

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

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

**CARTA DELLA
TESSITURA DEI SUOLI
DELLA REGIONE
EMILIA-ROMAGNA
strato 0-30 cm**

scala 1:50.000

2023
2^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	7
3	DESCRIZIONE DELLA CARTA	8
3.1	Contenuto di argilla	11
3.2	Contenuto di limo	13
3.3	Contenuto di sabbia	15
3.4	Contenuto di scheletro.....	16
4	METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA PIANURA.....	18
4.1	Stime statistiche e geostatistiche	18
4.2	Spazializzazione dello scheletro	22
5	METODOLOGIA UTILIZZATA PER L'APPENNINO	25
5.1	Stima argilla.....	29
5.2	Stima limo.....	30
5.3	Stima sabbia.....	31
5.4	Stima scheletro	32
6	CONSULTAZIONE DELLE CARTE DELLA TESSITURA SUL WEB	34
6.1	Elenco dei siti di consultazione e loro caratteristiche.....	34
6.2	Consultazione sul sito Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna (MokaSuoli)	35
6.3	Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH	36
6.4	Consultazione sul sito CATALOGO DEI SUOLI REGIONALE	37
6.5	Consultazione sul GeoViewER Moka.....	38
6.6	Consultazione sul visualizzatore del Geoportale dell'Emilia-Romagna	39
6.7	Scaricamento dati.....	40
6.8	Consultazione come servizio WMS.....	41
7	ALLEGATO. DESCRIZIONE DELLE PROVINCE DI TERRE (L2)	42
8	BIBLIOGRAFIA	44





1 INTRODUZIONE

Il contenuto di sabbia, limo e argilla influenza il comportamento fisico e chimico dei suoli. La dimensione delle particelle è importante ai fini delle interpretazioni ingegneristiche e agronomiche, influenza le qualità idrologiche dei suoli ed è infatti utilizzata per la classificazione di questi. Fra le proprietà del suolo influenzate dalla tessitura ci sono il drenaggio, la capacità di ritenzione idrica, l'aerazione del suolo, l'erodibilità, il contenuto di sostanza organica, la capacità di scambio cationico.

I suoli a **tessitura grossolana** (sabbie, sabbie franche e franchi sabbiosi) hanno particelle di grandi dimensioni, pochi pori grandi e presentano bassa capacità di trattenere acqua e nutrienti. Tendono ad essere ben drenati, si asciugano più velocemente e sono meno soggetti alla compattazione. Sono generalmente meno erodibili di suoli a contenuto più elevato di limo e argilla. La sostanza organica si degrada più velocemente rispetto a suoli più fini a parità di condizioni a causa di quantità più elevate di ossigeno disponibili per la decomposizione. La capacità di scambio cationico, che è legata alle particelle argillose e alla sostanza organica, è più bassa.

I suoli a **tessitura fine** (argillosi, argilloso limosi, franco argilloso limosi) hanno particelle di piccole dimensioni. Hanno una grande capacità di trattenere acqua (spesso non completamente disponibile) e nutrienti, si asciugano lentamente, si compattano facilmente quando sono umidi e spesso sono mal drenati. Hanno generalmente contenuti più alti di sostanza organica, in quanto la decomposizione è più lenta. La capacità di scambio cationico è più elevata.

I suoli a **tessitura media** (franchi, franco limosi, franco argillosi, franco argilloso sabbiosi) presentano caratteri intermedi e sono più facili da gestire. La presenza di molti pori di medie dimensioni favorisce alta capacità di acqua disponibile per le piante.

La "Carta della tessitura nei suoli della regione Emilia-Romagna" rappresenta un'utile cartografia di base per una vasta gamma di problematiche legate all'uso agricolo, ad esempio i valori granulometrici sono un dato indispensabile per la formulazione del piano di fertilizzazione e l'applicazione dei DPI - Disciplinari di Produzione Integrata.

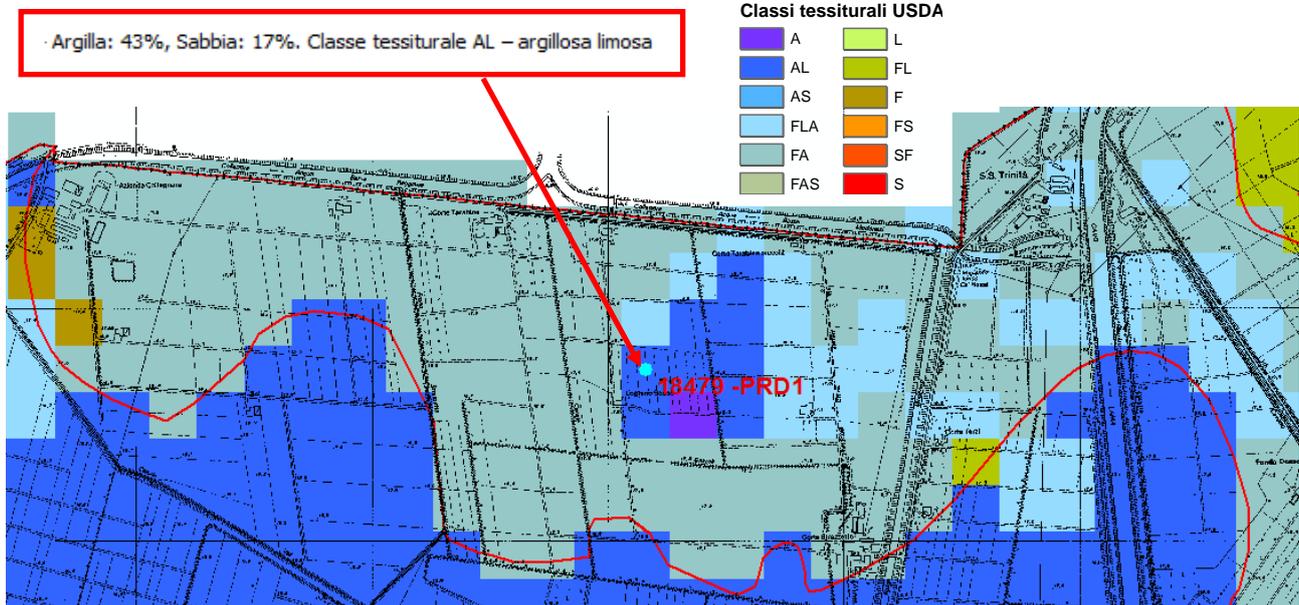
Rispetto all'edizione del 2015 il dato ora è restituito in pixel di **100mx100m** su tutto il territorio regionale.

I dati della tessitura sono la base per il calcolo di altri parametri del suolo tramite l'utilizzo di pedofunzioni di trasferimento (densità apparente, ritenzione e conducibilità idrica, AWC).

La carta inoltre costituisce un utile complemento alla carta dei suoli in scala 1:50.000 per individuare la distribuzione dei suoli all'interno di ogni delineazione, nel caso che i suoli subordinati abbiano valori tessiturali superficiali diversi dai suoli principali (vedi figura 1).



Prendendo come esempio la delimitazione 18479, nella figura 1 si può notare una certa variabilità tessiturale, che rispecchia la distribuzione dei suoli presenti (descritti nella tabella in basso). Nella piccola depressione vi sono i suoli LA BOARIA, che sono elencati come subordinati nella parte settentrionale della delimitazione. I valori di tessitura indicati nella carta (strato 0-30 cm) hanno una buona corrispondenza con quelli dell'orizzonte superficiale del sito di riferimento locale (ID. 1908) di questi suoli.



Distribuzione dei suoli nella delimitazione

Suoli presenti				Distribuzione			Siti di riferimento nella delimitazione		
Archivio	Suolo	Nome Suolo	Rappresentatività regionale	%	Fiducia	Localizzazione	Sito	Rappresentatività	Localizzazione
F5008	PRD1	PRADONI franco argilloso limosi	Osservazioni rappresentative	50	Moderato	distribuzione omogenea	5867	rappresentativo	delineazioni vicine
F5008	SMB2	SANT'OMOBONO franco argilloso limosi	Osservazioni rappresentative	25	Moderato	prevalentemente in prossimità del dosso adiacente	30014	rappresentativo	delineazioni vicine
F5008	SMB2	SANT'OMOBONO franco argilloso limosi	Osservazioni correlate	15	Moderato	prevalentemente in prossimità del dosso adiacente	1884	rappresentativo	nella delimitazione
F500	LBA1	LA BOARIA argilloso limosi	Osservazioni rappresentative	5	Buono	in piccole depressioni al margine della delimitazione nella parte meridionale e settentrionale	1908	rappresentativo	delineazioni vicine
F5008	CSC1	CASE SCHIAVI franchi	Osservazioni correlate	5	Moderato	in corrispondenza di rotte e linea di canale all'estremo Nord della delimitazione	1900	rappresentativo	delineazioni vicine

PARAMETRI ANALITICI/STIMA DEL SITO DI RIFERIMENTO

DELIMITAZIONE N. 18479, SUOLO: LBA1												METADATI										
SITO		ORIZZONTI DEL SITO							ANALISI													
		Orizzonte genetico				Prof. orizzonte			Campione			Analisi chimico-fisiche						Analisi fisiche				
N. oriz.	Discont.	Orimast.	Sulfat.	Sulfum.	min cm	max cm	Schel. %	N. camp.	min cm	max cm	Sabbia	Limo	Argilla	Classe	pH-H2O	C. org.	Sest. org.	Calc. Tot.	Calc. Att.	C.S.C.	Dens. App.	KSat
1908	1	A	p		0	50	0	1	10	30	4,8	51	44,2	AL	8	1,45	2,5	17	10	19,32	1,4	0,012
1908	2	B	w		50	100	0	1	60	80	6,5	49,7	43,8	AL	8,3	0,64	1,1	18	10	18,98	1,51	0,004
1908	3	C	g	1	100	160	0	1	90	110	6,5	56,8	36,7	FLA	8,1	0,58	1	18	9,5		1,55	0,007
1908	3	C	g	1	100	160	0	2	120	140	5	47,3	47,7	AL	8	0,64	1,1	18	10,8		1,43	0,006

Figura 1. Esempio della carta della tessitura sovrapposta alla carta dei suoli in scala 1:50.000



2 DEFINIZIONI

Le particelle che compongono il suolo si possono suddividere in categorie dimensionali (frazioni granulometriche). Esiste una grande variabilità nelle dimensioni delle particelle, da quelle più grossolane (con diametro > 2mm) che formano lo **scheletro**, a quelle costituenti la **terra fine**, comprese tra i 2 millimetri e qualche decimo di micron (millesimo di millimetro). La terra fine si suddivide ulteriormente in **sabbia** (da 2000 μ a 50 μ), **limo** (da 50 μ a 2 μ) e **argilla** (<2 μ). Per **tessitura** s'intende la ripartizione percentuale della terra fine. Il sistema di classificazione adottato dalla Regione per la tessitura segue lo schema proposto dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti d'America (Soil Survey Division Staff, 1993).

Minore è la dimensione delle particelle maggiore è la superficie totale di un dato volume di suolo. Questa determina l'assorbimento dell'acqua, l'area per le reazioni chimiche, l'assorbimento dei nutrienti, la plasticità e la capacità di rigonfiamento/restringimento.

La tessitura, infatti, influenza la porosità (quantità e dimensioni dei pori) e la capacità di acqua disponibile per le piante.

La "Carta della tessitura nei suoli della regione Emilia-Romagna" con riferimento ai primi 30 cm di suolo, fornisce una stima del contenuto percentuale medio di argilla, sabbia, limo e scheletro in un dato ambito territoriale in ragione dei diversi tipi di suolo in esso presenti.

Le diverse combinazioni di sabbia, limo e argilla vengono raggruppate in **classi tessiturali**.

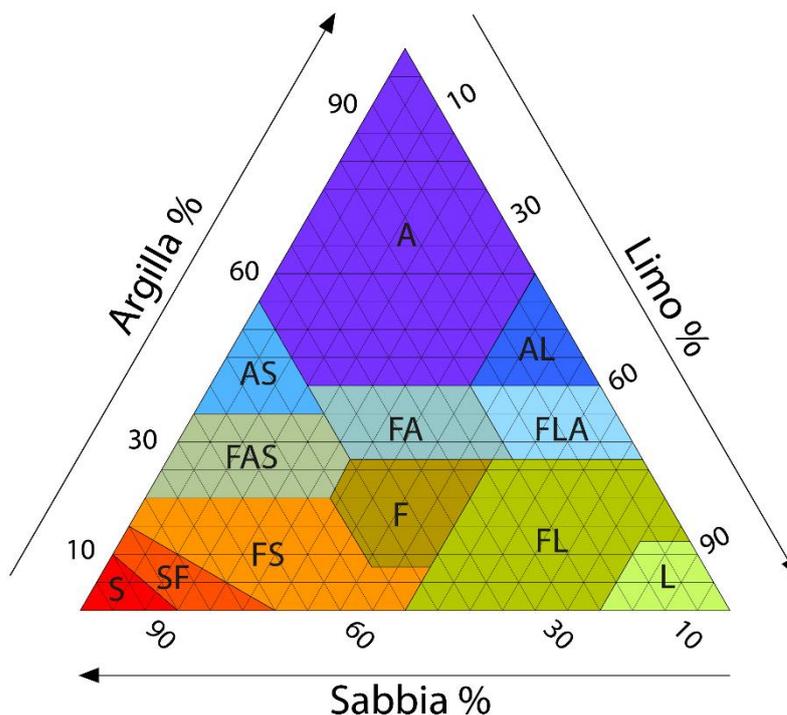


Figura 2. Triangolo delle classi tessiturali USDA

Cod.	Definizione	Valori soglia (USDA)
S	sabbie	85% o più di sabbia totale, e la percentuale di limo, più 1.5 volte la percentuale di argilla, è 15 o meno.
SF	sabbie franche	al limite superiore contiene 85-90% di sabbia totale e la percentuale di limo, più 1.5 volte la percentuale di argilla, è 15 o più; al limite inferiore non contiene meno del 70-85% di sabbia totale e la percentuale di limo, più 2 volte quella dell'argilla, è 30 o meno
FS	franco sabbiosa	20% o meno di argilla e 52% o più di sabbia totale e la percentuale di limo, più 2 volte la percentuale dell'argilla, è >30%; oppure contiene <7% di argilla, <50% di limo e 43-52% di sabbia totale.
F	franca	7-27% di argilla, 28-50% di limo e <52% di sabbia totale
FL	franco limosa	50% o più di limo, 12-27% di argilla; oppure 50-80% di limo e <12% di argilla
L	limosa	80% o più di limo e <12% di argilla
FAS	franco sabbioso argillosa	20-35% di argilla, <28% di limo e 45% o più di sabbia totale
FA	franco argillosa	27-40% di argilla e 20-45% di sabbia totale
FLA	franco argilloso limosa	27-40% di argilla e <20% di sabbia totale
AS	argilla sabbiosa	35% o più di argilla e 45% o più di sabbia totale
AL	argilla limosa	40% o più di argilla e 40% o più di limo
A	argilla	40% o più di argilla, <45% di sabbia totale e <40% di limo

Tabella 1. Classi tessiturali USDA e criteri di classificazione



3 DESCRIZIONE DELLA CARTA

La “Carta della tessitura 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.

Nell’ambiente di **pianura** è si è utilizzato un approccio basato su simulazioni **geostatistiche** (in modo analogo alla carta pubblicata nel 2016), il quale, a partire da valori puntuali di argilla, sabbia, limo, 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. I valori di scheletro sono stati calcolati con modalità differenti, analoghe a quelle utilizzate per l’Appennino (vedi metodologia).

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 per 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.

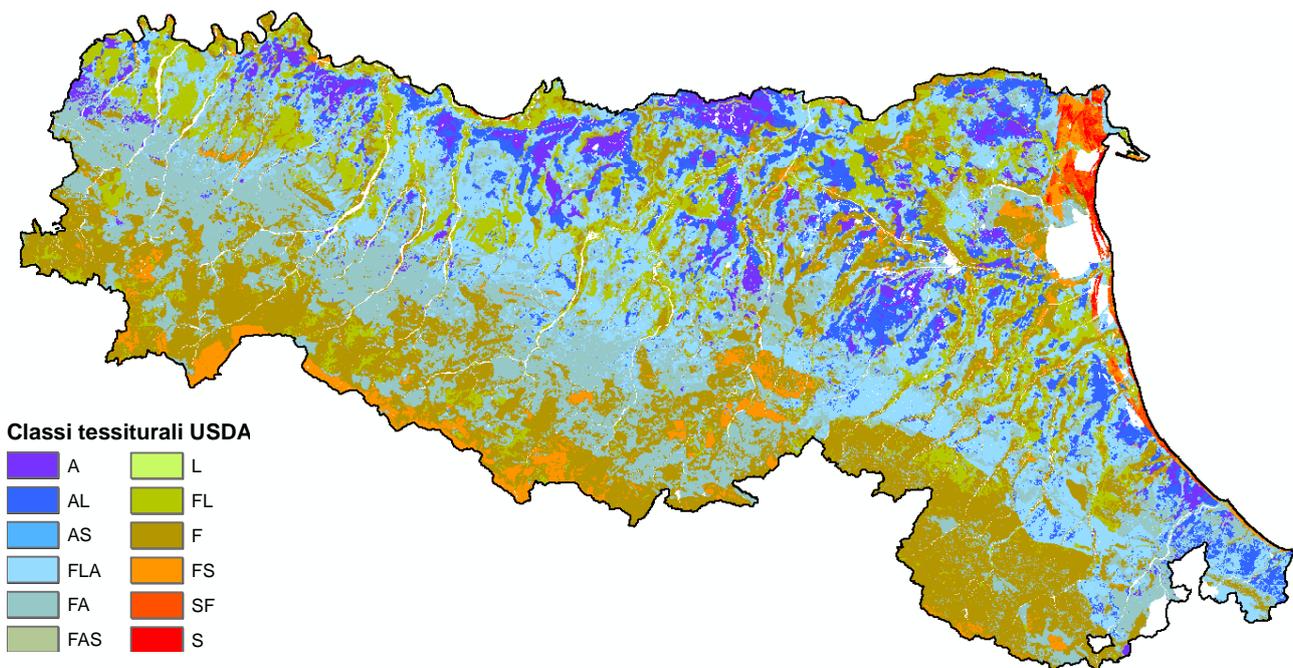


Figura 3. Carta delle classi tessiturali nei suoli della Regione Emilia-Romagna

La carta copre tutta la regione, ad eccezione dei due comuni della Val Marecchia che si sono uniti alla Regione solo nel 2021. A differenza della prima edizione, che era uno strato vettoriale, la carta presente è composta



da diversi **strati raster (9)**: argilla%, sabbia%, limo%, scheletro %, classi tessiturali, accuratezza dei valori stimati.

Ogni parametro è accompagnato dal livello di **accuratezza**, 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.

Classe	ha	%	Diagramma
REGIONE			
A	91536	4.05	
AL	178379	7.89	
AS	55	0.00	
FLA	422048	18.67	
FA	546979	24.20	
FAS	2877	0.13	
L	69	0.00	
FL	239330	10.59	
F	594049	26.28	
FS	76891	3.40	
SF	14453	0.64	
S	7011	0.31	
No suolo	86362	3.82	
	2260039	100	
PIANURA			
A	83756	7.16	
AL	159667	13.64	
AS	46	0.00	
FLA	282861	24.17	
FA	170221	14.54	
FAS	2430	0.21	
L	69	0.01	
FL	193615	16.54	
F	169949	14.52	
FS	24405	2.08	
SF	14273	1.22	
S	6918	0.59	
No suolo	62282	5.32	
	1170492	100	
APPENNINO			
A	7566	0.70	
AL	18588	1.72	
AS	9	0.00	
FLA	138646	12.84	
FA	376352	34.84	
FAS	427	0.04	
L	0	0.00	
FL	44031	4.08	
F	422206	39.09	
FS	51653	4.78	
SF	4	0.00	
S	0	0.00	
No suolo	20695	1.92	
	1080177	100	

Tabella 2. Distribuzione delle classi tessiturali

La classe "no suolo" è stata calcolata rasterizzando la **carta di uso del suolo** (ed. 2020) per quanto riguarda le classi di **corsi d'acqua e bacini** (eliminando gli elementi più stretti o più piccoli) e sovrapponendola alle carte dei vari parametri. I centri urbani non sono stati considerati e fanno parte della carta, con basso grado di attendibilità.



La figura 3 illustra come si distribuiscono sul territorio regionale i suoli in base della classe tessiturale USDA. La classe più diffusa è la franca seguita da franca argillosa, franca argillosa limosa e franca limosa. Queste classi assommano a quasi l'80% della superficie. Le classi sabbiosa e sabbiosa franca sono di fatto limitate solo all'ambiente costiero. Le classi tessiturali argillosa sabbiosa e limosa sono pochissimo presenti nella carta. Anche nei dati puntuali queste ultime due classi sono raramente presenti.

Se si guarda però ai due ambienti pianura e Appennino si notano però delle differenze: in pianura vi è una maggiore variabilità tessiturale e le classi prevalenti sono la franca argillosa limosa, seguita da franco limosa, franco argillosa e franca. Queste classi assommano a quasi il 70% della superficie di pianura. Buona anche la presenza di suoli a tessitura fine: le classi argillosa limosa e argillosa sono quasi il 21% della superficie.

In Appennino la variabilità tessiturale si riduce in quanto le classi franco argillosa e franca insieme fanno quasi il 74% in percentuali relative, seguite a distanza dalla classe franco argillosa limosa. Tutto il resto ammonta ad appena il 13% (in termini relativi). Le classi sabbiose sono pochissimo rappresentate, con l'unica eccezione della classe franco sabbiosa (meno del 5%).

Si conferma quindi, come già evidenziato dalla prima edizione, la scarsa presenza di suoli sabbiosi (poco più del 4%) in Regione (anche se in Appennino la loro presenza è stata probabilmente sottostimata dovuto alla metodologia di calcolo), mentre prevalgono le classi **a tessitura media**, sia in pianura che in collina. I suoli argillosi (circa 12%) sono prevalentemente presenti in pianura e nel basso Appennino (anche se in questo ultimo c'è una probabile sottostima dovuta sempre al metodo di calcolo).



3.1 Contenuto di argilla

Un buon contenuto di argilla può conferire ai suoli proprietà positive: in virtù del fatto che l'argilla dei suoli regionali è dinamica e ricca di elementi minerali, ne è condizionata positivamente la loro capacità di trattenere l'acqua e alcune molecole inquinanti (es.: metalli pesanti). D'altro canto, un elevato contenuto di argilla in presenza di eccessi idrici, determina nel suolo elevata plasticità, difficoltà di lavorazione e percorribilità, difficoltà di drenaggio, mentre in condizioni di secchezza essi diventano compatti e resistenti, con profonde spaccature, limitando così la gamma di colture coltivabili e rendendo difficoltosa la loro gestione (es.: irrigazione). La distribuzione dell'argilla bene descrive i principali ambienti di cui si caratterizza la regione.

Suoli con un contenuto di argilla <18% ed un elevato contenuto di sabbia caratterizzano in pianura gli ambienti costieri, la pianura deltizia del fiume Po e i dossi dei fiumi appenninici della Romagna; in Appennino sono presenti nelle zone di alta quota e in alcune parti del medio Appennino in suoli derivanti da rocce arenacee grossolane, dove è possibile ci possa essere una sottostima dei valori di sabbia (specialmente sui suoli sviluppatisi sulla formazione di Loiano).

Suoli con argilla <27% (41%) e un basso contenuto di sabbia in pianura sono diffusi su conoidi e terrazzi della pianura pedemontana e paleoconoidi del margine appenninico nel piacentino-parmense, conoidi e dossi dei fiumi appenninici e la pianura pedemontana centrale. In Appennino sono particolarmente diffusi nella zona del medio Appennino, soprattutto in Romagna su suoli derivati dalla formazione della Marnosa-Arenacea, ma sono presenti anche nella zona centro occidentale su alcune formazioni della successione epiligure (es. Ranzano, Pantano, Cigarellino).

I suoli con contenuto di argilla compreso fra il 27 e il 40% sono i più diffusi rappresentando circa il 43% della superficie totale. Sono presenti in pianura nelle zone di transizione fra le valli e i dossi, nelle interconoidi della piana pedemontana e su superfici disseccate nel margine appenninico alto, ma sono anche presenti in tutta la fascia collinare su suoli derivati da formazioni geologiche plioceniche (argille grigio-azzurre) ma anche su suoli derivati da formazione del cosiddetto "caotico".

I suoli con contenuto di argilla > 40% (12%) sono diffusi in pianura nelle ex-valli della pianura alluvionale, nelle aree più depresse della piana a meandri del Po, nella piana deltizia in aree di palude salmastra bonificate e lungo il margine appenninico. I valori più elevati di argilla si trovano in provincia di Reggio Emilia (es. Valli di Novellara), Modena (es. valli delle Partite a Nord di Massa Finalese) e Bologna (ad est di Crevalcore). In Appennino sono presenti soprattutto nella fascia collinare nel piacentino occidentale e collina riminese in primis, ma presenti anche nel resto della collina in particolare su suoli derivati da formazione del cosiddetto "caotico". Come detto in precedenza, è possibile che in Appennino vi sia una sottostima della presenza di questi suoli (dovuto alla procedura di calcolo utilizzata).

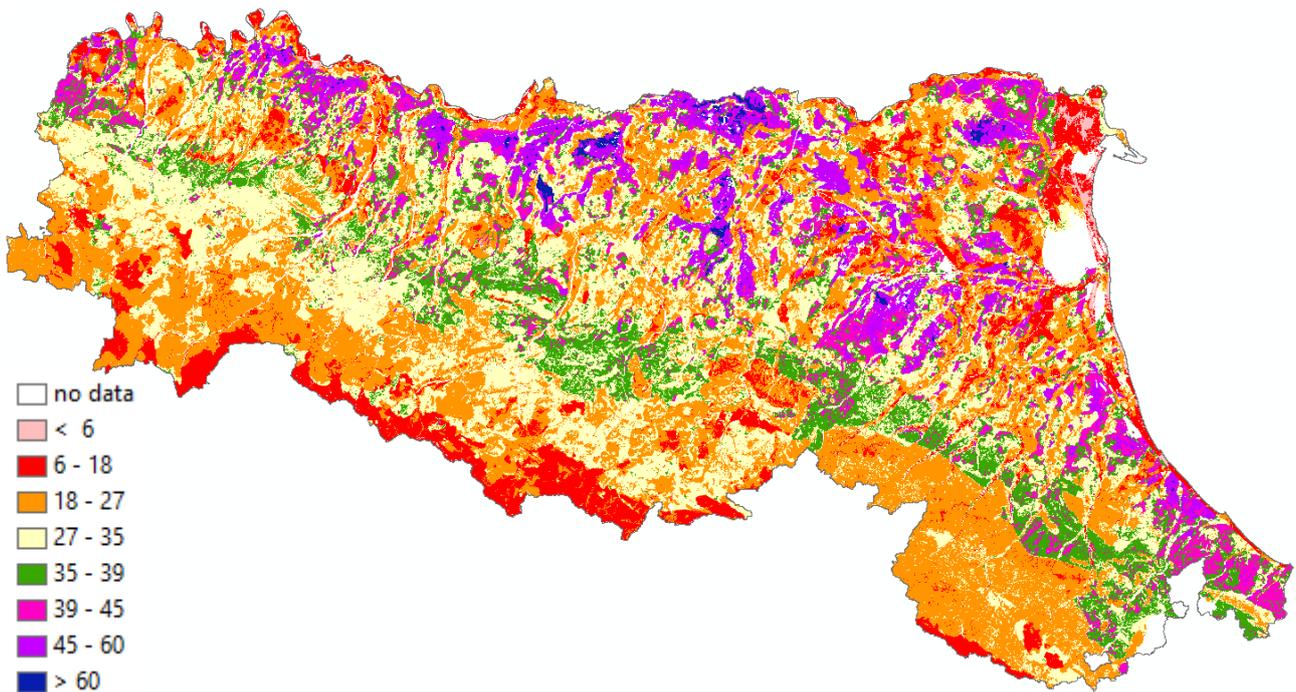


Figura 4. Carta del contenuto % di argilla nello strato 0-30 cm. Seconda edizione

L'indice di accuratezza della stima è stato indicato in tre classi basate sui decili della distribuzione della deviazione standard di stima. Questa è ottenuta in modo diverso in pianura e in Appennino, coerentemente con l'approccio utilizzato per cartografare le frazioni tessiturali.

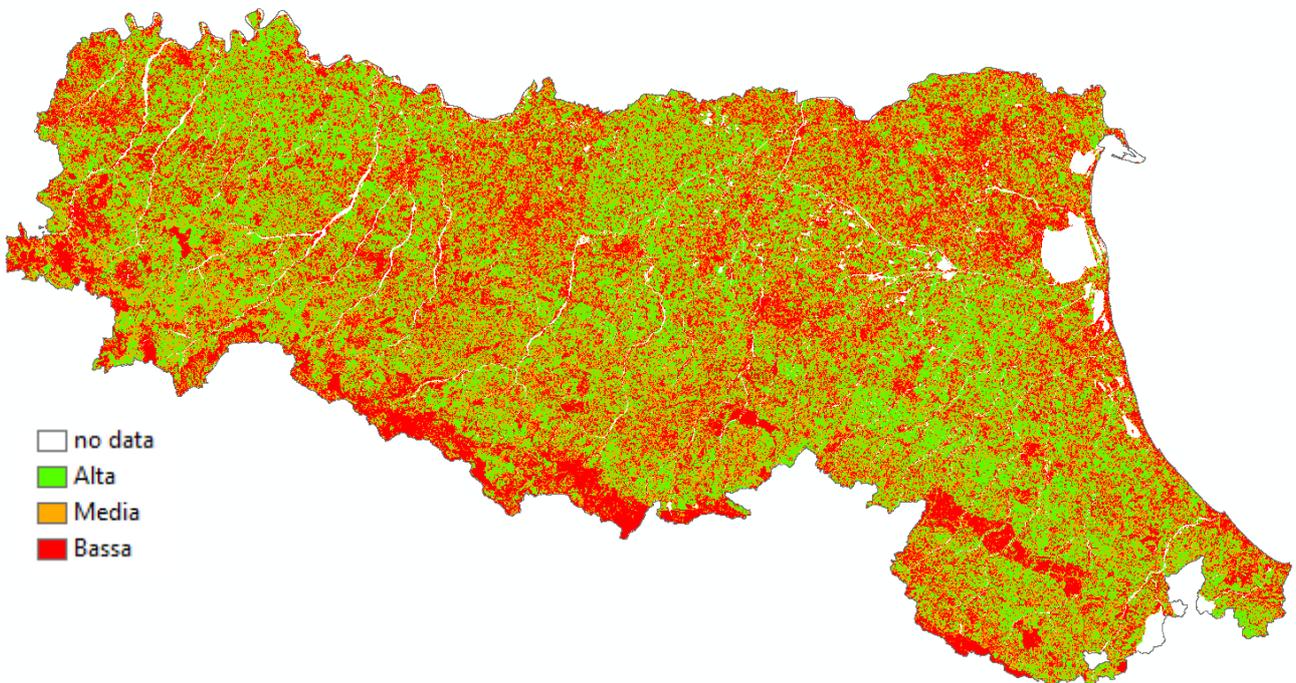


Figura 5. Carta dell'attendibilità (indice qualitativo di accuratezza cartografica) del contenuto di argilla



3.2 Contenuto di limo

Risulta evidente, anche da una superficiale visione della figura 6, che il contenuto di limo nella pianura è generalmente alto (>45%, mediamente oltre il 50%). Valori molto elevati (>60%) si riscontrano nel margine piacentino e parmense, nella pianura alluvionale recente dei fiumi emiliani (specialmente Taro, Stirone, Enza) ed in modo più sporadico sui dossi dei fiumi romagnoli.

Bassi valori si riscontrano ovviamente nei suoli sabbiosi della costa e nelle valli alluvionali con valori molto elevati di argilla (ad esempio nella bassa pianura reggiana nella zona di Novellara e a Nord di Bagnolo, nella zona a cavallo fra Campagnola Emilia e Novi di Modena, nelle Valli grandi Modenesi fra Mirandola e Bondeno, nel Bolognese a Est di Crevalcore).

In Appennino invece i valori di limo sono generalmente più bassi e si collocano con valori prossimi o di poco superiori al 50% soprattutto nella fascia collinare in suoli derivati da formazioni geologiche plioceniche (argille grigio-azzurre), in Romagna sui membri più marnosi della formazione della Marnosa-Arenacea o nella parte centro-occidentale in suoli derivati da alcune formazioni della successione epiligure (Pantano, Cigarellino, Termina). Nel resto dell'Appennino prevalgono valori <50%, soprattutto nel range 39-49%. Valori più bassi si trovano in suoli derivati da rocce arenacee.

L'elevato contenuto di limo influenza le proprietà idrauliche dei suoli, determinando valori mediamente più elevati di densità apparente rispetto ai valori riscontrati in letteratura (Ungaro, 2009).

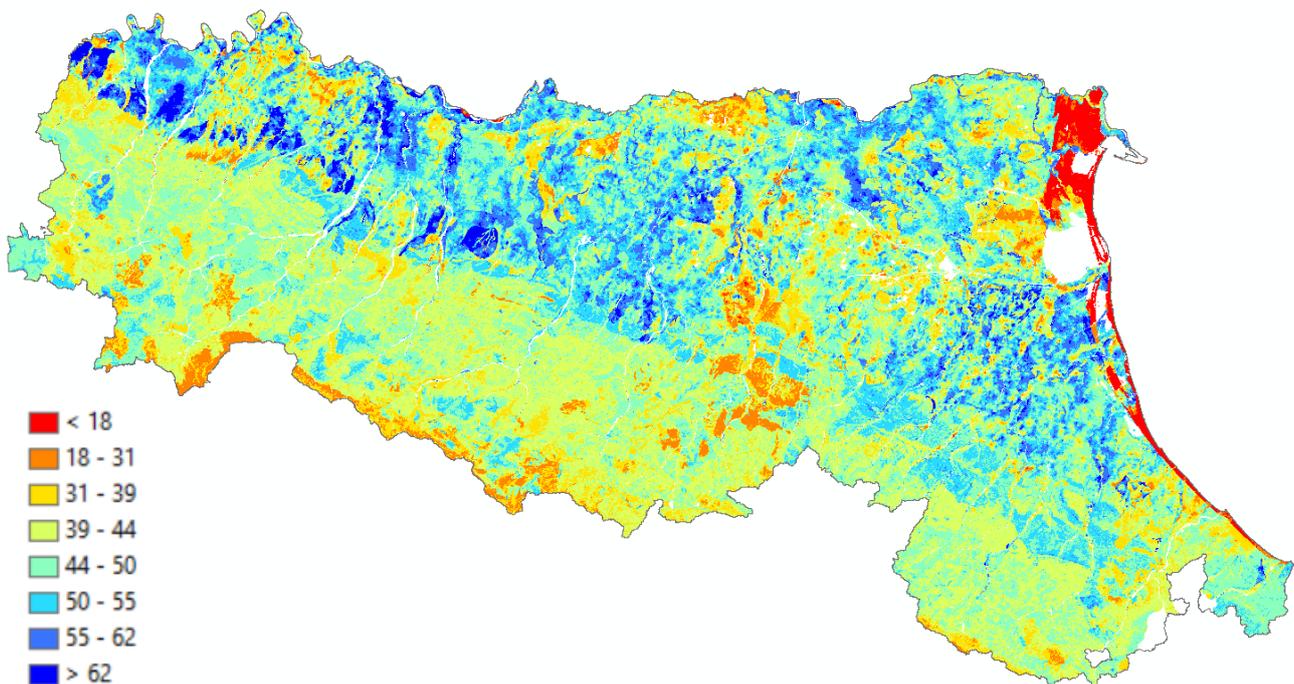


Figura 6. Carta del contenuto % di limo nei suoli nello strato 0-30 cm. Seconda edizione

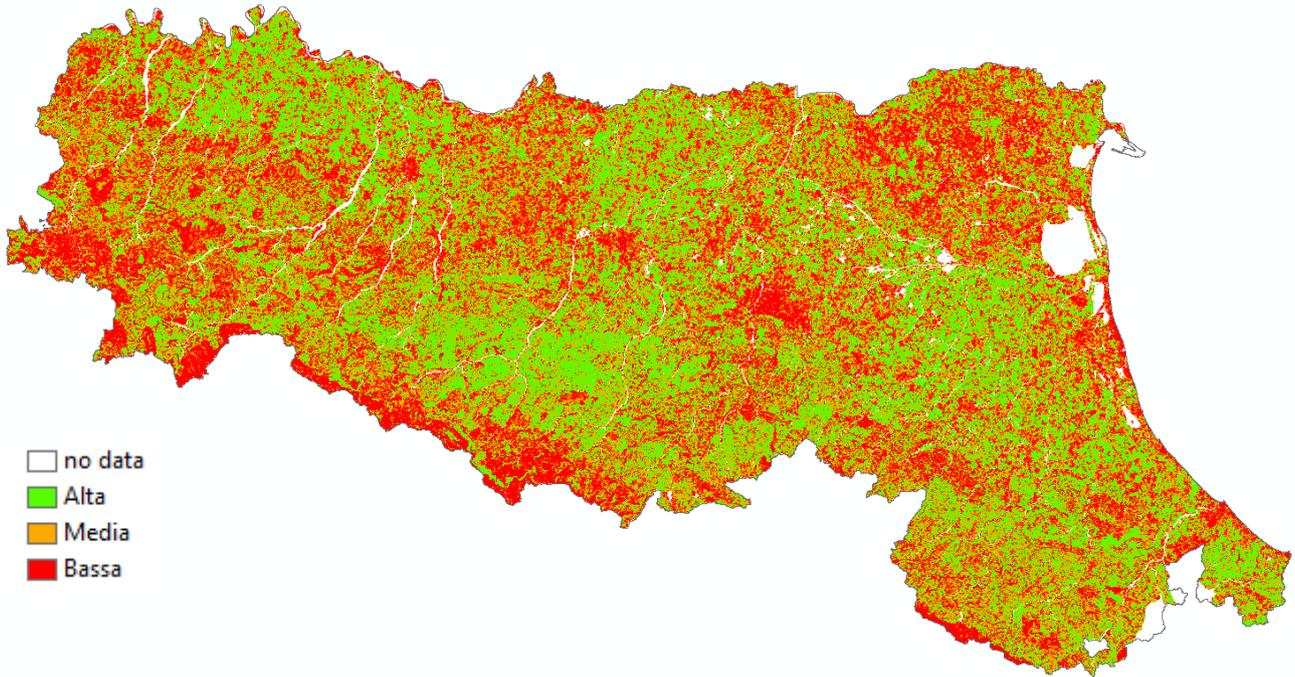


Figura 7. Carta dell'attendibilità (indice qualitativo di accuratezza cartografica) del contenuto di limo



3.3 Contenuto di sabbia

I suoli sabbiosi sono poco diffusi in regione. Il contenuto di sabbia dei suoli della pianura è generalmente medio-basso, con valori molto elevati solo in ambito costiero. Altri ambienti di pianura in cui è possibile trovare suoli sabbiosi sono nella piana a meandri recente del fiume Po e sui dossi e le rotte dei fiumi romagnoli (a partire dal Reno). Nella pianura emiliana i suoli sabbiosi, con l'eccezione delle zone del Po, sono praticamente inesistenti. Si possono riscontrare sporadicamente sui terrazzi recenti a prevalente componente ghiaiosa e su alcune rotte dei fiumi appenninici. La carta rappresenta i valori totali di sabbia ma, se si opera il frazionamento delle sabbie, i suoli della pianura sono decisamente collocati verso i valori di sabbia fine e molto fine, per cui anche i suoli a classe tessiturale franca e franca argillosa presentano comportamenti simili a quelli dei suoli a tessitura franca limosa e franco argillosa limosa. Anche i suoli sabbiosi della costa presentano di norma valori granulometrici allocati prevalentemente nella sabbia molto fine (100-50 μ) e fine (250-100 μ).

Anche in Appennino i suoli sabbiosi (per lo più franco-sabbiosi) non sono molto frequenti. Si riscontrano nelle zone di alta quota su rocce arenacee (formazioni del Macigno, Monte Modino, Gottero), in alcune parti del medio Appennino in suoli derivanti da rocce arenacee grossolane (Formazioni di Loiano, Arenarie di Anconella, membri più grossolani della Marnosa-Arenacea). Nel basso Appennino questi suoli si riscontrano su formazioni plioceniche più arenacee nel Bolognese (Monte Adone, Monte Rumici) e nel Piacentino (zona del Piacenziano).

I valori più frequenti di sabbia si riscontrano fra 18 e 45% di sabbia, da qui la grande frequenza delle classi franche e franco-argillose.

Valori di sabbia < 18% si riscontrano in suoli collinari sulle formazioni plioceniche e messiniane più argillose (argille grigio-azzurre, formazione a Colombacci) o su alcune formazioni epiliguri (Termina), talora anche nei suoli derivati dalle formazioni del Caotico.

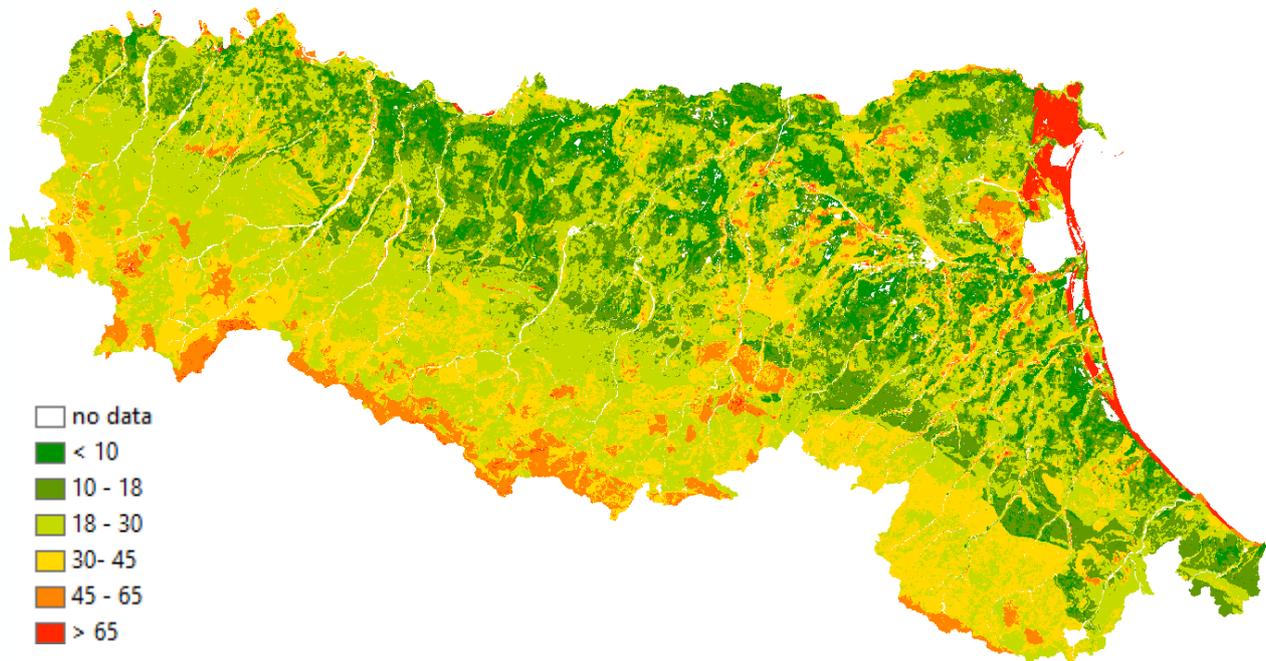


Figura 8. Carta del contenuto % di sabbia nello strato 0-30 cm. Seconda edizione

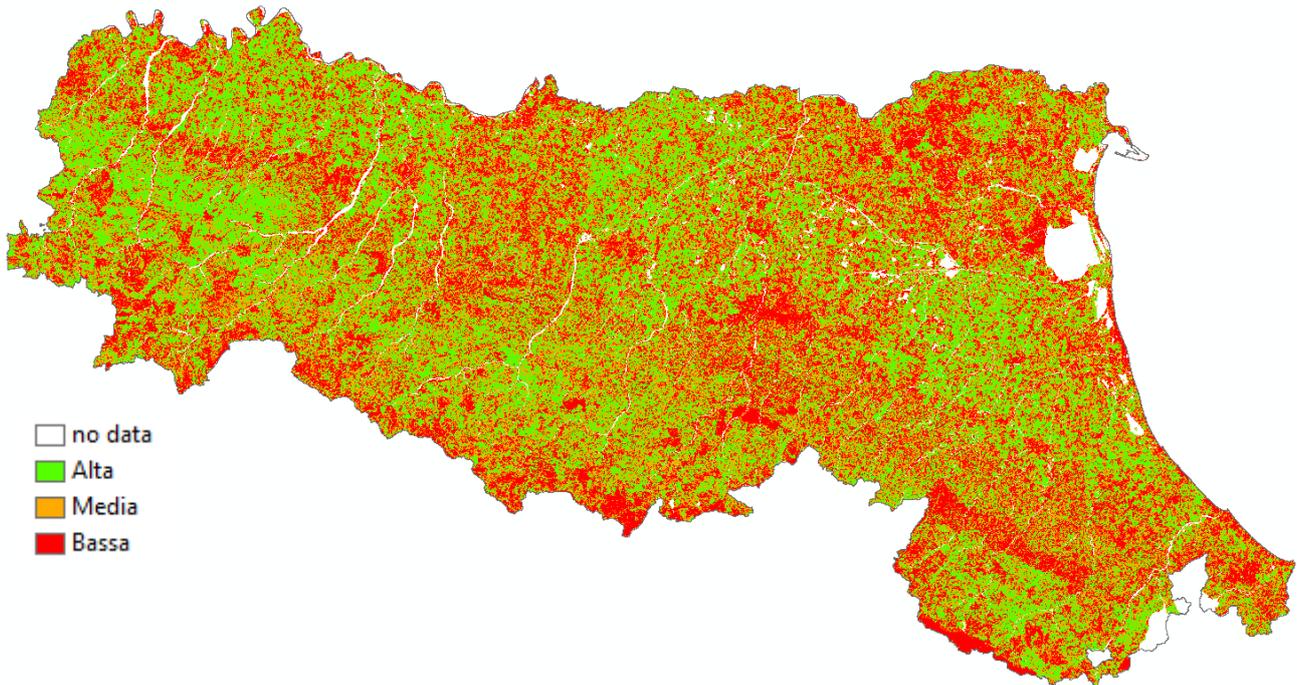


Figura 9. Carta dell'attendibilità (indice di accuratezza cartografica) del contenuto di sabbia

3.4 Contenuto di scheletro

Lo scheletro nei suoli della pianura emiliano-romagnola risulta generalmente non presente. Fanno eccezione le grandi conoidi dei fiumi appenninici, quali ad esempio Trebbia, Nure, Taro, Enza ed i terrazzi intra-appenninici più recenti, dove la ghiaia è presente sporadicamente in superficie. Come si può vedere dalla figura 10, anche quando lo scheletro è presente si assesta comunque su valori bassi (in genere < 5%), con poche eccezioni. Anche nel caso dei pochissimi suoli a famiglia Soil Taxonomy skeletal (presenza di scheletro nella sezione di controllo >35%) la ghiaia in superficie risulta generalmente non elevata.

Diverso invece è il discorso in Appennino, dove, specialmente nella parte centro-occidentale, lo scheletro in superficie risulta presente in quantità variabile fra il 5 e 35%. Valori >35% sono presenti soprattutto nelle zone a quote più alte e nei boschi. Data la scarsa quantità di dati disponibili nei boschi è molto probabile che in questi ambienti la quantità di scheletro sia stata sottostimata. Nei suoli agricoli, inoltre, va tenuto conto della diffusa pratica dello spietramento per cui la presenza di scheletro superficiale effettiva è minore di quella potenziale. Vi sono poi suoli, specialmente in ambiente collinare, in cui la quantità di scheletro è bassa o assente per la natura del substrato litologico "tenero" che si altera facilmente (in particolare i suoli sulle formazioni plioceniche, messiniane ed epiliguri sui membri più marnosi). Sono poco scheletrici in superficie anche i suoli agricoli sulla formazione della Marnosa-Arenacea.

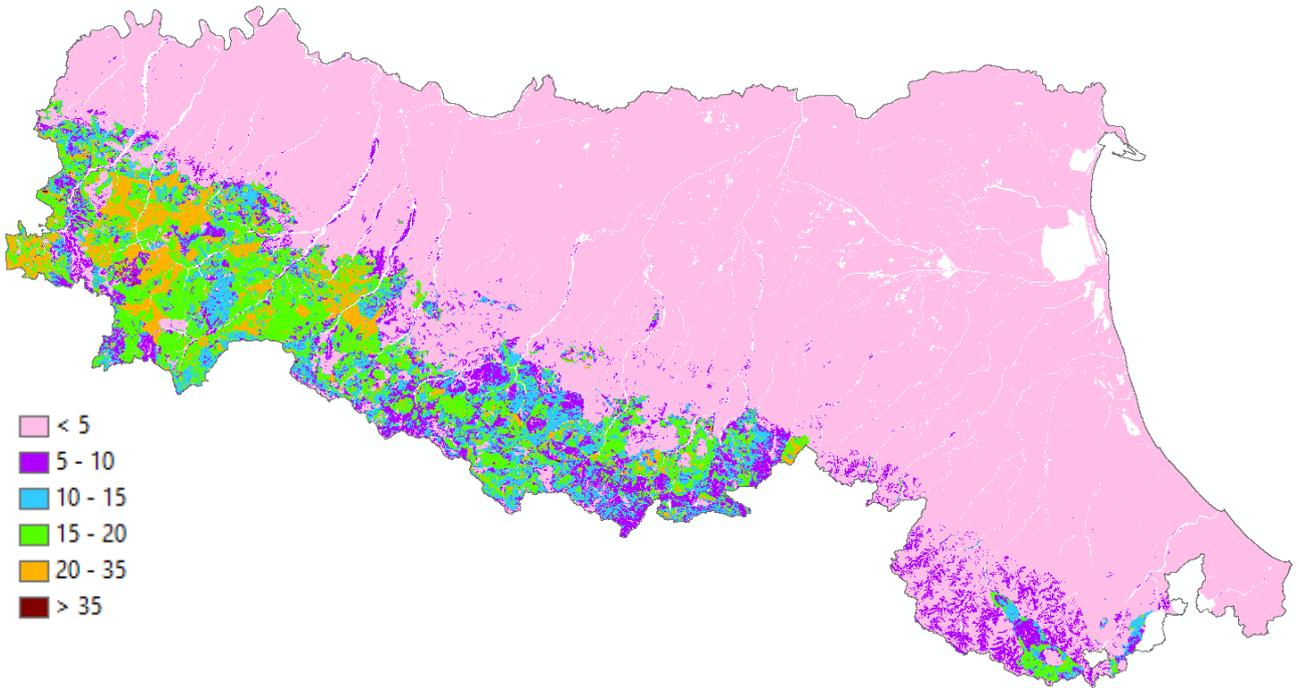


Figura 10. Carta del contenuto % di scheletro nei suoli nello strato 0-30 cm

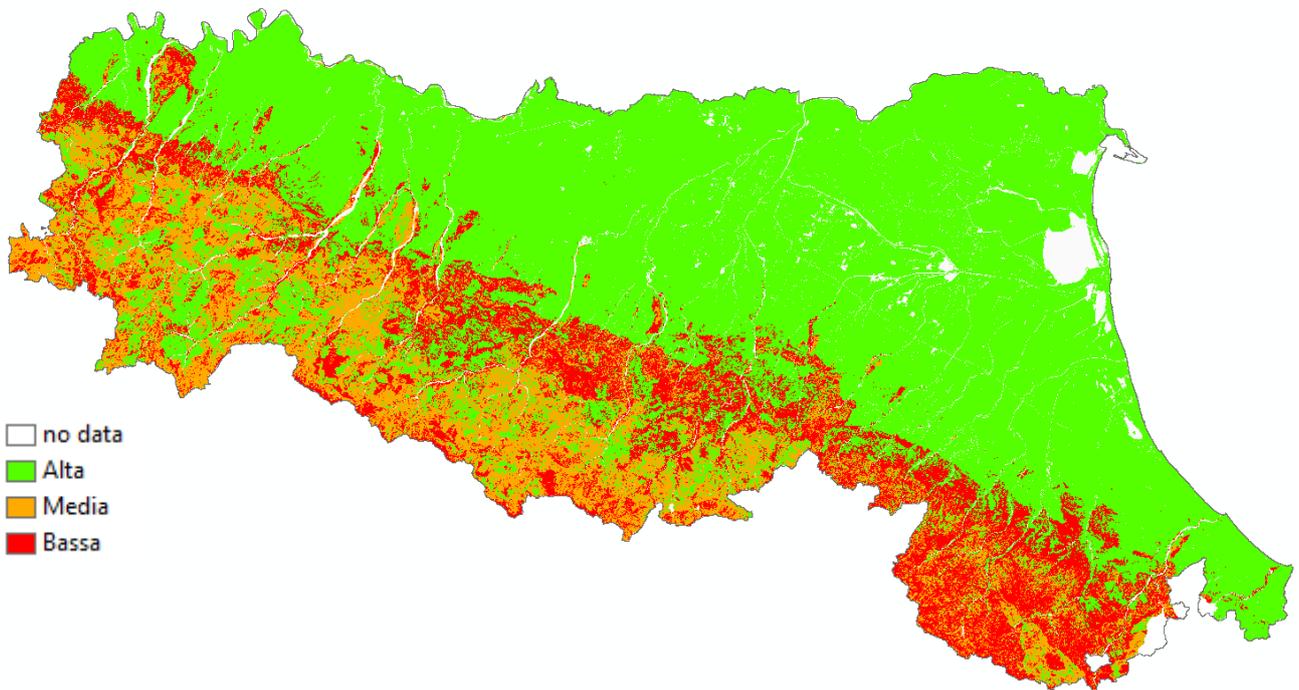


Figura 11. Carta dell'attendibilità (indice di accuratezza cartografica) del contenuto di scheletro



4 METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA PIANURA

Nel caso delle tre frazioni granulometriche < 2mm di diametro equivalente i dati sono stati dapprima armonizzati dall'area Geologia, Suoli e Sismica e poi elaborati attraverso analisi statistica e geostatistica da parte del CNR IBE. L'elaborazione complessiva è stata effettuata in base a criteri statistici e geostatistici con la seguente metodologia:

1. Calcolo delle statistiche descrittive dei valori di sabbia, limo e argilla riferiti 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 delineazioni e il valore medio attribuito alla delineazione dove i punti stessi ricadono.
4. analisi geostatistica dei residui ed elaborazioni cartografiche basate su simulazioni sequenziali.

4.1 Stime statistiche e geostatistiche

I dati puntuali sono stati dapprima armonizzati dall'area Geologia, Suoli e Sismica e poi elaborati attraverso analisi statistica e geostatistica da parte del CNR IBE.

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

1. calcolo da parte di AGSS-RER dei valori medi di S%, L%, A% per ciascuna delineazione mediante l'utilizzo dei siti benchmark;
2. analisi statistica descrittiva e calcolo dei residui dal valore medio per ciascuna osservazione;
3. variografia sperimentale dei residui e modellizzazione del variogramma dei residui;
4. simulazioni sequenziali 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;
5. 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.

4.1.1 Calcolo delle statistiche descrittive

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

4.1.2 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 delineazioni) che rappresentano una porzione di territorio omogenea per i tipi di suoli in essa presenti. Sono stati calcolati i valori medi ponderati di sabbia, limo e argilla in base alla percentuale di occorrenza di ogni suolo all'interno della delineazione 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 sabbia, limo, argilla e scheletro 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			
xid_delin	sigla_uc	suolo	%	ID_SITO	S	L	A	SK	S*%	L*%	A*%	SK*%
6463	SMB1	SMB1	55	788	21.93	54.59	23.48	0	1206.28	3002.52	1291.20	0
		SMB2	30	4	5.69	57.98	36.33	0	170.74	1739.31	1089.94	0
	SMB1	FSL1	5	10767	21.60	53.74	24.66	0	107.99	268.71	123.29	0
		SEC1	5	762	24.17	49.35	26.48	0	120.87	246.74	132.39	0
		VIL2	5	412	48.37	34.23	17.40	0	241.83	171.17	87.00	0

Tabella 3. Esempio di calcolo della media ponderata nella delineazione 6463



Valori medi ponderati per delineazione						
xid_delin	sigla_uc	S	L	A	SK	SOMMA
6463	SMB1	18.48	54.28	27.24	0	100

Tabella 4. Esempio dei valori medi ponderati per la delineazione 6463

4.1.3 Preparazione dati puntuali

I dati puntuali 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 e da dati di letteratura;
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 monitoraggi provenienti da varie fonti, fra cui i dati LUCAS raccolti da ESDAC¹. Per ogni monitoraggio sono stati utilizzati i dati più recenti.

Il dataset dei dati puntuali consiste in **32.806** 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.

ORIGINE	Periodo campionamento		Numero totale	%
	1974	2020		
BD suoli	1974	2020	8697	26.5
SACT	1979	2022	23883	72.8
Monitoraggi	1999	2018	226	0.7
			32806	100

Tabella 5. Analisi disponibili del contenuto di argilla, limo e sabbia per lo strato 0-30 cm nell'area di pianura

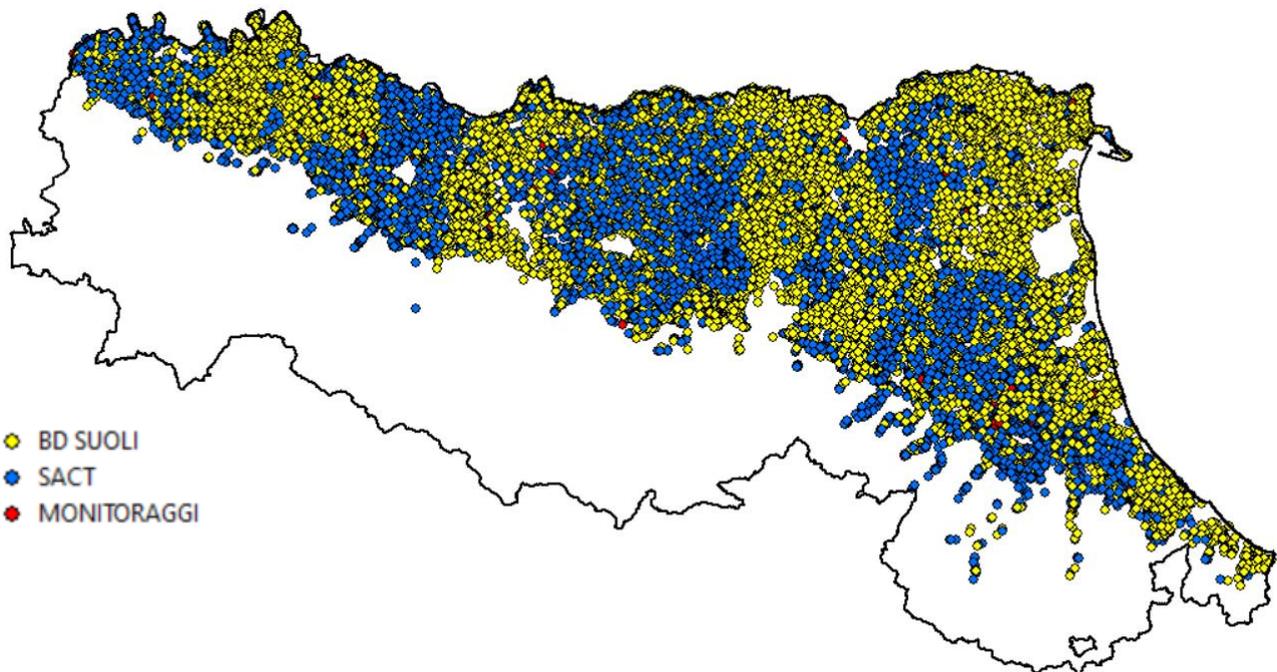


Figura 12. Distribuzione dei 32.806 siti in base alla banca dati di provenienza

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

¹ JOINT RESEARCH CENTRE. European Soil Data Centre



Variabile	Media	Dev. Std.	Errore Std.	IC - 95%	IC 95%	Min.	P10	Q25	Mediana	Q75	P90	Max
Sabbia	21.67	15.27	0.08	21.51	21.84	0.00	6.00	11.00	19.00	28.45	40.00	97.83
Limo	46.54	12.30	0.07	46.41	46.67	0.00	32.00	40.50	48.00	54.00	60.00	88.48
Argilla	30.67	12.16	0.07	30.54	30.80	0.00	16.78	22.00	30.00	38.00	46.98	81.32
Scheletro	0.26	1.75	0.01	0.24	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.00

Tabella 6. Statistiche descrittive (N = 32806)

4.1.4 Elaborazione geostatistica

La definizione dei valori medi è alla base della successiva analisi geostatistica. In questo modo è stato possibile calcolare la differenza tra il valore medio attribuito all'unità ed il valore puntuale osservato. Tale differenza, detta residuo, è stato oggetto di elaborazione geostatistica. L'analisi geostatistica ha come riferimento raster la griglia regionale² 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 dell'unità 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 figure 13, 14, 15). 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.

Tutti passaggi sopradescritti, ad eccezione del terzo e dell'ultimo, sono stati effettuati con il software WinGSLib (Staios 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 delle tre frazioni granulometriche sono illustrati nelle figure 26-28; in tutti i casi l'incremento lineare sulla distanza (*lag*) per il calcolo della semivarianza è stato posto uguale a 500 m. I parametri dei modelli utilizzati per interpolare i semivariogrammi sperimentali sono riportati nella Tabella 7.

Modello	Sabbia % 0-30 cm		Limo % 0-30 cm		Argilla% 0-30 cm	
	Sill	Range (m)	Sill	Range (m)	Sill	Range (m)
Nugget	0.173	-	0.167	-	0.207	-
Sferico	0.547	644.7	0.524	650.9	0.510	577.1
Sferico	0.211	5399.3	0.236	4117.5	0.226	4004.6

Tabella 7. Parametri dei modelli utilizzati per interpolare i semivariogrammi sperimentali dei residui normalizzati

² 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.

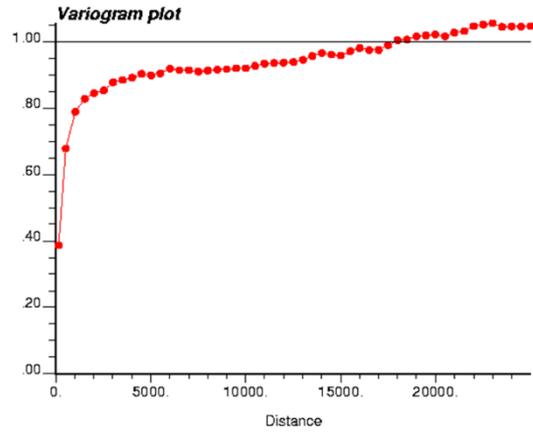
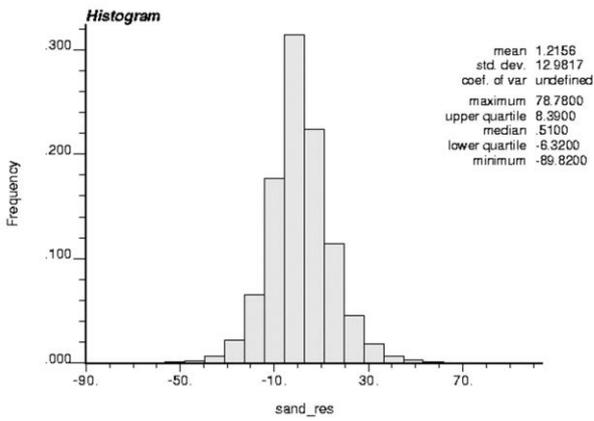


Figura 13. Sabbia % 0-30 cm: Istogramma delle frequenze dei residui e semivariogramma omnidirezionale dei residui standardizzati

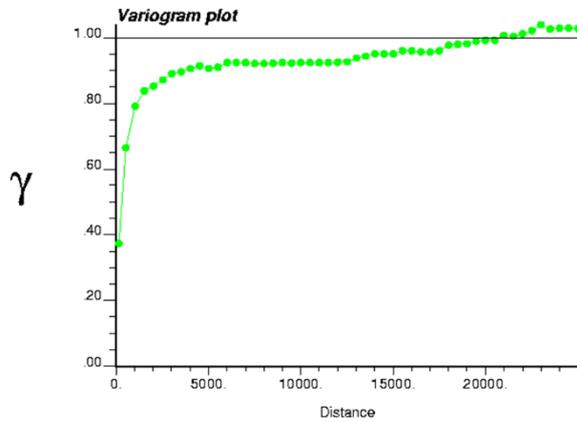
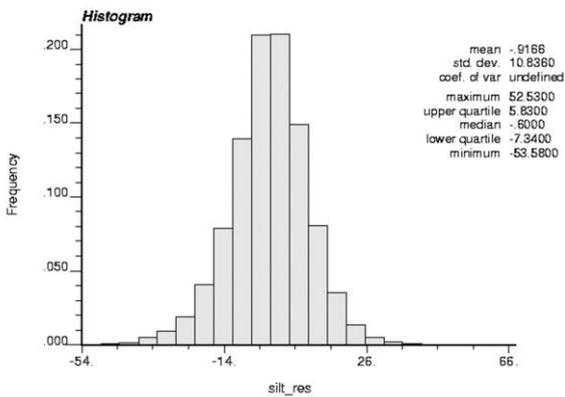


Figura 14. Limo % 0-30 cm: Istogramma delle frequenze dei residui e semivariogramma omnidirezionale dei residui standardizzati

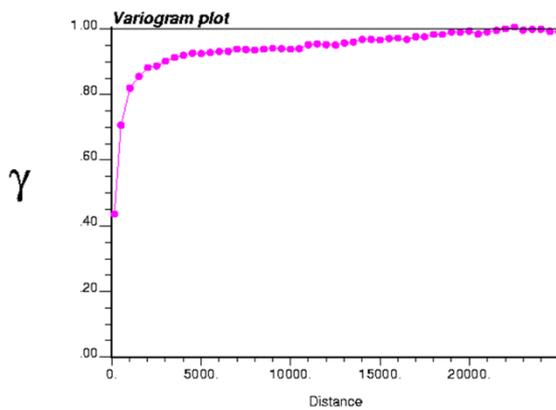
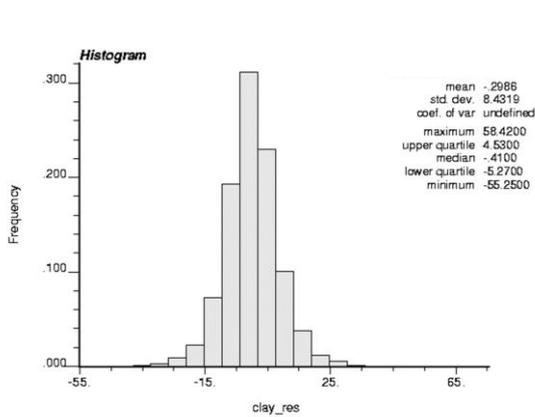


Figura 15. Argilla % 0-30 cm: Istogramma delle frequenze dei residui e semivariogramma omnidirezionale dei residui standardizzati



4.2 Spazializzazione dello scheletro

Nel caso dello scheletro la procedura seguita è stata differente. La stragrande maggioranza dei suoli di pianura (circa il 95% delle osservazioni) è privo di scheletro per cui un'elaborazione geostatistica non è implementabile considerata anche la localizzazione concentrata e limitata ad aree circoscritte della pianura dei valori superiori allo 0% (conoidi dell'alta pianura, aree lungo gli alvei fluviali). Inoltre, il grosso della base dati puntuale (83%) è costituito dai dati SACT, che non sono corredati del dato sulla % di scheletro. Di conseguenza sono stati estratti dalla banca dati dei suoli i valori di scheletro superficiale di tutti i dati puntuali disponibili, compresi quelli non analizzati. Le modalità di assegnazione dei valori di scheletro (con affidabilità decrescente) sono state le seguenti:

- Dato di scheletro rilevato in campagna (osservazioni pedologiche);
- Dato di scheletro assegnato in base al profilo o trivellata di controllo (SACT e monitoraggi con campionamento composto);
- Dato assegnato in base al valore modale per lo spessore 0-30 cm dell'UTS collegata;
- Dato assegnato in base alla media ponderata dello scheletro nella delineazione per lo spessore 0-30 cm;
- Dato assegnato in base alla media ponderata dello scheletro nell'unità cartografica 50k per lo spessore 0-30 cm.

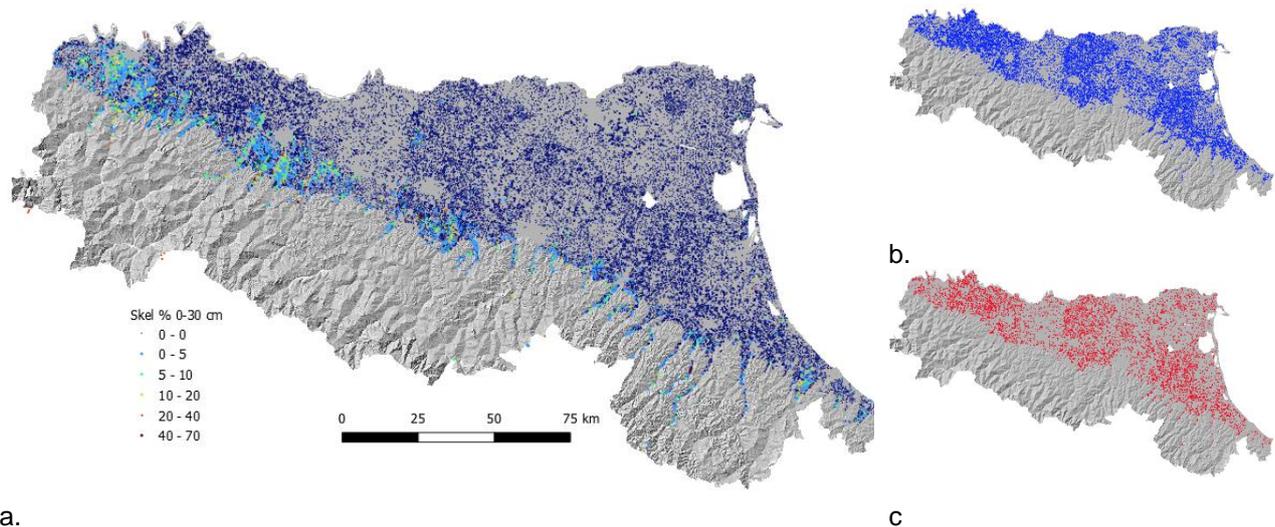


Figura 16. Scheletro % 0-30 cm: distribuzione dei valori puntuali nella pianura emiliano-romagnola (N = 45953) e dei data set di calibrazione (b, N = 34464) e validazione (c, N = 11489) utilizzati per calibrare e validare il modello di DSM

Le tecniche di DSM utilizzate per la stima del contenuto di scheletro nei suoli di pianura si basano sull'utilizzo di un numero di covariate, che possono essere variabili continue o categoriche, note in corrispondenza di tutta l'area oggetto di studio. La selezione delle covariate avviene associando ai valori puntuali i valori delle covariate disponibili e ricorrendo generalmente ad analisi dei coefficienti di correlazione. Il modello di stima da applicare nel DSM viene individuato, calibrato e validato attraverso uno script di R (R Core Team, 2020), previa armonizzazione dei raster delle covariate e preparazione dei dati, inclusa la loro trasformazione. Lo script di R (Omutu et al., 2020) consente di testare diversi algoritmi di DSM, e nel caso del contenuto in scheletro è stato utilizzato il *quantile random forest* (Meinshausen, 2006).

Sono stati estratti **45.953** siti in totale di cui il CNR-IBE ha poi calcolato, dove necessario, il valore di scheletro per l'intervallo di riferimento 0-30 cm con spline cubiche; sono stati calcolati i valori medi per ogni delineazione come ulteriore covariata da utilizzare per la stima, e infine effettuata l'elaborazione attraverso DSM analogamente a quanto fatto per l'appennino. Il data set è stato diviso in un subset di dati di calibrazione (N = 34464) e un subset di dati di validazione (N = 11489). Il valore di accuratezza per l'elaborato cartografico prodotto è stato calcolato in base alla deviazione standard associata al valore stimato in corrispondenza di ciascuna cella del grid di stima.

La selezione delle covariate ha individuato le seguenti come quelle più rilevanti al fine della stima del contenuto in scheletro:



1. Variabili categoriche: classi d'uso del suolo (classificazione RER), unità della carta dei suoli di pianura in scala 1:250k, unità della carta dei suoli di pianura in scale 1:50k, forme geomorfologiche (GRASS r.geomorphon, Jasiewicz and Stepinski, 2013);
2. Variabili continue: contenuto % medio in scheletro, contenuto % in sabbia, limo e argilla (grid 500 m), indice di vegetazione NDVI5 (Modis NDVI somma giugno-settembre), indice di vegetazione NDVI16 (Modis NDVI Max. difference Marzo-Novembre.), NIR (Landsat Band 4, Near Infrared Reflectance), NPP (Modis Net Primary Production), SWIR (Short Wave Infrared, Landsat Band 6, 7), TWI (Topographic Wetness Index, derivato dal modello digitale di elevazione), RED (Landsat Band 3).

Ovviamente l'importanza dei predittori utilizzati non è uguale per tutti, ed è possibile quantificare il contributo che ciascuno di essi porta, come illustrato nella figura 30. Nelle (*quantile random forest*) l'importanza delle singole variabili viene definita in termini di "purezza del nodo" (*node purity*), ossia l'omogeneità dei dati contenuti all'interno di ciascun nodo risultante dalla suddivisione dei dati in base ai valori di una certa variabile utilizzata come predittore. L'indice è infatti calcolato come differenza in termini di radice dello scarto quadratico medio (*rooted mean squared error, RMSE*) prima e dopo la divisione operata su quella data variabile. Il metodo fornisce anche una misura della diminuzione dell'errore di stima in funzione del numero di alberi di regressione utilizzati per "popolare" la foresta casuale.

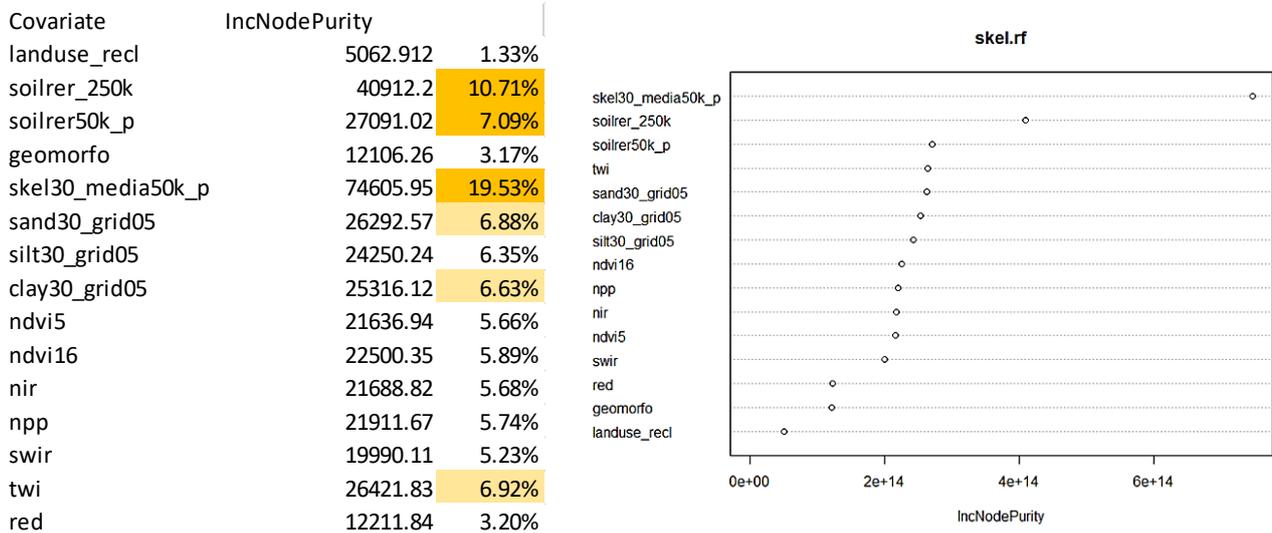


Figura 17. Valore della node purity per le covariate utilizzate per la stima del contenuto % in scheletro 0-30 cm dei suoli di pianura

Il modello individuato ha un errore medio (ME, differenza media tra valore osservato e valore stimato) sul tutto il data set pari a 0.10004%, mentre sui data set di calibrazione e validazione è uguale rispettivamente a 0.084% e 0.148%. In termini di RMSE i valori ottenuti sono pari a 1.126%, 1.043% e 1.629 % per l'intero data set, e per i data set di calibrazione e validazione rispettivamente.

In generale quindi il modello sottostima il contenuto in scheletro dello 0.1%, ma l'entità della sottostima è significativamente più elevata nelle unità L2 (province di terre a scala 1: 000.000, vd. Allegato 1 per la descrizione completa delle unità) sulle conoidi e sui terrazzi dell'alta pianura, A7 (ME 0.29%), A8 (ME 0.21%), A9 (ME 0.99%), e A10 (ME 0.18%), mentre in tutte le altre unità non si osservano differenze statisticamente significative tra i valori medi osservati e quelli stimati (figura 18).

L'entità dell'errore medio per unità L2 nei data set di calibrazione e di validazione è illustrata nella Figura 19.

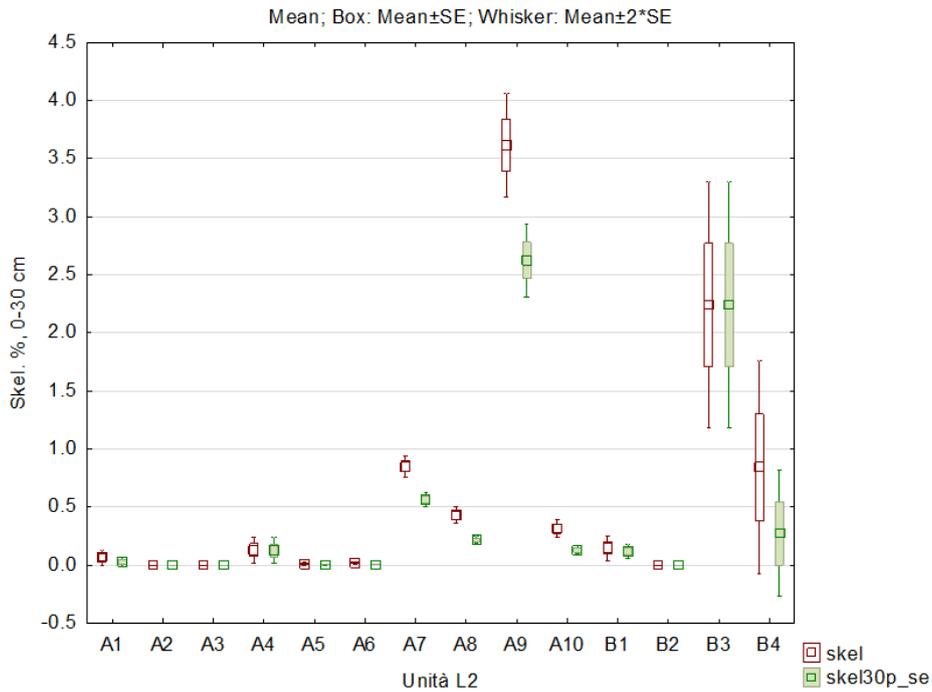


Figura 18. Contenuto in scheletro % osservato (skel) e stimato (skel30p_se) nelle diverse province di terre (carta dei suoli a scala 1:M)

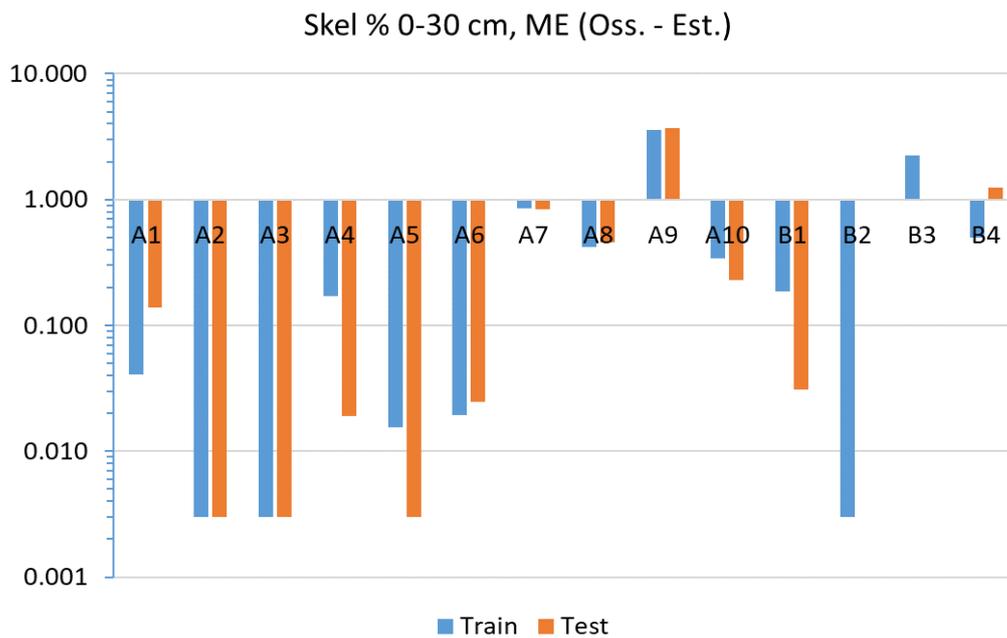


Figura 19. Contenuto in scheletro %: errore medio di stima nelle diverse province di terre (carta dei suoli a scala 1:M) per i data set di calibrazione (Train) e validazione (Test)



5 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.

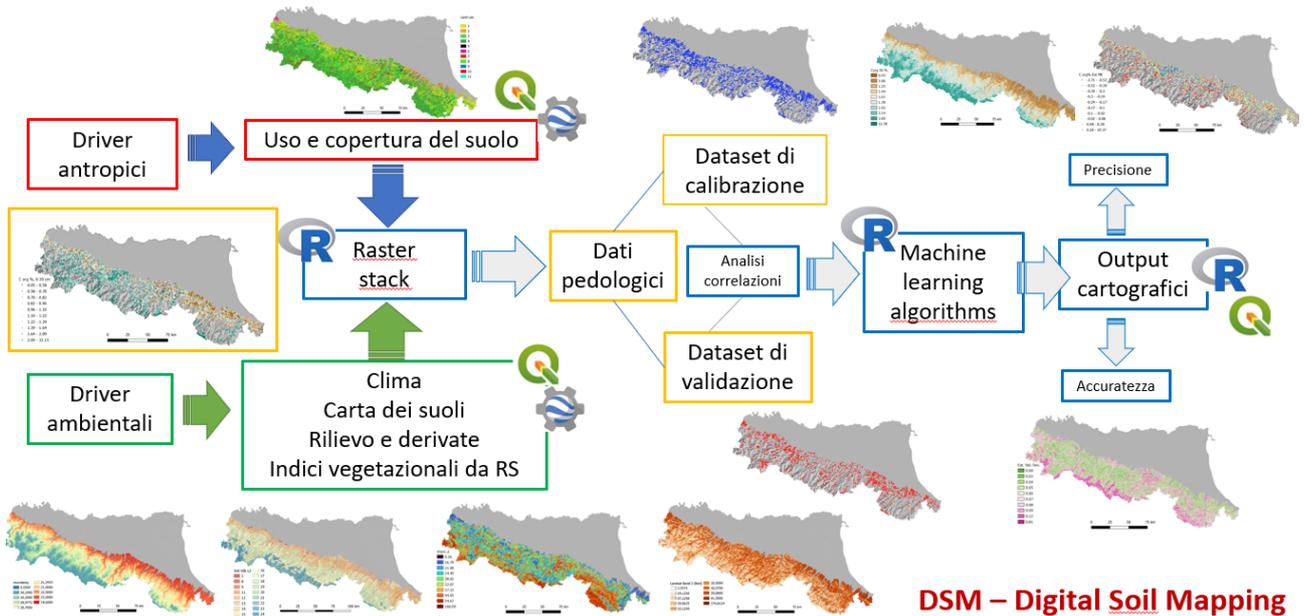


Figura 20. Schema del processo di DSM

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 ESDAC³. Per i monitoraggi sono stati utilizzati i dati più recenti.

Il dataset dei dati puntuali consiste in **9.193** 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.

ORIGINE	Periodo campionamento		Numero totale	%
BD suoli	1974	2021	1835	20.0
SACT	1980	2022	7182	78.1
Monitoraggi	2004	2021	176	1.9
			9193	100.0

Tabella 8. Analisi disponibili del contenuto di argilla, limo e sabbia per lo strato 0-30 cm nell'area appenninica

³ JOINT RESEARCH CENTRE. European Soil Data Centre

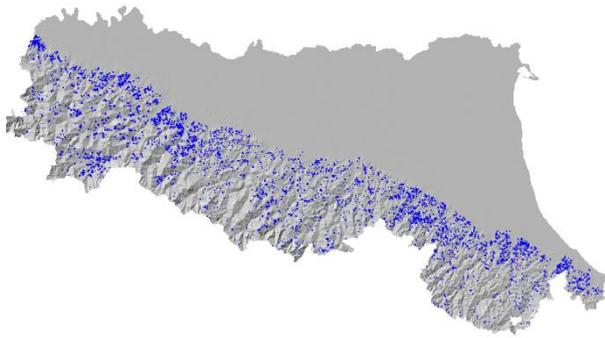


Figura 21. Distribuzione dei 6895 siti di calibrazione (75%)

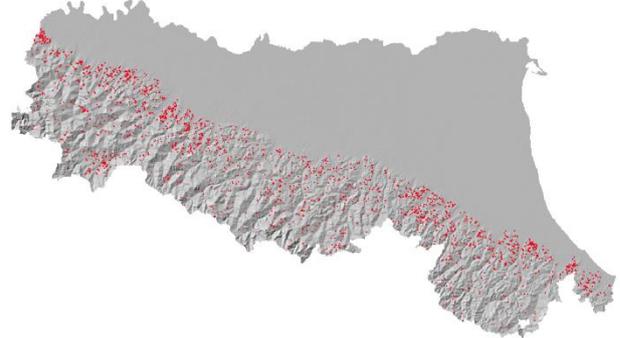


Figura 22. Distribuzione dei 2298 siti di test (25%)

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
Argilla %	TUTTI	9194	QRF	0.830	3.672	5.555	0.751	0.904
	TRAIN	6895		0.837	3.202	5.001	0.804	0.925
	TEST	2299		0.809	5.080	6.958	0.584	0.829
Limo %	TUTTI	9194	QRF	-0.562	4.550	6.777	0.635	0.826
	TRAIN	6895		-0.507	4.206	6.234	0.691	0.848
	TEST	2299		-0.729	5.584	7.511	0.460	0.709
Sabbia %	TUTTI	9194	QRF	-0.285	5.341	7.949	0.708	0.895
	TRAIN	6895		-0.347	4.586	7.095	0.773	0.915
	TEST	2299		-0.099	7.604	10.087	0.523	0.796
Scheletro%	TUTTI	9048	QRF	0.124	2.525	4.626	0.674	0.884
	TRAIN	6786		-0.015	2.246	4.189	0.732	0.908
	TEST	2262		0.541	3.359	5.742	0.511	0.801

Tabella 9. Riepilogo degli indicatori principali del DSM utilizzato per ognuna delle variabili di interesse

Tutte le covariate utilizzate sono elencate nella tabella 10.



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
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		G
gfc_tcov	Global forest tree canopy cover	O	2019	Raster	Continua	25 m	%	B
ndivis5	Modis NDVI Sum of June-September (5 layers)	S+O	2015	Raster	Continua	250 m	index	C
nir	Landsat Band 4 (Near Infrared reflectance)	S+O	2019	Raster	Continua	25 m	DN 8 bit ⁴	B
red	Landsat Band 3 (Red)	S+O	2019	Raster	Continua	25 m	DN 8 bit	B
swir	Landsat Band 5 (Short wave infrared)	S+O	2019	Raster	Continua	25 m	DN 8 bit	H
nort	Northness (orientation in combination with the slope)	R	2016	Raster	Continua	25 m	index	F
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	E
mrvbf	Multi Resolution Index of Valley Bottom Flatness	R	2016	Raster	Continua	25 m	none	D
twi	Topographic Wetness Index	R	2016	Raster	Continua	25 m	m ² rad ⁻¹	D
vdnc	Vertical distance Channel network	R	2016	Raster	Continua	25 m	m	D
vdepth	Valley depth	R	2016	Raster	Continua	25 m	m	D
SaCl_class	Classi di contenuto % in sabbia e argilla (20 ⁱⁱⁱ distribuzioni)	S	2022	Vettore	Categorica	50k	Classe	A
Sand30id_a	Valore medio sabbia per poligono carta suoli	S	2022	Vettore	Continua	50k	%	A
Silt30id_a	Valore medio limo per poligono carta suoli	S	2022	Vettore	Continua	50k	%	A
Clay30id_a	Valore medio argilla per poligono carta suoli	S	2022	Vettore	Continua	50k	%	A
Skel_media_50	Valore medio scheletro per poligono carta dei suoli	S	2022	Vettore	Continua	50k	%	A

Tabella 10. Elenco covariate utilizzate

- A. Regione Emilia-Romagna
- B. Hansen M.C. et al., 2013. High resolution global maps of 21st-century forest cover change Science 342, Issue 6160, pp. 850-853, DOI: 10.1126/science.124469 (2019 update)
- C. Langella G. 2008. Spatial Analysis of Pedological and Environmental Features by means of Digital Soil Mapping. PhD Thesis, DISSPAPA Department, Federico II di Napoli University, 148 pp.,
- D. Copernicus EU-DEM v1.1
- E. GRASS: r.geomorphon (Jasiewicz, J., Stepinski, T., 2013)
- F. GDAL: gdaldem gdal_calc.py (GDAL/OGR contributors, 2022)
- G. MODIS: MOD13Q1 <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>
- H. Fick, S.E. and Hijmans, R.J., 2017. Worldclim 2.1: New 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 37, 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Fra le covariate utilizzate è presente la “Carta dei suoli della regione Emilia-Romagna 1: 50.000” edizione 2021, prodotta dall’area Geologia, Suoli e Sismica, che copre parte dell’area appenninica. Per il restante territorio è stata utilizzata la nuova carta in scala 1:250.000 con parziale fotointerpretazione per scale a maggior dettaglio (la stessa utilizzata per la carta di capacità d’uso ed. 2021).

⁴ Digital number 8 bit



Per quanto riguarda i dati pedologici ogni poligono della carta 50k (dove disponibile) è stato corredato dai **valori mediati** di tessitura, carbonio organico e pH per lo strato 0-30 cm (come fatto per i poligoni di pianura), mentre per la carta 250k i valori dei parametri sono quelli di un **sito analizzato** (se possibile locale) corrispondente al suolo ritenuto il più diffuso nel poligono.

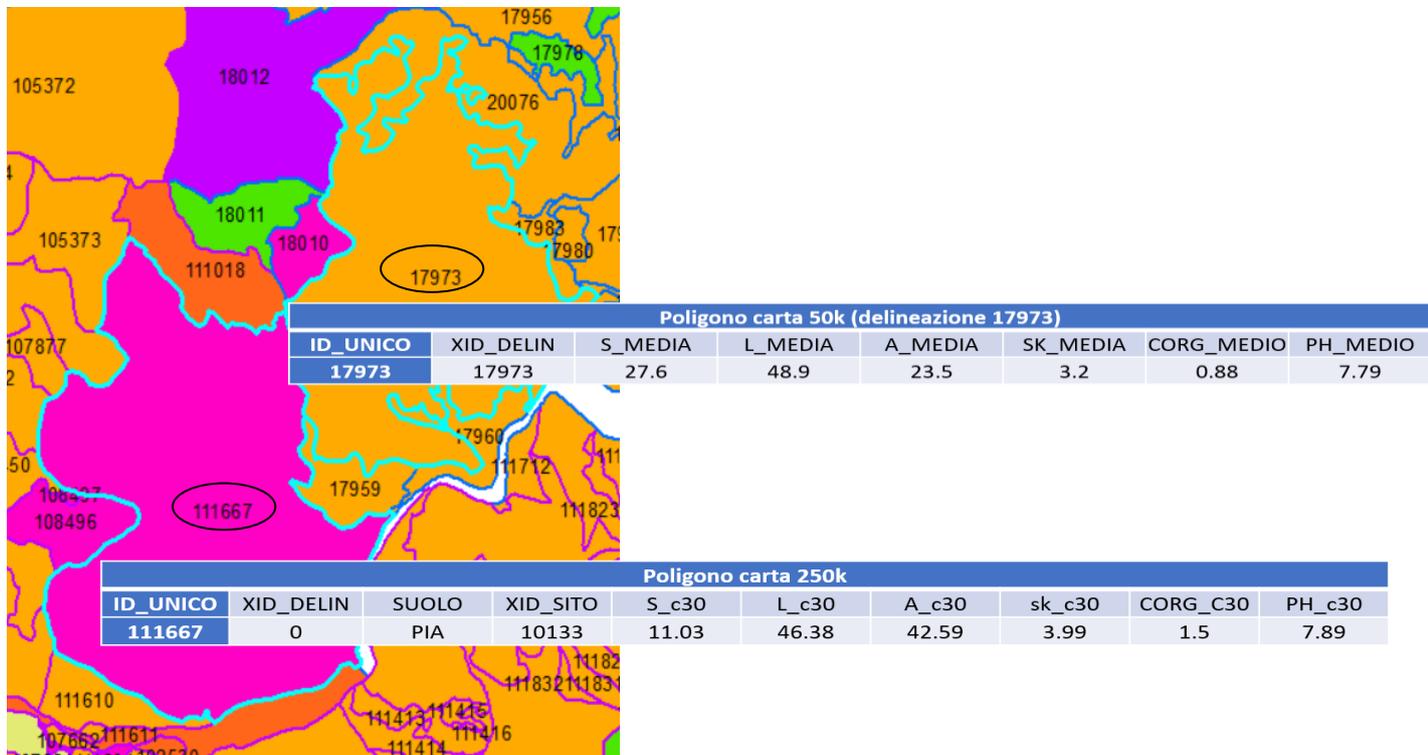


Figura 23. Esempio dei valori medi di tessitura per poligono calcolati con i due metodi

Nelle pagine seguenti sono illustrati per ogni parametro 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.



5.1 Stima argilla

Covariate	IncNodePurity	
landuse_recl	6370	1.24%
soil_L2_a	47536	9.25%
aspect	4962	0.97%
geomorfo	6130	1.19%
SaCl_class	33855	6.59%
clay30id_a	118113	22.98%
dem	26280	5.11%
evi	21768	4.24%
gfc_tcov	21671	4.22%
mrivbf	17038	3.32%
ndvi5	37086	7.22%
nir	19005	3.70%
nort	17313	3.37%
slope	24313	4.73%
swir	16020	3.12%
twi	18142	3.53%
vcn	17536	3.41%
vdepth	20959	4.08%
erosione	21188	4.12%
red	18657	3.63%

Figura 24. Covariate utilizzate e loro significatività

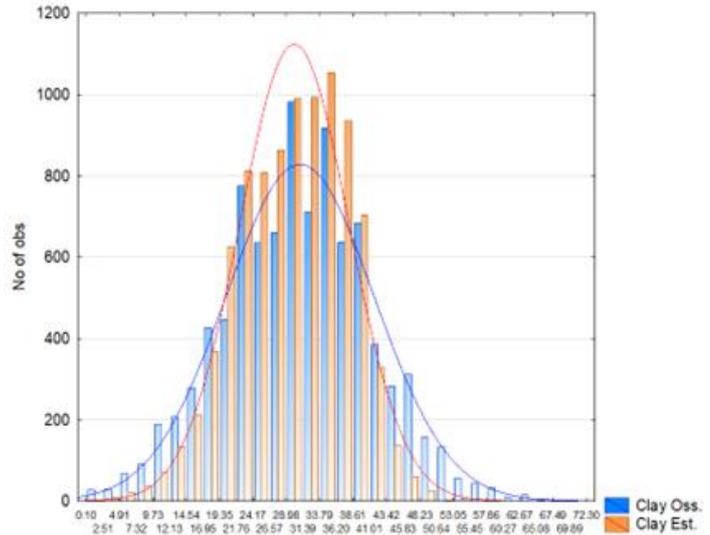


Figura 25. Confronto delle distribuzioni dei valori di argilla stimati e osservati

Nel caso dell'argilla le covariate più significative (fig. 24) risultano essere i valori medi di argilla nel poligono della carta suoli (clay30id_a 22,98%), la classe di appartenenza del suolo (soil_L2_a 9,25%) e l'indice di vegetazione normalizzato (NDVI) (ndvi5 7,22%).

Come si può vedere (fig. 25) dal raffronto tra le distribuzioni dei dati misurati (blu) e i dati stimati (arancioni) il modello predittivo sottostima leggermente i valori agli estremi della distribuzione, mentre tende a sovrastimare per i valori centrali della distribuzione. Tuttavia i valori di IoA sono molto vicini ad 1 per cui, nel complesso, il modello può considerarsi valido per la stima della grandezza argilla.

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 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 A8, B2, C1 e C2.

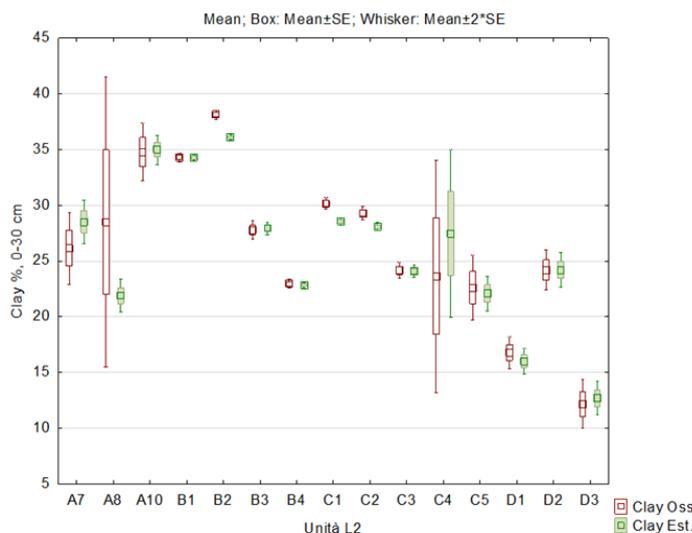


Figura 26: Box and whisker plot di confronto per i dati di argilla

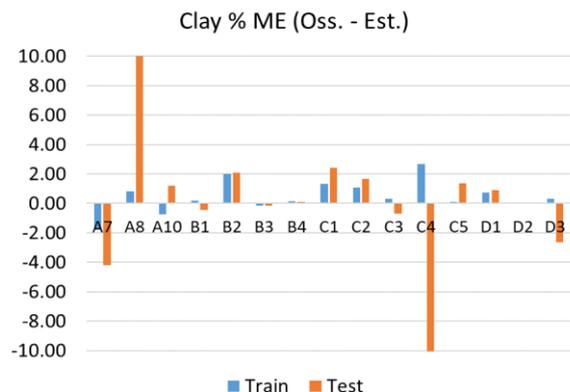


Figura 27: Grafico dell'errore medio ME

Anche l'errore medio ME calcolato come la differenza tra il valore osservato e quello stimato è basso nel complesso (fig. 27). 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 argilla (~32.5) 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).

5.2 Stima limo

Nel caso del limo le covariate più significative (fig. 28) risultano essere i valori medi di limo nel poligono della carta suoli (silt30id_a 18.54%), il DEM, l'erosione per il 5.54% e, a pari merito, l'indice di vegetazione normalizzato (ndvi5 5.37%) e la pendenza (slope al 5.33%). Di tutti i parametri della tessitura il limo è quello meno affidabile.

Covariate	IncNodePurity	
landuse_recl	123058.6	1.63%
soil_L2_a	264929.9	3.51%
aspect	104425.1	1.39%
geomorfo	141310.5	1.87%
SaCl_class	370359.1	4.91%
silt30id_a	1397717.8	18.54%
dem	493277.3	6.54%
evi	375217.2	4.98%
gfc_tcov	301594.2	4.00%
mrivbf	328910.3	4.36%
ndvi5	404509.0	5.37%
nir	345416.9	4.58%
nort	338045.1	4.48%
slope	401483.4	5.33%
swir	320178.0	4.25%
twi	343534.5	4.56%
vdcn	355276.1	4.71%
vdepth	379980.1	5.04%
erosione	417358.7	5.54%
red	332092.7	4.41%

Figura 28. Covariate utilizzate e loro significatività

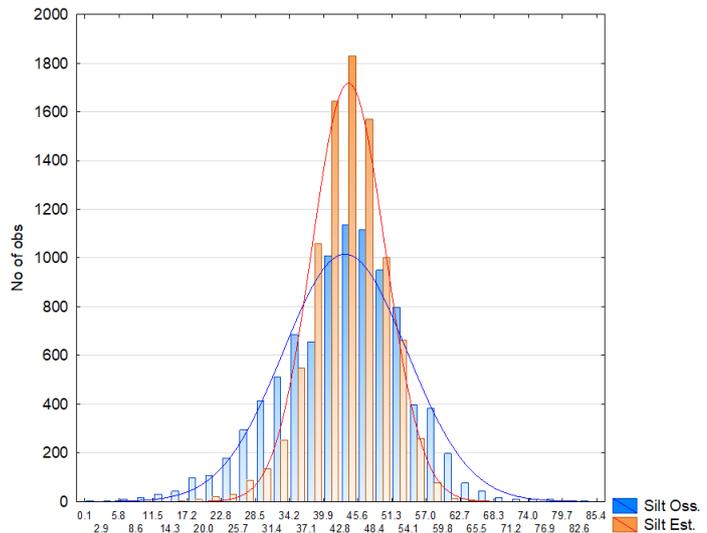


Figura 29. Confronto delle distribuzioni dei valori di limo stimati e osservati

Come si può vedere (fig. 29) dal raffronto tra le distribuzioni dei dati misurati (blu) e i dati stimati (arancioni) il modello predittivo sottostima leggermente i valori agli estremi, mentre tende a sovrastimare per i valori centrali della distribuzione. Tuttavia i valori di IoA sono molto vicini ad 1 per cui, nel complesso, il modello può considerarsi valido per la stima della grandezza limo.

Anche in questo caso 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 (fig. 30) 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 A8, A10, B1 e B2.

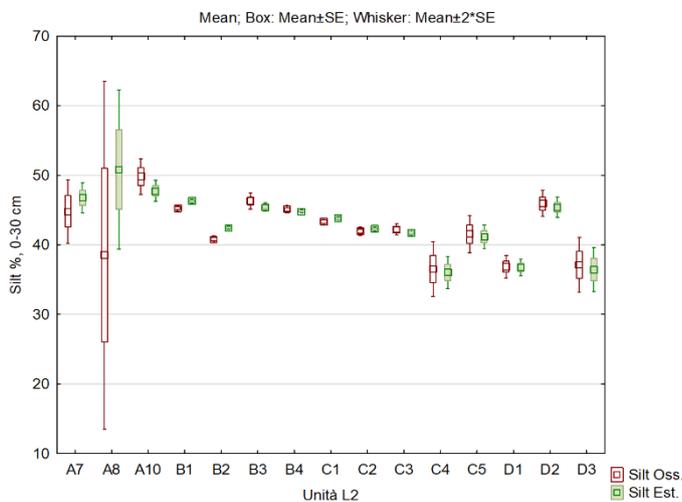


Figura 30. Box and whisker plot di confronto per i dati di limo

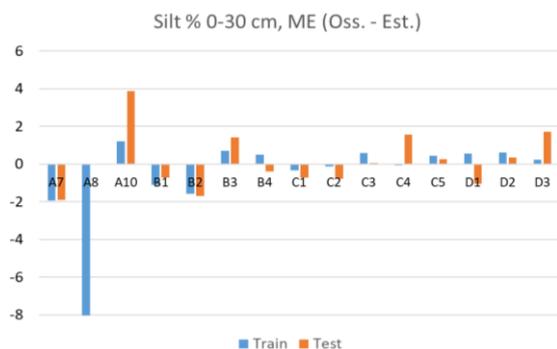


Figura 31. Grafico dell'errore medio ME



Anche l'errore medio ME calcolato come la differenza tra il valore osservato e quello stimato è basso nel complesso (tabella 9). Andandolo ad analizzare in funzione delle diverse unità pedologiche (fig. 31) si nota che l'errore commesso è in generale sempre modesto rispetto al valore medio di limo (~43.3) 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).

5.3 Stima sabbia

Nel caso della sabbia le covariate più significative (fig. 32) risultano essere i valori medi di sabbia nel poligono della carta suoli (sand30id_a 19.82%), l'indice di vegetazione normalizzato (ndvi5 7.20%) e la classe di appartenenza del suolo (soil_L2_a 6.51%).

Covariate	IncNodePurity	
landuse_recl	603.8	1.37%
soil_L2_a	2876.4	6.51%
aspect	516.0	1.17%
geomorfo	689.6	1.56%
SaCl_class	2783.8	6.30%
sand30id_a	8761.8	19.82%
dem	2669.5	6.04%
evi	2414.9	5.46%
gfc_tcov	1854.3	4.19%
mrivbf	1617.6	3.66%
ndvi5	3183.1	7.20%
nir	1723.5	3.90%
nort	1706.9	3.86%
slope	1865.7	4.22%
swir	1634.6	3.70%
twi	1734.2	3.92%
vdcn	1779.1	4.02%
vdepth	2064.6	4.67%
erosione	1912.5	4.33%
red	1812.9	4.10%

Figura 32. Covariate utilizzate e loro significatività

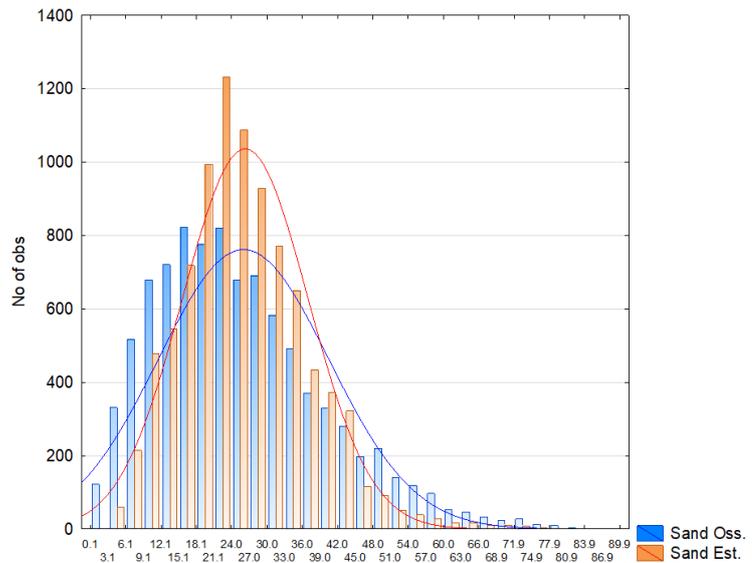


Figura 33. Confronto distribuzioni dei valori di sabbia stimati e osservati

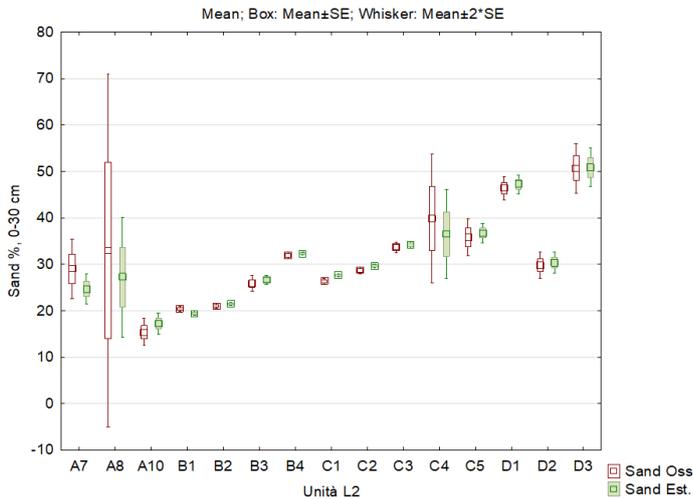


Figura 34. Box and whisker plot di confronto per i dati di sabbia

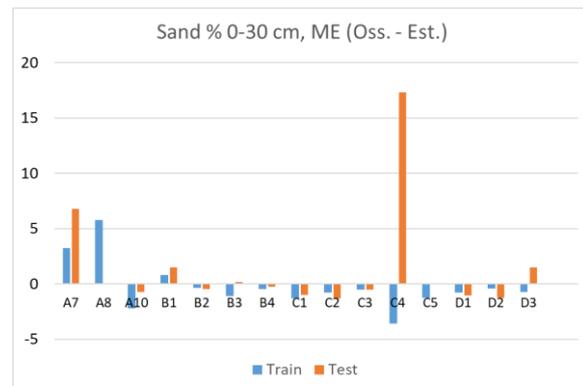


Figura 35. Grafico dell'errore medio ME

Come si può vedere (fig. 33) dal raffronto tra le distribuzioni dei dati misurati (blu) e i dati stimati (arancioni) il modello predittivo sottostima leggermente i valori agli estremi della distribuzione, mentre tende a sovrastimare i valori centrali. Tuttavia anche per la sabbia i valori di IoA sono molto vicini ad 1 (tabella 9) per cui, nel complesso, il modello può considerarsi valido per la stima della grandezza sabbia.

Anche in questo caso 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 (fig. 34) 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 A7 e B1.

Anche l'errore medio ME calcolato come la differenza tra il valore osservato e quello stimato è basso nel complesso (fig. 35). 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 sabbia (~26.2) e comparabile tra i dati utilizzati per training del modello (blu) o test (arancio), eccetto che per unità C4 (pochi dati), A8 (elevata variabilità tessiturale in quanto questa unità in Appennino consiste di terrazzi isolati e frammentati) e A7 (anche qui elevata variabilità tessiturale).

5.4 Stima scheletro

Nel caso dello scheletro la procedura seguita è stata simile a quella della pianura. Di conseguenza sono stati estratti dalla banca dati dei suoli i valori di scheletro superficiale di tutti i dati puntuali disponibili, compresi quelli non analizzati. Le modalità di assegnazione dei valori di scheletro (con affidabilità decrescente) sono state le seguenti:

- Dato di scheletro rilevato in campagna (osservazioni pedologiche);
- Dato di scheletro assegnato in base al profilo o trivellata di controllo (sact e monitoraggi con campionamento composto);
- Dato assegnato in base al valore modale per lo spessore 0-30 cm dell'UTS collegata;
- Dato assegnato in base alla media ponderata dello scheletro nella delineazione per lo spessore 0-30 cm;
- Dato assegnato in base alla media ponderata dello scheletro nell'unità cartografica 50k per lo spessore 0-30 cm.
- Dato assegnato in base alla media ponderata dello scheletro nell'unità cartografica 250k per lo spessore 0-30 cm

Sono stati estratti 15.964 siti di cui il CNR-IBE ha poi calcolato il valore di scheletro con il metodo SPLINE di R e sono stati calcolati i valori medi per ogni poligono.

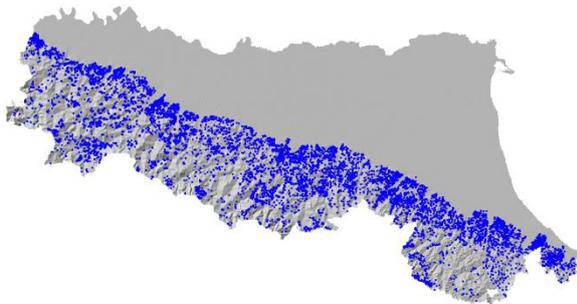


Figura 36. Distribuzione degli 11973 siti di calibrazione

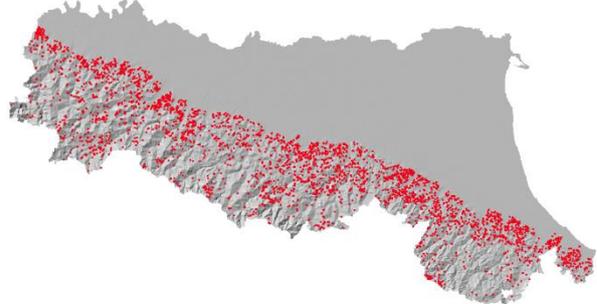


Figura 37. Distribuzione dei 3991 siti di test

L'elaborazione spaziale è stata eseguita con DSM, in modo analogo agli altri parametri in Appennino.

Le covariate più significative (fig. 38) risultano essere i valori medi di scheletro nel poligono della carta suoli (skel_media50 22.9%), il DEM (13.62%) e la classe di appartenenza del suolo (soil_L2_a 11.43%).

Come si può vedere (fig. 39) dal raffronto tra le distribuzioni dei dati misurati (blu) e i dati stimati (arancioni) il modello predittivo stima molto bene i valori dello scheletro lungo tutta la distribuzione. Infatti anche per lo scheletro i valori di IoA sono molto vicini ad 1 per cui, nel complesso, il modello può considerarsi valido per la stima della grandezza scheletro.

Anche in questo caso 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 (fig. 40) si può vedere che in generale i dati stimati hanno una distribuzione e variabilità comparabile rispetto a quella dei dati osservati e non si notano differenze significative per nessuna delle unità.



Covariate	IncNodePurity	
Landuse_recl	586.18	1.02%
soil_L2_a	6538.31	11.43%
aspect	421.78	0.74%
geomorfo	710.21	1.24%
SaCl_class	4804.56	8.40%
skel_media50	13102.96	22.90%
dem	7791.96	13.62%
evi	2001.93	3.50%
gfc_tcov	1467.54	2.56%
mrivbf	1398.15	2.44%
ndvi5	2982.02	5.21%
nir	1501.39	2.62%
nort	1531.82	2.68%
slope	1601.15	2.80%
swir	1298.03	2.27%
twi	1537.07	2.69%
vdcn	2111.11	3.69%
vdepth	2051.59	3.59%
erosione	1950.46	3.41%
red	1829.30	3.20%

Figura 38. Covariate utilizzate e loro significatività

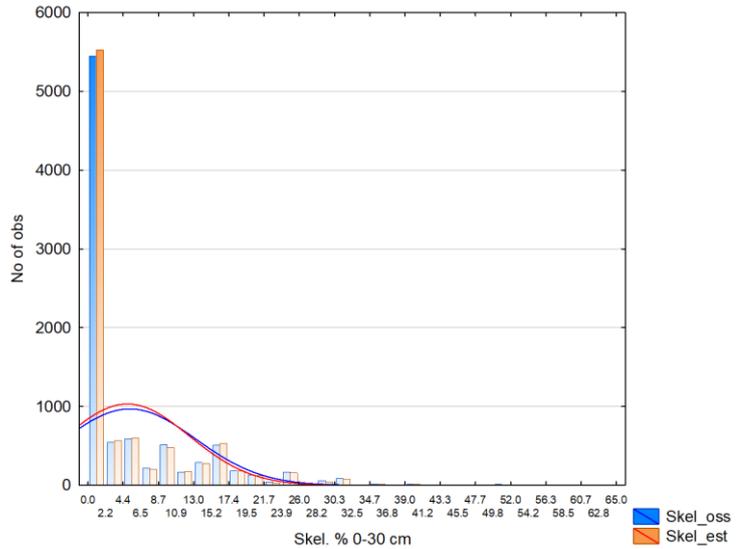


Figura 39. Confronto distribuzioni dei valori di scheletro stimati e osservati

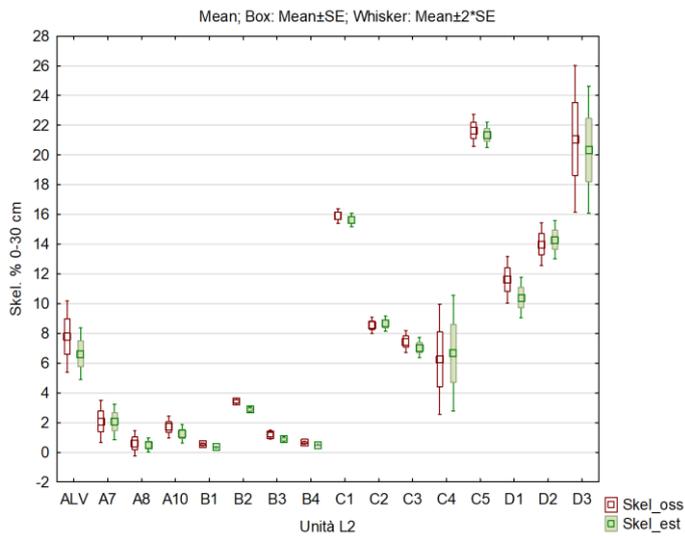


Figura 40. Box and whisker plot di confronto per i dati di scheletro

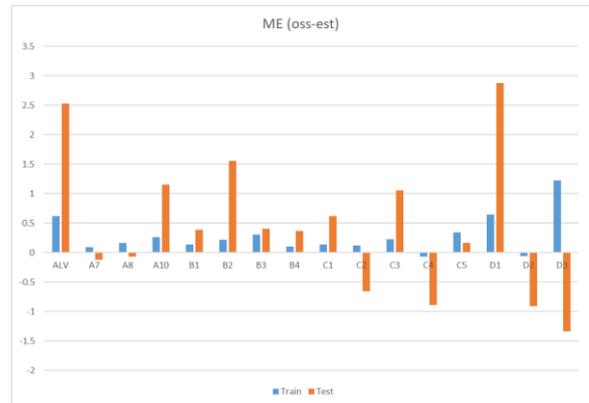


Figura 41. Grafico dell'errore medio ME

Anche l'errore medio ME calcolato come la differenza tra il valore osservato e quello stimato è basso nel complesso. Andandolo ad analizzare in funzione delle diverse unità pedologiche (fig. 41) si nota che l'errore commesso è in generale sempre modesto rispetto al valore medio di scheletro (~26.2) e comparabile tra i dati utilizzati per training del modello (blu) o test (arancio), eccetto che per unità C4 e D3 (pochi dati)



6 CONSULTAZIONE DELLE CARTE DELLA TESSITURA SUL WEB

6.1 Elenco dei siti di consultazione e loro caratteristiche

Le carte della tessitura dell'Emilia-Romagna sono consultabili su numerosi **siti WEBGIS**⁵. 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
<p>Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna</p> 	<p>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).</p>	<p>https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/applicazioni/ped</p>
<p>I suoli dell'Emilia-Romagna</p> 	<p>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.</p> <p><u>Carta della tessitura non ancora disponibile</u></p>	<p>http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/</p>
<p>Catalogo dei suoli dell'Emilia-Romagna</p> 	<p>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 wizard di riconoscimento dei suoli.</p> <p><u>Carta della tessitura non ancora disponibile</u></p>	<p>https://agri.regione.emilia-romagna.it/Suoli/</p>
<p>GeoViewer Moka</p> 	<p>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.</p>	<p>https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/geoviewer2</p>
<p>Mappe Emilia-Romagna</p> 	<p>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).</p>	<p>https://mappe.regione.emilia-romagna.it/</p>

Tabella 11. Elenco dei siti WEBGIS in cui è possibile visualizzare e consultare la carta della tessitura

⁵ <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/conoscere-suolo/siti-web-sul-suolo-in-emilia-romagna>.



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

La carta della tessitura è consultabile sul sito [Cartografia dei suoli della Regione Emilia-Romagna⁶](https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/applicazioni/ped), definito brevemente in seguito MokaSuoli. La visualizzazione funziona solo per scale > 1:250.000.

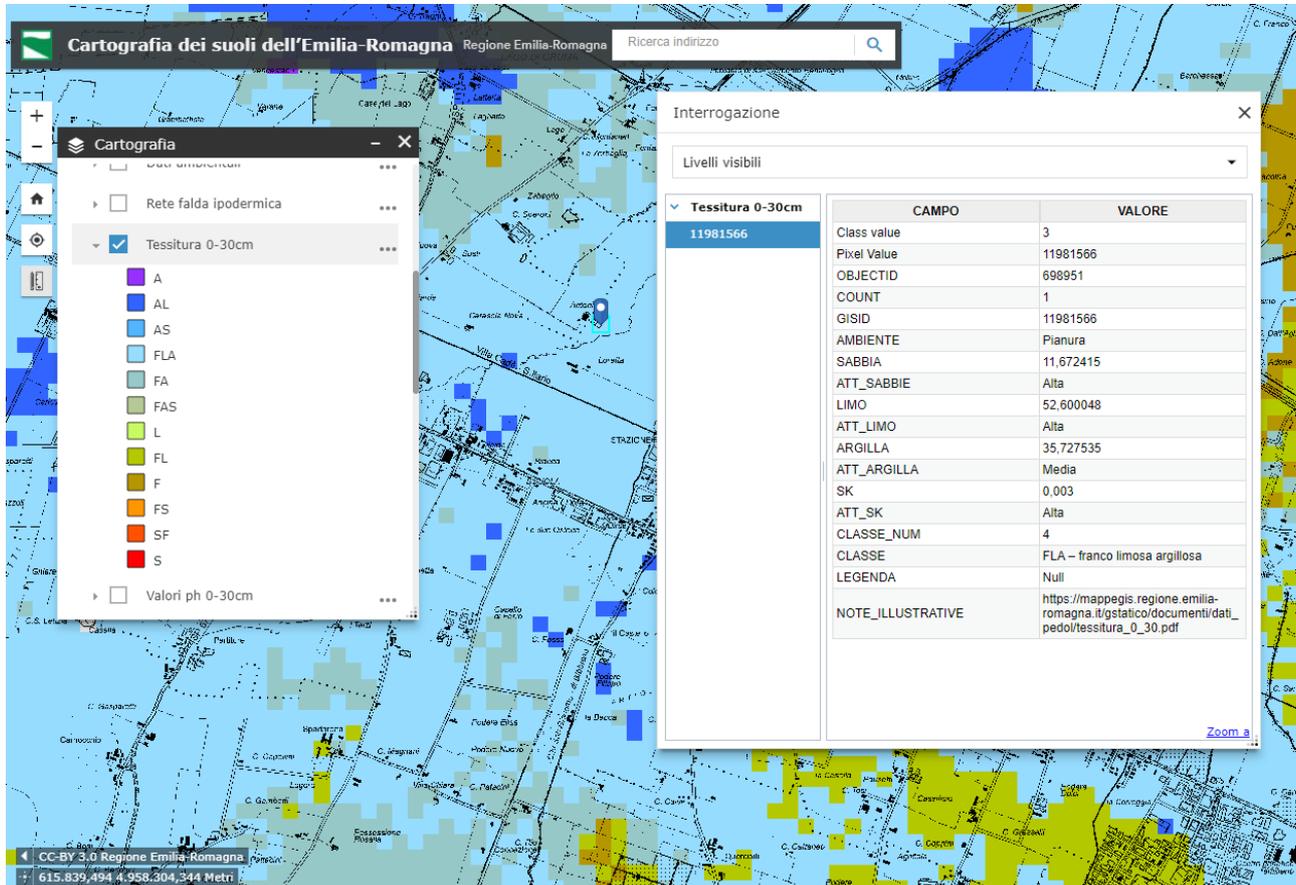


Figura 42. Esempio di interrogazione della carta della tessitura sul sito Moka Suoli

⁶ <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/applicazioni/ped>



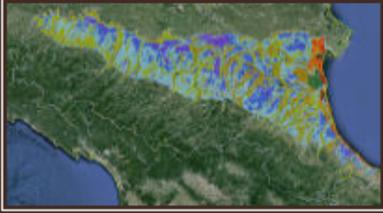
6.3 Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH

La carta della tessitura sarà consultabile sul sito [I suoli dell'Emilia-Romagna](http://suoli.dell'Emilia-Romagna/)⁷, definito brevemente in seguito CARTPEDO, nella sezione **Carte delle proprietà chimico-fisiche**.

1.3 Carta della tessitura dei suoli della pianura tra 0-30 cm new

La carta della tessitura superficiale (0-30 cm) dei suoli di pianura rappresenta la distribuzione areale delle frazioni granulometriche classificate secondo la metodologia USDA. I dati di base sono stati estrapolati dalla Banca Dati dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. La carta della tessitura rappresenta un'utile cartografia di base per una vasta gamma di analisi ambientali in generale e legate all'uso agricolo in particolare; ad esempio per la formulazione dei piani di fertilizzazione e l'applicazione dei Disciplinari di Produzione Integrata.

Scala 1:50.000



- apri la [Carta della tessitura dei suoli della pianura tra 0-30 cm](#) in Google Earth
- apri la [Carta della tessitura dei suoli della pianura tra 0-30 cm](#) con il Plugin di Google Earth
- apri le note illustrative della [Carta della tessitura dei suoli della pianura tra 0-30 cm](#)
- visualizza i [metadati della Carta della tessitura dei suoli della pianura tra 0-30 cm](#)

Figura 43. Presentazione 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 propri tematismi.

Al momento è solo disponibile la carta della tessitura dei suoli di pianura ed. 2015.

Attivando il link [Carta della tessitura dei suoli tra 0-30 cm](#) si apre la carta su base Google Earth.

La rappresentazione del territorio avviene attraverso un raster costituita da pixel con lato di **100 m**.

Sebbene la carta sia rappresentata per classi tessiturali l'informazione a cui si accede, interrogando la singola cella, è il contenuto specifico di **argilla, limo, sabbia e scheletro** (espresso come % in peso) riferito allo strato 0-30 cm e il relativo livello di attendibilità.

È presente anche l'**attendibilità della stima**, ovvero il grado di affidabilità del valore fornito, che è un'informazione 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.

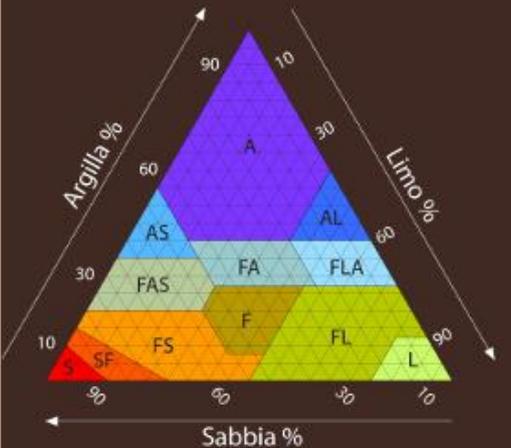
I suoli dell'Emilia-Romagna

Tessitura dei suoli di pianura tra 0-30 cm - Livello di dettaglio 1:50.000

Attributo	Valore %	Attendibilità
Sabbia	32.7	Bassa
Limo	46.9	Bassa
Argilla	20.3	Media
Scheletro	0.0	Alta
Classe tessitoriale	F - franca	

Legenda

Le classi tessiturali sono espresse secondo il seguente diagramma:



Le classi tessiturali argilloso sabbiosa (AS) e limosa (L) non sono presenti nella pianura emiliano-

Figura 44. Interfaccia di consultazione delle singole celle

⁷ <http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/>



6.4 Consultazione sul sito CATALOGO DEI SUOLI REGIONALE

La carta della tessitura sarà consultabile anche sul sito Catalogo dei suoli dell'Emilia-Romagna⁸. Al momento è solo disponibile la carta della tessitura dei suoli di pianura ed. 2015.

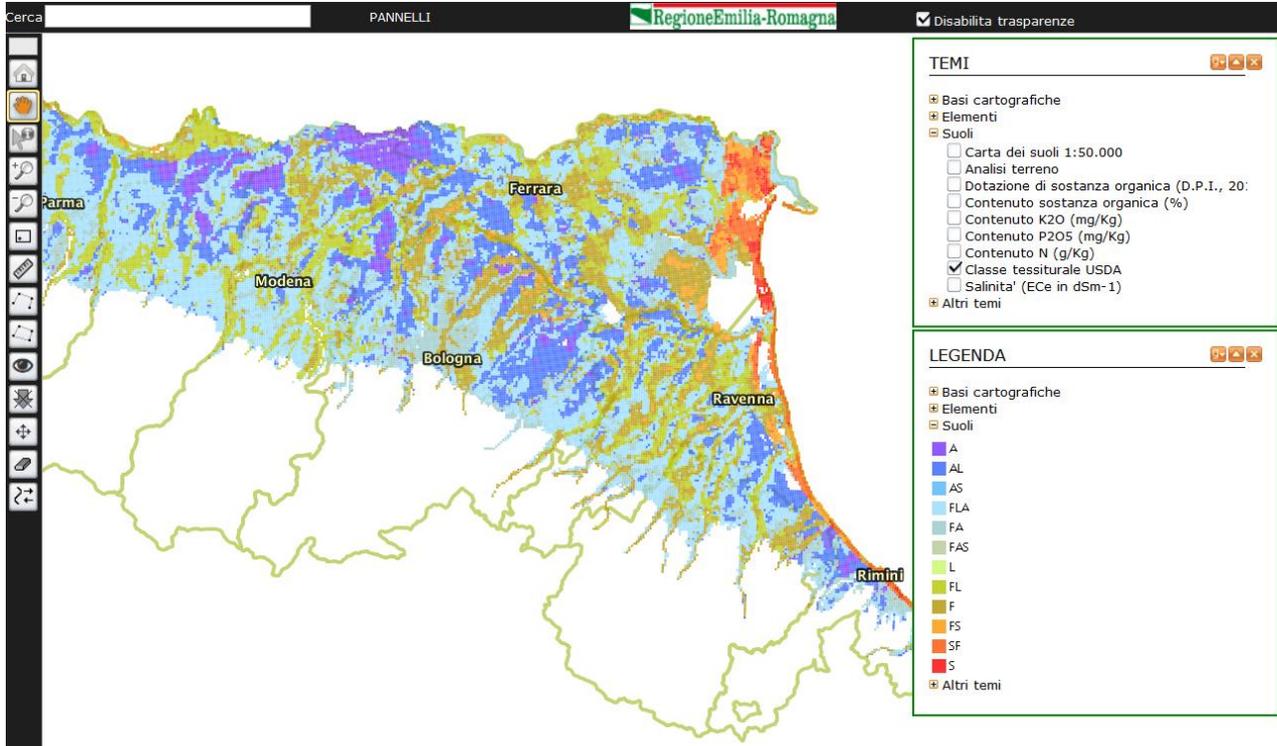


Figura 45. Home page del sito Catalogo dei suoli con la rappresentazione della Carta della Tessitura (ed. 2015)

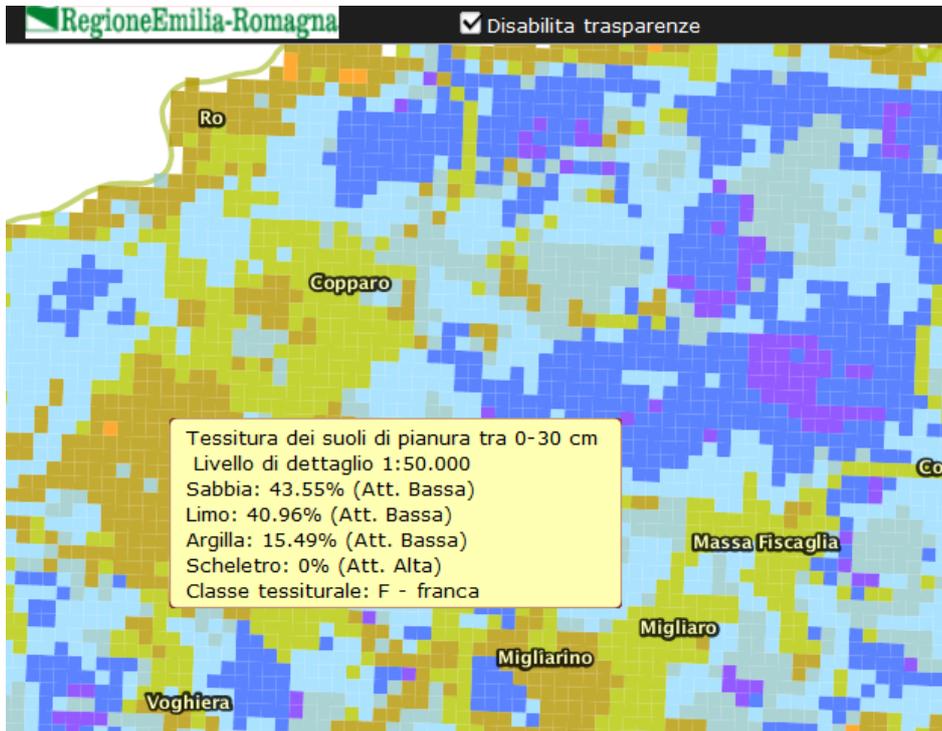


Figura 46. Risultati dell'interrogazione su una cella della carta della tessitura (ed. 2015)

⁸ <https://agri.regione.emilia-romagna.it/Suoli/>



6.5 Consultazione sul GeoViewER Moka

La carta della tessitura è consultabile dal visualizzatore del portale Minerva (GeoViewER Moka)⁹. Dal pannello di destra (Portale DG CTA) dal gruppo Suolo si aggiunge la carta della tessitura cliccando sull'icona del WMS. La visualizzazione funziona solo per scale > 1:250.000.

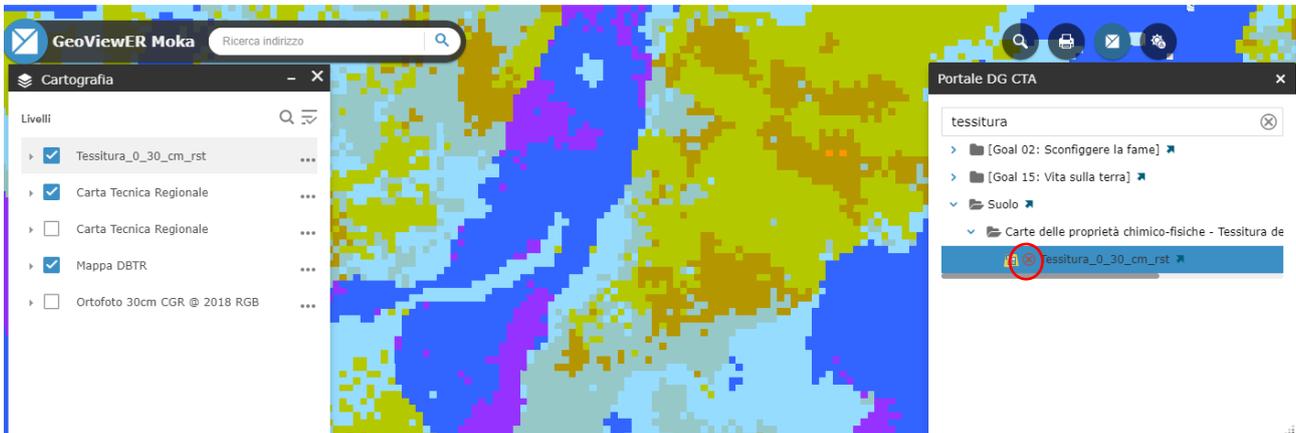


Figura 47. Schermata di esempio della carta della tessitura sul GeoViewER

Cliccando su un punto si ottengono i valori di sabbia, limo, argilla, scheletro con relative classi di attendibilità, oltre che la classe tessiturale su cui la carta è vestita.

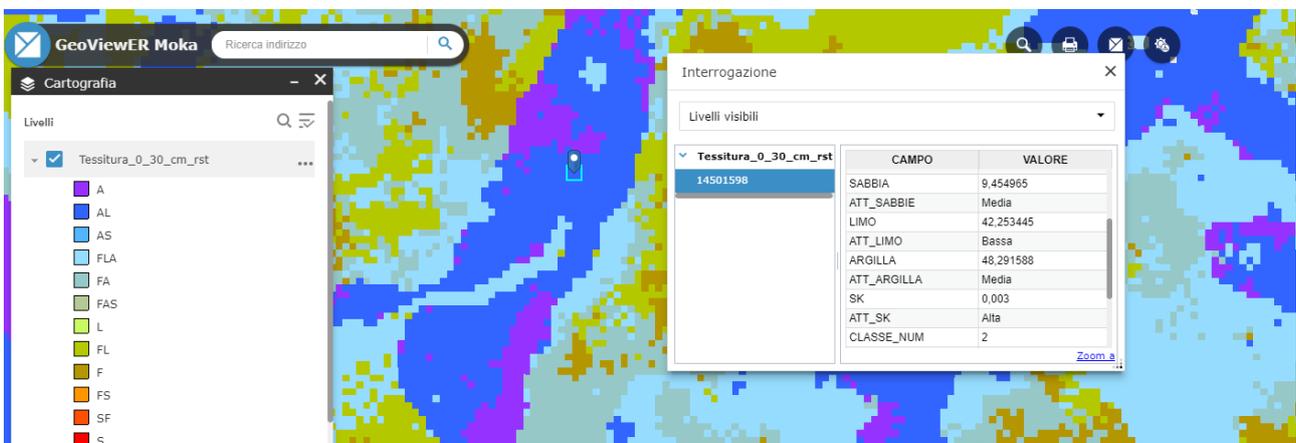


Figura 48. Esempio di interrogazione della carta della tessitura sul GeoViewER

⁹ <https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/geoviewer2>



6.6 Consultazione sul visualizzatore del Geoportale dell'Emilia-Romagna

La carta della tessitura può essere consultata anche sul **Geoportale regionale**, nella sezione dedicata alle mappe¹⁰. Le carte dei suoli e loro derivate si trovano in **Informazioni geoscientifiche**.

La visualizzazione funziona solo per scale > 1:250.000.

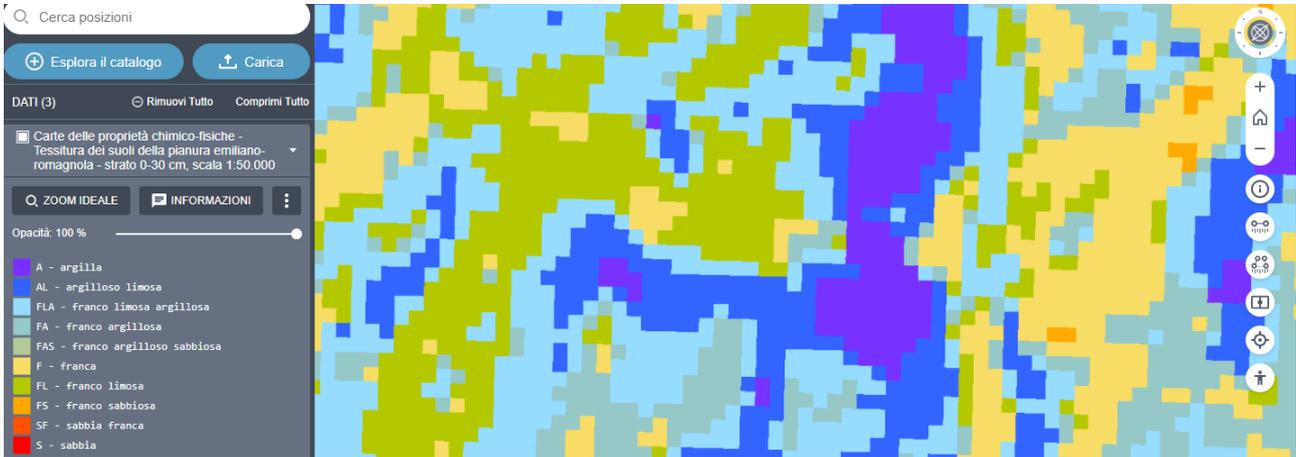


Figura 49. Esempio di visualizzazione della carta della tessitura sul Geoportale ER

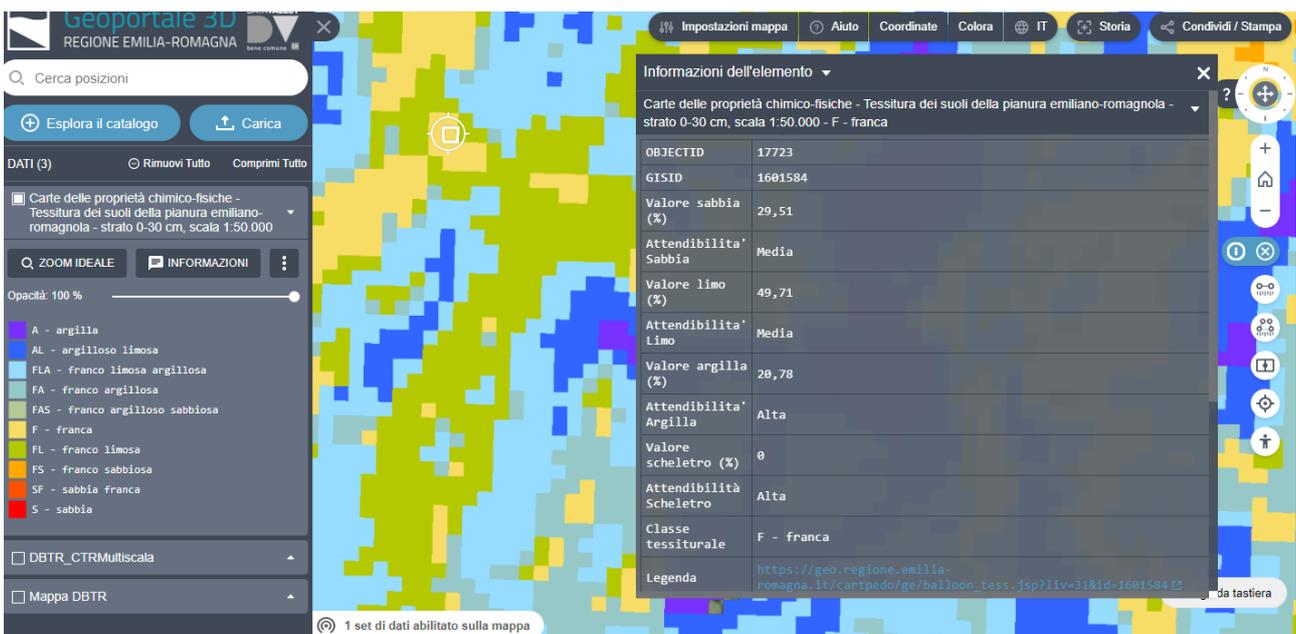


Figura 50. Esempio di interrogazione della carta della tessitura sul Geoportale ER

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



6.7 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 **9 raster in formato .TIFF**, georeferenziati nel sistema di riferimento RDN2008 UTM zona 32N (EPSG 7791).

1	ARGILLA_0_30.TIF	Argilla
2	LIMO_0_30.TIF	Limo
3	SABBIA_0_30.TIF	Sabbia
4	SCHELETRO_0_30_0_30.TIF	Scheletro
5	CLASSE_TESS_0_30.TIF	Classi tessiturali
6	ARGILLA_0_30_ACC.TIF	Attendibilità argilla
7	SABBIA_0_30_ACC.TIF	Attendibilità sabbia
8	LIMO_0_30_ACC.TIF	Attendibilità limo
9	SCHELETRO_0_30_ACC.TIF	Attendibilità scheletro

Dopo avere trovato lo strato Carta della tessitura sul motore di ricerca, si clicca dal pulsante [Esplora](#) la sottovoce [Download](#) e il file si scarica direttamente (figura 52).

Carte delle proprietà chimico-fisiche - Tessitura dei suoli regionali-strato 0-30 cm

La carta della tessitura rappresenta la distribuzione areale delle frazioni granulometriche classificate secondo la metodologia USDA (Standard internazionale, rif. Dipartimento di Agricoltura Stati Uniti). Ad ogni cella è attribuito un valore % di sabbia, limo, argilla, scheletro e la classe tessiturale USDA. Ogni parametro è accompagnato da una valutazione di attendibilità del valore stimato. La rappresentazione del territorio avviene attraverso un raster con pixel con lato di 100 m. L'attribuzione dei valori del pixel è il risultato di un'analisi geostatistica in pianura e di Digital Soil Mapping in Appennino e si riferisce ai primi 30 cm di suolo.

Risorse

- [Carte delle proprietà chimico-fisiche - Tessitura ...](#) access point
- [I suoli dell'Emilia-Romagna](#) access point
- [Tessitura_0_30_cm_rst](#) access point
- [Catalogo dei suoli dell'Emilia-Romagna](#) access point
- [Carta della tessitura dei suoli della Regione ...](#) access point

Esplora

Altre informazioni

Download

Esplora

Esplora

Esplora

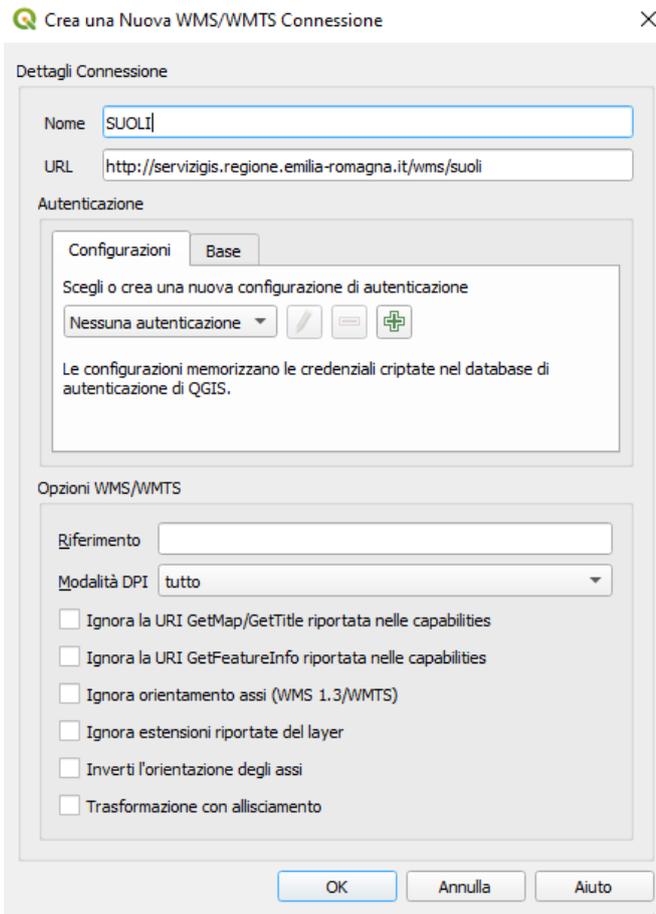
Esplora

Figura 51. Scaricamento delle carte delle tessiture dal portale MinERva

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



6.8 Consultazione come servizio WMS



La carta della tessitura 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 si fa un esempio utilizzando **Qgis**, liberamente scaricabile da Internet. La carta della tessitura (denominata **Tessitura_0_30_cm_rst**) è vestita sulla base delle classi tessiturali come nella figura 54.

Cliccando nella zona d'interesse compaiono anche tutte le altre informazioni connesse ossia i valori percentuali di sabbia, limo, argilla e scheletro e le relative attendibilità.

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 52. Immissione delle capabilities in Qgis

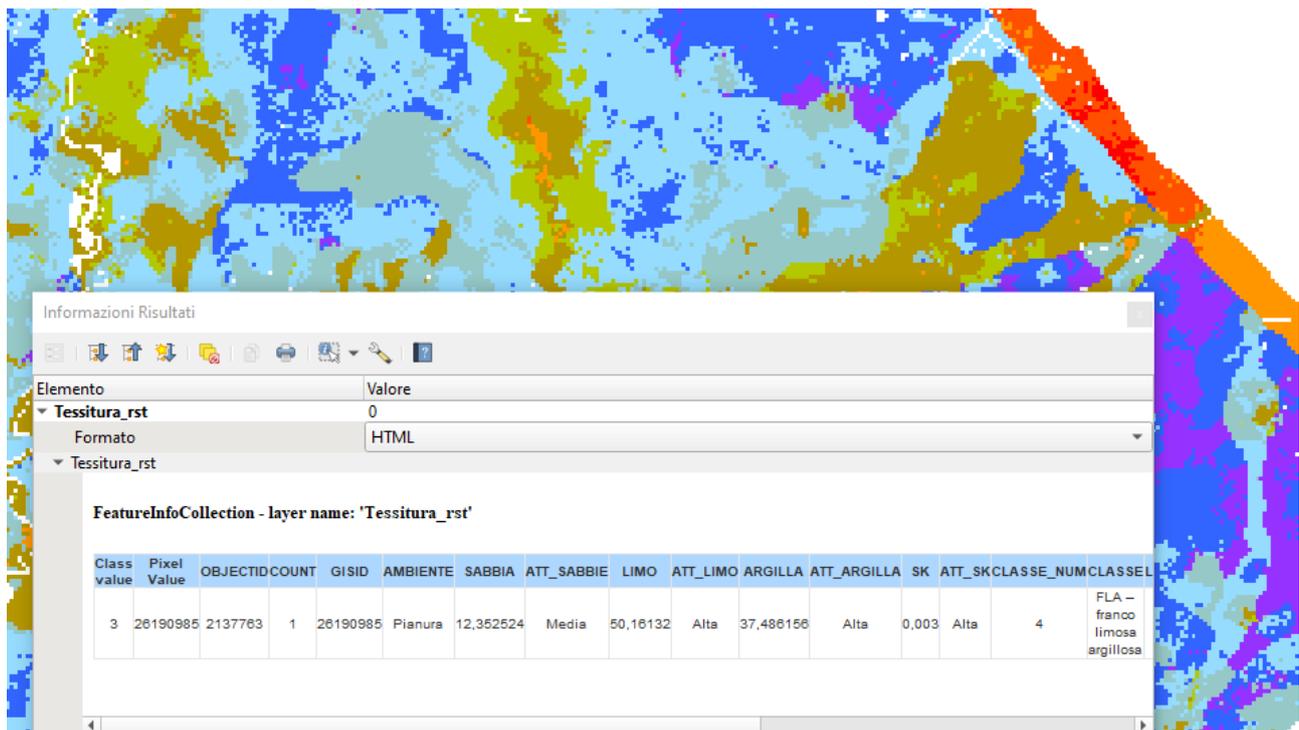


Figura 53. Visualizzazione del servizio WMS "Tessitura_0_30_cm_rst" sulla base delle classi tessiturali



7 ALLEGATO. DESCRIZIONE DELLE PROVINCE DI TERRE (L2)

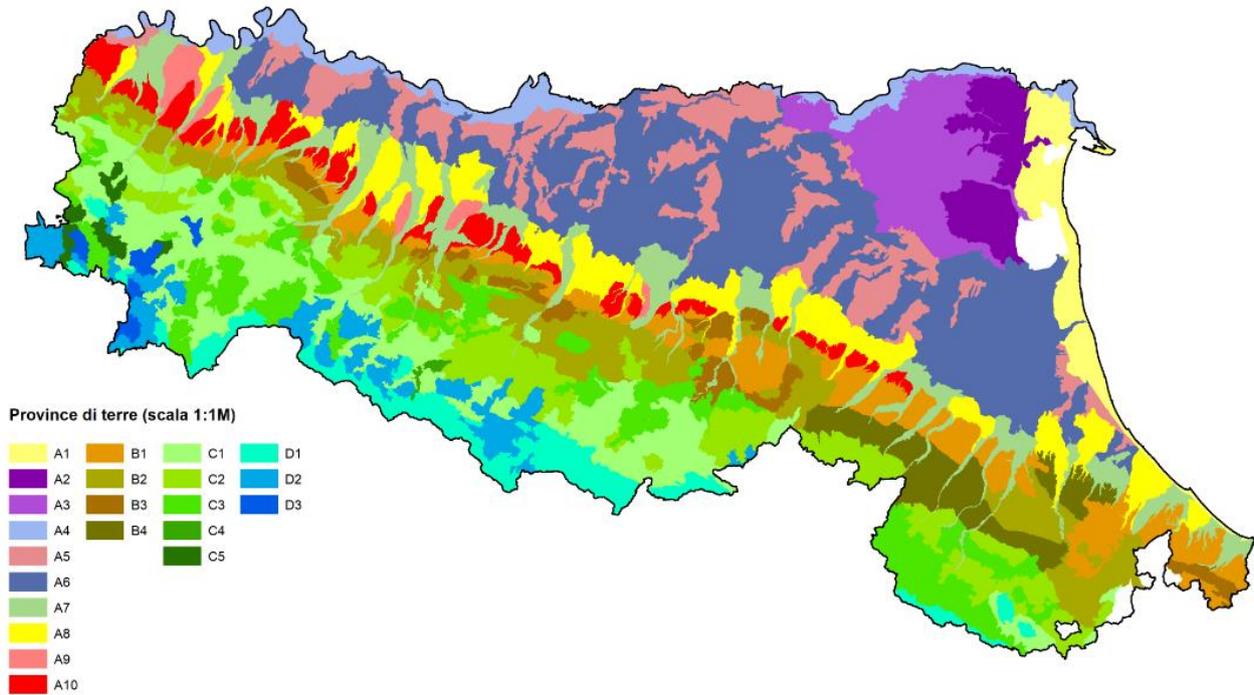


Figura 54. Carta delle province di terre (scala 1:1.000.000) ed. 2021 (livello L2)

A. PIANURA (Soil Region ¹² 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.

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



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
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



8 BIBLIOGRAFIA

- Bishop T.F.A., McBratney A.B., Laslett G.M., 1999. Modelling soil attribute depth functions with equal-area quadratic smoothing splines. *Geoderma*, 91, 27-45.
- Costantini E., Urbano F., L'Abate G. *Soil Regions of Italy*, 2004
- Deutsch, C.V., Journel, A.G., 1998. *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. Oxford University Press.
- 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
- Gräler B, Pebesma E, Heuvelink G (2016). "Spatio-Temporal Interpolation using gstat." *The R Journal*, 8, 204-218. <https://journal.r-project.org/archive/2016/RJ-2016-014/index.html>.
- Guevara, M., Olmedo, G. F., Stell, E., Yigini, Y., Aguilar Duarte, Y., Arellano Hernández, C., Arévalo, G. E., Arroyo-Cruz, C. E., Bolivar, A., Bunning, S., Bustamante Cañas, N., Cruz-Gaistardo, C. O., Davila, F., Dell'Acqua, M., Encina, A., Figueredo Tacona, H., Fontes, F., Hernández Herrera, J. A., Ibelle Navarro, A. R., Loayza, V., Manueles, A. M., Mendoza Jara, F., Olivera, C., Osorio Herмосilla, R., Pereira, G., Prieto, P., Alexis Ramos, I., Rey Brina, J. C., Rivera, R., Rodríguez-Rodríguez, J., Roopnarine, R., Rosales Ibarra, A., Rosales Riveiro, K. A., Schulz, G. A., Spence, A., Vasques, G. M., Vargas, R. R., and Vargas, R. (2018). No silver bullet for digital soil mapping: Country-specific soil organic carbon estimates across latin america. *SOIL Discussions*, 2018:1–20.
- Jasiewicz, J., Stepinski, T., 2013, Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms, *Geomorphology*, vol. 182, 147-156 (DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.11.005)
- MacQueen J. B. (1967): "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability", Berkeley, University of California Press, 1:281-297
- Malone B.P., McBratney A.B., Minasny B., Laslett G.M., 2009. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. *Geoderma*, 154, 138-152
- McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L., Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117, 3-52.
- Meinshausen N., 2006. Quantile regression forests. *J. Mach. Learn. Res.*, 7 (2006), pp. 983-999
- MEUSIS <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/Meusis/main.html>
- MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo - Metodi di Analisi Fisica del Suolo. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi. Franco Angeli Ed. 1997
- MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo - Metodi di Analisi Chimica del Suolo. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi. Franco Angeli Ed. 2000
- Omuto, C.T. 2020. Soil assessment: Assessment Models for Agriculture Soil Conditions and Crop Suitability. <https://cran.r-project.org/web/packages/soilassessment/index.html>
- Pebesma, E.J., 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, 30: 683-691.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Regione Emilia-Romagna. 2017 - Coperture vettoriali uso del suolo di dettaglio - Edizione 2020
- Regione Emilia-Romagna. Campioni analisi terreni (SACT) della regione Emilia-Romagna (2023) http://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. http://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). http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/SITI_BENCHMARK_RER.pdf
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Soil Survey Division Staff - Soil Survey Manual. USDA. 1993
- Staios LLC, "WinGslib Installation and Getting Started Guide." Website, 2001. <http://www.staios.com/WinGslib/index.html>, last checked: 13.01.2023.
- U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Handbook, title 430-VI. Available online at: <http://soils.usda.gov/technical/handbook/>
- Ungaro F. Considerazioni sullo sviluppo delle PTF per la stima della densità apparente in Veneto, Emilia-Romagna e Toscana. 2009 CNR-IRPI, Firenze
- 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/it/geologia/suoli/pdf/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf/@_download/file/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf
- 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

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. I suoli del bacino del Brasimone (BO): pedogenesi, mineralogia, geochimica. Miner. Petrogr. Acta. Vol.XXX,pp. 217-241. (1988)
- 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
- 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., 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, Gherardi, Vianello, Antisari, Zannoni. Soil survey and classification in a complex territorial system: Ravenna (Italy). EQA Environmental quality/Qualité de l'Environnement/Qualità ambientale, 2 (2009) 15-28
- Casalichio 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)
- 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., 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.
- 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
- 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. VinCapTer. Efficacia dell'ecosistema vigneto come sequestratore di carbonio: la casistica delle terre piacentine (2021). Capofila Università Cattolica del Sacro Cuore
- Gardi C., Tomaselli M., Parisi V., Petraglia A., Santini C. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. *European Journal of Soil Biology* 38 (2002) 103-110
- Goidanich. I suoli dei gessi triassici. Tesi di Laurea Università degli Studi di Bologna. AA 1981
- 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).
- 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



- 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
- 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 Laura "Qualità biologica dei suoli della pineta di San Vitale (RA). Università di Bologna. Scienze Ambientali. AA 2009/2010.
- Piazzini 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
- Salvatorelli F. Studio delle proprietà idrologiche in suoli agrari. Tesi di dottorato di ricerca in Colture Erbacee AGR/02. Università degli Studi di Bologna. AA 2003-2006
- 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 M., Rossi, Dowgiallo: "Phytosociology and ecology of the *Festuca puccinellii*-grasslands in the Northern Apennines (N-Italy)". *Botanica Helvetica*, 2000



- Tombini E. 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 Francesa" (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
- 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