



 Regione Emilia-Romagna

 servizio geologico
sismico e dei suoli

**CARTA DELLA
TESSITURA DEI SUOLI
DELLA PIANURA
EMILIANO-ROMAGNOLA
STRATO 0-30 cm**

scala 1:50.000

NOTE ILLUSTRATIVE 2015

a cura di:

Paola Tarocco, Francesca Staffilani

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Fabrizio Ungaro

CNR-IBIMET, Firenze



CARTA DELLA TESSITURA DEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA. STRATO 0-30 cm. SCALA 1:50.000



INDICE

1	INTRODUZIONE.....	5
2	DEFINIZIONI	6
3	DESCRIZIONE DELLA CARTA.....	7
3.1	Contenuto di argilla	7
3.2	Contenuto di limo	9
3.3	Contenuto di sabbia	10
3.4	Contenuto di scheletro.....	11
4	CONSULTAZIONE DELLA CARTA DEI SUOLI SUL WEB	12
4.1	Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH	12
4.2	Consultazione sul sito WEBGIS	13
4.3	Scaricamento dati	14
5	METODOLOGIA UTILIZZATA PER ARGILLA, LIMO E SABBIA.....	15
5.1	Suddivisione dei suoli in gruppi e sottogruppi funzionali	15
5.2	Raggruppamento di bacini idrografici.....	16
5.3	Stime statistiche e geostatistiche	17
5.3.1	Calcolo delle statistiche descrittive.....	17
5.3.2	Definizione del valore medio di riferimento e calcolo dei valori ponderati	18
5.3.3	Contenuto di argilla.....	19
5.3.4	Contenuto di limo.....	20
5.3.5	Contenuto di sabbia.....	21
5.3.6	Elaborazione geostatistica.....	21
6	METODOLOGIA UTILIZZATA PER LO SCHELETRO.....	22
7	BIBLIOGRAFIA.....	23



CARTA DELLA TESSITURA DEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA. STRATO 0-30 cm. SCALA 1:50.000



1 INTRODUZIONE

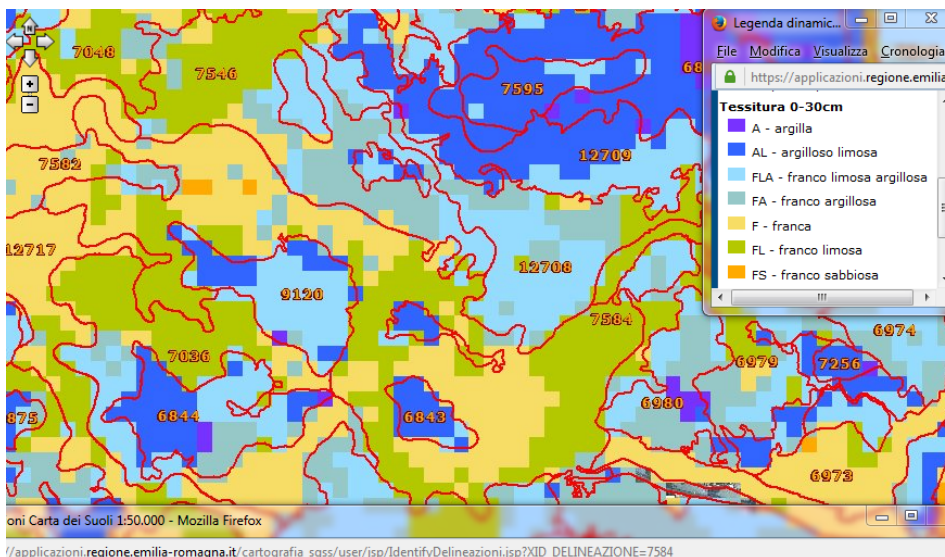
Il contenuto di sabbia, limo e argilla influenza il comportamento fisico e chimico dei suoli. La dimensione delle particelle è importante ai fini delle interpretazioni ingegneristiche e agronomiche, influenza le qualità idrologiche dei suoli ed è infatti utilizzata per la classificazione di questi. Fra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



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.

Come evidente dalla figura 1 si può notare ad esempio nella delineazione 7584 una certa variabilità tessiturale, che rispecchia la distribuzione dei suoli presenti (descritti nella tabella in basso).

Suoli presenti				Distribuzione		Siti di riferimento nella delineazione	
Suolo	Nome Suolo	Rappresentatività regionale	% Fiducia	Localizzazione	Sito	Rappresentatività	Localizzazione
BOC1	BOCCALEONE franco limosi	Osservazioni rappresentative	55 Moderato	distribuzione omogenea	59454	rappresentativo	nella delineazione
BAU4	BAURA franco limosi	Osservazioni rappresentative	20 Moderato	parti concave dei paleomeandri e piccole aree di copertura alluvionale non cartografabili.	9263	rappresentativo	nella delineazione
VOL1	VOLANO franchi	Osservazioni rappresentative	10 Moderato	ventagli di rotta, specialmente fra Migliarino e Ostellato	11383	rappresentativo	nella delineazione
BAU1	BAURA franco argilloso limosi	Osservazioni rappresentative	5 Moderato	parti concave dei paleomeandri e piccole aree di copertura alluvionale non cartografabili.	7600	rappresentativo	delineazioni vicine
GAR1	GARUSOLA franco sabbiosi	Osservazioni correlate	5 Moderato	ventagli di rotta, specialmente fra Migliarino e Ostellato	19020	correlato	delineazioni vicine
SRE1	STRADA REALE franco limosi	Osservazioni correlate	4 Moderato	parti distali della delineazione verso la piana delizia esterna.	3208	correlato	delineazioni vicine
BTR1	BORGO TREBBI argilloso limosi	Osservazioni rappresentative	1 Moderato	piccoli bacini interfluviali non cartografabili.	3249	rappresentativo	delineazioni vicine

Figura 1. Esempio della carta della tessitura sovrapposta alla carta dei suoli sul sito WEBGIS



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 pianura emiliano-romagnola" 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**.

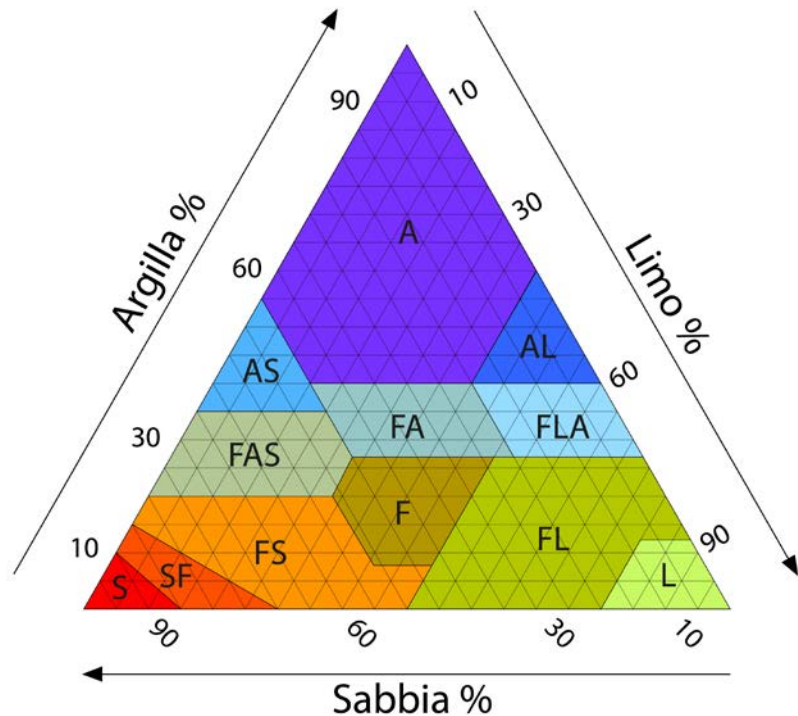


Figura 2. Triangolo delle classi tessiturali USDA

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 pianura emiliano-romagnola”, come più ampiamente descritto nel paragrafo Metodologia Utilizzata, è il risultato di una elaborazione geostatistica che, a partire da valori puntuali di argilla, sabbia, limo, tiene conto della distribuzione dei suoli a cui questi valori si riferiscono e dei bacini di provenienza dei sedimenti. I valori di scheletro sono stati calcolati con modalità differenti (vedi metodologia).

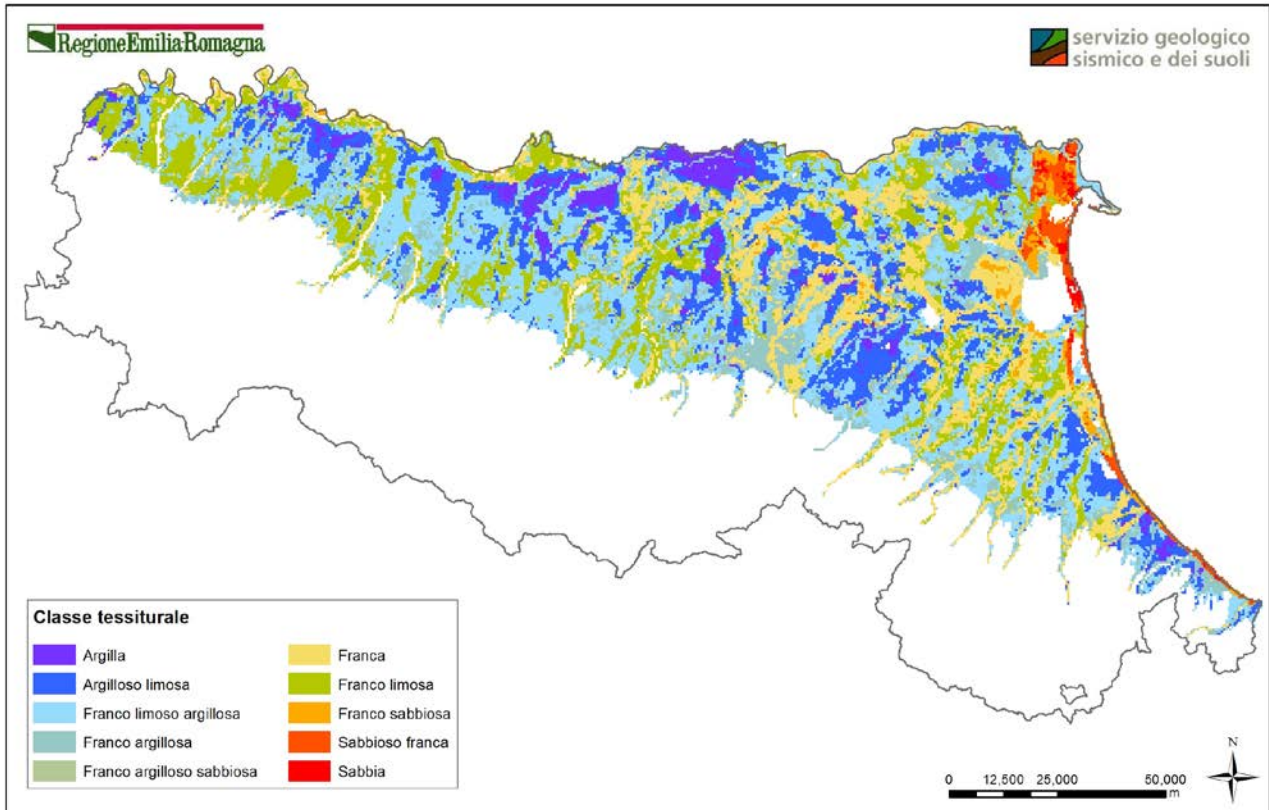


Figura 3. Carta delle classi tessiturali nei suoli di pianura della Regione Emilia-Romagna

Oltre alle classi tessiturali, nella carta sono presenti i valori % stimati di sabbia, limo, argilla e scheletro e relativi valori di attendibilità.

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

3.1 Contenuto di argilla

La distribuzione dell'argilla bene descrive i principali ambienti di cui si caratterizza la pianura emiliano-romagnola. Suoli con un contenuto di argilla <18% ed un elevato contenuto di sabbia caratterizzano gli ambienti costieri, della pianura deltizia del fiume Po e i dossi dei fiumi appenninici della Romagna. Suoli con argilla <27% e un basso contenuto di sabbia sono diffusi su conoidi e terrazzi della pianura pedemontana piacentina, le classi medie caratterizzano conoidi e dossi dei fiumi appenninici e la pianura pedemontana centrale.

I suoli con contenuto di argilla superiore al 27% sono di gran lunga i più diffusi rappresentando circa il 63% della superficie totale. Sono presenti 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.



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 siccità essi diventano compatti e resistenti, con profonde spaccature, limitando così la gamma di colture coltivabili e rendendo difficoltosa la loro gestione (es.: irrigazione). 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).

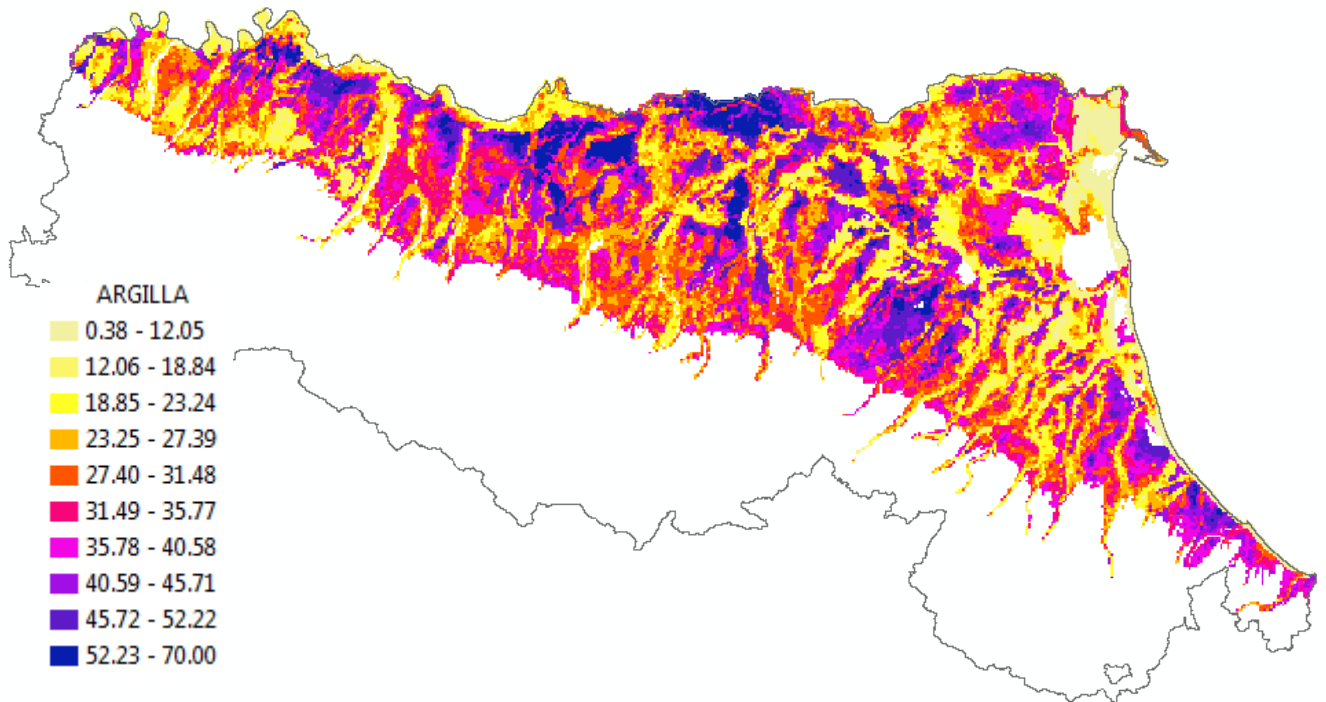


Figura 4. Carta del contenuto % di argilla nei suoli di pianura

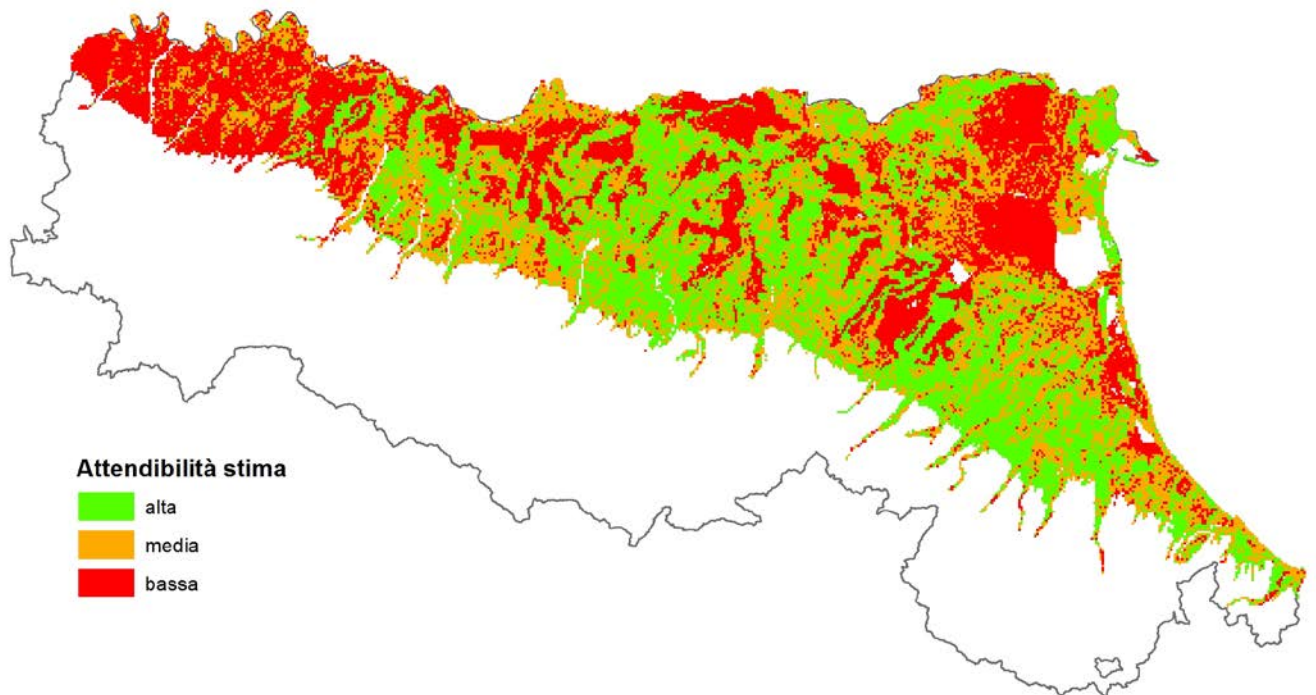


Figura 5. Carta dell'attendibilità (indice qualitativo di accuratezza cartografica) del contenuto di argilla



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).

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).

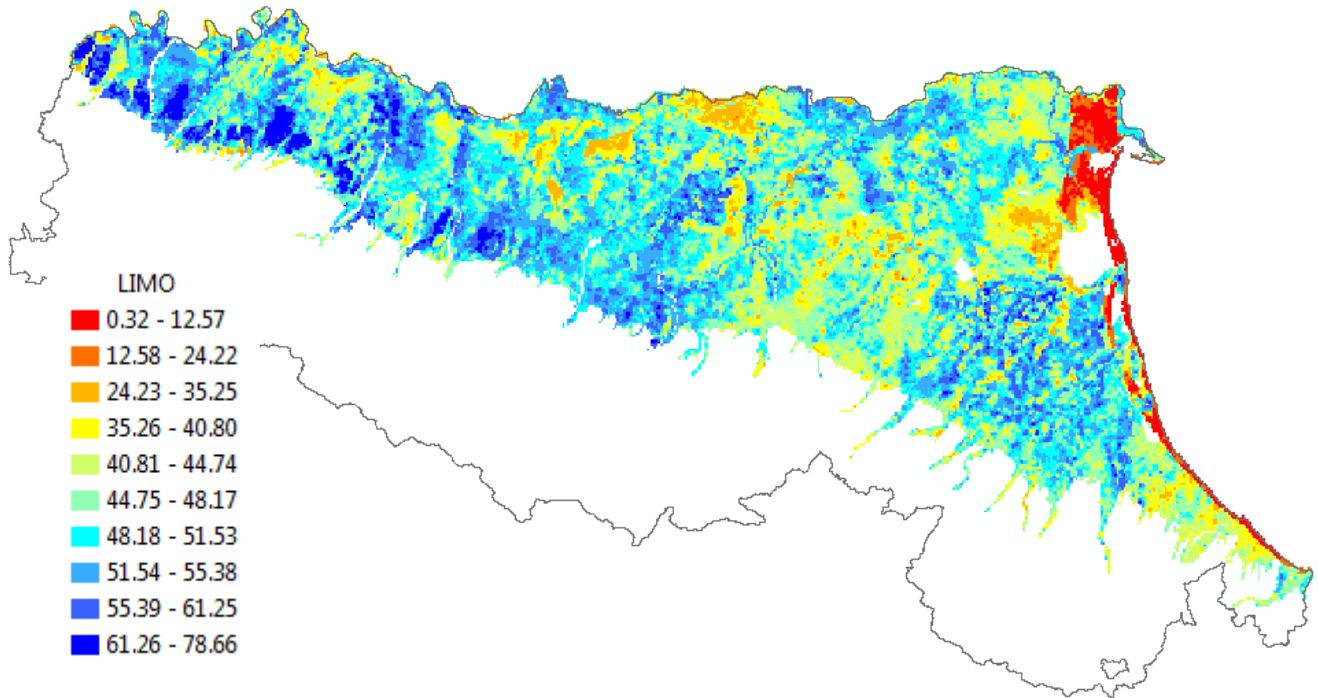


Figura 6. Carta del contenuto % di limo nei suoli di pianura

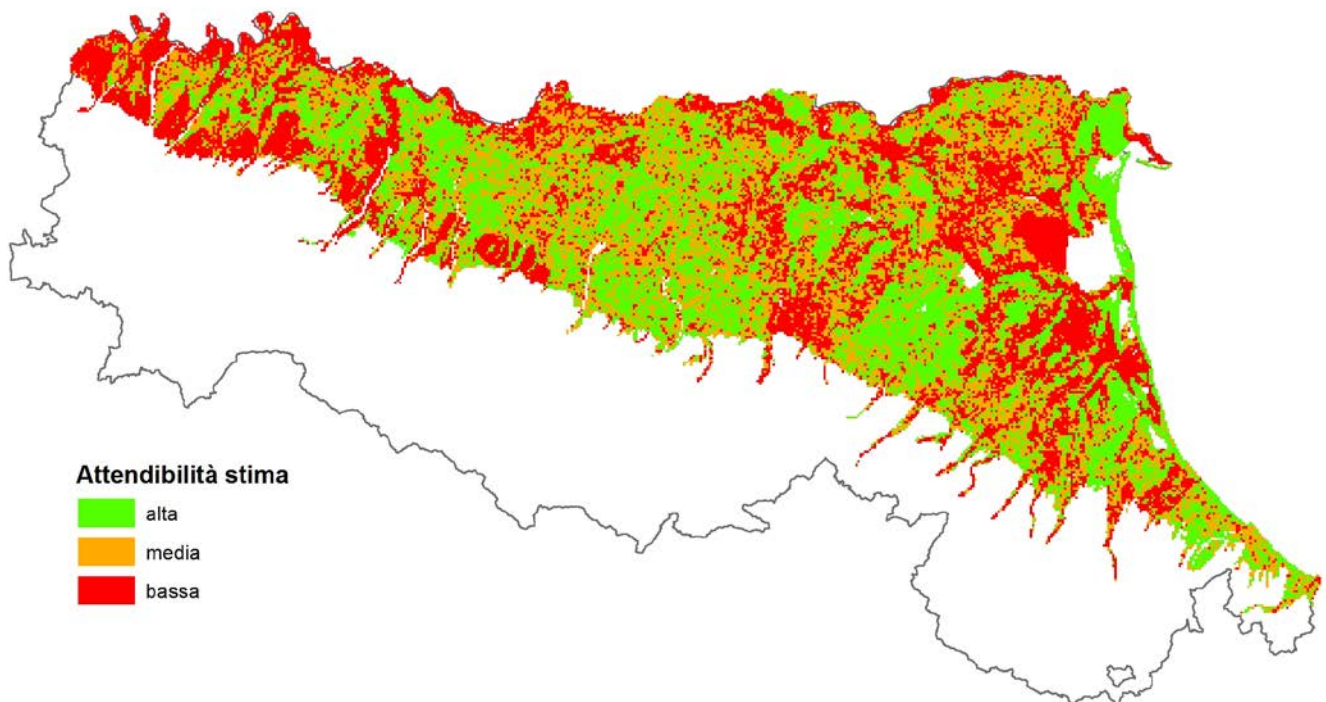


Figura 7. Carta dell'attendibilità (indice qualitativo di accuratezza cartografica) del contenuto di limo



3.3 Contenuto di sabbia

I suoli sabbiosi sono merce rara nella pianura emiliano-romagnola. Il contenuto di sabbia dei suoli della pianura è generalmente medio-basso, con valori molto elevati solo in ambito costiero. Altri ambienti 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). In Emilia 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).

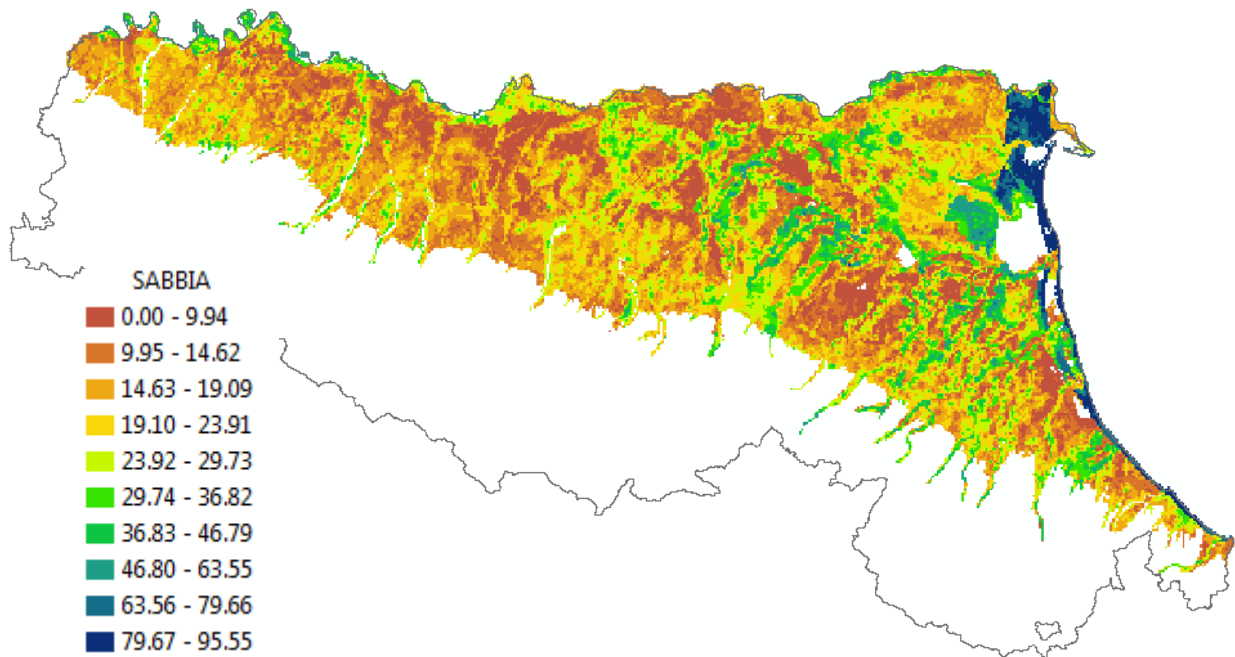


Figura 8. Carta del contenuto % di sabbia nei suoli di pianura

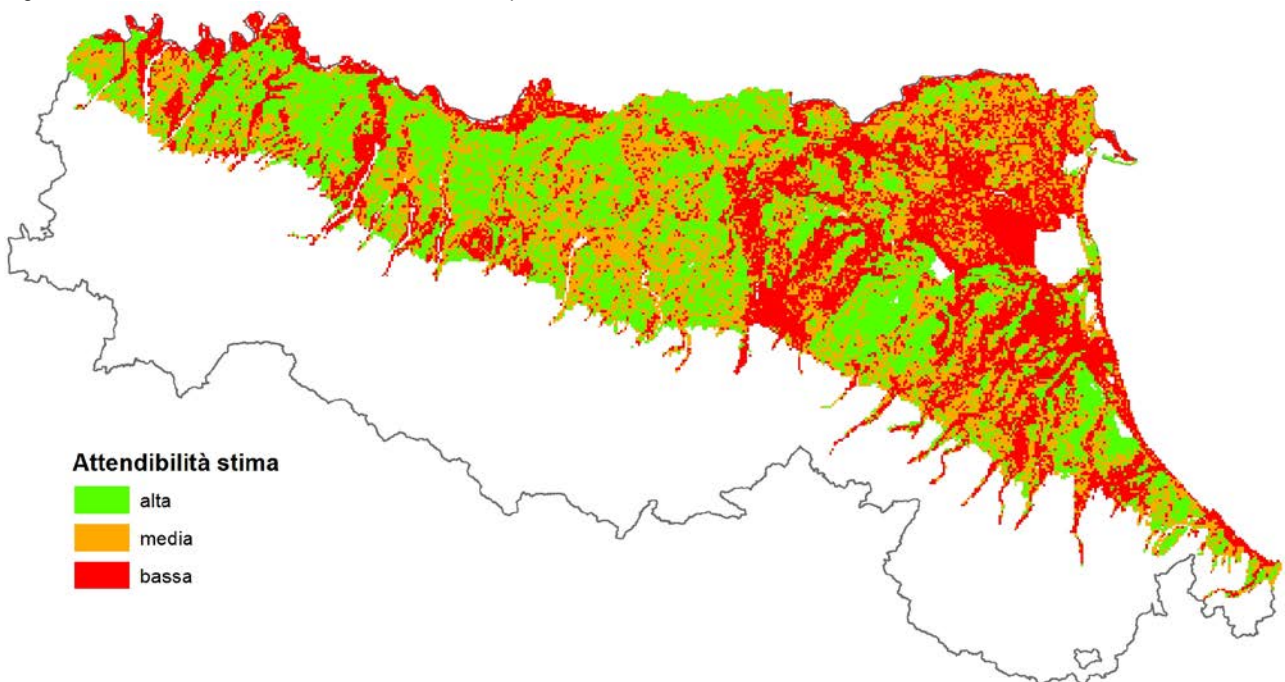


Figura 9. Carta dell'attendibilità (indice qualitativo di accuratezza cartografica) del contenuto di sabbia



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.

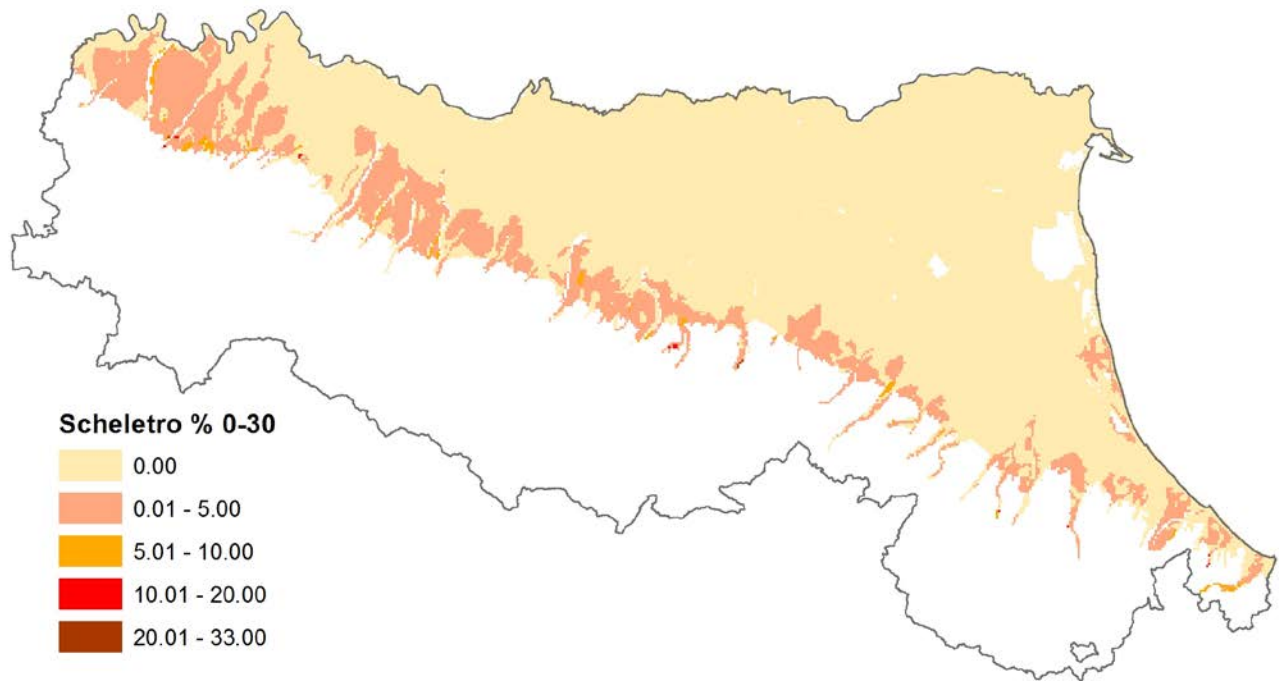


Figura 10. Carta del contenuto % di scheletro nei suoli di pianura

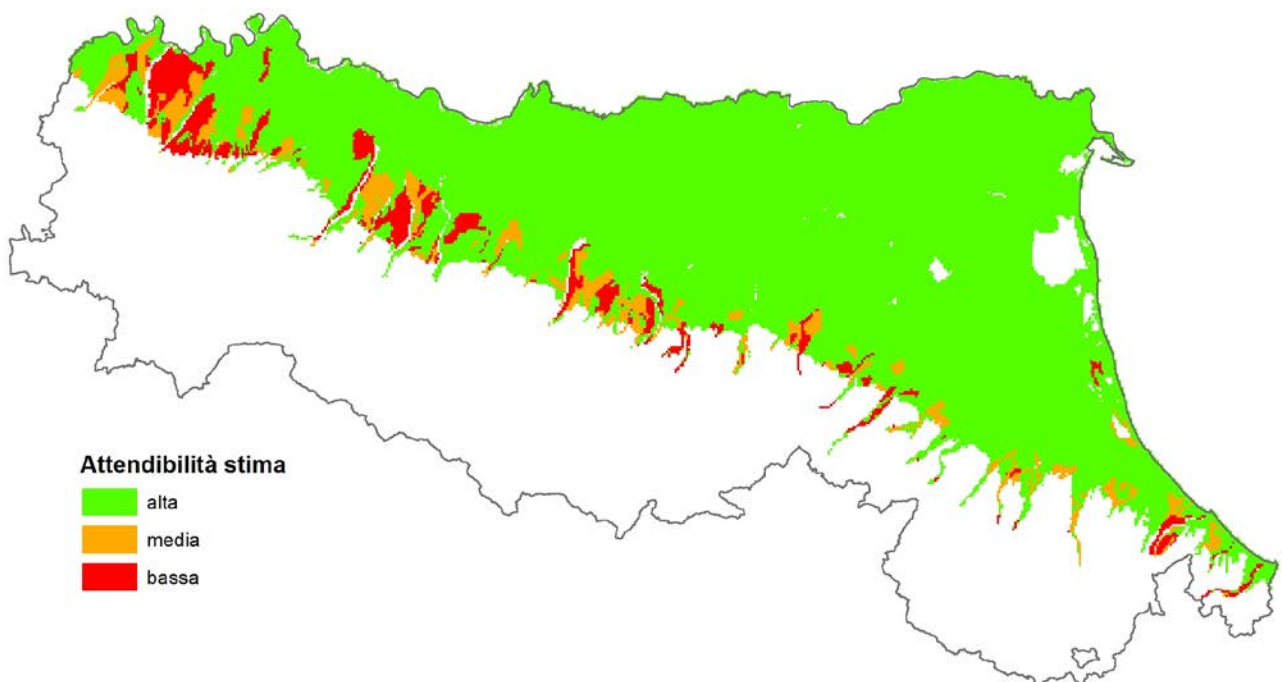


Figura 11. Carta dell'attendibilità (indice qualitativo di accuratezza cartografica) del contenuto di scheletro



4 CONSULTAZIONE DELLA CARTA DEI SUOLI SUL WEB

4.1 Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH

La carta della tessitura è consultabile sul sito [I suoli dell'Emilia-Romagna¹](http://suoli.dell'Emilia-Romagna1), 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 12. 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.

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

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

Sebbene la carta sia rappresentata per classi 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 ed attribuito alla cella attraverso analisi geostatistica applicata alla carta dei suoli della pianura emiliano-romagnola in scala 1:50.000.

E' 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.

E' possibile anche aprire le note illustrative correlate.

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

Figura 13. Interfaccia di consultazione delle singole celle

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 tessiturale	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-

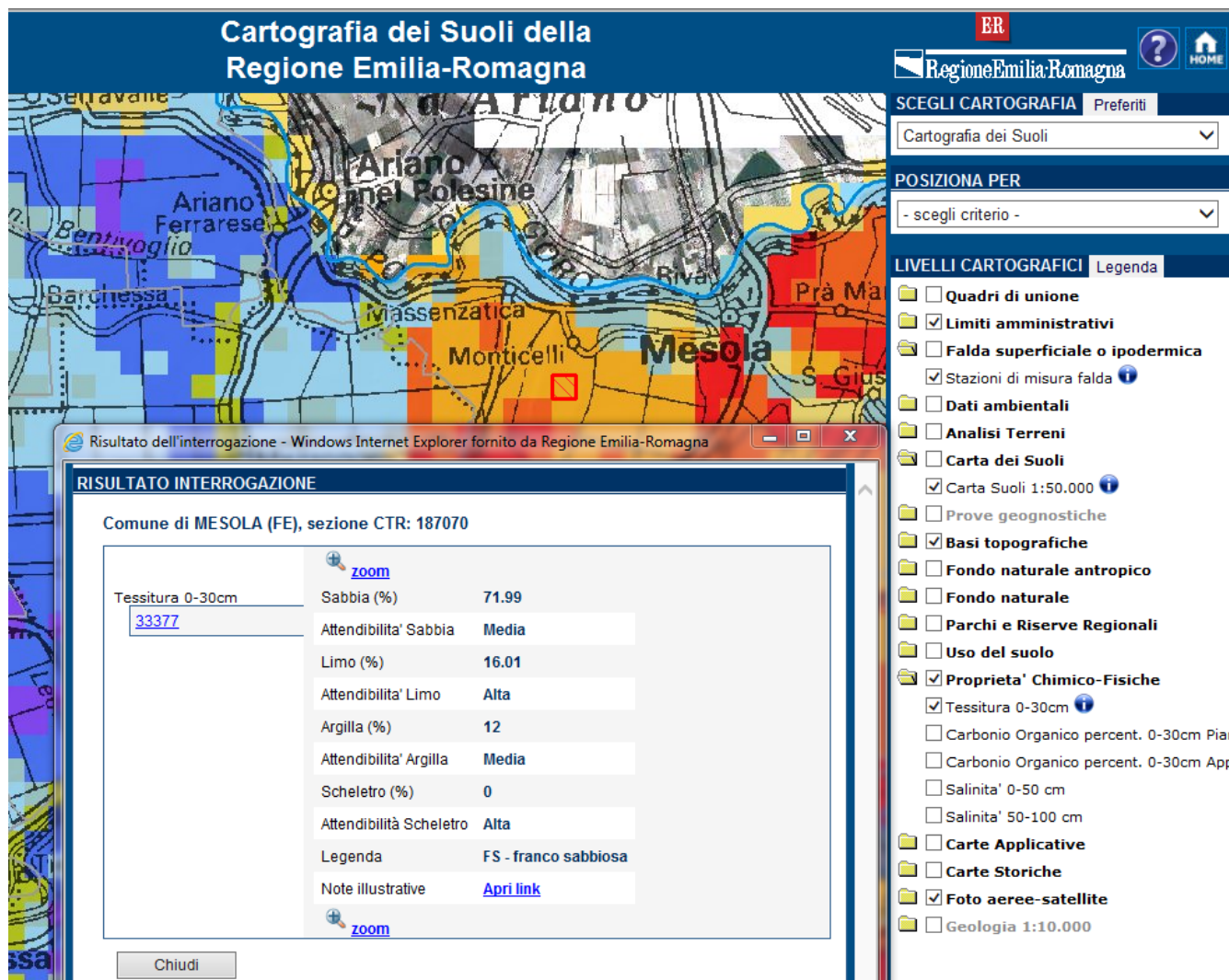
¹ <http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/>



4.2 Consultazione sul sito WEBGIS

La carta della tessitura è consultabile sul sito [Cartografia dei suoli della Regione Emilia-Romagna²](http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis-suoli), definito brevemente in seguito WEBGIS. Vanno attivati i pop-up, indifferentemente dal browser utilizzato. Nella sezione di destra sono presenti i livelli cartografici visualizzabili (alcuni attivi di default, altri attivabili dall'utente), mentre nella sezione di sinistra vi sono gli strumenti di consultazione dei livelli cartografici. Per ulteriori informazioni consultare la Guida in alto a destra.

La carta è consultabile nella parte delle **Proprietà chimico-fisiche** cliccando sul quadrato di interesse mediante il pulsante  IDENTIFY.



Cartografia dei Suoli della Regione Emilia-Romagna

ER Regione Emilia-Romagna

SCEGLI CARTOGRAFIA Preferiti
Cartografia dei Suoli

POSIZIONA PER
- scegli criterio -

LIVELLI CARTOGRAFICI Legenda

- Quadri di unione
- Limiti amministrativi
- Falda superficiale o ipodermica
- Stazioni di misura falda
- Dati ambientali
- Analisi Terreni
- Carta dei Suoli
- Carta Suoli 1:50.000
- Prove geognostiche
- Basi topografiche
- Fondo naturale antropico
- Fondo naturale
- Parchi e Riserve Regionali
- Uso del suolo
- Proprietà Chimico-Fisiche
 - Tessitura 0-30cm
 - Carbonio Organico percent. 0-30cm Pia
 - Carbonio Organico percent. 0-30cm App
 - Salinità' 0-50 cm
 - Salinità' 50-100 cm
- Carte Applicative
- Carte Storiche
- Foto aeree-satellite
- Geologia 1:10.000

RISULTATO INTERROGAZIONE

Comune di MESOLA (FE), sezione CTR: 187070

Tessitura 0-30cm	Sabbia (%)	71.99
33377	Attendibilità' Sabbia	Media
	Limo (%)	16.01
	Attendibilità' Limo	Alta
	Argilla (%)	12
	Attendibilità' Argilla	Media
	Scheletro (%)	0
	Attendibilità' Scheletro	Alta
	Legenda	FS - franco sabbiosa
	Note illustrative	Apri link

Chiudi

Figura 14. Carta della tessitura sul sito WEBGIS

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



4.3 Scaricamento dati

Lo shapefile della carta del contenuto di argilla si scarica dal sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/> dalla sezione Suoli- Carte proprietà chimico-fisiche dei suoli.

The screenshot displays the 'Catalogo dei Dati Geografici' web application. The main map area shows the Emilia-Romagna region with a topographic overlay. The left sidebar lists various data categories, including 'Suoli' and 'Carte proprietà chimico-fisiche dei suoli'. The 'Tessitura pianura 0-30 cm' layer is selected. The right sidebar shows 'Cartografie Catalogo SGSS' and 'Cartografie di base' options. A legend at the bottom left provides details about the selected layer and download instructions.

Click per aggiungere nella mappa

Carta della tessitura dei suoli di pianura tra 0-30 cm (scala 1:50.000)

Dati scaricabili:
aggiungere il layer alla mappa e cliccare sull'icona di download nella legenda

Privacy Credits Accessibilità

Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna
Viale della Fiera, 8 - 40127 Bologna tel.051-52747.92 segregeol@regione.emilia-romagna.it

Figura 15. Interfaccia di scaricamento dei dati geografici



5 METODOLOGIA UTILIZZATA PER ARGILLA, LIMO E SABBIA

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

1. raggruppamento di tutti i suoli di pianura in unità funzionali;
2. individuazione di raggruppamenti di bacini idrografici;
3. calcolo delle statistiche descrittive dei valori di sabbia, limo e argilla;
4. definizione del valore medio di riferimento, per combinazioni "unità funzionale-bacino";
5. calcolo della differenza ("residuo") tra i valori puntuali presenti nelle delimitazioni e il valore medio attribuito alla delimitazione dove i punti stessi ricadono.
6. analisi geostatistica dei residui ed elaborazioni cartografiche basate su simulazioni sequenziali

I dati con valore attendibile ma non ricollegati ad un tipo di suolo sono stati poi utilizzati per la validazione della carta.

La suddivisione per gruppi funzionali è stata fatta in base a gruppi e sottogruppi funzionali, utilizzando come criterio distintivo per gli 8 gruppi le **classi tessiturali** dell'orizzonte superficiale e come criterio per i 22 sottogruppi le **classi di disponibilità di ossigeno** (vedi tabella 2). Quale criterio per descrivere il trend regionale dei valori % delle tre frazioni è stata adottata la divisione del territorio in bacini idrografici, successivamente aggregati in 12 gruppi dal SGSS-RER; la suddivisione risultante è riportata nella figura 16 mentre nella tabella 3 si riporta l'area dei bacini, sia in termini assoluti che relativi all'area della pianura.

5.1 Suddivisione dei suoli in gruppi e sottogruppi funzionali

I 210 suoli di pianura e 40 suoli di collina (presenti come suoli subordinati nella fascia del margine appenninico) sono stati raggruppati in **22** "unità funzionali", ossia associazioni di suoli affini per classe tessiturale e disponibilità di ossigeno.

Gruppo	Sottogruppo	Criteria per la definizione dei grandi gruppi	Criteria per i sottogruppi	N_UTS
		Classe tessiturale generale dell'orizzonte superficiale	Disponibilità O ₂	
A	1	FINE (skeletal/FINE)	BUONA	6
A	2	FINE	MODERATA	28
A	3	FINE	IMPERFETTA	12
B	1	MOD. FINE	BUONA	5
B	2	MOD. FINE	MODERATA	28
B	3	MOD. FINE	IMPERFETTA	3
C	1	MEDIA-FINE (skeletal/MEDIA-FINE)	BUONA	41
C	2	MEDIA-FINE	MODERATA	19
C	3	MEDIA-FINE	IMPERFETTA	3
D	1	MEDIA	BUONA	29
D	2	MEDIA	MODERATA	19
D	3	MEDIA	IMPERFETTA	4
E	1	MOD. GROSSOLANA (skeletal/MOD. GROSSOLANA)	BUONA	19
E	2	MOD. GROSSOLANA	MODERATA	6
F	1	GROSSOLANA	BUONA	9
F	2	GROSSOLANA	MODERATA	4
F	3	GROSSOLANA	IMPERFETTA	2
O	1	ORGANICO	IMPERFETTA	2
P	1	ORGANICO / da FINE a MOD. FINE	IMPERFETTA	3
Q	1	ORGANICO / da MEDIA a MEDIA-FINE	IMPERFETTA	4
R	1	ORGANICO / da GROSSOLANA a MOD. GROSSOLANA	MODERATA	2
R	2	ORGANICO / MOD. GROSSOLANA	IMPERFETTA	2



Tabella 2. Criteri per la definizione dei gruppi e sottogruppi funzionali

Nella carta del contenuto di argilla pubblicata nel 2008 le unità funzionali erano 42 e usavano come criteri distintivi inondabilità, famiglia tessiturale, classe di pendenza, origine dei depositi, disponibilità di ossigeno, contenuto in calcare totale e quantitativi di carbonio organico. Di fatto a livello statistico si è valutato che solo la classe tessiturale e la disponibilità di ossigeno sono parametri caratterizzanti per la tessitura.

5.2 Raggruppamento di bacini idrografici

Le delimitazioni della carta dei suoli di pianura alla scala 1:50.000 edizione 2014 sono state assegnate ad un bacino idrografico di riferimento (inteso nel senso di **origine del materiale di partenza** e non in senso strettamente idrografico) sulla base della Carta del contenuto naturale-antropico dei metalli pesanti (2013) per la profondità 0-30 cm e sulla Carta pedogeochimica (2012) per quanto riguarda la profondità 80-130 cm. Come metalli marker sono stati utilizzati i valori di Cromo e di Nichel in quanto fortemente influenzati dalla cava di prestito.

Nella maggior parte dei casi il bacino di origine di superficie coincide con il bacino di profondità (significative eccezioni si ritrovano nel bacino dell'Arda e Taro oppure nella parte Nord Est della provincia di Modena a cavallo con Ferrara dove depositi appenninici di Secchia e Panaro ricoprono antichi depositi padani).

Sono stati selezionati solo i bacini di superficie che sono stati poi raggruppati in **12** grandi bacini sulla base del trend prevalente del contenuto di argilla e sabbia. Ad esempio il bacino 6 (dal Santerno al Savio) hanno come principale cava di prestito la formazione della Marnosa-Arenacea e presenta quindi valori di argilla bassi e medi contenuti di sabbia mentre al contrario il bacino 1 (Mesola-Rubicone-Marecchia-Melo-Marano-Conca) ha come principale cava di prestito le argille grigio-azzurre e Caotico per cui qui la maggior parte dei suoli hanno elevati contenuti di argilla e bassi valori di sabbia.

Questi raggruppamenti (scelti in base ad una preliminare stima di esperto) sono stati poi validati con la metodologia statistica dei **cluster** che ha individuato effettive differenze statistiche del contenuto granulometrico fra i differenti bacini.

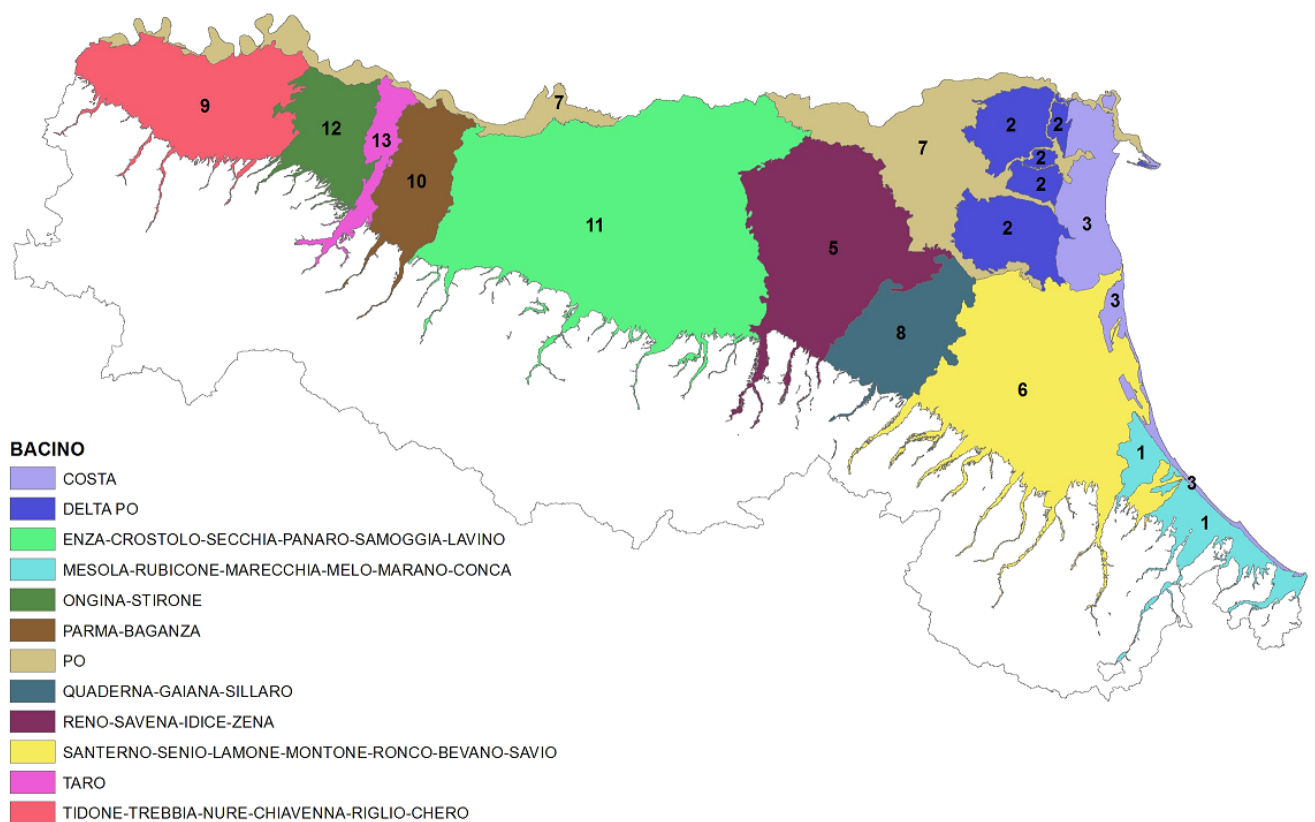


Figura 16. Bacini e gruppi di bacini ai fini dell'analisi della distribuzione spaziale delle frazioni granulometriche



Num	Bacino/Gruppo di bacini	Area (Km ²)	Area %
1	MESOLA-RUBICONE-MARECCHIA-MELO-MARANO-CONCA	422.8	3.49
2	DELTA PO	738.2	6.10
3	COSTA	558.3	4.61
5	RENO-SAVENA-IDICE-ZENA	1346.9	11.12
6	SANTERNO-SENIO-LAMONE-MONTONE-RONCO-BEVANO-SAVIO	1901.0	15.70
7	PO	1364.1	11.27
8	QUADERNA-GAIANA-SILLARO	582.1	4.81
9	TIDONE-TREBBIA-NURE-CHIAVENNA-RIGLIO-CHERO	978.3	8.08
10	PARMA-BAGANZA	482.2	3.98
11	ENZA-CROSTOLO-SECCHIA-PANARO-SAMOGGIA-LAVINO	3077.7	25.42
12	ONGINA-STIRONE	450.8	3.72
13	TARO	205.6	1.70

Tabella 3. Aree occupate dai 12 gruppi di bacini

5.3 Stime statistiche e geostatistiche

I dati puntuali sono stati dapprima armonizzati dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e poi elaborati attraverso analisi statistica e geostatistica da parte del CNR IBiMet³.

Per le tre frazioni tessiturali sono stati calcolati i valori medi e le statistiche descrittive delle tre frazioni granulometriche nei 12 gruppi di bacini. All'interno di ciascun gruppo di bacini, sono stati poi calcolati i valori medi per 22 sottogruppi funzionali di suolo.

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

1. calcolo da parte del SGSS-RER dei valori medi (S%, L%, A%) per ciascuna unità (gruppi di bacini e sottogruppi funzionali all'interno dei singoli gruppi) per un totale di 137 combinazioni;
2. 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 500 m e somma della media del residuo simulato (N = 100) al valore medio attribuito alla cella e controllo sui range dei valori così ottenuti;
5. carta del valore stimato e dell'indice di attendibilità cartografica; questa viene definita in base alla somma delle deviazioni standard delle unità bacini/sottogruppi funzionali e dei residui previa normalizzazione dell'intervallo di variabilità [0,1];
6. validazione su data set indipendente e calcolo degli indici di errore della carta (errore medio, errore medio assoluto, scarto quadratico medio)

5.3.1 Calcolo delle statistiche descrittive

E' 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) per ciascun gruppo funzionale. Le statistiche sono state calcolate per **raggruppamenti di bacini idrografici** al fine di individuare differenze significative nei valori medi delle variabili riconducibili non solo alle differenze nei gruppi funzionali ma anche ai diversi bacini. In tabella 4 si fa un esempio delle statistiche descrittive del valore di argilla in 3 gruppi di bacini. Il valore medio di argilla ottenuto è stato considerato statisticamente attendibile solo in presenza di un numero di osservazioni ≥ 10 .

³ CNR Istituto di Biometeorologia. Sesto Fiorentino - Firenze



Bac.	SGF	Media	Conf. -95.00%	Conf. 95.00%	N	Std. Dev.	Std.Err.	Min	Max	Q25	Median	Q75	Perc 10	Perc 90
1	A1	41.10	39.42	42.78	27	4.24	0.82	34.00	51.33	38.00	41.00	44.00	35.60	46.40
1	A2	46.76	46.03	47.49	199	5.21	0.37	40.00	64.50	43.00	46.00	49.50	41.00	55.00
1	A3	50.17	47.66	52.67	30	6.71	1.22	37.90	67.00	46.00	48.00	54.00	43.50	59.75
1	B1	41.20	40.43	41.98	101	3.93	0.39	32.00	52.00	38.00	41.00	44.00	36.68	46.00
1	B2	37.51	37.18	37.85	217	2.51	0.17	26.10	43.00	36.00	38.00	39.00	35.00	40.50
1	B3	37.80	34.71	40.89	5	2.49	1.11	36.00	42.00	36.00	37.00	38.00	36.00	42.00
1	C1	32.31	31.74	32.88	190	3.99	0.29	20.00	45.20	30.00	32.00	35.00	28.00	36.95
1	C2	33.76	29.97	37.54	9	4.93	1.64	29.00	45.00	30.90	33.90	35.00	29.00	45.00
1	D1	26.75	25.07	28.44	25	4.08	0.82	16.00	35.00	24.30	27.00	28.00	22.00	31.50
1	E1	23.33	21.62	25.04	48	5.89	0.85	9.50	38.20	21.00	24.00	27.00	14.00	28.00
1	F2	9.00			1	0.00		9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
2	A2	36.07	29.96	42.19	7	6.61	2.50	32.00	50.50	32.00	34.00	36.00	32.00	50.50
2	A3	44.00			1	0.00		44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
2	B2	38.67	32.93	44.40	3	2.31	1.33	36.00	40.00	36.00	40.00	40.00	36.00	40.00
2	B3	41.84	41.03	42.65	148	4.98	0.41	26.00	57.00	38.00	42.00	45.00	35.00	47.00
2	C1	27.00			1	0.00		27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
2	C3	32.74	32.00	33.49	67	3.06	0.37	27.00	41.00	30.00	33.00	36.00	29.00	36.00
2	D2	25.05	23.33	26.77	29	4.53	0.84	13.00	33.00	22.00	24.00	29.00	21.00	32.00
2	D3	22.52	21.52	23.51	103	5.08	0.50	11.00	41.00	20.00	22.30	25.00	17.00	29.00
2	E2	15.78	11.72	19.83	12	6.38	1.84	2.00	24.00	12.50	18.00	20.00	7.30	21.00
2	O1	18.42	16.76	20.07	68	6.83	0.83	6.00	48.00	14.00	18.00	22.00	9.00	27.00
2	P1	43.03	42.20	43.87	230	6.43	0.42	20.00	62.00	38.00	43.00	46.00	35.50	52.00
2	Q1	33.87	32.70	35.04	92	5.65	0.59	11.00	51.00	32.00	34.00	36.00	28.00	39.00
2	R1	12.94	8.88	16.99	13	6.71	1.86	5.00	23.00	6.20	12.00	21.00	6.00	21.00
2	R2	18.08	16.32	19.84	42	5.64	0.87	5.00	31.00	16.00	18.50	21.00	10.00	25.00
3	A3	41.25	34.71	47.79	4	4.11	2.06	36.00	45.00	38.00	42.00	44.50	36.00	45.00
3	B3	38.13	21.84	54.42	3	6.56	3.79	31.00	43.90	31.00	39.50	43.90	31.00	43.90
3	C2	29.00			1	0.00		29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00
3	C3	30.28	27.93	32.62	9	3.05	1.02	25.00	34.00	28.00	31.00	33.00	25.00	34.00
3	D2	19.30	11.37	27.23	7	8.58	3.24	10.00	33.40	13.00	16.00	28.00	10.00	33.40
3	D3	26.68	24.22	29.15	6	2.35	0.96	23.00	29.00	24.70	27.50	28.40	23.00	29.00
3	E2	26.30	23.06	29.53	14	5.60	1.50	14.10	32.00	21.00	28.50	31.00	19.04	31.00
3	F1	5.16	3.96	6.36	37	3.60	0.59	0.82	24.05	4.00	4.92	6.00	2.31	6.40
3	F2	6.92	6.49	7.36	287	3.76	0.22	0.00	21.00	4.00	6.00	9.00	3.00	12.00
3	F3	5.86	5.18	6.54	33	1.91	0.33	1.78	10.00	4.13	6.34	7.33	3.18	8.05
3	P1	41.00			1	0.00		41.00	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00
3	R1	16.32	14.38	18.27	49	6.76	0.97	7.00	33.00	11.00	15.00	18.00	9.00	29.00

Tabella 4. Esempio delle statistiche descrittive in 3 bacini sul valore di argilla

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

Le combinazioni "unità funzionale-bacino" sono state utilizzate per definire un valore medio di argilla, sabbia e limo da attribuire alle delimitazioni della carta dei suoli di pianura 1:50.000. Nel caso dell'argilla di fronte a 264 possibili combinazioni di fatto quelle esistenti sono **166**, definite sulla base dei suoli presenti nelle delimitazioni presenti nel bacino. Di queste solo **110** presentano un numero di osservazioni statisticamente significativo. Per le restanti 56 combinazioni il valore medio di argilla è stato scelto in modo ragionato,



utilizzando l'accoppiata SGF-bacino più simile (per vicinanza territoriale o per suoli presenti nel sottogruppo funzionale). Solo raramente è stata utilizzato il valore medio del sottogruppo funzionale a livello regionale.

Bacino	SGF	N. oss.	Valore medio scelto
1	B3	5	media 6B3
1	C2	9	media 6C2
1	E2	0	media 6E2
1	F1	0	media F1
1	F2	1	media F2
2	A1	0	media A1
2	A2	7	media 7A2
2	A3	1	media 7A3
2	B1	0	mediaB1
2	B2	3	media 7B2
2	C1	1	media 7C1
2	C2	0	media 7C2
2	D1	0	media 7D1
2	E1	0	media 7E1
2	F2	0	media F2
3	A2	0	media 7A2

Tabella 5. Combinazioni Bacino-SGF con siti puntuali non presenti o in numero <10 (esempio su 3 bacini)

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

Nel caso di delimitazioni miste, ossia con suoli ricondotti a gruppi funzionali differenti, sono stati calcolati valori medi ponderati in base alla percentuale di occorrenza di ogni suolo all'interno della delimitazione.

5.3.3 Contenuto di argilla

Il data set complessivo consiste in 30.726 siti dotati di dati analitici sul contenuto di argilla per l'intervallo di profondità di 0-30 cm, campionati in un arco temporale fra il 1974 e il 2014. Per quasi tutti il valore di argilla è stato considerato attendibile e l'87% di questi è stato ricollegato ad un tipo di suolo. Alla fine il dataset utilizzato (argilla attendibile e ricollegamento di suolo presente) consiste in **26.794** analisi (87% del totale) la cui fonte si può suddividere in:

1. osservazioni pedologiche raccolte dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli;
2. prelievi effettuati nell'ambito delle attività di assistenza tecnica per l'agricoltura (ex Servizio Analisi Consulenza Terreni- SACT);
3. dati LUCAS raccolti da ESDAC⁴

ORIGINE	Numero totale	Ricollegati UTS	ARGILLA Attendibile	Ricollegati UTS	% rispetto al dataset utilizzato	Periodo di campionamento	
SGSS	5257	4179	5244	4177	15.6	1974	2014
SACT	25395	22558	25372	22548	84.1	1979	2013
LUCAS	74	72	70	69	00.3	2009	2009
	30726	26809	30686	26794	100.0		

Tabella 6. Analisi disponibili del contenuto di argilla per lo strato 0-30 cm

⁴ JOINT RESEARCH CENTRE. European Soil Data Centre

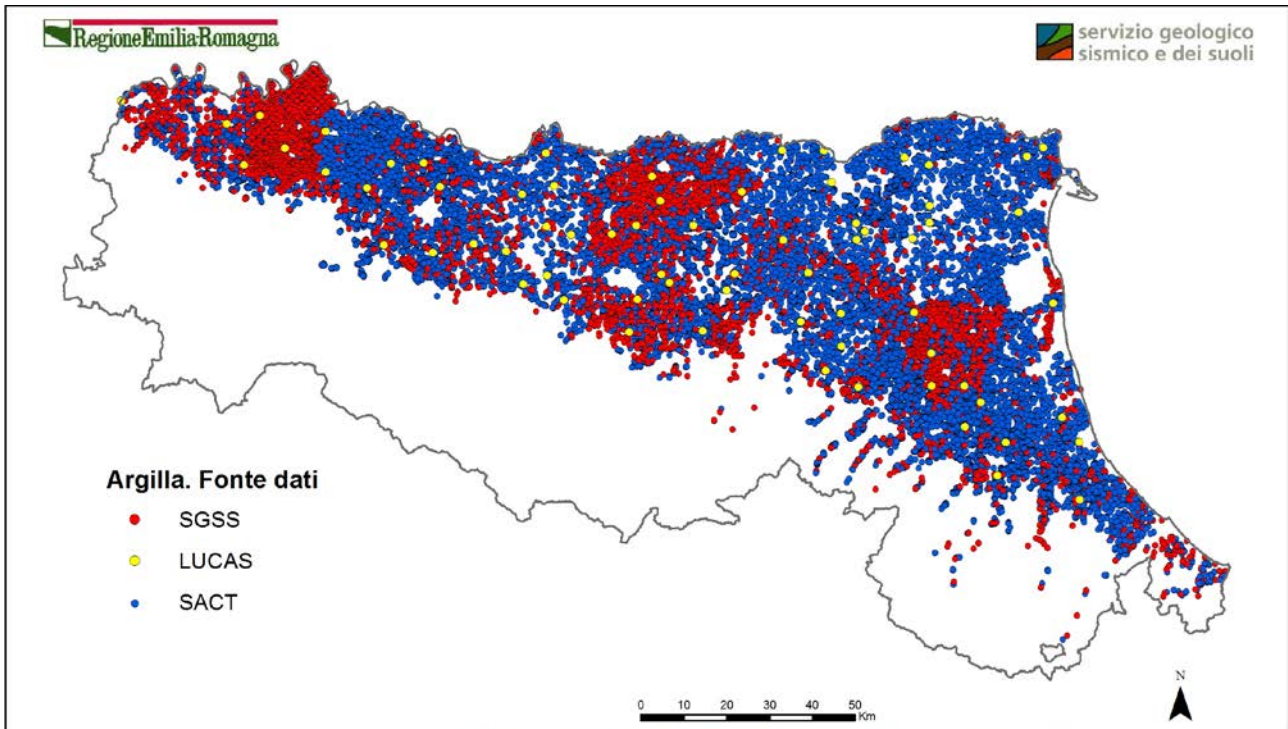


Figura 17. Distribuzione dei 26.794 siti utilizzati per l'elaborazione dell'argilla in base alla fonte dei dati

Il valore medio osservato è pari a $30.8 \pm 0.14\%$, con deviazione standard di 11.5%; la mediana della distribuzione è sostanzialmente coincidente con la media e uguale a 30.0%. Il range dei valori è compreso tra 0.0 e 80.0%; i valori dei quartili della distribuzione sono rispettivamente 22.6 e 38.0% per il primo ed il terzo, mentre il 10° ed il 90° percentile sono pari a 17 e 46%.

5.3.4 Contenuto di limo

Sul data set complessivo di 30.726 siti dotati di dati analitici il valore di limo è stato considerato attendibile per 25.062 siti ricollegati a tipi di suolo (82% del totale).

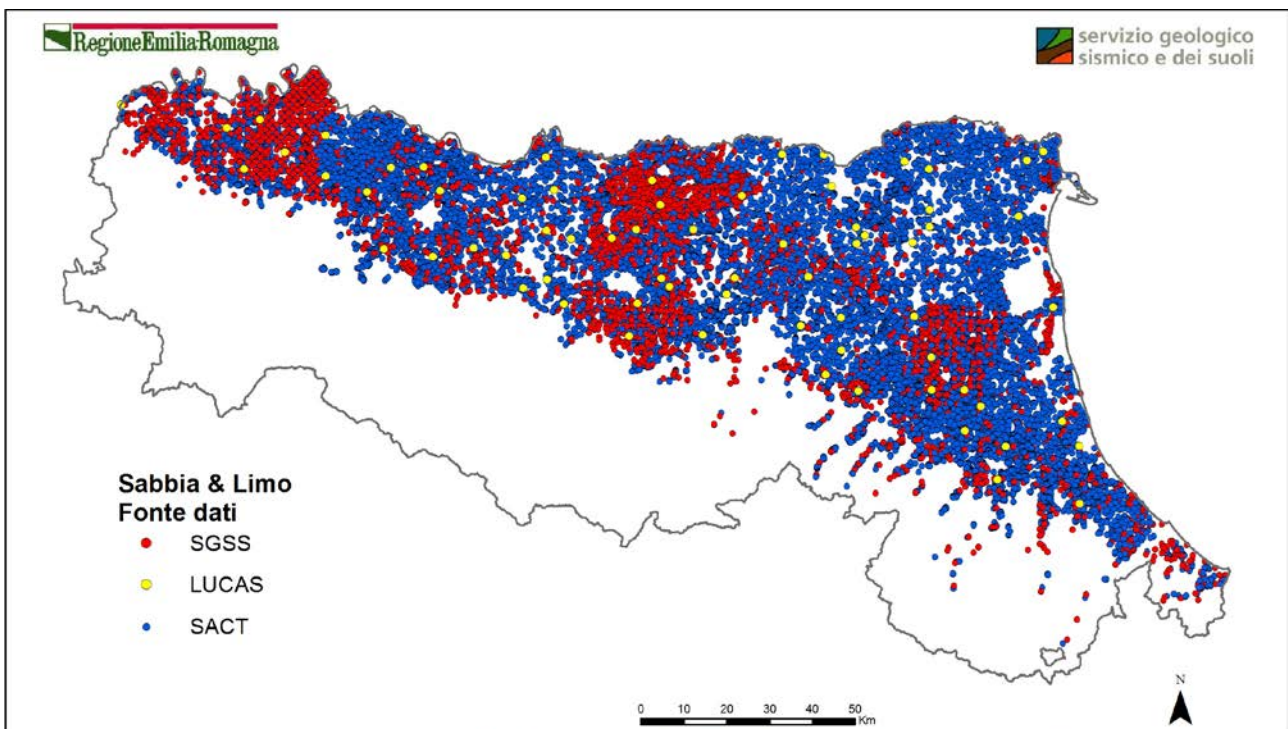


Figura 18. Distribuzione dei 25.062 siti utilizzati per l'elaborazione del limo e della sabbia in base alla fonte dei dati



ORIGINE	Numero totale	Ricollegati UTS	SABBIA & LIMO Attendibile	Ricollegati UTS	% rispetto al dataset utilizzato	Periodo di campionamento	
SGSS	5257	4179	4268	3304	13.2	1974	2014
SACT	25395	22558	24159	21689	86.5	1979	2013
LUCAS	74	72	70	69	00.3	2009	2009
	30726	26809		25062	100.0		

Tabella 7. Analisi disponibili del contenuto di sabbia e limo per lo strato 0-30 cm

Il valore medio osservato è pari a **48.2 ± 0.14%**, con deviazione standard di 10.9%; la mediana della distribuzione è di poco superiore alla media e uguale a 49.0%. Il range dei valori è compreso tra 0.4 e 88.5%; i valori dei quartili della distribuzione sono rispettivamente 43 e 55% per il primo ed il terzo, mentre il 10° ed il 90° percentile sono pari a 35 e 61%.

5.3.5 Contenuto di sabbia

Sul data set complessivo 30.726 siti dotati di dati analitici il valore di sabbia è stato considerato attendibile per **25.062** siti ricollegati a tipi di suolo (82% del totale) come da tabella 7 e figura 18.

Il valore medio osservato è pari a **21.3 ± 0.19%**, con deviazione standard di 15.3%; la mediana della distribuzione è inferiore alla media e uguale a 18.0%. Il range dei valori è compreso tra 0.0 e 97.8%; i valori dei quartili della distribuzione sono rispettivamente 11 e 27% per il primo ed il terzo, mentre il 10° ed il 90° percentile sono pari a 6.6 e 40%.

5.3.6 Elaborazione geostatistica

La definizione dei valori medi è alla base della successiva analisi geostatistica. I valori medi calcolati per ciascuna combinazione SGF/Gruppo di bacino sono stati attribuiti a tutte le osservazioni ricadenti nella medesima unità. 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 regionale⁵ con dimensione della cella di 500m x 500m. 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 $N=100$ simulazioni, mentre l'indice di accuratezza cartografica, ossia l'**attendibilità del dato stimato**, si basa sulla deviazione standard ponderata delle delineazioni e sulla deviazione standard dei residui simulati ($N = 100$). In particolare la deviazione standard calcolata in corrispondenza di ciascuna cella è stata classata in tre intervalli definiti in base ai quartili e alla mediana della distribuzione della deviazione standard (vedi figure 5, 7 ed 9).

Per una descrizione più dettagliata sulla metodologia adottata si rimanda al Rapporto 2.1 Ottobre 2015 di CNR-IBiMet⁶.

⁵ Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli ha costruito a livello regionale ai fini delle analisi geografiche e della modellizzazione, una griglia multiscala con celle di dimensione di 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.

⁶ http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio_pdf/suoli/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf/at_download/file/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf



6 METODOLOGIA UTILIZZATA PER LO SCHELETRO

Nel caso dello scheletro la procedura seguita è stata differente. La stragrande maggioranza dei suoli di pianura è privo di scheletro per cui un'elaborazione geostatistica non aveva molto senso; inoltre il grosso della base dati puntuale (83%) è costituito dai dati SACT, che non sono corredati del dato sulla % di scheletro. A questo punto si sono selezionate dalla carta dei suoli 1:50.000 le delineazioni in cui sono presenti suoli con scheletro superficiale.

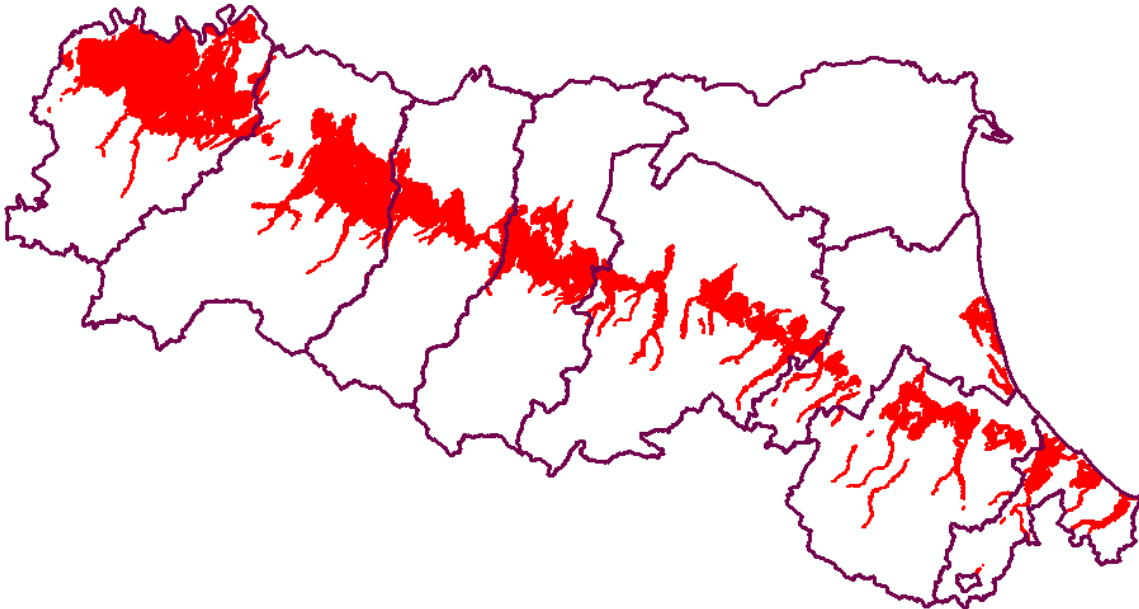


Figura 19. Delineazioni con presenza di suoli con scheletro superficiale

Sono stati estratti dalla banca dati dei suoli tutti i 6097 siti pedologici (profili o trivellate, con analisi o meno, con scheletro superficiale o no) presenti nelle delineazioni selezionate. I valori di scheletro superficiale variano da 0 a 70%.

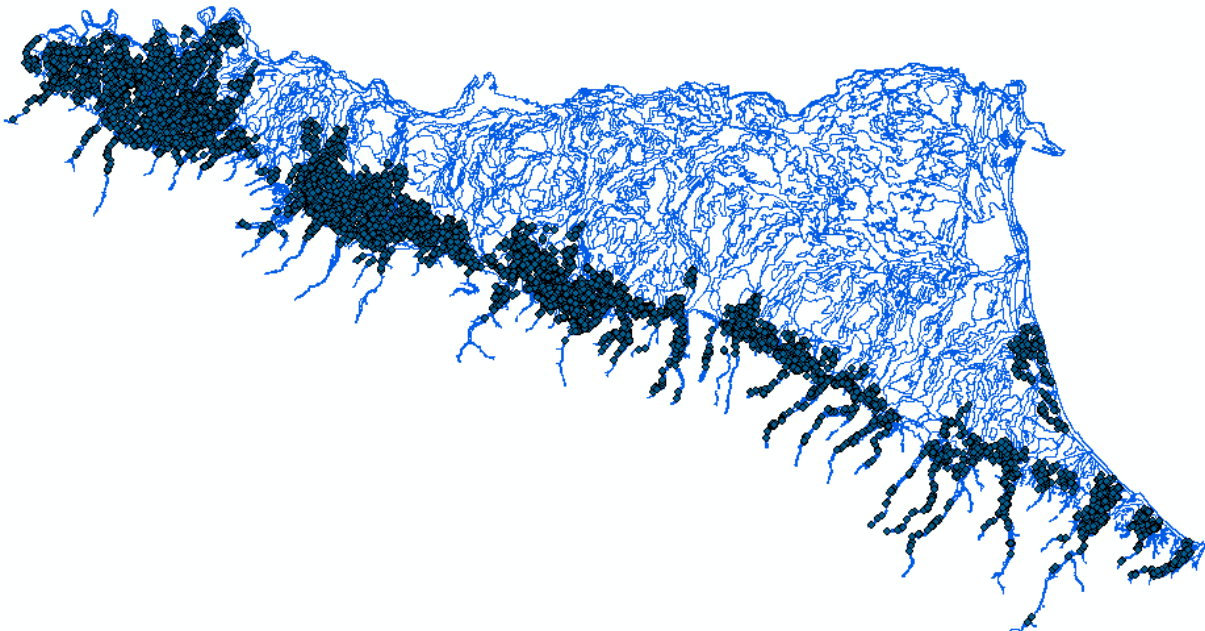


Figura 20. Siti estratti dalla banca dati dei suoli che ricadono nelle delineazioni selezionate

Per valutare la quantità di scheletro è stato poi calcolato il valore medio nella delineazione. Il valore di attendibilità è stato calcolato in base alla deviazione standard osservata in ciascuna delineazione.



7 BIBLIOGRAFIA

- Amorosi A., Guermandi M., Marchi N., Sammartino I. Carta pedogeochimica della pianura emiliano-romagnola alla scala 1:250.000. Note illustrative 2012. http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/CARTA_PEDOGEOCHIMICA.pdf
- Giustolisi, O, Savic, D. A., 2006 A symbolic data-driven technique based on evolutionary polynomial regression. *Journal of Hydroinformatics*, 8 (3), 207–222
- McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L., Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117, 3-52.
- MacQueen J. B. (1967): "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability", Berkeley, University of California Press, 1:281-297
- MEUSIS <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/Meusis/main.html>
- 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
- Soil Survey Division Staff - Soil Survey Manual. USDA. 1993
- Pebesma, E.J., 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, 30: 683-691.
- R version 3.2.0, 2015. The R Foundation for Statistical Computing, <https://www.r-project.org/>
- RStudio Team (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA <http://www.rstudio.com/>; versione 0.98.1103.
- Regione Emilia-Romagna. Carta dei suoli della pianura e di parte della collina emiliano-romagnola in scala 1:50.000. Edizione 2015. http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/carta_suoli_50k.pdf
- Tóth, G., Jones, A., Montanarella, L. (eds.) 2013. LUCAS Topsoil Survey. Methodology, data and results. JRC Technical Reports. Luxembourg. Publications Office of the European Union, EUR26102 – Scientific and Technical Research series – ISSN 1831-9424 (online); ISBN 978-92-79-32542-7; doi: 10.2788/97922"
- Ungaro F., Calzolari C. Carta del contenuto percentuale e dello stock di carbonio delle frazioni granulometriche e della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola (0-30 cm). Rapp. 2.1 Ott. 2015 http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio_pdf/suoli/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf/at_download/file/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf
- Ungaro F., Marchi N., Guermandi M. Carta del fondo naturale antropico della pianura emiliano-romagnola alla scala 1:250.000. Note illustrative 2013. http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/Nota_fondo_naturale_antropico.pdf
- 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., 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
- 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/>