
-  [Contenuto_perc_carbonio_organico_0_30_cm_rst](#)
access point
-  [Contenuto percentuale di carbonio organico nei ...](#)
access point

 Esplora ▾

 Altre informazioni

 Download

 Esplora ▾

EU

Regionale

conoscenza del suolo

open data

pedologia

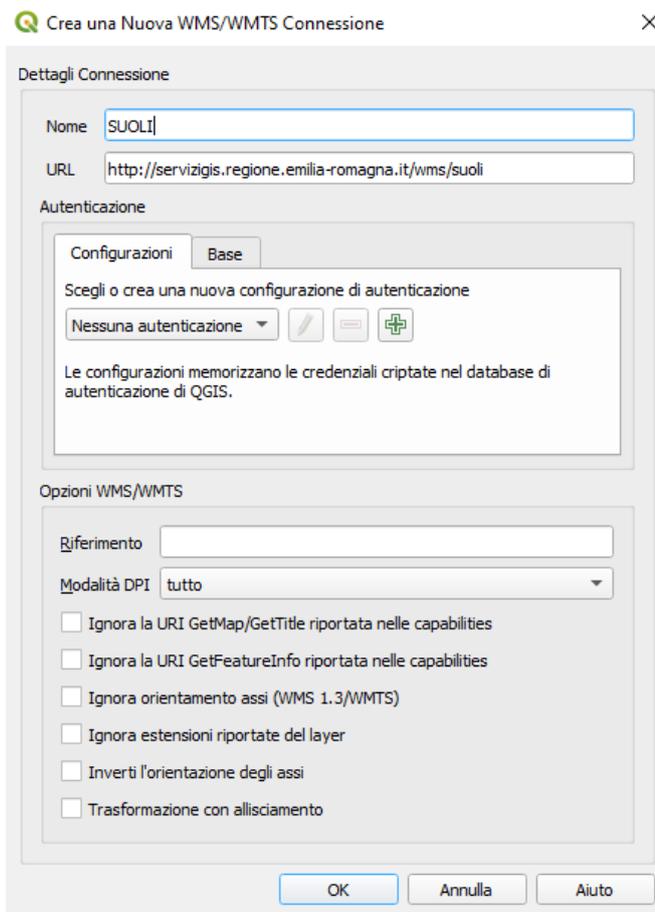
wms

Figura 24. Scaricamento della carta del carbonio organico

¹¹ <https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/group/suolo>



5.7 Consultazione come servizio WMS



La carta del carbonio organico dei suoli regionali può anche essere consultata come servizio WMS mediante l'URL <https://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/suoli> utilizzando un programma GIS (es. ArcMap, Qgis ecc).

Di lato (figura 25) si fa un esempio utilizzando Qgis, liberamente scaricabile da Internet.

Lo strato relativo alla carta del carbonio organico % si chiama **Contenuto_perc_carbonio_organico_0_30_cm_rst** ed è vestito sulla base della classe di carbonio organico come nella figura 1 a pagina 7.

Cliccando nella zona d'interesse, oltre al valore di carbonio organico della cella, compare anche le informazioni relative all'attendibilità del dato.

La visualizzazione delle informazioni in QGIS è possibile nel formato HTML o ELEMENTO (quest'ultimo disponibile solo dalla versione 3.28 in poi).

Nel formato ELEMENTO la vista è migliore ma i campi sono elencati in ordine alfabetico e non con la sequenza logica impostata.

Figura 25. Immissione delle capabilities in Qgis

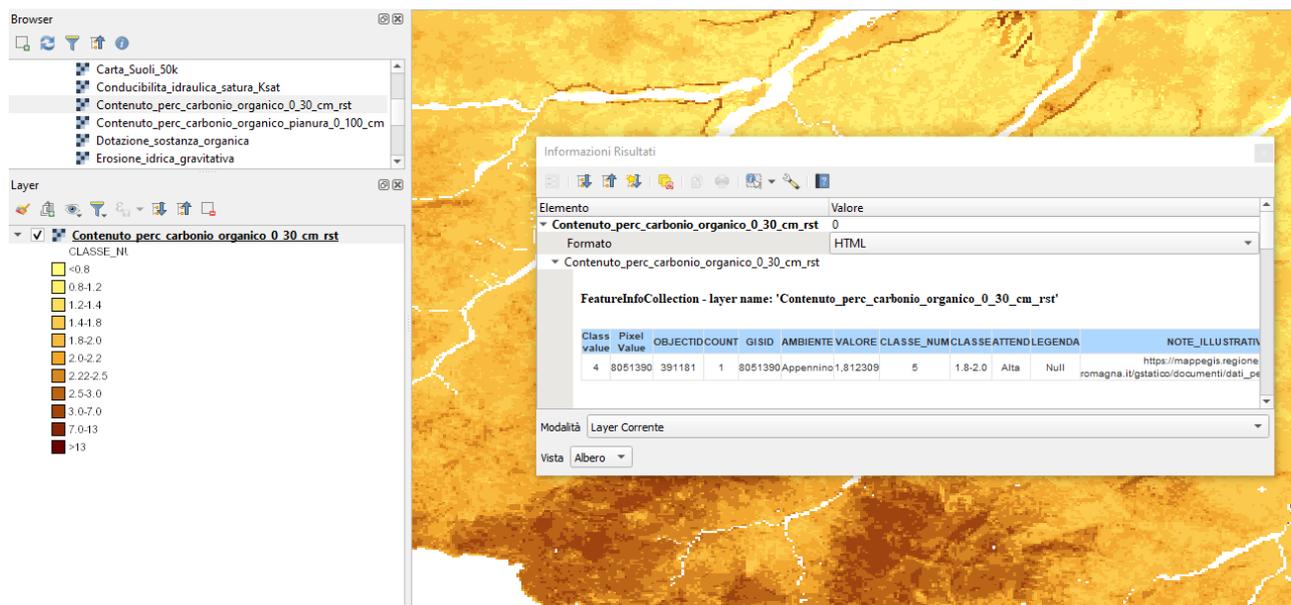


Figura 26. Visualizzazione del servizio WMS **Contenuto_perc_carbonio_organico_0_30_cm_rst**



6 ALLEGATO. DESCRIZIONE DELLE PROVINCE DI TERRE (L2)

A. PIANURA (Soil Region¹² 18.8)	
A1	Suoli nella piana costiera e fronte deltizia, bassa differenziazione del profilo (Olocene), idromorfia poco profonda, tessitura prevalentemente grossolana
A2	Suoli nella piana deltizia inferiore, abbandonata del Po (Olocene), idromorfia poco profonda, tessitura prevalentemente fine, con diversa abbondanza di materiali torbosi
A3	Suoli nella piana deltizia superiore, abbandonata del Po (Olocene), idromorfia poco profonda, tessitura media, subordinatamente fine
A4	Suoli nella piana a meandri del Po ad alterazione biochimica con evidenze di riorganizzazione interna dei carbonati (Olocene), diffusa idromorfia profonda, tessitura media, subordinatamente grossolana
A5	Suoli in aree morfologicamente depresse della bassa piana alluvionale appenninica con fenomeni più o meno accentuati di contrazione e rigonfiamento delle argille (Olocene), idromorfia poco profonda o profonda, tessitura fine
A6	Suoli dei dossi e delle aree di transizione della bassa piana alluvionale appenninica, ad alterazione biochimica con riorganizzazione interna dei carbonati (Olocene), locale idromorfia profonda, tessitura da media a fine, localmente grossolana
A7	Suoli nei conoidi e nei terrazzi dell'alta pianura alluvionale appenninica, ad alterazione biochimica con riorganizzazione interna dei carbonati, (Olocene), tessitura media, media-ghiaiosa, subordinatamente fine
A8	Suoli nei conoidi e nei terrazzi dell'alta pianura alluvionale appenninica, ad alterazione biochimica con riorganizzazione interna dei carbonati, con moderata, localmente forte, differenziazione del profilo (Olocene), tessitura da media a fine, localmente ghiaiosi.
A9	Suoli nei conoidi terrazzati dell'alta pianura alluvionale appenninica, localizzati in prossimità delle principali aste fluviali, ad alterazione biochimica con forte differenziazione del profilo (Pleistocene), tessitura media o moderatamente fine, con presenza di ghiaia a profondità variabile
A10	Suoli in aree morfologicamente rilevate della pianura, antichi (Pleistocene), con tracce di alterazione geochemica, ricchi in sesquiossidi, completamente decarbonatati o con accumulo dei carbonati negli orizzonti profondi, a tessitura da media a fine.
B. BASSO APPENNINO (Soil Region 78.1)	
B1	Suoli del basso Appennino delle argille e sabbie plioceniche, con terrazzi pleistocenici, poco evoluti d'erosione per ruscellamento, calanchi, roccia affiorante; suoli subordinati a moderata o forte differenziazione del profilo, per alterazione biochimica con riorganizzazione interna dei carbonati; locali lembi residui di suoli antichi, con tracce di alterazione geochemica.
B2	Basso Appennino delle argille instabili, poco evoluti d'erosione per ruscellamento, calanchi, roccia affiorante e a moderata differenziazione del profilo per soliflusso e reptazione agricola;
B3	Basso Appennino delle peliti e delle arenarie; a differenziazione del profilo o moderata per fenomeni di ruscellamento; suoli subordinati poco evoluti d'erosione per ruscellamento
B4	Basso Appennino della Marnosa Arenacea Romagnola, a forte differenziazione del profilo; suoli subordinati a debole differenziazione del profilo d'erosione per ruscellamento e/o per interventi antropici

¹² Costantini E., Urbano F., L'Abate G. Soil Regions of Italy, 2004



C. MEDIO APPENNINO (Soil Region 78.2)	
C1	Suoli del medio Appennino sulle argille instabili, ad alterazione biochimica con decarbonatazione incipiente, a differenziazione del profilo moderata per ruscellamento, colate di terra, deformazioni plastiche, smottamenti; suoli subordinati poco evoluti d'erosione per ruscellamento
C2	Suoli del medio Appennino sui flysch calcareo-marnosi, a differenziazione del profilo moderata per ruscellamento, colate, soliflusso, reptazione agricola, con decarbonatazione incipiente, localmente parziale/completa/relativa ad alcuni orizzonti; suoli subordinati poco evoluti per erosione
C3	Suoli del medio Appennino sui flysch arenaceo-pelitici, ad alterazione biochimica, decarbonatati, a forte differenziazione del profilo; suoli subordinati con decarbonatazione incipiente, a differenziazione del profilo moderata per ruscellamento
C4	Suoli del medio Appennino sui gessi e calcari cavernosi, ad alterazione biochimica con decarbonatazione incipiente, a debole o moderata differenziazione del profilo per ruscellamento; suoli subordinati a forte differenziazione del profilo, decarbonatati
C5	Suoli del medio Appennino su rocce ofiolitiche a differenziazione del profilo moderata per ruscellamento, colate, soliflusso, reptazione agricola, con decarbonatazione incipiente; suoli subordinati poco evoluti per erosione
D. ALTO APPENNINO (Soil Region 35.7)	
D1	Suoli dell'alto Appennino sulle arenarie, ad alterazione biochimica, ad acidificazione da debole a moderata negli orizzonti superficiali; localmente forte negli orizzonti superficiali, a forte differenziazione del profilo
D2	Suoli dell'alto Appennino sui flysch calcareo-marnosi e peliti, ad alterazione biochimica, decarbonatati; a forte differenziazione del profilo con frequente debole acidificazione negli orizzonti superficiali, subordinatamente a debole differenziazione del profilo
D3	Suoli dell'alto Appennino sulle Ofioliti, ad alterazione biochimica, ad acidificazione debole, frequentemente moderata negli orizzonti superficiali; a differenziazione del profilo forte, localmente debole



7 BIBLIOGRAFIA

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

Brombin V., Mistri E., De Feudis M., Forti C., Salani G.M., Natali C., Falsone G., Vittori Antisari L., Bianchini G. Soil Carbon Investigation in Three Pedoclimatic and Agronomic Settings of Northern Italy. Sustainability 2020, 12, 10539; doi:10.3390/su122410539

COM 2006/231 definitivo. Strategia tematica per la protezione del suolo. http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com_2006_0231_it.pdf.

COM (2021) 699 definitivo. Strategia dell'UE per il suolo per il 2030 Suoli sani a vantaggio delle persone, degli alimenti, della natura e del clima. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0699>

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 <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/meusis-multi-scale-european-soil-information-system>

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 (2023) https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/ANALISI_TERRENI_SACT.pdf

Regione Emilia-Romagna. Capacità d'uso dei suoli ai fini agricoli e forestali della regione Emilia-Romagna (2021). https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/CAPACITA_USO.pdf

Regione Emilia-Romagna. Carta dei suoli della Regione Emilia-Romagna in scala 1:50.000. Edizione 2021. https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/carta_suoli_50k.pdf

Regione Emilia–Romagna. Cartografia geologica 1:10.000. Edizione digitale 2012

Regione Emilia–Romagna. Catalogo dei suoli della regione Emilia-Romagna (2021). https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/Catalogo_suoli_RER.pdf

Regione Emilia-Romagna. Siti locali rappresentativi dei suoli della pianura, del basso e medio Appennino emiliano-romagnoli (ed. 2021). https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/SITI_BENCHMARK_RER.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.

Fernandez-Ugalde, O; Scarpa, S; Orgiazzi, A.; Panagos, P.; Van Liedekerke, M; Marechal A. & Jones, A. LUCAS 2018 Soil Module. Presentation of dataset and results, EUR 31144 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2022, ISBN 978-92-76-54832-4, doi:10.2760/215013, JRC129926



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
https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio_pdf/suoli/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf/at_download/file/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf

Elenco dei fornitori di dati da letteratura

AAVV. Suoli e paesaggi delle Marche. A.S.S.A.M., 2006

Angelone M., Bini C., Leoni L., Orlandi C., Sartori F. (1988) - I suoli del bacino del Brasimone (BO): pedogenesi, mineralogia, geochimica. *Miner. Petrogr. Acta*. Vol.XXX, pp. 217-241.

Antoniazzi A. I suoli della provincia di Forlì e i fattori naturali limitanti la loro utilizzazione. 1978

ARPAE. Campagna di monitoraggio suoli intorno al Cementificio Buzzi-Unicem (2015)

ARPAE. Raccordo autostradale Autostrada A15-Autostrada A22 Fontevivo (PR)-Nogarole Rocca (VR)-Quadro informativo suolo ante-operam. 2013

Baratozzi L., Ferrari G., Filippi N., Galigani U., Giannini R. Indagini preliminari sul territorio del parco di Monte Cavallo (BO). 1977

Benilli N. Carbonio e azoto sequestrati nei suoli della riserva naturale integrale di Sasso Fratino -situazione attuale e scenari futuri. Tesi di laurea Università degli Studi di Firenze, AA 2011-2012

Bernini M., Cremaschi M., Tellini C. La paleosuperficie di Selvapiana (Appennino Reggiano). *Aspetti geomorfologici e geopedologici*. Vol.ded.a S. Venzo,77-96, Parma 1980

Bini C., Coradossi N., Froio A.M., Gragnani R. Mineralogia e geochimica dei suoli delle formazioni mioplioceniche dell'Appennino Tosco-Romagnolo. *Miner. Petrogr. Acta*. Vol. XXX, pp 181-202 (1986-1987)

Bini C., Ferretti O., Ghiara E., Gragnani R. Distribuzione e circolazione degli elementi in traccia nei suoli. Pedogenesi, mineralogia e geochimica dei suoli dell'Emilia occidentale. *Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 1986, vol. 41 (I), pp. 95-112

Boschi V., Chisci G; Ghelfi R. Effetto regimante del medicaio sul ruscellamento delle acque e l'erosione del suolo negli avvicendamenti collinari. *Convegno annuale della Società Italiana di Agronomia*. 17. Il ruolo dell'agricoltura nella conservazione del suolo. 1984, Vol 18, Num 3-4, pp 199-215

Bracciotti S., Wolf U. I suoli del bosco della Panfilia (1982)

Buscaroli A., Falsone G., Vittori Antisari L., Zannoni D., Vianello G. Soil survey of agricultural and forest sites in the area of Ravenna (Italy). *EQA*, 5 (2010) 43-58_43

Buscaroli A., Gherardi M., Lorito S. (2005). Morfolitosequenza di suoli della formazione alloctona di Monghidoro (BO). *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo*, 54 (1-2): 31-36.

Buscaroli A., Gherardi M., Vianello G., Livia Antisari L., Zannoni D. Soil survey and classification in a complex territorial system: Ravenna (Italy). *EQA E*, 2 (2009) 15-28

Casalicchio G., Vianello G., Brunelli G. Realizzazione della carta delle limitazioni e delle potenzialità d'uso dei suoli in aree tipiche del territorio emiliano-romagnolo. Monte Sole (BO)

Cibien M. Riforestazione e gestione dell'uso del suolo come metodo di cattura della CO2 contro i cambiamenti climatici nella zona costiera di Ravenna. Tesi di laurea magistrale. Università degli Studi di Bologna. AA 2010-2011

Compostella C. "Paleosuoli ed altri archivi paleoambientali per la ricostruzione delle fluttuazioni oloceniche della treeline alpina e appenninica." Tesi di dottorato. Università degli Studi di Milano, AA 2010-2011

Cremaschi M. Paleosols and Vetusols in the central Po plain (Northern Italy). Consiglio Nazionale delle Ricerche Centro di Studio per la Petrografia e la Stratigrafia delle Alpi Centrali – Milano, 1987



- Cremaschi M., Biagi P., Castelletti L., Leoni L., Accorsi C., Mazzanti M., Rodolfi G., 1984. Il sito mesolitico di Monte Bagioletto, nel quadro delle variazioni ambientali oloceniche dell'Appennino Tosco - Emiliano. *Emilia Preromana*, 9, pp. 11-46
- Cremaschi M., Castelletti L. - Deposito mesolitico del Passo della Comunella (Reggio E.), Appennino Tosco-Emiliano. *Preistoria Alpina - Museo Tridentino di Scienze Naturali* Vol. 11 I pagg. 133-154 I Trento 1975
- Cremaschi M., Castelletti L., Notini P. - L'insediamento mesolitico di Lama Lite sull'Appennino Tosco- Emiliano. *Preistoria Alpina - Museo Tridentino di Scienze Naturali*, Vol. 12, pagg. 7-32. Trento 1976
- Cremaschi M., Zerboni A, Nicosia C., Negrino F., Rodnight H., Spotl C. Age, soil-forming processes, and archaeology of the loess deposits at the Apennine margin of the Po plain (northern Italy): New insights from the Ghiardo area. *Quaternary International* xxx (2014) 1e16
- Di Biase G., Falsone G., Graziani A., Vianello G., Vittori Antisari L. Carbon sequestration in soils affected by douglas fir reforestation in Apennines (Northern Italy). *EQA*, 17 (2015) 1-11
- Diodato M. Fattori di controllo della mobilità e biodisponibilità di elementi potenzialmente tossici della pineta di San Vitale (RA). Tesi di laurea Università degli Studi di Bologna AA 2009-2010.
- European Commission - JRC, IES, 2003, Carta ecopedologica d'Italia scala 1: 250.000. Eur 20774 IT, 2003
- Ferrarini A., Fornasier F., Serra P., Ferrari F., Trevisan M., Amaducci S. (2016) Impacts of willow and miscanthus bioenergy buffers on biogeochemical N removal processes along the soil-groundwater continuum. *GCB Bioenergy*. doi :10.1111/gcbb.12340.
- Ferronato C. Water, sediment and soil physicochemical interactions in freshwater, brackish and saline systems. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Bologna. 07/E1 Chimica agraria, genetica agraria e pedologia (2015)
- Furlan A. Indagini pedologiche nel cimitero di Borgo Panigale. 2000
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 4A. BIODIVERSAMENTE CASTAGNO. Linee guida per la preservazione e valorizzazione della biodiversità del castagno in Emilia-Romagna (2021). Capofila I.TER SOC.COOP.
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 4B. NITRATI FERRARA. Tecniche agronomiche per la prevenzione dell'inquinamento da nitrati e la conservazione della sostanza organica (2019). Capofila Fondazione per l'Agricoltura F.lli Navarra
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 4B. Valutazione e definizione di tecniche agronomiche innovative, mirate a ridurre fenomeni di lisciviazione di elementi minerali nel terreno e ad ottimizzare interventi di controllo di avversità biotiche e abiotiche in un eco-sistema frutticolo. Capofila Società Agricola Mazzoni
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 4C. OPTIMAGRI. Ottimizzazione dei sistemi agricoli conservativi attraverso una migliore gestione delle tecniche colturali. Capofila Università Cattolica del Sacro Cuore.
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 4C. SOILUTION. Soluzioni per ridurre l'erosione in terreni collinari e montani mantenendo e incrementando le attività agricole attraverso l'utilizzo di pratiche di agricoltura conservativa (2018). Capofila Open Fields srl
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 4C. PRO-VITERRE. Linee guida delle buone pratiche agronomiche per la conservazione dei suoli dei principali ambienti vitivinicoli della collina emiliano-romagnola. Capofila I.TER SOC.COOP.
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 5E. CASTANI-CO. Il sequestro di carbonio nel sistema del castagneto da frutto. (2021). Capofila I.TER SOC.COOP.
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 5E. FRUTTIFICO. Frutticoltura Finalizzata Impronta Carbonio Organico (2020). Capofila CRPV Soc. Coop.
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 5E. PRATI_CO. Parmigiano Reggiano: agro-tecnica impronta carbonio organico (2019). Capofila I.TER SOC.COOP.
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 5E. SAVESOCS2 - Valutazione dei flussi di carbonio in terreni agricoli della Pianura Ferrarese e dell'Appennino Modenese e di strategie sostenibili per favorirne il sequestro nella sostanza organica dei suoli (2020). Capofila Università di Ferrara.
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 5E. IMPRONTA DEL CARBONIO. Valutazione dell'impronta carbonica in relazione a strategie viticole ad alta sostenibilità. (2019). Capofila CRPV Soc. Coop.
- G.O.I. PSR 2014-2020. FOCUS AREA 5E. VinCapTer. Efficacia dell'ecosistema vigneto come sequestratore di carbonio: la casistica delle terre piacentine (2021). Capofila Università Cattolica del Sacro Cuore
- Gardi, Tomaselli, Parisi, Petraglia, Santini. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. *European Journal of Soil Biology* 38 (2002) 103-110



- Gridelli M. "Caratterizzazione geochimica di acque, sedimenti e suoli, in un'area prossima ad un impianto di trattamento per rifiuti non pericolosi". UNIBO. AA 2015-2016
- Gruppo di studio delle università emiliane per la geomorfologia (1976) – Geomorfologia dell'area circostante la Pietra di Bismantova (Appennino Reggiano). Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, 97, 107-213.
- Gruppo Ricerca Geomorfologia CNR (1982). Geomorfologia del territorio di Febbio tra il m. Cusna e il f. Secchia (Appennino Emiliano).
- Leoni A. Studio della biodiversità vegetale e del popolamento a microartropodi edafici nella riserva naturale "Guadine Pradaccio. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Parma (2008)
- LIFE agriCOlture (LIFE18 CCM/IT/001093). Livestock farming against climate change problems posed by soil degradation in the Emilian Apennines. Azione C3 - Realizzazione della fase dimostrativa e di valutazione delle buone pratiche. Deliverable C3.1 - Primo rapporto sull'applicazione dei protocolli nelle aziende ai fini della salvaguardia del suolo
- Lorito S. Il monitoraggio suolo-pianta per la valutazione dell'inquinamento da metalli pesanti nell'ambiente urbano. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Bologna. 2010
- Magnani F., Grassi G., Tonon G., Cantoni L., Ponti F., Vicinelli E., Boldreghini P., Nardino M., Georgiadis T. Facini O., Rossi F. Quale ruolo per l'arboricoltura da legno italiana nel protocollo di Kyoto? Indicazioni da una "Kyoto forest" della pianura emiliana. Forest@ 2 (4): 333-344, 2005.
- Mantovi P., Beretta G.P., Cortellini L., Fumagalli L., Guermandi M., Preti D. Monitoraggio e modellazione matematica della migrazione dei nitrati nel mezzo insaturo in un'area vulnerabile della provincia di Reggio Emilia. IA Ingegneria Ambientale vol. XXXII n.6, giugno 2003
- Mariani G. The role of paleosols in paleoenvironmental studies: genesis and development of Appennine mountain soils during the Holocene. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Milano (2015)
- Marinari S., Bonifacio E., Moscatelli M.C., Falsone G., Vittori Antisari L., Vianello G. Soil development and microbial functional diversity: Proposal for a methodological approach. DOI:10.1016/j.geoderma.2012.08.023
- Marinari S., Vittori Antisari L. Effect of lithological substrate on microbial biomass and enzyme activity in brown soil profiles in the northern Apennines (Italy). Pedobiologia 53 (2010) 313–320
- Masseroli A. Soil evolution e tree line fluctuations on the southern side of the Alps under Holocene climate change. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Milano. AA 2016-2017
- Mensali G. La salinizzazione dei suoli in ambiente costiero: un caso studio a sud di Ravenna. Tesi di laurea Università degli Studi di Bologna. AA 2011-2012
- Monitoraggi in campo e analisi in laboratorio per la caratterizzazione delle matrici ambientali nel comune di Bagnacavallo (RA). Progetto di sviluppo Campo Longanesi. Studio analitico finalizzato alla caratterizzazione del suolo. Relazione tecnica n. 278/09
- Natale M. Soil Bio-indicators in different pedoclimatic regions of the Padana Plain (Northeast Italy). Tesi di dottorato Università degli Studi di Bologna. 07/E1 Chimica agraria, genetica agraria e pedologia. AA 2017
- Nicosia C. Suoli sepolti olocenici al margine appenninico centro-padano: aspetti geoarcheologici e paleoambientali. Tesi di Dottorato anno accademico 2010-2011. Università degli studi di Milano.
- Nigro G., Buscaroli C., Zamboni M., Scotti C., Simoni M., Castellari L. (2008). La zonazione viticola dell'area DOC "Bosco Eliceo". Atti del Convegno «Riqualificazione della vitivinicoltura della pianura litoranea delle province di Ferrara e Ravenna.» Ostellato (FE), 18 dicembre. A cura del C.R.P.V. - Cesena.
- Olivari S. Geologia e pedologia della Riserva Naturale Integrale di Sasso Fratino. In Bottacci A. (ed.) 2009 - La Riserva naturale integrale di Sasso Fratino: 1959-2009. 50 anni di conservazione della biodiversità. CFS/UTB Pratovecchio: 47-
- Paladin L. Qualità biologica dei suoli della pineta di San Vitale (RA). Tesi di laurea. Università di Bologna. Scienze Ambientali. AA 2009/2010.
- Piazzi M. I suoli delle principali formazioni geomorfologiche della Pineta di San Vitale. Tesi di laurea A.A 1987-1988. Università di Torino
- Primavera F. Suoli dell'area sperimentale "Ca' Bosco" (RA). Studio pedologico delle parcelle sottoposte a sperimentazione dalla società "Agronomica s.r.l. consortile". 1995
- Raimondi S., Scotti C. Studio dei suoli del parco regionale dei gessi bolognesi e dei calanchi dell'Abbadessa ai fini dell'individuazione di indicazioni per un loro uso sostenibile. 1995
- Regione Emilia-Romagna. I suoli delle aziende sperimentali del C.E.R.A.S. (1996)



- Sanesi G. Osservazioni sulle caratteristiche e l'evoluzione dei suoli della foresta di Campigna (FO). Relazioni con la vegetazione forestale. Accademia Italiana di Scienze Forestali. Vol. XI, 1962
- Sarti F. Indagine sui suoli dell'Azienda Sperimentale "Cadriano" dell'Università di Bologna. Tesi di laurea anno accademico 1993-1994
- Scotti C. I suoli dell'Alta Val Nure (PC). Tesi di laurea Università degli Studi di Torino. AA 1986-1987
- SNAM RETE GAS. Metanodotto Pontremoli – Cortemaggiore DN 900 (36") DP 75 bar. Tratto PONTREMOLI - ALBARETO. Monitoraggio Ambientale per la Verifica Evolutiva dei Neoeosistemi Derivanti dagli Interventi di Rivegetazione. Campagna 2015. Caratterizzazione Ante-Operam
- SNAMPROGETTI s.p.a. Istanza di Concessione di Coltivazione Agosta. Messa in produzione del pozzo Agosta 1 Dir. STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE. CAPITOLO 5 – QUADRO AMBIENTALE. ALLEGATO 5.10: Analisi di Caratterizzazione Ambientale Terreni (2006)
- SOILS4WINE. LIFE15 ENV/IT/000641. Deliverable "Action plan developed by demo farmers ". Sub-action B2.1 "Definition of the Action Plan". 2017
- Tomaselli, Rossi, Dowgiallo: "Phytosociology and ecology of the Festuca puccinellii-grasslands in the Northern Apennines (N-Italy)". Botanica Helvetica, 2000
- Tombini Enrico. Distribution of metals in several vineyards of North Italy: from soil to wine. Tesi di laurea Università di Bologna. Analisi e Gestione dell'Ambiente. AA 2014-2015
- Tosatti G., Sedola R. Analisi delle caratteristiche fisico-ambientali dell'oasi naturalistica "La Francesca" (Comune di Carpi, pianura modenese). Atti Soc. Nat. Mat. Modena 138 (2007)
- Toselli M., Schiatti P., Ara D., Bertacchini A., Quartieri M. The accumulation of copper in soils of the Italian region Emilia-Romagna. PLANT SOIL ENVIRON., 55, 2009 (2): 74-79
- Vianello G. Caratteri pedologici e capacità d'uso dei suoli del comune di Rimini. 1988
- Visioli G., Sanangelantoni A. M., Conti F., Bonati B., Gardi C., Menta C. Above and belowground biodiversity in adjacent and distinct serpentine soils. Applied Soil Ecology. Volume 133, January 2019, Pages 98-103.
- Vittori Antisari L., Agnelli A., Corti G., Falsone G., Ferronato C., Marinari S., Vianello G. Modern and ancient pedogenesis as revealed by Holocene fire - Northern Apennines, Italy. Quaternary International 467 (2018) 264e276
- Vittori Antisari L., Dell'Abate M.T, Buscaroli A., Gherardi M., Nisini L., Vianello G. Role of soil organic matter characteristics in a pedological survey: "Bosco Frattona" natural reserve (Site of Community Importance, Italy) case study. Geoderma 156 (2010) 302–315
- Zamboni M., Scotti C., Nigro G., Raimondi S., Simoni M., Antolini G. (2012). La zonazione viticola delle colline di Ravenna e Forlì-Cesena. Notiziario tecnico CRPV n. 85
- Zamboni M., Scotti C., Nigro G., Raimondi S., Simoni M., Melotti M., Antolini G. (2008). La zonazione viticola delle colline di Parma, Reggio Emilia, Modena e Bologna. Notiziario tecnico CRPV n. 78
- Zannoni D. Uso sostenibile dei suoli forestali di ambiente costiero in relazione ai fattori di pressione esistenti. Tesi di Dottorato anno accademico 2006-2007. Università degli Studi di Bologna