

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BOLOGNA

FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI

Corso di laurea magistrale in
ANALISI E GESTIONE PER L'AMBIENTE

**La salinizzazione dei suoli in ambiente costiero:
un caso studio a sud di Ravenna**

Tesi di laurea in: Pedologia e gestione del suolo

Relatore

Prof. Alessandro Buscaroli

Presentata da

Giorgia Mensali

Correlatore

Dott. Denis Zannoni

III SESSIONE

Anno accademico 2011/2012

Indice

| | |
|--|----|
| INTRODUZIONE..... | 4 |
| 1. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO | 6 |
| 1.1 Evoluzione geologica dell'area..... | 6 |
| 1.2 Inquadramento pedologico | 8 |
| 1.3 Utilizzazione del territorio | 12 |
| 2. LA SALINIZZAZIONE DEI SUOLI | 14 |
| 2.1 Risorsa suolo | 14 |
| 2.2 Fenomeno salinizzazione | 15 |
| 2.3 Situazione nelle zone costiere | 18 |
| 2.4 Condizione europea | 19 |
| 2.5 Condizione coste italiane | 23 |
| 2.6 Condizione coste Emilia Romagna | 23 |
| 3. MATERIALI E METODI..... | 27 |
| 3.1 Contestualizzazione pedologica profili Mira e pregressi | 27 |
| 3.2 Campioni acque di falda FTRIV | 38 |
| 3.3 Campioni Resmi | 39 |
| 3.4 Indagine pedologica | 41 |
| 3.4.1 Rilievo in campo e campionamento..... | 41 |
| 3.5 Analisi in laboratorio..... | 42 |
| 3.5.1 Determinazione del grado di reazione (pH)..... | 44 |
| 3.5.2 Determinazione del contenuto di sali solubili..... | 45 |
| 3.5.3 Determinazione del calcare totale | 51 |
| 3.5.4. Determinazione della distribuzione della dimensione delle particelle (Tessitura) per mezzo dell'idrometro..... | 52 |
| 3.5.5. Determinazione del carbonio totale, organico e dell'azoto totale con analizzatore elementare | 54 |
| 3.5.6. Determinazione del complesso di scambio | 55 |
| 3.5.7. Indice BEX..... | 60 |
| 4. RISULTATI E DISCUSSIONE..... | 61 |
| 4.1. Analisi relative ai profili Mira e pregressi | 61 |
| 4.1.2. Analisi granulometrica dei profili | 69 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.3. pH e Calcare Totale dei profili | 73 |
| 4.1.4. Conducibilità elettrica dei profili..... | 73 |
| 4.1.5. Azoto dei profili..... | 74 |
| 4.1.6. Carbonio Organico Totale dei profili | 74 |
| 4.1.7. Rapporto TOC/N dei profili | 75 |
| 4.1.8. Forme solubili dei profili Mira | 75 |
| 4.1.9. Bilancio Ionico dei profili Mira | 78 |
| 4.1.10. Indice BEX dei profili Mira | 79 |
| 4.2. Analisi relative alle acque di falda FTRIV | 81 |
| 4.2.1. Conducibilità elettrica e pH..... | 81 |
| 4.2.2. Forme solubili..... | 81 |
| 4.2.3. Bilancio Ionico | 84 |
| 4.3. Analisi relative ai transetti RE PD LC..... | 84 |
| 4.3.1. Descrizione geologica transetti | 84 |
| 4.3.2. Conducibilità elettrica e pH..... | 87 |
| 4.3.3. Forme solubili..... | 89 |
| 4.3.4. Bilancio ionico | 92 |
| 4.3.5. Correlazione tra CE, S.A.R., Indice BEX..... | 93 |
| 4.3.6. Rapporto $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{HCO}_3^-$ | 96 |
| 4.3.7. Confronto tra metodi per la determinazione della CSC..... | 98 |
| 5. CONCLUSIONI | 102 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 104 |

INTRODUZIONE

Il suolo è un sistema complesso, definito come un insieme di corpi naturali sulla superficie della terra, modificati in posto o talvolta anche costruiti dall'uomo, contenenti materia vivente e capaci di sostenere gli organismi vegetali come le piante (Soil Survey Division Staff, 1993).

E' una risorsa di fondamentale importanza, che assicura una serie di funzioni chiave a livello ambientale, sociale ed economico, ma è anche quella più vulnerabile su cui l'uomo sta avendo un forte impatto e per questo deve essere salvaguardata per assicurare un adeguato sviluppo sostenibile. Tra le funzioni svolte da questa matrice c'è innanzitutto quella di magazzino degli elementi nutritivi, dell'acqua e dell'aria per le piante, che assorbono mediante le radici, mentre per l'uomo costituisce invece una risorsa per la sua attività di agricoltore, ma il suo valore si è via via ampliato, estendendosi anche ad altri servizi determinando così un aumento del suo consumo.

Come molte zone litoranee di bassa pianura anche la fascia costiera ravennate è soggetta ad un precario equilibrio ambientale dovuto alla morfodinamica naturale molto attiva e tipica di tali ambienti, quali: sedimentazione, erosione, subsidenza e salinizzazione. A queste, in tempi diversi, sono venuti ad associarsi altri processi, indotti dall'attività antropica, che hanno portato alla scomparsa di gran parte dei caratteri paesaggistico-ambientali originari: le dune sono state in parte spianate, le paludi bonificate, le superfici boschive fortemente ridotte e le spiagge in buona parte occupate da stabilimenti per il turismo balneare.

Al sistema costiero emiliano-romagnolo oltre a questa modificazione urbanistica si uniscono i forti valori di subsidenza dell'area determinati da cause naturali (2-3 mm/anno) alle quali si sovrappone, in diverse aree, un abbassamento del suolo di origine antropica dell'ordine dei cm, principalmente dovuto ad emungimenti di acqua e estrazione di metano dal sottosuolo combinata alla riduzione degli apporti di sedimenti a mare da parte dei fiumi, causata dalla escavazione in alveo in seguito al fenomeno eustatico, determinando così un accentuato grado di vulnerabilità di questo territorio costiero (Preti, 1999).

In questo contesto fragile e sensibile si introduce il presente studio, che si prefigge come obiettivo quello di valutare il rischio di salinizzazione nei suoli della piana agricola costiera

presenti nell'area sud ravennate, condizionata dalla qualità delle acque utilizzate per l'irrigazione, dalla vicinanza dalla costa e quindi sensibile a fenomeni di ingressione marina e dall'innalzamento del livello delle falde acquifere. Questi processi possono determinare l'accumulo di sali nel suolo (in particolare sali di sodio) costituendo così una delle principali minacce fisiologiche per gli ecosistemi che si manifesta attraverso la riduzione della biodiversità, lo sviluppo stentato delle coltivazioni in quanto limita l'assunzione di sostanze nutritive e, più in generale, con la riduzione della fertilità del suolo limitandone o impedendone l'utilizzo agricolo.

Pertanto la ricerca si è basata su una valutazione territoriale di tale rischio procedendo innanzitutto nell'individuazione dell'area di studio e in una caratterizzazione pedologica delle tipologie di suolo presenti, nonché analisi di tipo chimico-fisiche per verificare l'effettivo livello di manifestazione del problema della salinizzazione nell'area d'interesse. Questa tematica riveste un ruolo determinante sul degrado ambientale degli ambienti costieri, ragion per cui è stata oggetto di studio di vari progetti, il più recente il *Coastal Salt-Water Intrusion* (C.S.I.) focalizzato sui meccanismi che governano e influenzano l'intrusione salina dell'acquifero freatico costiero. Proprio a questo progetto è stato deciso di collegarsi, cogliendo l'opportunità di utilizzare, per una parte delle attività, dei campioni impiegati nella Tesi di Dottorato del dott. Umberto Resmi sulla dinamica dell'intrusione salina nella costa ravennate ed analizzare il problema dal punto di vista pedologico.

1. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

L'area oggetto di studio è situata nel contesto della pianura costiera romagnola e si estende lungo la fascia litoranea a sud di Ravenna tra la foce dei Fiumi Uniti e la foce del Fiume Savio. Confina ad Est con il Mare Adriatico ed a Ovest con Via Romea Sud (SS 309).

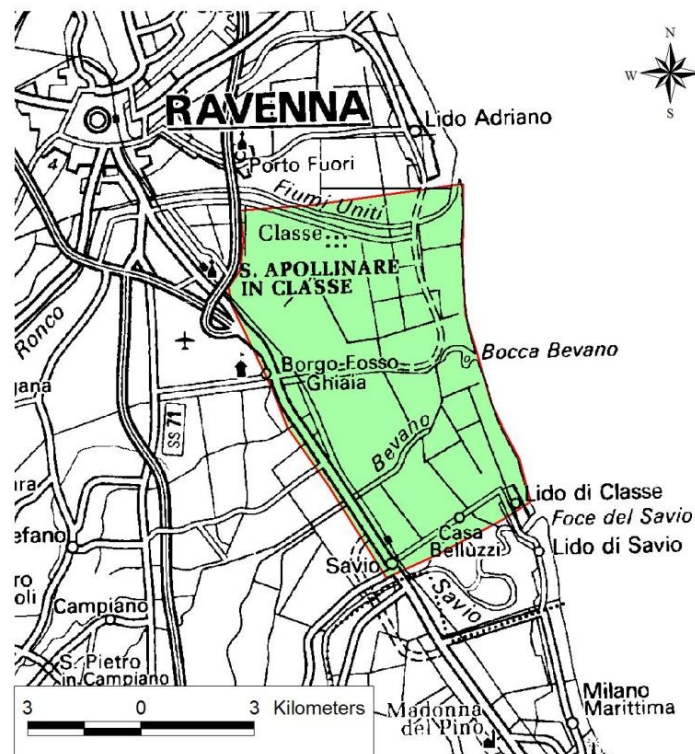


Figura 1.1 - Delimitazione area di studio.

1.1 Evoluzione geologica dell'area

La maggior parte dei corpi sedimentari più prossimi alla superficie della pianura emiliano-romagnola sono il prodotto dell'evoluzione trasgressivo-regressivo olocenica del Bacino Padano-Adriatico, dalla fine dell'ultima glaciazione ad oggi. Di fatto l'evoluzione deposizionale dell'area ravennate è stata controllata dallo scioglimento delle masse glaciali a seguito della Glaciazione Würm (70000-18000 anni fa) che determinarono in tutto l'Adriatico Settentrionale l'arretramento della linea di costa di oltre 20 km rispetto a quella attuale intorno ai 5000-6000 anni fa (Bondesan et al., 1995). In seguito il sistema deltizio del fiume Po, associato ai corsi d'acqua che scendono dai rilievi montuosi,

incominciarono una rapida progradazione che contribuì in maniera determinante alla formazione della porzione emiliano-romagnola della pianura padana definendo la progradazione della linea di costa ravennate sino a raggiungere le attuali posizioni.

L'unità stratigrafica dell'area, denominata Supersistema Emiliano-Romagnolo, è caratterizzata appunto dall'insieme di questi depositi quaternari di origine continentale risultato di una serie di depositi litorali sabbiosi organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico e retrostanti spazi lagunari interessati successivamente da grandi opere di bonifica idraulica fino alla metà del secolo scorso. Nelle zone più interne, sopra i sedimenti sabbiosi, sono presenti depositi alluvionali e deltizi recenti legati all'evoluzione dei sistemi fluviali più importanti (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, 2005).

La progressiva progradazione dei questi sistemi deposizionali (Fig. 1.2) suddividono il Supersistema Emiliano-Romagnolo in due fasi di sviluppo, distinte in (Shanley et al., 1994):

- Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AEI), dominato da facies fluvio-deltizie in una certa parte attribuite a sistemi di alimentazione padana;
- Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AES), di cui fa parte il Subsistema di Ravenna, presenta depositi continentali affioranti costituiti da ghiaie e sabbie di canale fluviale, da alternanze argilloso-limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (argini e piane inondabili) e da argille palustri e da sabbie litorali, mentre il sottosuolo della pianura è costituito dall'alternanza ciclica di argille organiche, limi sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale e subordinatamente deltizio costiero.

Il Subsistema di Ravenna, in particolare rispecchia quest'ultima situazione citata, in quanto presenta depositi fluviali organizzati in vari ordini di terrazzo, costituiti da ghiaie di canale fluviale ricoperte da tracimazioni fluviali argillose, limose e sabbiose, variamente pedogenizzate. Nell'area costiera i depositi affioranti del Subsistema formano un'ampia piana di sabbia costituita da cordoni litorali, anche ghiaiosi, solo localmente interrotti dove i sistemi di canale e di argine dei fiumi principali sfociano in mare. Nelle aree topograficamente depresse che si interpongono fra un allineamento di cordone e l'altro sono anche presenti sottili depositi argillosi di laguna di retro cordone (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, 2005).

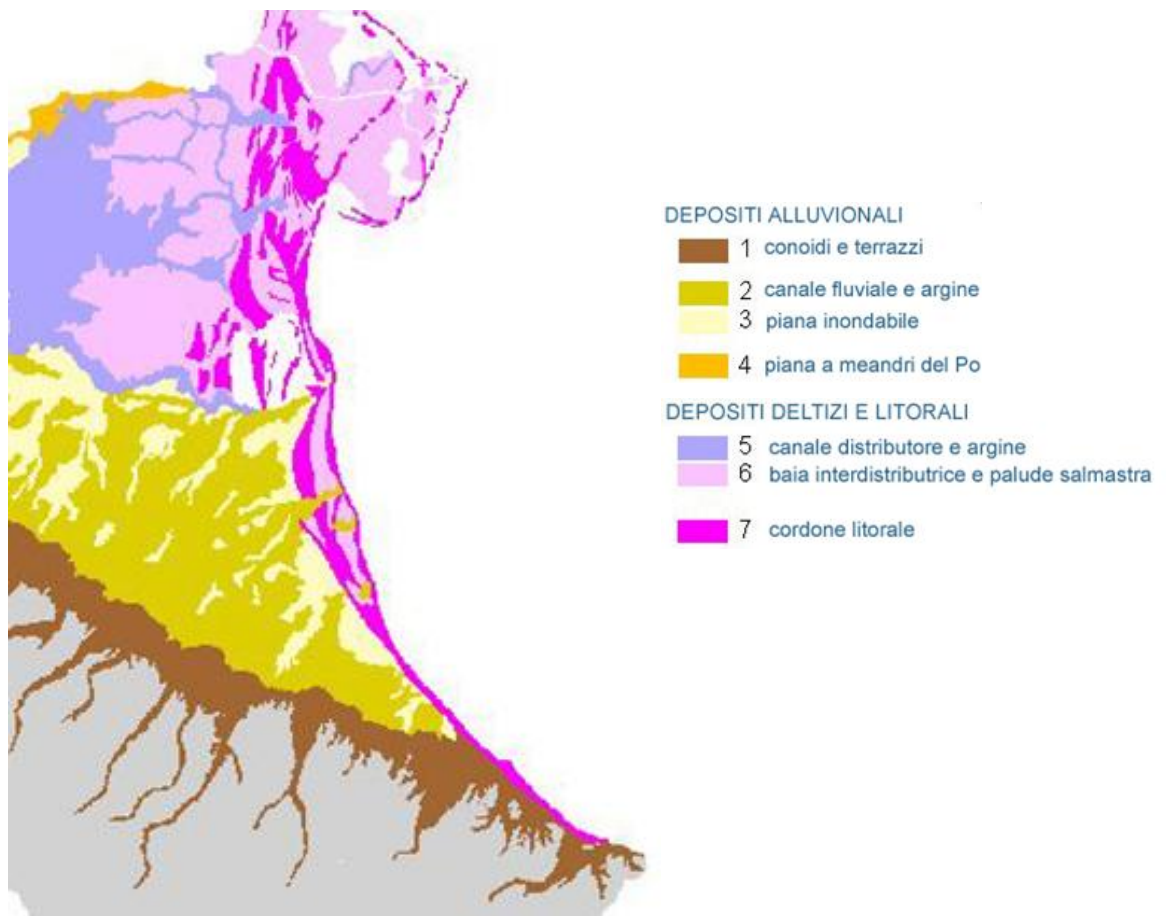


Figura 1.2- Estratto della Carta geologica di pianura in scala 1:250.000. Sintesi dei sistemi deposizionali (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/geologia/la-pianura-dellemilie-romagna-introduzione>).

1.2 Inquadramento pedologico

In base alla Carta dei Suoli della Regione Emilia-Romagna in scala 1:250.000 (RER, 1994) in Fig. 1.3, è stato possibile ottenere elementi informativi riguardo le Unità Cartografiche presenti nell'area di studio, identificate con i codici alfanumerici "1D" per la piana costiera e "2A" riferito alle valli recenti.



Figura 1.3 - Estratto della Carta dei suoli dell'Emilia-Romagna, scala 1:250.000, 1994 (ed. 2000).

- 1Da, costituita da una consociazione dei suoli CERBA a pendenza tipica 0,05-0,01%; molto profondi, a tessitura grossolana, a moderata disponibilità di ossigeno, calcarei e moderatamente alcalini;
- 1Db, complesso dei suoli CERBA - BOSCHETTO a pendenza tipica 0,05-0,01%; molto profondi; a moderata disponibilità di ossigeno, calcarei, da neutri a moderatamente alcalini. La tessitura varia da grossolana a media in superficie, e' grossolana in profondità;
- 1Dc, nella pianura deltizia con associazione dei suoli CERBA - SAN VITALE a pendenza tipica 0,05-0,01%; molto profondi, a tessitura grossolana, a moderata o buona disponibilità di ossigeno, calcarei; debolmente o moderatamente alcalini;
- 1Dd, associazione dei suoli CERBA - SAN VITALE - PIROTTOLO a pendenza tipica 0,05-0,01%; molto profondi, a tessitura grossolana, a moderata disponibilità di ossigeno, calcarei, moderatamente alcalini. Localmente sono, di volta in volta, a scarsa o buona disponibilità di ossigeno, salini;

- 1De, composta da suoli CERBA - MARCABO' a pendenza tipica 0,05-0,01%; molto profondi, a moderata disponibilità di ossigeno, calcarei, moderatamente alcalini. La tessitura varia da grossolana a media;
- 2Aa, consociazione dei suoli RISAIA DEL DUCA a pendenza tipica 0,05-0,01%; molto profondi, a tessitura fine, a moderata disponibilità di ossigeno, calcarei e moderatamente alcalini.

Un livello conoscitivo di “semi-dettaglio” della situazione pedologica dell’area è fornito dalla carta dei suoli della pianura emiliana-romagnola alla scala 1:50.000 (RER, 2005), la quale descrive 183 distinti pedotipi (UTS: Unità Tipologiche di Suolo), distribuiti in 1826 delineazioni identificate da un codice numerico. Nel caso specifico, la zona di studio risulta interessata dalle delineazioni visibili in Fig.1.4 e di seguito descritte nei caratteri salienti.



Figura 1.4 - Estratto della Carta dei suoli dell'Emilia-Romagna, scala 1:50.000 (ed. 2005).

- Delineazione n° 89 (MCB1/SAVO1): complesso dei suoli franco limosi. Questa Unità Cartografica è tipica del tratto di pianura costiera ravennate con depositi alluvionali che hanno sepolto i cordoni e dune dell'attuale e dei passati allineamenti costieri.

- Delineazione n° 18 (CER3/SAV1/SAV3): complesso dei suoli CERBA sabbioso fini, in aree a vegetazione naturale / SAN VITALE sabbioso fini, "aridi" / SAN VITALE sabbioso fini. Presenti nella piana di sabbia, sulla fascia di cordoni e dune immediatamente retrostanti la linea di costa attuale e sui lembi residui di vecchi allineamenti costieri.
- Delineazione n° 90 (CER3/SAV1/PIR1): complesso dei suoli CERBA sabbioso fini, in aree a vegetazione naturale / SAN VITALE sabbioso fini, "aridi" / SAN VITALE sabbioso fini. Area nella piana di sabbia che presenta ancora i caratteri ambientali naturali, caratterizzati da vegetazione forestale (Pineta di Classe).
- Delineazione n° 1273 (MCB1/GLS3): complesso dei suoli MARCABO' franco limosi / GALISANO argilloso limosi, a substrato limoso e sabbioso, tipica del tratto di pianura costiera ravennate a sud del fiume Reno costituita da depositi alluvionali che hanno sepolto quelli di palude salmastra e di cordone dei precedenti allineamenti costieri.
- Delineazione n° 1275 (SVO1/MCB1/CER1): complesso dei suoli SAVIO franco limosi / MARCABO' franco limosi / CERBA sabbiosi fini. Anch'essa tipica della pianura costiera ravennate a sud del fiume Reno fino a Cervia.
- Delineazione n° 88 (CER1): consociazione dei suoli CERBA sabbiosi fini. Ci si trova in ambiente di pianura costiera dove cordoni e dune sono stati spianati artificialmente.
- Delineazione n° 75 (RSD1): consociazione dei suoli RISAIA DEL DUCA argilloso limosi. L'Unità Cartografica è riconducibile a piana alluvionale, in ambiente di bacino interfluviale, morfologicamente depresse, in cui le recenti opere di bonifica idraulica hanno consentito il prosciugamento di queste terre.
- Delineazione n° 118 (CER3/SAV1/PIR1): complesso dei suoli CERBA sabbioso fini, in aree a vegetazione naturale / SAN VITALE sabbioso fini, "aridi" / SAN VITALE sabbioso fini, "decapitati". Area nella piana di sabbia che presenta ancora i caratteri ambientali naturali, caratterizzati da vegetazione forestale (Pineta di San Vitale).

1.3 Utilizzazione del territorio

Dalla carta dell'uso del suolo della Regione Emilia-Romagna (Fig. 1.5), è possibile osservare la distribuzione nel territorio dei vari tipi di utilizzazione. L'area d'interesse è costituita in prevalenza da suoli agricoli a seminativo e in minor misura da vigneti e frutteti, mentre in prossimità della costa sono presenti insediamenti urbani. Nella zona è presente un sito naturalistico di importanza primaria per l'avifauna e le specie protette, la Pineta di Classe che fa parte del Parco Regionale del Delta del Po e rappresenta la porzione intermedia dell'antiche pinete che alla fine del 1700 si sviluppavano dalla Foce del Fiume Reno fino a Cervia col principale scopo di rifornire di legname i porti limitrofi. Oggi a est della pineta sopracitata è presente un sito di interesse comunitario (S.I.C.) e una zona di protezione speciale (Z.P.S.), l'antica Valle dell'Ortazzo, che è un'ampia palude d'acqua dolce arginata, ma che attualmente è soggetta agli influssi salmastri della falda, e la zona umida dell'Ortazzino, che comprende i meandri fossili del Bevano, prati umidi salmastri con falda affiorante e parte delle dune costiere con vegetazione mediterranea e pinete costiere (www.parcodeltapo.it).

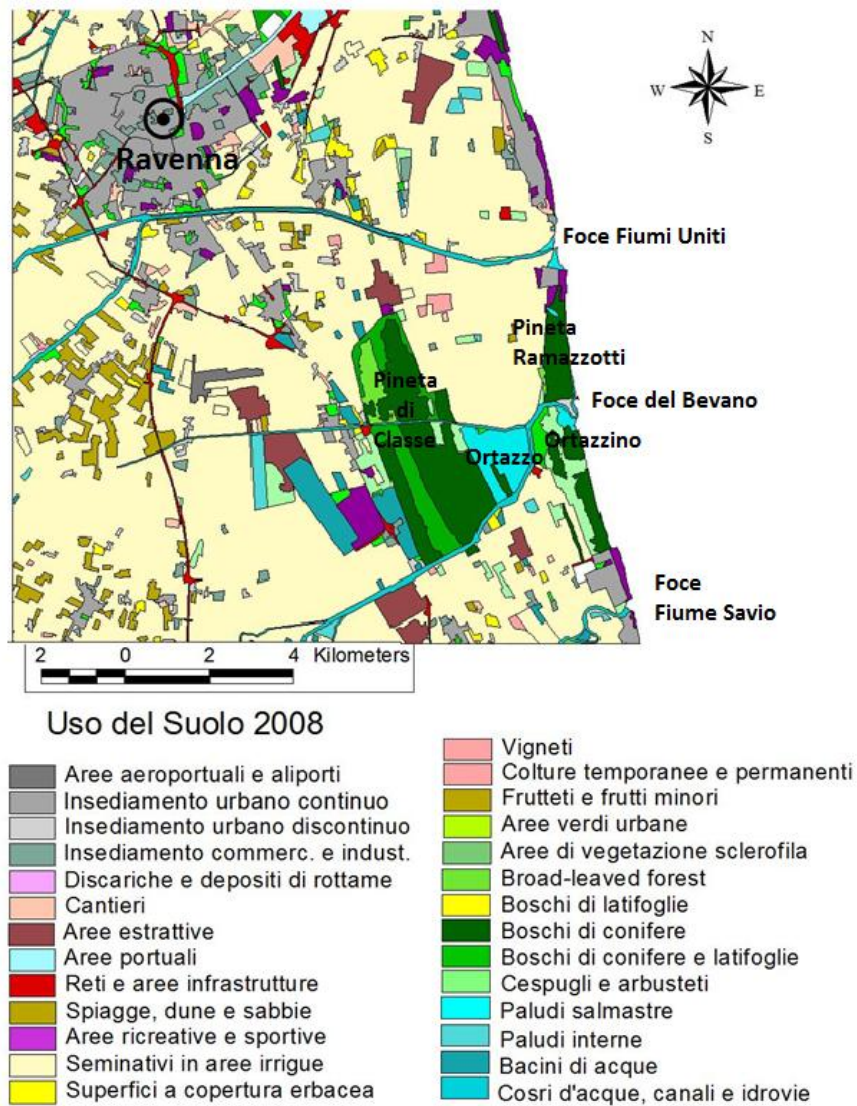


Figura 1.5 Carta dell'uso reale del suolo
(dalle coperture vettoriali in scala 1:50.000 della RER, 2008).

2. LA SALINIZZAZIONE DEI SUOLI

2.1 Risorsa suolo

Il suolo è una matrice composta essenzialmente da 4 frazioni: minerale, organica, liquida e gassosa. Può considerarsi un sistema aperto frutto di numerosi processi fisici, chimici e biologici e costituisce la zona in cui litosfera, atmosfera, idrosfera e biosfera interagiscono con scambio di energia e di materia (Violante P., 1996).

A questa risorsa sono riconosciute funzioni vitali (COM(2002)179 def.) quali:

- **produttiva:** tutta la vegetazione ha le proprie radici nel suolo e da esso trae nutrimento e acqua;
- **regolatrice:** dalle caratteristiche del suolo dipendono il movimento dell'acqua al suo interno (ciclo idrologico), il trasporto delle particelle solide, la propensione all'erosione;
- **protettiva:** il suolo è un filtro biologico, capace di trattenere le sostanze inquinanti e di proteggere le risorse idriche superficiali e sotterranee e le catene alimentari;
- **naturalistica:** rappresenta un'importante riserva della biodiversità poiché è l'habitat più ricco di organismi vegetali ed animali;
- **climatica:** svolge un ruolo nel ciclo del carbonio condizionando il bilancio energetico della superficie terrestre e del clima;
- **insediativa:** ospita edifici, infrastrutture viarie e reti di distribuzione ed è fonte di materie prime quali argilla, sabbia e ghiaia;
- **storico-ambientale:** custodisce le tracce delle mutazioni ambientali e della storia dell'uomo.

Il suolo è quindi un sistema complesso in continua evoluzione ed in equilibrio dinamico con le altre componenti ambientali, sensibile agli effetti dei cambiamenti climatici e delle attività dell'uomo, ma rappresenta una risorsa sostanzialmente non rinnovabile nel senso che la velocità di degradazione è potenzialmente rapida, mentre i processi di formazione e rigenerazione sono estremamente lenti.

In aggiunta, a livello nazionale, ci ritroviamo in ritardo rispetto gli altri Paesi europei. Le norme in materia ambientale in Italia (D. Lgs. 152/06) definiscono il suolo come "il territorio, il suolo, il sottosuolo, gli abitati e le opere infrastrutturali" proseguendo

parlando di difesa del suolo come una difesa del dissesto idrologico, difesa del territorio, del paesaggio e delle infrastrutture, senza mai intendere la protezione del suolo come elemento naturale che assicura funzioni chiave a livello ambientale, produttivo, sociale ed economico.

2.2 Fenomeno salinizzazione

La salinizzazione indica il processo di accumulo di sali solubili nei suoli che porta implicazioni non solo in campo agronomico ma a livello ambientale *tout-court*: la salinità è oggi unanimemente ritenuta una seria minaccia all'ambiente in quanto direttamente insidia il valore e la qualità delle sue risorse ed altera l'equilibrio delicato dei processi ecologici (Monteleone, 2006).

Il fenomeno della salinizzazione rappresenta solo uno dei plurimi aspetti in cui si manifesta la perdita della risorsa in termini sia di sottrazione di volume e di superficie, sia delle caratteristiche chimiche del suolo stesso. Il suolo infatti subisce, oltre alla salinizzazione, una serie di processi di degradazione, quali:

- l'erosione;
- la diminuzione di materia organica;
- la contaminazione locale o diffusa;
- l'impermeabilizzazione;
- la compattazione;
- il calo della biodiversità;
- alluvioni e smottamenti.

Questi processi compromettono la qualità del suolo, ossia la sua capacità di interagire con l'ecosistema per mantenere la produttività biologica, la qualità ambientale e promuovere la salute di tutti gli esseri viventi (Doran et al., 1994).

Tutti i suoli contengono naturalmente una miscela di sali più o meno solubili in acqua e alcuni di questi sono essenziali per lo sviluppo vegetale. La loro origine è da ricercarsi principalmente nell'alterazione meteorica delle rocce ignee della litosfera. In seguito agli eventi idrologici e climatici si è avuta, nelle ere passate, la deposizione di ingenti quantità di sali nelle rocce sedimentarie, nelle acque interne superficiali e sotterranee, nei mari e negli oceani (Sequi, 1989).

Da questi giacimenti, attraverso varie vie, i sali giungono al terreno e, se le condizioni sono favorevoli, come ad esempio la formazione di un fronte di evaporazione dell'acqua dal suolo, essa si allontanerà dal terreno per evaporazione e traspirazione, anziché per percolazione, mentre i sali permarranno nel suolo e accumulandosi. Ciò si verifica in modo particolare nelle zone aride o di clima semiarido, dove le precipitazioni non sono sufficienti ad eliminare i sali presenti nel terreno che così precipitano formando degli orizzonti o croste saline. Una certa quantità di sali si può accumulare anche con climi moderatamente umidi, nelle depressioni con fondo impermeabile, dove confluiscono le acque provenienti dalle aree circostanti in cui terreni o sedimenti contengono sali.

Questi processi determinano la formazione di suoli che vengono definiti "salini" o "affetti da salinità", che per semplificazione possono essere distinti in:

- "Terreni Salini", in cui la conduttività elettrica (CE) supera i $4 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, la quota di sodio scambiabile è inferiore al 15% ed il pH è inferiore a 8,5;
- "Terreni Salini-sodici"; presentano un elevato contenuto di sali, con CE maggiore di $4 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, e una quota di sodio scambiabile superiore al 15%.

Questa classificazione (MiPAF, 2000) è basata principalmente in base alla concentrazione totale di sali e alla percentuale di sodio sul complesso di scambio. I sali solubili comunemente presenti nei suoli salini sono cloruri e solfati di Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Na^+ e Cl^- sono sicuramente gli ioni dominanti, soprattutto in suoli molto salini. L'abbondanza di sali di Na^+ può portare alla formazione di suoli sodici, in cui questo ione domina sul complesso di scambio: in questi suoli, gran parte degli ioni Cl^- è stata dilavata, lasciando sul posto ioni Na^+ , adsorbiti alle particelle più fini del suolo (argille). Di conseguenza, queste particelle perdono la loro tendenza ad aggregarsi, allo stato umido, portando alla formazione di suoli asfittici, incoerenti, impermeabili all'acqua e impenetrabili dalle radici.

In altri casi, quando la salinità è soprattutto sodica, si può giungere alla destrutturazione del terreno e alla profonda alterazione delle sue caratteristiche fisico-chimiche (coesione, ritenzione idrica), solitamente aggravata da una scarsa dotazione di sostanza organica, condizione comune di molti terreni coltivati del nostro paese.

E' possibile distinguere la salinizzazione in quella *primaria* da quella *secondaria*:

- la prima dipende da fattori legati essenzialmente alla litologia del substrato (con particolare riguardo alle sue caratteristiche idrologiche), da caratteristiche morfologiche del sito considerato, in termini di quota orografica, dalle

caratteristiche fisico-chimiche intrinseche dei suoli e da fattori climatici. Ogni suolo possiede un naturale contenuto in sali, essenziali per lo sviluppo vegetale, che deriva dagli stessi processi pedogenetici che ne hanno determinato la formazione;

- la seconda dipende dall'attività antropica in particolare da pratiche di gestione agricola non adeguate, dall'uso di acque irrigue non idonee (ricche in sali), impiego di fertilizzanti, insetticidi ed anticrittogamici, uso del territorio non sostenibile, eccessivo emungimento delle falde, ecc.

L'agricoltura svolge un ruolo importante in quanto una delle principali cause della salinizzazione secondaria è data proprio dall'utilizzo di acque di scarsa qualità, spesso aggravato dalla presenza di suoli con proprietà che limitano una buona lisciviazione dei sali, come la presenza di orizzonti impermeabili e la sfavorevole posizione fisiografica.

Occorre considerare, tuttavia, che anche in aree irrigate utilizzando acqua di "buona" qualità sono stati rilevati moderati livelli di salinità. Questo accade a causa dei metodi di irrigazione impiegati e delle condizioni di aridità. Viceversa, il fenomeno della salinizzazione può non verificarsi in terreni irrigati, per diversi anni, mediante acque ricche di sali. Questi esempi indicano che ogni area è caratterizzata da equilibri differenti e peculiari, che ne influenzano la possibile evoluzione. In determinati terreni, drenati e con particolari andamenti termopluviometrici, l'accumulo dei sali nei suoli sarà solo temporaneo e facilmente si instaurerà un equilibrio tra accumulo e lisciviazione che consentirà nel tempo e con le dovute accortezze di mantenere l'attività agricola. In situazioni opposte, suoli limoso-argillosi poco permeabili e condizioni climatiche con limitate piogge ed elevate temperature, che favoriscono una elevata evapotraspirazione, l'accumulo dei sali nei primi strati del suolo sarà rapido ma la loro rimozione difficoltosa e solo tempi lunghi ed interventi complessi che mettono in atto strategie di gestione dell'irrigazione specifiche e drenaggi appropriati potranno consentire il mantenimento di condizioni di produttività accettabili (ENEA, 2006)

Nell'ambito dei fenomeni di salinizzazione secondaria più diffusi, rientrano il *dryland salinity* e il *seepage salinity*. Il primo nasce come conseguenza della sostituzione della vegetazione spontanea (specie poliennali e soprattutto arboree) con le colture agrarie (annuali ed esclusivamente erbacee), contraddistinte da apparati radicali meno profondi rispetto alla vegetazione preesistente e, in genere, assai superficiali. Ciò determina una

modificazione drastica del delicato equilibrio idrologico: gli apparati radicali ridotti delle nuove specie vegetali richiedendo minori quantità d'acqua delle piante originarie ad alto fusto. L'eccesso d'acqua determina nel tempo un progressivo innalzamento della falda idrica e per giunta la insolubilizzazione dei sali presenti nel sottosuolo, determinando la loro risalita unitamente all'acqua fino ad interessare lo strato occupato dalle radici delle coltivazioni. L'assorbimento idrico radicale ed il processo di evapotraspirazione provocano inevitabilmente un accumulo graduale dei sali in superficie, rendendo il suolo progressivamente inospitale alle piante agrarie ed inadatto all'esercizio dell'agricoltura. (Dyson, 1990; Kennewell, 1999). Relativamente al *seepage salinity*, occorre precisare che in rapporto alle condizioni morfologiche del suolo ed alla orografia del paesaggio, particolarmente in presenza di pendii o versanti, lo squilibrio arrecato al bilancio idrologico può dare origine a movimenti di infiltrazione e di flusso idrico laterale sempre accompagnati da una conseguente mobilitazione dei sali. Questi ultimi, quindi, possono essere trasportati dai luoghi dove l'acqua si infiltra e permea il suolo (*recharge*) verso i luoghi dove quest'acqua evapora o viene utilizzata dalla vegetazione naturale o dalle coltivazioni a seguito dell'evapotraspirazione (*discharge*) (Monteleone, 2006).

2.3 Situazione nelle zone costiere

L'origine antropica del fenomeno "salinità" negli ambienti colturali costieri è strettamente dipendente da un'utilizzazione eccessiva delle risorse idriche sotterranee a scopo irriguo. Gli eccessivi emungimenti di acqua dal sottosuolo determinano l'abbassamento dei livelli delle falde acquifere superficiali e la contaminazione delle stesse per intrusione di acqua marina. In tali casi assume importanza la presenza di cloruri e sodio ai fini agronomici e pedologici in quanto i primi sono direttamente tossici per le colture, mentre i secondi compromettenti per la fertilità del suolo.

L'emungimento dai pozzi impostati su queste falde provoca il richiamo di acqua nelle direzioni radiali rispetto al loro asse. Se il volume d'acqua emunto supera quello della ricarica di acqua dolce proveniente dalle zone interne, la superficie freatica (o la superficie piezometrica in caso di acquifero confinato) si abbassa in vicinanza della costa, fino al punto in cui il carico piezometrico nella porzione di acqua dolce diviene inferiore a quello della porzione contigua di acqua salata. Questo fa sì che l'interfaccia tra acqua

dolce e acqua salmastra (cosiddetto cuneo salino) si sposti progressivamente verso l'interno della costa, fino a raggiungere, nei casi più critici, i pozzi stessi (Celico, 2004). Oltre ad una conseguenza diretta dovuta dalla risalita capillare di acque altamente saline verso la superficie dei suoli, si verifica anche, che l'acqua prelevata dai pozzi usata nell'irrigazione, sia già salmastra, innescando quindi un circolo vizioso che alimenta l'accumulo dei sali nei terreni irrigati (Rivelli et al., 1999).

In generale la crescente salinità della falda acquifera per il progressivo aumento della miscelazione di acque dolci con acque marine influenza la produttività dei terreni irrigati tramite i pozzi posti nell'area di transizione e, in una prospettiva di medio-lungo termine, contribuisce alla salinizzazione secondaria del suolo.

2.4 Condizione europea

Il fenomeno interessa l'Europa e in particolare le aree costiere dei paesi che si affacciano sul Mediterraneo come Spagna, Italia, Francia e Grecia dove la salinizzazione è legata soprattutto all'intenso uso delle risorse idriche non solo in campo agricolo, ma anche da specifiche attività industriali e domestiche. A fronte di questa problematica, la COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL CONSIGLIO, AL PARLAMENTO EUROPEO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI (COM(2006)231 definitivo), propone un quadro e degli obiettivi comuni per prevenire il degrado del suolo, preservarne le funzioni e ripristinare i suoli degradati. La strategia tematica dell'Unione europea per la protezione del suolo prevede l'istituzione di un quadro legislativo che consenta di proteggere il suolo, preservare la sua capacità a svolgere le sue funzioni ecologiche, economiche, sociali e culturali con un uso sostenibile. Inoltre, prevede l'integrazione della protezione del suolo nelle politiche nazionali e comunitarie, il rafforzamento della base di conoscenze, nonché una maggiore sensibilizzazione del pubblico.

I processi di degradazione del suolo variano sensibilmente da uno Stato membro all'altro, perché i rischi si presentano in forma e in entità diverse, ma il fenomeno riguarda tutta l'UE. Secondo le stime:

- 115 milioni di ettari, pari al 12 % della superficie totale delle terre emerse europee, sono soggetti ad erosione idrica, mentre 42 milioni di ettari sono colpiti dal fenomeno dell'erosione prodotta dal vento (AEA, 1995)

- il 45 % dei suoli europei presenta uno scarso contenuto di materia organica; questa situazione riguarda in particolare l'Europa meridionale, ma colpisce anche zone della Francia, della Germania e del Regno Unito.
- Secondo i dati disponibili, il numero di siti potenzialmente contaminati nell'UE-25 è pari a circa 3,5 milioni.

Per delimitare le zone minacciate da accumulo di sali in Europa attualmente si fa riferimento alla Banca Dati Europea per il Suolo (ESDB 2004) e alla mappa degli effetti salini sui suoli Europei di Szabolcs (1974):

- *La banca dati europea per il suolo (ESDB) a scala 1:1.000.000*: questo database costituisce il nucleo del sistema europeo di informazione del suolo, sviluppato dalla Direzione Territorio e Pericoli naturali Unità dell'Istituto per l'ambiente e la sostenibilità del JRC (*Joint Research Center*). La banca dati è gestita dal Data Center del suolo Europeo (ESDAC) attraverso l'attività di 'Dati sul Suolo e Sistemi Informativi' (*Action Soil*). Essa contiene un elenco delle Unità Tipologiche di Suolo (UTS), che caratterizzano i diversi tipi di suolo identificati e descritti secondo la tessitura, il regime di umidità, la pietrosità, ecc.. A questa scala, non è tecnicamente possibile delineare ogni UTS; sono state quindi raggruppate in Unità di Mappatura del Suolo (SMU) per formare associazioni basate sul funzionamento dei sistemi pedologici nell'ambito del paesaggio.

Il database contiene anche informazioni sulla roccia madre, che è un fattore importante in processi di salinizzazione (<http://eusoils.jrc.it/index.html>).

- *La mappa di terreni salini interessate in Europa di Szabolcs (1974) a scala 1:1.000.000*: le pubblicazioni di Szabolcs (1974) sono state raccolte nel quadro di un programma per la preparazione della Mappa Mondiale di Terreni Salinizzati.

Il raggruppamento dei suoli salini è accordato secondo i principi uniformi permettendo loro un confronto con la Carta dei Suoli del Mondo della FAO / UNESCO, sottolineando i problemi specifici dei terreni salini al fine di migliorarne l'utilizzo su scala globale. Secondo questo approccio sono stati riconosciuti due casi, quali:

- a) una classe SALINA dominata da cloruri e solfati;
- b) una classe ALCALINA dominata da sodio scambiabile e / o bicarbonato di sodio e / o carbonato di sodio.

Aggiornando ed integrando le informazioni derivanti dall'ESDB e dalla mappa di Szabolcs è stato possibile ottenere una nuova mappa dei suoli salini europei (Fig. 2.1).

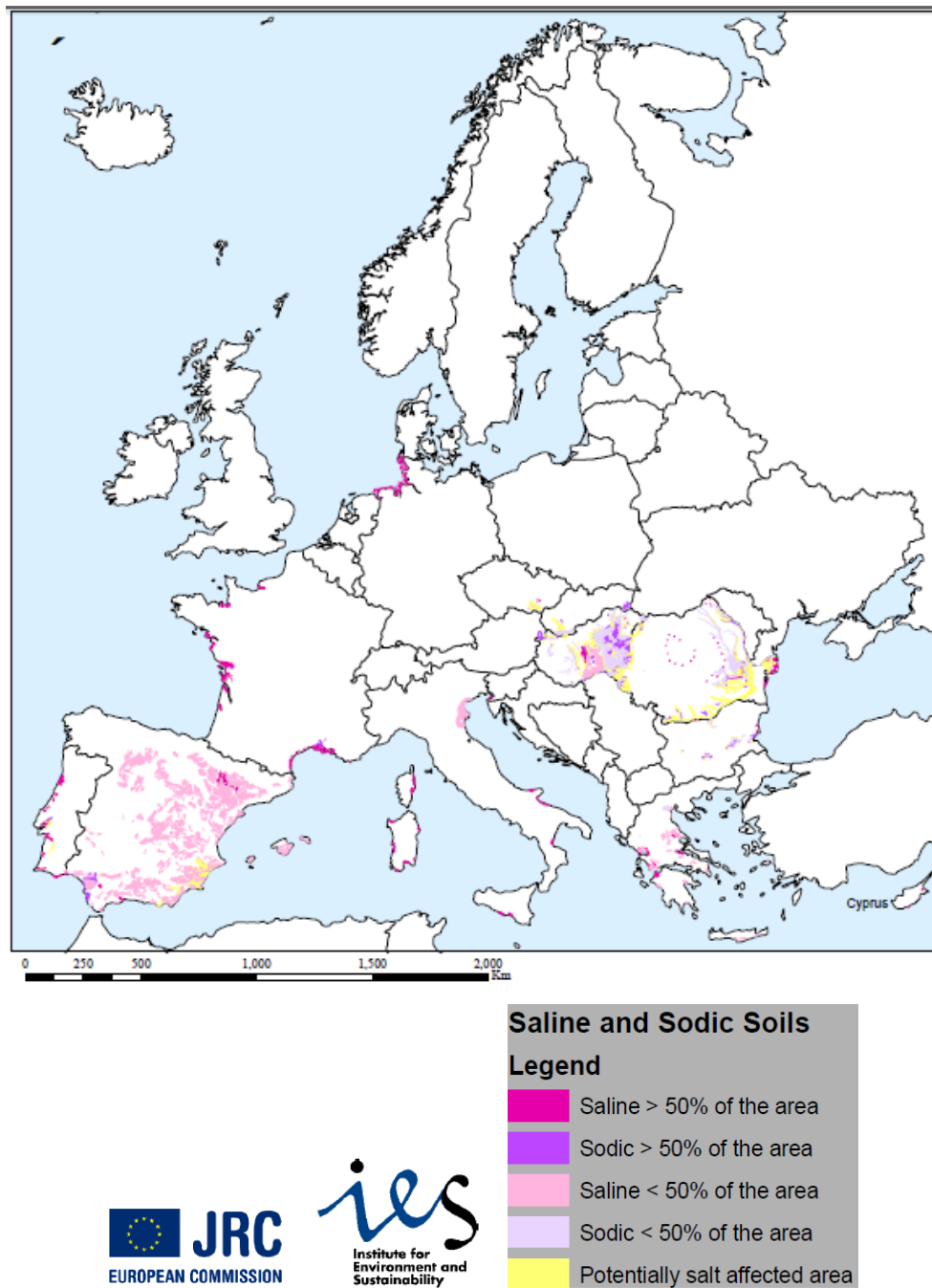


Figura 2.1 - Mappa della salinizzazione e sodicizzazione in UE: situazione e potenzialità (www.eusoils.jrc.ec.europa.eu).

Il rapporto *Le risorse idriche in Europa: una valutazione basata su indicatori*, pubblicato nel 2003 dall'Agenzia Europea dell'Ambiente, identifica chiaramente una forte

connessione tra la disponibilità di acqua, l'indice di sfruttamento idrico e le aree colpite dal fenomeno della salinizzazione.

Per la Spagna, la Turchia e l'Italia esistono sufficienti informazioni per evidenziare il legame tra lo sfruttamento degli acquiferi e i fenomeni puntuali di intrusione delle acque marine. In altri paesi mediterranei, quali Grecia e Francia, il fenomeno è presente e conosciuto ma non sono disponibili informazioni organizzate tali da creare un quadro sufficientemente chiaro e affidabile.

La Fig. 2.2 rileva come la salinizzazione non sia una peculiarità dei paesi mediterranei ma interessi anche paesi con condizioni pedoclimatiche completamente differenti, dove le cause possono essere molto diverse. Ne è un esempio la Danimarca, che nonostante sia priva di abbondanti risorse idriche, soffre particolarmente del medesimo problema (ENEA, 2006).

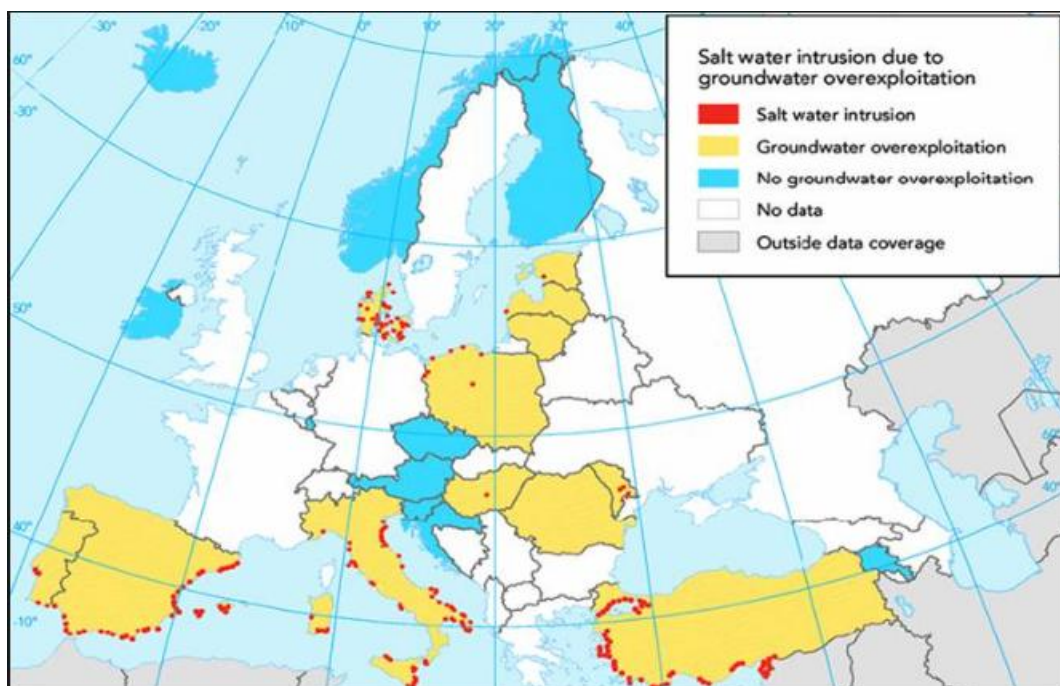


Figura 2.2 - Estensione della salinizzazione in Europa dovuta allo sfruttamento eccessivo delle falde acquifere (EEA - European Environment Agency - 2003)

I dati esistenti non consentono di ricavare estrapolazioni delle tendenze attuali per prevedere cosa accadrà in futuro. È evidente, tuttavia, che i fattori antropici alla base delle attuali minacce per il suolo incidono sempre di più. Il trend delle temperature in aumento e gli eventi meteorologici estremi, legati ai cambiamenti climatici, intensificano

l'erosione, gli smottamenti, la salinizzazione e la diminuzione di materia organica dei suoli. Tutto ciò fa pensare che il degrado dei suoli in Europa continuerà, e probabilmente ad un ritmo anche più accelerato.

2.5 Condizione coste italiane

Il nostro Paese, caratterizzato da una concentrazione della popolazione e delle attività economiche nelle aree litoranee, presenta un intenso sfruttamento delle falde localizzate in queste aree. Le zone critiche per le quali si riscontra la salinizzazione dei suoli sono Toscana, Sardegna, Sicilia, Puglia ed Emilia Romagna.

L'unica stima disponibile sul fenomeno indica circa 4500 km² di superficie territoriale pari all'1% del territorio nazionale (Fierotti et al., 1999) e si riferisce al totale dei suoli affetti cioè sia quelli di origine naturale che antropica.

L'agricoltura è sicuramente il settore economico che ha il ruolo più importante, sebbene non siano da trascurare i contributi dell'industria, del turismo e dei consumi domestici.

2.6 Condizione coste Emilia Romagna

Nella Regione Emilia-Romagna la presenza di suoli salini sono dati dall'eredità di diffuse zone paludose e valli salmastre. La loro bonifica iniziata già a fine '800 e concluse nei primi anni '70, ha determinato l'avvio di un processo di desalinizzazione grazie al sistema di allontanamento delle acque ed all'uso di adeguate tecniche irrigue.

La loro conversione a risaie e la 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 facilitata da una efficiente rete scolante, si riteneva non sufficiente, se non in tempi lunghissimi, e forse mai totalmente risolutiva (Puppini et al, 1955). A distanza di tanti anni i processi di desalinizzazione hanno diversamente inciso determinando una situazione attuale piuttosto varia a seconda dei luoghi.

Le carte della salinità di Figg. 2.3 e 2.4 (Servizio geologico sismico e dei suoli, 2011) 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 ed il conseguente miglioramento dell'attendibilità dei valori stimati.

Come si può vedere dalle Figg. 2.3 e 2.4, dall'elaborazione dei dati disponibili nella banca dati dei suoli del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) della Regione Emilia-Romagna, con riferimento allo strato 0-50 e 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 e solo localmente nella provincia di Modena, tra Mirandola e Bondeno, e di Ravenna nei pressi di Cervia.

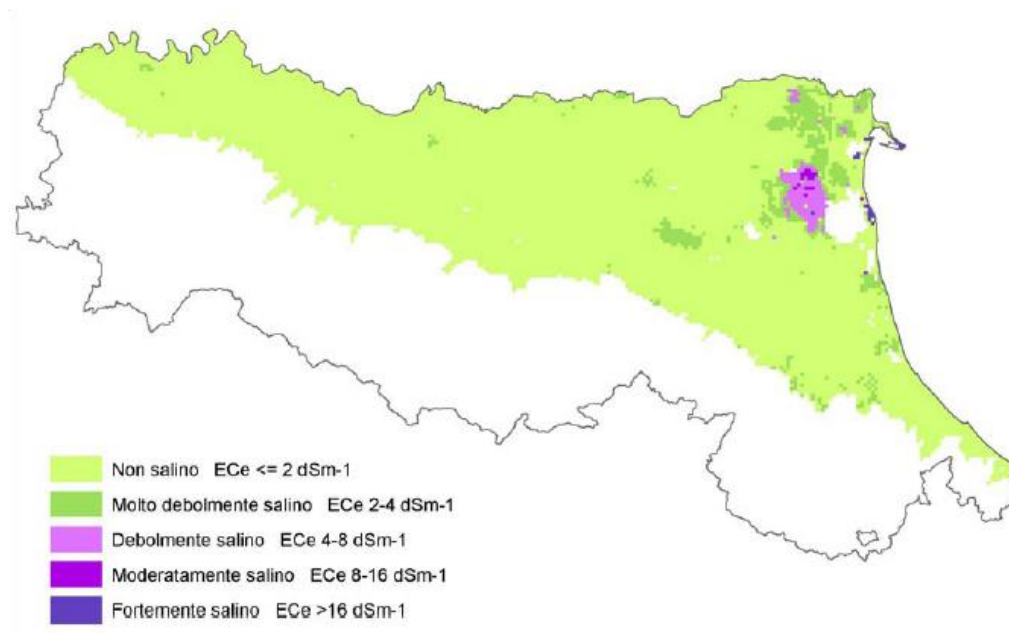


Figura 2.3- Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola, strato 0-50 cm, di prima approssimazione (Servizio geologico sismico e dei suoli, 2011).

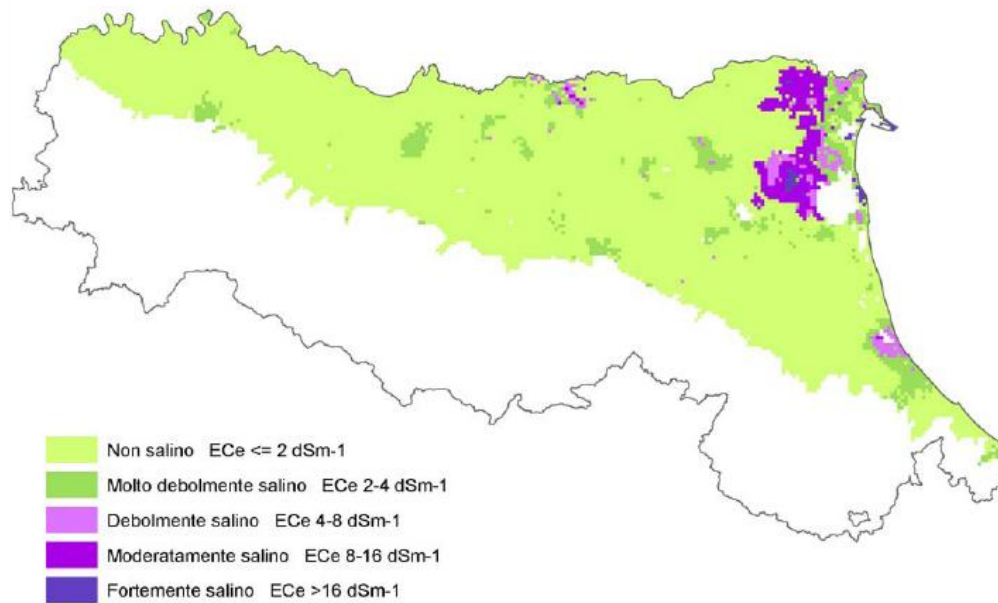


Figura 2.4 - Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola, strato 50-100 cm, di prima approssimazione (Servizio geologico sismico e dei suoli, 2011).

La carta della salinità dei suoli di prima approssimazione presenta un'affidabilità del dato stimato piuttosto variabile (Fig. 2.5). Tuttavia 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.

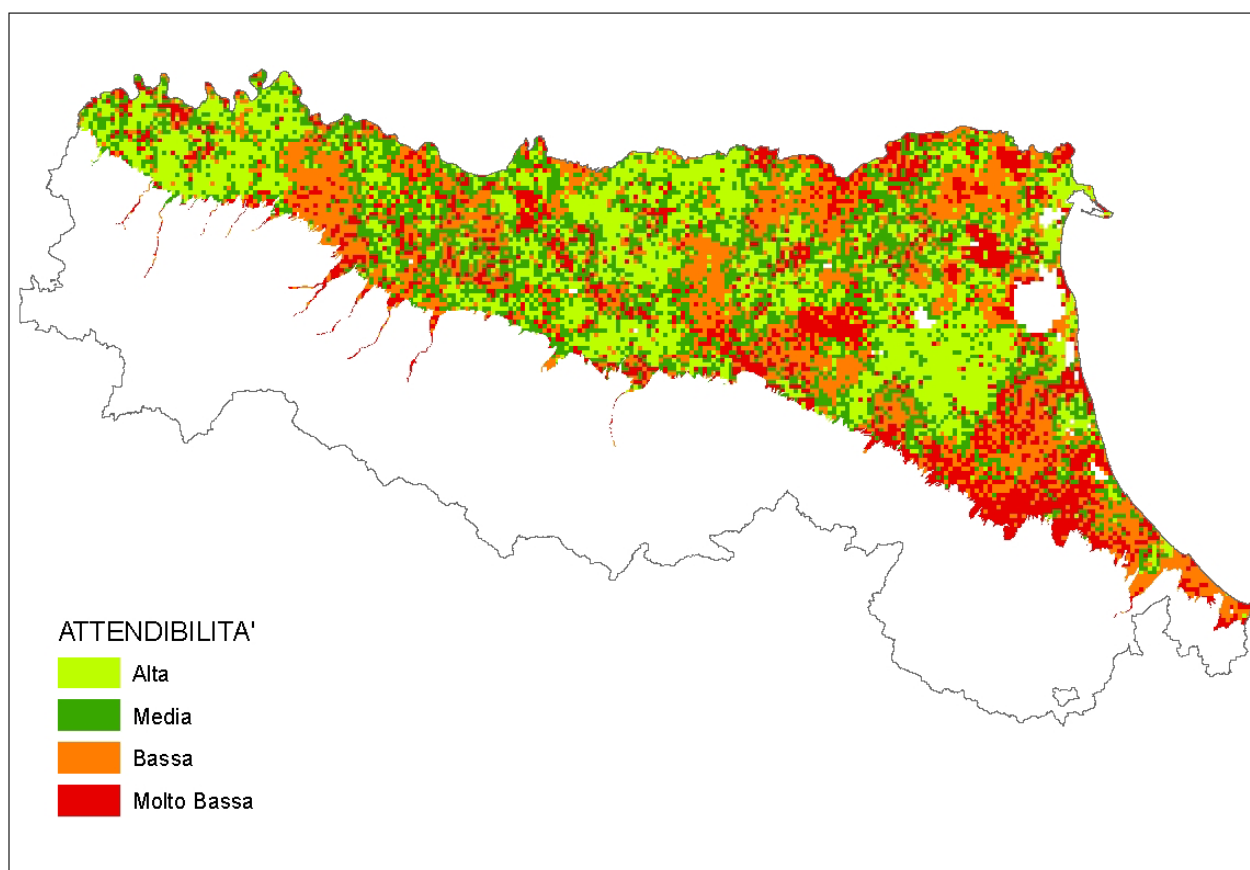


Figura 2.5 - Attendibilità del dato stimato della Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola di prima approssimazione per lo strato 0-50 cm (Servizio geologico sismico e dei suoli, 2011).

Questa situazione è accentuata al verificarsi di annate particolarmente calde, come il 2003, dove si è rilevato un aumento del contenuto di sali nelle acque irrigue, con una conseguente ricaduta sul ciclo produttivo di colture sensibili. Attualmente sono in atto progetti di monitoraggio della salinità nel suolo e nelle acque, grazie ai fondi per la ricerca della legge regionale 28/98 (www.ermesagricoltura.it).

3. MATERIALI E METODI

3.1 Contestualizzazione pedologica profili Mira e pregressi

La prima fase d'indagine ha previsto innanzitutto la consultazione di una serie di elementi inerenti alla cartografia dei suoli dell'area d'interesse, quali la Carta dei Suoli di Pianura della Regione Emilia-Romagna 1:50000 (RER, 2005) e la carta dell'uso del suolo (GeoER, 2011), in modo da ottenere un distribuzione spaziale dell'ubicazione dei punti di campionamento coerente con lo scopo dell'indagine.

Le diverse carte tematiche in formato digitale, sono state analizzate mediante l'utilizzo del software ArcView GIS 3.2 for Windows, che ha permesso di individuare le Unità di Paesaggio presenti nell'area, ovvero quelle zone omogenee caratterizzate da una sintesi di fattori ambientali quali la morfologia, la litologia, il clima e uso del suolo che risultano correlati tra loro in maniera distintiva e significativa. All'interno di questi ambiti territoriali sono distinguibili più pedotipi ovvero Unità Pedologiche. Una volta individuati quelli di nostro interesse, sono stati selezionati dei campioni già disponibili presso il Laboratorio di Geopedologia derivanti da campagne precedenti.

Alcuni di loro sono stati utilizzati per le analisi chimico fisiche altri invece sono stati anche caratterizzati pedologicamente per poi poterli classificare secondo la *Soil Taxonomy* (SSS, 2010) e la *World Reference Base* (IUSS, 2006).

Tabella 3.1 - Elenco delimitazioni di interesse e pedotipi presenti.

| N° Delineazioni | Pedotipi presenti |
|------------------------|---|
| 18 | Complesso suoli: CERBA sabbioso fini, in aree a vegetazione naturale; SAN VITALE sabbioso fini, "aridi"; SAN VITALE sabbioso fini, "decapitati". |
| 90 | Complesso suoli: CERBA sabbioso fini, in aree a vegetazione naturale; SAN VITALE sabbioso fini, "aridi"; SAN VITALE sabbioso fini, "decapitati". |
| 89 | Complesso suoli : MARCABO !/SAVIO, franco limosi. |
| 118 | Complesso suoli: CERBA sabbioso fini, in aree a vegetazione naturale; SAN VITALE sabbioso fini, "aridi"; PIROTTOLO sabbioso fini, franchi. |

Tabella 3.1 – Corrispondenza tra pedotipi caratteristici e profili rappresentativi osservati

| Pedotipi | Profili |
|-----------------|----------------|
| SAV1 | BEACH1 |
| CER3 | CL1 |
| SAV3 | CL3 |
| MCB1 | MARANI |
| PIR1 | PIN1 |

- Profilo BEACH 1

Questo profilo pedologico (Fig. 3.1) è stato descritto sulla sommità della duna naturale situata a Nord della foce del Fiume Bevano.

La vegetazione dell'area è abbastanza scarsa, di tipo arbustivo ed erbaceo; la specie più abbondante (Burnie, 1995) è la *Ammophila arenaria* (*Ammophila littoralis*), una graminacea comune in molte spiagge del mediterraneo come fissatrice delle dune grazie al suo apparato radicale, molto profondo e sviluppato che contrasta l'azione erosiva del vento e degli agenti atmosferici. Sono presenti anche altre specie pioniere delle dune sabbiose come il Ravastrello (*Cakile maritima*) e l'Euforbia marittima (*Euphorbia paralias*).

Sulla base delle osservazioni effettuate in campagna e delle analisi condotte, il profilo BEACH 1 è stato classificato come *mixed, calcareous, mesic Typic Ustipsamments*, secondo la *Soil Taxonomy* (SSS, 2010) e come *Haplic Arenosols (calcaric, aridic)*, secondo la *World Reference Base* (IUSS, 2006).



Figura 3.1 – Paesaggio (a) e relativo al profilo BEACH1 (b)

In Tab. 3.3 sono indicate le informazioni riportate sulla scheda di rilevamento durante l'apertura del profilo BEACH1.

Tabella 3.3 - Descrizione morfologica del profilo BEACH1

| | | |
|--------------------------|------------------|--|
| PROFILO BEACH1 | ST (SSS, 2010) | <i>Mixed, calcareous, mesic</i> Typic Ustipsamments |
| | WRB (IUSS, 2006) | Haplic Arenosols (<i>calcaric, aridic</i>) |

| | | |
|---|--------------------------------|---|
| <i>Data rilievo</i> | 12/06/2007 | <p>Oi: 0,5-0 cm; secco; pochi residui erbacei scarsamente decomposti; limite abrupto lineare.</p> <p>A: 0-10 cm; secco; bruno (10YR 4/3 – umido) e grigio brunastro chiaro (10YR 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; scheletro rappresentato da pochi frammenti di conchiglie piccole (5 mm); struttura incoerente; sciolto (umido), sciolto (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molte, molto fini e comuni, fini, con andamento sub-verticale; pori interstiziali; effervescenza all'HCl violenta; limite chiaro, lineare.</p> <p>A/C: 10-35 cm; secco; bruno (10YR 5/3 – umido) e grigio brunastro chiaro (10YR 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; scheletro rappresentato da pochi frammenti di conchiglie (5 mm); struttura incoerente; sciolto (umido), sciolto (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, comuni, fini e medie, sub-verticali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite graduale, ondulato.</p> <p>C1: 35-80 cm; poco umido; bruno (10YR 4/3 – umido) e bruno pallido (10YR 6/3 – secco); tessitura sabbiosa; scheletro rappresentato da pochi frammenti di conchiglie (5 mm); struttura incoerente; sciolto (umido), sciolto (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, fini e medie, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite chiaro, lineare.</p> <p>C2: 80-100+ cm; poco umido; bruno (10YR 4/3 - umido) e bruno pallido (10YR 6/3 – secco); tessitura sabbiosa; scheletro rappresentato da pochi frammenti di conchiglie (5 mm); struttura incoerente; sciolto (umido), sciolto (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, molto fini, sub-orizzontali; pori interstiziali, molto fini; effervescenza all'HCl forte; limite sconosciuto.</p> |
| <i>Regione</i> | Emilia-Romagna | |
| <i>Provincia</i> | Ravenna | |
| <i>Comune</i> | Ravenna | |
| <i>Località</i> | Foce Bevano | |
| <i>Coordinate WGS84 UTM 33</i> | 286 703 m E 4 916 151 m N | |
| <i>Quota</i> | 5,27 m s.l.m. | |
| <i>Fisiografia e morfologia</i> | Sommità duna | |
| <i>Erosione / deposizione</i> | Evidenza di deposizione eolica | |
| <i>Uso del suolo/ vegetazione</i> | Vegetazione psammofila | |
| <i>Regime di umidità</i> | Ustico | |
| <i>Regime di temperatura</i> | Mesico | |
| <i>Substrato pedogenetico o litologia</i> | Sabbie litoranee | |

- Profilo CL1

Questo profilo pedologico (Fig. 3.2) è stato osservato e descritto all'interno della Pineta di Classe. La zona si presenta pianeggiante con vegetazione diversificata e costituita da asparago, euforbia, pungitopo, fillirea, sanguinello, piracanta, oltre a rade quercie lecci e pini, alcuni dei quali deperienti.



Figura 3.2 – Paesaggio (a) e relativo al profilo CL1 (b).

In Tab. 3.4 sono indicate le informazioni riportate sulla scheda di rilevamento durante l'apertura del profilo CL1.

Tabella 3.4 - Descrizione morfologica del profilo CL1

| | | |
|-----------------------|------------------|---|
| PROFILO CL1 | ST (SSS, 2010) | <i>Mixed, mesic Aquic Ustipsamments</i> |
| | WRB (IUSS, 2006) | Calcaric Arenosols (<i>Gleyic</i>) |

| | | |
|--|--|---|
| <i>Data rilievo</i> | 20/10/2006 | <p>Oi: 5-3 cm; poco umido; lettiera costituita da residui vegetali poco o nulla decomposti; limite abrupto lineare.</p> <p>Oe: 3-2 cm; poco umido; lettiera costituita da residui vegetali parzialmente decomposti; limite abrupto lineare. Oa: 2-0 cm; ; poco umido; lettiera costituita da residui vegetali totalmente; limite abrupto ondulato.</p> <p>A1: 0-5/8 cm; poco umido; bruno molto scuro (10YR 2/2 - umido); tessitura franco sabbiosa; struttura incoerente con presenza di minuti aggregati grumosi, fini, debolmente aggregati; adesività molto scarsa; plasticità molto scarsa; presenza di radici erbacee abbondanti, molti fini; radici legnose, comuni, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; pH 8; limite abrupto ondulato.</p> <p>A2: 5/8-16/18 cm; poco umido; bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 - umido); tessitura sabbiosa franca; struttura incoerente; friabile (umido); presenza di radici legnose con andamento orizzontale, comuni, medio-grosse; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; pH 8; limite chiaro e lineare.</p> <p>AC: 16/18-60 cm; poco umido; bruno (10YR 4/3 - umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente, fine; molto friabile (umido); presenza di radici legnose, poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl violenta; pH 8; limite graduale, lineare.</p> <p>Cg1: 60-80 cm; poco umido; bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 - umido); presenza di piccole screziature grigie (5Y 6/1), tessitura sabbiosa; struttura incoerente, fine; molto friabile (umido); radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl violenta; pH 8; limite graduale, lineare.</p> <p>Cg2: 80-104⁺ cm; umido; bruno olivastro chiaro (2.5YR 5/3 - umido); presenza di screziature grigie (5Y 6/1), bruno (10YR 4/3), bruno giallastre (10YR 5/6), giallo olivastro (2.5Y 6/6); tessitura sabbiosa; struttura incoerente, fine; molto friabile (umido); radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl violenta; pH 8; limite graduale, lineare.</p> <p>Falda presente a partire da 145 cm</p> |
| <i>Regione</i> | Emilia-Romagna | |
| <i>Provincia</i> | Ravenna | |
| <i>Località</i> | Pineta di Classe | |
| <i>Coordinate WGS84 UTM 33</i> | 285 195 m E 4 913 485 m N | |
| <i>Morfologia</i> | Pianeggiante ondulata leggermente depressa | |
| <i>Substrato pedologico o litologico</i> | Sabbioso | |
| <i>Uso del suolo/ vegetazione</i> | Lecci, pini, querce, pungitopo, fillirea, piraconta, sanguinello radi; euforbia e asparago | |
| <i>Regime di umidità</i> | Ustico | |
| <i>Regime di temperatura</i> | Mesico | |

- Profilo CL3

Questo profilo pedologico (Fig. 3.3) è stato osservato e descritto all'interno della Pineta di Classe. L'ambiente di posizione è quello di una antica costa, con deposizione di materiali sabbiosi che si sono venuti ad organizzare secondo linee quasi parallele all'attuale costa. La zona si presenta pianeggiante con vegetazione diversificata e costituita da pungitopo, biancospino, oltre a querce, lecci e pini.



Figura 3.3 – Paesaggio (a) e relativo profilo CL 3 (b).

In Tab. 3.5 sono indicate le informazioni riportate sulla scheda di rilevamento durante l'apertura del profilo CL3.

Tabella 3.5 - Descrizione morfologica del profilo CL3.

| | | |
|-----------------------|------------------|---|
| PROFILO CL3 | ST (SSS, 2010) | <i>Mixed, calcareous, mesic</i> Typic Ustipsamment |
| | WRB (IUSS, 2006) | Haplic Arenosol (<i>calcaric</i>) |

| | | |
|--|--|---|
| <i>Data rilievo</i> | 25/10/2006 | <p>Oi: 10-5 cm; abbondante lettiera di aghi di pino, pigne e foglie di quercia, non decomposta; limite abrupto lineare.</p> <p>Oe: 5-3 cm; abbondante lettiera di aghi di pino, pigne e foglie di quercia, mediamente decomposta; limite abrupto lineare.</p> <p>Oa: 5-0 cm; abbondante lettiera costituita da materiale molto decomposto; limite abrupto ondulato.</p> <p>A1: 0-5/8 cm; poco umido; bruno grigiastro molto scuro (2.5Y 3/2 – umido); tessitura franco sabbiosa; struttura incoerente con presenza di minuti aggregati grumosi, fini, debolmente aggregati; adesività molto scarsa; plasticità molto scarsa; radici erbacee comuni, fini e legnose, poche, fini, con andamento sub orizzontale; pori interstiziali; limite abrupto ondulato.</p> <p>A2: 5/8-28 cm; poco umido; bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; adesività assente; plasticità assente; radici erbacee, poche, fini; radici legnose, comuni, medio-grosse, con andamento sub orizz; pori interstiziali; limite abrupto lineare.</p> <p>AC: 28-50/52 cm; poco umido; bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; adesività assente; plasticità assente; radici legnose, comuni, medie; una radice legnosa orizz. grossa, con andamento sub orizzontale; pori interstiziali; limite graduale, lineare.</p> <p>C1: 50/52-70 cm; poco umido; bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; adesività assente; plasticità assente; radici legnose, poche, medie, con andamento sub orizz; pori interstiziali; limite graduale, lineare.</p> <p>C2: 70-92 cm; poco umido; bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; adesività assente; plasticità assente; radici legnose, poche, medie, con andamento sub orizzontale; pori interstiziali; limite graduale, lineare.</p> <p>C3: 92-110 cm; umido; bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; adesività assente; plasticità assente; radici legnose, poche, medie, con andamento sub orizzontale; pori interstiziali; limite graduale, lineare.</p> <p>Cg1: 110-140 cm; molto umido; bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); screziature comuni bruno giallastre (10YR 5/6); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; adesività assente; plasticità assente; radici assenti; limite graduale, lineare.</p> <p>Cg2: 140-180 cm; bagnato; bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); screziature deboli bruno giallastre (10YR 5/6) e grigie (5Y 6/1); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; adesività assente; plasticità assente; radici assenti; limite sconosciuto.</p> <p>Falda presente a partire da 178 cm.</p> |
| <i>Regione</i> | Emilia-Romagna | |
| <i>Provincia</i> | Ravenna | |
| <i>Località</i> | Pineta di Classe | |
| <i>Coordinate WGS84 UTM 33</i> | 282 679 m E 4 914 769 m N | |
| <i>Morfologia</i> | Pianeggiante ondulata | |
| <i>Substrato pedologico o litologico</i> | Sabbioso | |
| <i>Uso del suolo/vegetazione</i> | Arboree: lecci, pini sani e malati, querce; arbusti: pungitopo, biancospino; erbacee | |
| <i>Regime di umidità</i> | Ustico | |
| <i>Regime di temperatura</i> | Mesico | |

- Profilo Marani

La descrizione di tale profilo è avvenuta presso l’Azienda Sperimentale M. Marani. L’ambiente deposizionale è quello di piana di fango a cordoni, su profondi depositi dovuti a processi fluviali successivi ai processi marini tipici di questo ambiente. Il substrato è costituito da sedimenti alluvionali a tessitura media e moderatamente grossolana, da leggermente a molto salino. La topografia della zona è pressoché pianeggiante con quote di circa 2 m s.l.m., con appezzamenti di forma regolare, interessati da colture estensive ed orticole, subordinatamente radi frutteti. Il sistema di smaltimento delle acque è ben marcato ed evidente, e contribuisce a mantenere un idoneo franco di coltivazione.

In Fig. 3.4 (a) è visibile il paesaggio in cui è stato osservato il profilo MARANI, riportato in Fig. 3.4 (b).



Figura 3.4 – Paesaggio (a) e relativo al profilo pedologico relativo al profilo MARANI (b)

In Tab. 3.6 sono indicate le informazioni riportate sulla scheda di rilevamento durante l’apertura del profilo MARANI.

Tabella 3.6 - Descrizione pedologica del profilo Marani.

| | | |
|--------------------------|------------------|---|
| PROFILO MARANI | ST (SSS, 2010) | <i>Fine loamy, mixed, semiactive, mesic Aquic Haplustepts</i> |
| | WRB (IUSS, 2006) | Endogleyic Cambisols (<i>ruptic, calcaric, siltic</i>) |

| | | |
|--|--|--|
| <i>Data rilievo</i> | 17/05/2005 | <p>Ap: 0-36 cm; poco umido; bruno oliva (2,5Y 4/3 - umido); tessitura franco limosa; struttura poliedrica subangolare, fine a moderato grado aggregazione; friabile (umido); non adesivo; debolmente plastico; radici erbacee, molto scarse, molto fini; pori comuni, fini; effervescenza forte; pH 7,5 – 8; limite chiaro lineare.</p> <p>Bw: 36-62 cm; poco umido; bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature poche, fini, deboli, grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – umido) e poche, medie, marcate, bruno giallastro scuro (10YR 4/6 – umido); tessitura franco limosa; struttura poliedrica subangolare, fine, a debole grado aggregazione; friabile (umido); non adesivo; debolmente plastico; radici molto scarse, molto fini; pori molti, fini; effervescenza forte; pH 7,5 – 8; limite chiaro lineare.</p> <p>Cg1: 62-75 cm; poco umido; bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature poche, fini, deboli, grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – umido) e poche, medie, marcate, bruno giallastro scuro (10YR 4/6 – umido); tessitura limosa; struttura massiva; molto friabile (umido); non adesivo; non plastico; radici erbacee, scarse, fini; pori comuni, fini; effervescenza forte; pH 7,5 – 8; limite chiaro lineare.</p> <p>2Cg2: 75-110 cm; poco umido; bruno grigiastro (2,5Y 5/2 - umido); screziature molte, molto grossolane, marcate, bruno forte (7,5YR 4/6 – umido); tessitura franca; struttura massiva; compatto (umido); debolmente adesivo; debolmente plastico; radici assenti; pori comuni, fini; effervesc. forte; pH 7,5–8; limite chiaro lineare.</p> <p>3Cg3: 110-115 cm; poco umido; bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature comuni, fini, marcate, bruno forte (7,5YR 4/6 – umido) e scarse, medie, deboli, grigio oliva (5Y 5/2 – umido); tessitura franco limosa; struttura massiva; friabile (umido); non adesivo; debolmente plastico; radici assenti; pori comuni, molto fini; effervescenza violenta; pH 7,5 – 8; limite chiaro lineare.</p> <p>3Cg4: 115-130 cm; umido; bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature comuni, fini, marcate, bruno forte (7,5YR 4/6 – umido) e scarse, medie, deboli, grigio oliva chiaro (5Y 6/2 – umido); tessitura franco limosa; struttura massiva; friabile (umido); non adesivo; debolmente plastico; radici assenti; pori comuni, molto fini; effervescenza forte; pH 7,5 – 8; limite chiaro lineare.</p> <p>4Cg5: 130-140 cm; bagnato; bruno oliva chiaro (2,5Y 5/4 - umido); screziature poche, fini, marcate, bruno forte (7,5YR 4/6 – umido); tessitura franca; struttura massiva; friabile (umido); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori scarsi, fini; effervescenza forte; pH 7,5 – 8; limite sconosciuto.</p> |
| <i>Regione</i> | Emilia-Romagna | |
| <i>Provincia</i> | Ravenna | |
| <i>Comune</i> | Ravenna | |
| <i>Località</i> | Az. Sperimentale "Marani" Ravenna | |
| <i>Coordinate RER UTM fuso 32</i> | 754 825 m E 928 734 m N | |
| <i>Quota</i> | 1,72 m <i>sl.m.</i> | |
| <i>Fisiografia e morfologia</i> | Area pianeggiante | |
| <i>Uso del suolo/ vegetazione</i> | Seminativo | |
| <i>Substrato pedologico o litologico</i> | Duna sabbiosa spianata nel passato | |
| <i>Regime di umidità</i> | Ustico | |
| <i>Regime di temperatura</i> | Mesico | |

- Profilo PIN1

L'osservazione di tale profilo (Fig. 3.5) è avvenuta all'interno della Pineta di San Vitale, area boschiva storica posta a nord del centro di Ravenna. L'ambiente deposizionale è quello costiero in cui, nel corso dei secoli, la progradazione della linea di costa verso Est, ha lasciato nella zona una successione di ambiti rilevati e zone più depresse in una delle quali è stato osservato il profilo PIN1. In tale contesto morfologico depresso, il livello di falda risulta molto prossimo alla superficie topografica, tale da saturare per gran parte dell'anno anche gli orizzonti più superficiali.



Figura 3.5 – Paesaggio (a) e profilo pedologico (b) relativo al profilo PIN1.

In Tab. 3.7 sono indicate le informazioni riportate sulla scheda di rilevamento durante l'apertura del profilo PIN1.

Tabella 3.7 - Descrizione pedologica del profilo PIN1.

| | | |
|------------------------|------------------|---|
| PROFILO PIN1 | ST (SSS, 2010) | <i>Mixed, calcareous, mesic</i> Typic Psammaquent |
| | WRB (IUSS, 2006) | Haplic Gleysol (<i>Calcaric, Humic, Greyc, Arenic</i>) |

| | | |
|--|------------------------------|---|
| <i>Data rilievo</i> | 27/10/2008 | <p>Oi: 5-0 cm; umido; lettiera costituita da residui vegetali poco o nulla decomposti; limite chiaro ondulato.</p> <p>A1: 0-5 cm; umido; grigio molto scuro (2.5Y 3/1 - umido); tessitura franco sabbiosa; struttura grumosa fine tendente all'incoerente; friabile (umido); adesività scarsa; plasticità scarsa; radici erbacee abbondanti, fini, con andamento sub orizzontale; pori interstiziali; effervescenza all'HCl molto debole; pH 7; limite chiaro ondulato.</p> <p>A2: 5 - 20 cm; molto umido; bruno grigiastro molto scuro (2.5Y 3/2 - umido); tessitura sabbiosa franca; struttura incoerente; friabile (umido); adesività molto scarsa; plasticità molto scarsa; radici erbacee poche, fini, e poche medie, con andamento sub orizzontale; pori interstiziali; effervescenza all'HCl molto debole forte; pH 7/8; limite chiaro lineare.</p> <p>Cg1: 20-80 cm; bagnato; grigio (2.5Y 5/1 - umido); screziature bruno giallastre (10YR 5/4); tessitura sabbiosa; struttura incoerente, fine; molto friabile (umido); radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; pH 8; limite graduale lineare.</p> <p>Cg2: 80-100 cm; bagnato; bruno olivastro chiaro (GLEY1 5/1 - umido); screziature grigie (5Y 6/1) e brune (10YR 4/3); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; molto friabile (umido); radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; pH 8; limite sconosciuto. Falda presente a partire da 26 cm</p> |
| <i>Regione</i> | Emilia-Romagna | |
| <i>Provincia</i> | Ravenna | |
| <i>Località</i> | Pineta di San Vitale | |
| <i>Coordinate WGS84 UTM 33</i> | 279 845 m E 4 934 006 m N | |
| <i>Morfologia</i> | Depressione interdunale | |
| <i>Substrato pedologico o litologico</i> | Sabbioso | |
| <i>Uso del suolo/vegetazione</i> | Frassino, pioppo bianco | |
| <i>Regime di umidità</i> | Udico | |
| <i>Regime di temperatura</i> | Mesico | |

Al fine di completare la caratterizzazione pedologica delle U.T.S. mancanti dell'area oggetto di studio, si è proceduto, sempre grazie alla consultazione di cartografie trattate mediante supporto GIS, alla scelta dell'ubicazione di punti per l'apertura di nuovi profili (Fig. 3.6). Il lavoro di campionamento ex-novo è stato effettuato presso la località di Mirabilandia e per questo denominati MIRA associato poi ad un numero identificativo.



Figura 3.6 - Disposizione rilievi profili Mira.

3.2 Campioni acque di falda FTRIV

In aggiunta alla fase di contestualizzazione pedologica dell'area oggetto di studio, si è deciso di esaminare anche le acque di falda. Non essendo stato possibile prelevarla dai profili Mira, si è deciso di aprirne di nuovi. E' stato posizionato un transetto, denominato FTRIV, trasversale alla linea di costa all'interno della Pineta Ramazzotti, pineta demaniale, insediata sul cordone litoraneo di più recente deposizione, creata allo scopo di proteggere le colture retrostanti dai venti marini. Questa pineta, facente parte del Parco del Delta del Po e delle dell'area S.I.C. - Z.P.S. dell'Ortazzo, Ortazzino, Foce del Torrente Bevano, nel

luglio dell'anno scorso è stata vittima di un incendio doloso che ha distrutto 60 ettari di pineta su 118 (Comune di Ravenna, 2012) (delimitazione dell'area in Fig. 3.7).



Figura 3.7 - Disposizione rilievi acque FTRIV.

3.3 Campioni Resmi

Come segnalato nell'introduzione dello studio, è stato possibile utilizzare campioni raccolti dal Dott. Umberto Resmi per il suo dottorato di ricerca in Scienze della Terra, che si inserisce nell'ambito del progetto "*Coastal Salt Water Intrusion*" (C.S.W.I.), nato da una convenzione di ricerca ENI, Comune di Ravenna e Università di Bologna, che si propone di indagare l'Intrusione salina nella costa ravennate con i conseguenti impatti territoriali-ambientali, connessi al previsto innalzamento del livello marino per cause climatiche e di subsidenza.

L'area oggetto dello studio sopracitato si colloca nella fascia litoranea ed immediatamente retrocostiera della provincia di Ravenna, compresa tra le foci del Fiume

Lamone e Bevano (tratto di circa 23 km), per una distanza dalla zona costiera verso l'entroterra di circa 5 km.

In questa fascia di territorio sono stati posizionati 5 transetti disposti perpendicolarmente alla linea di costa. Essi sono stati indicati con semplici sigle indicanti il toponimo geografico prossimo ad essi:

- MR = Marina Romea (10 punti di campionamento)
- PC = Porto Corsini (8 punti di campionamento)
- RE = Ravenna Est (8 punti di campionamento)
- PD = Pineta di Dante (9 punti di campionamento)
- LC = Lido di Classe (10 punti di campionamento)

Di questi, sono stati presi in considerazione i tre transetti più meridionali RE, PD e LC (Fig. 3.8) in quanto rientrano nella zona di interesse per la presente tesi.



Figura 3.8 - Disposizione rilievi transetti RE, LC e PD.

Nello specifico, il campionamento di questi transetti è stato eseguito prelevando tre campioni dalla carota di perforazione, opportunamente scelti laddove appariva macroscopicamente evidente una variazione litologica, mantenendo comunque delle profondità di riferimento:

- 0-30 cm
- 30-80 cm
- 80-120 cm

Per alcuni punti è stato necessario ritornare sui rispettivi siti per eseguire ulteriori rilevamenti speditivi, per campionare ed andare a reintegrare i volumi di materiale terroso. in quanto le aliquote a disposizione non risultavano sufficienti per le analisi da effettuare.

3.4 Indagine pedologica

3.4.1 Rilievo in campo e campionamento

Sulla base delle informazioni ottenute dall'indagine preliminare si è proceduto con l'indagine pedologica in campo che ha permesso individuare la reale struttura e forma della copertura pedologica. L'osservazione in campo ha lo scopo di verificare l'effettiva accessibilità dei punti considerati, l'uso del suolo presente al momento del campionamento, ma soprattutto la discriminazione di aree relativamente omogenee risultando quindi rappresentativi dell'U.P., in caso contrario è stato necessario individuare un punto più idoneo ai fini dell'indagine.

L'apertura dei nuovi profili mediante vanga e trivella olandese di tipo Eijkelkamp, è avvenuta ottenendo trincee di circa 50 cm di larghezza e profonde più di un metro arrivando in alcuni casi alla profondità della falda freatica.

Si è proceduto innanzitutto con l'osservazione e la compilazione delle apposite schede campagna seguendo quanto indicato da Schoeneberger *et al.* (2002). Queste prevedono la descrizione de:

- *il sito di campionamento* indicando per esempio il nome e l'ubicazione del profilo, completo di coordinate WGS84-UTM33, ed enunciare alcune

caratteristiche peculiari dell'area quali morfologia, vegetazione e regime di temperatura e di umidità;

- *la sezione pedologica* elencando i vari orizzonti presenti nel profilo di suolo, ossia stratificazioni circa parallele alla superficie formati in seguito a processi pedogenetici, che si differenziano per caratteristiche distintive quali lo spessore, il colore, la struttura degli aggregati ecc.. Gli orizzonti vengono infine nominati utilizzando le lettere maiuscole O, A, B, C, E, L, M, R, e W per identificare gli orizzonti principali, aggiungendo lettere minuscole per contraddistinguere particolari condizioni all'interno di questi (SSS, 2010; IUSS, 2006).

Una volta completata la scheda di rilevamento si è proseguito con il prelievo di aliquote di suolo rappresentative di ciascun orizzonte individuato. I campioni di suolo sono stati messi in sacchetti e dovutamente catalogati indicando nome della stazione, profondità e data di prelievo. Di seguito sono stati portati nel Lab. di Geopedologia, stesi in apposite vaschette in plastica ed essiccati a temperatura ambiente. Terminata questa fase i campioni sono stati macinati mediante mulino a cilindri ruotanti e vagliati a 2 mm mediante setaccio per poi essere riposti in sacchetti etichettati.

Il campionamento delle acque di falda è stata effettuata sempre mediante trivella olandese di tipo Eijkelkamp, raggiungendo profondità mai superiori a -1 m rispetto il piano campagna. Il campione è stato raccolto in barattoli, identificati con il nome della stazione, profondità e data di prelievo. Successivamente sono stati portati anch'essi al Lab. di Geopedologia dove sono stati filtrati con filtro di estere cellulosa di 0,45 µm mediante pompa a vuoto.

3.5 Analisi in laboratorio

Le analisi sono state condotte secondo quanto riportato nel Manuale dei Metodi di Analisi Chimica del Suolo (MiPAF, 2000), che raccoglie le metodiche analitiche ufficializzate con D.M. 13 settembre 1999 pubblicato sul Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n° 248 del 21 ottobre 1999. Per le metodiche di analisi sulle acque si è invece fatto riferimento ai manuali dei "Metodi analitici per le acque" APAT, IRSA-CNR, 2003.

In Tab. 3.8 (a) sono riportate le analisi effettuate in laboratorio sui suoli campionati e su quelli scelti nella banca dati al fine di completare le informazioni sull'area di studio. In questo modo si è cercato di uniformare il set di dati pregressi con quelli determinati ex novo. Di seguito verranno descritti brevemente i metodi analitici adottati. Mentre in Tab. 3.8 (b) sono mostrate le analisi di approfondimento eseguite sulle acque di falda.

Tabella 3.8 (a) - Analisi chimico fisiche effettuate sui campioni di suolo

| | Analisi | Metodica: Suppl. Ord. G.U. n. 248/1999 - Posizione internazionale | Strumento |
|---------------|--|--|---|
| | Grado di reazione (pH) | Metodo n. III.1 – ISO 10390 | pH-metro |
| Sali solubili | CE su estratti 1:2,5 | Metodo n. IV.1 - ISO 11265 (modificata) | Conduttimetro |
| | Ioni carbonato e bicarbonato | Metodo n. IV.2.4 | Sistema automatico per titolazione potenziometrica |
| | Basi solubili Ca ²⁺ Mg ²⁺ K ⁺ Na ⁺ | Metodo n. IV.2.5/6 | FAAS Perkin Elmer AAnalyst 100 |
| | Anioni solubili F ⁻ Cl ⁻ NO ₂ ⁻ Br ⁻ NO ₃ ⁻ PO ₄ ²⁻ SO ₄ ²⁻ | Metodo n. IV.2.7 | Cromatografo ionico (IC) |
| | Calcare totale | Metodo n. V.1 - ISO 10693 | Calcimetro Dietrich - Fruehling |
| | Tessitura | Metodo n. II.6 | Cilindri per idrometro e densimetro con scala Bouyoucos |
| | Carbonio organico e azoto totale | Metodo n. VII.1 - ISO 10694 | Analizzatore elementare CHNS Flash2000 |
| | Basi di scambio Ca ²⁺ Mg ²⁺ K ⁺ Na ⁺ | Metodo n. XIII.5 - ISO 11260 | FAAS Perkin Elmer AAnalyst 100 |
| | Capacità di Scambio Cationica | Metodo n. XIII.2 – ISO 11260 | Reagenti e vetreria da laboratorio |

Tabella 3.8 (b) - Analisi chimico fisiche effettuate sui campioni di acqua di falda

| | Analisi | Metodica: Manuali e linea guida 29/2003 | Strumento |
|---------------|--|--|---------------------------------------|
| | Grado di reazione (pH) | Metodo 2060 | pH-metro |
| Sali solubili | CE su estratti 1:2,5 | Metodo 2030 | Conduttimetro |
| | Ioni carbonato e bicarbonato | Metodo 2010 | Reagenti e vetreria da lab., pH-metro |
| | Basi solubili Ca ²⁺ Mg ²⁺ K ⁺ Na ⁺ | Metodo 3130-3180-3240-3270 | FAAS Perkin Elmer AAnalyst 100 |
| | Anioni solubili F ⁻ Cl ⁻ NO ₂ ⁻ Br ⁻ NO ₃ ⁻ PO ₄ ²⁻ SO ₄ ²⁻ | Metodo n. IV.2.7 | Cromatografo ionico (IC) |

3.5.1 Determinazione del grado di reazione (pH)

La reazione del suolo, acida, neutra o alcalina, è espressa dal valore di pH che, definito originariamente (Sorensen, 1909) come il logaritmo negativo in base 10 della concentrazione in moli/L di ioni H^+ nella fase liquida, deve essere inteso, più correttamente, in termini di attività chimica degli idrogenioni (MiPAF, 2000). L'influenza del grado di reazione del suolo si esplica sull'attività microbiologica, la disponibilità di elementi minerali e l'adattabilità delle varie specie vegetali. Viene determinato per via potenziometrica con pH-metro (Mettler Toledo SG 2-ELK) (Fig. 3.9) in una dispersione di terreno in acqua distillata preparata in condizioni standard con rapporto suolo/acqua pari a 1:2,5 in peso, previa taratura del sistema di misura facendo uso delle soluzioni tampone di riferimento a pH 4 e 7.



Figura 3.9 - Determinazione del pH

Procedura per l'estratto suolo/acqua 1:2,5. Sono stati trasferiti in ampolla da centrifuga 20 g di campione di terra fine (Fig. 3.10) e aggiunti 50 ml di acqua deionizzata. Agitato meccanicamente per 2 ore e centrifugato per 15 minuti. Successivamente, si è filtrato con filtro di estere cellulosa di $0,45 \mu m$ mediante pompa a vuoto.



Figura 3.10 – Fasi di preparazione dell'estratto suolo/acqua 1:2,5

3.5.2 Determinazione del contenuto di sali solubili

I sali solubili presenti nel terreno, siano essi derivati dal suolo stesso, dalle acque di falda, da irrigazione o dalle concimazioni, sono indispensabili per la nutrizione delle piante, ma la loro concentrazione deve essere contenuta entro certi valori. Vengono definiti sali solubili tutti i composti chimici caratterizzati da solubilità più elevata di quella del gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) pari, a 0 ° C, a 0,241 g per 100 mL di acqua (MiPAF, 2000).

La maggior parte sono costituiti prevalentemente dai cationi Na^+ , Ca^{2+} , Mg^+ , dagli anioni Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , in proporzione molto più ridotta da K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , CO_3^{2-} e pochi altri ioni (Violante, 1996).

3.5.2.1 Conducibilità elettrica

La conduttività rappresenta la misura indiretta della concentrazione totale dei sali disciolti in una soluzione in equilibrio con il suolo. Essa costituisce un buon indicatore dei potenziali effetti negativi della salinità sul potenziale osmotico e sullo squilibrio dei nutrienti nei suoli. Un aumento della salinità può provocare danni e riduzioni di resa delle colture, tenendo conto della loro più o meno elevata sensibilità alla salinità.

Per la determinazione è stato utilizzato l'estratto suolo/acqua 1:2,5 precedentemente utilizzato per il grado di reazione, in quanto la normativa (G.U. n. 248 del 21/10/1999) prevede la determinazione diretta della CE mediante conduttimetro immerso in estratti del suolo ottenuti con differenti rapporti acqua/soilo:

- a saturazione (*pasta satura*);
- a rapporto acqua/soilo 5:1 (*estratto acquoso 5:1*);
- a rapporto acqua/soilo 2,5:1 (*estratto acquoso 2,5:1*).

Il dato si esprime in $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ a 25 °C, con due cifre decimali, specificando con quale rapporto acqua/soilo si è operato in quanto esso determina quanto i sali contenuti nel suolo vengono diluiti nell'acqua e quindi il valore di CE. È necessario riportare i valori di conduttività elettrica a 25 °C utilizzando la seguente espressione:

$$L_s = G * F * K$$

dove:

LS = valore di conduttività elettrica a 25°C ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) del campione di suolo;

G = valore della conduttanza ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) misurato;

K = fattore di cella;

F = fattore di correzione per riportare il valore della conduttività a 25 °C.

In Tab. 3.9 sono riportati i valori di riferimento della CE ed i giudizi relativi desunti da diverse fonti bibliografiche.

Tabella 3.9 - Valori di riferimento della CE e relativi giudizi in funzione delle modalità di determinazione analitica.

| Parametro | CE 1:5 | CE 1 :5 valutazione | CE 1:2.5 | CE 1:2.5 valutazione | CE ps | CE ps valutazione e condizione suoli |
|--|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|---|--|
| Valori di riferimento e giudizi | <0.15 | Non salino | 0 - 0.5 | Normale | 0 - 2 | Normale, suoli non salini |
| | 0.15-0.40 | Leggermente salino | 0.6 - 1.0 | Leggermente alta | 2 - 4 | Leggermente alta, suoli debolmente salini |
| | 0.40-0.80 | Moderatamente salino | 1.1 - 2.0 | Alta | 4 - 8 | Alta, suoli molto salini |
| | 0.80-2 | Molto salino | 2.1 - 4.0 | Molto alta | 8 - 16 | Molto alta, suoli fortemente salini |
| | >2 | Estremamente salino | > 4.0 | Estremamente alta | > 16 | Estremamente alta, suoli molto fortemente salini |
| Riferimento | RER, 1994 | | Sbaraglia e Lucci, 1994 | | Barbiroli et. al., 2000; RER, 1994; Sbaraglia e Lucci, 1994 | |

I valori analitici ottenuti sull'estratto a saturazione danno le indicazioni più attendibili sullo stato di salinità del suolo perché la soluzione che si ottiene approssima sicuramente meglio le condizioni di saturazione alle quali si viene a trovare il suolo in natura (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Tale metodo è però laborioso e richiede lunghi tempi di realizzazione, è per questo che si prediligono metodi alternativi, più speditivi e di più facile esecuzione quali la misurazione della conduttività elettrica in soluzioni estratte da campioni di suolo con differenti rapporti di diluizione con acqua deionizzata (Monteleone, 2006).

3.5.2.2. Contenuto di ioni carbonato e bicarbonato

L'alcalinità totale viene determinata per titolazione potenziometrica dell'estratto di campione con un acido forte a concentrazione nota. Nel caso specifico dopo aver trasferito un'aliquota di estratto di campione in un becher, è stato inserito l'elettrodo di vetro del pH-metro, precedentemente tarato. Una volta stabilizzato il pH si è iniziato a titolare con la soluzione 0,01 M di acido cloridrico fino al valore di pH 4.5 (Fig. 3.11).



Figura 3.11 - Titolazione potenziometrica per la determinazione dell'alcalinità totale

Il volume della soluzione acida impiegato è stato poi utilizzato per determinare il contenuto di ioni bicarbonato che viene espresso in $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Per il calcolo è stata utilizzata la seguente espressione:

$$ALK = \frac{T * t * 1000}{v} * \frac{50}{m}$$

dove:

ALK = contenuto di ioni bicarbonato, espresso in $\text{mmoli}\cdot\text{Kg}^{-1}$;

T = volume della soluzione ($0,01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) di HCl utilizzato per titolare l'estratto acquoso fino al valore di pH 4,5;

t = molarità della soluzione di HCl;

v = volume dell'aliquota di estratto dal suolo utilizzata, espressa in ml;

m = massa del campione di suolo utilizzata, espressa in g;

50 = volume di acqua utilizzata per fare l'estratto, espressa in ml.

3.5.2.3 Contenuto di ioni calcio, magnesio, sodio, potassio

I cationi Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ sono stati determinati mediante spettrometro in assorbimento atomico a fiamma (FAAS) Perkin Elmer AAnalyst 100 (Fig. 3.12), con miscela ossidante aria-acetilene in rapporto 2:4.



Figura 3.12 - Spettrometro in assorbimento atomico a fiamma (FAAS).

Questo strumento permette di portare l'elemento analizzato in forma atomica in fase gassosa, mediante riscaldamento con una fiamma. Una radiazione monocromatica di lunghezza d'onda caratteristica dell'elemento è fatta passare attraverso il vapore atomico. Una parte della radiazione è assorbita dagli atomi dell'analita ed è proporzionale alla sua concentrazione.

Allo scopo di far rientrare la presenza della presunta concentrazione di campione nelle curve di taratura di ciascun metallo al FAAS è stato necessario prelevare un'aliquota di campione, effettuare le dovute diluizioni ed introdurre aliquote di HNO_3 e di soluzione di nitrato di lantanio tale che la concentrazione di quest'ultimo nella lettura risulti pari allo 0,1 %.

L'acidificazione con l' HNO_3 è stata fatta per impedire ai metalli di precipitare, mentre l'introduzione di nitrato di lantanio, è stata effettuata per aumentare il potere atomizzante dei metalli alcalino terrosi quali Ca^{2+} e Mg^{2+} .

In seguito sono stati rilevati i valori di assorbanza per le soluzioni dei campioni ed utilizzando le curve di taratura, si è risaliti ai valori di concentrazione in $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Il

contenuto di ioni viene espresso in $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ e per il calcolo è stata utilizzata la seguente espressione:

$$C = \frac{(A - B) * D * 50}{m * E}$$

dove

C = contenuto di ioni, espresso in $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$;

A = concentrazione del catione nella soluzione del suolo, espressa in $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;

B = concentrazione del catione nella soluzione della prova in bianco, espressa in $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;

D = fattore di diluizione (D = 10);

m = massa del campione di suolo utilizzata (m=20 g);

E = massa equivalente del catione. $E_{\text{Ca}^{+}} = 20,04$; $E_{\text{Mg}} = 12,15$; $E_{\text{Na}} = 22,99$; $E_{\text{K}} = 39,09$.

Tasso di Assorbimento del Sodio. Indicato con la sigla S.A.R., questo rapporto si utilizza per esprimere l'attività del sodio contenuto in acqua, e la sua possibilità a partecipare al fenomeno di scambio con il terreno, in antagonismo con il calcio e il magnesio fondamentali della nutrizione vegetale (MiPAF, 2001). Il valore del *Sodium Absorption Ratio* (S.A.R.) è dato dalla seguente formula:

$$S.A.R. = \frac{[\text{Na}^{+}]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2}}}$$

dove:

Na^{+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} sono espressi in $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$.

Tabella 3.10 - Valutazione della qualità dell'acqua irrigua in funzione del S.A.R. (MiPAF, 2001).

| S.A.R. | Definizione | Valutazione |
|--------|-------------|---|
| <10 | bassa | Idonea per l'irrigazione di tutti i terreni. |
| 10-18 | media | Presenta un apprezzabile pericolo di sodicizzazione in terreni di fine tessitura e con alta capacità di scambio. |
| 18-26 | alta | Può produrre livelli nocivi di sodio scambiabile nella maggior parte dei terreni ed il suo uso richiede speciali trattamenti che inducano un ottimo drenaggio ed elevata lisciviazione oltre a somministrazione di sostanza organica. |
| >26 | molto alta | Non idonea ai fini irrigui. |

Il S.A.R. se risulta elevato può ostacolare il regolare sviluppo vegeto-produttivo, in quanto mette in relazione l'attività dello ione Na^+ , negativa per il suolo, con l'attività degli ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} positiva per il suolo (MiPAF, 2001).

Alti valori di S.A.R. indicano la presenza di elevate concentrazioni dello ione Na^+ , in soluzione e quindi un rischio di una potenziale sodicizzazione del suolo che può ostacolare il regolare sviluppo vegeto-produttivo (US Laboratory Salinity Staff, 1954).

3.5.2.4. Contenuto di ioni fluoruri, cloruri, nitriti, bromuri, nitrati, fosfati, solfati

L'analisi è stata effettuata al cromatografo ionico (Fig. 3.13) previa preparazione della curva di taratura per ciascun anione utilizzando delle soluzioni multistandard a diversa concentrazione nota.

Gli estratti opportunamente diluiti sulla base della loro conduttività elettrica sono stati iniettati in un sistema eluente ed inviati ad una colonna analitica impaccata con uno scambiatore ionico. Le diverse specie ioniche, nel nostro caso specifico anioni inorganici, sono stati separati per ripartizione tra fase mobile (eluente) e stazionaria (colonna analitica) sulla base delle diverse affinità.



Figura 3.13 - Cromatografo ionico (IC).

I soluti in uscita dalla colonna fluiscono attraverso un rivelatore che dà luogo ad un segnale proporzionale alla loro concentrazione. Si ottiene un cromatogramma, cioè un grafico che riporta il segnale del rivelatore in funzione del tempo. Ad ognuna delle specie separate corrisponde un picco, caratterizzato dalla sua area e dal tempo di ritenzione, che rappresenta il ritardo con cui il soluto esce rispetto alla fase mobile. L'identificazione dell'analita è basata, almeno in parte, sul tempo di ritenzione, mentre la sua concentrazione è proporzionale all'area o altezza del picco.

La concentrazione dell'anione nella soluzione di campione, espressa in $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, viene riportata in $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ e per il calcolo viene utilizzata la seguente espressione:

$$C = \frac{(A - B) * D * 50}{m * E}$$

dove

C = contenuto di ioni, espresso in $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$;

A = concentrazione del catione nella soluzione del suolo, espressa in $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;

B = concentrazione del catione nella soluzione della prova in bianco, espressa in $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;

D = fattore di diluizione;

m = massa del campione di suolo utilizzata, espressa in g;

E = massa equivalente del anione $E_{\text{F}^-} = 18,99$; $E_{\text{Cl}^-} = 35,45$; $E_{\text{NO}_2^-} = 46$; $E_{\text{Br}^-} = 79,9$; $E_{\text{NO}_3^-} = 62,01$; $E_{\text{PO}_4^{2-}} = 94,97$; $E_{\text{SO}_4^{2-}} = 96,06$.

3.5.3 Determinazione del calcare totale

Il contenuto in carbonati totale è espresso in CaCO_3 equivalente e il suo valore è stato calcolato mediante determinazione gas-volumetrica della CO_2 sviluppata dal trattamento del campione con HCl.

Si è prelevata una determinata aliquota di campione e inserita in una beuta insieme ad una provetta di plastica contenente 5 ml di soluzione di acido cloridrico al 18,5 %. Collegato il contenitore al calcimetro Dietrich - Fruehling (Fig. 3.14) mediante apposito tappo di chiusura è stato agitato in modo da far fuoriuscire l'HCl dalla provetta ed entrare a contatto con il campione, sviluppando così CO_2 . Questo determinerà l'abbassamento

del livello di acqua nel tubo graduato. Seguirà la lettura del volume di CO₂ che si è sviluppata.

Il contenuto di "calcare totale" è espresso in g·kg⁻¹ senza cifre decimali e per il calcolo viene utilizzata l'espressione:

$$C = \frac{V_0 * 0,0044655 * 1000}{m}$$

dove

C = contenuto di "calcare totale", espresso in g·kg⁻¹;

V₀ = volume della CO₂ standardizzato, corretto a 0 °C e alla pressione atmosferica di 101.325 kPa, espresso in ml;

0,0044655 = equivalente gas-volumetrico;

m = massa del campione di terra fine utilizzato per l'analisi, espressa in g.



Figura 3.14 - Calcimetro Dietrich - Fruehling

3.5.4. Determinazione della distribuzione della dimensione delle particelle (Tessitura) per mezzo dell'idrometro

La tessitura indica la distribuzione dei componenti minerali del suolo distinti per classi dimensionali. Essa è responsabile di molte proprietà fisiche (es. struttura), idrologiche (es. permeabilità, capacità di ritenzione idrica) e chimiche (es. capacità di scambio cationico) dei suoli e viene determinata sulla base delle variazioni nel tempo della massa volumica di una sospensione di suolo. I valori di massa volumica di una sospensione sono messi in

relazione in modo empirico alle dimensioni delle particelle, in maniera che, scegliendo opportuni tempi, una lettura di massa volumica possa essere una misura di una data dimensione di particelle.

Sono state poste in beute, differenti quantità di campione, in base alla tipologia di suolo:

- suoli sabbiosi \approx 60-80 g
- altri suoli \approx 40 g

In ognuna di esse è stata aggiunta un'aliquota di 50 ml di soluzione di Sodio Esametafosfato e messo in agitazione per 2 ore. La soluzione ha lo scopo di defloculare i colloidali del suolo mediante il Na^+ . Il tutto è stato introdotto in un disaggregatore meccanico per 2 minuti. Il contenuto è stato poi versato in un cilindro di sedimentazione (Fig. 4.15) e portato a volume con acqua deionizzata. Dopo aver tappato il cilindro sono state effettuate 20 circonvoluzioni per omogeneizzare al massimo la sospensione.



Figura 3.15 - Cilindri di sedimentazione.

Nei tempi prestabiliti (Tab. 3.11), in funzione delle dimensioni delle particelle che si intendono individuare, è stato immerso il densimetro di Bouyoucos ed in seguito il termometro con scala $0 \div 50$ °C, divisione 1 °C ed effettuate le letture delle temperature.

Tabella 3.11 - Tempi di misurazione con l'idrometro

| FRAZIONE GRANULOMETRICA | | CLASSIFICAZIONE | | TEMPO DI MISURAZIONE |
|-------------------------|---------|--------------------|--------------------|----------------------|
| | | USDA μm | ISSS μm | |
| Terra fine | Sabbia | 2000-50 | 2000-20 | 40 sec |
| | Limo | 50-2 | 20-2 | 5 min |
| | Argilla | <2 | <2 | 24 ore |

La distribuzione dimensionale delle particelle si esprime in $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, senza cifre decimali:

$$C_1 = 1000 - \left(1000 * \frac{D_1 + 0,36 * (T_1 - 20) - D_0}{P}\right)$$

$$C_2 = 1000 - C_1 - C_3$$

$$C_3 = 1000 - \left(1000 * \frac{D_2 + 0,36 * (T_2 - 20) - D_0}{P}\right)$$

Dove:

C_1 = frazione granulometrica più grossolana, espressa in $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ nel terreno;

C_2 = frazione granulometrica intermedia, espressa in $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ nel terreno;

C_3 = frazione granulometrica più fine, espressa in $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ nel terreno;

D_0 = massa volumica della soluzione di Sodio Esametafosfato;

D_1 = massa volumica della prima lettura;

D_2 = massa volumica della seconda lettura;

T_1 = temperatura della prima lettura;

T_2 = temperatura della seconda lettura;

P = massa del terreno sottoposto ad analisi, in g.

3.5.5. Determinazione del carbonio totale, organico e dell'azoto totale con analizzatore elementare

La determinazione di carbonio organico e azoto totale del suolo è stata effettuata mediante un analizzatore elementare (CHN *Elemental Analyzer*) di Perkin Elmer.

I diversi analizzatori elementari disponibili in commercio funzionano essenzialmente sulla base del "metodo Dumas" (Dumas, 1831): tale metodo analitico è fondato sulla completa ed istantanea ossidazione del campione per *flash combustion*, con conseguente conversione di tutte le sostanze organiche ed inorganiche in prodotti gassosi (MiPAF, 2000).

La taratura dello strumento viene effettuata mediante combustione di un materiale di riferimento (Acetanilide) a composizione certificata.

Nella fase preparatoria i campioni sono stati polverizzati per mezzo di un mortaio in agata per ottenere una dimensione dei granuli di 0,2 mm circa, successivamente pesati in capsule d'argento ed inseriti nell'autocampionatore (Fig. 3.16).

I gas di combustione vengono fatti passare, in corrente di elio, su opportuni catalizzatori per completare il processo di ossidazione ed in seguito su strato di rame, per ridurre gli ossidi di azoto ad azoto molecolare. Successivamente, la miscela gassosa viene separata per gascromatografia e CO₂, N₂, H₂O e SO₂ vengono rilevati da un detector a conducibilità termica. Lo strumento permette così di determinare il carbonio totale e per differenza quello organico (C org), dopo l'allontanamento di quello inorganico con opportuni pretrattamenti ripetuti con HCl (10%).



Figure 3.16 – Macinazione, pesatura, analisi al CHNS.

3.5.6. Determinazione del complesso di scambio

La capacità di scambio cationico (CSC) è una proprietà di notevole importanza (Gessa e Tentini, 1988) e fornisce un'indicazione sulla fertilità potenziale del terreno e sulla natura dei minerali argillosi. L'assorbimento per scambio ionico rappresenta, infatti, il meccanismo più importante di trattenimento degli ioni nel suolo e coinvolge quasi esclusivamente i cationi, tra cui quelli utili alla nutrizione delle piante come Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺. Questi cationi sono fissati solo temporaneamente sui minerali argillosi e le sostanze umiche e possono essere facilmente sostituiti da altri cationi al mutare della composizione ionica della soluzione del suolo, diventando prontamente disponibili per le piante. Nei suoli coltivati la CSC oscilla generalmente fra 5÷50 meq·100 g⁻¹, nei suoli torbosi può raggiungere valori intorno a 200 meq·100 g⁻¹. In modo indicativo (MiPAF, 2000) si può adottare la seguente classificazione:

Tabella 3.11 - Valutazione della CSC nei terreni.

| Valutazione | CSC (meq·100 g ⁻¹) |
|-------------|--------------------------------|
| bassa | <10 |
| media | 10 20 |
| alta | >20 |

Il rapporto tra le basi di scambio, quali Calcio, Magnesio, Potassio e Sodio, e la CSC insieme indicano il grado di saturazione in basi (GSB).

3.5.6.1. Capacità di scambio con bario cloruro e trietanolammina

Il campione di suolo viene monosaturato, per ripetuti trattamenti, con soluzione di bario cloruro tamponata a pH 8.2. Successivamente, al campione Ba-saturato viene aggiunta più volte una quantità definita di una soluzione a titolo noto di magnesio solfato. La reazione porta alla formazione di bario solfato insolubile e, quindi, allo scambio completo Ba/Mg. L'eccesso di magnesio in soluzione è stato calcolato secondo due metodi ufficiali:

- il metodo n. XIII.2 (MiPAF, 2000) prevede la determinazione per titolazione complessometrica con la soluzione di EDTA fino a colorazione azzurra (Fig. 3.17). Calcolata la quantità di magnesio adsorbito, che corrisponde alla quantità di bario scambiato, si accerta il valore della capacità di scambio cationico;

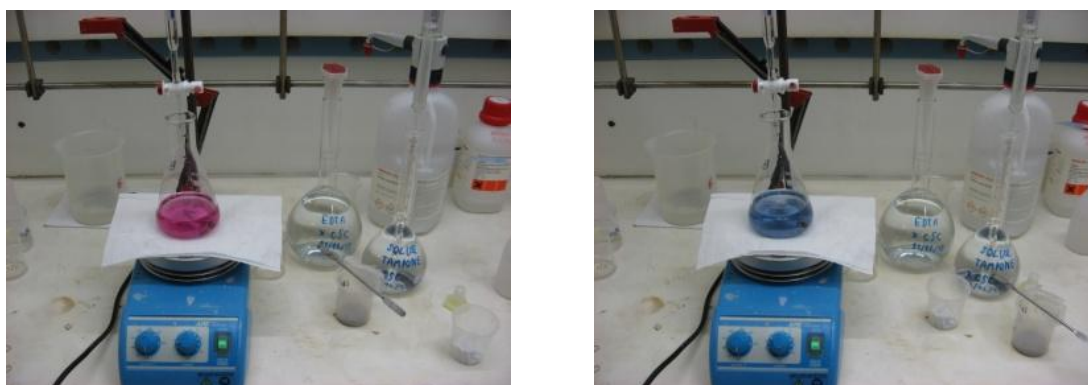


Figure 3.17 – Passaggio dalla colorazione viola-azzurra.

- Il metodo n. 6 ISO 11260: 1994, propone l'utilizzo FAAS.

La CSC viene espressa in $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ di suolo o in $\text{meq}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ di suolo, con una cifra decimale. I due valori risultano numericamente uguali.

Per il calcolo viene utilizzata l'espressione:

$$\text{CSC} = \frac{\left(V_B - V_A * \frac{(30 + B - A)}{30} \right) * M * 1000}{m * 1000} * \frac{30}{10} * 2$$

dove

CSC = capacità di scambio cationico, espressa in $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$;

V_A = volume della soluzione di EDTA utilizzato per la titolazione della soluzione del campione, espresso in ml;

V_B = volume della soluzione di EDTA utilizzato per la titolazione della soluzione della prova in bianco, espresso in ml;

A = massa del tubo da centrifuga + il campione, espressa in g;

B = massa del tubo da centrifuga + il campione dopo saturazione con soluzione di bario cloruro e lavaggio con H_2O 30 mL/10 mL = rapporto volumetrico;

30 = volume di soluzione di MgSO_4 utilizzato per scambiare, espressa in ml;

10 = aliquota prelevata da campioni e bianco per la titolazione con soluzione di EDTA, espressa in ml;

M = concentrazione della soluzione di EDTA, espressa in $\text{cmol}\cdot\text{L}^{-1}$;

m = massa del campione utilizzata, espressa in g.

3.5.6.2. Basi di scambio (calcio, magnesio, potassio, sodio) con bario cloruro e trietanolamina

Le basi di scambio costituite principalmente dai cationi Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , aventi reazione alcalina in acqua, vanno a neutralizzare i siti a carica negativa del complesso di scambio presenti nelle fasi colloidali del suolo (MiPAF, 2000). Il contenuto di questi ioni è stato rimosso dai siti di scambio con soluzione di bario cloruro tamponata a pH 8.2 e opportunamente diluiti. Dopodiché sono stati sottoposti a lettura mediante tecnica FAAS,

dove sono stati rilevati i valori di assorbanza ed utilizzando le curve di taratura, si è risaliti ai valori di concentrazione.

Il contenuto di ciascun catione di scambio viene espresso $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ di suolo o in $\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$ di suolo, con una cifra decimale. I due valori risultano numericamente uguali.

Per il calcolo viene utilizzata l'espressione:

$$C = \frac{(A - B) * D * V * F}{m * E * 10_V}$$

dove

C = contenuto di ciascun catione di scambio, espresso in $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$;

A = concentrazione del catione nella soluzione del campione, espressa in $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;

B = concentrazione del catione nella soluzione della prova in bianco, espressa in $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;

D = fattore di diluizione (quello più comune è 10 per Ca e Mg e 5 per K e Na);

V = volume della soluzione di bario cloruro a pH 8,2, espressa in mL;

m = massa del campione di suolo utilizzata, espressa in g;

E = massa equivalente del catione. $E_{\text{Ca}} = 20,04$; $E_{\text{Mg}} = 12,16$; $E_{\text{K}} = 39,10$; $E_{\text{Na}} = 22,99$;

10 = fattore di conversione.

Percentuale di Sodio Scambiabile. L'ESP è un parametro che esprime la percentuale di ioni sodio scambiabile sul complesso di scambio determinato dalla CSC. Risulta pertanto definito come:

$$ESP = \frac{[\text{Na}^+]}{\text{CSC}} * 100$$

dove $[\text{Na}^+]$ e CSC sono espressi in $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

L'ESP è, assieme alla CE ed al pH, uno dei principali parametri atti a definire il livello di salinità dei suoli. Un ESP elevato implica un alto contenuto di sodio nel complesso di scambio che porta ad una deflocculazione dei colloidi con il conseguente peggioramento strutturale dei suoli. I suoli salini possono essere classificati (Tab. 3.12) in funzione del pH, del contenuto salino totale e della percentuale di sodio presente sulle superfici degli scambiatori come segue:

- **suoli salini** sono quindi quelli che hanno un accumulo di Sali solubili, con conducibilità dell'estratto saturo è $>$ di $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, la percentuale di sodio scambiabile è $<$ 15 ed il pH è generalmente $<$ di 8.5. Questi terreni si formano in genere nelle zone aride, dove le precipitazioni non sono sufficienti ad eliminare i sali che si formano durante la pedogenesi e dove l'acqua si allontana dal terreno prevalentemente per evapotraspirazione. Il valore della conduttività elettrica (CE), misurata sull'estratto acquoso del suolo a saturazione (pasta satura) è pari o superiore a $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$);
- **suoli sodici** dove l'elevata percentuale di sodio scambiabile è dovuta all'adsorbimento di una parte degli ioni sodio fino alla completa saturazione dei colloidi diventando così il componente principale nel complesso di scambio cationico (ESP $>$ 15%). Il pH può variare da 8,5 a 10 e la causa risiede nell'idrolisi salina del carbonato di sodio (Na_2CO_3) o del bicarbonato di sodio (NaHCO_3) presenti nelle acque a contatto con questi suoli. Queste reazioni da un lato portano ad un aumento dei valori di pH della soluzione circolante, dall'altro liberano ioni sodio;
- **suoli salino-sodici** si formano, invece, in seguito alla combinazione dei processi di salinizzazione e di alcalinizzazione: percentuale di sodio scambiabile ($>$ 15) e la conduttività elettrica ($>$ $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) risultano entrambi elevati.

Tabella 3.12 - Classificazione dei suoli salini secondo l' U.S. Salinity Laboratory Staff (1954)

| Tipo di suolo | Conduttività elettrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) | ESP | pH |
|---------------|--|--------|---------|
| Salino | $>$ 4 | $<$ 15 | $<$ 8,5 |
| Sodico | $<$ 4 | $>$ 15 | $>$ 8,5 |
| Salino-sodico | $>$ 4 | $>$ 15 | $<$ 8,5 |

3.5.7. Indice BEX

L'indice di Scambio Cationico (Stuyfzand, 2008) viene utilizzato per valutare un trend nella composizione chimica degli estratti di suolo, per capire se è in corso un processo di salinizzazione o di dolcificazione, o se c'è stato in passato. Il BEX viene calcolato come:

$$\text{BEX} = \text{Na} + \text{K} + \text{Mg} - 1,0716 \text{ Cl} \text{ (meq}\cdot\text{L}^{-1}\text{)}$$

Dove:

$1,0716 = (\text{Na} + \text{K} + \text{Mg})/\text{Cl}$ acqua di mare (Riley e Skirrow, 1975).

Il calcolo dell'indice BEX è riassunto nella Tab. 3.12 da una simbologia di immediata comprensione.

Tabella 3.13 - Indice BEX come proposto da Stuyfzand (1986).

| CODICE | BEX | Interpretazione |
|---------------|------------|------------------------|
| - | negativo | salinizzazione |
| 0 | zero | equilibrio |
| + | positivo | dolcificazione |

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1. Analisi relative ai profili Mira e pregressi

Lo studio pedologico realizzato, ha portato alla caratterizzazione dei suoli rappresentativi presenti nella zona indagata. La descrizione ed il campionamento degli orizzonti dei profili è stata condotta secondo Schoeneberger et al. (2002) mentre le determinazioni analitiche sono state eseguite in base alle metodiche ufficiali riportate nel D.M. n. 335 del 13 settembre 1999. Inoltre, la classificazione dei suoli è stata realizzata facendo riferimento alla classificazione statunitense Soil Taxonomy (SSS, 2010), ed al World Reference Base (IUSS, 2006).

- Profilo Mira1

Il profilo Mira1 è stato aperto nella Delineazione Pedologica n° 74 consociazione dei suoli RISAIA DEL DUCA argilloso limosi, nei pressi di via Bevanella a sud di Mirabilandia. L'area è pianeggiante ed adibita a prato presentando un substrato costituito da sedimenti a tessitura fine ed è situata in prossimità di una cava. In Fig. 4.1 (a-b) è visibile il paesaggio in cui è stato osservato il profilo Mira1, riportato in Fig. 4.1 (c).

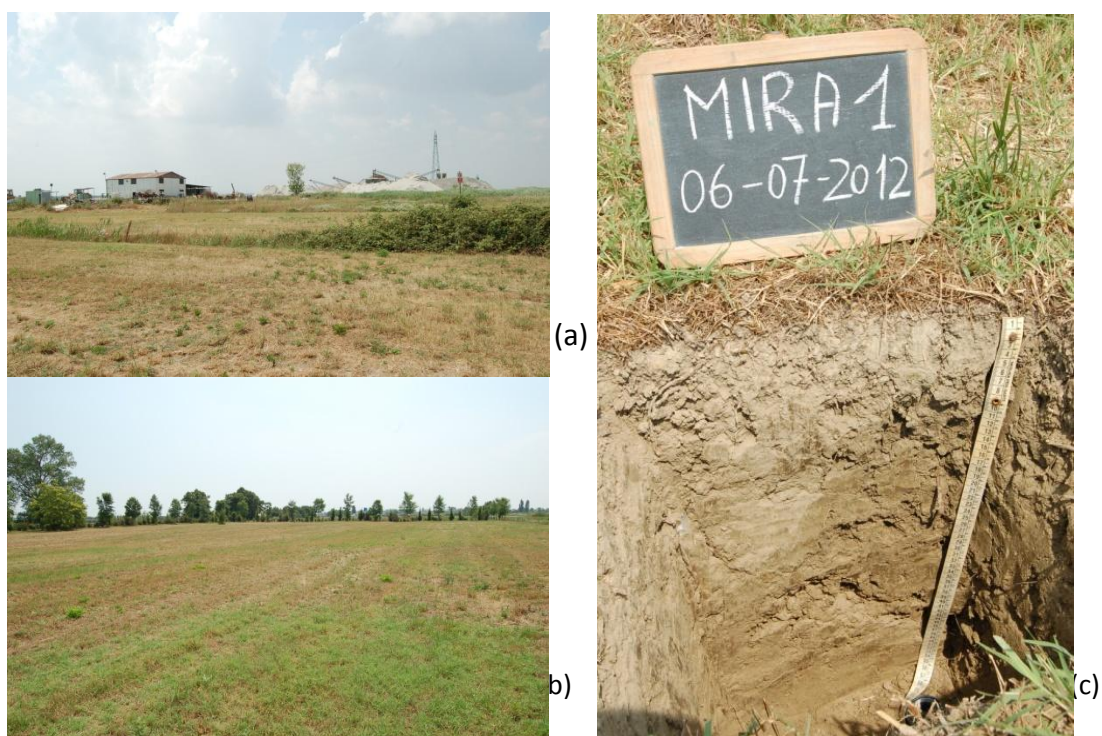


Figura 4.1 – Paesaggio (a e b) e relativo profilo Mira1 (c).

In Tab. 4.1 è riportata la descrizione morfologica del profilo Mira1, sulla base delle osservazioni effettuate in campo.

Tabella 4.1 - Descrizione morfologica del profilo Mira1.

| | | |
|-------------------------|------------------|--|
| PROFILO Mira1 | ST (SSS, 2010) | Fine mixed mesic, Ustic Endoaquerts |
| | WRB (IUSS, 2006) | Technic Gleyic Vertisol (Calcaric) |

| | | |
|--|------------------------------|---|
| <i>Data rilievo</i> | 06/07/2012 | Oi: 1-0 cm; erba sfalciata con residui vegetali poco decomposti; limite abrupto lineare. |
| <i>Regione</i> | Emilia-Romagna | Ap: 0-15 cm; secco; grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 - secco); screziature assenti; scheletro scarso costituito da ciottoli arrotondati; struttura poliedrica subangolare, media, moderatamente aggregata; limite chiaro e lineare. |
| <i>Provincia</i> | Ravenna | Bw: 15-30 cm; poco umido; presenti di deboli intercalazioni sabbiose; bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/3 - secco); screziature assenti; struttura poliedrica angolare, media, moderatamente aggregata; limite chiaro ondulato. |
| <i>Località</i> | Classe | C: 30-50 cm; poco umido; aumenta la presenza di sabbia; bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/3 - secco); screziature assenti; struttura poliedrica arrotondata, media, debolmente sviluppato; limite chiaro lineare. |
| <i>Coordinate WGS84 UTM 33</i> | 283 070 m E 4 911 361 m N | 2C: 50-90 cm; poco umido; materiale fine; assenza di sabbia; presenza di un frammento laterizio; bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 - secco); screziature assenti; struttura poliedrica angolare, fine, ben sviluppata; limite chiaro lineare. |
| <i>Morfologia</i> | Piana | 2Cg: 90-120 cm; poco umido; grigio chiaro (2.5Y 7/2 - secco); presenti screziature giallo brunastre (10YR 6/8 - secco); struttura poliedrica angolare, fine, ben sviluppata; limite sconosciuto. |
| <i>Substrato pedologico o litologico</i> | Materiale fine | |
| <i>Uso del suolo/vegetazione</i> | Prato polifita sfalciato | |
| <i>Regime di Umidità</i> | Ustico | |
| <i>Regime di temperatura</i> | Mesico | |

- Profilo Mira2

A sud della Pineta Classe all'interno dell'area ricadente nella Delineazione Pedologica n° 88 è stato descritto il profilo Mira2. Tale delineazione è costituita da una consociazione dei suoli CERBA sabbiosi fini, ma durante la rilevazione ci si è resi conto che il materiale raccolto non coincideva con ciò che la Regione Emilia Romagna aveva catalogato, bensì è risultato un suolo classificabile come SVO1 (suolo SAVIO franco limoso).

In Fig. 4.2 (a) è visibile il paesaggio in cui è stato osservato il profilo Mira2, riportato in Fig. 4.2 (b).



Figura 4.2 – Paesaggio (a) e relativo profilo Mira2 (b).

In Tab. 4.2 è riportata la descrizione morfologica del profilo Mira2, sulla base delle osservazioni effettuate in campo.

Tabella 4.2 - Descrizione morfologica del profilo Mira2.

| | | |
|-------------------------|------------------|--|
| PROFILO Mira2 | ST (SSS, 2010) | Loamy over sandy mixed mesic Aquic Haplustept |
| | WRB (IUSS, 2006) | Calcaric stagnic Cambisol (Ruptic) |

| | | |
|--|-------------------------------|---|
| <i>Data rilievo</i> | 06/07/2012 | Oi: 0.5-0 cm; residui di stoppe di cereali poco o nulle decomposte. Ap1: 0-10 cm; secco; grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 - secco); screziature assenti; struttura poliedrica subangolare, media, mediamente aggregata; limite chiaro ondulato. Ap2: 10-40 cm; secco; bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/3 - secco); screziature assenti; struttura poliedrica angolare, media, mediamente aggregata; limite chiaro lineare.. Bw: 40-80 cm; poco umido; materiale fine; bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/4 - secco); screziature poche, deboli, giallo oliva (2.5Y 6/6 - secco); struttura poliedrica angolare, media, moderatamente aggregata; limite chiaro lineare. 2Cg1: 80-110 cm; materiale fine; poco umido; bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/4 - secco); screziature comuni, giallo oliva (2.5Y 6/6 - secco); struttura poliedrica angolare, fine, debolmente sviluppato; limite chiaro lineare. 3Cg2: 110-130 cm; materiale sabbioso; poco umido; giallo pallido (2.5Y 7/4 - secco); screziature poche giallo oliva (2.5Y 6/6 - secco); struttura incoerente; limite sconosciuto. |
| <i>Regione</i> | Emilia-Romagna | |
| <i>Provincia</i> | Ravenna | |
| <i>Località</i> | Classe Sud | |
| <i>Coordinate WGS84 UTM 33</i> | 284 205 m E 4 911 764 m N | |
| <i>Morfologia</i> | Piana | |
| <i>Substrato pedologico o litologico</i> | Sabbioso | |
| <i>Uso del suolo/vegetazione</i> | Presenza di stoppe di cereali | |
| <i>Regime di umidità</i> | Ustico | |
| <i>Regime di temperatura</i> | Mesico | |

- Profilo Mira3

Il profilo Mira3 è stato aperto nella medesima Delineazione Pedologica del profilo precedente in quanto non era stato riscontrato la corrispondente tipologia di suolo. Per descrivere un profilo a tessitura sabbiosa fine è stato così necessario ripetere l'operazione andando a posizionarsi in una zona più interna dell'U.C.

In Fig. 4.3 (a) è visibile il paesaggio in cui è stato osservato il profilo Mira3, riportato in Fig. 4.3 (b).



Figura 4.3 – Paesaggio (a) e relativo profilo Mira3 (b)

In Tab. 4.3 è riportata la descrizione morfologica del profilo Mira3, sulla base delle osservazioni effettuate in campo.

Tabella 4.3 - Descrizione morfologica del profilo Mira3.

| | | |
|-------------------------|------------------|--|
| PROFILO Mira3 | ST (SSS, 2010) | Mixed calcareous mesic Aquic Ustipsamment |
| | WRB (IUSS, 2006) | Endogleyic Arenosol (Calcaric) |

| | | |
|--|--------------------------------|--|
| <i>Data rilievo</i> | 10/07/2012 | Oi: 0.5-0 cm; residui di stoppe di frumento poco o nulla decomposte. |
| <i>Regione</i> | Emilia-Romagna | Ap1: 0-16 cm; poco umido; bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/3 - secco); screziature assenti; tessitura franca sabbiosa; struttura poliedrica sub angolare, media, debolmente aggregata, tendente all'incoerente; limite chiaro lineare. |
| <i>Provincia</i> | Ravenna | |
| <i>Località</i> | Lido di Savio | Ap2: 16-43 cm; secco; bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 - secco); screziature assenti; tessitura franca sabbiosa; struttura poliedrica sub angolare, media, debolmente aggregata; limite chiaro lineare. |
| <i>Coordinate WGS84 UTM 33</i> | 285 101 E 4 911 243 N | Cg1: 43-85 cm; secco; bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 - secco); tessitura franca sabbiosa; struttura poliedrica sub angolare media, debolmente aggregata; screziature comuni, deboli, giallo oliva (2.5Y 6/6 - secco); materiale incoerente; limite chiaro ondulato. |
| <i>Morfologia</i> | Pianeggiante | |
| <i>Substrato pedologico o litologico</i> | Sabbioso | 2Cg2: 85-110 cm; secco; bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/4 - secco); screziature poche, deboli, giallo oliva (2.5Y 6/6 - secco); tessitura sabbioso franca; struttura incoerente; limite chiaro ondulato. |
| <i>Uso del suolo/vegetazione</i> | Presenza di stoppe di frumento | |
| <i>Regime di umidità</i> | Ustico | 2Cg3: 110-130 ⁺ cm; poco umido; materiale sabbioso (95%); bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/4 - secco); screziature poche, deboli, giallo oliva (2.5Y 6/6 - secco); tessitura sabbioso franca; struttura incoerente; limite sconosciuto. |
| <i>Regime di temperatura</i> | Mesico | |

- Profilo Mira4

Il profilo Mira4 è stato descritto a est della Pineta di Classe, dove la morfologia risulta pianeggiante e depressa. Il punto di prelievo è situato all'interno di appezzamenti di forma regolare, interessati da colture di frumento, e delimitati da canali e corsi fluviali contenuti all'interno di arginature artificiali.

In Fig. 4.4 (a) è visibile il paesaggio in cui è stato osservato il profilo Mira4, riportato in Fig. 4.4 (b).



Figura 4.4 – Paesaggio (a) e relativo profilo Mira4 (b).

In Tab. 4.4 è riportata la descrizione morfologica del profilo Mira4, sulla base delle osservazioni effettuate in campo.

Tabella 4.4 - Descrizione morfologica del profilo Mira 4.

| | | |
|--------------------------------|------------------|---|
| PROFILO Mira4 | ST (SSS, 2010) | Fine mixed calcareous mesic Vertic Endoaquepts |
| | WRB (IUSS, 2006) | Vertic Cambisol (Ruptic, Calcaric) |

| | | |
|--|--------------------------------|---|
| <i>Data rilievo</i> | 10/07/2012 | Oi: 0.5-0 cm; residui di stoppe di frumento poco o nulla decomposte. Ap1: 0-20 cm; secco; oliva pallido (5Y 6/3 - secco); screziature assenti; tessitura argilloso limosa; struttura poliedrica angolare, media, moderatamente aggregata; radici, poche, comuni, molto fini; limite chiaro ondulato Ap2: 20-50 cm; secco; giallo pallido (5Y 7/3 - secco); screziature assenti; tessitura argilloso limosa; struttura poliedrica angolare, media/grossolana, moderatamente aggregata; radici, molto poche, molto fini; limite chiaro lineare. Bw: 50-85 cm; secco; oliva pallido (5Y 6/3 - secco); presenti alcune screziature, giallo (10YR 7/8 - secco); tessitura argilloso limosa; struttura poliedrica sub angolare, fine, moderatamente aggregata; radici assenti; limite graduale |
| <i>Regione</i> | Emilia-Romagna | |
| <i>Provincia</i> | Ravenna | |
| <i>Località</i> | Lido di Classe | |
| <i>Coordinate WGS84 UTM 33</i> | 285 917 m E 4 911 866 m N | |
| <i>Morfologia</i> | Piana depressa | |
| <i>Substrato pedologico o litologico</i> | Materiale fine | |
| <i>Uso del suolo/vegetazione</i> | Presenza di stoppe di frumento | |

| | | |
|------------------------------|--------|---|
| <i>Regime di umidità</i> | Ustico | lineare. Cg1: 85-130 cm; secco; grigio chiaro (2.5Y 7/2 - secco); screziature presenti, giallo (2.5Y 7/8 - secco); tessitura argilloso limosa; struttura poliedrica angolare, fine, moderatamente aggregata; radici assenti; limite chiaro lineare. |
| <i>Regime di temperatura</i> | Mesico | 2Cg2: 130-145 cm; umido; giallo pallido (2.5Y 7/3 - secco); presenti screziature gialle (2.5Y 7/8 - secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; radici assenti; limite chiaro lineare. 2Cg3: 145-160 ⁺ cm; bagnato; giallo (2.5Y 7/6 - secco); presenza screziature, gialle (10YR 7/8 - secco); grigio chiaro (5YR 7/1 - secco); presenza di intercalazioni torbose, bruno grigiastre molto scure (2.5Y 3/2 - secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; radici assenti; limite sconosciuto. |

- Profilo Mira5

Nella stessa area del profilo Mira4 è stato descritto il Mira5, caratterizzato dalla presenza di crepaccature superficiali più evidenti e profonde. Gli appezzamenti sono sempre di forma regolare, pianeggianti, interessati da colture di frumento, con affossature evidenti e profonde. In Fig. 4.5 (a) è visibile il paesaggio in cui è stato osservato il profilo Mira5, riportato in Fig. 4.5 (b).



Figura 4.5 – Paesaggio (a) e relativo profilo Mira5 (b).

In Tab. 4.5 è riportata la descrizione morfologica del profilo Mira5, sulla base delle osservazioni effettuate in campo.

Tabella 4.5 - Descrizione morfologica del profilo Mira5.

| | | |
|-------------------------|------------------|---|
| PROFILO Mira5 | ST (SSS, 2010) | Fine mixed calcareous mesic Vertic Endoaquepts |
| | WRB (IUSS, 2006) | Vertic Cambisol (Ruptic, Calcaric) |

| | | |
|--|--------------------------------|--|
| <i>Data rilievo</i> | 10/07/2012 | <p>Oi: 0.5-0 cm; residui di stoppe di frumento poco o nulla decomposte.</p> <p>Ap1: 0-25 cm; secco; giallo pallido (5Y 7/4 - secco); screziature assenti; tessitura argilloso limosa; struttura poliedrica subangolare, media, moderatamente aggregata; radici, comuni, fini; limite chiaro ondulato.</p> <p>Ap2: 25-50 cm; secco; giallo pallido (5Y 7/4 - secco); screziature assenti; tessitura argilloso limosa; struttura poliedrica angolare, media, moderatamente aggregata; radici poche, molto fini; limite chiaro lineare.</p> <p>Bw: 50-90 cm; secco; grigio chiaro (5Y 7/2 - secco); presenti screziature, giallo brunastro (10YR 6/8 - secco); tessitura argilloso limosa; struttura poliedrica angolare, fine, debolmente aggregata; radici assenti; limite chiaro lineare.</p> <p>2Cg1: 90-115 cm; secco; grigio chiaro (5Y 7/2 - secco); screziature presenti, giallo (2.5Y 7/8 - secco); tessitura franco argillosa limosa; struttura poliedrica subangolare, fine, debolmente aggregata; radici assenti; limite chiaro lineare.</p> <p>3Cg2: 115-130⁺ cm; umido; giallo pallido (5Y 7/3 - secco); presenti screziature, giallo (2.5Y 7/8 - secco); tessitura franca sabbiosa; struttura incoerente; radici assenti; limite sconosciuto.</p> |
| <i>Regione</i> | Emilia-Romagna | |
| <i>Provincia</i> | Ravenna | |
| <i>Località</i> | Lido di Classe | |
| <i>Coordinate WGS84 UTM 33</i> | 285 109 m E 4 915 607 m N | |
| <i>Morfologia</i> | Piana depressa | |
| <i>Substrato pedologico o litologico</i> | Materiale fine | |
| <i>Uso del suolo/vegetazione</i> | Presenza di stoppe di frumento | |
| <i>Regime di umidità</i> | Ustico | |
| <i>Regime di temperatura</i> | Mesico | |

Una volta definiti i profili secondo le classificazioni statunitensi Soil Taxonomy (SSS, 2010), ed World Reference Base (IUSS, 2006), sono stati ricondotti all'Unità Pedologiche della Regione Emilia Romagna (www.suolo.it) (Tab. 4.6).

Tabella 4.6 - Profili e rispettive Unità Pedologiche di riferimento.

| Profilo | Unità Pedologiche (sigla) |
|----------------|--|
| Mira 1 | RISAIA DEL DUCA argillosa limosa (RSD1) |
| Mira 2 | SAVIO franca limosa (SVO1) |
| Mira 3 | CERBA sabbiosa fine (CER1) |
| Mira 4 | GALISANO argillosa limosa, a substrato limoso e sabbioso, in pianura costiera (GLS3) |
| Mira 5 | GALISANO argillosa limosa, a substrato limoso e sabbioso, in pianura costiera (GLS3) |

4.1.2. Analisi granulometrica dei profili

La determinazione della tessitura si è basata sugli schemi di classificazione USDA (*United States Department of Agriculture*) che identifica le diverse classi sulla base delle percentuali di sabbia, limo e argilla determinate secondo le indicazioni del MiPAF (2000). Come si può notare dalla Tab. 4.7 nei profili Mira2, 4 e 5 è possibile notare bruschi cambiamenti tessiturali degli orizzonti, passando da materiali superficiali argillosi-limosi a franco-sabbiosi profondi, indice di depositi alluvionali di origine appenninica che hanno ricoperto i sottostanti cordoni dunali. Le eccezioni sono rappresentate dal profilo Mira 1 che, in quanto situato più ad ovest rispetto agli altri, presenta un trend di sedimenti che va dal franco-argilloso-limoso all'argilloso-limoso, e dal Mira 3, in cui la tessitura è marcatamente sabbiosa, passando da franca-sabbiosa a sabbiosa-franca man mano che si passa negli orizzonti profondi.

Tabella 4.7 – Percentuali di frazione sabbiosa, limosa ed argillosa ottenute dalla caratterizzazione dei profili pedologici denominati Mira.

| Profilo | Orizzonte | Prof. | Sabbia* | Limo* | Argilla* | Tessitura USDA |
|--------------|-----------|---------|--------------------|-------|----------|-------------------|
| | | cm | g·kg ⁻¹ | | | |
| Mira1 | Ap | 0-15 | 207 | 444 | 349 | FAL |
| | Bw | 15-30 | 230 | 413 | 357 | FA |
| | C | 30-50 | 266 | 397 | 337 | FA |
| | 2C | 50-90 | 0 | 520 | 480 | AL |
| | 2Cg | 90-120 | 0 | 495 | 505 | AL |
| Mira2 | Ap1 | 0-10 | 0 | 480 | 520 | AL |
| | Ap2 | 10-40 | 0 | 469 | 531 | AL |
| | Bw | 40-80 | 0 | 481 | 519 | AL |
| | 2Cg1 | 80-110 | 135 | 457 | 408 | AL |
| | 3Cg2 | 110-130 | 748 | 147 | 105 | FS |
| Mira3 | Ap1 | 0-16 | 614 | 197 | 189 | FS |
| | Ap2 | 16-43 | 628 | 180 | 192 | FS |
| | Cg1 | 43-85 | 744 | 122 | 134 | FS |
| | 2Cg2 | 85-110 | 878 | 39 | 83 | SF |
| | 2Cg3 | 110-130 | 886 | 39 | 75 | SF |
| Mira4 | Ap1 | 0-20 | 0 | 552 | 448 | AL |
| | Ap2 | 20-50 | 0 | 512 | 488 | AL |
| | Bw | 50-85 | 0 | 469 | 531 | AL |
| | Cg1 | 85-130 | 0 | 454 | 546 | AL |
| | 2Cg2 | 130-145 | 611 | 209 | 180 | FS |
| | 2Cg3 | 145-160 | 686 | 168 | 146 | FS |
| Mira5 | Ap1 | 0-25 | 0 | 502 | 498 | AL |
| | Ap2 | 25-50 | 0 | 503 | 497 | AL |
| | Bw | 50-90 | 0 | 480 | 520 | AL |
| | 2Cg1 | 90-115 | 109 | 523 | 368 | FAL |
| | 3Cg2 | 115-130 | 553 | 266 | 180 | FS |

* : sabbia 2000-50 um; limo 50-2 um; argilla < 2 um

Per quanto riguarda la tessitura dei profili pregressi (Tab. 4.8), essa risulta sostanzialmente sabbiosa. In particolar modo il profilo BEACH1 si presenta poco differenziato in orizzonti pedologici questo perché situato sulla sommità di una duna naturale. I profili CL1, CL3 e PIN1 presentano differenze tessiturali negli orizzonti superficiali e/o profondi di tipo franco sabbiosi o sabbioso franco. La tessitura del profilo Marani risulta prevalentemente franco limosa con un orizzonte intermedio e uno profondo che presentano una composizione franca detta anche di medio impasto dove si

può prevedere che la presenza equilibrata di sabbia, limo e argilla renda ottimali sia l'immagazzinamento dell'acqua sia la circolazione dell'aria a livello delle radici.

Tabella 4.2 - Analisi granulometrica ottenute dalla caratterizzazione dei profili pedologici pregressi.

| Profilo | Orizzonte | Prof. | Sabbia* | Limo* | Argilla* | Tessitura USDA |
|---------------|-----------|-----------|--------------------|-------|----------|-------------------|
| | | cm | g kg ⁻¹ | | | |
| BEACH1 | A | 0-10 | 931 | 12 | 56 | S |
| | A/C | 10-35 | 933 | 10 | 56 | S |
| | C1 | 35-80 | 927 | 16 | 56 | S |
| | C2 | 80-100+ | 933 | 12 | 54 | S |
| CL1 | A1 | 0-5/8 | 729 | 178 | 93 | FS |
| | A2 | 5/8-16/18 | 763 | 168 | 69 | FS |
| | A/C | 16/18-60 | 882 | 80 | 38 | S |
| | Cg1 | 60-80 | 869 | 74 | 57 | SF |
| | Cg2 | 80-104+ | 869 | 84 | 47 | SF |
| CL3 | A1 | 0-5/8 | 804 | 144 | 52 | SF |
| | A2 | 5/8-28 | 858 | 111 | 31 | SF |
| | A/C | 28-50/52 | 934 | 45 | 21 | S |
| | C1 | 50/52-70 | 912 | 72 | 16 | S |
| | C2 | 70-92 | 955 | 34 | 10 | S |
| | C3 | 92-110 | 939 | 45 | 16 | S |
| | Cg1 | 110-140 | 880 | 89 | 31 | S |
| | Cg2 | 140-180+ | 901 | 78 | 21 | S |
| Marani | Ap | 0-36 | 238 | 650 | 112 | FL |
| | Bw | 36-62 | 224 | 560 | 216 | FL |
| | Cg1 | 62-75 | 45 | 779 | 176 | FL |
| | 2Cg2 | 75-110 | 345 | 390 | 266 | F |
| | 3Cg3 | 110-115 | 124 | 600 | 276 | FL |
| | 3Cg4 | 115-130 | 164 | 580 | 256 | FL |
| | 4Cg5 | 130-140+ | 444 | 380 | 176 | F |
| PIN1 | A1 | 0-5 | 777 | 107 | 115 | FS |
| | A2 | 5-20 | 816 | 99 | 84 | SF |
| | Cg1 | 20-50 | 900 | 44 | 56 | S |
| | Cg2 | 80-100 | 890 | 48 | 63 | S |

* : sabbia 2000-50 um; limo 50-2 um; argilla < 2 um

In tabella 4.9 sono riportati i risultati relativi alle analisi chimiche eseguite sui campioni dei profili Mira e dei profili pregressi

Tabella 4.9- Analisi chimiche profili Mira e profili pregressi.

| Profilo | Prof. | Reazione | Calc. Tot. | CE 1:2,5 25°C | N | C | TOC | TOC/N |
|---------|-----------|----------|--------------------|--------------------|------|------|------|-------|
| | cm | pH | g kg ⁻¹ | dS m ⁻¹ | % | % | % | |
| Mira1 | 0-15 | 7,99 | 274 | 0,187 | 0,21 | 4,57 | 1,56 | 7,4 |
| | 15-30 | 8,4 | 299 | 0,157 | 0,14 | 3,90 | 0,70 | 5,1 |
| | 30-50 | 8,44 | 283 | 0,152 | 0,15 | 4,06 | 0,64 | 4,3 |
| | 50-90 | 8,39 | 267 | 0,162 | 0,14 | 3,90 | 0,70 | 4,8 |
| | 90-120 | 8,42 | 277 | 0,178 | 0,14 | 3,83 | 0,58 | 4,2 |
| Mira2 | 0-10 | 8,14 | 237 | 0,246 | 0,23 | 4,11 | 1,35 | 5,8 |
| | 10-40 | 8,22 | 243 | 0,193 | 0,20 | 4,00 | 1,04 | 5,3 |
| | 40-80 | 8,3 | 261 | 0,169 | 0,17 | 3,81 | 0,90 | 5,2 |
| | 80-110 | 8,43 | 241 | 0,182 | 0,15 | 3,34 | 0,70 | 4,6 |
| | 110-130 | 8,84 | 255 | 0,179 | 0,08 | 3,21 | 0,18 | 2,2 |
| Mira3 | 0-16 | 8,5 | 232 | 0,170 | 0,10 | 3,96 | 0,72 | 7,0 |
| | 16-43 | 8,51 | 246 | 0,126 | 0,09 | 3,43 | 0,76 | 8,2 |
| | 43-85 | 8,68 | 261 | 0,122 | 0,05 | 3,34 | 0,37 | 7,2 |
| | 85-110 | 8,93 | 293 | 0,097 | 0,03 | 3,62 | 0,09 | 3,3 |
| | 110-130 | 8,96 | 308 | 0,093 | 0,03 | 4,04 | 0,12 | 4,3 |
| Mira4 | 0-20 | 8,34 | 296 | 0,216 | 0,21 | 4,41 | 0,91 | 4,4 |
| | 20-50 | 8,37 | 299 | 0,190 | 0,15 | 4,48 | 0,96 | 6,2 |
| | 50-85 | 8,39 | 287 | 0,196 | 0,16 | 4,10 | 0,67 | 4,2 |
| | 85-130 | 8,33 | 259 | 0,682 | 0,13 | 3,76 | 0,54 | 4,2 |
| | 130-145 | 8,24 | 279 | 0,728 | 0,19 | 6,10 | 1,17 | 6,2 |
| | 145-160 | 7,66 | 243 | 2,646 | 0,19 | 6,06 | 2,79 | 14,8 |
| Mira5 | 0-25 | 8,35 | 272 | 0,176 | 0,19 | 4,55 | 1,17 | 6,2 |
| | 25-50 | 8,41 | 290 | 0,163 | 0,16 | 4,46 | 1,10 | 6,7 |
| | 50-90 | 8,48 | 277 | 0,241 | 0,12 | 3,78 | 0,61 | 5,0 |
| | 90-115 | 8,19 | 265 | 0,966 | 0,11 | 4,08 | 0,79 | 7,3 |
| | 115-130 | 8,36 | 281 | 0,860 | 0,08 | 4,00 | 0,51 | 6,3 |
| BEACH1 | 0-10 | 9,3 | 315 | 0,048 | 0,11 | n.d. | 0,12 | 11,54 |
| | 10-35 | 9,4 | 395 | 0,013 | 0,03 | n.d. | 0,04 | 16,78 |
| | 35-80 | 9,4 | 336 | 0,013 | n.d. | n.d. | 0,05 | n.d. |
| | 80-100+ | 9,6 | 326 | 0,042 | n.d. | n.d. | 0,03 | n.d. |
| CL1 | 0-5/8 | 7,8 | 64 | 0,520 | 4,60 | 7,40 | 4,44 | 9,7 |
| | 5/8-16/18 | 8,2 | 137 | 0,221 | 1,81 | 4,05 | 1,85 | 10,2 |
| | 16/18-60 | 8,8 | 250 | 0,128 | 0,37 | 3,53 | 0,22 | 5,9 |
| | 60-80 | 8,8 | 244 | 0,123 | 0,31 | 3,34 | 0,15 | 4,9 |
| | 80-104+ | 8,5 | 254 | 0,131 | 0,27 | 3,37 | 0,11 | 3,9 |
| CL3 | 0-5/8 | 7,6 | 52 | 0,280 | 2,69 | 4,34 | 0,45 | 16,9 |
| | 5/8-28 | 8,1 | 197 | 0,136 | 0,86 | 3,34 | 0,82 | 9,4 |
| | 28-50/52 | 8,7 | 261 | 0,089 | 0,30 | 3,64 | 0,15 | 4,9 |
| | 50/52-70 | 8,8 | 268 | 0,091 | 0,25 | 3,64 | 0,14 | 5,8 |
| | 70-92 | 8,4 | 295 | 0,083 | 0,19 | 3,42 | 0,03 | 1,5 |
| | 92-110 | 8,6 | 240 | 0,126 | 0,22 | 3,20 | 0,11 | 5,0 |
| | 110-140 | 9,6 | 269 | 0,665 | 0,22 | 3,54 | 0,11 | 5,1 |
| | 140-180+ | 9,6 | 273 | 0,883 | 0,18 | 3,61 | 0,06 | 3,4 |
| Marani | 0-36 | 7,9 | 232 | 0,174 | 1,24 | n.d. | 0,76 | 6,1 |
| | 36-62 | 7,8 | 232 | 0,198 | 0,97 | n.d. | 0,58 | 6,0 |
| | 62-75 | 8,0 | 227 | 0,308 | 0,70 | n.d. | 0,29 | 4,1 |
| | 75-110 | 8,0 | 280 | 0,397 | 0,69 | n.d. | 0,41 | 5,9 |
| | 110-115 | 7,7 | 268 | 0,432 | 0,70 | n.d. | 0,31 | 4,4 |
| | 115-130 | 8,0 | 256 | 0,492 | 0,67 | n.d. | 0,32 | 4,7 |
| | 130-140+ | 8,0 | 225 | 0,381 | 0,38 | n.d. | 0,17 | 4,5 |
| PIN1 | 0-5 | 7,1 | 26 | 1,952 | 5,5 | n.d. | 7,12 | 13,0 |
| | 5-20 | 7,6 | 13 | 0,711 | 2,4 | n.d. | 3,66 | 15,5 |
| | 20-50 | 8,3 | 85 | 0,165 | 0,7 | n.d. | 0,13 | 1,8 |
| | 80-100 | 8,2 | 60 | 0,149 | 0,1 | n.d. | 0,18 | 34,4 |

"n.d." = dato non disponibile

4.1.3. pH e Calcare Totale dei profili

Sulla base delle analisi eseguite sui profili esaminati (Tab. 4.9) si notano variazioni del pH da debolmente a fortemente alcalino. E' possibile osservare come gli orizzonti più superficiali presentino valori di reazione inferiori a quelli più profondi, probabilmente legata ad una maggiore presenza di sostanza organica e ad un minore contenuto di CaCO_3 . Nel caso del profilo BEACH1 invece il pH ha valori elevati a causa della presenza di sali di sodio che conferiscono reazione fortemente alcalina.

Per quanto riguarda il contenuto di carbonati, ad eccezione di alcuni profili in cui è possibile notare una minor presenza in superficie (CL1, CL3, Marani, Mira2-3-5), non si evidenziano trend significativi di decarbonatazione, coerenti con lo stadio giovanile di tali suoli. Il profilo PIN1 presenta valori di calcare particolarmente bassi questo a causa della decarbonatazione superficiale dovuta alla presenza di materia organica nelle zone di bassura dei paleocordoni dunali presenti nella Pineta di San Vitale. Eccezioni si osservano anche nel profilo Mira4 dove il contenuto di CaCO_3 presenta valori maggiori negli orizzonti superficiali che vanno a diminuire in profondità questo dovuto al cambio tessiturale da argilloso limoso a franco sabbioso povero in carbonati.

4.1.4. Conducibilità elettrica dei profili

In generale non sono stati riscontrati valori particolarmente alti (Tab. 4.9), la maggior parte dei profili presentano una CE $< 0,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ indicativa di suoli non salini. In alcuni profili (Marani, CL1, CL3, Mira5) sono presenti degli orizzonti profondi con un contenuto salino compreso tra 0,6 e $1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ definibile come leggermente alto. Infine solo i campioni PIN1 e Mira4 presentano orizzonti con una salinità alta ($2,646$ e $1,952 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) l'uno nell'orizzonte più profondo torboso dove è presente una condizione riducente e anossica, l'altro in superficie determinato da un accumulo sali in tale orizzonte.

4.1.5. Azoto dei profili

I profili risultano poveri in N totale (soprattutto nel BEACH1, vedi Tab. 4.9), presentando valori bassi con un trend che va a diminuire dalla superficie verso gli orizzonti profondi, fortemente legato al contenuto in sostanza organica. Esso risulta avere nei Mira una discreta correlazione con il contenuto di Corg ($R = 0.714$) e più che buona per quanto riguarda i profili pregressi ($R = 0.964$).

4.1.6. Carbonio Organico Totale dei profili

Il contenuto di Corg nel suolo (Tab.4.9), ed in parallelo quello della sostanza organica, si presenta maggiore negli orizzonti superficiali del profilo per decrescere con la profondità. Questo andamento è stato riscontrato nella maggior parte dei profili, con delle variazioni tuttavia importanti del tenore di partenza; infatti nei profili CL1, CL3 e PIN1 troviamo che in superficie sono presenti valori particolarmente alti, che poi decrescono in modo anche esponenziale verso gli orizzonti profondi, tipico di suoli forestali con deposizione di materia organica superficiale; invece nei profili Marani, Mira3 e BEACH1 pur avendo lo stesso andamento, hanno la peculiarità che in superficie la percentuale di Corg è più bassa, questo perché i primi due profili sono suoli agricoli periodicamente interessati da lavorazioni dove il continuo rimescolamento ha determinato la loro omogeneizzazione fino ad una certa profondità, definendo una maggior aereazione degli orizzonti superficiali con ossidazione della sostanza organica, già di partenza scarsa. La situazione del profilo BEACH1 è riconducibile al fatto che ci si trova su una sommità dunale nella fase iniziale della pedogenesi, dove è mancato il tempo sufficiente all'incorporamento della materia organica nel suolo, e dove i processi di ossidazione, favoriti dalla tessitura estremamente sabbiosa, risultano particolarmente intensi. Eccezione la fa il profilo Mira4 in cui alla massima profondità il valore di TOC risulta sensibilmente maggiore (2,79%). Questo profilo è situato in una zona depressa, interessata un tempo da vegetazione palustre che in seguito ad interventi di bonifica, è stata ricoperta da una coltre di materiale sedimentario; in queste condizioni, la biomassa vegetale si è venuta a trovare in un ambiente anossico che ne ha favorito la preservazione e torbificazione.

4.1.7. Rapporto TOC/N dei profili

Non sono presenti particolari variazioni in tale rapporto, grazie anche alla stretta correlazione tra i due elementi. La maggior parte degli orizzonti superficiali presenta rapporto TOC/N <10, questo è indice di una scarsa umificazione della sostanza organica e una prevalenza dei processi di mineralizzazione. I profili BEACH1, CL3 e PIN1 presentano un rapporto con valori >10 e <20 e questo indica che l'umificazione della sostanza organica è ostacolata da cause avverse (Barbiroli et al., 2000) e le caratteristiche chimico-fisiche-biologiche del mezzo non sono le più idonee per regolare lo sviluppo dei vegetali. Nei campioni Mira4 e PIN1 è presente un ulteriore aumento del TOC/N in profondità, indice di condizioni tipiche di suoli che presentano idromorfia (Duchaufour, 1983), dove le condizioni asfittiche e riducenti legate alla presenza della falda, impediscono l'umificazione della materia organica da parte della biomassa microbica.

4.1.8. Forme solubili dei profili Mira

In Tab. 4.10 sono presentati i valori relativi alle analisi delle forme solubili presenti nei profili Mira. Le basi solubili sono principalmente rappresentate dai cationi Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ mentre la parte anionica dei sali solubili presenti, è costituita da Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- . Nei campioni Mira è possibile notare che il catione predominante è il Na^+ , mentre per quanto riguarda gli anioni si hanno valori alti nell'alcalinità, rappresentati da HCO_3^- . Negli orizzonti profondi dei profili Mira4 e 5, si osservano valori elevati di SO_4^{2-} . Nei profili in cui sono stati riscontrati valori più elevati di CE (Mira4 e Mira5), e dove è stato possibile raggiungere la falda freatica, si può notare come tali valori siano dovuti dalla presenza di SO_4^{2-} e non di Cl^- . Per quanto riguarda il Tasso di Assorbimento del Sodio, espresso mediante il *Sodium Absorption Ratio* (S.A.R.) sono stati riscontrati valori bassi, indice di assenza di rischio di sodicizzazione del suolo e del substrato. Nei casi particolari degli orizzonti più profondi dei profili Mira4 e 5, ricadenti entrambi nella medesima delineazione pedologica, le quantità dello ione sodio aumentano leggermente, ma risultano sempre inferiori rispetto agli ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} . Questo fa sì che non ci siano pericoli di compromissione delle caratteristiche chimiche e fisiche di questi suoli.

Tabella 4.10 - Analisi delle forme solubili relative ai profili Mira.

| Profilo | Prof. | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | S.A.R. | Alk | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | Br ⁻ | F ⁻ | PO ₄ ²⁻ | NO ₂ ⁻ |
|---------|---------|----------------------|----------------|------------------|------------------|--------|----------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|
| | cm | meq kg ⁻¹ | | | | | meq kg ⁻¹ | | | | | | | |
| Mira1 | 0-15 | 0,46 | 0,70 | 0,67 | 3,22 | 0,21 | 4,75 | 0,41 | 0,19 | 0,10 | 0 | 0,08 | 0 | 0,06 |
| | 15-30 | 0,28 | 0,48 | 0,81 | 2,56 | 0,14 | 3,75 | 0,11 | 0,35 | 0,02 | 0 | 0,24 | 0 | 0,01 |
| | 30-50 | 0,34 | 0,25 | 0,83 | 2,46 | 0,17 | 2,5 | 0,10 | 0,39 | 0,04 | 0 | 0,25 | 0 | 0,01 |
| | 50-90 | 0,54 | 0,28 | 0,99 | 2,56 | 0,26 | 3,5 | 0,13 | 0,41 | 0,07 | 0 | 0,25 | 0 | 0,02 |
| | 90-120 | 0,84 | 0,32 | 1,15 | 2,42 | 0,40 | 3,25 | 0,13 | 0,63 | 0,04 | 0 | 0,25 | 0 | 0,03 |
| Mira2 | 0-10 | 0,42 | 0,51 | 1,01 | 4,26 | 0,16 | 4 | 0,34 | 0,57 | 0,70 | 0 | 0,19 | 0,02 | 0,11 |
| | 10-40 | 0,41 | 0,30 | 0,96 | 3,19 | 0,18 | 3,75 | 0,14 | 0,29 | 0,31 | 0 | 0,23 | 0 | 0,08 |
| | 40-80 | 0,53 | 0,38 | 1,11 | 2,95 | 0,24 | 4,25 | 0,07 | 0,17 | 0,20 | 0 | 0,32 | 0 | 0,04 |
| | 80-110 | 0,91 | 0,25 | 1,02 | 2,49 | 0,43 | 4,25 | 0,11 | 0,53 | 0,19 | 0 | 0,34 | 0,02 | 0,04 |
| | 110-130 | 0,65 | 0,15 | 0,74 | 1,62 | 0,38 | 2,75 | 0,09 | 0,46 | 0,10 | 0 | 0,28 | 0 | 0,01 |
| Mira3 | 0-16 | 0,38 | 0,34 | 0,62 | 2,60 | 0,19 | 2,5 | 0,32 | 0,19 | 0,23 | 0 | 0,11 | 0,03 | 0,01 |
| | 16-43 | 0,39 | 0,31 | 0,65 | 2,31 | 0,20 | 3 | 0,04 | 0,15 | 0,12 | 0 | 0,13 | 0 | 0,01 |
| | 43-85 | 0,55 | 0,22 | 0,55 | 2,25 | 0,29 | 3 | 0,06 | 0,41 | 0,03 | 0 | 0,20 | 0 | 0 |
| | 85-110 | 0,20 | 0,11 | 0,20 | 1,79 | 0,13 | 2 | 0,03 | 0,41 | 0,02 | 0 | 0,13 | 0 | 0 |
| | 110-130 | 0,21 | 0,11 | 0,20 | 1,65 | 0,14 | 1,75 | 0,03 | 0,31 | 0,01 | 0 | 0,15 | 0 | 0 |
| Mira4 | 0-20 | 0,43 | 0,83 | 1,09 | 3,10 | 0,19 | 3,25 | 0,74 | 0,38 | 0,27 | 0 | 0,24 | 0 | 0,05 |
| | 20-50 | 0,37 | 0,53 | 1,08 | 3,07 | 0,16 | 3,25 | 0,12 | 0,73 | 0,15 | 0 | 0,31 | 0 | 0,04 |
| | 50-85 | 0,80 | 0,39 | 1,27 | 2,60 | 0,36 | 4 | 0,10 | 0,96 | 0,07 | 0 | 0,33 | 0 | 0,03 |
| | 85-130 | 4,98 | 0,52 | 5,00 | 6,11 | 1,34 | 2,5 | 0,88 | 13,52 | 0,09 | 0 | 0,25 | 0 | 0,03 |
| | 130-145 | 5,48 | 0,36 | 4,23 | 8,34 | 1,38 | 2,25 | 0,68 | 15,58 | 0,14 | 0 | 0,21 | 0 | 0 |
| | 145-160 | 8,17 | 0,61 | 12,87 | 68,10 | 0,81 | 1,87 | 0,75 | 96,59 | 0,11 | 0 | 0,17 | 0 | 0 |
| Mira5 | 0-25 | 0,57 | 0,53 | 0,96 | 2,81 | 0,26 | 3,25 | 0,28 | 0,16 | 0,16 | 0 | 0,18 | 0 | 0,07 |
| | 25-50 | 0,52 | 0,60 | 1,04 | 2,66 | 0,24 | 3,5 | 0,14 | 0,16 | 0,15 | 0 | 0,19 | 0,03 | 0,07 |
| | 50-90 | 1,65 | 0,38 | 1,36 | 2,40 | 0,76 | 3,25 | 0,82 | 1,56 | 0,04 | 0 | 0,26 | 0 | 0,03 |
| | 90-115 | 9,06 | 0,76 | 5,49 | 8,06 | 2,20 | 2,5 | 5,45 | 15,70 | 0,08 | 0 | 0,21 | 0 | 0 |
| | 115-130 | 9,89 | 0,72 | 3,45 | 5,81 | 2,91 | 2,75 | 6,51 | 10,94 | 0,05 | 0 | 0,18 | 0,12 | 0 |

Per la rappresentazione grafica dei risultati delle analisi chimiche degli estratti dei profili Mira, è stato utilizzato il diagramma di Langelier-Ludwig in seguito citato come diagramma L-L (Langelier e Ludwig, 1942), ha), che presenta il vantaggio di visualizzare in modo rapido e semplice i dati più significativi (Fig. 4.6). Essa utilizza le concentrazioni dei maggiori ioni e dispone i campioni in quattro quadranti in cui i lati sono suddivisi in 50 parti uguali, classificandoli come:

- Solfato-clorurato alcalino terrose;
- Solfato-clorurato alcaline;
- Bicarbonato-alcaline;
- Bicarbonato-alcalino terrose.

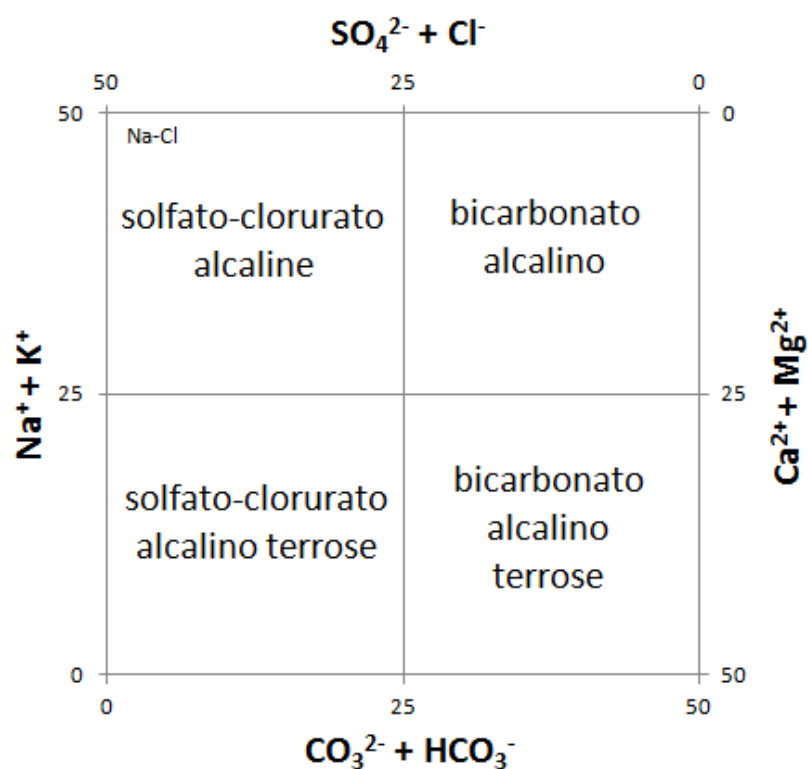


Figura 4.6 - Diagramma di Langelier - Ludwig.

Osservando il diagramma di Fig. 4.7, relativo ai profili Mira è possibile notare che i campioni ricadono per la maggior parte nel quadrante relativo alle acque bicarbonato-alcalino terrose, con elevati tenori in Ca^{2+} e HCO_3^- indicativi di un'interazione con la matrice solida carbonatica.

Nei profili Mira 4 e 5 man mano che si raggiungono gli orizzonti più profondi, le acque si spostano nel quadrante che individua le acque come solfato-clorurato alcalino terrose dove il principale anione è rappresentato dal SO_4^{2-} (e non il Cl^-) derivante, con tutta probabilità, dalla presenza di materia organica che, liberando zolfo e acidificando il mezzo, determina la solubilizzazione del carbonato di calcio, con la conseguente formazione di CaSO_4^{2-} .

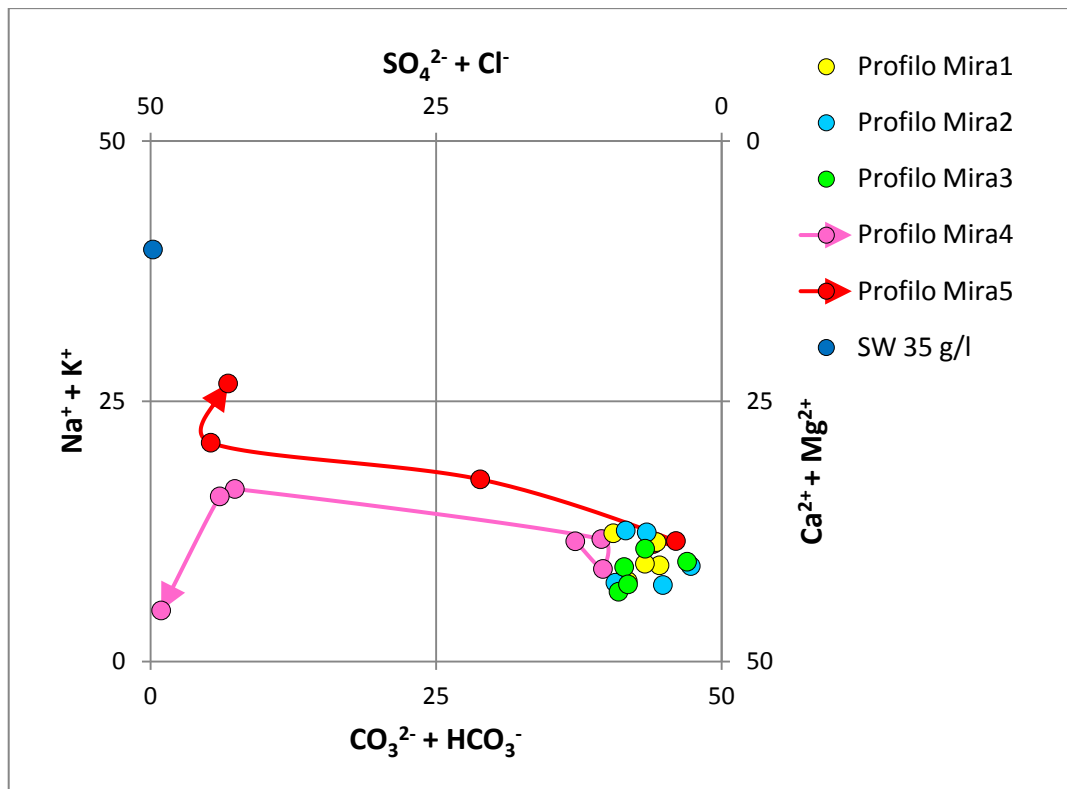


Figura 4.7 - Diagramma di Langelier-Ludwig relativo ai profili Mira.

4.1.9. Bilancio Ionico dei profili Mira

Una volta analizzate le principali forme ioniche solubili è stato effettuato il conteggio delle somme dei cationi (s^+) e degli anioni (s^-) e calcolato il bilancio ionico (%). Come si può osservare dalla Tab. 4.11 i valori sono stati suddivisi in base al loro bilanciamento, adottando il seguente criterio:

- rosso: cariche che presentano un bilanciamento negativo;
- nero: cariche che presentano un bilanciamento positivo.

Nei profili Mira che almeno un paio di orizzonti ciascuno hanno un bilanciamento che si discosta particolarmente ($> 5\%$) dallo zero. Questo può essere dovuto da diversi fattori, quali:

- una minor accuratezza strumentale nella determinazione dei cationi, e quindi un'incertezza del Bilancio Ionico nei casi in cui ci si trova ad analizzare soluzioni con bassi valori di CE;

- imprecisione nelle diluizioni dei campioni con soluzioni aventi valori di CE particolarmente alti.

Tabella 4.11 - Calcolo del Bilancio Ionico relativo ai profili Mira.

| Profilo | Prof. | CE 25°C | s+ | s- | Bilancio Ionico |
|--------------|---------|--------------------|---------------------|-------|-----------------|
| | cm | dS·m ⁻¹ | meq·l ⁻¹ | | % |
| Mira1 | 0-15 | 0,187 | 2,02 | 2,24 | -5,16 |
| | 15-30 | 0,157 | 1,66 | 1,79 | -3,93 |
| | 30-50 | 0,152 | 1,55 | 1,32 | 8,18 |
| | 50-90 | 0,162 | 1,75 | 1,75 | -0,13 |
| | 90-120 | 0,178 | 1,90 | 1,73 | 4,52 |
| Mira2 | 0-10 | 0,246 | 2,48 | 2,37 | 2,25 |
| | 10-40 | 0,193 | 1,94 | 1,92 | 0,72 |
| | 40-80 | 0,169 | 1,99 | 2,02 | -0,78 |
| | 80-110 | 0,182 | 1,87 | 2,19 | -7,99 |
| | 110-130 | 0,179 | 1,26 | 1,48 | -7,78 |
| Mira3 | 0-16 | 0,170 | 1,58 | 1,35 | 7,54 |
| | 16-43 | 0,126 | 1,46 | 1,38 | 3,00 |
| | 43-85 | 0,122 | 1,43 | 1,48 | -1,58 |
| | 85-110 | 0,097 | 0,92 | 1,04 | -5,93 |
| | 110-130 | 0,093 | 0,87 | 0,90 | -1,88 |
| Mira4 | 0-20 | 0,216 | 2,18 | 1,98 | 4,97 |
| | 20-50 | 0,190 | 2,02 | 1,84 | 4,61 |
| | 50-85 | 0,196 | 2,02 | 2,20 | -4,17 |
| | 85-130 | 0,682 | 6,64 | 6,91 | -1,96 |
| | 130-145 | 0,728 | 7,36 | 7,55 | -1,23 |
| | 145-160 | 2,646 | 35,90 | 39,80 | -5,14 |
| Mira5 | 0-25 | 0,176 | 1,95 | 1,64 | 8,40 |
| | 25-50 | 0,163 | 1,93 | 1,69 | 6,47 |
| | 50-90 | 0,241 | 2,32 | 2,38 | -1,43 |
| | 90-115 | 0,966 | 9,35 | 9,58 | -1,22 |
| | 115-130 | 0,860 | 7,95 | 8,22 | -1,69 |

4.1.10. Indice BEX dei profili Mira

L'indice di Stuyfzand (2008) permette di individuare innanzitutto le forme solubili principali, nei profili Mira come già visto in precedenza, questi sono il Ca²⁺ e HCO₃⁻ ad eccezione dei profili Mira4 e 5, dove negli orizzonti profondi troviamo invece preponderante il SO₄²⁻.

Come si evince dalla Tab. 4.12 non sono presenti fenomeni di salinizzazione, la maggior parte degli orizzonti viene classificata con il simbolo “+” indice di un processo di dolcificazione. Negli orizzonti superficiali e profondi del profilo Mira3 i cationi ed anioni risultano all’equilibrio.

Tabella 4.12 - Calcolo indice BEX relativo ai profili Mira.

| Profili | Orizzonti | Chemical Watertype | | |
|--------------|-----------|--------------------|------------------|------|
| | | Cationi | Anioni | BEX |
| Mira1 | 0-15 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 15-30 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 30-50 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 50-90 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 90-120 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| Mira2 | 0-10 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 10-40 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 40-80 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 80-110 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 110-130 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| Mira3 | 0-16 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | o |
| | 16-43 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 43-85 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 85-110 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | o |
| | 110-130 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | o |
| Mira4 | 0-20 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 20-50 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 50-85 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 85-130 | Ca ²⁺ | SO ₄ | + |
| | 130-145 | Ca ²⁺ | SO ₄ | + |
| | 145-160 | Ca ²⁺ | SO ₄ | + |
| Mira5 | 0-25 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 25-50 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 50-90 | Ca ²⁺ | HCO ₃ | + |
| | 90-115 | Ca ²⁺ | SO ₄ | + |
| | 115-130 | n.d. | SO ₄ | n.d. |

“n.d.”= dato non disponibile

4.2. Analisi relative alle acque di falda FTRIV

4.2.1. Conducibilità elettrica e pH

Le acque di falda sono state raggiunte e campionate all'interno del suolo ad una profondità inferiore al metro (Tab. 4.13). La CE del primo campione, FTRIV1, è da considerarsi bassa e quindi la sua acqua è definibile come dolce mentre, a partire dal secondo punto FTRIV2 in poi, i campioni presentano valori progressivamente più elevati, man mano che ci si allontana dalla costa. Questo è dovuto alla presenza di canali che drenano le acque superficiali e che richiamando acqua della falda, determinano l'innalzamento dell'interfaccia acqua dolce – acqua salata. Al fine di verificare tale situazione è stata campionata acqua anche da un canale della pineta, situato tra i punti FTRIV3 e 4, e la sua conducibilità elettrica è risultata particolarmente elevata, pari a 35,60 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

La determinazione del pH è risultata basica con valori moderatamente alcalini nei campioni limitrofi alla costa e debolmente alcalini per quelli più interni alla pineta.

Tabella 4.13 - Parametri chimico-fisici dei campioni FTRIV.

| Campione | Profondità di falda | CE 25°C | pH |
|---------------|---------------------|-------------------------------|------|
| | m | $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ | |
| FTRIV 1 falda | -63 | 1,85 | 7,77 |
| FTRIV 2 falda | -42 | 7,28 | 7,22 |
| FTRIV 3 falda | -85 | 11,26 | 7,22 |
| FTRIV 4 falda | -73 | 14,02 | 7,13 |
| FTRIV 5 falda | -90 | 20,19 | 7,02 |
| FTRIV 6 falda | -92 | 12,50 | 7,14 |

4.2.2. Forme solubili

In Tab. 4.14 è riportato il risultato delle analisi relative alle forme solubili presenti nelle acque di falda prelevate dai siti FTRIV 1-6.

Tabella 4.14 - Analisi delle forme solubili relative ai campioni FTRIV.

| Campione | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | S.A.R. | Alk | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | Br ⁻ | F ⁻ | PO ₄ ²⁻ | NO ₂ ⁻ |
|----------------------|---------------------|----------------|------------------|------------------|--------|---------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|
| | meq·l ⁻¹ | | | | | meq·l ⁻¹ | | | | | | | |
| FTRIV 1 falda | 7,71 | 0,64 | 2,79 | 6,12 | 3,65 | 5,60 | 9,82 | 1,99 | 0,43 | 0,03 | 0,01 | 0 | 0 |
| FTRIV 2 falda | 46,10 | 1,42 | 7,43 | 11,31 | 15,06 | 8,40 | 60,82 | 7,20 | 0,15 | 0,69 | 0,04 | 0 | 0 |
| FTRIV 3 falda | 76,81 | 2,25 | 11,80 | 10,20 | 23,16 | 9,40 | 95,13 | 10,97 | 0,58 | 0,29 | 0,14 | 0 | 0 |
| FTRIV 4 falda | 103,17 | 2,02 | 17,76 | 9,46 | 27,96 | 12,40 | 132,24 | 9,24 | 0,19 | 1,59 | 0,06 | 0 | 0 |
| FTRIV 5 falda | 132,67 | 2,03 | 31,51 | 41,27 | 21,99 | 5,70 | 203,45 | 15,32 | 1,18 | 2,30 | 0,18 | 0 | 0 |
| FTRIV 6 falda | 80,53 | 1,42 | 21,91 | 18,57 | 17,90 | 9,40 | 121,64 | 11,67 | 0,00 | 1,63 | 0,06 | 0 | 0 |

In queste analisi (Tab. 4.14) è possibile osservare la contaminazione dell'acqua di falda della Pineta Ramazzotti da parte dell'acqua marina, essendo la prima ricca di ioni HCO₃⁻ e la seconda in ioni Cl⁻. Essa viene valutata calcolando il rapporto Cl⁻ / (HCO₃⁻+CO₃²⁻). Il grado di contaminazione viene valutato secondo il "Limite di Todd" (MiPAF, 2001), dove il valore 0,5 di questo rapporto segna il limite di demarcazione fra le acque di falda non contaminate e quelle contaminate dall'acqua di mare. Per quanto riguarda il suddetto rapporto, in Tab. 4.15 sono stati riportati i campioni FTRIV e la rispettiva classificazione.

Tabella 4.15 - Classificazione acque di falda FTRIV secondo Todd (Todd, 1959).

| Campione | Valore rapporto | Tipo di acqua | Classe |
|----------------------|-----------------|---|--------|
| FTRIV 1 falda | 1,752814 | Acqua di falda lievemente contaminata dal mare | 3 |
| FTRIV 2 falda | 7,240159 | Acqua di falda sensibilmente contaminata dal mare | 5 |
| FTRIV 3 falda | 10,12025 | | |
| FTRIV 4 falda | 10,66432 | | |
| FTRIV 5 falda | 35,69341 | | |
| FTRIV 6 falda | 12,94093 | | |

Si nota infatti dal diagramma L-L (Fig. 4.8) che le acque ricadono nel quadrante definito solfato-clorurato alcaline, con i cationi predominante (Tab. 4.14), rappresentati da Na⁺ e Mg²⁺, mentre gli anioni maggiormente rappresentati sono Cl⁻ e SO₄²⁻ con rapporto 10:1.

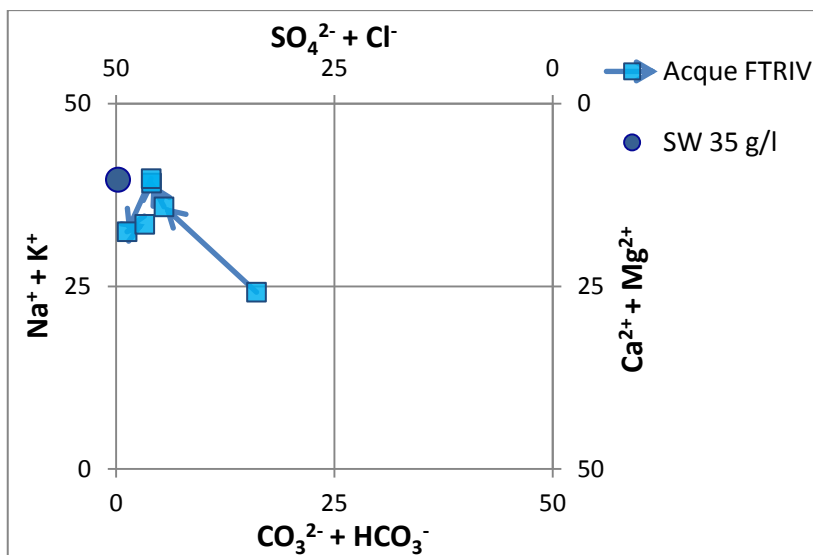


Figura 4.8 - Diagramma di Langelier-Ludwig relativo alle acque dei campioni FTRIV.

Da notare che anche i valori di Ca^{2+} che si dimostrano particolarmente elevati, questo dovuto sia alla presenza dell'elemento nelle acque salmastre, ma soprattutto all'interazione con la matrice litoide. A dimostrazione di ciò è stato effettuato un confronto tra i parametri di CE e Ca^{2+} nei campioni dei sondaggi FTRIV con quelli riscontrati in un campione di acqua di mare sottoposta a diluizioni con acqua deionizzata, rappresentativa di un'ipotetica miscelazione tra acqua di mare e acqua dolce. Di conseguenza, se la concentrazione di Ca^{2+} , a parità di CE, è minore esso può essere dovuto ad un possibile adsorbimento di tale specie chimica a carico del complesso di scambio del suolo, mentre invece se maggiore come nel caso in questione (Fig. 4.9), esso è riconducibile ad un possibile rilascio di tale specie dalla matrice solida del suolo.

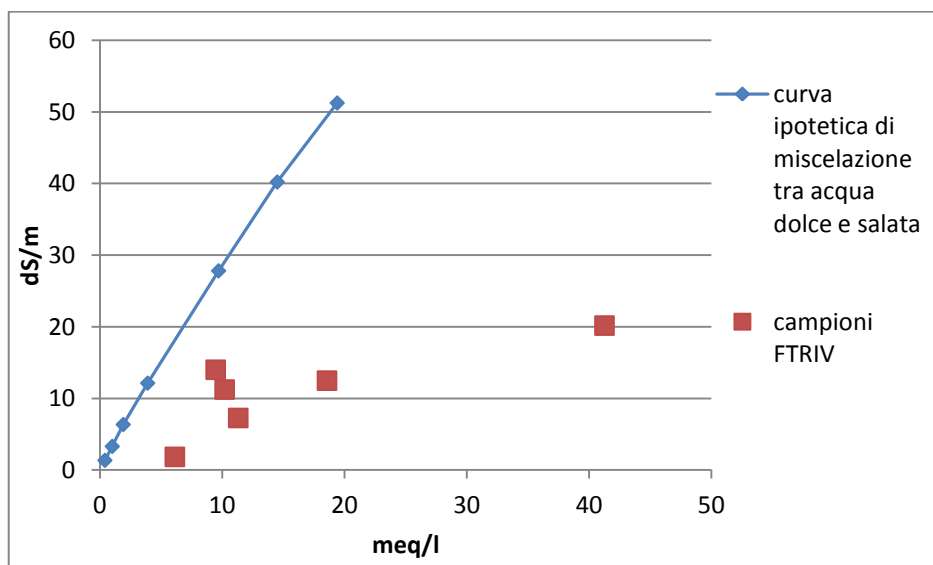


Figura 4.9 - Relazione tra CE e Ca^{2+} solubile.

Per quanto riguarda la determinazione del S.A.R., nei sondaggi FTRIV 2 e 6 sono stati riscontrati valori compresi tra 10÷18 indicativi di un rischio medio di salinizzazione in particolare se ci si trova ad irrigare terreni argillosi con questo tipo di acqua. Gli FTRIV intermedi 3-4 e 5 presentano un rischio di salinizzazione elevato, per la maggior parte dei terreni, presentando valori di S.A.R. compresi tra 18÷26.

4.2.3. Bilancio Ionico

Nel caso dei campioni FTRIV i valori del bilancio ionico si discostano particolarmente dallo 0, soprattutto in concomitanza di valori elevati di CE, ad eccezione tuttavia del campione FTRIV5 (Tab. 4.16). Questo fenomeno può essere dovuto al fatto che è stato necessario effettuare diluizioni particolarmente spinte per procedere all'analisi dei campioni e questo potrebbe aver determinato tali scostamenti.

Tabella 4.16 - Calcolo del Bilancio Ionico relativo ai campioni FTRIV.

| Campione | s+ | s- | Bilancio Ionico |
|----------------------|--------------------------------|--------|-----------------|
| | meq ^l ⁻¹ | | |
| FTRIV 1 falda | 17,26 | 17,89 | -1,77 |
| FTRIV 2 falda | 66,26 | 77,30 | -7,69 |
| FTRIV 3 falda | 101,06 | 116,51 | -7,10 |
| FTRIV 4 falda | 132,41 | 155,72 | -8,09 |
| FTRIV 5 falda | 207,48 | 228,13 | -4,74 |
| FTRIV 6 falda | 122,43 | 144,40 | -8,24 |

4.3. Analisi relative ai transetti RE PD LC

4.3.1. Descrizione geologica transetti

- RE

Il transetto RE (Ravenna Est) affianca i Fiumi Uniti, dalla foce per 5 km verso l'interno. I profili sulla costa sono posizionati su depositi di cordone litorale a -1, -2 m s.l.m. quota. Verso l'interno si incontra una piccola lingua di depositi, denominati dalla carta delle Unità Geologiche (Fig. 4.10), di canale e rotta fluviale costituiti da sabbia con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limosa argillosa discontinua, tipica di contesti di piana

alluvionale come questi. Nei quattro profili successivi, da RE 04 a RE 07 si incontra l'area di laguna di cordone retrodunale con depositi di palude salmastra dove la quota si stabilizza a -2 m s.l.m.. Spostandosi verso l'interno, si passa a quote prossime a quelle del mare medio con l'ultimo profilo, RE 08, in cui si riscontrano un ambiente di depositi di cordone dunale. Tutta la lunghezza del transetto è caratterizzata da terreni agricoli di tipo seminativi.

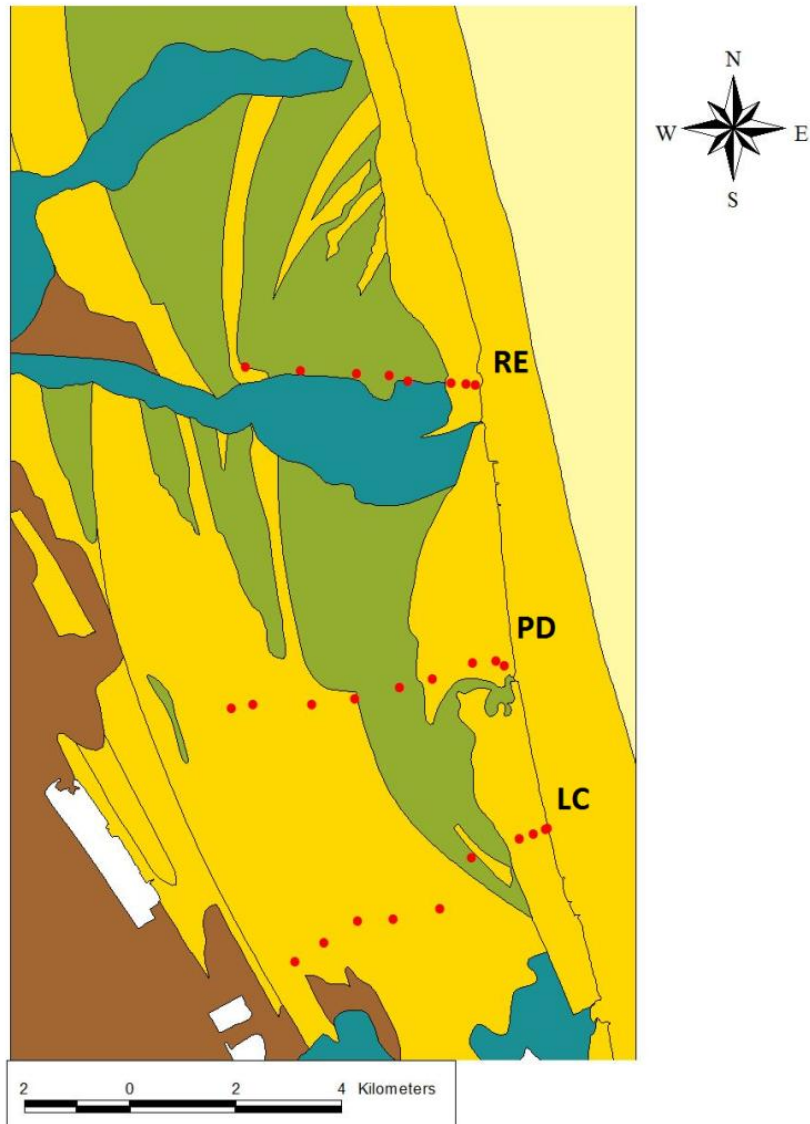
- PD

Per quanto riguarda il transetto indicato con la sigla PD (Pineta Dante), esso attraversa due tipi di depositi (Fig. 4.10): quello sabbioso del cordone litoraneo e quello paludoso relativo a lagune di retro duna. I sedimenti del primo tipo sono presenti nei primi profili, quelli prossimi alla costa tra la Pineta Ramazzotti e l'argine del Fiume Bevano, e quelli terminali situati all'interno della Pineta di Classe dove sono presenti antichi cordoni dunali separati da depressioni a falda relativamente superficiale e che risentono quindi delle variazioni del contenuto di acqua nel suolo. Il profilo intermedio PD 05 è stato invece descritto in un'area di depositi di palude salmastra e laguna di retro duna dove la topografia della zona è pressoché pianeggiante con quote di -4 m s.l.m. con appezzamenti interessati da colture estensive seminative. A sud di questi terreni è presente la Valle dell'Ortazzo, un'ampia zona acquitrinosa d'acqua dolce di forma triangolare costantemente sommersa dalle acque del Bevano e del Fosso Ghiaia, tra i quali è compresa, e la zona umida dell'Ortazzino, che è un'area salmastra contigua alla spiaggia, che alterna stagni retrodunali, canneti, dune con vegetazione mediterranea e pinete costiere.

- LC

Il transetto denominato LC data la sua vicinanza al centro di Lido di Classe, è situato a sud della Pineta di Classe sopracitata e attraversa i medesimi depositi sedimentari del transetto PD (Fig. 4.10). I primi profili sono situati all'interno della Pineta Ramazzotti, quello più vicino a costa è a quota del livello del mare, mentre i successivi sono a 2 e 4 m s.l.m., perché posizionati su cordoni dunali. LC 05 è collocato su depositi di palude salmastra, la stessa lingua di sedimenti che attraversano anche gli altri due transetti, e con la medesima diminuzione di quota (-3 m s.l.m.). I cinque profili più interni (LC 06-LC

10) sono situati a quote maggiori in quanto posizionati su depositi di cordone dunale (proseguimento della morfologia della Pineta di Classe, situata poco più a Nord), ed attualmente interessati da colture di seminativi.



Unità Geologiche

- profili Resmi
- deposito di canale, argine e rotta fluviale
- deposito di cordone litorale
- deposito di palude salmastra e laguna di retrocordone
- deposito di piana inondabile in area interfluviale
- deposito di prodelta e transizione alla piattaforma

Figura 4.10 - Estratto della Carta della Carta Geologica di Pianura.
 Sintesi dei sistemi deposizionali.
 Scala 1:250.000. (www.regione.emilia-romagna.it).

4.3.2. Conducibilità elettrica e pH

I valori di CE (Tab. 4.17) risultano particolarmente elevati nei primi due profili del transetto RE, quelli posizionati a nord della foce dei Fiumi Uniti, per cui pare che nonostante la vicinanza del fiume, non risulti esserci un'influenza di questo sui terreni circostanti.

Nel complesso degli altri profili la determinazione della CE non rivela valori elevati se non nei profili più prossimi alla costa dove la conducibilità elettrica presenta un andamento che va a crescere con la profondità, indice dell'influenza dell'acqua salmastra, mentre man mano che si va verso l'entroterra, l'andamento tende ad invertirsi, presentando comunque valori non preoccupanti. Eccezioni si riscontrano nei profili centrali del transetto LC dove, alla massima profondità, la conducibilità è particolarmente alta rispetto alle altre 2 misure. Questo perché ci si trova su depositi di palude salmastra soggetta in passato a bonifiche che possono aver portato alla formazione di orizzonti torbosi.

Per quanto concerne la determinazione del pH delle acque, queste risultano tutte fortemente alcaline con una media dei valori di pH di 8,61 per i profili del transetto a nord, 9,07 per quello intermedio ed infine 8,9 per quello più a sud.

Tabella 4.17 - Analisi relativa alla reazione (pH) e conducibilità elettrica (CE) dei campioni dei transetti RE-PD-LC.

| Campione | Reazione H ₂ O | | Campione | Reazione H ₂ O | |
|----------|---------------------------|-------------------------------------|----------|---------------------------|-------------------------------------|
| | pH | CE 1:2,5 25°C dS·m ⁻¹ | | pH | CE 1:2,5 25°C dS·m ⁻¹ |
| RE 01-1 | 8,30 | 2,591 | LC 01-1 | 9,52 | 0,098 |
| RE 01-2 | 8,48 | 3,319 | LC 01-2 | 9,98 | 0,172 |
| RE 01-3 | 8,63 | 4,938 | LC 01-3 | 9,13 | 1,819 |
| RE 02-1 | 8,12 | 3,174 | LC 02-1 | 9,05 | 0,089 |
| RE 02-2 | 8,33 | 2,530 | LC 02-2 | 9,16 | 0,091 |
| RE 02-3 | 8,68 | 4,340 | LC 02-3 | 9,1 | 0,107 |
| RE 03-1 | 8,60 | 0,256 | LC 04-1 | 8,58 | 0,172 |
| RE 03-2 | 9,05 | 0,409 | LC 04-2 | 9,03 | 0,144 |
| RE 03-3 | 8,88 | 0,807 | LC 04-3 | 8,89 | 0,505 |
| RE 04-1 | 8,59 | 0,174 | LC 05-1 | 8,42 | 0,319 |
| RE 04-2 | 8,93 | 0,157 | LC 05-2 | 8,44 | 0,476 |
| RE 04-3 | 8,50 | 0,497 | LC 05-3 | 8,58 | 1,776 |
| RE 05-1 | 8,56 | 0,184 | LC 06-1 | 8,46 | 0,336 |
| RE 05-2 | 8,60 | 0,254 | LC 06-2 | 9,14 | 0,136 |
| RE 05-3 | 8,71 | 0,344 | LC 06-3 | 9,11 | 2,413 |
| RE 06-1 | 8,54 | 0,481 | LC 07-1 | 8,84 | 0,239 |
| RE 06-2 | 8,46 | 0,642 | LC 07-2 | 9,01 | 0,162 |
| RE 06-3 | 8,47 | 0,786 | LC 07-3 | 9,11 | 0,123 |
| RE 07-1 | 8,51 | 0,629 | LC 08-1 | 8,48 | 0,274 |
| RE 07-2 | 8,55 | 0,558 | LC 08-2 | 9,22 | 0,097 |
| RE 07-3 | 8,43 | 0,631 | LC 08-3 | 9,25 | 0,133 |
| RE 08-1 | 8,47 | 0,142 | LC 09-1 | 8,85 | 0,127 |
| RE 08-2 | 9,01 | 0,092 | LC 09-2 | 9,2 | 0,089 |
| RE 08-3 | 9,13 | 0,087 | LC 09-3 | 9,22 | 0,090 |
| PD 01-1 | 8,88 | 0,217 | LC 10-1 | 8,45 | 0,172 |
| PD 01-2 | 9,6 | 0,284 | LC 10-2 | 9,01 | 0,093 |
| PD 01-3 | 9,42 | 0,751 | LC 10-3 | 9,09 | 0,095 |
| PD 02-1 | 8,76 | 0,309 | | | |
| PD 02-2 | 9,23 | 0,827 | | | |
| PD 02-3 | 8,96 | 1,950 | | | |
| PD 03-1 | 8,72 | 0,171 | | | |
| PD 03-2 | 9,36 | 0,841 | | | |
| PD 03-3 | 8,72 | 2,442 | | | |
| PD 05-1 | 8,44 | 0,207 | | | |
| PD 05-2 | 8,83 | 0,131 | | | |
| PD 05-3 | 9,03 | 0,111 | | | |
| PD 07-1 | 8,66 | 0,284 | | | |
| PD 07-2 | 9,4 | 0,372 | | | |
| PD 07-3 | 9,47 | 0,478 | | | |
| PD 08-1 | 9 | 0,095 | | | |
| PD 08-2 | 9,34 | 0,087 | | | |
| PD 08-3 | 9,6 | 0,184 | | | |
| PD 09-1 | 8,62 | 0,148 | | | |
| PD 09-2 | 8,87 | 0,163 | | | |
| PD 09-3 | 9,65 | 0,251 | | | |

4.3.3. Forme solubili

In Tab. 4.18 sono riportati i risultati delle analisi delle forme solubili relative ai campioni RE-PD-LC. Come previsto, i profili del transetto RE campionati più a est verso la costa, risultano contenere quantità particolarmente elevate di ioni Na^+ e Cl^- , e successivamente anche di ioni Mg^+ , Ca^{2+} e SO_4^{2-} che diminuiscono allontanandosi dalla linea di costa.

In questi profili costieri anche il calcolo del S.A.R. fornisce valori compresi tra 10÷18, indice di rischio medio di salinizzazione, ma siamo in presenza di suoli sabbiosi a bassa capacità di scambio e dove il quantitativo di sodio adsorbito dal complesso di scambio è contenuto. I profili RE 06-07 ritornano ad avere livelli elevati di Na^+ , ma per quanto riguarda l'anione predominante, esso non risulta più essere il cloro ma i solfati. I 2 transetti successivi presentano valori elevati di ioni tipici di acqua di mare solo alla massima profondità (80-120 cm) dei profili più prossimi alla linea di costa.

Nei restanti campioni i valori diminuiscono. Situazione particolare la si riscontra in LC 04 e 05 dove in entrambi alla profondità di 80÷120 cm troviamo valori elevati di Na^+ , ma mentre nel primo il rispettivo anione predominante è il Cl^- , per il secondo profilo è il SO_4^{2-} . In generale nei transetti PD e LC il calcolo del S.A.R. presenta valori inferiori in superficie e progressivamente maggiori in profondità. Assenza totale o comunque valori al di sotto del limite di rilevabilità per quanto riguarda la determinazione di PO_4^{2-} e NO_2^- per tutti i transetti.

Tabella 4.18(a)- Analisi forme solubili relative ai campioni RE-PD-LC (valori espressi in meq·kg⁻¹)

| Campione | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | S.A.R. | Alk | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | Br ⁻ | F ⁻ | PO ₄ ²⁻ | NO ₂ ⁻ |
|----------|-----------------|----------------|------------------|------------------|--------|------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|
| RE 01-1 | 42,95 | 0,50 | 4,00 | 7,00 | 11,58 | 2,00 | 53,87 | 10,82 | 0 | 0,04 | 0,26 | 0 | 0 |
| RE 01-2 | 54,42 | 1,34 | 7,10 | 9,51 | 11,94 | 1,75 | 71,57 | 15,67 | 0,54 | 0,07 | 0,12 | 0 | 0 |
| RE 01-3 | 86,97 | 3,04 | 7,60 | 7,18 | 20,23 | 2,00 | 111,54 | 16,32 | 0,19 | 0,10 | 0,14 | 0 | 0 |
| RE 02-1 | 44,78 | 0,53 | 8,29 | 18,54 | 7,73 | 2,00 | 71,13 | 11,75 | 0,05 | 0,04 | 0,26 | 0 | 0 |
| RE 02-2 | 35,93 | 0,77 | 5,52 | 10,00 | 8,16 | 2,00 | 57,38 | 4,96 | 0 | 0,04 | 0,22 | 0 | 0 |
| RE 02-3 | 73,06 | 2,20 | 7,71 | 6,43 | 17,38 | 1,75 | 97,88 | 10,05 | 0 | 0,10 | 0,14 | 0 | 0 |
| RE 03-1 | 2,84 | 0,35 | 0,90 | 2,23 | 1,43 | 3,50 | 0,96 | 1,07 | 0 | 0,01 | 0,32 | 0 | 0,02 |
| RE 03-2 | 7,98 | 1,41 | 1,46 | 0,47 | 5,14 | 4,50 | 2,79 | 2,34 | 0,04 | 0,01 | 0,28 | 0 | 0 |
| RE 03-3 | 13,29 | 0,55 | 1,07 | 1,66 | 7,19 | 3,25 | 10,46 | 3,76 | 0,02 | 0 | 0,17 | 0 | 0 |
| RE 04-1 | 0,60 | 0,34 | 0,68 | 2,73 | 0,29 | 3,00 | 0,38 | 0,51 | 0,05 | 0 | 0,21 | 0 | 0,01 |
| RE 04-2 | 1,03 | 0,26 | 0,55 | 1,74 | 0,61 | 2,25 | 0,39 | 1,08 | 0,01 | 0 | 0,11 | 0 | 0 |
| RE 04-3 | 4,60 | 0,54 | 1,56 | 3,86 | 1,77 | 3,25 | 2,20 | 5,95 | 0,02 | 0,01 | 0,23 | 0 | 0 |
| RE 05-1 | 0,88 | 0,20 | 0,99 | 2,38 | 0,43 | 3,25 | 0,25 | 0,94 | 0,04 | 0,01 | 0,22 | 0 | 0 |
| RE 05-2 | 1,45 | 0,21 | 1,20 | 2,80 | 0,65 | 2,50 | 0,67 | 2,61 | 0,02 | 0 | 0,17 | 0 | 0 |
| RE 05-3 | 2,59 | 0,37 | 1,49 | 2,86 | 1,11 | 2,75 | 1,27 | 5,12 | 0,01 | 0 | 0,02 | 0 | 0 |
| RE 06-1 | 5,13 | 0,40 | 1,68 | 3,15 | 2,09 | 2,75 | 2,12 | 6,92 | 0,04 | 0,01 | 0,23 | 0 | 0 |
| RE 06-2 | 8,01 | 0,61 | 2,27 | 3,88 | 2,89 | 3,00 | 4,24 | 9,36 | 0,04 | 0 | 0,18 | 0 | 0 |
| RE 06-3 | 6,64 | 0,79 | 3,61 | 6,32 | 1,88 | 3,00 | 3,43 | 14,00 | 0,05 | 0 | 0,10 | 0 | 0 |
| RE 07-1 | 7,12 | 0,44 | 1,79 | 4,08 | 2,63 | 2,25 | 4,32 | 7,82 | 0,05 | 0 | 0,12 | 0 | 0 |
| RE 07-2 | 7,59 | 0,62 | 1,34 | 2,91 | 3,29 | 2,75 | 5,53 | 5,60 | 0,03 | 0 | 0,02 | 0 | 0 |
| RE 07-3 | 6,12 | 0,79 | 1,89 | 4,54 | 2,16 | 2,00 | 4,02 | 7,76 | 0,07 | 0,02 | 0,11 | 0 | 0 |
| RE 08-1 | 0,17 | 0,33 | 0,34 | 2,71 | 0,09 | 2,75 | 0,08 | 0,09 | 0,29 | 0 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| RE 08-2 | 0,19 | 0,17 | 0,22 | 1,37 | 0,14 | 2,00 | 0,07 | 0,11 | 0,07 | 0 | 0,02 | 0 | 0 |
| RE 08-3 | 0,34 | 0,18 | 0,29 | 1,11 | 0,26 | 1,75 | 0,07 | 0,19 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0 | 0 |
| PD 01-1 | 1,71 | 0,31 | 0,65 | 2,33 | 0,89 | 1,75 | 2,55 | 0,34 | 0,05 | 0 | 0,03 | 0 | 0 |
| PD 01-2 | 4,98 | 0,50 | 0,26 | 0,39 | 5,53 | 3,25 | 2,64 | 0,38 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0 | 0 |
| PD 01-3 | 12,88 | 0,64 | 0,75 | 0,84 | 9,15 | 2,00 | 12,45 | 1,98 | 0,03 | 0,01 | 0,06 | 0 | 0 |
| PD 02-1 | 2,63 | 0,21 | 0,31 | 3,17 | 1,26 | 1,50 | 5,21 | 0,30 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0 | 0 |
| PD 02-2 | 14,46 | 0,47 | 0,52 | 1,16 | 9,96 | 2,25 | 14,47 | 1,23 | 0,02 | 0,01 | 0,10 | 0 | 0 |
| PD 02-3 | 33,63 | 1,08 | 3,11 | 2,95 | 12,22 | 1,75 | 45,04 | 5,28 | 0 | 0,03 | 0,06 | 0 | 0 |
| PD 03-1 | 0,93 | 0,33 | 0,32 | 2,62 | 0,48 | 2,50 | 1,11 | 0,18 | 0,07 | 0 | 0,03 | 0 | 0 |
| PD 03-2 | 16,05 | 0,44 | 0,40 | 0,50 | 15,11 | 3,00 | 12,58 | 1,95 | 0,07 | 0 | 0,17 | 0 | 0 |
| PD 03-3 | 43,67 | 1,42 | 2,85 | 3,50 | 15,50 | 3,00 | 39,01 | 13,87 | 0,04 | 0 | 0,11 | 0 | 0 |
| PD 05-1 | 0,44 | 0,38 | 0,81 | 3,44 | 0,19 | 3,00 | 0,39 | 0,41 | 0,97 | 0 | 0,13 | 0 | 0,05 |
| PD 05-2 | 0,39 | 0,20 | 0,62 | 2,04 | 0,21 | 2,50 | 0,23 | 0,23 | 0,30 | 0 | 0,16 | 0 | 0,01 |
| PD 05-3 | 0,42 | 0,16 | 0,74 | 1,36 | 0,26 | 2,25 | 0,16 | 0,43 | 0,02 | 0 | 0,14 | 0 | 0 |
| PD 07-1 | 3,20 | 0,44 | 0,65 | 2,79 | 1,54 | 3,75 | 1,92 | 0,60 | 0,07 | 0 | 0,07 | 0,02 | 0 |
| PD 07-2 | 7,87 | 0,51 | 0,37 | 0,79 | 6,55 | 5,00 | 3,09 | 0,71 | 0,02 | 0 | 0,19 | 0 | 0 |
| PD 07-3 | 9,50 | 0,55 | 0,65 | 0,17 | 9,41 | 4,00 | 7,13 | 1,07 | 0,01 | 0 | 0,12 | 0 | 0 |
| PD 08-1 | 0,18 | 0,18 | 0,20 | 1,58 | 0,12 | 2,00 | 0,14 | 0,08 | 0,05 | 0 | 0,02 | 0 | 0,01 |
| PD 08-2 | 0,73 | 0,23 | 0,20 | 0,77 | 0,67 | 2,00 | 0,18 | 0,17 | 0,02 | 0 | 0,04 | 0 | 0 |
| PD 08-3 | 3,20 | 0,31 | 0,21 | 0,85 | 2,77 | 2,75 | 0,92 | 0,53 | 0,02 | 0 | 0,08 | 0 | 0 |
| PD 09-1 | 0,59 | 0,21 | 0,23 | 2,97 | 0,30 | 3,00 | 0,19 | 0,16 | 0,06 | 0 | 0,04 | 0,03 | 0,01 |
| PD 09-2 | 0,77 | 0,06 | 0,69 | 2,04 | 0,42 | 3,00 | 0,35 | 0,27 | 0,02 | 0 | 0,10 | 0 | 0 |
| PD 09-3 | 4,48 | 0,41 | 0,30 | 0,49 | 4,50 | 3,00 | 2,40 | 0,83 | 0,02 | 0 | 0,09 | 0 | 0 |

Tabella 4.18(b)- Analisi forme solubili relative ai campioni RE-PD-LC (valori espressi in meq·kg⁻¹)

| Campione | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | S.A.R. | Alk | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | Br ⁻ | F ⁻ | PO ₄ ²⁻ | NO ₂ ⁻ |
|----------|-----------------|----------------|------------------|------------------|--------|------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|
| LC 01-1 | 0,84 | 0,34 | 0,49 | 0,54 | 0,74 | 1,75 | 0,34 | 0,19 | 0,02 | 0 | 0,02 | 0 | 0 |
| LC 01-2 | 3,33 | 0,34 | 0,16 | 0,11 | 5,71 | 3,50 | 0,38 | 0,22 | 0,02 | 0 | 0,04 | 0 | 0 |
| LC 01-3 | 31,38 | 1,11 | 2,95 | 2,03 | 12,57 | 2,00 | 34,95 | 4,06 | 0,03 | 0 | 0,06 | 0 | 0 |
| LC 02-1 | 0,39 | 0,24 | 0,28 | 1,06 | 0,30 | 2,00 | 0,22 | 0,11 | 0,02 | 0 | 0,01 | 0 | 0 |
| LC 02-2 | 0,30 | 0,18 | 0,54 | 1,00 | 0,22 | 1,50 | 0,34 | 0,15 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0 | 0 |
| LC 02-3 | 0,47 | 0,28 | 0,54 | 1,07 | 0,33 | 1,75 | 0,44 | 0,40 | 0,03 | 0 | 0,02 | 0 | 0 |
| LC 04-1 | 0,24 | 0,50 | 0,51 | 2,81 | 0,12 | 3,50 | 0,50 | 0,23 | 0,03 | 0 | 0,02 | 0 | 0,02 |
| LC 04-2 | 0,99 | 0,17 | 0,49 | 1,54 | 0,62 | 2,25 | 0,64 | 0,43 | 0,01 | 0 | 0,04 | 0 | 0 |
| LC 04-3 | 5,94 | 0,25 | 1,32 | 2,60 | 2,68 | 1,75 | 9,46 | 1,34 | n.d. | 0 | 0,06 | 0 | 0,00 |
| LC 05-1 | 0,74 | 1,24 | 1,68 | 4,02 | 0,28 | 4,25 | 0,41 | 2,62 | 0,62 | 0 | 0,14 | 0 | 0,12 |
| LC 05-2 | 2,77 | 0,95 | 2,55 | 4,53 | 0,93 | 3,50 | 1,69 | 6,18 | 0,40 | 0 | 0,18 | 0 | 0,18 |
| LC 05-3 | 21,57 | 1,56 | 11,15 | 8,54 | 4,35 | 2,00 | 12,55 | 38,18 | 0,09 | 0,13 | 0,22 | 0 | 0 |
| LC 06-1 | 1,86 | 1,57 | 1,83 | 3,30 | 0,73 | 6,25 | 0,39 | 1,07 | 0,07 | 0 | 0,12 | 0,02 | 0,05 |
| LC 06-2 | 0,87 | 0,59 | 0,76 | 0,70 | 0,64 | 2,50 | 0,29 | 0,38 | 0,05 | 0 | 0,11 | 0 | 0,01 |
| LC 06-3 | 43,24 | 2,70 | 3,11 | 3,77 | 14,74 | 2,25 | 24,29 | 32,74 | 0,02 | 0,28 | 0,09 | 0 | 0 |
| LC 07-1 | 2,85 | 0,62 | 0,44 | 1,47 | 1,85 | 4,25 | 0,83 | 0,46 | 0,22 | 0 | 0,04 | 0,12 | 0,04 |
| LC 07-2 | 0,75 | 0,43 | 0,36 | 2,03 | 0,44 | 2,00 | 0,38 | 0,37 | 0,82 | 0 | 0,05 | 0,01 | 0,01 |
| LC 07-3 | 0,94 | 0,36 | 0,26 | 1,05 | 0,74 | 2,00 | 0,18 | 0,29 | 0,22 | 0 | 0,11 | 0 | 0 |
| LC 08-1 | 1,38 | 0,54 | 0,77 | 3,61 | 0,59 | 2,75 | 0,38 | 1,22 | 1,82 | 0 | 0,07 | 0,11 | 0,07 |
| LC 08-2 | 0,61 | 0,35 | 0,18 | 1,07 | 0,48 | 2,00 | 0,12 | 0,38 | 0,08 | 0 | 0,04 | 0 | 0 |
| LC 08-3 | 1,23 | 0,31 | 0,24 | 1,21 | 0,92 | 1,75 | 0,22 | 0,63 | 0,22 | 0 | 0,08 | 0 | 0 |
| LC 09-1 | 0,09 | 0,55 | 0,33 | 1,97 | 0,06 | 2,75 | 0,074 | 0,11 | 0,10 | 0 | 0,05 | 0,05 | 0,01 |
| LC 09-2 | 0,08 | 0,53 | 0,19 | 1,26 | 0,06 | 1,75 | 0,058 | 0,24 | 0,06 | 0 | 0,05 | 0 | 0 |
| LC 09-3 | 0,19 | 0,26 | 0,18 | 1,43 | 0,13 | 1,50 | 0,098 | 0,23 | 0,17 | 0 | 0,05 | 0 | 0 |
| LC 10-1 | 0,23 | 0,19 | 0,47 | 3,40 | 0,11 | 2,75 | 0,07 | 0,19 | 0,23 | 0 | 0,16 | 0 | 0,02 |
| LC 10-2 | 0,13 | 0,12 | 0,20 | 1,67 | 0,08 | 3,00 | 0,06 | 0,29 | 0,06 | 0 | 0,10 | 0 | 0 |
| LC 10-3 | 0,25 | 0,13 | 0,25 | 1,49 | 0,17 | 2,00 | 0,06 | 0,22 | 0,23 | 0 | 0,08 | 0 | 0 |

4.3.4. Bilancio ionico

In Tab. 4.19 è riportata la sommatoria dei cationi ed anioni e relativo bilancio ionico dei campioni RE, PD e LC. E' possibile osservare uno scostamento sistematico verso le cariche negative indice di una potenziale sottostima dei cationi probabilmente legata ad una minor accuratezza strumentale.

Tabella 4.193 - Sommatoria dei cationi ed anioni e relativo Bilancio Ionico dei campioni RE-PD-LC.

| Campione | s+ | s- | Bilancio Ionico | Campione | s+ | s- | Bilancio Ionico |
|----------|---------------------|-------|-----------------|----------|---------------------|-------|-----------------|
| | meq l ⁻¹ | | | | meq l ⁻¹ | | |
| RE 01-1 | 21,78 | 26,80 | -10,32 | PD 07-1 | 2,83 | 2,57 | 4,70 |
| RE 01-2 | 28,94 | 35,89 | -10,72 | PD 07-2 | 3,82 | 3,61 | 2,80 |
| RE 01-3 | 41,92 | 52,12 | -10,85 | PD 07-3 | 4,34 | 4,93 | -6,35 |
| RE 02-1 | 28,86 | 34,09 | -8,31 | PD 08-1 | 0,86 | 0,92 | -3,46 |
| RE 02-2 | 20,89 | 25,84 | -10,59 | PD 08-2 | 0,77 | 0,96 | -10,85 |
| RE 02-3 | 35,76 | 43,96 | -10,29 | PD 08-3 | 1,83 | 1,72 | 3,02 |
| RE 03-1 | 2,53 | 2,35 | 3,62 | PD 09-1 | 1,60 | 1,40 | 6,74 |
| RE 03-2 | 4,53 | 3,98 | 6,40 | PD 09-2 | 1,42 | 1,50 | -2,50 |
| RE 03-3 | 6,63 | 7,06 | -3,16 | PD 09-3 | 2,28 | 2,53 | -5,38 |
| RE 04-1 | 1,74 | 1,66 | 2,28 | LC 01-1 | 0,88 | 0,93 | -2,71 |
| RE 04-2 | 1,43 | 1,54 | -3,54 | LC 01-2 | 1,58 | 1,67 | -2,75 |
| RE 04-3 | 4,22 | 4,66 | -4,89 | LC 01-3 | 14,99 | 16,44 | -4,62 |
| RE 05-1 | 1,78 | 1,88 | -2,77 | LC 02-1 | 0,78 | 0,94 | -9,26 |
| RE 05-2 | 2,26 | 2,39 | -2,78 | LC 02-2 | 0,81 | 0,81 | 0,28 |
| RE 05-3 | 2,92 | 3,67 | -11,37 | LC 02-3 | 0,95 | 1,05 | -5,35 |
| RE 06-1 | 4,14 | 4,83 | -7,65 | LC 04-1 | 1,62 | 1,72 | -2,99 |
| RE 06-2 | 5,91 | 6,73 | -6,47 | LC 04-2 | 1,28 | 1,35 | -2,85 |
| RE 06-3 | 6,95 | 8,24 | -8,48 | LC 04-3 | 4,04 | 5,05 | -11,03 |
| RE 07-1 | 5,38 | 5,83 | -4,05 | LC 05-1 | 3,07 | 3,27 | -3,04 |
| RE 07-2 | 4,98 | 5,57 | -5,58 | LC 05-2 | 4,32 | 4,85 | -5,83 |
| RE 07-3 | 5,33 | 5,59 | -2,38 | LC 05-3 | 17,13 | 21,27 | -10,78 |
| RE 08-1 | 1,42 | 1,33 | 3,41 | LC 06-1 | 3,42 | 3,19 | 3,45 |
| RE 08-2 | 0,78 | 0,91 | -7,22 | LC 06-2 | 1,17 | 1,34 | -6,87 |
| RE 08-3 | 0,77 | 0,81 | -2,85 | LC 06-3 | 21,13 | 23,88 | -6,11 |
| PD 01-1 | 2,00 | 1,89 | 2,87 | LC 07-1 | 2,15 | 2,38 | -5,10 |
| PD 01-2 | 2,45 | 2,53 | -1,60 | LC 07-2 | 1,43 | 1,46 | -1,13 |
| PD 01-3 | 6,04 | 6,62 | -4,53 | LC 07-3 | 1,04 | 1,12 | -3,56 |
| PD 02-1 | 2,53 | 2,82 | -5,50 | LC 08-1 | 2,52 | 2,56 | -0,87 |
| PD 02-2 | 6,65 | 7,23 | -4,22 | LC 08-2 | 0,89 | 1,05 | -8,53 |
| PD 02-3 | 16,31 | 20,87 | -12,25 | LC 08-3 | 1,20 | 1,16 | 1,66 |
| PD 03-1 | 1,68 | 1,55 | 3,76 | LC 09-1 | 1,18 | 1,25 | -3,26 |
| PD 03-2 | 6,96 | 7,11 | -1,10 | LC 09-2 | 0,82 | 0,86 | -2,31 |
| PD 03-3 | 20,58 | 22,41 | -4,28 | LC 09-3 | 0,82 | 0,82 | -0,02 |
| PD 05-1 | 2,03 | 1,98 | 1,30 | LC 10-1 | 1,72 | 1,37 | 11,29 |
| PD 05-2 | 1,30 | 1,38 | -2,82 | LC 10-2 | 0,85 | 1,40 | -24,75 |
| PD 05-3 | 1,08 | 1,20 | -5,60 | LC 10-3 | 0,85 | 1,04 | -10,04 |

4.3.5. Correlazione tra CE, S.A.R., Indice BEX

Nei grafici delle Figg. 4.11-4.12-4.13 è rappresentata la correlazione tra i valori di CE, S.A.R. e indice BEX determinati per i campioni dei profili RE, PD ed LC. Al riguardo dei campioni del transetto RE, si può osservare dal grafico in Fig. 4.11 che i valori corrispondenti le tre profondità dei profili presentano andamenti simili. I parametri di CE e S.A.R. risultano alti nei profili più prossimi alla costa e vanno a diminuire in quelli nell'entroterra. Per quanto riguarda l'indice BEX del primo profilo, l'algoritmo non ha restituito alcun valore, questo perché tale indice pone delle condizioni necessarie che richiamano il Bilancio Ionico, che in questo caso è risultato fortemente negativo. Il secondo profilo presenta un BEX negativo, indice di un processo di salinizzazione in corrispondenza di CE e S.A.R. elevati in superficie e a profondità intermedia. I successivi campioni RE presentano correlazione di CE e S.A.R. bassi, un BEX positivo indicativo di un processo di dolciificazione, in cui il Ca^{2+} risulta adsorbito al complesso di scambio. Nell'ultimo profilo, RE 08 si è in una situazione di equilibrio per cui non è possibile capire se sia in atto un processo di salinizzazione o dolciificazione.

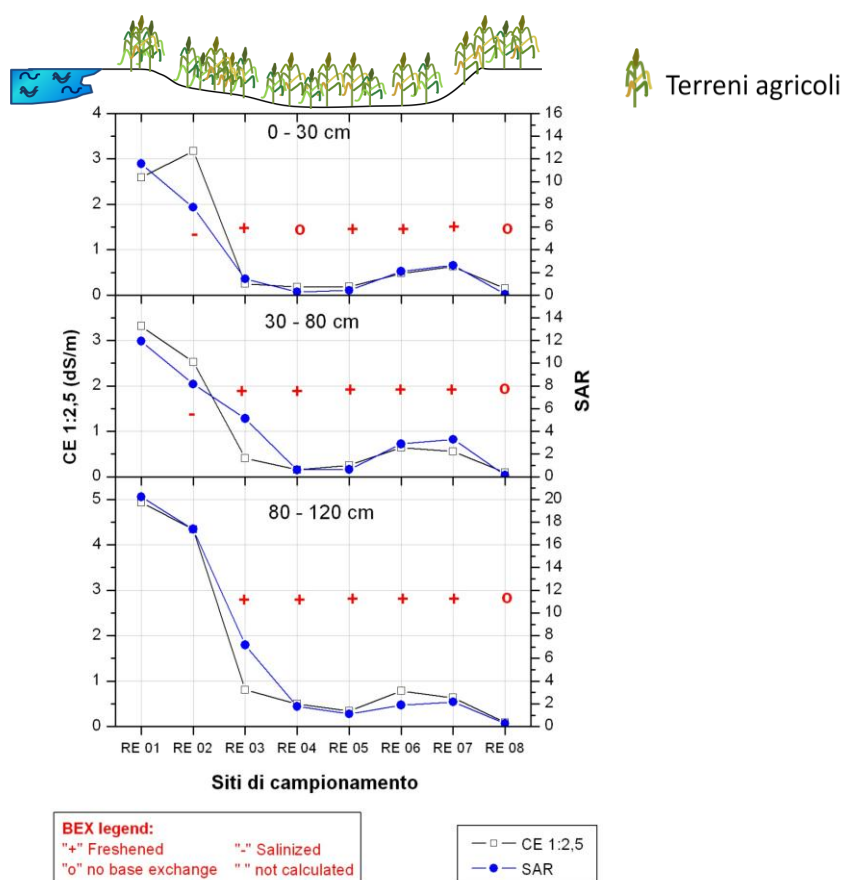


Figura 4.11 - Grafico di correlazione tra CE, S.A.R. e indice BEX relativo al transetto RE.

Nel grafico di Fig. 4.12, relativo al transetto PD, è possibile osservare come in superficie gli andamenti di CE e S.A.R. si sovrappongono mentre, alle profondità maggiori, pur avendo lo stesso andamento, i parametri del S.A.R. risultano più elevati, questo perché le concentrazioni di Na^+ risultano maggiori rispetto a quelle di Ca^{2+} e Mg^{2+} . In corrispondenza del profilo PD 05 queste differenze di concentrazione tendono ad attenuarsi e di conseguenza gli andamenti di CE e SAR ritornano pressoché sovrapposti. Procedendo verso l'interno i valori tendono nuovamente a divergere tra loro. Per quanto riguarda il BEX, in corrispondenza degli orizzonti superficiali, è possibile rinvenire tutte e tre le situazioni indicate dall'indice di Stuyfzand. Da notare che in corrispondenza del profilo PD 02 a 0-30 cm, nonostante valori non elevati di CE e di S.A.R., il BEX risulta comunque negativo indicativo della presenza di K^+ , Na^+ e Mg^{2+} nel complesso di scambio. Man mano che si scende di profondità, 30-80 cm e 80-120 cm, troviamo soprattutto situazioni di dolciificazione, anche nei casi in cui il S.A.R. è elevato, questo dato dalla presenza di acque carbonatiche con basse quantità di Cl^- .

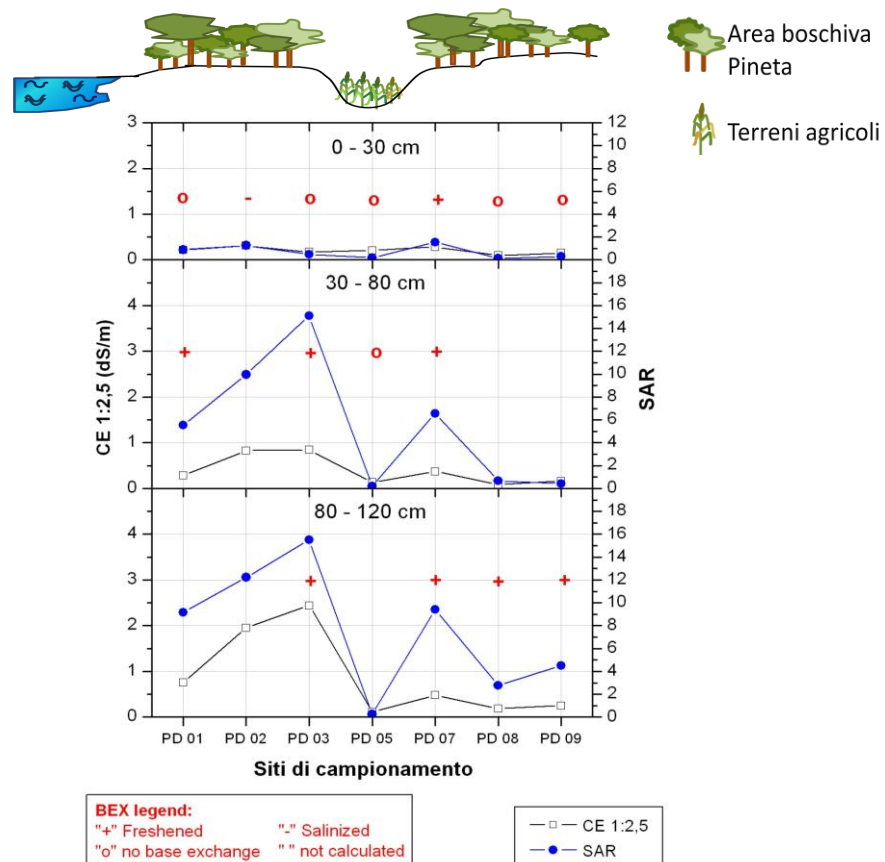


Figura 4.12 - Grafico di correlazione tra CE, S.A.R. e indice BEX relativo al transetto PD.

Il transetto più a sud (LC) mostra valori bassi di CE e S.A.R. sia in superficie che a profondità intermedia (Fig. 4.13). Eccezione si presenta nel primo profilo costiero a profondità 30-80 cm in cui il S.A.R. risulta essere più elevato e dalla tavola di calcolo dell'Indice BEX si individuano il sodio e il bicarbonato come ioni dominanti. Gli elementi campionati alla massima profondità presentano bassi valori dei parametri dal profilo LC 07 in poi. Nei precedenti campioni si individuano due picchi particolarmente elevati in corrispondenza di LC 01, data la sua vicinanza alla costa, e di LC 05 e 06 per i quali, sulla base delle analisi eseguite, è possibile affermare che gli ioni principali sono Na^+ e HCO_3^- presentando un indice BEX positivo. In generale si osservano fenomeni di dolcificazione e di equilibrio diffusi in tutte le profondità di tutti i profili.

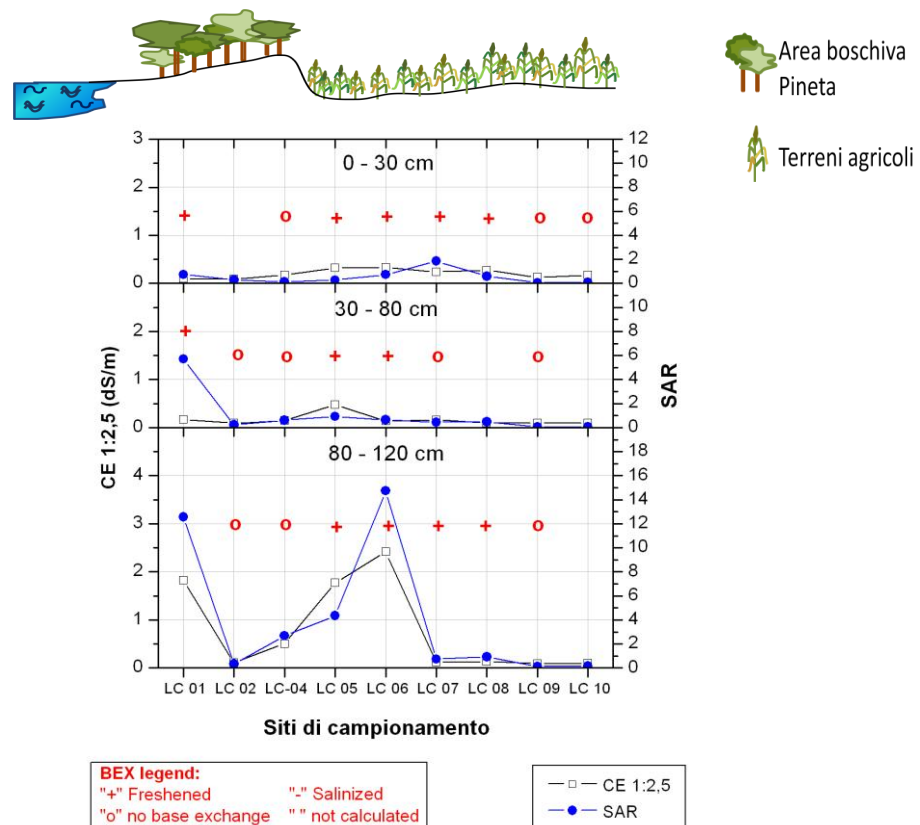


Figura 4.13 - Grafico di correlazione tra CE, S.A.R. e indice BEX relativo al transetto LC.

4.3.6. Rapporto $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{HCO}_3^-$

Nei tre grafici di Figg. 4.14-4.15-4.16, è stato analizzato il rapporto $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{HCO}_3^-$ dei transetti RE, LC e PD. In ascisse troviamo la serie dei campioni lungo i transetti, in ordine di posizione, da quello situato vicino costa a quelli nell'entroterra. Tale rappresentazione è stata paragonata al diagramma L-L, in modo tale di ottenere la medesima suddivisione della composizione delle acque. Nei tre grafici quindi al di sopra della linea posta in corrispondenza del valore 2 ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{HCO}_3^- = 2$) si posizionano le acque solfato-clorurato alcaline; al di sotto della linea posta in corrispondenza del valore 0,5 ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{HCO}_3^- = 0,5$) si posizionano le acque bicarbonato-alcalino terrose, mentre nell'intorno del valore 1 ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{HCO}_3^- = 1$) vengono a trovarsi le acque solfato-clorurato alcalino terrose e bicarbonato-alcaline distinte dai diversi simboli, il cerchio per le prime (<25 perc.) e il triangolo per le seconde (>25 perc.).

E' stata effettuata anche la divisione delle profondità campionate dei profili in modo tale da rendere visibili i contributi nei vari strati (0-30 cm, 30-80 cm, 80-120 cm). Al di sopra di ogni figura è stata posizionata una rappresentazione semplificata del contesto morfologico ed ambientale della situazione rinvenibile lungo il transetto di volta in volta analizzata, in modo da facilitare l'analisi dei risultati.

La prima osservazione che è possibile formulare osservando le Figg. 4.14-4.15-4.16, riguarda il fatto che il rapporto $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{HCO}_3^-$ aumenta man mano che si scende in profondità e questo fenomeno è ancora più evidente nei primi profili più vicini costa dove l'influenza di acqua marina è maggiore. Gli andamenti hanno correlazione con la morfologia e la quota s.l.m. dell'area, onde per cui dove sono presenti depositi di palude salmastra con quote intorno ai -3 m s.l.m., troviamo estratti acquosi tendenzialmente bicarbonato-alcalino terrosi e clorurato-alcalino terrosi, indice di interazione con la matrice solida (RE 05-06, PD 04, LC 05). Per quanto riguarda i campioni situati sui depositi di cordone dunale, è possibile notare come quelli costieri risentano dell'influenza dell'acqua di mare, della risalita capillare, mentre quelli più interni presentino estratti con composizione bicarbonato-alcalino terrosa.

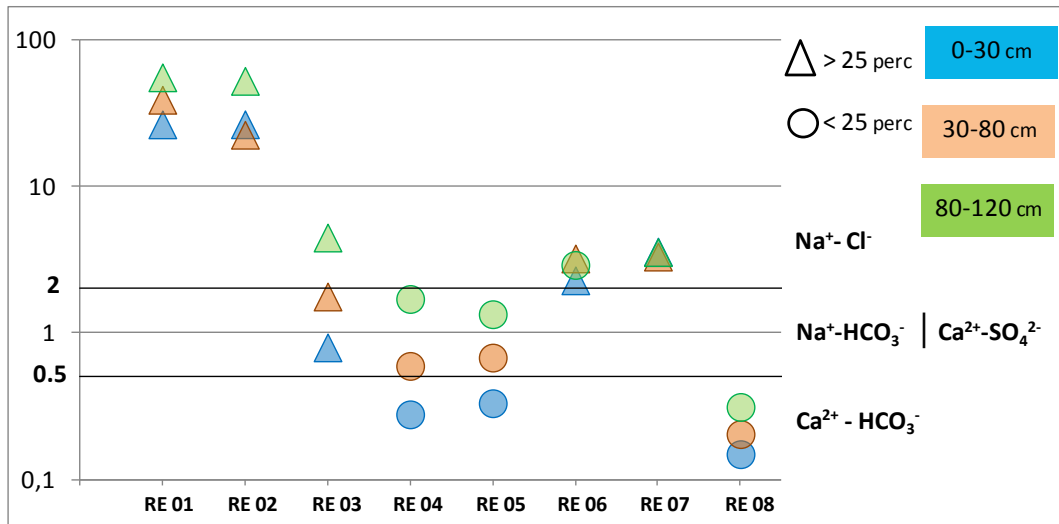
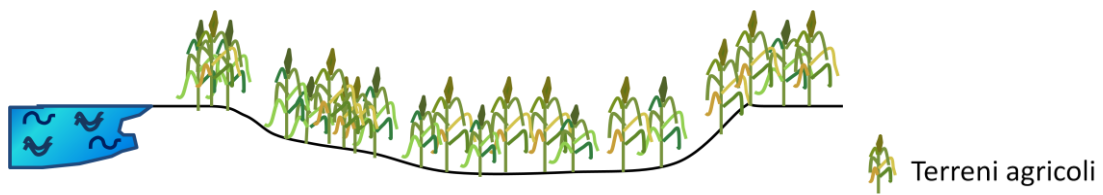


Figura 4.14 - Grafico del rapporto $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{HCO}_3^-$ relativo al transetto RE.

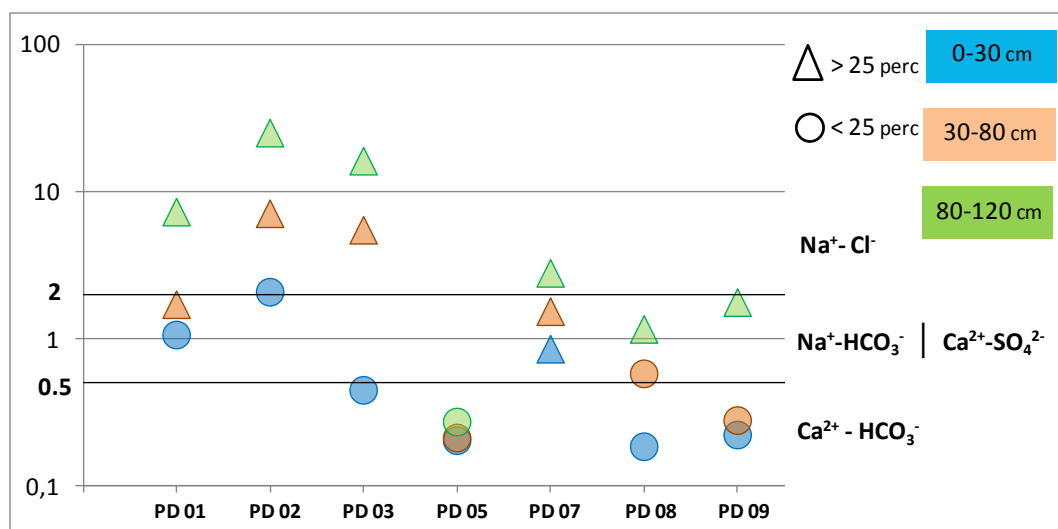
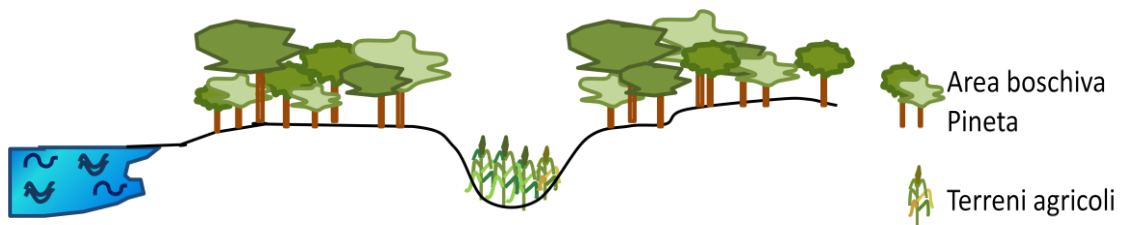


Figura 4.15 - Grafico del rapporto $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{HCO}_3^-$ relativo al transetto PD.

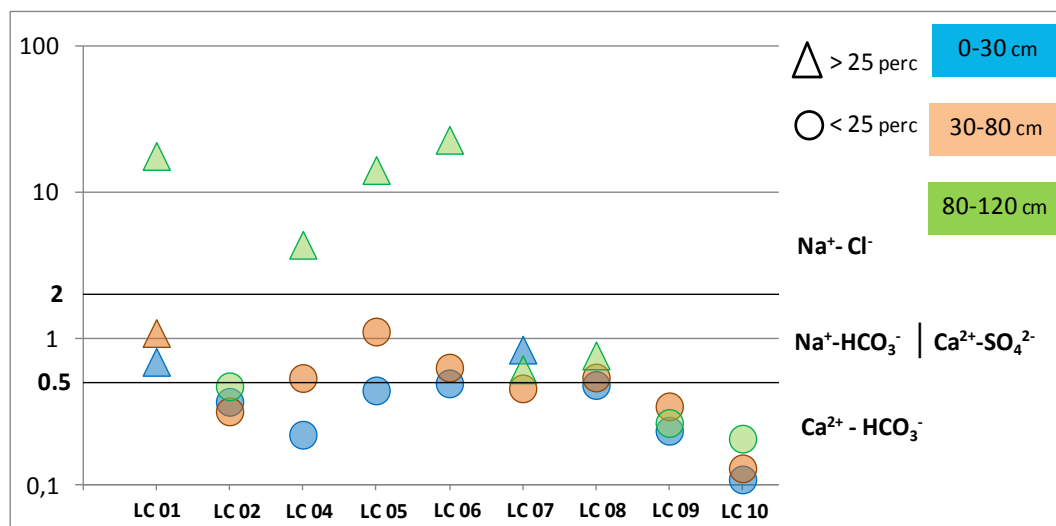
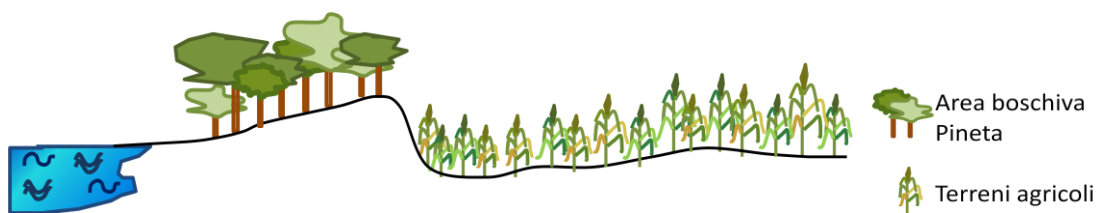


Figura 4.16 - Grafico del rapporto $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{HCO}_3^-$ relativo al transetto LC.

4.3.7. Confronto tra metodi per la determinazione della CSC

Per la determinazione della CSC si è scelto di considerare i valori ricavati dal dott. Resmi, ma si è comunque deciso di effettuare ulteriori analisi allo scopo di procedere ad un confronto tra diverse metodiche analitiche.

Infatti, in alcuni casi, le aliquote di suolo in nostro possesso, fornite dal dott. Resmi, non risultavano sufficienti per svolgere tutte le determinazioni analitiche previste. Per tale motivo, si è reso necessario procedere ad un ulteriore campionamento nei medesimi siti.

Vista la variabilità spaziale continua del suolo anche in un limitato intorno territoriale, si è ritenuto opportuno sfruttare l'occasione e procedere alla determinazione analitica della CSC dei nuovi campioni prelevati nei medesimi siti (PD 05, LC 04, LC 05) per poterli impiegare come termine di paragone con i risultati ottenuti dal dott. Resmi. Sempre al fine di procedere ad un confronto tra metodiche analitiche, su alcuni campioni sono state

applicate in parallelo, delle procedure analitiche distinte, desunte dalle normative in vigore, alcune delle quali leggermente modificate nella formula di calcolo.

In Fig. 4.17 è riportato uno specchietto riassuntivo dell'attività realizzata.

| Campione | Capacità di Scambio Cationico (cmol · kg ⁻¹) | | | | |
|-------------------------------|--|-------------------------|--------------------|------------------------------|--|
| | Metodo ISO 11260:1994 | Metodo XIII.2 GU n. 248 | | Metodo XIII.5 GU n. 248 | |
| | | Calcolo standard | Calcolo modificato | Somma delle basi scambiabili | |
| PD 05-1 PD 05-2 PD 05-3 | | | | | |
| LC 04-1 LC 04-2 LC 04-3 | | | | | |
| LC 05-1 LC 05-2 LC 05-3 | | | | | |
| RE 05-1 RE 05-2 RE 05-3 | | | | | |
| LC 04-1 LC 04-2 LC 04-3 | | | | | |

Verde campioni interni, analisi svolte da noi
 Giallo campioni del dott. Resmi, analisi svolte da noi
 Azzurro campioni del dott. Resmi, analisi svolte dal dott. Resmi

Figura 4.17 - Specchietto riassuntivo delle attività realizzate

Al riguardo si è ritenuto opportuno modificare la formula della CSC del metodo XIII.2 della G.U. 248 :

$$CSC = \frac{(V_B - V_A) * M * 1000}{m * 1000} * \frac{30}{10} * \frac{(30 + B - A)}{30} * 2$$

nella medesima espressione di calcolo del metodo ISO 11260:1994, in quanto ritenuta più appropriata:

$$CSC = \frac{\left(V_B - V_A * \frac{(30 + B - A)}{30} \right) * M * 1000}{m * 1000} * \frac{30}{10} * 2$$

Per la simbologia si rimanda al cap. Materiali e metodi pag. ...

Tale modifica è stata possibile perché i due metodi seguono la medesima procedura analitica, differendo unicamente per lo strumento di analisi con il quale viene determinata la concentrazione di Mg^{2+} rimasta in eccesso: FAAS per l'uno e titolazione per l'altro. La variazione delle due formule sta nell'ubicazione della differenza tra A e B (A = massa del tubo da centrifuga + il campione, espressa in g; B = massa del tubo da centrifuga + il campione dopo saturazione con soluzione di bario cloruro e lavaggio con H_2O 30 mL/10 mL), ossia il peso della soluzione di lavaggio rimasta nel campione di suolo nelle ampolle da centrifuga.

I risultati ottenuti sono riportati in Tab. 4.20. In generale è possibile notare valori maggiori in superficie che tendono a decrescere con la profondità, legati principalmente al contenuto di sostanza organica. La $CSC > 20$ viene considerata alta ed è indice di presenza di materia organica o di terreni argillosi. Valori bassi in profondità sono dovuti essenzialmente alla presenza di suoli sabbiosi.

I risultati delle analisi dei vari metodi hanno trend, in linea di massima, confrontabili tra loro. Si nota che il metodo XIII.2 G.U. con il calcolo standard, restituisce sempre valori più alti, ma questo è dato dall'espressione stessa di calcolo. I risultati ottenuti con la formula modificata presentano come atteso valori paragonabili a quelli del metodo ISO, ma anche al metodo XIII.5. Si osserva inoltre la presenza di un paio di valori negativi nei metodi ISO e XIII.2 con calcolo modificato. L'ottenimento di tali valori, benché palesemente inattendibili, è motivato probabilmente da una non sufficiente precisione nella misura dei valori V_A e V_B (V_A = volume della soluzione di EDTA utilizzato per la titolazione della soluzione del campione, espresso in ml; V_B = volume della soluzione di EDTA utilizzato per la titolazione della soluzione della prova in bianco, espresso in ml) sia in assorbimento atomico che per titolazione, quando questi sono molto vicini tra di loro. Confrontando i valori di CSC ottenuti dalla somma delle basi analizzate sui medesimi campioni del dott. Resmi si osserva una buona relazione con quelli precedentemente ottenuti. Ciò evidenzia una buona capacità di replicazione del dato.

Maggiori differenze si osservano invece dove l'analisi è stata svolta utilizzando campioni diversi, pur se prelevati nel medesimo sito. Questo a significare l'alta variabilità insita nella matrice del suolo stesso. In conclusione, fatta eccezione per i campioni con basso complesso di scambio, i metodi ISO e XIII.2 con calcolo modificato sembrerebbero essere quelli più appropriati in quanto sono metodi diretti di determinazione della CSC

rispetto al metodo XIII.5. In questo infatti, nonostante i lavaggi del campione e gli aggiustamenti di pH dell'estrante, possono presentarsi possibili sovrastime di Ca per dissoluzione di calcare.

Tabella 4.20 - Analisi relative alla CSC.

| Campione | Capacità di Scambio Cationico (cmol · kg ⁻¹) | | | | |
|----------|--|--|--------------------|------------------------------|------|
| | Metodo ISO 11260:1994 | Metodo XIII.2 GU n. 248 (BaCl ₂ pH 8,2) | | Metodo XIII.5 GU n. 248 | |
| | | Calcolo standard | Calcolo modificato | Somma delle basi scambiabili | |
| PD 05-1 | 12,9 | 17,1 | 10,1 | 12,8 | 4,6 |
| PD 05-2 | 6,4 | 10,1 | 4,3 | 6,7 | 4,9 |
| PD 05-3 | 0,5 | 10,7 | 5,1 | 9,4 | 5,3 |
| LC 04-1 | 4,0 | 8,8 | 3,6 | 5,6 | |
| LC 04-2 | -2,4 | 4,4 | -0,8 | 3,0 | |
| LC 04-3 | 0,6 | 8,8 | 3,5 | 5,4 | |
| LC 05-1 | 15,4 | 21,7 | 13,8 | 16,2 | 18,9 |
| LC 05-2 | 16,5 | 23,0 | 15,2 | 16,3 | 14,0 |
| LC 05-3 | 4,0 | 10,7 | 4,7 | 8,0 | 7,7 |
| RE 05-1 | 15,1 | 25,5 | 17,8 | 16,7 | 18,1 |
| RE 05-2 | 12,8 | 19,1 | 11,6 | 12,7 | 9,2 |
| RE 05-3 | 1,8 | 11,3 | 5,4 | 6,2 | 5,1 |
| LC 04-1 | 3,5 | 10,0 | 4,5 | 7,0 | 6,2 |
| LC 04-2 | -2,4 | 14,1 | -0,4 | 2,2 | 3,0 |
| LC 04-3 | 3,2 | 13,3 | 6,7 | 9,4 | 8,4 |

Verde campioni interni, analisi svolte da noi
 Giallo campioni del dott. Resmi, analisi svolte da noi
 Azzurro campioni del dott. Resmi, analisi svolte dal dott. Resmi

5. CONCLUSIONI

Come sottolineato nei capitoli precedenti, il contesto fragile e sensibile in cui si viene a trovare il sistema litoraneo in generale ha determinato modificazioni tali da aver richiamato l'attenzione su di essi. Tra i vari processi di degradazione il rischio di salinità merita senz'altro una trattazione approfondita soprattutto per il ruolo determinante che va assumendo al fine del successo delle colture negli ambienti costieri.

L'obiettivo che si prefiggeva questo lavoro è stato quello di effettuare una valutazione territoriale del rischio di salinizzazione, giungendo alle seguenti conclusioni:

- l'area oggetto di studio sud ravennate è un ambiente di pianura depressa che è stata oggetto di attività di bonifica che ha generato nei suoli serie di intercalazioni a carattere lamellare con alternanza di livelli a tessitura sabbiosa, argillosa e limosa con presenza di punti di discontinuità dati da apporti sedimentari e non da processi di pedogenesi;
- l'analisi dei profili Mira e dei profili definiti pregressi (BEACH1, CL1, CL3, Marani, PIN1) presentano, nella gran parte dei casi, suoli con valore di CE (1:2,5) inferiori a $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ definiti come normali, non salini. Solo due profili spiccano presentando orizzonti con delle CE elevate: Mira4 e PIN1. Il primo con una conducibilità elettrica pari a $2,64 \text{ dS m}^{-1}$ determinata principalmente da elevate concentrazioni di ioni Ca^{2+} e SO_4^{2-} che conferiscono al suolo un carattere solfato alcalino terroso. Il secondo, PIN1 presenta una CE di $1,95 \text{ dS m}^{-1}$ nell'orizzonte superficiale determinato da un accumulo di sali derivante da una falda superficiale con carattere salmastro, in un contesto ambientale che favorisce i fenomeni di evaporazione superficiale;
- il fenomeno dell'influenza del mare sulle falde acquifere nelle zone costiere, che si manifesta attraverso la miscelazione dell'acqua di mare con quella di falda, è stato confermato dai risultati delle analisi delle acque di falda del transetto (FTRIV) realizzato all'interno della Pineta Ramazzotti i quali evidenziano una CE elevata, indice di contaminazione da parte di acqua marina. Una conferma in tal senso è fornita dall'applicazione del Limite di Todd (MiPAF, 2001) ai campioni, che porta a classificarle come acque di falda lievemente - sensibilmente contaminate dal mare. Tale processo di salinizzazione appare tuttavia limitato all'attuale cordone

litoraneo e sembra fortemente influenzato dalla modalità di emungimento delle acque adottato in pineta;

- nelle porzioni territoriali più interne, in generale, non sono state individuate aree in cui siano presenti processi di salinizzazione significativi. Valori di CE elevati sono stati riscontrati nei profili orientali, prossimi alla costa, determinati principalmente dagli ioni sodio e cloruro. Nei rari casi in cui sono stati rilevati valori di CE elevati alla base di profili pedologici posti in zone più interne, si è potuto appurare come essi siano dovuti al fatto che il profilo è stato descritto su depositi di palude salmastra con quote intorno a -2 e -4 m s.l.m. dove l'anione principale è il solfato e non il cloruro.

Pur tenendo conto dell'elevata variabilità stagionale, climatica e spaziale, che inevitabilmente influenza i risultati ottenuti, questi indicano come il fenomeno di salinizzazione dei suoli sembri al momento significativo e degno di attenzione limitatamente alla pineta Ramazzotti. Questo cordone litoraneo di qualche metro di altezza s.l.m. è di estrema importanza, non solo perché substrato su cui si sviluppano le aree pinetali della costa, ma anche perché costituisce una potenziale barriera all'intrusione del cuneo salino. Sarà necessario porre particolare attenzione alla regimazione delle acque interne.

I territori immediatamente più interni risultano posti per gran parte in zona depressa, ad una quota significativamente inferiore, con falda superficiale. Al momento, in tale porzione territoriale non sembrano essere presenti fenomeni di salinizzazione degni di nota, ad eccezione di alcune situazioni localizzate e fortunatamente solo in profondità.

Occorre ricordare come l'ambiente costiero sia significativamente "artificiale" e come sia soggetto a molteplici forme di pressione rappresentate dalla subsidenza, dall'aumento del livello dei mari, dalle attività antropiche.

Piccole modificazioni ambientali, o politiche di gestione territoriale errate, possono indurre effetti assai gravi su tale ambiente che deve perciò essere oggetto di un costante monitoraggio.

6. BIBLIOGRAFIA

AEA (Agenzia europea dell'ambiente), 1995. Ambiente Europa, *La valutazione di Dobbris*; Conference of Environment Ministers a Sofia.

Alvarez Rogel J., Ortiz Silla R., Vela de Oro N., Alcaraz Ariza F., 2001. The application of the FAO and US soil taxonomy systems to saline soils in relation to halophytic vegetation in SE Spain. *Catena* 45 (2001). 73–84

APAT, IRSA-CNR, 2003. Metodi analitici per le acque. Manuali e linee guida 29/2003, APAT.

Barbiroli G., Casalicchio G., Turtura G. C., Raggi A., 2000. Indici di Qualità Ambientale dei Suoli. Franco Angeli Ed., Milano.

Bondesan M., Favero V., Vinalis M.J., 1995. New evidence on the evolution of the Po Delta coastal plain during the Holocene. *Quaternary International*, 29/30:105-110.

Carlioni L., 1989. I terreni alcalini e salini. In: *Chimica del suolo* (Sequi P., Ed.). Pàtron Editore. Bologna.

Carminati E., Martinelli G., 2002. Subsidence rates in the Po Plain, northern Italy: the relative impact of natural and anthropogenic causation. *Engineering Geology* 66 (2002) 241–255.

Celico P., 2004. Elementi di idrogeologia, Liguori Editore.

Commissione delle Comunità Europee, 2001. Verso una strategia tematica per la protezione del suolo. COM(2001)179 definitivo. RELAZIONE DELLA COMMISSIONE AL CONSIGLIO, AL PARLAMENTO EUROPEO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE E AL COMITATO DELLE REGIONI. Bruxelles.

Commissione delle Comunità Europee, 2006. Strategia tematica per la protezione del suolo. COM(2006)231 definitivo. COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL CONSIGLIO, AL PARLAMENTO EUROPEO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI. Bruxelles.

Doran, J.W., e Parkin T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Publ. No. 35, Soil Sci. Soc. Am., Inc. and Am. Soc. Agron., Inc., Madison, WI.

Duchaufour, 1983. Pédogenèse et classification, 1. Masson et C.ie, Paris.

Dumas J.B.A., 1831. Procédés de l'analyse organique. Ann.Chim.Phys. 247: 198-213

Dyson P.R., 1990. The development, dynamics and management of groundwater systems and dryland salinity in the Upland of south-eastern Australia. In: Management of soil salinity in south-eastern Australia. Riverine Branch.: Aus. Soc. Soil Sci. 253-267.

ENEA, 2006. Salinizzazione e qualità delle acque: impatti e ipotesi di mitigazione. A cura di Colonna N., Iannetta M., Palucci A. Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, ENEA,Roma.

Fierotti G., Dazzi C., Tusa D. 1999. Riflessi dell'irrigazione con acque saline sulla qualità dei suoli. Atti Convegno POM "OTRIS": "Le acque salmastre come risorsa idrica: limiti e prospettive". Foggia, 5 maggio 1999. 7-22.

Gessa C., Testini C., 1989. Lo scambio cationico. In: Chimica del Suolo (P. Sequi, Ed.). Pàtron Editore. Bologna.

Kennewell B.K., 1999. Investigations into the management of dry saline land. PIRSA Technical Report N. 272.

IUSS Working Group WRB, 2006. World Reference Base for soil resources 2006. 2nd ed. World Soil Resources Reports N. 103. FAO, Rome.

Langelier W.F., Ludwig H.F., 1942. Graphical methods for indicating the mineral character of natural water. J.A. Water Works Assoc., 34: 335-347.

Allison L. E., Bernstein L., Bower C. A., Brown J. W., Fireman M., Hatcher J. T., Hayward H. E., Pearson G. A., Reeve R. C., Richards L. A., Wilcox L. V., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture Hand book 60, USDA.

MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, 2000. Metodi di Analisi Chimica del Suolo. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi. Franco Angeli Ed.

MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, 2001. Metodi di Analisi delle Acque per uso Agricolo e Zootecnico. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi. Franco Angeli Ed.

Monteleone M., 2006. Problematiche della salinità nelle aree irrigue meridionali. Rivista di Agronomia, 1: 129-202.

Ordine del Giorno de IL CONSIGLIO COMUNALE, 2012. Atto di indirizzo del Consiglio Comunale per la rinaturalizzazione della Pineta Ramazzotti e del prospiciente sistema dunale. Ravenna.

Preti M. 1999. Trasgressione olocenica ed equilibri tra terra e mare nella pianura a sud del Po. Rivista scientifica "Giornale di Geologia", edito a cura del Dipartimento delle Terra e Geologico-Ambientali dell'Università di Bologna. Vol. 61.

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

Raimondi S., Scotti C., Sarno G., 2010. Salinità: opportunità oppure pericolo per suoli e colture? Rivista Agricoltura.

Riley J.P. e Skirrow G. (Eds), 1975. Chemical oceanography. Acad. Press, London & NY.

Rivelli A., Tarantino E., 1999. Le acque saline come risorsa irrigua. Atti del Seminario "Utilizzo delle Acque Salmastre in Agricoltura" (Progetto POM-OTRIS), Macerata.

Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., Broderick W.D. (Eds), 2002. Field book for describing and sampling soils, Ver. 2.0. National Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, 2005. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. foglio 240 Forlì-Cervia. A cura di Cibin U., Severi P., Correggiari A., Roveri M., APAT. Roma.

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, 2011. Carta della salinità dei suoli della Pianura emiliano-romagnola. Strato 0-50 cm. Prima approssimazione scala 1:250.000.
www.ambiente.regione.emilia-romagna.it

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, 2011. Carta della salinità dei suoli della Pianura emiliano-romagnola. Strato 50-100 cm. Prima approssimazione scala 1:250.000.
www.ambiente.regione.emilia-romagna.it

Shanley K.W., McCabe P.J., 1994. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental stata. AAPG Bulletin, 78, 544-568.

Soil Survey Division Staff, 1993. Soil Survey Manual. USDA.

Soil Survey Staff, 2010. Keys to soil taxonomy, 11th ed. USDA-NRCS, Washington, DC.

Sorensen S.P.I., 1909. Enzyme studies: The measurement and importance of the hydrogen ion concentration in enzyme reaction. Compt. Rend. Trav. Lab. (Carlsberg) 8:1

Stuyfzand P. J., 2008. Base Exchange Indices as Indicators of Salinization or Freshening of (Coastal) Aquifers. 20th Salt Water Intrusion Meeting: Naples FL USA, 23-27 June 2008.

Todd D.K., 1959. Groundwater Hydrology. Shon Wiley e Sons Inc., London.

United States Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook n° 60. L. A. Richards Ed.

Violante P., 1996. Chimica del suolo e della nutrizione delle piante. Edagricole, Bologna.

Visconti F., Miguel de Paz J., Luis Rubio J., 2010. What information does the electrical conductivity of soil water extracts of 1 to 5 ratio (w/v) provide for soil salinity assessment of agricultural irrigated lands? Contents lists available at ScienceDirect. Geoderma 154 (2010) 387–397.

www.parcodeltapo.it

www.ambiente.regione.emilia-romagna.it

www.geo.regione.emilia-romagna.it

www.suolo.it

www.eusoils.jrc.ec.european.eu

www.ermesagricoltura.it