



Regione Emilia-Romagna



**servizio geologico
sismico e dei suoli**

**CARTA DELLA SALINITA'
DEI SUOLI
DELLA PIANURA
EMILIANO-ROMAGNOLA
STRATO 0-50 cm
2^a approssimazione**

scala 1:250.000

NOTE ILLUSTRATIVE 2015

a cura di:

Francesca Staffilani, Paola Tarocco

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Fabrizio Ungaro, Costanza Calzolari

CNR-IBIMET, Firenze

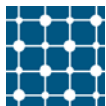




INDICE

1	INTRODUZIONE.....	5
2	DEFINIZIONI.....	6
3	DESCRIZIONE DELLA CARTA	7
4	CONSULTAZIONE DELLA CARTA.....	11
4.1	Consultazione tramite GOOGLE EARTH.....	11
4.2	Consultazione tramite WEBGIS	12
4.3	Download dei dati	13
5	METODOLOGIA UTILIZZATA	14
5.1	Definizione degli algoritmi di trasformazione.....	14
5.2	Elaborazione spaziale con procedure geostatistiche per la redazione della cartografia	17
6	BIBLIOGRAFIA	22





1 INTRODUZIONE

La presenza di sali è comune nel suolo ed una giusta concentrazione ne favorisce le potenzialità produttive influenzandone positivamente le proprietà chimico-fisiche. Un'eccessiva presenza, al contrario, determina condizioni sfavorevoli alla crescita delle piante limitando la disponibilità di acqua per effetto dell'elevata pressione osmotica della soluzione circolante, diminuendo la disponibilità degli elementi nutritivi, ostacolando la germinazione per la formazione di croste saline sulla superficie dei suoli, e nel caso di elevata presenza di sodio causando anche la destrutturazione del suolo.

La Commissione Europea con la Strategia Tematica per la Protezione del Suolo COM(2006) 231 segnala il problema della salinizzazione tra le minacce di degradazione del suolo e lo propone come campo di ricerca *“per colmare le lacune esistenti in termini di conoscenze sul suolo e per dare una base scientifica più solida alle politiche”*. Alla luce di queste indicazioni e in accordo con i servizi regionali di assistenza tecnica in agricoltura è stata redatta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (SGSS) la “Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola” di seconda approssimazione in scala 1:250.000.

Nel contesto della Regione Emilia-Romagna la presenza di suoli salini è un'eredità del passato laddove prima delle bonifiche erano ampiamente diffuse zone paludose e valli salmastre. In seguito alle bonifiche più recenti, iniziate alla fine dell'800 e concluse nella seconda metà del secolo scorso in quegli ambienti si avviò un processo di desalinizzazione grazie al sistema di allontanamento delle acque ed all'uso di adeguate tecniche irrigue. A distanza di tanti anni i processi di desalinizzazione hanno diversamente inciso determinando una situazione attuale piuttosto varia a seconda dei luoghi.

Il fenomeno della salinizzazione è invece un pericolo potenziale che potrebbe essere innescato: dalla risalita di una falda salina superficiale ed interessare quindi in particolar modo i suoli prossimi alla costa; dall'uso di acqua irrigua di scarsa qualità, quale potrebbe essere quella di pozzi anche profondi e quindi coinvolgere i suoli in maniera più diffusa nel territorio regionale; da una diminuzione dell'efficacia delle opere di deflusso delle acque, con innalzamento del “franco di bonifica”.

La carta della salinità, di seguito presentata, descrive lo stato di salinità dei suoli a livello regionale ed è una rappresentazione spaziale del fenomeno a partire da dati puntuali raccolti nell'ambito dei rilevamenti per la redazione della Carta dei suoli della pianura emiliano-romagnola in scala 1:50.000.

L'obiettivo del lavoro non è la descrizione delle dinamiche in atto, quali desalinizzazione o salinizzazione dei suoli, ma piuttosto l'armonizzazione di dati esistenti e la definizione di una proposta metodologica per la spazializzazione di dati puntuali attraverso l'analisi geostatistica.

La conoscenza dello stato dei suoli è la premessa per una corretta gestione del suolo (es.: irrigazione, fertilizzazione) e per avviare sperimentazioni e monitoraggi in ambiti locali in cui, per le proprietà dei suoli o delle acque, sono ipotizzabili processi di salinizzazione.

La carta di seconda approssimazione è stata realizzata grazie all'acquisizione di nuovi dati raccolti nell'ambito di progetti per il monitoraggio a supporto del Piano di Sviluppo Rurale 2007-2013.

I dati sono stati elaborati a due diverse profondità del suolo: 0-50 cm per lo strato superficiale, con la seconda approssimazione del 2015; 50-100 cm per lo strato profondo ancora nella sua prima approssimazione.



2 DEFINIZIONI

Per salinità del suolo si intende il suo contenuto in sali solubili, principalmente cloruri (Cl^-), solfati (SO_4^{2-}), bicarbonati (HCO_3^-) e carbonati (CO_3^{2-}) di calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), e potassio (K^+).

La salinità dei suoli è misurata attraverso la *conducibilità elettrica dell'estratto in pasta satura* (ECe) ed è espressa in milliSiemens per centimetro ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) o in deciSiemens per metro ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) a 25°C.

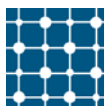
Un suolo è classificato **salino** quando la conducibilità elettrica dell'estratto in pasta satura è superiore a 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, l'ESP è minore di 15 ed il pH <8,5 (Richards et al. 1954).

Il valore di 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ è stato scelto in quanto rappresenta il livello di salinità a cui la crescita e lo sviluppo di un gran numero tra le colture più comunemente coltivate cominciano ad essere influenzate negativamente (Airinghieri, 1999).

Le classi di salinità utilizzate fanno riferimento allo schema proposto da Richards (1954) e analogamente ripreso nel Soil Survey Manual dell'USDA. Le classi sono definite in funzione dei valori di ECe e dell'effetto della salinità sulle produzioni di campo delle principali colture (Tabella 1).

Classe	ECe ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	Effetti sulle produzioni agricole
Non salino	<2	Effetti per lo più trascurabili
Molto debolmente salino	2-4	La produttività di colture molto sensibili si può ridurre
Debolmente salino	4-8	La produttività di molte colture è ridotta
Moderatamente salino	8-16	Solo colture tolleranti producono in modo soddisfacente
Fortemente salino	>16	Solo poche colture molto tolleranti producono in modo soddisfacente

Tabella 1. Classi di salinità secondo Richards (1954) e il Soil Survey Manual dell'USDA



3 DESCRIZIONE DELLA CARTA

Come si può vedere in Figura 1, dall'elaborazione dei dati disponibili nella banca dati dei suoli del SGSS della Regione Emilia-Romagna, con riferimento allo strato superficiale (0-50 cm), i suoli che risultano essere salini in superficie ($E_{ce} > 4$) si trovano esclusivamente nella Provincia di Ferrara e sono localizzati in aree di paludi e valli salmastre oggi bonificate. (Figura 2).

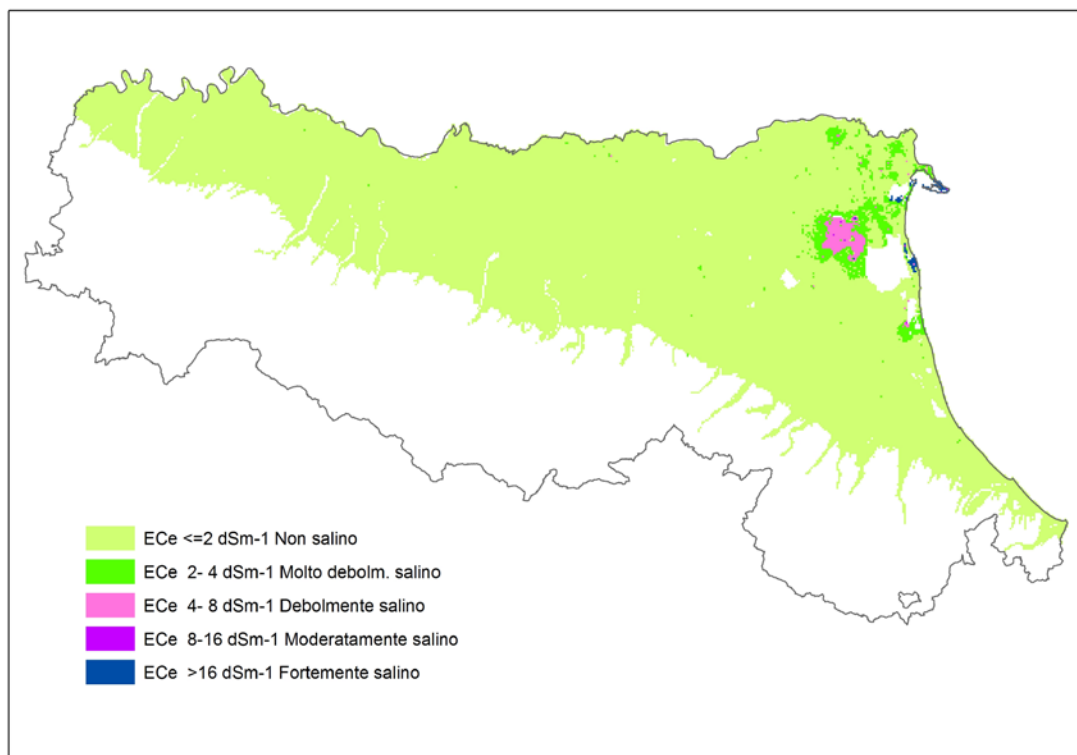


Figura 1. Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola, strato 0-50 cm, di seconda approssimazione

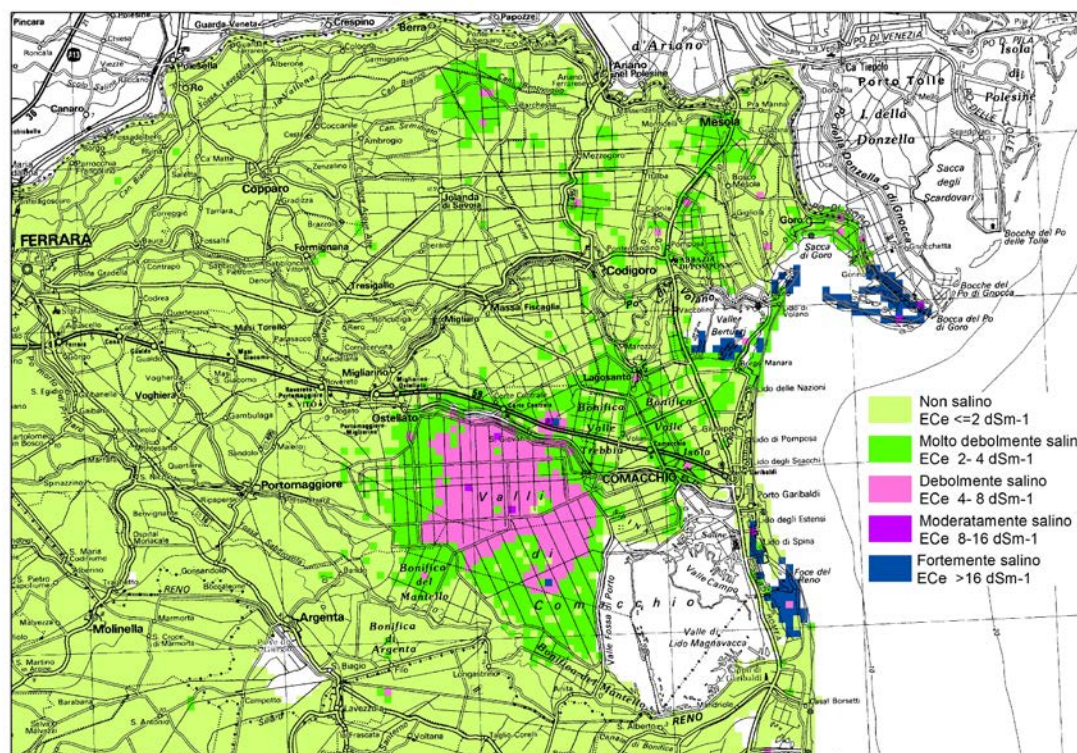
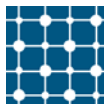


Figura 2. Particolare della Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola, strato 0-50 cm, di seconda approssimazione, nella provincia di Ferrara



La Carta Storica Regionale della prima metà del 1800 (Figura 3) documenta l'appartenenza di queste aree all'antico apparato deltizio del Po occupato in larga parte da valli salmastre quali, tra le più estese, la Valle del Mezzano, la Valle Gallare, la Valle Pega e la Valle Giralda e da ampie paludi intorno ed a nord-est dell'attuale paese di Jolanda di Savoia fino alle antiche dune tra Mesola e Codigoro.

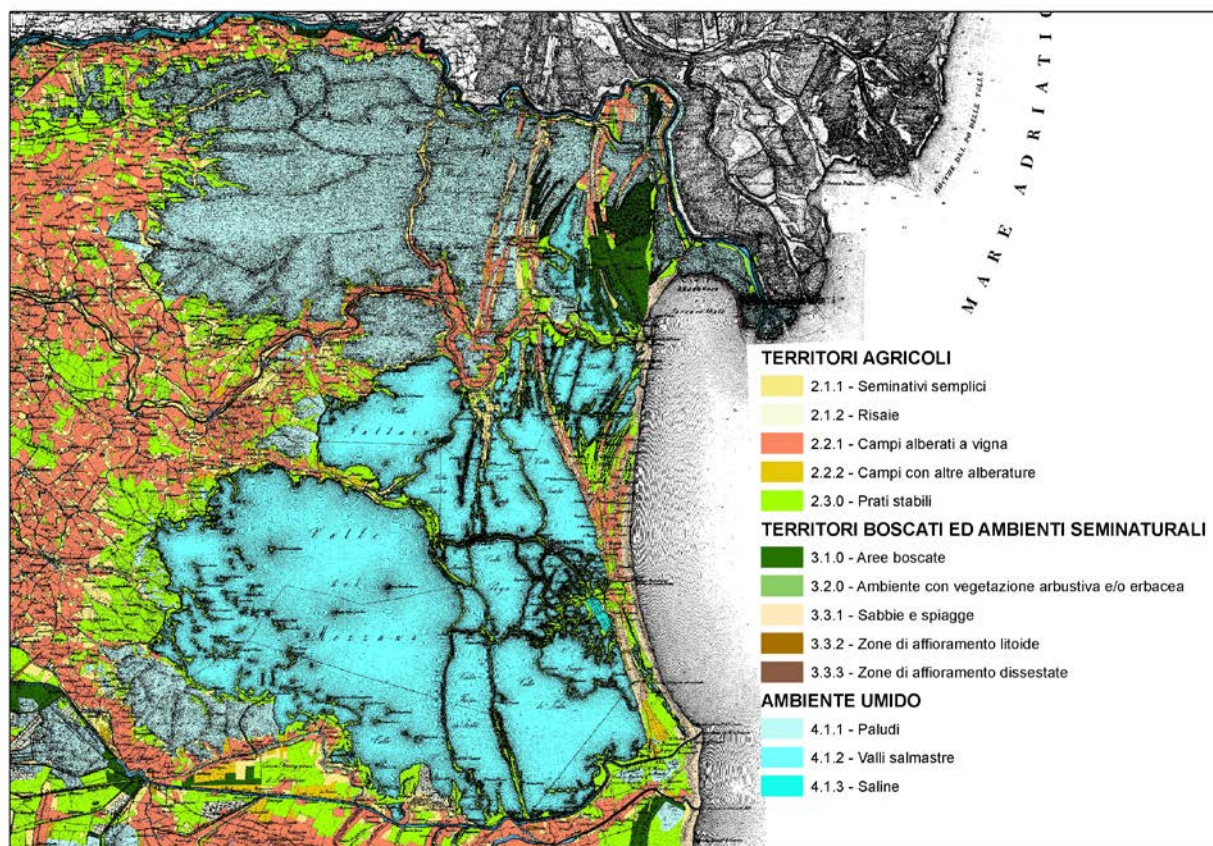
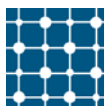


Figura 3. Estratto dalla Carta Storica Regionale (1821-1843) scala 1:50.000 ed. digitale 1999

Agli inizi degli anni '50 erano già state bonificate la quasi totalità delle paludi: la Valle Gallare e le valli minori a nord di Comacchio e più a sud le paludi di Argenta ed una piccola parte della Valle del Mezzano (Bonifica del Mantello). Come risulta dalla carta dell'uso del suolo (Figura 4), nel 1954 buona parte delle aree bonificate erano occupate da risaie. L'utilizzo delle risaie e della pratica irrigua per sommersione erano infatti ritenute indispensabili per poter abbassare la salinità dei suoli appena bonificati in quanto l'azione dilavante delle piogge, anche se facilitato da una efficiente rete scolante, si riteneva non sufficiente, se non in tempi lunghissimi, e forse mai totalmente risolutiva (Puppini G. et al, 1955).

Ancora oggi nelle ex-aree salmastre intorno a Jolanda di Savoia persiste una certa diffusione delle risaie. In queste stesse aree, la carta della salinità (Figura 2) indica un'attuale limitata diffusione di valori critici di salinità nello strato superficiale (0-50 cm) considerazioni diverse vanno invece fatte per quanto riguarda lo strato profondo (50-100 cm) dove sono ancora piuttosto diffusi valori alti di salinità (Figura 5).



CARTA DELLA SALINITA' DEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA STRATO 0-50 cm SECONDA APPROSSIMAZIONE

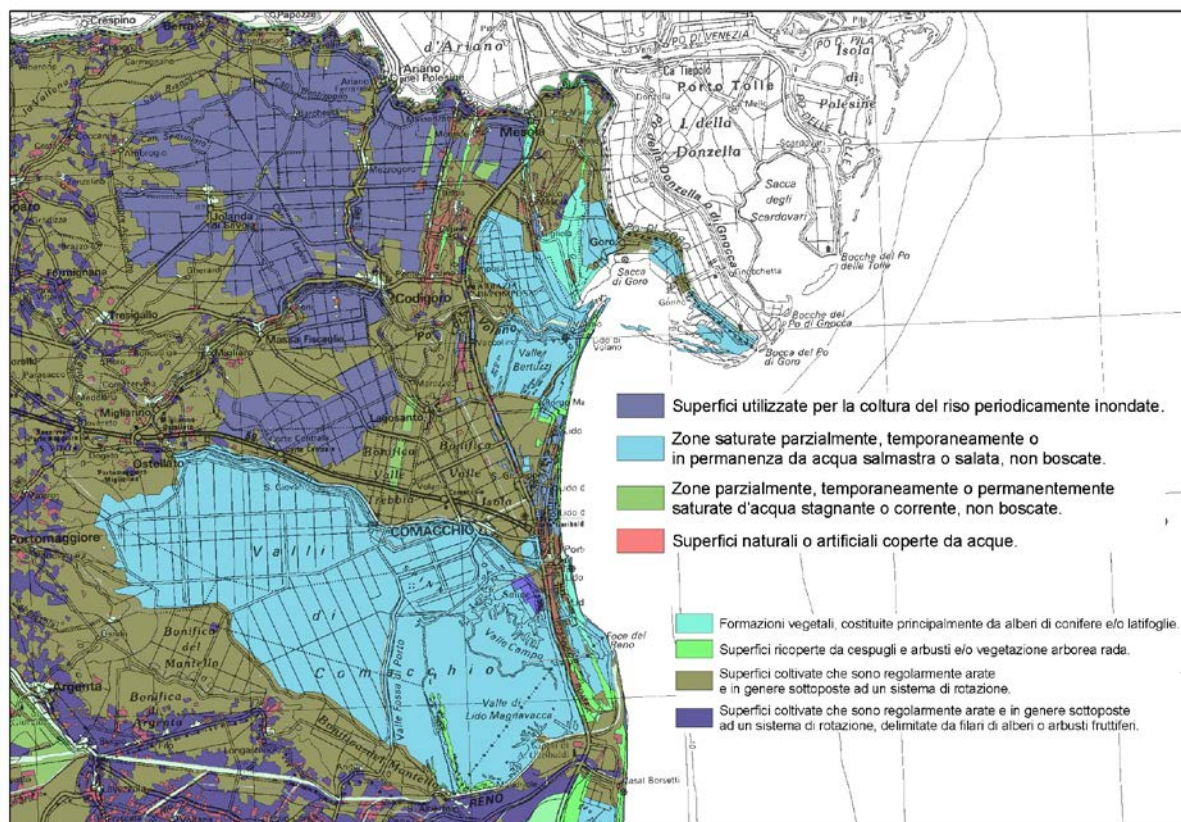


Figura 4. Estratto dalla Carta dell'uso del suolo 1954, scala 1:50.000 ed. 2008

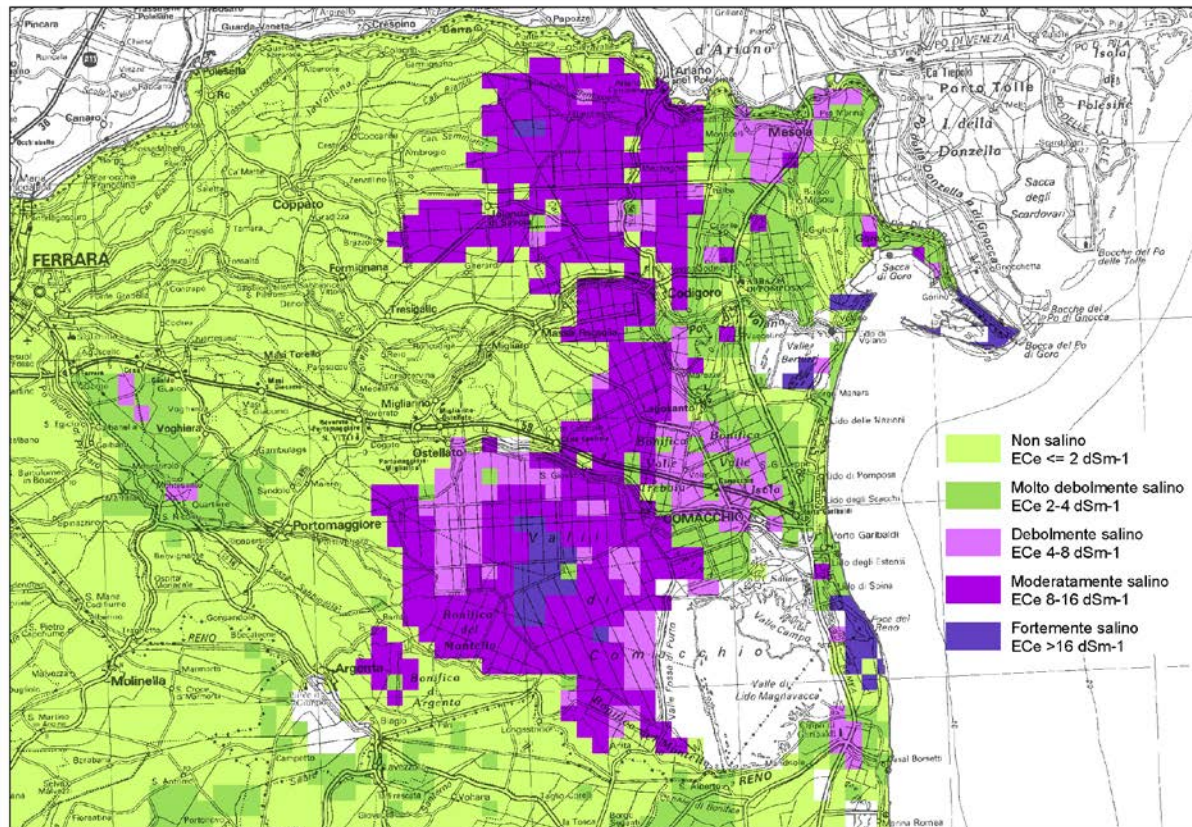
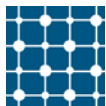


Figura 5. Particolare della Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola, strato 50-100 cm, di prima approssimazione, nella provincia di Ferrara



Successive al 1954 sono le bonifiche di Valle Giralda, di Valle Pega e, ultima tra tutte, della Valle del Mezzano la cui bonifica, iniziata nel 1957, si è conclusa nel 1974.

Con riferimento allo strato superficiale, la Valle del Mezzano è quella che risulta ancora oggi diffusamente salina (Figura 2).

La Valle del Mezzano si distingue dalle altre valli per alcuni aspetti peculiari, tra cui la diffusa presenza di suoli torbosi con livelli di salinità, dovuti soprattutto alla presenza di cloruro di sodio al termine della loro bonifica idraulica, superiori a quelli riscontrati in altre valli del Delta Padano (Boschi V., Spallacci P., 1974). Come risulta dai lavori di Boschi e Spallacci già nell'arco temporale di 7 anni (1967-1974) grazie alle attività di bonifica, i valori di salinità si erano più che dimezzati e molti suoli passarono dallo stato di salino-sodici a quello di salini. Gli stessi autori avevano rilevato che i suoli torbosi erano quelli con maggiore difficoltà a liberarsi dal sale a causa della loro compattazione e imbibizione, specie negli orizzonti profondi, non interessati da lavorazioni periodiche e fortemente condizionati dal livello della falda e dalle sue oscillazioni stagionali.

La carta della salinità dei suoli di seconda approssimazione presenta in tale area una bassa attendibilità del dato stimato (Figura 6) dovuta alla distribuzione non uniforme dei dati puntuali e alla alta variabilità dei valori di salinità; uno studio più dettagliato potrebbe consentire non solo di migliorare l'attendibilità della stima ma anche di approfondire, a partire dagli studi pregressi citati, la dinamica del processo di dissalamento e il tipo di evoluzione di questi suoli che si dimostrano tutt'oggi alquanto problematici.

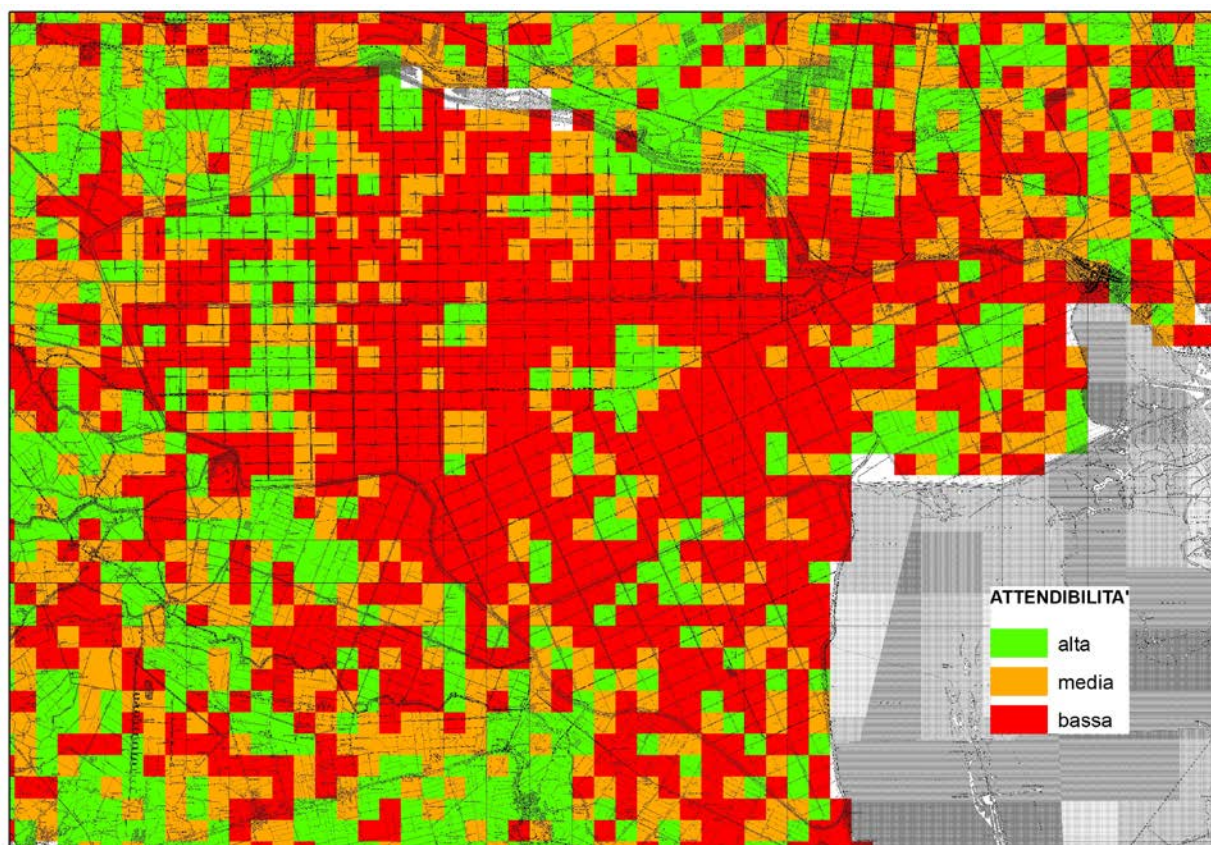
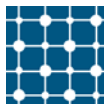


Figura 6. Attendibilità del dato stimato dalla carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola di seconda approssimazione, strato 0-50 cm, nella ex valle salmastra del Mezzano

Non risultano invece problemi di salinità superficiale nei suoli sabbiosi della piana costiera ferrarese nonostante l'antica presenza di valli salmastre e aree paludose, confermando la più facile perdita di sali per dilavamento dei suoli sabbiosi. Diversamente può accadere, anche in questi suoli, negli orizzonti profondi per la presenza di falde saline superficiali.



4 CONSULTAZIONE DELLA CARTA

4.1 Consultazione tramite GOOGLE EARTH

La carta è consultabile sul sito [I suoli dell'Emilia-Romagna¹](http://suoli.dell'Emilia-Romagna.it), nella sezione **Carte delle proprietà chimico-fisiche**.

1.9 Salinità nei suoli di pianura tra 0-50 cm. Seconda approssimazione. new

La carta descrive la distribuzione areale dello stato di salinità dello strato superficiale (0-50 cm) nei suoli di pianura. La conoscenza dello stato di salinità dei suoli è la premessa per una corretta gestione del suolo come viene anche indicato dalla Commissione Europea attraverso la Strategia Tematica per la Protezione del Suolo COM(2006) 231.

L'interesse al livello regionale è dovuto non solo alla nota presenza di suoli salini in ambienti dove in passato erano diffuse paludi e valli salmastre, ma anche dalla possibilità di attivare processi di salinizzazione in seguito all'uso di acqua irrigua di scarsa qualità oppure a una diminuzione di efficacia delle opere di deflusso delle acque con innalzamento del "franco di bonifica" o ancora per innalzamento di una falda salina superficiale.

I dati di base sono stati estrapolati dalla Banca Dati dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e la seconda approssimazione si è avvalsa di un maggior numero di dati che ne ha migliorato la qualità in termini di attendibilità dei valori stimati.

Scala 1:250.000



- apri la [Carta della salinità nei suoli di pianura tra 0-50 cm \(seconda approssimazione\)](#) in Google Earth
- apri la [Carta della salinità nei suoli di pianura tra 0-50 cm \(seconda approssimazione\)](#) con il Plugin di Google Earth
- apri le note illustrative della [Carta della salinità nei suoli di pianura tra 0-50 cm \(seconda approssimazione\)](#)
- visualizza i [metadati della Carta della salinità nei suoli di pianura tra 0-50 cm \(seconda approssimazione\)](#)

Figura 7. Interfaccia iniziale della carta della salinità 0-50 cm nel sito I suoli dell'Emilia-Romagna

Questo sito usa come base cartografica GOOGLE EARTH e presenta il vantaggio di poter essere personalizzato dall'utente che può sovrapporre alle cartografie proposte nel sito i propri tematismi.

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

Interrogando la cella si ottengono informazioni circa: la *classe* di salinità; il *valore* di conducibilità elettrica (EC_e in dSm^{-1}) *stimato* attraverso l'analisi geostatistica; l'*attendibilità della stima*, ovvero il grado di affidabilità del valore fornito, informazione questa molto importante per una corretta interpretazione della carta. La legenda specifica le classi di salinità utilizzate.

E' possibile anche aprire le note illustrative correlate.

I suoli dell'Emilia-Romagna

Carta della salinità nei suoli di pianura tra 0-50 cm.
Seconda approssimazione
Livello di dettaglio 1:250.000

Classe
Debolmente salino

Valore stimato di EC_e espresso in dSm^{-1}
4.51

Attendibilità della stima
ND

Legenda

CLASSE	EC_e^* (dSm^{-1})
Non salino	≤ 2
Molto debolmente salino	2-4
Debolmente salino	4-8
Moderatamente salino	8-16
Fortemente salino	>16

* Conducibilità elettrica dell'estratto in pasta satura

Anno di aggiornamento
2015

[Apri note illustrative](#)

Figura 8. Interfaccia di consultazione della carta

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



4.2 Consultazione tramite WEBGIS

La carta della salinità 0-50 cm 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 WEBGIS. Vanno attivati i pop-up, indifferentemente dal browser utilizzato. Nella sezione di destra sono presenti i livelli cartografici visualizzabili (alcuni attivi di default, altri attivabili dall'utente), la carta della salinità è contenuta nella cartella Carte tematiche. Nella sezione di sinistra vi sono gli strumenti di consultazione dei livelli cartografici.

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

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

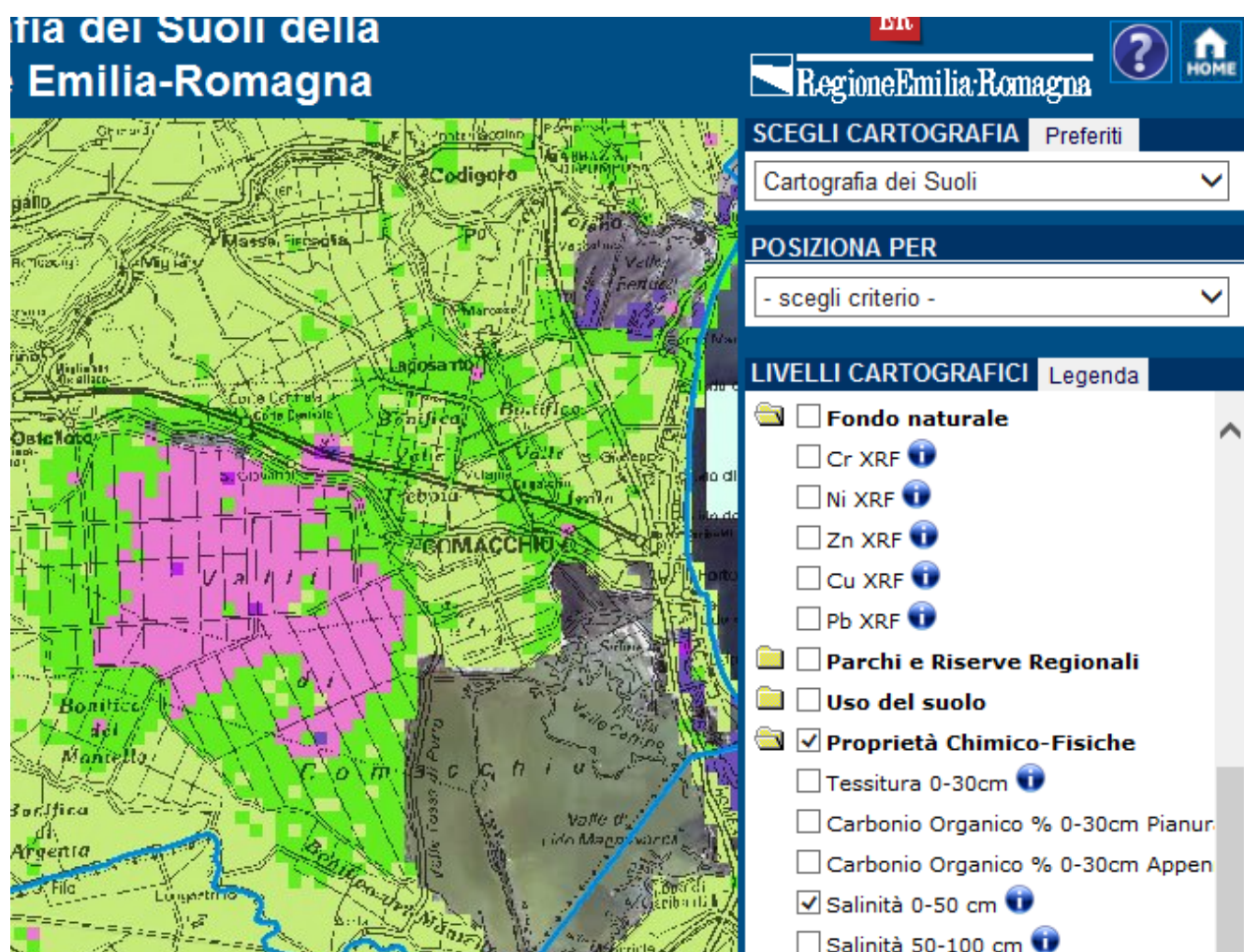


Figura 9. Carta della salinità 0-50 cm sul sito WEBGIS

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

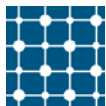


4.3 Download dei dati

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.



Figura 10. Interfaccia di scaricamento dei dati geografici



5 METODOLOGIA UTILIZZATA

La realizzazione della “Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola”, è il risultato della collaborazione tra il Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) della Regione Emilia-Romagna (RER) e il CNR-IBiMet di Firenze³.

Il lavoro è stato svolto essenzialmente in due fasi:

1. definizione degli algoritmi di trasformazione per la stima della conducibilità elettrica in estratto a saturazione (EC_e) a partire da dati di laboratorio determinati in estratto acquoso in diluizione con rapporto suolo/acqua 1:5 ($EC_{1:5}$) o 1:2,5 ($EC_{1:2,5}$);
2. elaborazione spaziale con procedure geostatistiche per la redazione della cartografia.

Si illustra in questo allegato una sintesi del lavoro svolto durante le due fasi rimandato ai riferimenti bibliografici per i rapporti dettagliati del lavoro svolto dal CNR.

5.1 Definizione degli algoritmi di trasformazione

Per il normale sviluppo delle piante è importante la salinità del suolo espressa non tanto come percentuale in peso di sali solubili, quanto come concentrazione di sali nella soluzione del suolo. E' infatti quest'ultima ad essere a diretto contatto con le radici e la sua concentrazione dipende dalla quantità di acqua presente. Una condizione di umidità rappresentativa, per calcolare la salinità come concentrazione della soluzione circolante nel suolo, potrebbe essere quella rilevabile alla capacità di campo. In queste condizioni idrologiche però la determinazione risulta troppo difficile data la scarsa quantità di liquido presente.

Per ovviare a questo limite tra i metodi messi a punto per la determinazione della salinità quello della pasta satura è ritenuto essere il più soddisfacente. Il campione di suolo è portato alla completa saturazione ed è quindi possibile, per aspirazione, ottenere una quantità di liquido sufficiente per determinarne la conducibilità elettrica che viene espressa in millisiemens per centimetro ($mS \cdot cm^{-1}$) o in deciSiemens per metro ($dS \cdot m^{-1}$) a 25°C. Questo valore, *conducibilità elettrica in pasta satura* [EC_e], viene utilizzato per descrivere la salinità del suolo in quanto è ben correlato con la concentrazione salina e con la pressione osmotica della soluzione circolante (Carlioni, 1984) e quindi con la capacità da parte della pianta di assorbire acqua e con essa gli elementi nutritivi.

Più frequentemente però, essendo meno onerosa, si ricorre alla determinazione della conducibilità in estratto acquoso con rapporti fissi di diluizione suolo/acqua pari a 1:2 ($EC_{1:2}$) o 1:5 ($EC_{1:5}$), metodi peraltro riconosciuti come ufficiali dal D.M. 13/9/99, Gazzetta Ufficiale 248 21/10/99, o 1:2.5 ($EC_{1:2.5}$) come proposto da alcuni laboratori.

La banca dati dei suoli del SGSS è caratterizzata da valori di salinità determinati coi diversi metodi di laboratorio essendo stati raccolti in seguito a più progetti di rilevamento realizzati in tempi diversi. Da qui la primaria esigenza di uniformare i dati ad un unico metodo di riferimento, ossia alla conducibilità elettrica dell'estratto acquoso in pasta satura (EC_e).

In letteratura è possibile trovare equazioni di conversione proposte da vari autori su propri lavori che hanno però, data l'origine geografica piuttosto circoscritta dei dati, una valenza prevalentemente locale; infatti anche quelle più note (es. Talsma 1968) si sono rilevate poco adatte a descrivere la salinità dei suoli della Regione Emilia-Romagna.

Il data set predisposto per la definizione degli algoritmi di trasformazione è costituito da dati di salinità per cui erano disponibili valori riferibili almeno a due metodi di laboratorio, l' EC_e ed $EC_{1:5}$ e/o $EC_{1:2.5}$. Sono stati così selezionati dalla banca dati dei suoli del SGSS, 181 orizzonti appartenenti a 56 osservazioni pedologiche (dato puntuale). Quasi tutte le osservazioni sono collegate a una Unità Tipologica di Suolo (UTS) dell'Archivio regionale dei suoli, e tutti gli orizzonti sono caratterizzati dalla classe tessiturale derivata da analisi di laboratorio o da stima di campagna.

³ Costanza Calzolari e Fabrizio Ungaro del CNR - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica di Firenze all'interno della convenzione “Analisi e valutazione dei dati di salinità in relazione al metodo di misura di laboratorio e di campagna e alla definizione di funzioni di trasferimento per la stima della densità apparente dei suoli a tessitura grossolana”.



La numerosità del doppio dato di laboratorio tra ECe ed EC1:5 e/o EC1:2.5 è diversamente articolata ed è riportata nella Tabella 2:

	EC 1:2,5	EC 1:5	ECe	Set completo di analisi
EC 1:2,5	155			
EC 1:5		162		
ECe	148	153	172	
Set completo				129

Tabella 2. Numerosità dei dati con doppia analisi

Nella Tabella 3 sono riportate le statistiche descrittive del data set completo utilizzato per la definizione degli algoritmi:

	numerosità	media	deviazione standard	minimo	mediana	massimo
Sabbia, %	55	34.88	38.10	0.28	10.00	93.60
Limo, %	53	31.82	18.27	4.00	36.90	68.00
Argilla, %	53	32.15	24.94	1.80	32.30	75.00
pH in H ₂ O	181	7.77	0.84	3.80	8.00	9.19
Sost. Org. %	53	1.80	2.76	0.02	1.10	18.57
EC 1:2.5, dSm ⁻¹	155	1.26	2.12	0.09	0.34	15.49
EC 1:5, dSm ⁻¹	162	0.76	1.29	0.05	0.22	9.07
EC _e , dSm ⁻¹	172	2.50	3.01	0.27	1.12	21.74

Tabella 3. Statistiche descrittive del data set utilizzato per la definizione di equazioni di conversione tra i diversi metodi di laboratorio per la determinazione della salinità

L'analisi del CNR ha portato alla definizione di varie equazioni di regressione per il calcolo dell'ECe a partire dall'EC1:5 o dall'EC1:2.5.

Per l'elaborazione della "Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola" di prima approssimazione è stato scelto di utilizzare la funzione che prevede come parametro di ingresso oltre all'EC anche la classe tessiturale con l'obiettivo di meglio valorizzare le peculiarità dei suoli. I parametri statistici descrittivi dei gruppi tessiturali, definiti come segue, sono riportati nella Tabella 4:

- **gruppo O:** orizzonti organici compresi quelli minerali se appartengono a Histosuoli
- **gruppo C:** orizzonti argillosi ossia classi tessiturali A e AL
- **gruppo L:** orizzonti di medio impasto ossia classi tessiturali FLA, FL, F, FA, L ed FS
- **gruppo S:** orizzonti sabbiosi ossia classi tessiturali S ed SF

GRUPPO	EC1:2.5 media	EC1:2.5 N	EC1:2.5 Std.Dev.	EC 1:5 media	EC 1:5 N	EC 1:5 Std.Dev.	ECe media	ECe N	ECe Std.Dev.
L	0.725	69	1.397	0.428	76	0.829	1.795	74	2.115
C	1.030	26	1.019	0.574	40	0.539	2.244	40	2.223
S	0.677	40	0.849	0.155	21	0.110	3.184	40	4.729
O	4.541	20	3.688	2.953	20	2.140	6.576	17	5.204
All Groups	1.256	155	2.125	0.750	157	1.300	2.700	171	3.563

GRUPPO	pH H ₂ O media	pH H ₂ O N	pH H ₂ O Std.Dev.	clay% media	clay% N	clay% Std.Dev.
L	7.898	76	0.711	23.128	75	9.494
C	7.978	40	0.333	52.255	33	9.955
S	8.031	40	0.462	3.723	35	1.636
O	6.317	20	1.233	18.563	16	9.736
All Groups	7.767	176	0.853	24.442	159	18.244

Tabella 4. Statistiche descrittive del data set secondo gruppi tessiturali. N = numerosità; Std.Dev. = deviazione standard



Di seguito le equazioni utilizzate per determinare EC_e a partire $EC_{1:5}$ con i valori dei relativi coefficienti di correlazione

gruppo C $EC_e = 3.889 * EC_{1:5} \quad R^2=0.939$

gruppo L $EC_e = 0.871 + 2.150 * EC_{1:5} \quad R^2=0.726$

gruppo S $EC_e = 7.149 * EC_{1:5} \quad R^2=0.969$

gruppo O $EC_e = 2.361 * EC_{1:5} \quad R^2=0.933$

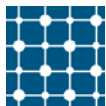
e quelle a partire da $EC_{1:2.5}$ con i valori dei relativi coefficienti di correlazione

gruppo C $EC_e = 2.276 * EC_{1:2.5} \quad R^2=0.95$

gruppo L $EC_e = 0.839 + 1.384 * EC_{1:2.5} \quad R^2=0.81$

gruppo S $EC_e = -0.492 + 5.431 * EC_{1:2.5} \quad R^2=0.95$

gruppo O $EC_e = 1.519 * EC_{1:2.5} \quad R^2=0.956$



5.2 Elaborazione spaziale con procedure geostatistiche per la redazione della cartografia

Dalla banca dati dei suoli sono stati selezionati tutti i dati puntuali aventi valore di salinità e laddove la salinità non era espressa in ECe sono state applicate le equazioni di conversione. I dati sono stati poi ponderati all'intervallo di profondità 0-50 cm; è stato così ottenuto un data set composto da **1811** osservazioni (Figura 11).

Il data set ($N = 1.811$) ha un valore medio pari a $1.61 \pm 0.21 \text{ dS cm}^{-1}$; con deviazione standard di 4.55 dS cm^{-1} ; la mediana è inferiore alla media e pari a 1.18 dS cm^{-1} . Il range dei valori è compreso tra un minimo di 0.003 e un massimo di 121.4 dS cm^{-1} , la distribuzione è marcatamente asimmetrica (tabella 5, Pianura).

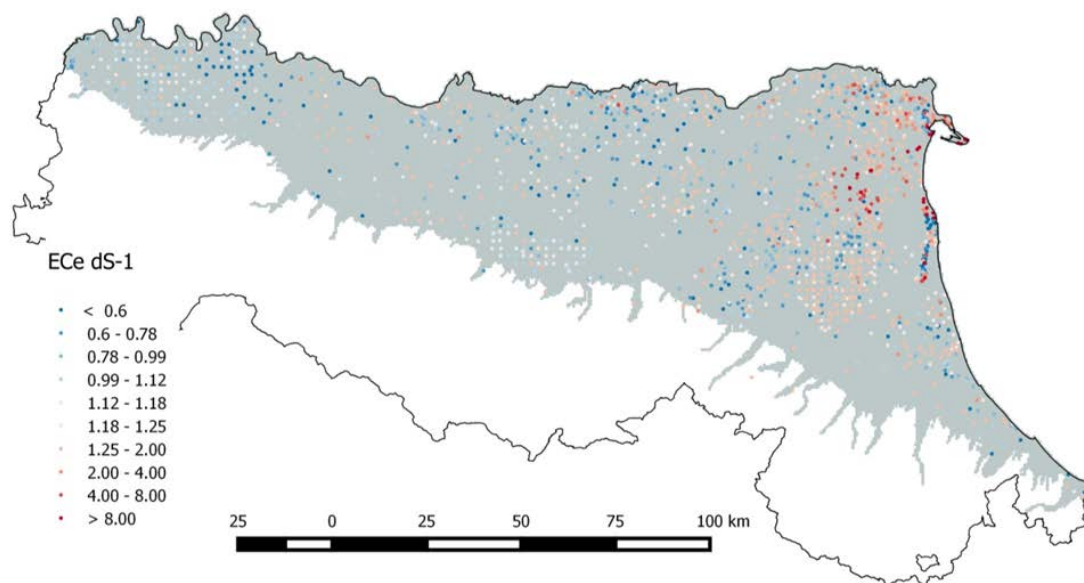


Figura 11. Distribuzione dei dati puntuali di salinità.

Vista la disomogenea distribuzione geografica dei dati per poter supportare l'analisi geostatistica sono state individuate aree omogenee, definite **unità pedo-ambientali**, i cui valori medi possano descrivere il trend della distribuzione spaziale della salinità (ECe). Le unità pedo-ambientali sono state delineate a partire dalla carta dei suoli di pianura in scala 1:50.000 per aggregazione delle unità cartografiche; sono state così ottenute 13 Unità pedo-ambientali (Figure 12 e 13).

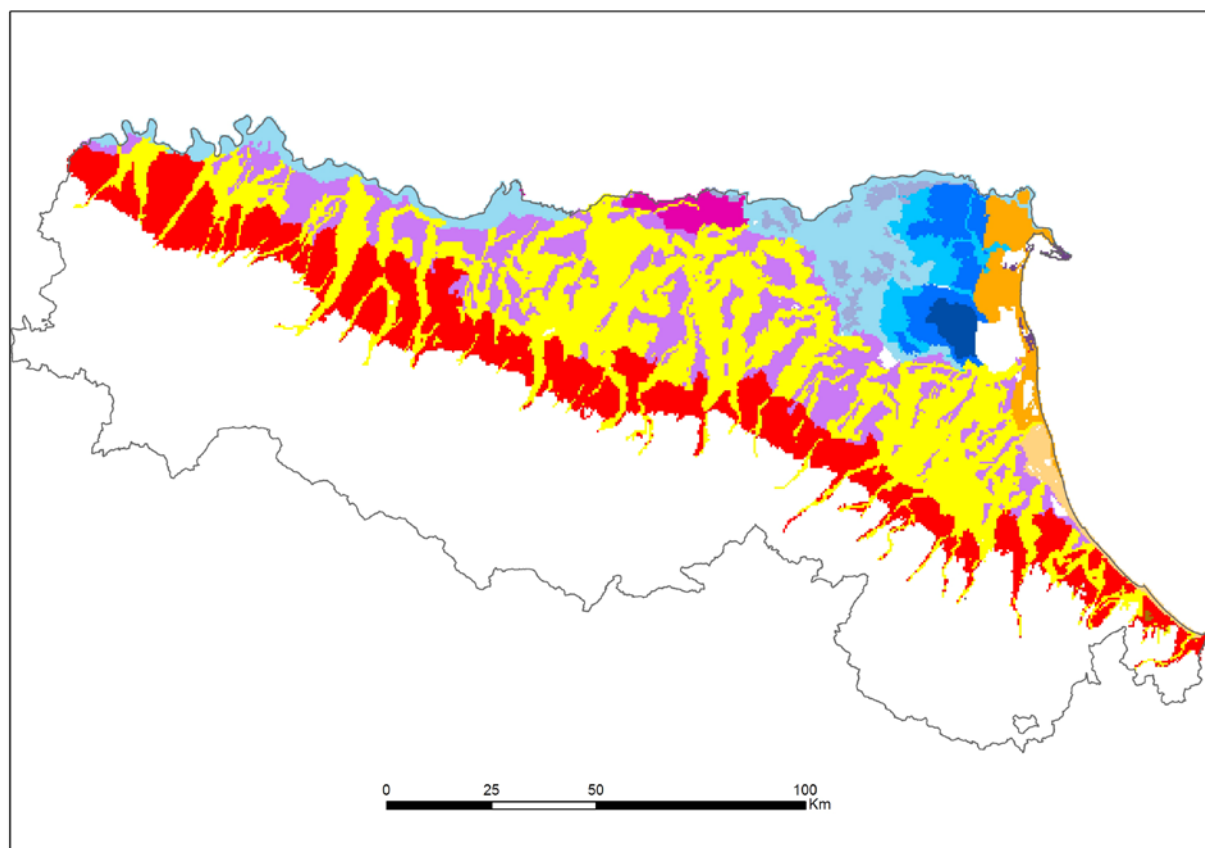


Figura 12. Unità pedo-ambientali di pianura

Unità pedo-ambientali

- ADP - Aree morfologicamente depresse della bassa pianura alluvionale padano-appenninica
- ADA - Aree morfologicamente depresse della piana alluvionale appenninica
- ADD - Aree morfologicamente depresse della piana deltizia superiore
- PM - Piana a meandri del Po e dossi della piana deltizia superiore
- AT - Aree di transizione tra le valli salmastre di recente bonifica e la piana deltizia superiore
- VSB - Valli salmastre bonificate (Histosuoli subordinati)
- BM - Bonifica del Mezzano (Histosuoli dominanti)
- VSC - Valli salmastre della piana costiera
- PCM - Piana costiera meridionale (Sud di Ravenna)
- PCS - Piana costiera settentrionale (Nord di Ravenna)
- DCT - Dossi, conoidi e terrazzi recenti della piana alluvionale appenninica
- APM - Alta pianura e margine appenninico

Figura 13. Legenda delle Unità pedo-ambientali di pianura

In termini di valori medi, il valore medio osservato nell'unità VSC (valli salmastre della costa, 32.4 dS cm^{-1}) è significativamente diverso dai valori medi di tutte le altre unità. Il valore medio dell'unità BM (Bonifica del mezzano, 4.00 dS cm^{-1}) è significativamente diverso da quello di tutte le altre unità ad eccezione della VSB (valli salmastre di recente bonifica, 2.01 dS cm^{-1}).



	Media	N	Std.Dev.	Std.Err.	Min	P10	Q25	Median	Q75	P90	Max
ADA	0.97	377	0.45	0.02	0.26	0.54	0.66	0.89	1.22	1.37	4.25
ADD	1.12	42	0.45	0.07	0.56	0.61	0.74	1.16	1.34	1.58	2.85
ADP	1.15	68	0.89	0.11	0.00	0.58	0.64	0.89	1.24	1.94	6.44
APM	1.06	274	0.33	0.02	0.21	0.62	0.95	1.09	1.19	1.37	3.85
AT	1.31	78	0.60	0.07	0.48	0.66	0.88	1.32	1.49	1.77	5.06
BM	4.00	43	3.90	0.60	0.47	1.10	1.41	1.93	6.00	7.41	20.02
DCT	1.22	407	0.21	0.01	0.47	1.09	1.15	1.24	1.30	1.42	2.28
PCM	1.07	35	0.43	0.07	0.26	0.58	0.70	1.15	1.24	1.51	2.11
PCS	1.70	231	1.90	0.13	0.01	0.39	0.68	1.26	1.86	3.79	18.24
PM	1.29	101	0.25	0.02	0.36	1.08	1.15	1.26	1.44	1.58	2.03
VSB	2.06	139	2.13	0.18	0.36	0.81	1.12	1.46	2.15	3.74	16.74
VSC	32.44	16	35.83	8.96	3.34	8.93	14.89	21.85	27.20	120.96	121.40
Pianura	1.61	1811	4.55	0.11	0.00	0.60	0.89	1.18	1.37	1.86	121.40

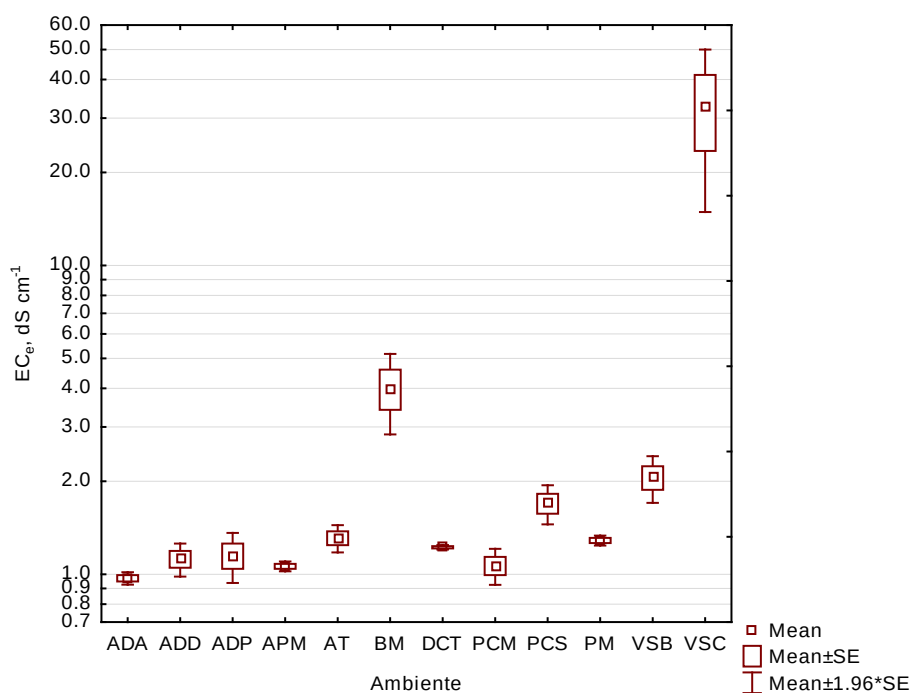
Tabella 5. Elettroconducibilità in pasta satura (dS cm^{-1}): statistiche descrittive per gli ambienti di pianura

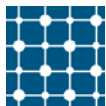
Figura 14. Unità pedo-ambientali della pianura emiliano-romagnola

Le Unità pedo-ambientali sono state ulteriormente suddivise in base ai distretti agricoli di appartenenza, assunti in questo caso come coincidenti con le province amministrative, al fine di poter raggiungere una maggiore accuratezza nella descrizione del trend spaziale nei valori di salinità. Sono stati in questo modo definiti i valori medi per ciascuna Unità pedo-ambientale*distretto.

La definizione dei valori medi è alla base della successiva analisi geostatistica. I valori medi calcolati per ciascuna Unità pedo-ambientale*distretto, 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 regionale⁴ 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

⁴ 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 con sistema di riferimento ED50 UTM fuso 32. La griglia è stata costruita con riferimento a quanto indicato dal progetto MEUSIS del JRC-European Commission.



CARTA DELLA SALINITÀ DEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA STRATO 0-50 cm SECONDA APPROSSIMAZIONE
ciascuna cella anche forniscono non solo un valore medio ma anche indicazioni sull'incertezza del dato stimato.

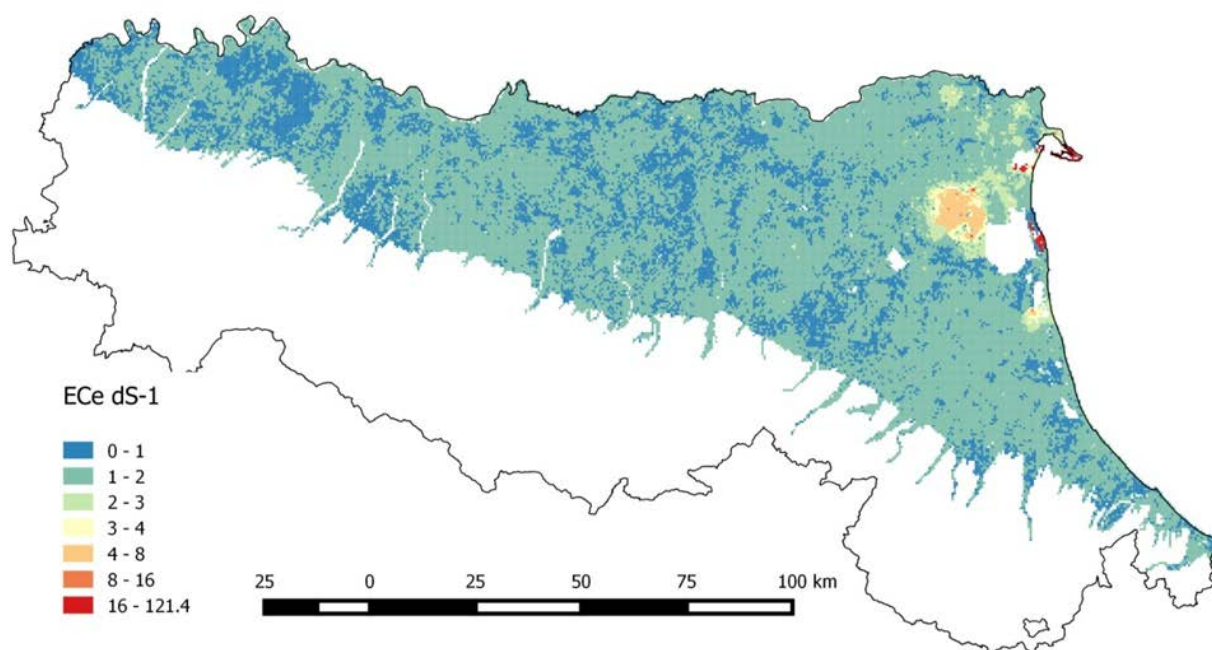


Figura 15. Elettroconducibilità: valori stimati 0-50 cm

Il valore medio stimato per l'intera pianura è pari a 1.29 ± 0.02 dS cm⁻¹, con una deviazione standard pari a 1.67 dS cm⁻¹. Con riferimento alle 7 classi riportate nella legenda in figura 15, si osserva la seguente ripartizione dei valori attribuiti alle celle del grid (N = 46,716): 24.2% classe <1 dS cm⁻¹, 72.1% classe 1-2 dS cm⁻¹, 2.1% classe 2-3 dS cm⁻¹, 0.54% classe 3-4 dS cm⁻¹, 0.78% classe 4-8 dS cm⁻¹, 0.02% classe 8-16 dS cm⁻¹, e 0.22% classe >16 dS cm⁻¹.

Il valore del residuo di ECe 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 (Figura 16).

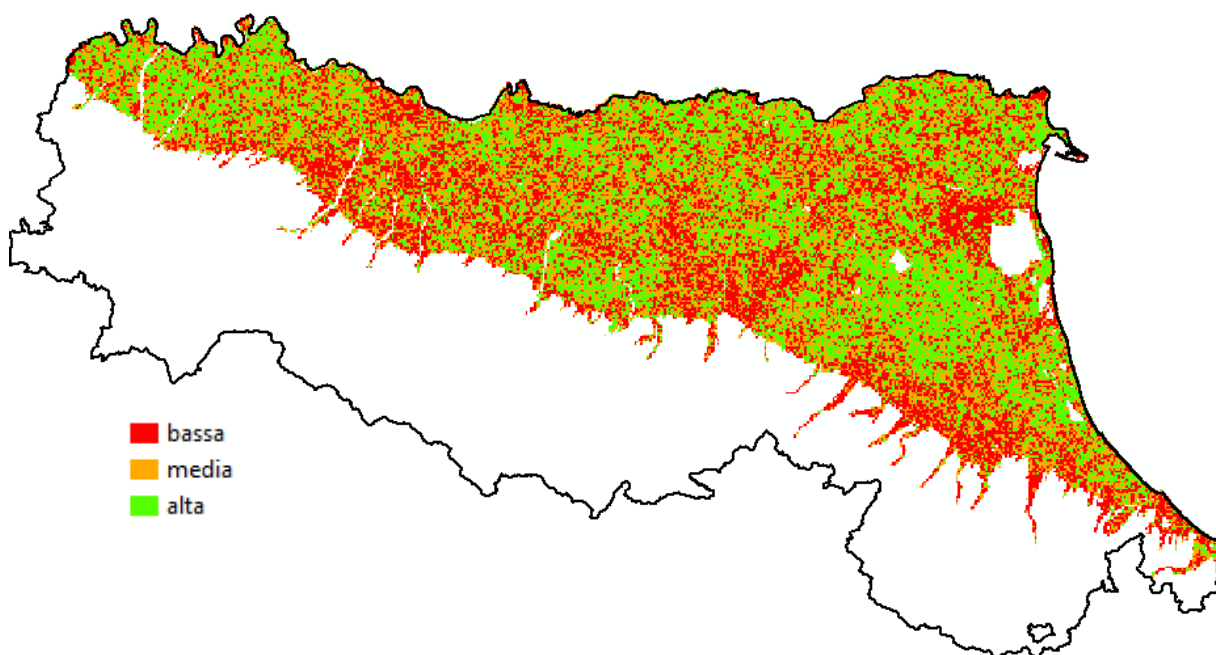


Figura 16. Attendibilità del dato stimato della Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola di seconda approssimazione, strato 0-50 cm.



L'attendibilità della stima dipende dalla densità delle osservazioni, dalla distribuzione (intesa come topologia, posizione geometrica relativa) e dalla variabilità spaziale (continuità e struttura del variogramma).

Gli ambienti caratterizzati da minore accuratezza nei valori di elettroconducibilità stimata sono VSC (Valli salmastre costiere), BM (Bonifica del Mezzano) e APM (Alta pianura e margine appenninico); quelle, al contrario, caratterizzate mediamente da maggiore accuratezza sono ADP (Aree morfologicamente depresse della piana deltizia superiore), PCS (Pianura costiera settentrionale) e AT (Aree di transizione tra le valli salmastre di recente bonifica e la piana deltizia superiore).



6 BIBLIOGRAFIA

Aringhieri R. *I Sali nel terreno* Quaderno n. 7, 1999 CNR Istituto per le Chimica del Terreno, Pisa. INAPA

Calzolari C., Ungaro F. *Analisi e valutazione dei dati di salinità in relazione al metodo di misura di laboratorio e di campagna*. Rapporto 1.3 Febbraio 2011 http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio_pdf/suoli/Funzioni_conversione_tra_EC1_5_ECe_CNR_02_2011.pdf/at_download/file/Funzioni_conversione_tra_EC1_5_ECe_CNR_02_2011.pdf

Calzolari C., Ungaro F. *Analisi statistica e geostatistica dei dati di elettroconducibilità dei suoli per la descrizione in 1a approssimazione, della distribuzione geografica della salinità nei suoli della pianura emiliano-romagnola*. Rapporto 1.4 Ottobre 2011

http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio_pdf/suoli/Carla_salinit_suoli_analisi_statistica_geostatistica_CNR_10_2011.pdf/at_download/file/Carla_salinit_suoli_analisi_statistica_%20geostatistica_CNR_10_2011.pdf

Boschi V., Spallacci P. *Caratteristiche chimiche e agronomiche dei terreni salini della nuova bonifica del Mezzano*, da *Annali dell'Istituto Sperimentale Agronomico*, sez Modena Vol. V 1974.

Carlioni L., *I terreni salini e alcalini*, in *Chimica del suolo* 1989. Sequi P., ed. Patron, Bologna

Fierotti G. *I problemi particolari dell'irrigazione dei terreni salini e l'impiego delle acque salmastre per l'irrigazione*, 1974. Palermo

Giustolisi, O., Savic, D. A., 2006 *A symbolic data-driven technique based on evolutionary polynomial regression*. *Journal of Hydroinformatics*, 8 (3), 207–222

McBratney AB, Mendonça Santos ML, 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

Puppini G., Boschi V., Frassoldati C., DalCo L. *Le terre salse del comprensorio di Burana e la loro bonifica pedologica*. Modena 1955

Regione Emilia-Romagna. *Carta Storica Regionale (1821-1843) in scala 1:50.000* ed. digitale 1999

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 delineation and land use*. *Land Degradation and Development*, 21, 565-581.

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)*. Rapporto 2.1 Ottobre 2015

U.S. Salinity Laboratory Staff – *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, Agriculture Handbook n° 60. 1954 Richard L.A. ed. USDA

Violante P., Adamo P., Salinità, in *Metodi di analisi chimica del suolo*. Ministero delle Risorse Agricole e Forestali Franco Angeli Editore Roma, 2000