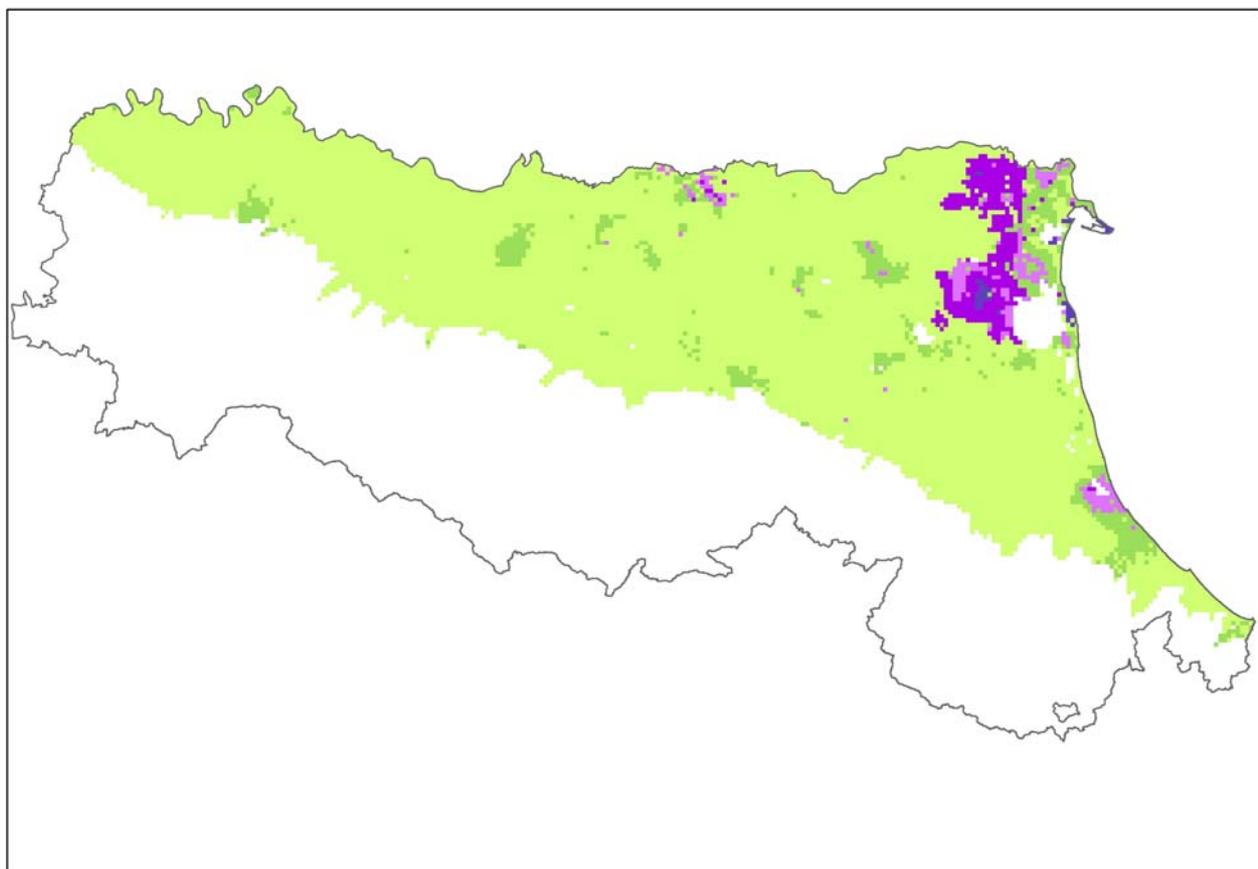


**CARTA DELLA SALINITA' DEI SUOLI  
DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA  
STRATO 50-100 cm**

**PRIMA APPROSSIMAZIONE**

**SCALA 1:250.000**



Ottobre 2011

## **SOMMARIO**

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>DEFINIZIONI .....</b>	<b>4</b>
<b>CONSULTAZIONE DELLA CARTA .....</b>	<b>5</b>
<b>DESCRIZIONE DELLA CARTA .....</b>	<b>6</b>
<b>ALLEGATO: METODOLOGIA UTILIZZATA .....</b>	<b>12</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>18</b>

## INTRODUZIONE

La presenza di sali è normale 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 attraverso 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 prima 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, iniziate alla fine dell'800 e concluse nei primi anni '70, 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, oppure 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 prima rappresentazione spaziale 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 non è stato tanto la descrizione delle dinamiche in atto, quali desalinizzazione o salinizzazione dei suoli, ma piuttosto un lavoro di 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 in ambiti locali in cui, per le proprietà dei suoli o delle acque, sono ipotizzabili processi di salinizzazione .

La carta è di prima approssimazione in quanto ad oggi sono già in fase di realizzazione nuovi rilevamenti per l'acquisizione di nuovi dati e migliorare quindi l'attendibilità dei valori stimati.

I dati sono stati elaborati a due diverse profondità del suolo: 0-50 cm per lo strato superficiale; 50-100 cm per lo strato profondo.

## DEFINIZIONI

Per salinità del suolo si intende il suo contenuto in sali solubili, principalmente cloruri ( $\text{Cl}^-$ ), solfati ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), bicarbonati ( $\text{HCO}_3^-$ ) e carbonati ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) di calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), e potassio ( $\text{K}^+$ ).

La salinità dei suoli è misurata attraverso la *conducibilità elettrica dell'estratto in pasta satura* (ECe) ed è espressa in millisimens 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 influenzati 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.

## CONSULTAZIONE DELLA CARTA

La rappresentazione del territorio avviene attraverso una struttura a maglia costituita da celle con lato di 1Km<sup>1</sup>. Interrogando la cella (Figura 1) si ottengono informazioni circa: la *classe* di salinità; il *valore* di conducibilità elettrica (ECe in dSm<sup>-1</sup>) *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.

Si rimanda all'allegato "Metodologia utilizzata" per un primo approfondimento della lavoro svolto per la realizzazione della carta.

<b>Salinità tra 50-100 cm</b>	
Livello di dettaglio 1:250.000	
<b>Classe</b>	
<b>Molto debolmente salino</b>	
<b>Valore stimato di ECe (dSm<sup>-1</sup>)</b>	
<b>2,56</b>	
<b>Attendibilità della stima</b>	
<b>Media</b>	
<b>Legenda</b>	
<b>CLASSE</b>	<b>ECe (dSm<sup>-1</sup>)</b>
Non salino	≤2
Molto debolmente salino	2-4
Debolmente salino	4-8
Moderatamente salino	8-16
Fortemente salino	>16
<b>Anno di aggiornamento</b>	
<b>2011</b>	
apri Note Illustrative	
<b>Regione Emilia-Romagna</b>	

Figura 1 Legenda di consultazione delle singole celle

<sup>1</sup> Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli ha costruito a livello regionale ai fini delle analisi geografiche e della modellazione, una griglia multiscala con celle di dimensione di 100m aggregabili 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.

## DESCRIZIONE DELLA CARTA

Come si può vedere in Figura 2, dall'elaborazione dei dati disponibili nella banca dati dei suoli del SGSS della Regione Emilia-Romagna, con riferimento allo strato 50-100 cm, i suoli che risultano essere salini in profondità ( $ECe > 4 \text{ dSm}^{-1}$ ) si trovano in corrispondenza di aree di paludi e valli salmastre oggi bonificate situate in modo diffuso nella provincia di Ferrara (Figura 3) e solo localmente nella provincia di Modena, tra Mirandola e Bondeno, e di Ravenna nei pressi di Cervia.

La Carta Storica Regionale della prima metà del 1800 (Figura 4), documenta l'appartenenza delle aree del ferrarese, 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.

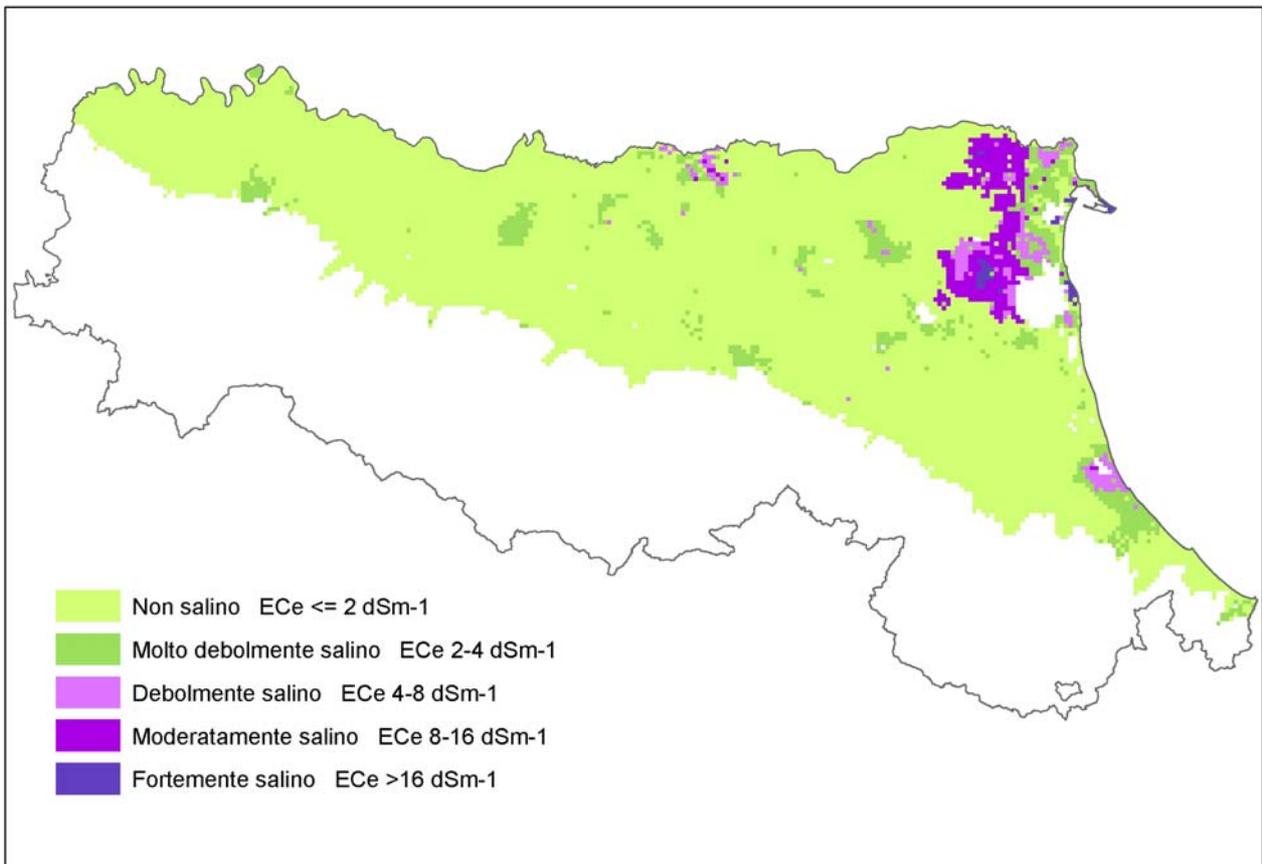


Figura 2 Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola, strato 50-100 cm, di prima approssimazione,

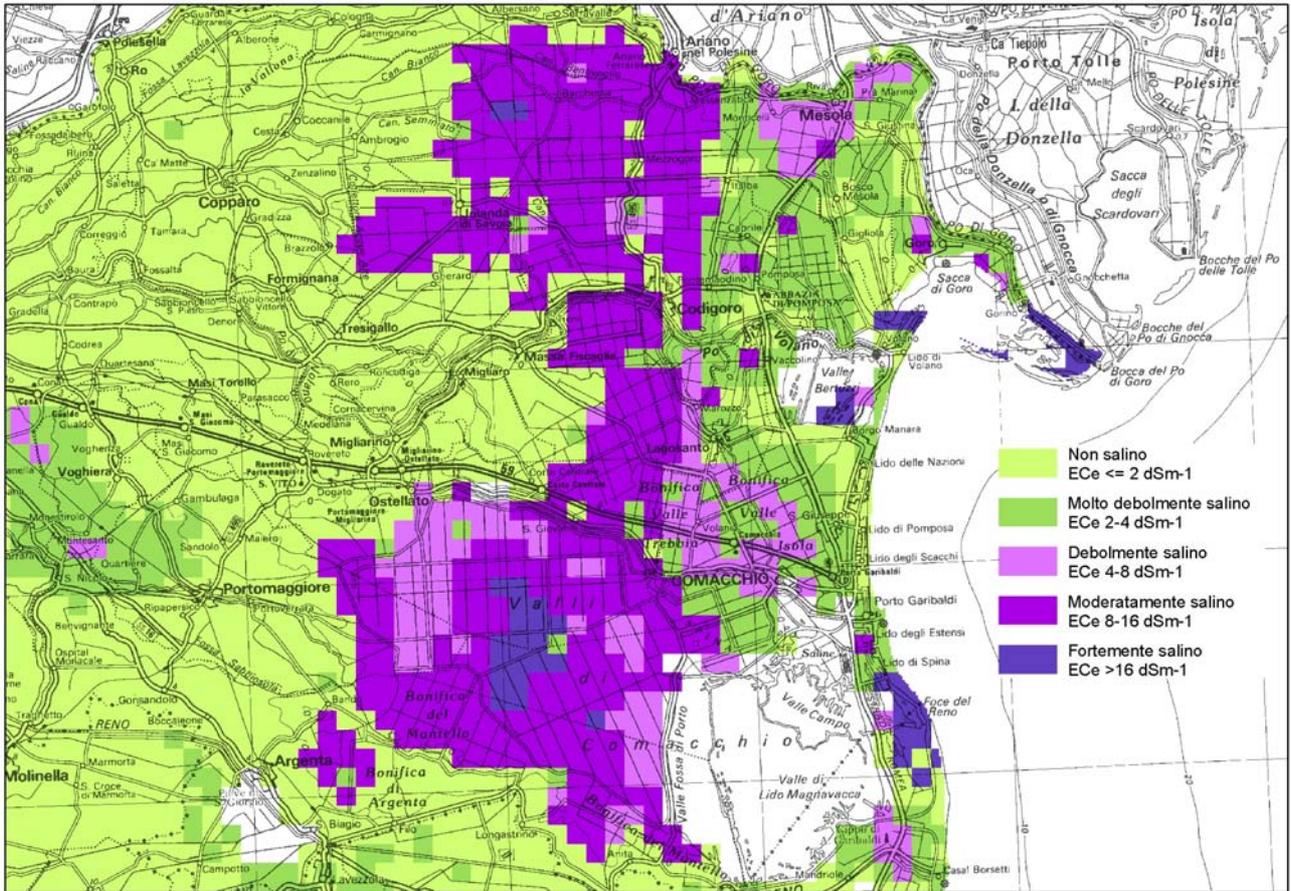


Figura 3 Particolare della Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola, strato 50-100 cm, di prima approssimazione, nella provincia di Ferrara

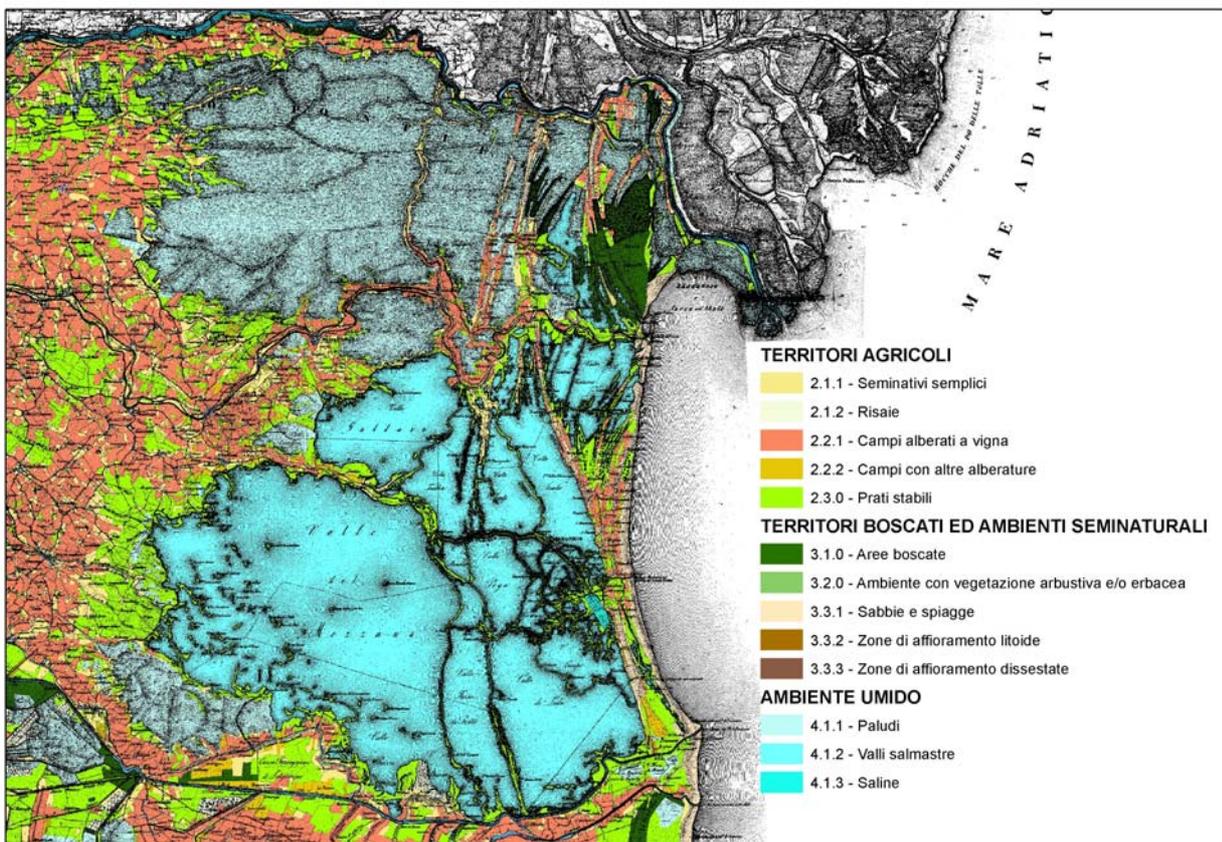


Figura 4 Estratto dalla Carta Storica Regionale (1821-1843) scala 1:50.000 ed. digitale 1999

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, la Bonifica del Mantello. Come risulta dalla carta dell'uso del suolo (Figura 5), 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).

Ancora oggi nelle ex-aree salmastre intorno a Jolanda di Savoia e tra Massa Fiscaglia e Lagosanto persiste una certa diffusione delle risaie. In queste stesse aree, la carta della salinità (Figura 3) indica la persistenza di suoli salini in profondità, con valori di E<sub>C</sub>e spesso superiori a 8 dSm<sup>-1</sup>, anche dove in superficie l'azione dilavante delle acque di pioggia e di irrigazioni ha spinto il processo di desalinizzazione a livelli tali da far raggiungere valori di salinità meno limitanti (Figura 6).

L'area in oggetto è però caratterizzata da pochi dati puntuali e da una elevata variabilità (da 0,5 a 53,5 E<sub>C</sub>e dSm<sup>-1</sup>), di conseguenza l'attendibilità del dato stimato dall'analisi geostatistica risulta spesso bassa o molto bassa (Figura 7).

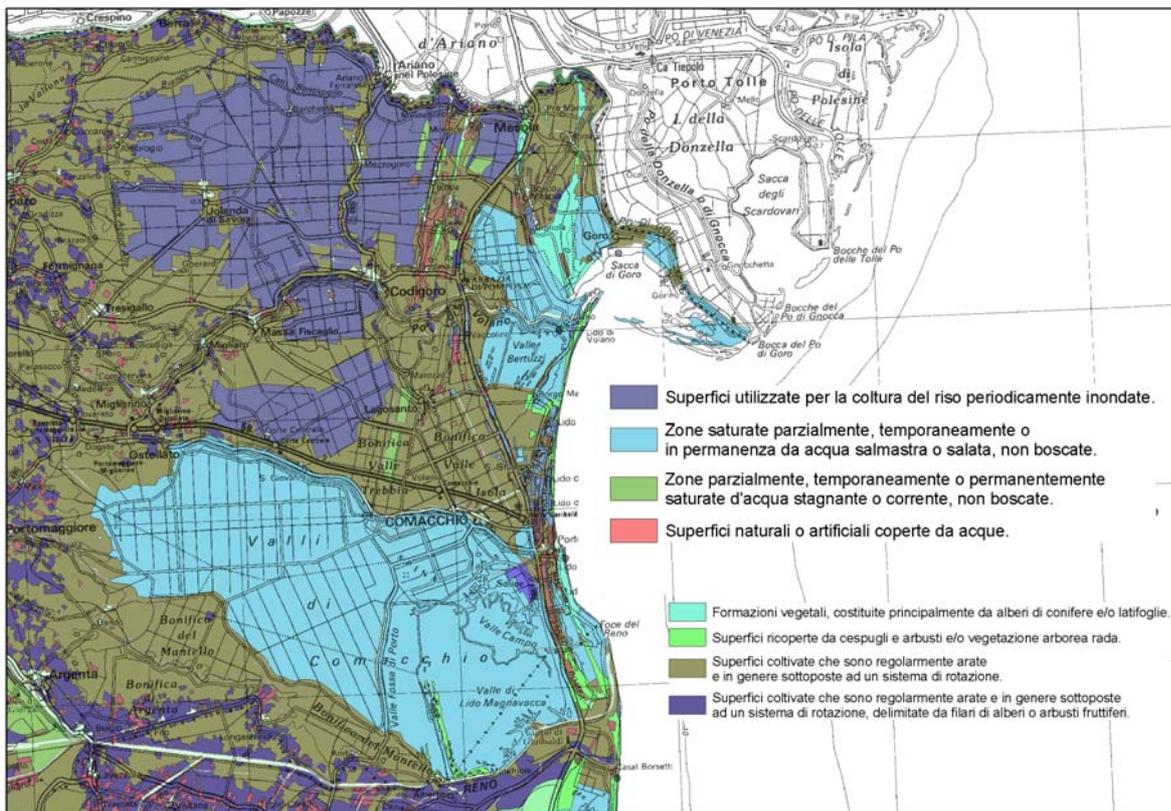


Figura 5 Estratto dalla Carta dell'uso del suolo 1954, scala 1:50.000 ed. 2008

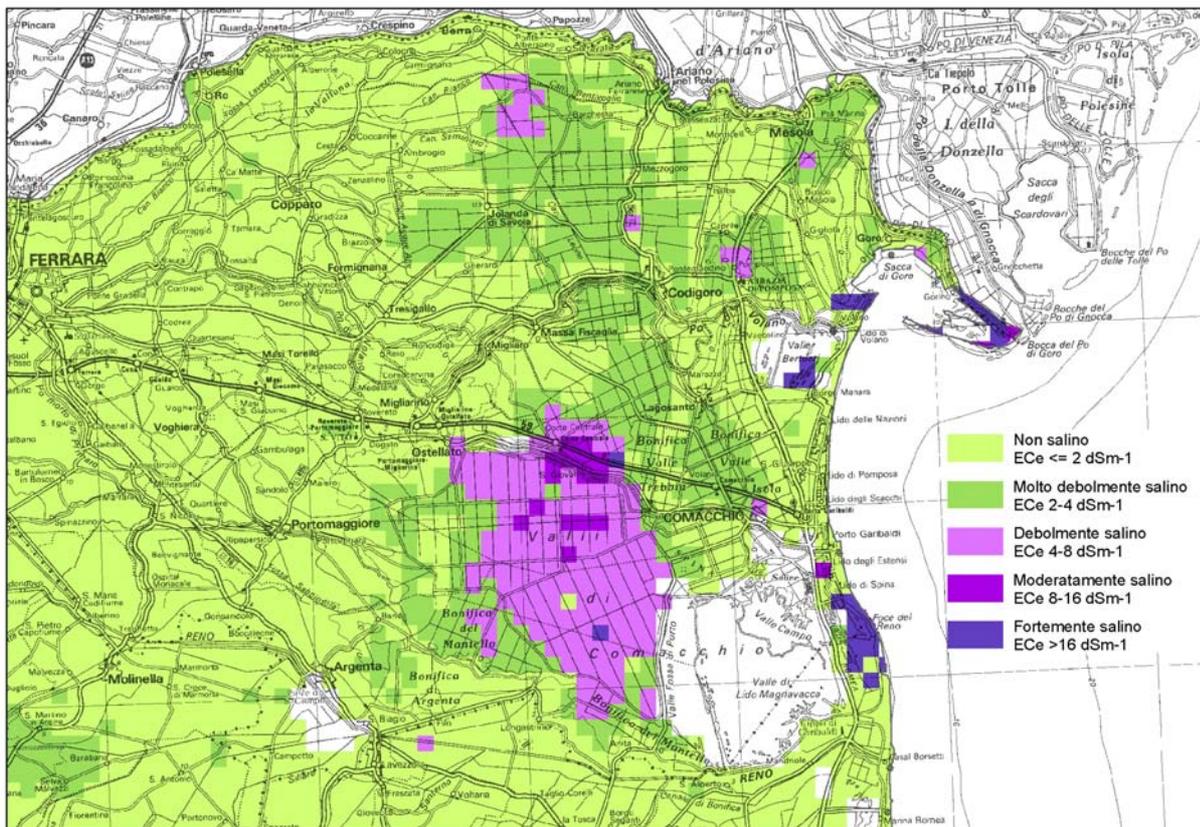


Figura 6 Particolare della Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola, strato 0-50 cm, di prima approssimazione, nella provincia di Ferrara

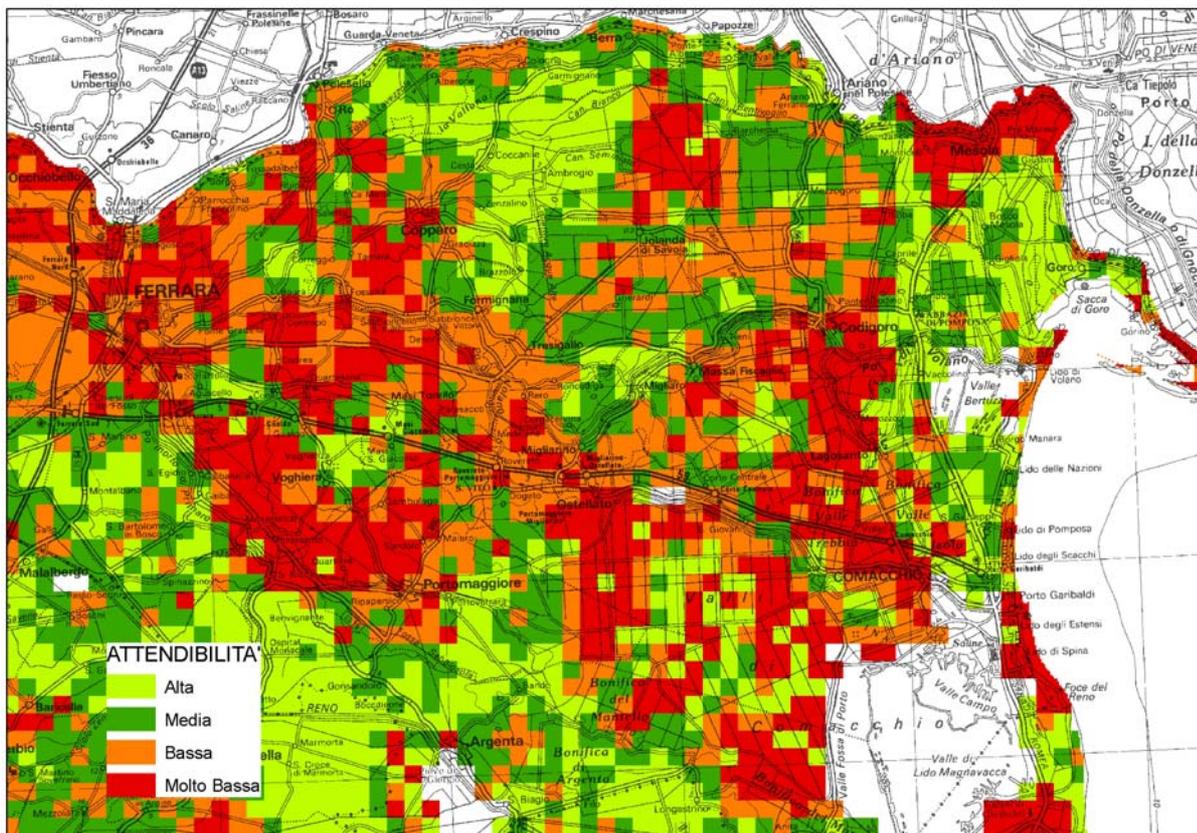


Figura 7 Attendibilità del dato stimato della carta della salinità dei suoli, strato 50-100 cm di prima approssimazione.

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.

La Valle del Mezzano ancora oggi risulta ampiamente interessata da suoli salini già a partire dalla superficie per raggiungere in profondità valori anche superiori a  $16 \text{ dSm}^{-1}$  (Figura 3 e 6).

Questa valle si distingue dalle altre 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 prima approssimazione pur avendo in quest'area una maggiore disponibilità di dati presenta un'affidabilità del dato stimato piuttosto variabile (Figura 7); tuttavia uno studio più dettagliato potrebbe consentire non solo di migliorare l'attendibilità della stima, soprattutto laddove in assenza di dati puntuali risulta bassa e molto bassa, 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.

E' evidente come la maggiore diffusione di suoli salini in profondità, anche nelle aree di bonifica più antiche dove in superficie la presenza di sali ha raggiunto valori meno limitanti, mette in risalto la peculiarità di un sistema agricolo fortemente condizionato dalla gestione delle acque, e quindi del franco di bonifica, che deve garantire una profondità di falda, evidentemente salina, tale da non incidere negativamente sullo sviluppo delle piante condizionato d'altra parte anche dalla disponibilità di acqua irrigua di buona qualità.

Una nota di attenzione merita anche il comprensorio di Burana, tra Mirandola e Bondeno, per l'ampia trattazione di cui è stata oggetto già a partire dall'inizio del '900 a cura di naturalisti (Pollini, D'Arco, Paglia) e in seguito da agronomi (Puppini G. et al., 1955). Questi ultimi confermavano ancora alla metà del secolo scorso, l'ampia diffusione nell'area di suoli ricchi in cloruro di sodio a partire dallo strato superficiale (Figura 8).

Oggi, pur non avendo uno studio aggiornato di dettaglio, si può affermare che mentre in superficie i suoli sono stati abbondantemente dilavati, grazie alle opere di bonifica e alle attente tecniche irrigue, in profondità permangono tracce di salinità tali da classificare localmente i suoli tra debolmente a moderatamente salini (Figura 2).

Per quanto riguarda i suoli sabbiosi della piana costiera ferrarese e di tutta l'area di costa, valori di salinità in profondità superiori a  $4 \text{ dSm}^{-1}$  solo presenti solo in aree circoscritte, presumibilmente in corrispondenza di falde superficiali saline, come si può segnalare in particolare in alcune zone a nord di Comacchio. Da segnalare infine la presenza di suoli debolmente salini in profondità nell'intorno delle saline di Cervia dove però, vista la scarsa disponibilità di dati puntuali, l'attendibilità della stima è molto bassa.

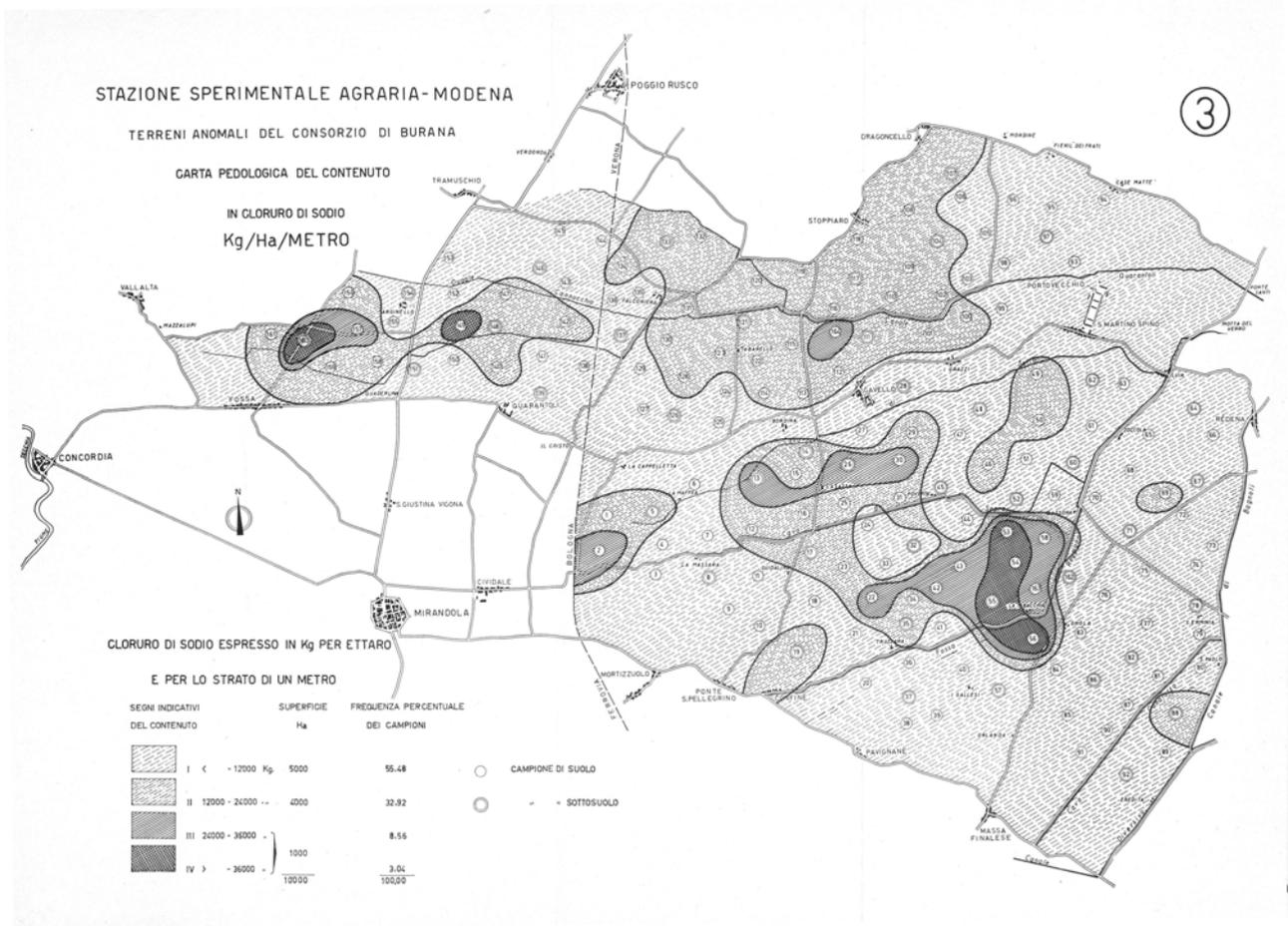


Figura 8 Carta pedologica del contenuto in cloruro di sodio per lo strato di un metro. Da "Le terre salse del comprensorio di Burana e loro bonifica pedologica" Puppini G. et all. 1955.

## ALLEGATO: METODOLOGIA UTILIZZATA

La realizzazione della "Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola" di prima approssimazione, è il risultato della collaborazione tra il Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) della Regione Emilia-Romagna (RER) e il CNR-IRPI di Firenze<sup>2</sup>.

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 ( $E_{Ce}$ ) 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.

### FASE 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* [ $E_{Ce}$ ], 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 (Carloni L. 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 ( $E_{Ce}$ ).

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' $E_{Ce}$  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.

---

<sup>2</sup> 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 <sub>2</sub> 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 <sup>-1</sup>	155	1.26	2.12	0.09	0.34	15.49
EC 1:5, dSm <sup>-1</sup>	162	0.76	1.29	0.05	0.22	9.07
EC <sub>e</sub> , dSm <sup>-1</sup>	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 vari 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 tessitureali, 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 tessitureali A e AL
- **gruppo L**: orizzonti di medio impasto ossia classi tessitureali FLA, FL, F, FA, L ed FS
- **gruppo S**: orizzonti sabbiosi ossia classi tessitureali 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 <sub>2</sub> O media	pH H <sub>2</sub> O N	pH H <sub>2</sub> 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 tessitureali. N = numerosità; Std.Dev. = deviazione standard

Di seguito le equazioni utilizzate per determinare EC<sub>e</sub> a partire EC<sub>1:5</sub> 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<sub>1:2.5</sub> 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  $EC_e = 1.519 * EC_{1:2.5} \quad R^2=0.956$

#### FASE 2 Elaborazione spaziale con procedure geostatistiche per la redazione della cartografia

Dalla banca dati dei suoli sono stati selezionati tutti i dati puntuali aventi il valore di salinità e laddove la salinità non era espressa in EC<sub>e</sub> sono state applicate le equazioni di conversione. I dati sono stati poi ponderati a due distinti intervalli di profondità: 0-50 cm e 50-100 cm. E' stato così ottenuto un data set composto da 1277 osservazioni relative all'intervallo di profondità 0-50 cm e 1289 osservazioni relative all'intervallo di profondità 50-100 cm. In Tabella 5 sono riportate le statistiche descrittive dei dati riferiti alle due profondità.

Profondità	Numerosità	media dS/m	Std.Dev. dS/m	minimo dS/m	Q0.25 dS/m	Median dS/m	Q0.75 dS/m	massimo dS/m
0-50 cm	1277	1.72	5.39	0.003	0.816	1.14	1.301	121.40
50-100 cm	1289	2.09	5.08	0.009	0.926	1.15	1.415	121.53

Tabella 5 Std.Dev. = deviazione standard; Q0.25 = 25simo percentile; Q0.75 = 75simo percentile

La distribuzione dei dati è fortemente asimmetrica con il 75% delle osservazioni caratterizzate da valore inferiore a quello medio. Altrettanto disomogenea è la distribuzione geografica dei dati con una densità di osservazione per provincia estremamente variabile come si evidenzia nella Figura 9 e come riportato in sintesi in Tabella 6.

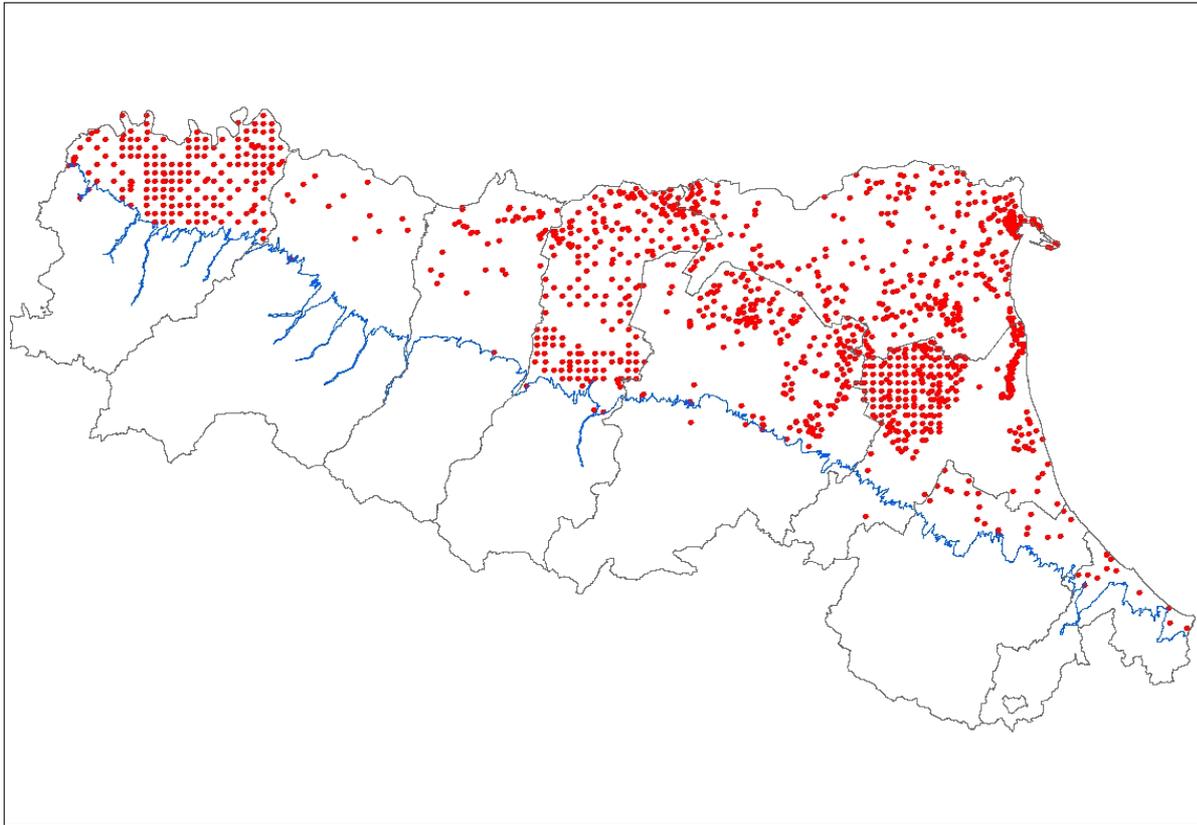


Figura 9 Distribuzione dei dati puntuali di salinità, in rosso, usati per l'elaborazione geostatistica. In blu limite di pianura seconda la Carta dei suoli di pianura in scala 1:50.000 ed. 2011.

Provincia	Numero di osservazioni 0-50 cm	1 osservazione ogni km <sup>2</sup> 0-50 cm	Numero di osservazioni 50-100 cm	1 osservazione ogni km <sup>2</sup> 50-100 cm
BO	168	11,2	167	11,3
FC	6	89,1	18	29,7
FE	287	9,2	293	9,0
MO	218	6,4	213	6,6
PC	263	4,3	264	4,3
PR	13	93,1	12	100,8
RA	287	5,3	269	5,6
RE	24	48,2	40	28,9
RN	10	22,5	13	17,3
totale	1277		1289	

Tabella 6 Numero di osservazioni e densità di osservazioni per provincia con riferimento alla sola porzione di pianura. Limite di pianura secondo la carta dei suoli in scala 1:50.000 ed 2011.

Vista la disomogenea distribuzione dei dati per poter supportare l'analisi geostatistica sono state individuate aree omogenee, 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 12 Unità pedo-ambientali (Figure 10 e 11).

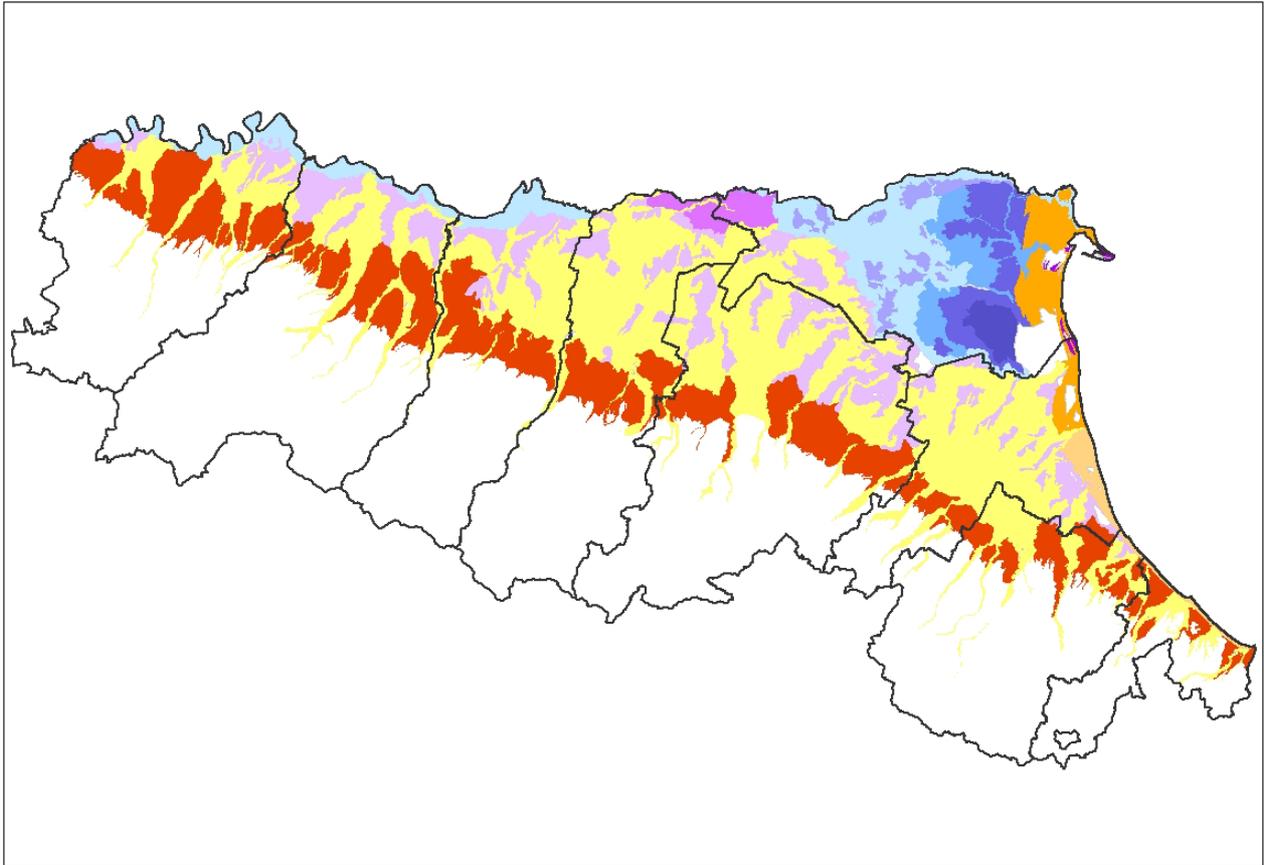


Figura 10 Unità pedo-ambientali di pianura

### Unità pedo-ambientali

- Acque
- Piana costiera meridionale (Sud di Ravenna)
- Piana costiera settentrionale (Nord di Ravenna)
- Valli salmastre della piana costiera
- Bonifica del Mezzano (Histosuoli dominanti)
- Valli salmastre di recente bonifica (Histosuoli subordinati)
- Aree di transizione tra le valli salmastre di recente bonifica e la piana deltizia superiore
- Piana a meandri del Po e dossi della piana deltizia superiore
- Aree morfologicamente depresse della piana deltizia superiore
- Aree morfologicamente depresse della bassa pianura alluvionale padano-appenninica
- Aree morfologicamente depresse della piana alluvionale appenninica
- Dossi, conoidi e terrazzi recenti della piana alluvionale appenninica
- Alta pianura e margine appenninico

Figura 11 Legenda delle Unità pedo-ambientali

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 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 regionale<sup>3</sup> con dimensione della cella di 1 km x 1km. 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 avvale di  $N$  simulazioni che forniscono una serie di  $N$  rappresentazioni (mappe) equiprobabili la cui statistica descrittiva può anche fornire indicazioni sull'incertezza del dato. Il valore di ECe attribuito ad ogni cella è il valore medio delle  $N=500$  simulazioni (Figura 2), mentre il valore della deviazione standard è stato utilizzato per definire la qualità o attendibilità del dato simulato. In particolare la deviazione standard calcolata in corrispondenza di ciascuna cella ( $N= 500$ ) è stata classata in quattro intervalli definiti in base ai quartili e alla mediana della distribuzione della deviazione standard (Figura 12) 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).

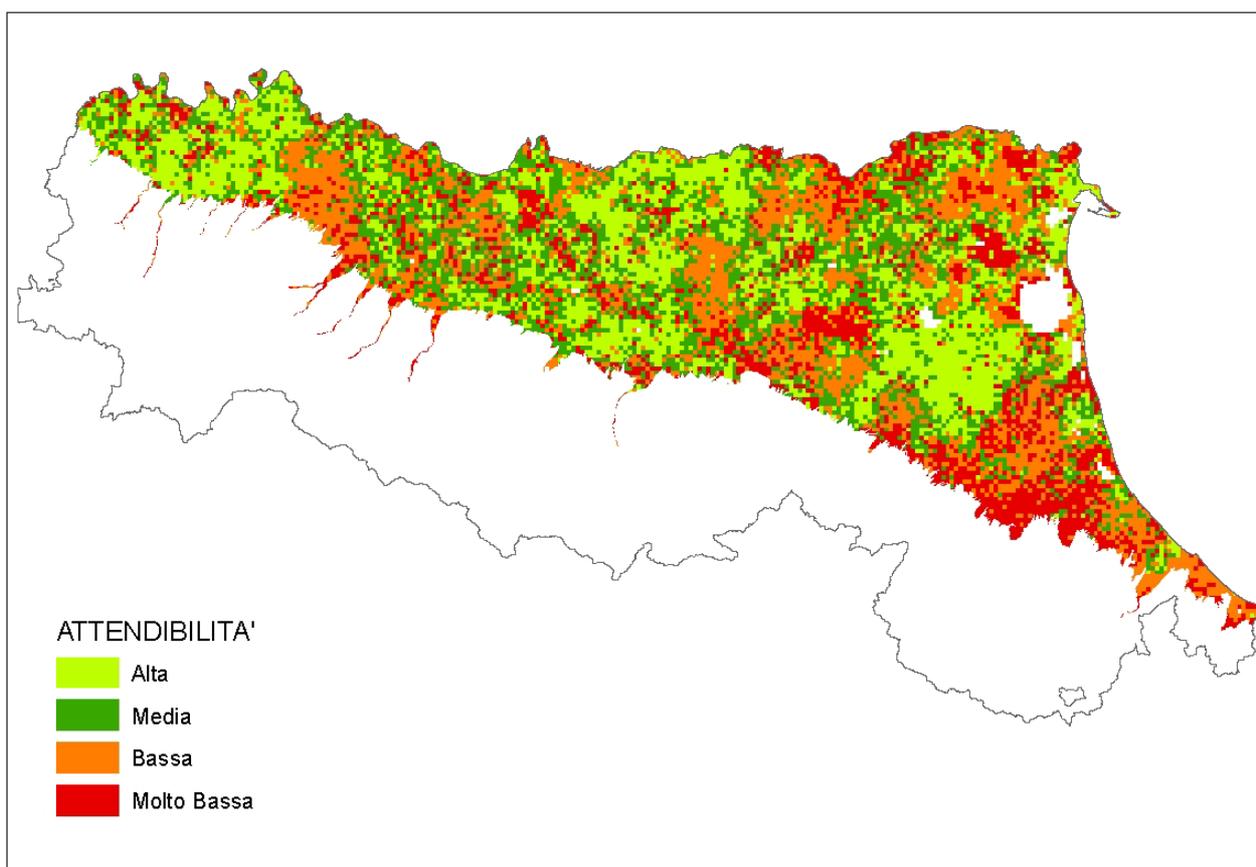


Figura 12 Attendibilità del dato stimato della Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola di prima approssimazione per lo strato 0-50 cm.

<sup>3</sup> Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli ha costruito a livello regionale ai fini delle analisi geografiche e della modellazione, una griglia multiscala con celle di dimensione di 100m aggregabili 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.

## 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

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

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

Carloni 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

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

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