



Regione Emilia-Romagna
AREA GEOLOGIA, SUOLI E SISMICA

Consiglio Nazionale
delle Ricerche | Istituto
per la BioEconomia

**CARTA DEL PH 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\chris-leipelt-qVmbifOhp8c-unsplash(1).jpg

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>



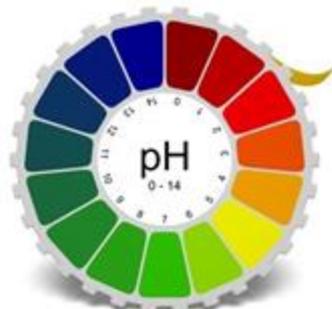
INDICE

1	INTRODUZIONE	5
2	DEFINIZIONI	5
3	DESCRIZIONE DELLA CARTA	8
3.1	Distribuzione del pH nei suoli di pianura	9
3.1.1	Ambiente della pianura alluvionale	10
3.1.2	Ambiente del margine appenninico	11
3.1.3	Ambiente di piana deltizia	12
3.2	Distribuzione del pH nei suoli dell'Appennino	13
3.2.1	Ambiente del basso Appennino	13
3.2.2	Ambiente del medio Appennino	14
3.2.3	Ambiente dell'alto Appennino	15
4	METODOLOGIA UTILIZZATA	17
4.1	Metodologia utilizzata per la pianura	17
4.2	Stime statistiche e geostatistiche	17
4.2.1	Preparazione dati puntuali	17
4.2.2	Calcolo delle statistiche descrittive	18
4.2.3	Definizione del valore medio di riferimento e calcolo dei valori ponderati	18
4.2.4	Elaborazione geostatistica	19
4.3	Metodologia utilizzata per l'Appennino	21
5	CONSULTAZIONE DELLA CARTA DEL PH SUL WEB	25
5.1	Elenco dei siti di consultazione e loro caratteristiche	25
5.2	Consultazione sul sito Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna (MokaSuoli)	26
5.3	Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH	27
5.4	Consultazione sul sito CATALOGO DEI SUOLI REGIONALE	28
5.5	Consultazione sul GeoViewER Moka	29
5.6	Consultazione sul visualizzatore del Geoportale dell'Emilia-Romagna	30
5.7	Scaricamento dati	31
5.8	Consultazione come servizio WMS	32
6	BIBLIOGRAFIA	33





1 INTRODUZIONE



La “Carta del pH nei suoli della regione Emilia-Romagna – strato 0-30 cm” rappresenta un’utile cartografia di base per una vasta gamma di problematiche legate all’uso agricolo., Ad esempio, il pH è un dato indispensabile per la formulazione del piano di fertilizzazione e l’applicazione dei DPI - Disciplinari di Produzione Integrata.

Costituisce inoltre, insieme alla carta della tessitura, 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 di pH superficiali diversi dai suoli principali.

Il sistema di classificazione adottato dalla Regione per la suddivisione del pH è quello proposto dal Dipartimento dell’Agricoltura degli Stati Uniti d’America (Soil Science Division Staff. 2017.).

La “Carta del pH nei suoli della regione Emilia-Romagna”, con riferimento ai primi 30 cm di suolo, fornisce una stima del valore di pH in un dato ambito territoriale in ragione dei diversi tipi di suolo in esso presenti. Nel caso della pianura i valori di pH variano da molto fortemente acidi a fortemente alcalini, anche se nella stragrande maggioranza i valori si collocano nelle classi debolmente o moderatamente alcaline, come evidente dalla tabella 1 e figura 1.

Classe	Definizione	Ha ¹	%
<3.5	Ultracido	0	0
3.5 - 4.4	estremamente acido	35	0
4.5 - 5.0	molto fortemente acido	16.824	0.8
5.1 - 5.5	fortemente acido	44.583	2.1
5.6 - 6.0	moderatamente acido	52.024	2.4
6.1 - 6.5	debolmente acido	95.806	4.4
6.6 - 7.3	neutro	192.196	8.8
7.4 - 7.8	debolmente alcalino	1.074.854	49.4
7.9-8.4	moderatamente alcalino	690.599	31.8
8.5 - 8.9	fortemente alcalino	6.698	0.3
> 9.0	molto fortemente alcalino	153	0
		2.173.772	100.0

Tabella 1. Classi di pH secondo il manuale USDA e loro distribuzione in Emilia-Romagna nello strato 0-30 cm

2 DEFINIZIONI

Con il termine **pH o reazione** s’intende un indice numerico correlato all’acidità, ossia alla concentrazione di ioni idrogeno presenti nella soluzione del suolo. Più ioni idrogeno sono trattenuti dal complesso di scambio rispetto agli ioni basici (Ca, Mg, K) trattenuti, maggiore è l’acidità del suolo.

I suoli diventano acidi quando gli elementi basici come calcio, magnesio, sodio e potassio, trattenuti dai colloidali del suolo, vengono sostituiti da ioni idrogeno. I suoli formati in condizioni di elevata piovosità annuale sono più acidi di quelli formati in condizioni più aride.

Questo parametro esercita una forte influenza sulle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche del suolo.

Il pH del suolo può influire su molti processi chimici e, in particolare, sulla disponibilità di nutrienti per le piante, influenzando le reazioni chimiche a cui sono sottoposte.

Nei suoli esiste la tendenza a resistere alle variazioni di pH della soluzione circolante, e questa resistenza è detta **potere tampone**. L’effetto tampone è importante in quanto porta a prevenire drastici cambiamenti di pH nella soluzione circolante, che potrebbero influire negativamente su piante ed attività microbiologica. Ad

¹ La superficie è calcolata al netto di corpi d’acqua e corsi d’acqua



esempio, suoli ben tamponati resistono all' effetto acidificante delle piogge, con effetti benefici sul suolo e sulle qualità delle acque di drenaggio. In secondo luogo, l'effetto tampone va preso in considerazione quando si voglia intervenire con ammendanti (come calce e zolfo) per far variare il pH.

Il potere tampone nei suoli è molto variabile, ed a parità di altri fattori è direttamente correlato alla capacità di scambio cationico (CSC), per cui, ad esempio, un suolo franco argilloso con il 6% in sostanza organica ed il 20% di minerali argillosi 2:1 è sicuramente più tamponato di un suolo franco sabbioso con il 2% di sostanza organica ed il 10% di minerali argillosi 1:1 (caolinite). In genere risultano più tamponati i suoli con pH < di 5 e > di 7; nei primi l'efficacia dell'azione di tamponamento è affidata ai composti dell'Al, nei secondi ai carbonati, mentre risultano meno tamponati i suoli a pH intermedio, nei quali il principale meccanismo di tamponamento è affidato al complesso di scambio.

Il pH della soluzione circolante nel suolo determina la disponibilità in nutrienti per le piante, come pure l'attività microbiologica. Nei suoli molto acidi la disponibilità di macronutrienti (Ca, Mg, K, P, N, S) come pure di alcuni micronutrienti (Mo, B) è molto limitata, mentre aumenta notevolmente la disponibilità in cationi micronutrienti (Fe, Mn, Zn, Cu, Co) che può raggiungere livelli tossici. A pH sub-alcalini i livelli di disponibilità in Fe, Mn, Zn, Cu e Co sono bassi e possono raggiungere valori di deficienza, mentre un ulteriore aumento di pH può portare a gravissime deficienze anche in P e B.

L'intervallo di pH migliore per la maggior parte delle piante è compreso tra 5.5 e 7.5, anche se molte piante si sono adattate a sopravvivere a valori di pH al di fuori di questo intervallo.

Molte specie vegetali, infatti, sono relativamente indifferenti al pH, nel senso che sono in grado di crescere e svilupparsi in campi di pH che vanno dall'acido (sub-acido) al sub-alcalino, altre invece sono molto più esigenti e richiedono un campo di pH più ristretto: ad esempio tra 6.5 e 7.5 (neutrofile obbligate), oppure tra 4 e 5 (acidofile obbligate, pena clorosi per deficienze ferriche), altre decisamente sub-alcalino (da 7.0 - 8.0 a 8.5), altre ancora superiore al campo sub-alcalino (> 8.0 - 8.5, piante alofile).

Nelle tabelle seguenti sono indicati i range di **pH ottimali** per la crescita delle principali colture erbacee, arboree e orticole coltivate in Emilia-Romagna.

Colture erbacee	pH del suolo								
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
Avena									
Barbabietola da zucchero									
Colza									
Erba medica									
Farro									
Favino									
Frumento									
Girasole									
Mais									
Orzo									
Pomodoro									
Riso									
Segale									
Soia									
Sorgo									
Trifoglio ibrido									
Trifoglio incarnato									
Trifoglio ladino									
Trifoglio violetto									
Triticale									
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5

Tabella 2. Range di pH del suolo ottimali per la crescita delle principali colture erbacee presenti in Emilia-Romagna



Nel caso delle colture arboree l'adattabilità al pH del suolo dipende anche dal portainnesto.

Colture arboree	pH del suolo									
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	
Actinidia										
Albicocco										
Castagno da frutto										
Ciliegio										
Kaki										
Melo										
Nocciolo										
Noce da frutto										
Pero										
Pesco										
Susino										
Olivo										
Vite										
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	

Tabella 3. Range di pH del suolo ottimali per la crescita delle principali colture arboree presenti in Emilia-Romagna

Colture orticole	pH del suolo									
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	
Aglio										
Anguria										
Asparago										
Basilico										
Bietola da coste e a foglia										
Carota										
Cavoli										
Cece										
Cetriolo										
Cipolla										
Fagiolino										
Fagiolo										
Finocchio										
Fragola										
Lattuga										
Melanzana										
Melone										
Patata										
Peperone										
Pisello										
Porro										
Prezzemolo										
Ravanello										
Rucola										
Scalognolo										
Sedano										
Spinacio										
Zucca										
Zucchini										
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	

Tabella 4. Range di pH del suolo ottimali per la crescita delle principali colture orticole presenti in Emilia-Romagna



3 DESCRIZIONE DELLA CARTA

La “Carta del pH nei suoli della regione Emilia-Romagna. Strato 0-30 cm”, come più ampiamente descritto nel paragrafo Metodologia Utilizzata, è il risultato di due diversi tipi di elaborazione a seconda dell’ambiente (pianura e Appennino) e della numerosità dei dati presenti. Entrambe le elaborazioni, a partire da valori puntuali di carbonio organico, tengono conto della distribuzione dei diversi tipi di suolo nel territorio regionale. Ne esce un quadro descrittivo che riflette non solo la distribuzione dei suoli ma anche le pratiche colturali che insistono sui suoli influenzandone il contenuto in sostanza organica.

Nell’ambiente di **pianura** è si è utilizzato un approccio basato su simulazioni **geostatistiche** (in modo analogo alla carta pubblicata nel 2020), il quale, a partire da valori puntuali di carbonio organico, tiene conto della distribuzione dei suoli a cui questi valori si riferiscono condizionando la stima al valore medio delle delimitazioni della carta dei suoli in scala 1:50,000.

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

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

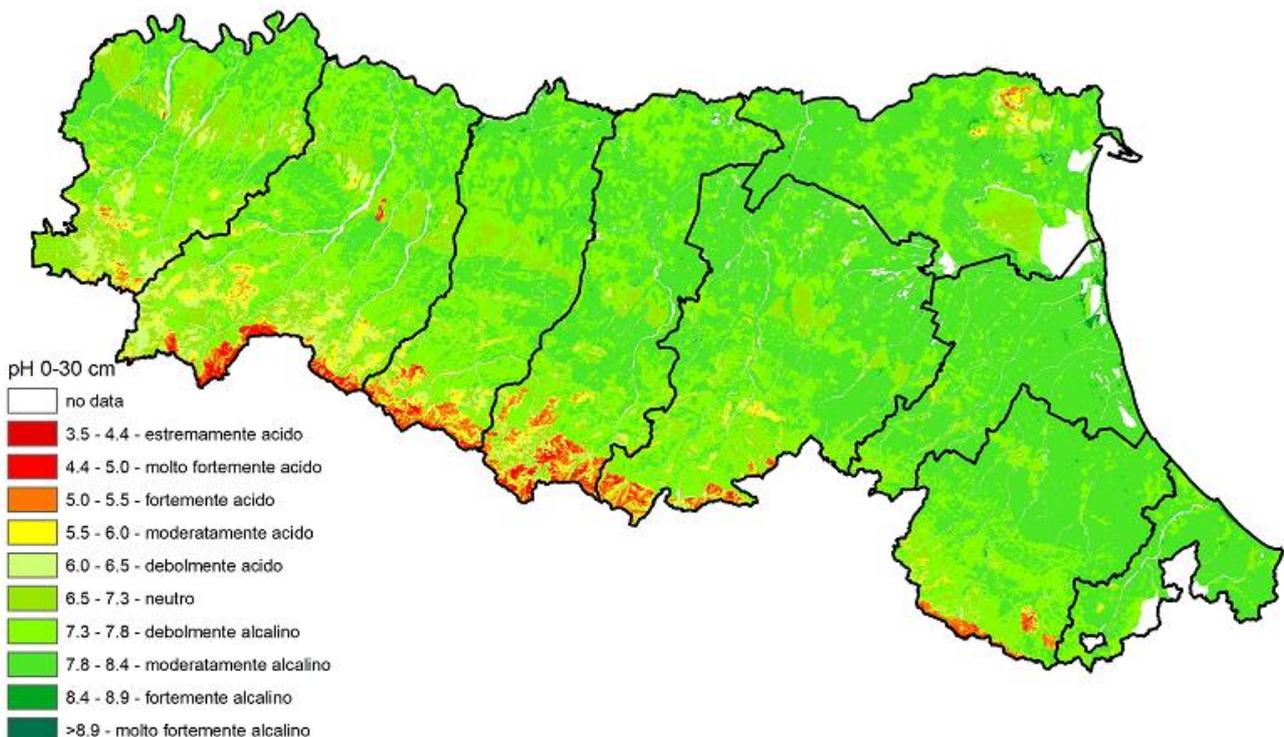


Figura 1. Carta del pH nei suoli della Regione Emilia-Romagna. 2° edizione



A differenza dell'edizione precedente, che era uno strato vettoriale, la carta presente è composta da **2 strati raster a pixel di 100m x 100m**: pH e accuratezza dei valori stimati.

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

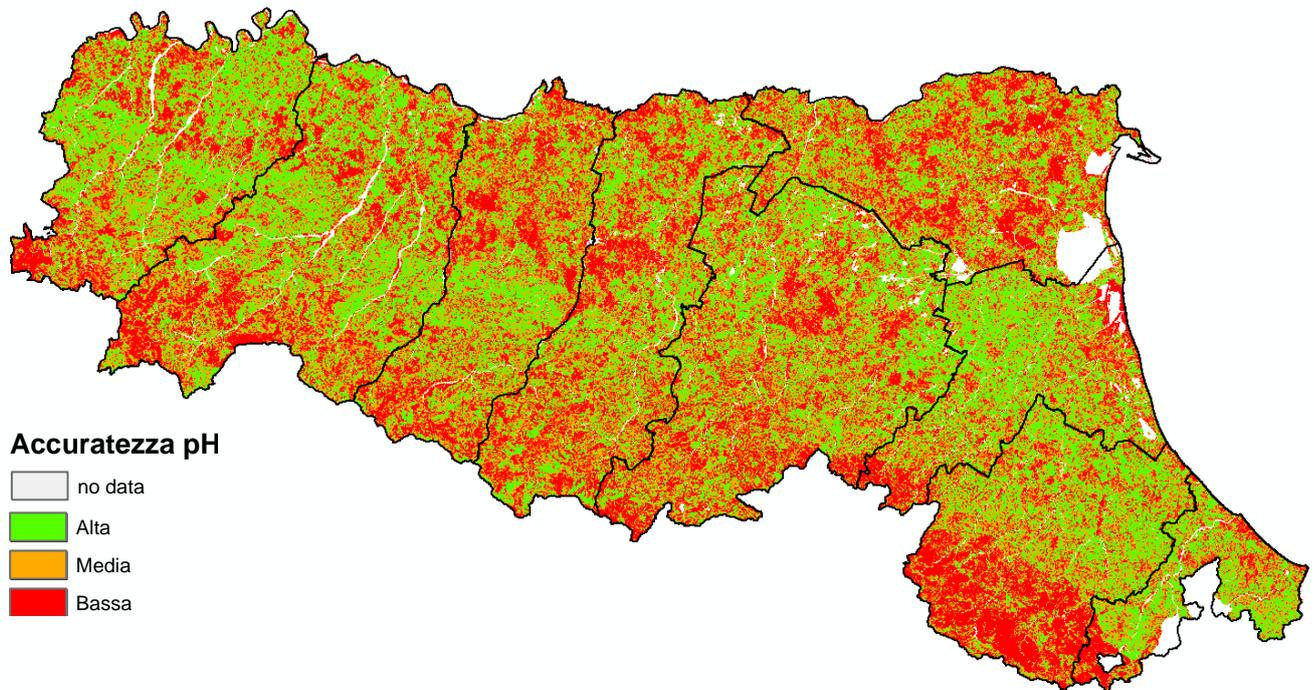


Figura 2. Carta dell'attendibilità (indice qualitativo di accuratezza cartografica) del pH

La figura 1 illustra come si distribuiscono sul territorio regionale i suoli in base al pH. I più diffusi sono i suoli debolmente alcalini (7.3-7.8), seguiti dai moderatamente alcalini (7.8-8.4) (tab. 1).

3.1 Distribuzione del pH nei suoli di pianura

La distribuzione del pH descrive abbastanza bene i principali ambienti di cui si caratterizza la pianura emiliano-romagnola. I suoli non hanno un forte grado di differenziamento rispetto ai materiali originari, a causa dell'epoca relativamente recente a cui risalgono sia la fine della deposizione dei sedimenti, sia il prosciugamento delle depressioni morfologiche dalle acque palustri. Sono tuttavia rilevanti le modificazioni, soprattutto a livello degli orizzonti superficiali, di numerose proprietà (ad es. regime idrico, aggregazione, porosità, reazione), come conseguenza degli interventi di bonifica e delle correnti pratiche agricole (lavorazioni del terreno, irrigazioni, drenaggi, apporti di fertilizzanti, fitofarmaci ecc.). Gran parte della bassa pianura potrebbe ancora essere potenzialmente soggetta ad inondazioni e ad apporti sedimentari in seguito a rotture e tracimazioni degli argini artificiali dei fiumi appenninici (vedi ad. es. inondazione della Romagna del 2023), mentre la parte relativa all'alta pianura e del margine appenninico corre questo rischio in modo minore. La stabilità di questi suoli nel tempo ha comportato la lisciviazione delle basi del complesso d scambio e quindi la presenza, almeno negli orizzonti superficiali, di pH neutri o più bassi.

Come si può vedere nella figura 1, i suoli moderatamente e debolmente e alcalini caratterizzano largamente la pianura alluvionale recente (90% circa), indipendentemente dalla tessitura, in quanto dominata da suoli che sono da moderatamente a fortemente calcarei. I suoli moderatamente alcalini sono un poco più diffusi dei debolmente alcalini (46% contro 44%). Valori di pH superiori a 8.4 sono piuttosto sporadici (0.6% della pianura), mentre poco diffusi sono i suoli con pH < 7.3 (9.4% della pianura, fra cui i suoli neutri sono la maggioranza -7.6%)

Gli ambienti in cui si possono trovare suoli da debolmente a molto fortemente acidi (pH<6.5) sono la zona del margine appenninico fra Piacenza e Reggio Emilia, la pianura deltizia del Po in aree di palude salmastra bonificate nella provincia di Ferrara e limitate aree della vecchia piana a meandri del Po nel piacentino.



3.1.1 Ambiente della pianura alluvionale

Nella bassa pianura alluvionale i suoli presenti sono molto calcarei, con il complesso di scambio completamente saturato da basi (TSB=100) e i valori di pH sono compresi nelle classi moderatamente alcalino e debolmente alcalino. Valori di pH > 8.4 sono rari e per lo più legati a situazioni dove il calcare totale è particolarmente elevato (zona costiera romagnola in particolare).

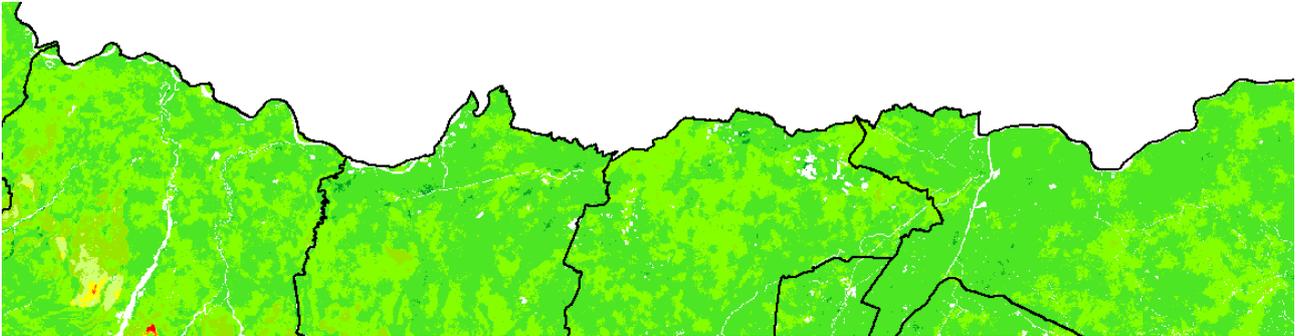


Figura 3. Valori di pH nei suoli della bassa pianura alluvionale appenninica di Parma, Reggio Emilia, Modena e Ferrara

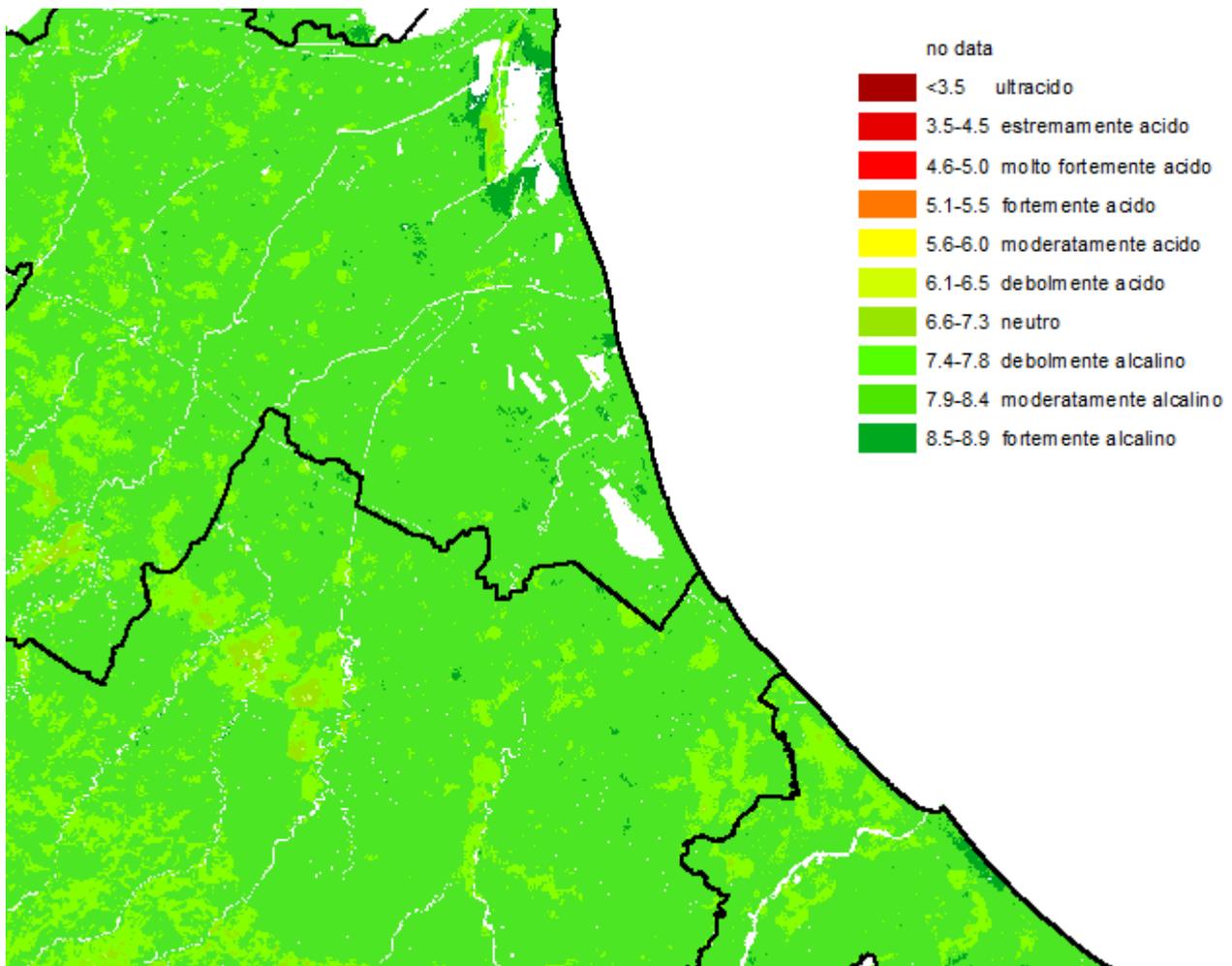


Figura 43. Valori di pH nei suoli della bassa pianura alluvionale appenninica ravennate, forlivese e riminese



3.1.2 Ambiente del margine appenninico

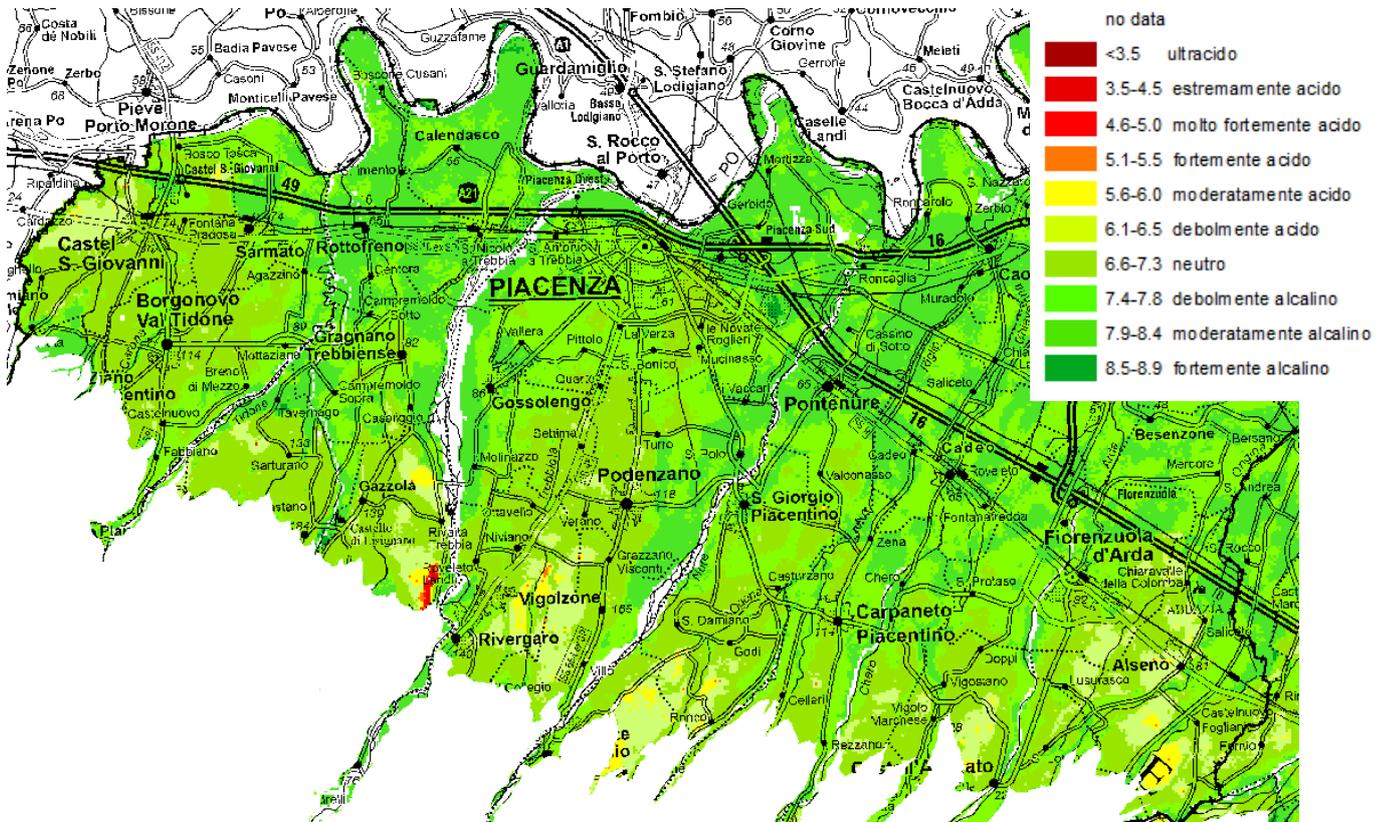


Figura 5. Distribuzione del pH nei suoli della pianura di Piacenza

I suoli del margine appenninico (alfisuoli di età pleistocenica) sono stati in certi casi gli ultimi ad essere stati messi a coltura. Laddove si è mantenuta la copertura forestale (per esempio Boschi di Carrega, Bosco della Croara) i valori di pH negli orizzonti superficiali si trovano talora nella classe estremamente acida (3.5-4.4), ma gli stessi suoli ad uso agricolo hanno di solito pH più alti (da moderatamente a debolmente acidi).

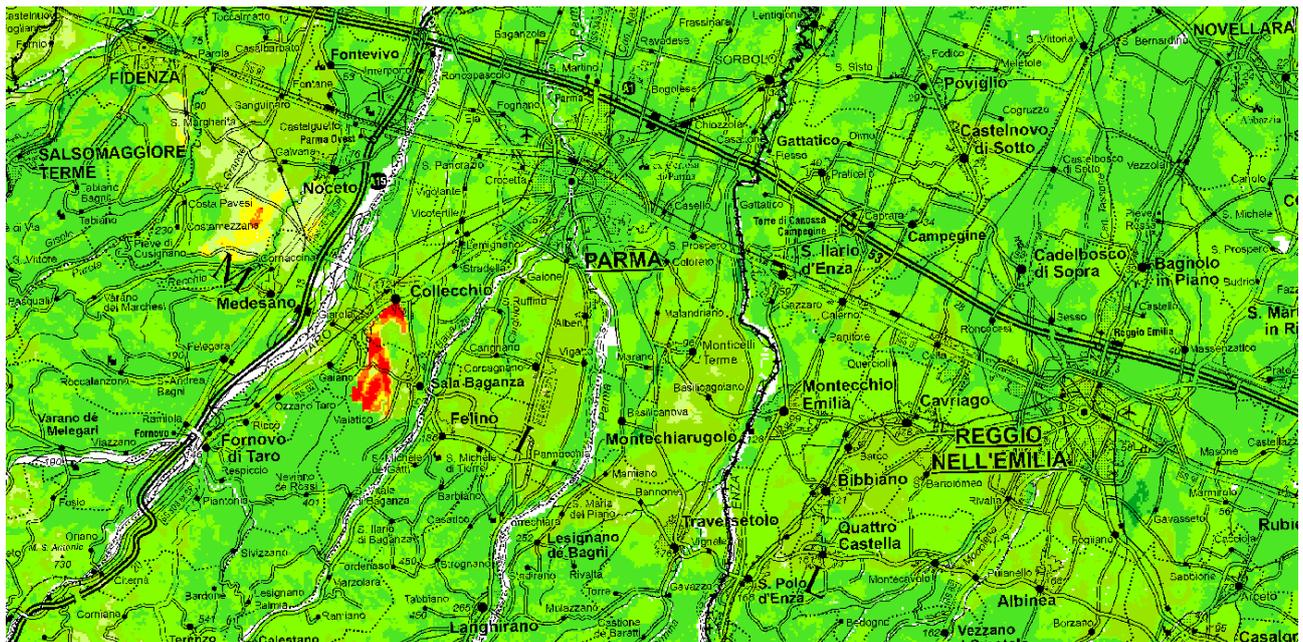


Figura 6. Distribuzione del pH nei suoli del margine appenninico parmense e reggiano



3.1.3 Ambiente di piana deltizia

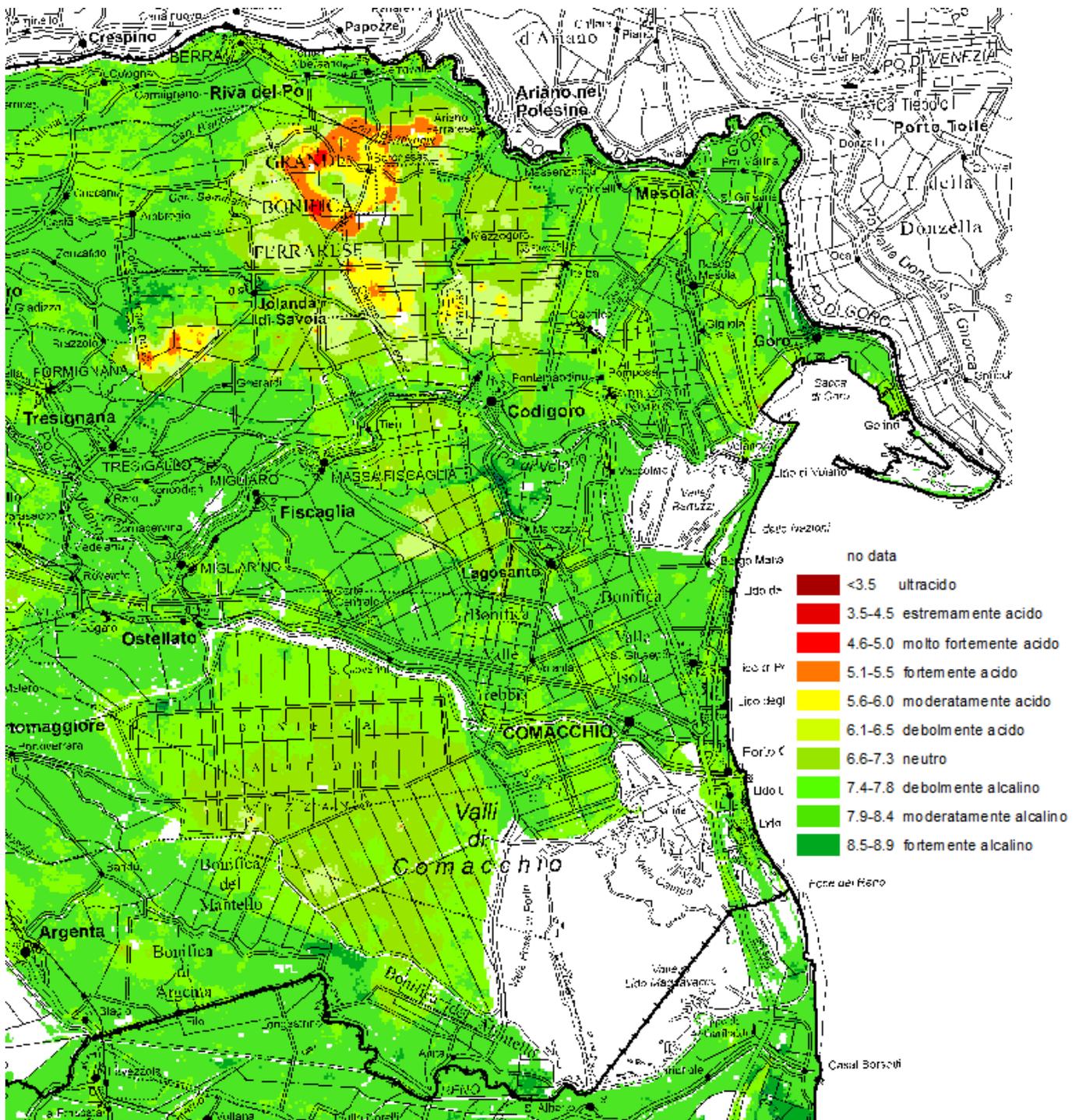


Figura 74. Distribuzione del pH nei suoli della piana deltizia ferrarese

I bassi valori di pH presenti in alcune parti delle valli bonificate del delta ferrarese sono legati alla presenza di torbe. Spesso in superficie i valori di pH risultano più alti di quanto ci si aspetti, dovuto al diffuso utilizzo di calcitazioni.

Nella pianura deltizia interna i valori di pH sono più elevati (classi moderatamente alcalino e debolmente alcalino). I suoli derivati dai sedimenti del Po sono in genere meno calcarei rispetto ai suoli derivati da sedimenti appenninici, ma i valori di pH sono simili a quelli della pianura alluvionale appenninica.



3.2 Distribuzione del pH nei suoli dell'Appennino

In questo ambiente i fattori che entrano in gioco sono l'aumentare della quota, che comporta un clima più piovoso e quindi un aumento della lisciviazione nei suoli; la tessitura dei suoli (suoli più grossolani tendono a lisciviare più facilmente), la composizione mineralogica delle rocce e l'intensità del fenomeno erosivo (fattore di ringiovanimento del suolo).

3.2.1 Ambiente del basso Appennino

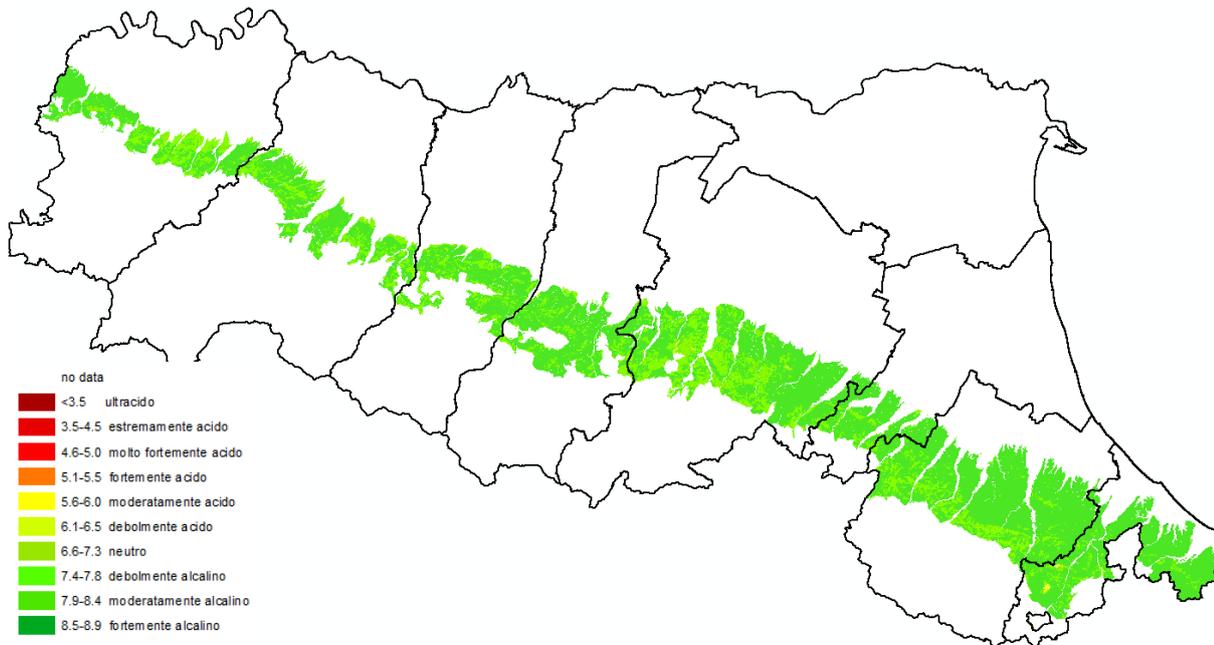


Figura 5. Distribuzione del pH nei suoli del basso Appennino

In questo ambiente i suoli si sono formati in materiali derivati da rocce generalmente a matrice carbonatica, tenere e facilmente alterabili; i litotipi sono costituiti da arenarie e peliti stratificate e da depositi prevalentemente argillosi e marnosi, con assetto caotico, inglobanti principalmente calcari ed arenarie, o da depositi pelitico-sabbiosi; molto localizzate rocce evaporitiche del Messiniano. Rispetto a tali materiali originari, i suoli si sono differenziati in seguito a processi di alterazione di tipo biochimico, con riorganizzazione interna dei carbonati. Il regime idrico, per l'alternarsi di stagioni piovose e periodi caldi e secchi, favorisce la mobilizzazione dei sali solubili e la rideposizione all'interno del suolo dei precipitati carbonatici, sotto forma di cristalli, concrezioni, concentrazioni soffici. Sono diffusi suoli a forte grado di differenziazione del profilo, con un consistente accumulo di carbonati negli orizzonti profondi o nel substrato. A causa di fenomeni frequentemente ripetuti di ruscellamento discontinuo e concentrato, molti suoli hanno un moderato grado di differenziazione del profilo, con scarsi accumuli carbonatici.

Alcuni suoli a tessitura fine sono caratterizzati, oltre che da tali processi, dall'alternanza di fenomeni di contrazione e rigonfiamento dei materiali argillosi, conseguenza delle variazioni stagionali di umidità nelle argille a reticolo espandibile.

Sono molto diffusi suoli d'erosione, embrionali e poco differenziati dal substrato litologico per fenomeni generalizzati e frequentemente ripetuti di ruscellamento concentrato e discontinuo.

Prevalgono suoli a tessitura media o fine calcarei e i valori di pH ricadono prevalentemente nella classe moderatamente alcalina (7.9-8.4). La presenza di zone a pH più bassi (suoli debolmente alcalini o neutri, talora debolmente acidi) è legata a litologie più grossolane e/o all'uso a bosco e sono presenti specialmente nella collina bolognese, piacentina e romagnola (laddove presente la formazione della Marnosa-arenacea). L'uso del suolo gioca un ruolo minore: i boschi ricoprono solo il 35% della superficie e spesso sono ex coltivi. In questo ambiente i suoli spesso non presentano differenze significative sotto diversi usi del suolo. Sotto copertura forestale di solito i fenomeni di lisciviazione e di accumulo di sostanza organica sono più accentuati e questi processi tendono a favorire l'abbassamento del pH.



3.2.2 Ambiente del medio Appennino

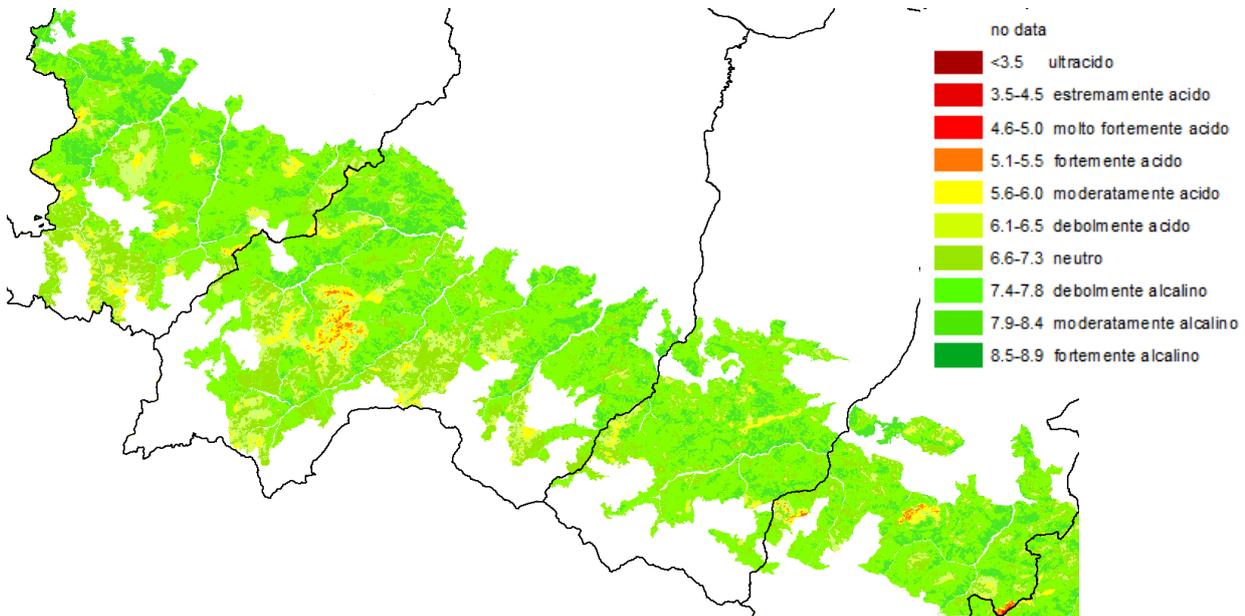


Figura 6. Distribuzione del pH nei suoli del medio Appennino occidentale-centrale

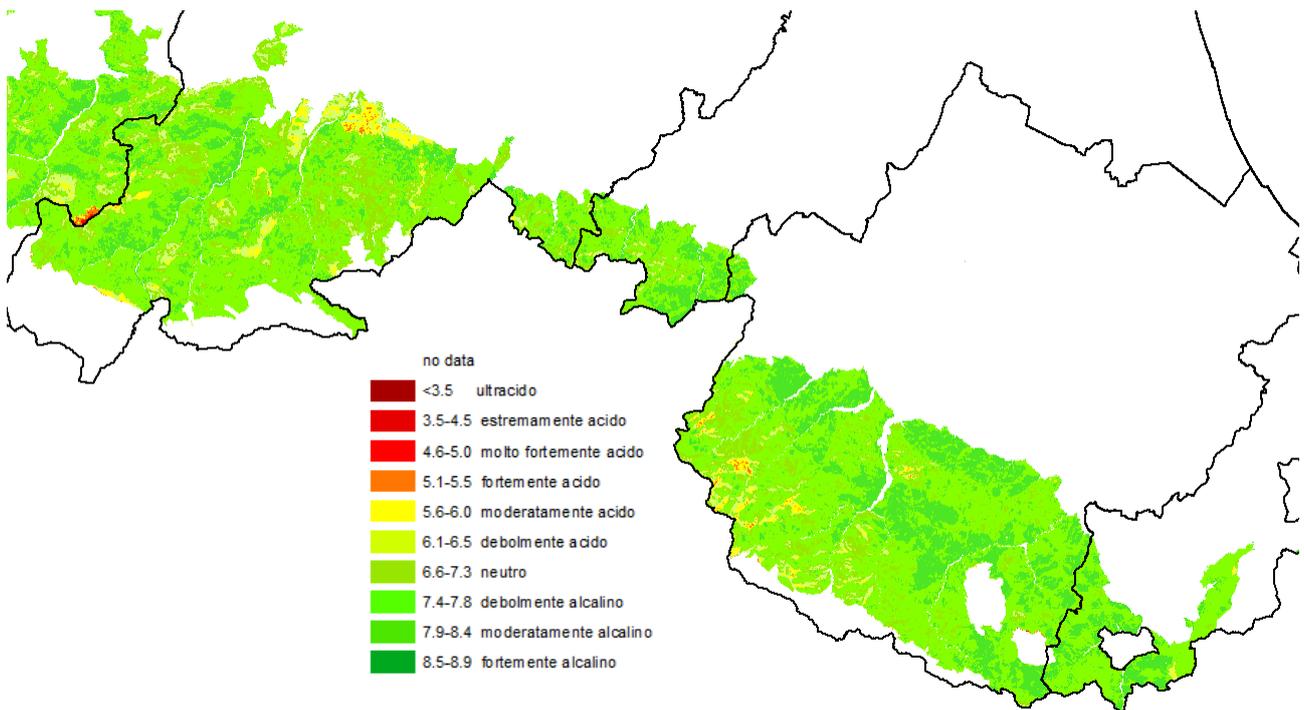


Figura 7. Distribuzione del pH nei suoli del medio Appennino centrale-orientale

In questo ambiente il fattore quota inizia ad acquisire importanza, così come l'uso del suolo (i boschi occupano il 62% della superficie). Questi suoli si sono formati in materiali derivati tipicamente da rocce sedimentarie, costituite da stratificazioni calcareo-marnose o pelitico-arenacee e da complessi di base prevalentemente argillosi e marnosi, ad assetto caotico ed inglobanti calcari, arenarie, ofioliti; molto localizzate rocce marnose, arenarie quarzoso-feldspatiche, evaporiti triassiche. L'alternarsi stagionale di rilevanti eccedenze idriche autunno-primaverili e di periodi secchi estivi brevi e poco accentuati comporta un drenaggio climatico dei suoli di tipo sub-percolativo, favorevole alla lisciviazione dei sali più solubili ed alla decarbonatazione.

Le classi di pH più frequenti sono debolmente alcalina e neutra, ma sono presenti vaste zone di suoli con pH inferiori.



3.2.3 Ambiente dell'alto Appennino

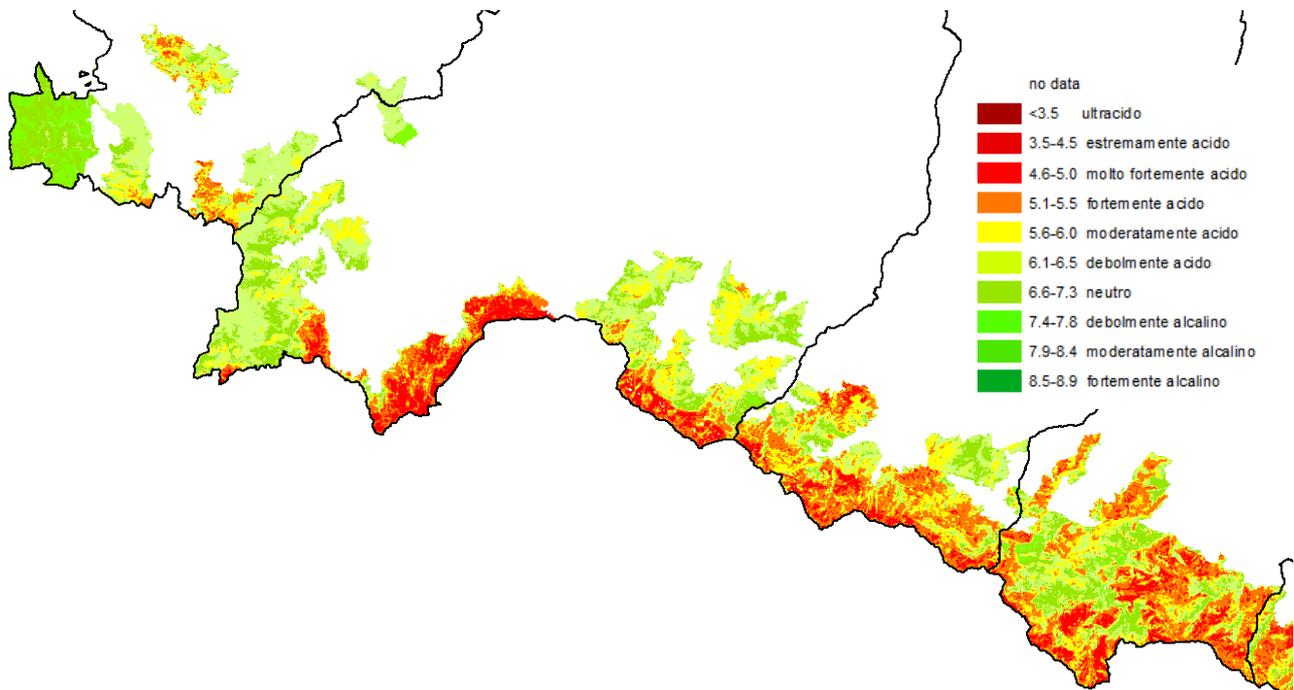


Figura 8. Distribuzione del pH nei suoli dell'alto Appennino occidentale-centrale

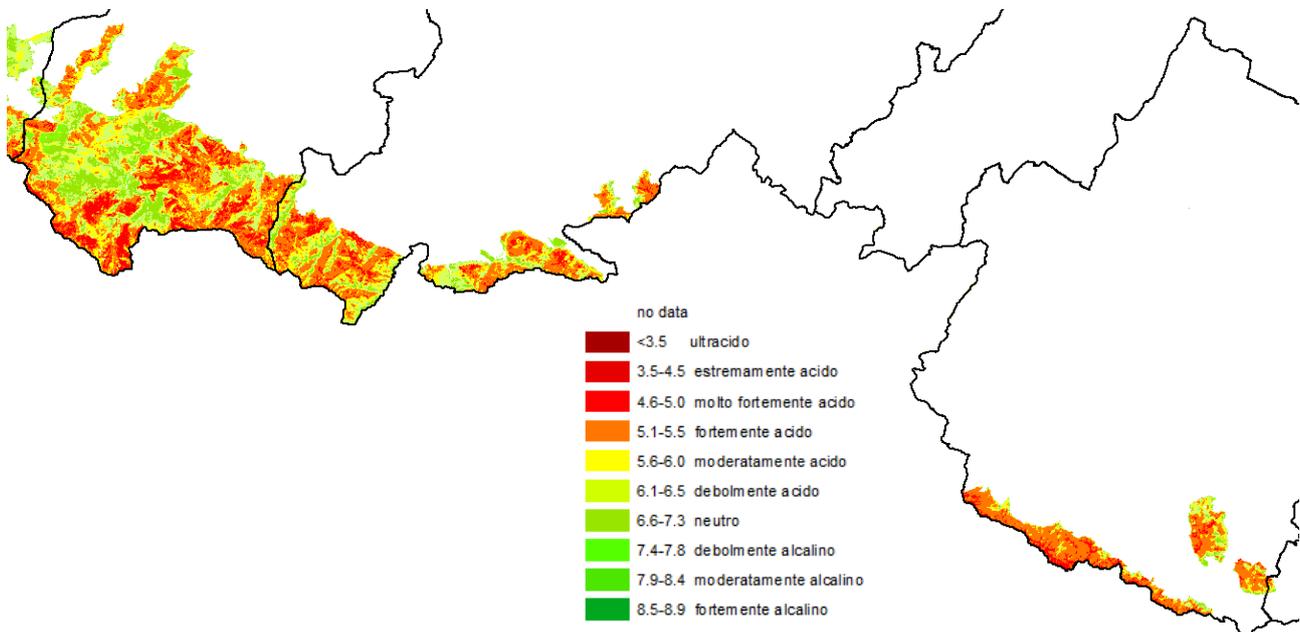


Figura 9. Distribuzione del pH nei suoli dell'alto Appennino centrale-orientale

In questo ambiente i suoli si sono formati prevalentemente in materiali derivati da rocce sedimentarie torbiditiche, arenaceo-pelitiche, a composizione quarzoso-feldspatica e litica; subordinate le rocce ofiolitiche, argillose, calcaree. Prevale l'uso forestale a dominanza del faggio (84% della superficie) e a pascolo e oltre il limite superiore della vegetazione arborea predominano cespuglieti a mirtili e praterie a nardo. I processi erosivi per ruscellamento discontinuo e concentrato, pur condizionando l'evoluzione della maggior parte dei suoli, non hanno tuttavia impedito il differenziamento dei suoli rispetto ai materiali litoidi originari.

Il drenaggio climatico nettamente percolativo, con una piovosità che per quasi tutto il corso dell'anno eccede l'evapotraspirazione potenziale, favorisce i trasferimenti e le uscite dai suoli di materiali in soluzione e in sospensione, con il deflusso profondo o ipodermico delle acque di percolazione. Le basse temperature comportano una lenta decomposizione dei materiali organici nel suolo - ad esempio della lettiera forestale,



delle radici delle formazioni erbacee - i quali tendono ad accumularsi in superficie sovrapponendosi agli orizzonti minerali; l'entità del fenomeno è particolarmente accentuata alle quote più elevate. La lentezza dei fenomeni di trasformazione e riorganizzazione della sostanza organica orienta i processi di alterazione e la natura dei materiali che vengono messi in migrazione dalle acque, favorendo la decalcificazione del suolo.

Nell'insieme, predominano suoli ad alterazione biochimica con fenomeni più o meno accentuati di acidificazione e di accumulo di materiali organici, incorporati negli orizzonti superficiali; secondo il forte o debole grado di differenziazione del profilo. Sono molto circoscritti suoli poco evoluti per fenomeni intensi e frequentemente ripetuti di ruscellamento.

Un'emergenza locale è costituita da suoli con sostanza organica molto acida, poco trasformata e sovrapposta al suolo minerale, la quale favorisce la formazione e la mobilizzazione di complessi organo-metallici, che, trascinati negli orizzonti profondi, si insolubilizzano e si accumulano. Questi suoli occupano aree molto limitate, tipicamente a quote elevate su depositi morenici.

Sono molto diffusi suoli da moderatamente a estremamente acidi, specialmente alle quote più alte e su litotipi arenacei; laddove invece prevalgono suoli a tessitura media o più fine i valori di pH in superficie sono più alti (da neutri a debolmente acidi).



4 METODOLOGIA UTILIZZATA

4.1 Metodologia utilizzata per la pianura

I dati di pH (per via potenziometrica in soluzione acquosa 1:2.5. Metodo III.1 D.M. 13/09/1999) 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 riferite allo strato 0-30 cm. Ove necessario (nel caso di più valori per l'intervallo 0-30 cm) il dato per l'intervallo di riferimento è stato interpolato tramite spline (Bishop et al., 1999; 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. normalizzazione dei residui, modellizzazione del semivariogramma dei residui ed elaborazioni cartografiche basate su simulazioni sequenziali.

4.2 Stime statistiche e geostatistiche

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

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

4.2.1 Preparazione dati puntuali

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

1. osservazioni pedologiche raccolte dall'area Geologia, Suoli e Sismica del settore Difesa del Territorio della direzione Cura del territorio e dell'Ambiente);
2. prelievi effettuati nell'ambito delle attività di assistenza tecnica per l'agricoltura di proprietà del Settore programmazione, sviluppo del territorio e sostenibilità delle produzioni della Direzione Agricoltura);
3. dati di monitoraggi provenienti da varie fonti. Per i monitoraggi sono stati utilizzati i dati analitici più recenti. I dati LUCAS non sono stati utilizzati in quanto il dato è stato determinato in diluizione 1:5.

Il data set complessivo consiste in **30.981** 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	2020	7788	25.14
SACT	1979	2022	22902	73.92
Monitoraggi	1999	2018	291	0.94
			30981	100

Tabella 5. Analisi disponibili di pH in acqua 1:2.5 strato 0-30 cm in pianura

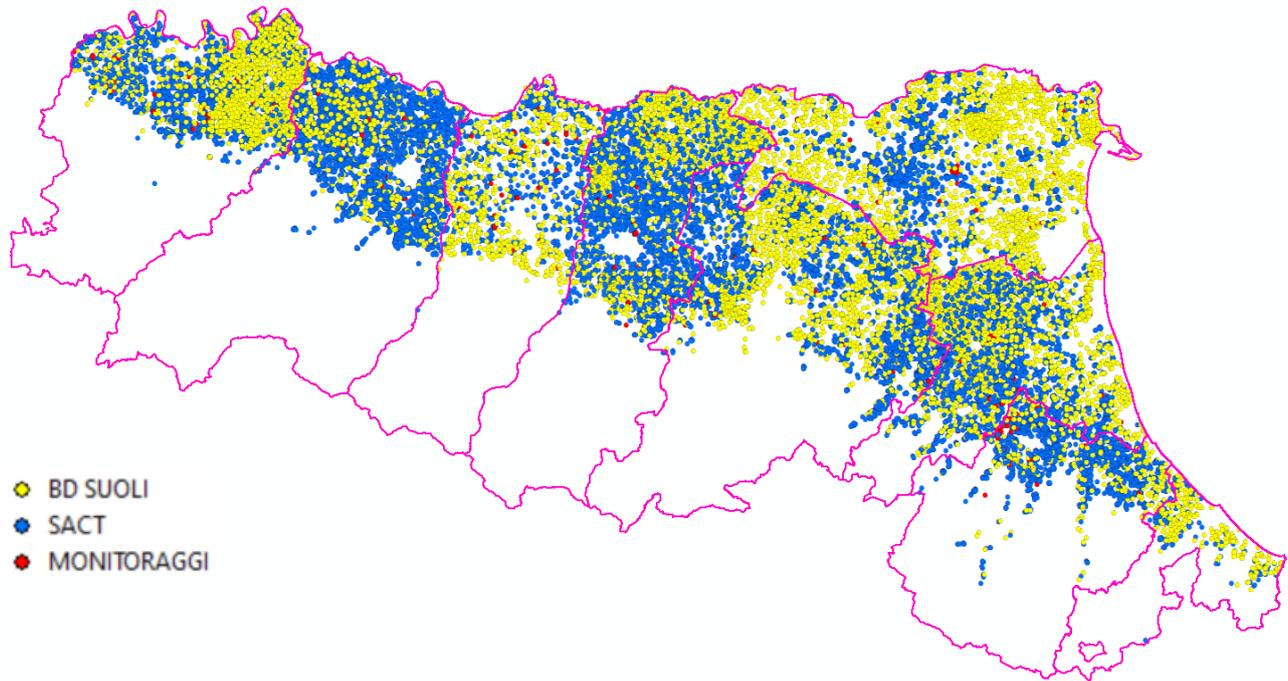


Figura 10. Distribuzione dei 30.981 siti in base alla banca dati di provenienza

4.2.2 Calcolo delle statistiche descrittive

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

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

Variabile	Media	Dev. Std.	Errore Std.	IC - 95%	IC 95%	Min.	P10	Q25	Mediana	Q75	P90	Max
pH	7.80	0.465	0.03	7.796	7.807	4.03	7.3	7.7	7.9	8.1	8.2	9.6

Tabella 6. Statistiche descrittive (N = 30981)

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

La base cartografica di riferimento è costituita dalla "Carta dei suoli 1:50.000" edizione 2021, prodotta dall'area Geologia, Suoli e Sismica, che copre interamente l'area della pianura regionale. La carta dei suoli descrive il territorio attraverso poligoni (o delineazioni) che rappresentano una porzione di territorio omogenea per i tipi di suoli in essa presenti. Sono stati calcolati i valori medi ponderati di pH 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 carbonio organico per lo strato 0-30 cm con il utilizzando spline cubiche per interpolare i valori dove necessario.

Delineazione				Valori 0-30 cm siti benchmark		Valori ponderati	Valore medio ponderato per la delineazione
xid_delin	sigla_uc	suolo	%	ID_SITO	pH	pH*%	
6463	SMB1	SMB1	55	788	7.86	432.3	7.6925
		SMB2	30	4	7.3	219	
		FSL1	5	10767	8.05	40.25	
		SEC1	5	762	7.78	38.9	
		VIL2	5	412	7.76	38.8	

Tabella 7. Esempio di calcolo della media ponderata nella delineazione 6463



4.2.4 Elaborazione geostatistica

La definizione dei valori medi delle delimitazioni della carta dei suoli di pianura (scala 1:50,000) è alla base della successiva analisi geostatistica. In questo modo è stato possibile calcolare la differenza tra il valore medio attribuito alla delimitazione ed il valore puntuale osservato. Tale differenza, detta residuo, è stato oggetto di elaborazione geostatistica. L'analisi geostatistica ha come riferimento raster la griglia 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 della delimitazione in cui ricade il centroide della cella stessa, corretto con il valore del residuo ottenuto 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. 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 del pH sono illustrati nelle figure 24-26; in tutti i casi l'incremento lineare sulla distanza (*lag*) per il calcolo della semivarianza è stato posto uguale a 500 m. I parametri del modello utilizzato per interpolare il semivariogramma sperimentale dei residui normalizzati sono riportati nella Tabella 9.

Modello	pH 0-30 cm	
	Sill	Range (m)
Nugget, C_0	0.228	-
Sferico, C_1	0.435	682.1
Sferico, C_2	0.267	3708.5

Tabella 8. Parametri dei modelli utilizzati per interpolare il semivariogramma sperimentale 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.

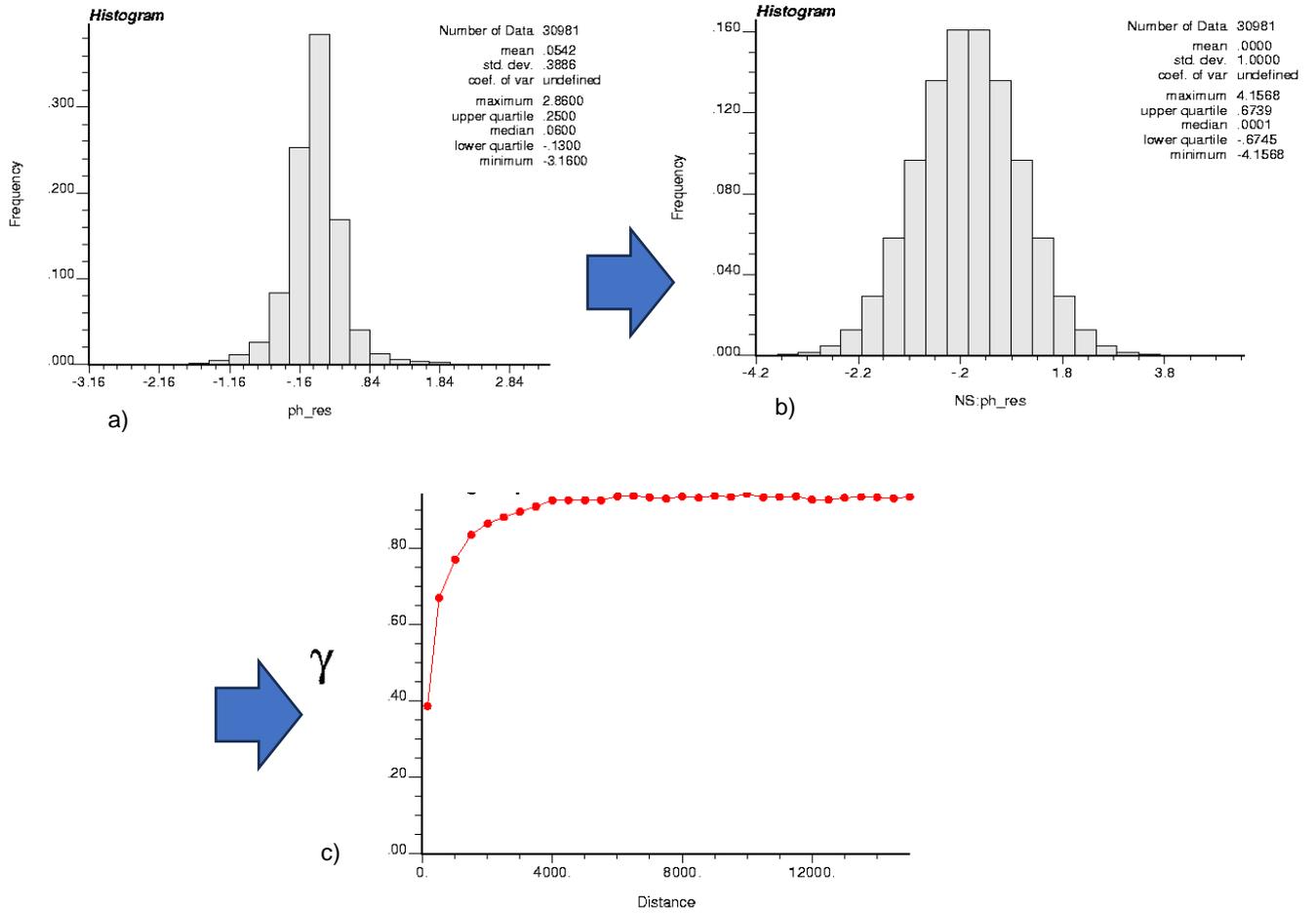


Figura 11. C org. % 0-30 cm: Istogramma delle frequenze dei residui (a) e dei residui normalizzati (b), e semivariogramma omnidirezionale dei residui normalizzati (c).



4.3 Metodologia utilizzata per l'Appennino

Per la stima delle grandezze e la realizzazione delle carte in Appennino si è scelto di utilizzare un approccio di **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 del *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.

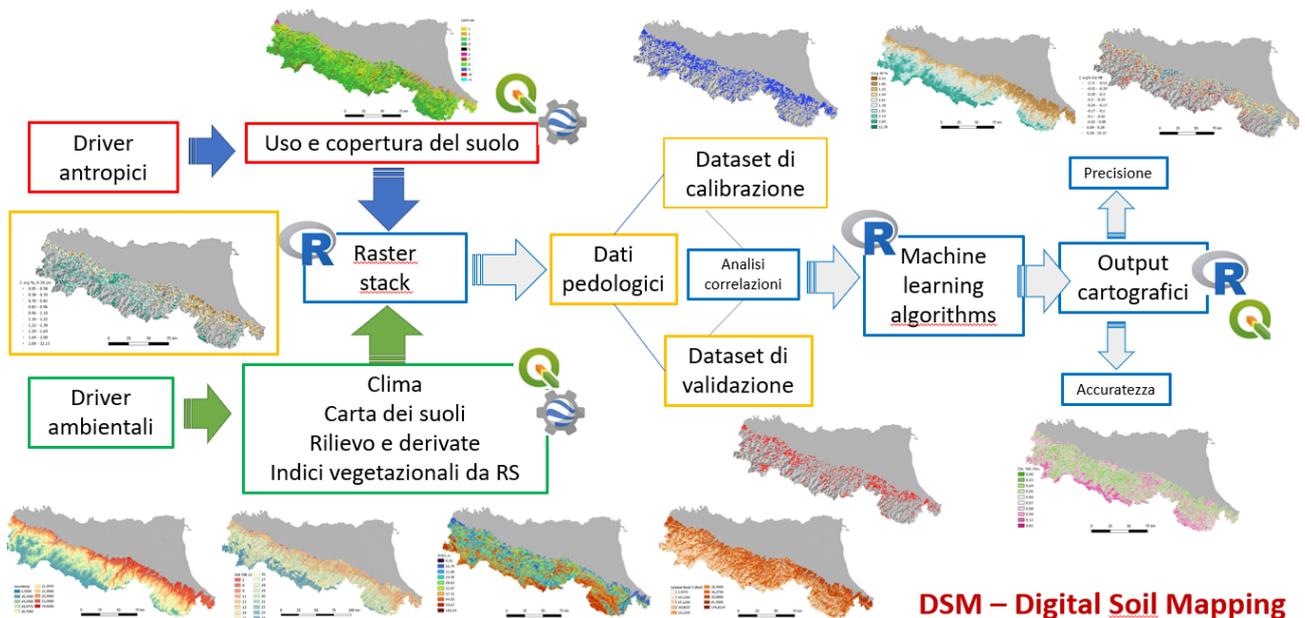


Figura 12. Schema del processo di DSM

Anche per questa zona si sono utilizzati dati puntuali che 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 data set complessivo consiste in **8.433** 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	1582	18.8
SACT	1980	2021	6678	79.2
Monitoraggi	2004	2021	173	2.0
			8433	100

Tabella 9. Analisi disponibili di pH in acqua 1:2.5 strato 0-30 cm nell'area appenninica

³ JOINT RESEARCH CENTRE. European Soil Data Centre

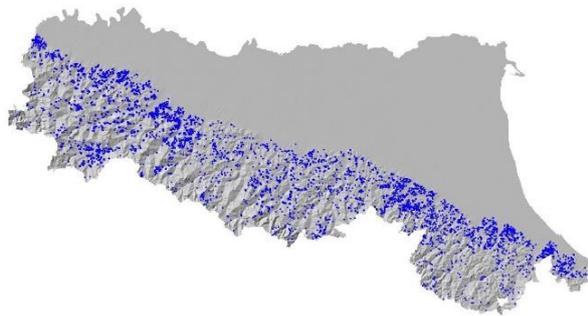


Figura 13. Distribuzione dei 6324 siti di calibrazione

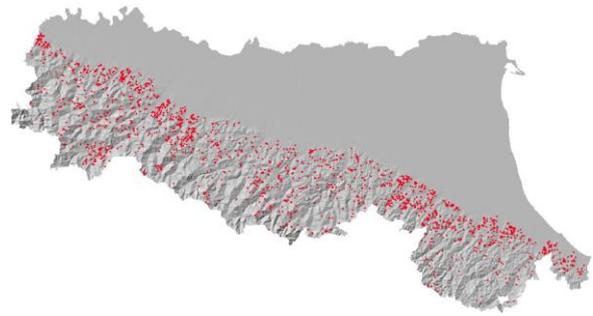


Figura 14. Distribuzione dei 2109 siti di test

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
pH	TUTTI	8433	RF	0.063	0.193	0.319	0.7877	0.927
	TRAIN	6324		0.065	0.162	0.269	0.8539	0.948
	TEST	2109		0.058	0.289	0.435	0.6112	0.859

Tabella 10. Riepilogo degli indici di errore del DSM per i data set di calibrazione (TRAIN) e validazione (TEST)

Variabile	Media	Dev. Std.	Errore Std.	IC - 95%	IC 95%	Min.	P10	Q25	Mediana	Q75	P90	Max
pH	7.722	0.669	0.07	7.708	7.736	3.628	7.0	7.7	7.9	8.1	8.2	9.9

Tabella 11. Statistiche descrittive dei dati osservati (N = 8433)

Tutte le covariate utilizzate sono elencate nella tabella 12.

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
pH30id_a	Valore medio pH per poligono	S	2022	Vector	Continua	250-50k	unità pH	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	index	G
gfc_tcov	Global forest tree canopy cover	O	2019	Raster	Continua	25 m	%	B
ndivis5	Modis NDVI Sum of May-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

⁴ Digital number 8 bit



Nome layer	Descrizione	SCORPAN factor	Anno agg.	Layer tipo	Tipo variabile	Risol. Spaz.	U.M.	Fonte
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	D
mrivbf	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

Tabella 12. 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>

Covariate	IncNodePurity	
landuse_recl	1.19	1.48%
soil_L2_a	6.77	8.44%
aspect	0.77	0.95%
geomorfo	0.96	1.19%
SaCl_class	3.87	4.82%
dem	9.13	11.37%
evi	3.17	3.95%
gfc_tcov	3.23	4.02%
mrivbf	2.52	3.14%
ndvi5	5.06	6.31%
nir	2.55	3.18%
nort	2.83	3.53%
ph30id_a	14.36	17.89%
slope	2.96	3.69%
swir	2.96	3.68%
twi	2.65	3.30%
vdnc	4.02	5.00%
vdepth	2.89	3.60%
erosione	4.12	5.13%
red	4.28	5.33%

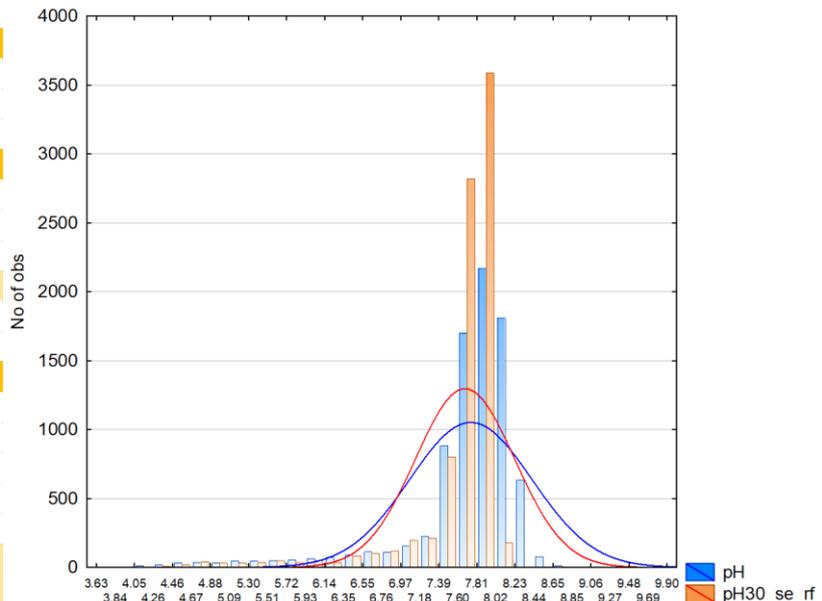


Figura 15. Covariate utilizzate e loro efficacia predittiva

Figura 16. Confronto delle distribuzioni dei valori di pH stimati e osservati

Le covariate più con maggiore efficacia predittiva sono risultate essere il valore medio di pH nel poligono, la quota topografica, la carta dei suoli a livello di unità di province di terre (L2), l'NDVI (somma mesi giugno – settembre), la banda 3 Landsat (red) e l'erosione (Mg/ha/y).

Come si può vedere (fig. 16) dal raffronto tra le distribuzioni dei dati misurati (blu) e i dati stimati (arancioni) il modello predittivo sottostima leggermente i valori agli estremi della gaussiana, mentre tende a sovrastimare



significativamente l'occorrenza dei valori centrali della distribuzione. Tuttavia i valori di IoA sono vicini ad 1 per cui, nel complesso, il modello può considerarsi valido per la stima del contenuto di pH.

Nella fig. 17 sono illustrati i valori statistici (media e intervallo di confidenza) 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 L2. Per la descrizione delle province di terre si veda l'Allegato 1.

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. 18) 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 C3, e D2 dove i valori medi stimati sottostimano i valori medi osservati.

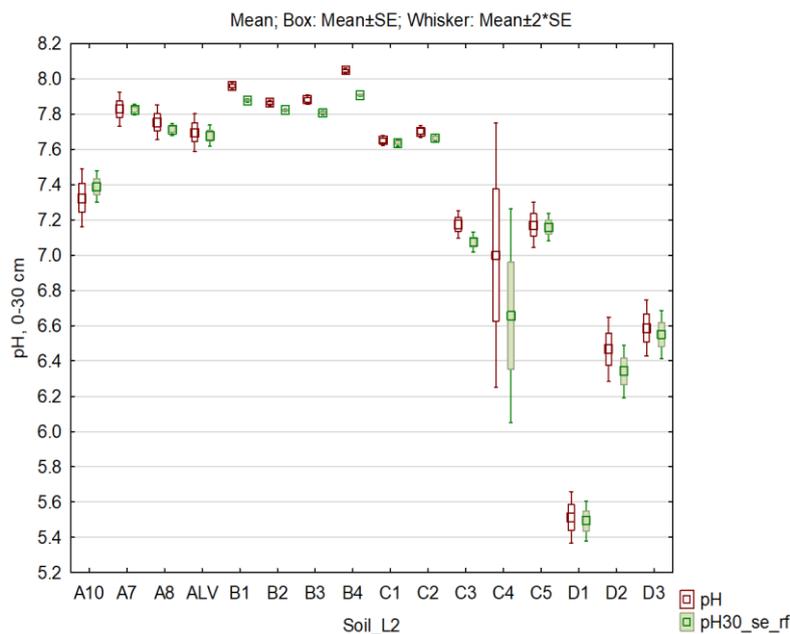


Figura 17: Box and whisker plot di confronto per i dati di pH (0-30 cm)

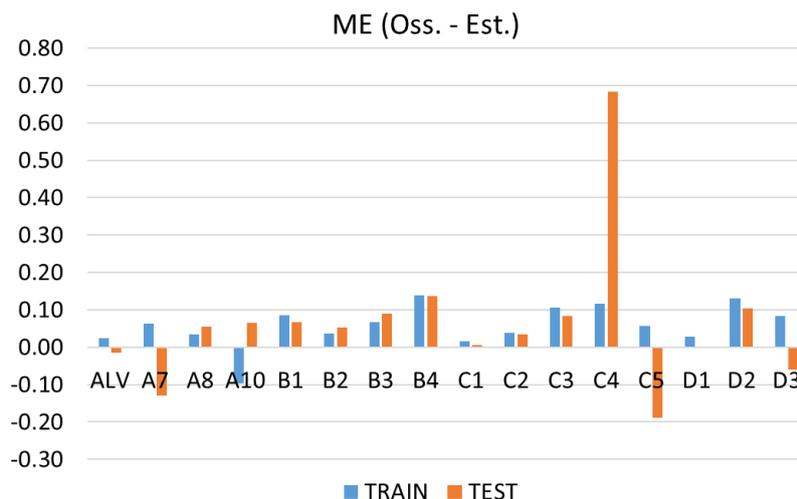


Figura 18. Grafico dell'errore medio ME

Anche l'errore medio ME calcolato come la differenza tra il valore osservato e quello stimato è basso (ca. 0.1%) nel complesso (fig. 18). 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 pH, e comparabile tra i dati utilizzati per training del modello (blu) o test (arancio), eccetto che per le unità C4, A7, C5 (pochi dati).



5 CONSULTAZIONE DELLA CARTA DEL PH SUL WEB

5.1 Elenco dei siti di consultazione e loro caratteristiche

La carta del carbonio organico dei suoli dell'Emilia-Romagna è consultabile su numerosi **siti WEBGIS**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. E' 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. La carta del pH non è ancora disponibile.</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. La carta del pH non è ancora disponibile.</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 13. Elenco dei siti WEBGIS in cui è possibile visualizzare e consultare la carta del pH

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



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

La carta del pH 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.

The screenshot displays the 'Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna' web application. On the left, a 'Cartografia' menu is open, showing various layers. The 'Valori ph 0-30cm' layer is selected. On the right, an 'Interrogazione' (Query) window is open, showing a table of data for a specific pixel (11991569).

CAMPO	VALORE
Class value	7
Pixel Value	11991569
OBJECTID	699760
COUNT	1
GISID	11991569
AMBIENTE	Planura
VALORE_NUM	8.276784
CLASSE_NUM	9
CLASSE	moderatamente alcalino
SIGLA	7.9 - 8.4
ATTEND_N	3
ATTEND	Bassa
LEGENDA	Null
NOTE_ILLUSTRATIVE	https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/pH_0_30.pdf

Figura 19. Esempio di consultazione della carta del pH sul sito Moka-Suoli

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



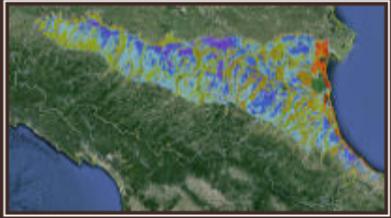
5.3 Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH

La carta del pH sarà consultabile sul sito [I suoli dell'Emilia-Romagna](http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/)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 20. 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 suoi tematismi personalizzati.

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

La rappresentazione del territorio avviene attraverso un raster con pixel di **100 m x 100m**.

Sebbene la carta sia rappresentata per classi di pH l'informazione a cui si accede, interrogando la singola cella, è il singolo valore di pH riferito allo strato 0-30 cm ed attribuito alla cella.

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

È possibile anche aprire le note illustrative correlate.

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

pH tra 0-30 cm nei suoli di pianura.
Livello di dettaglio 1:50.000

Valore stimato %
7.8

Attendibilità della stima
alta

Legenda
Classi

no data	
<3.5	ultracido
3.5-4.5	estremamente acido
4.6-5.0	molto fortemente acido
5.1-5.5	fortemente acido
5.6-6.0	moderatamente acido
6.1-6.5	debolmente acido
6.6-7.3	neutro
7.4-7.8	debolmente alcalino
7.9-8.4	moderatamente alcalino
8.5-8.9	fortemente alcalino

Anno di aggiornamento
2020

apri Note Illustrative

Regione Emilia-Romagna

Figura 21. Interfaccia di consultazione delle singole celle

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



5.4 Consultazione sul sito CATALOGO DEI SUOLI REGIONALE

La carta del pH sarà consultabile anche sul sito Catalogo dei suoli dell'Emilia-Romagna⁸, come è per esempio consultabile la carta della sostanza organica.

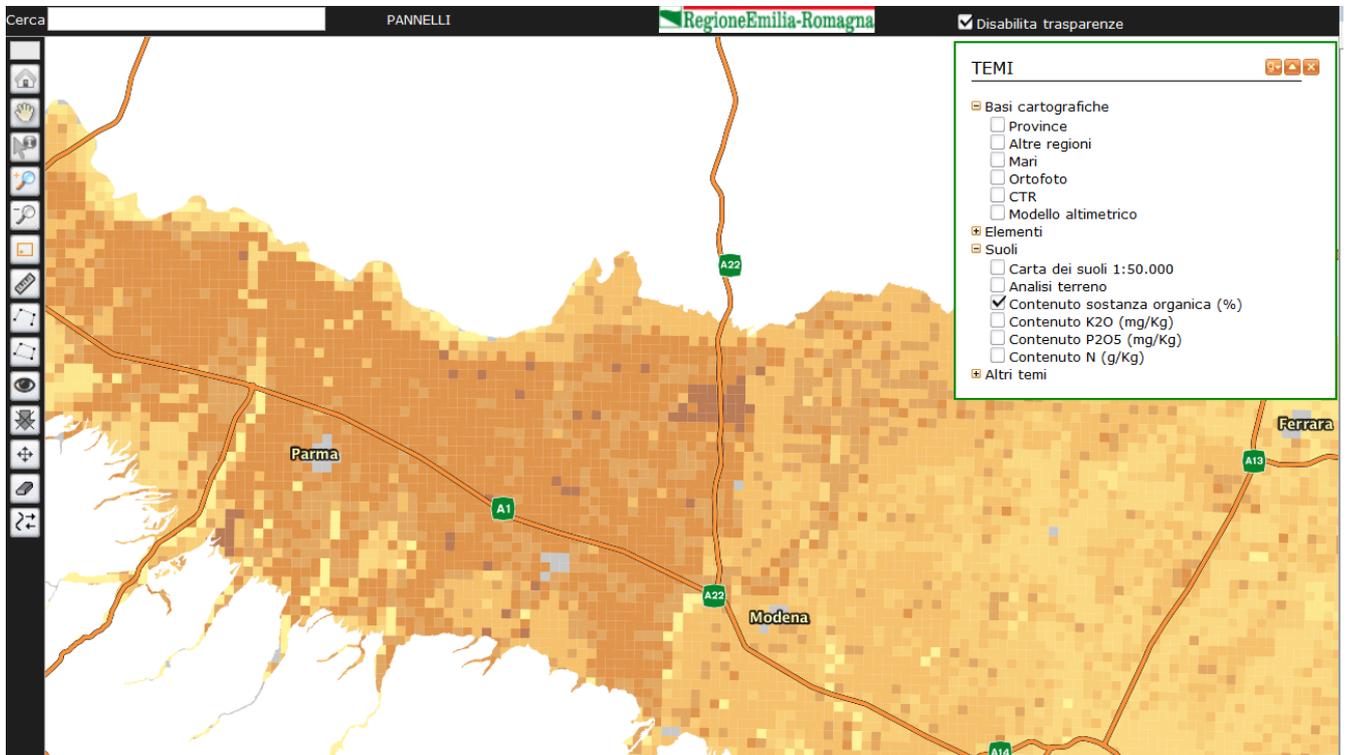


Figura 22. Home page del sito Catalogo dei suoli con la rappresentazione della Carta della sostanza organica (esempio di visualizzazione)

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



5.5 Consultazione sul GeoViewer Moka

La carta pH strato 0-30 cm è consultabile anche dal visualizzatore del portale Minerva (GeoViewer Moka) ⁹. Dal pannello di destra (Portale DG CTA) dal gruppo Suolo si aggiunge la carta del pH cliccando sull'icona del WMS.

La visualizzazione funziona solo per scale > 1:250.000.



Figura 23. Schermata di esempio della carta del pH sul GeoViewer



Figura 24. Esempio di interrogazione della carta del pH sul GeoViewer

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



5.6 Consultazione sul visualizzatore del Geoportale dell'Emilia-Romagna

La carta del pH strato 0-30 cm può essere consultata anche sul **Geoportale regionale**, nella sezione dedicata alle mappe¹⁰. Le carte dei suoli si trovano in **Informazioni geoscientifiche**.

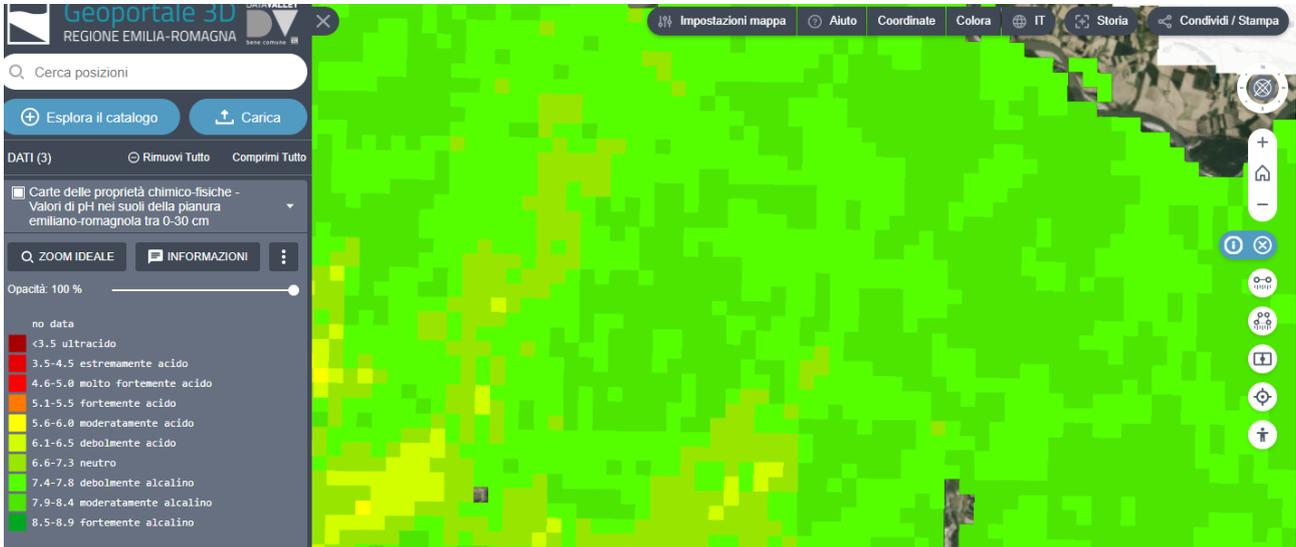


Figura 25. Esempio di visualizzazione della carta del pH sul geoportale ER

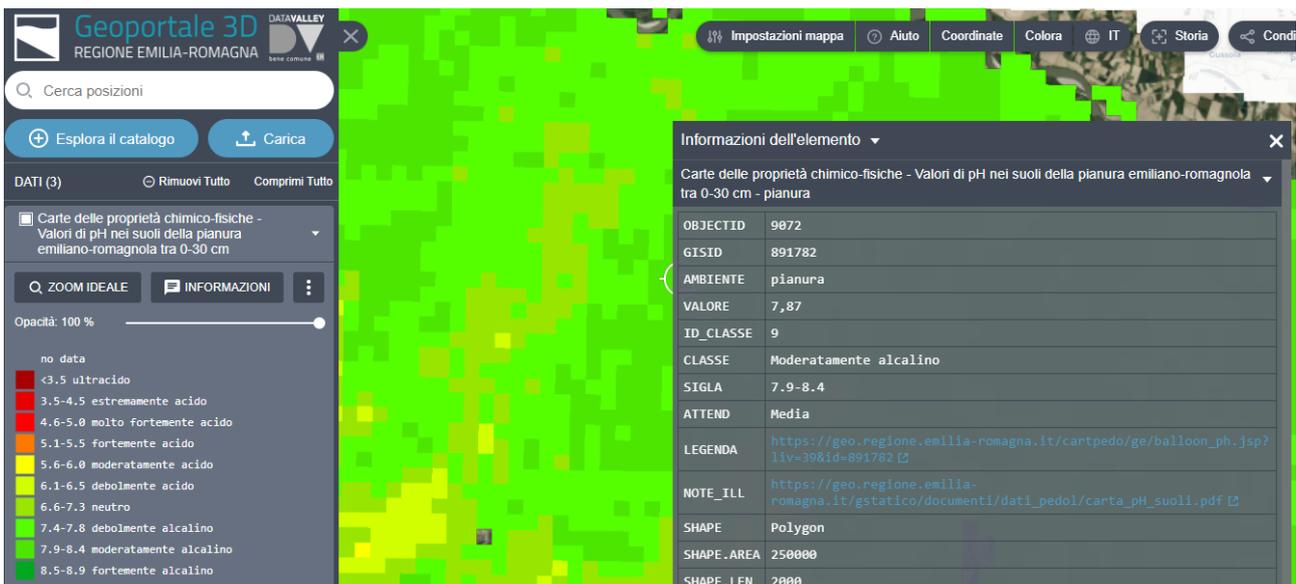


Figura 26. Esempio di interrogazione della carta del pH sul geoportale ER

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



5.7 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 **2 strati raster**, georeferenziati nel sistema di riferimento RDN2008 UTM zona 32N (EPSG 7791):

- 1 pH_0_30.tif. Valori di pH
- 2 pH_0_30_ACC.tif Attendibilità del dato di pH

Dopo avere trovato lo strato Valori pH 0-30 cm sul motore di ricerca, si clicca dal pulsante Esplora la sottovoce Download e il file scarica direttamente (figura 27).

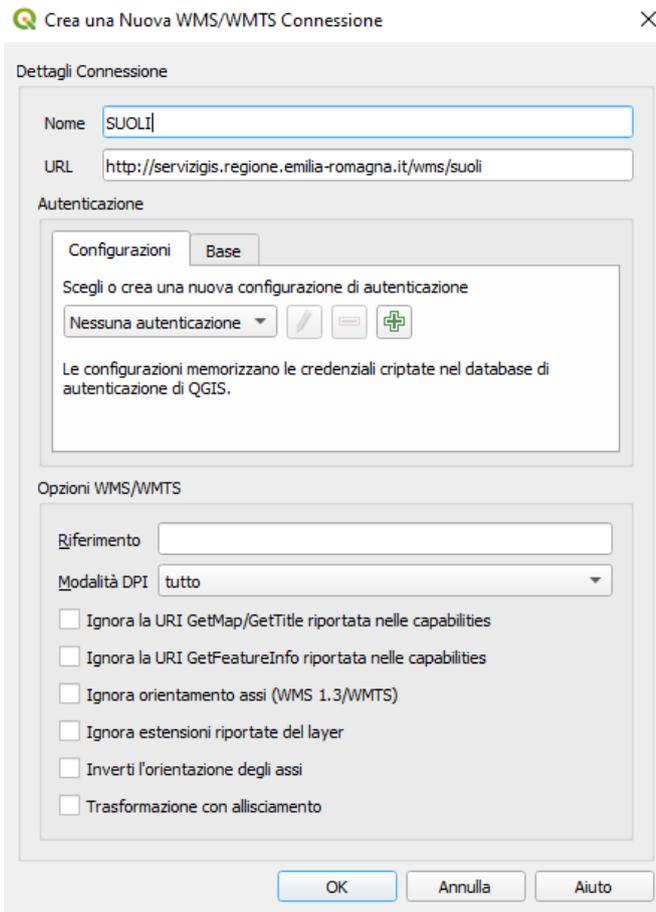
The screenshot shows the Minerva data catalog interface. On the left, there are navigation elements including 'Agenda 2030' with icons for '2 SCONFERMARE LA FAME NEL MONDO' and '15 FLORA E FAUNA TERRESTRE', and a 'Dataset extent' map of the Emilia-Romagna region. The main content area displays the search results for 'Carte delle proprietà chimico-fisiche - Valori di pH nei suoli regionali - strato 0-30 cm'. The results list includes 'Valori_ph_0_30_cm_rst', 'Carte delle proprietà chimico-fisiche - Valori di ...', and 'Carta del pH dei suoli della regione ...'. On the right side, there are two 'Esplora' buttons and a dropdown menu with 'Altre informazioni' and 'Download' (circled in red).

Figura 27. Scaricamento della carta del pH da MinERva

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



5.8 Consultazione come servizio WMS



La carta del pH 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 pH (denominata **Valori_pH_0_30_cm_rst**) è vestita sulla base delle classi di pH come nella figura 29.

La carta è visibile solo alla scala $\geq 1:250.000$.

Cliccando nella zona d'interesse, oltre al valore del pH della cella, compaiono anche le informazioni relative all'attendibilità del dato.

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

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

Figura 28. Immissione delle capabilities in Qgis

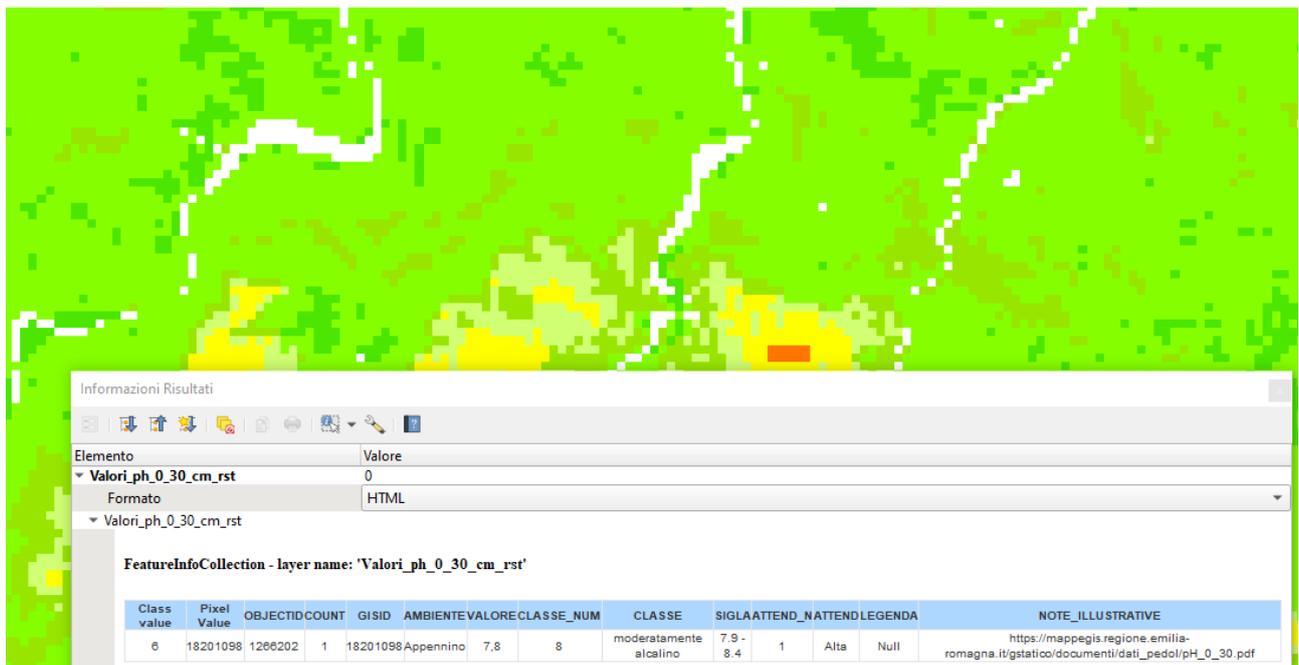


Figura 29. Visualizzazione e interrogazione del servizio WMS "Valori_pH_0_30_cm_rst"



6 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.

Deutsch, C.V., Journel, A.G., 1998. *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. Oxford University Press.

GDAL/OGR contributors (2022). *GDAL/OGR Geospatial Data Abstraction software Library*. Open Source Geospatial Foundation. URL <https://gdal.org>, DOI: 10.5281/zenodo.5884351

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>.

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)

Guevara, M., et al., 2018. No silver bullet for digital soil mapping: country-specific soil organic carbon estimates across Latin America. *SOIL*, 4, 173–193. <https://doi.org/10.5194/soil-4-173-2018>

McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L., Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117 (1-2), 3-52, ISSN 0016-7061, [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4).

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

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

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

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

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.

Staios LLC, "WinGslib Installation and Getting Started Guide." Website, 2001. <http://www.staios.com/WinGslib/index.html>, last checked: 08.08.2023

Regione Emilia-Romagna, Disciplina di produzione integrata. Norme generali. Ediz. 2023 pag. 66 https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/produzioni-agroalimentari/temi/bio-agro-climambiente/agricoltura-integrata/disciplinari-produzione-integrata-vegetale/Collezione-dpi/dpi_2023/norme/norme_generali-2023.pdf/@@download/file/Norme_generali%202023.pdf

Regione Emilia-Romagna. Campioni analisi terreni (SACT) della regione Emilia-Romagna (2023) https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/ANALISI_TERRENI_SACT.pdf

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

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



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

Soil Science Division Staff. 2017. Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.. Available online at: <https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/soil-survey-manual>, last checked: 08.08.2023.

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. (1988) - I suoli del bacino del Brasimone (BO): pedogenesi, mineralogia, geochimica. Miner. Petrogr. Acta. Vol.XXX, pp. 217-241.

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

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

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

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)

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

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.

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

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., 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., Notini P. - L'insediamento mesolitico di Lama Lite sull'Appennino Tosco- Emiliano. Preistoria Alpina - Museo Tridentino di Scienze Naturali, Vol. 12, pagg. 7-32. Trento 1976

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

European Commission - JRC, IES, 2003, Carta ecopedologica d'Italia scala 1: 250.000. Eur 20774 IT, 2003

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 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. 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, Tomaselli, Parisi, Petraglia, Santini. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. *European Journal of Soil Biology* 38 (2002) 103–110
- Gridelli M. "Caratterizzazione geochimica di acque, sedimenti e suoli, in un'area prossima ad un impianto di trattamento per rifiuti non pericolosi". UNIBO. AA 2015-2016
- Gruppo di studio delle università emiliane per la geomorfologia (1976) – Geomorfologia dell'area circostante la Pietra di Bismantova (Appennino Reggiano). *Bollettino del Servizio Geologico d'Italia*, 97, 107-213.
- Gruppo Ricerca Geomorfologia CNR (1982). Geomorfologia del territorio di Febbio tra il m. Cusna e il f. Secchia (Appennino Emiliano).
- Leoni A. Studio della biodiversità vegetale e del popolamento a microartropodi edafici nella riserva naturale "Guadine Pradaccio. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Parma (2008)
- LIFE agriCOlture (LIFE18 CCM/IT/001093). Livestock farming against climate change problems posed by soil degradation in the Emilian Apennines. Azione C3 - Realizzazione della fase dimostrativa e di valutazione delle buone pratiche. Deliverable C3.1 - Primo rapporto sull'applicazione dei protocolli nelle aziende ai fini della salvaguardia del suolo
- Lorito S. Il monitoraggio suolo-pianta per la valutazione dell'inquinamento da metalli pesanti nell'ambiente urbano. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Bologna. 2010
- Mariani G. The role of paleosols in paleoenvironmental studies: genesis and development of Apennine mountain soils during the Holocene. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Milano (2015)
- Marinari S., Bonifacio E., Moscatelli M.C., Falsone G., Vittori Antisari L., Vianello G. Soil development and microbial functional diversity: Proposal for a methodological approach. DOI:10.1016/j.geoderma.2012.08.023
- Marinari S., Vittori Antisari L. Effect of lithological substrate on microbial biomass and enzyme activity in brown soil profiles in the northern Apennines (Italy). *Pedobiologia* 53 (2010) 313–320
- Masseroli A. Soil evolution and 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
- 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-
- 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
- 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
- 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
- SOILS4WINE. LIFE15 ENV/IT/000641. Deliverable "Action plan developed by demo farmers ". Sub-action B2.1 "Definition of the Action Plan". 2017
- Tomaselli, Rossi, Dowgiallo: "Phytosociology and ecology of the *Festuca puccinellii*-grasslands in the Northern Apennines (N-Italy)". *Botanica Helvetica*, 2000
- Tombini Enrico. Distribution of metals in several vineyards of North Italy: from soil to wine. Tesi di laurea Università di Bologna. *Analisi e Gestione dell'Ambiente*. AA 2014-2015
- 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
- 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