



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**CARATTERIZZAZIONE DI SUOLI
AGRARI AFFETTI DA SALINITÀ E
IPOTESI DI RECUPERO CON L'UTILIZZO
DI DIGESTATO COMPOSTATO (AZIENDA
BOLOGNA MIRIAM, LIDO DI SPINA, FE)**

**CHARACTERIZATION OF CULTIVATED
SALT-AFFECTED SOILS AND RECOVERY
HYPOTESIS WITH THE APPLICATION OF
COMPOSTED DIGESTATE (BOLOGNA
MIRIAM FARM, LIDO DI SPINA, FE)**

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
RICCARDO PIERONI

Relatore:
PROF. STEFANIA COCCO

Correlatore:
DOTT. VALERIA CARDELLI
DOTT. DOMINIQUE SERRANI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

SOMMARIO

| | |
|---|----|
| SOMMARIO | 1 |
| CAPITOLO 1 INTRODUZIONE: | 2 |
| 1.1 Suoli Salini..... | 2 |
| 1.2 Metodi di Bonifica | 8 |
| 1.3 Digestato Compostato | 10 |
| CAPITOLO 2 SCOPO DELLA TESI: | 12 |
| CAPITOLO 3 MATERIALI E METODI: | 13 |
| 3.1 Sito di Studio..... | 13 |
| 3.2 Processo di Compostaggio del Digestato..... | 16 |
| 3.3 Campionamento Pedologico | 17 |
| 3.4 Analisi Chimico Fisiche..... | 20 |
| 3.4.1 Tessitura..... | 20 |
| 3.4.2 TOC | 21 |
| CAPITOLO 4 RISULTATI ANALISI: | 23 |
| 4.1 Analisi Morfologica..... | 23 |
| 4.2 Analisi Fisico-Chimiche | 28 |
| CAPITOLO 5 DISCUSSIONE:..... | 31 |
| 5.1 Analisi Morfologica..... | 31 |
| 5.2 Analisi Fisico-Chimiche | 32 |
| CAPITOLO 6 CONCLUSIONI: | 34 |
| BIBLIOGRAFIA | 35 |

Capitolo 1

INTRODUZIONE:

1.1 Suoli Salini

Tutti i suoli contengono naturalmente sali più o meno solubili, ed alcuni di questi sono essenziali per la crescita delle colture, tuttavia quando si accumulano abbastanza sali solubili da raggiungere una concentrazione maggiore del 0,2% (peso/volume) e una conducibilità elettrica dell'estratto di pasta satura (ECe) superiore a 4 dS/m il suolo viene definito "salino", in questo caso la salinità è tale da attivare dei processi degradativi che influenzano la resa delle colture, l'ambiente e lo sviluppo degli organismi (Canfora et al., 2017).

I sali accumulabili includono sodio (Na^+), solitamente il più comune, calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) e potassio (K^+), specialmente sotto forma di cloruri (Cl^-), ma anche di solfati (SO_4^{2-}) (Tomaz et al., 2020).

I suoli che sono affetti dalla salinità possono essere trovati in più di cento Paesi in tutto il mondo. È stato stimato che circa il 15% della totalità delle terre mondiali è affetto da deterioramento chimico e fisico, inclusa la salinizzazione dei suoli. Il resoconto fatto da FAO/UNESCO basato sui dati provenienti dalla World Soil Map dichiara che 954 milioni di ettari di suolo in tutto il mondo sono affetti da salinità e scarsa fertilità. I paesi affetti da questo problema sono localizzati solitamente nelle regioni aride o semi-aride, comprendendo quindi Nord e Sud America, Australia, Cina, India, le regioni Medio-orientali, il Sud-est Asiatico e le regioni Mediterranee. Le regioni aride e semi-aride coprono approssimativamente il 46% dell'area mondiale, e circa il 50% delle aree irrigate in queste zone climatiche presentano diversi livelli di problemi con la salinità (Okur et al., 2020). L'elevata presenza di suoli salini in queste zone è da attribuire al processo di evapo-concentrazione dei sali, ovvero alla perdita di acqua tramite evaporazione dal terreno e/o traspirazione della copertura vegetale a seguito della quale i sali rimangono nel suolo (Tomaz et al., 2020).

conducibilità elettrica (EC) e il rapporto di adsorbimento del sodio (SAR) o la percentuale di sodio scambiabile (ESP). Perciò avremo suoli salini che saranno caratterizzati da $EC > 4$ dS/m, una $ESP < 15$ e un $pH < 8.5$, in quanto vi è un'alta concentrazione di sali che però non sono solamente basici e non contengono prevalentemente Na; contrapposti ad essi ci sono i suoli sodici, i quali hanno valori di $EC < 4$ dS/m, $ESP > 15$ e $pH > 8.5$ per via della concentrazione salina che non deve essere elevata, al contrario della presenza del Na. Nel mezzo si pone la condizione del suolo salino-sodico che presenta caratteristiche intermedie fra i due sopra descritti (Burt, 2011).

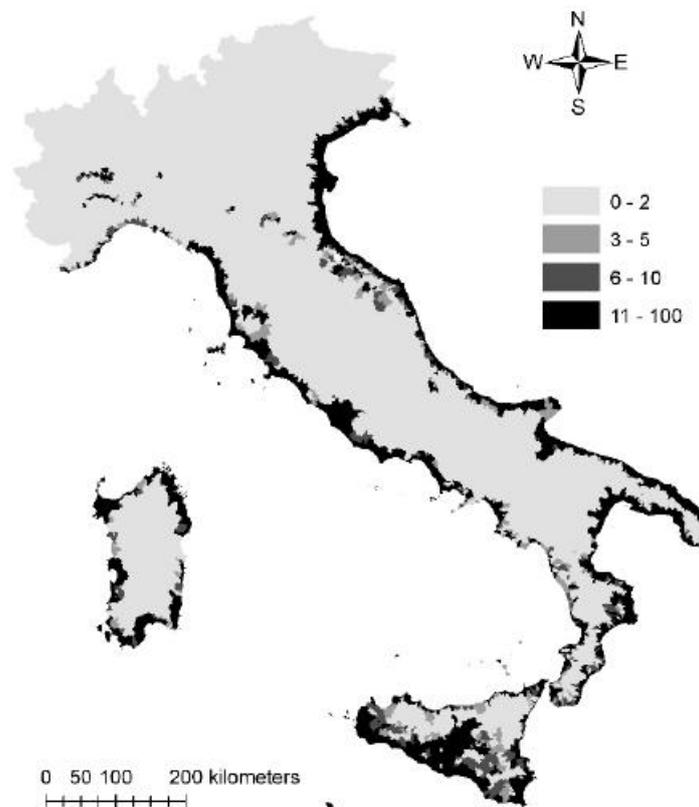


Figura 2. Distribuzione e percentuale delle zone italiane a rischio salinizzazione primaria del suolo (Canfora et al., 2017)

Tabella 1 - Classificazione dei suoli salino-sodici (Burt, 2011; Tomaz et al., 2020; U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)

| Suolo | EC (dS/m) | ESP ^a | pH |
|---------------|-----------|------------------|------|
| Salino | >4 | <15 | <8.5 |
| Salino-Sodico | >4 | >15 | <8.5 |
| Sodico | <4 | >15 | >8.5 |

^aESP= Percentuale di $[Na^+] / [CSC] * 100$

I due sistemi di classificazione dei suoli più diffusi introducono valori soglia della E_{Ce} per classificare un orizzonte del suolo come salino: il World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB, 2014) considera il valore soglia della E_{Ce} pari a 14 dS m⁻¹ per definire un orizzonte salico, mentre secondo la USDA Soil Taxonomy il valore soglia è pari a 30 dS m⁻¹. In aggiunta, USDA Soil Taxonomy definisce le caratteristiche di due orizzonti tipici di questi suoli, ovvero il Salic e il Natric. Il Salic è un orizzonte sotto-superficiale dove si accumulano sali più solubili del gesso e per definire la sua presenza è necessario che la E_{Ce} sia superiore al valore soglia (30 dS m⁻¹) per almeno 90 giorni consecutivi di un anno normale e che il suo spessore sia di almeno 15cm. Il Natric invece è un orizzonte illuviale sotto-superficiale, che presenta una maggiore percentuale di argille silicate rispetto agli orizzonti sovrastanti per via del processo di illuviazione dell'argilla, il quale viene favorito dalle proprietà dispersive del sodio. Le caratteristiche richieste per questo tipo di orizzonte sono: spessore minimo di 7,5 cm o 15cm in base alla grandezza degli aggregati; esistenza di evidenze di illuviazione di argilla, come film sui pori, ponti fra i grani di sabbia e maggiore presenza di argilla rispetto agli orizzonti sovrastanti; struttura colonnare, prismatica o a grandi blocchi; ESP > 15% (oppure SAR > 13) entro i 40 cm dal limite superiore dell'orizzonte (Soil Survey Staff, 2014).

L'accumulo di sali nel suolo è dovuto alla presenza di una fonte di sali e dall'insufficienza di precipitazioni e/o drenaggio che permettano il loro dilavamento. Possono essere individuati due tipi di salinizzazione: salinizzazione primaria (naturale) e salinizzazione secondaria (di origine antropica). La salinizzazione primaria è soprattutto dovuta alla presenza di falde freatiche di origine marina, all'effetto della marea, al deposito di sale marino portato dal vento e/o all'effetto capillare che crea un

flusso ascendente dalla falda come conseguenza dell'evapotraspirazione. La salinizzazione di origine antropica invece può essere causata dall'uso di acqua d'irrigazione ricca in sali solubili, dall'inadatta gestione dell'irrigazione (profondità inadeguate e distribuzioni irregolari che causano la risalita della falda), dall'uso intensivo di fertilizzanti e ammendanti (soprattutto in condizioni di scarsa lisciviazione), e dall'uso di acque reflue o prodotti salini di origine industriale (Ghassemi et al., 1995). Inoltre, ingenti prelievi di acqua sotterranea, specialmente nelle falde acquifere costiere, portano all'intrusione di acqua salata nella falda e alla conseguente degradazione della qualità dell'acqua d'irrigazione (Pisinaras et al., 2010). È probabile che l'importanza della salinizzazione secondaria aumenterà ulteriormente in seguito alla futura estensione delle zone aride e all'aumento della frequenza di periodi di scarsità d'acqua causati dal cambiamento climatico, e dal conseguente aumento del fabbisogno irriguo; l'aumento della domanda d'acqua unito alla scarsità di questa risorsa infatti, porta alla necessità di adottare misure di gestione sostenibile dell'acqua, come l'aumento dell'efficienza dei sistemi irrigui, l'adozione di strategie di deficit irriguo, o l'uso agricolo di acqua con qualità non ottima. Tuttavia, queste opzioni di gestione rischiano di contribuire alla salinizzazione del suolo, in quanto, l'aumento dell'efficienza dell'irrigazione porterà alla riduzione della lisciviazione dei sali per via del minore volume di acqua somministrata (Tomaz et al., 2020).

La condizione di stress salino limita la crescita della pianta, riduce la germinabilità dei semi, e induce una scarsa vitalità delle piantine per via del più basso potenziale osmotico nel semenzaio e/o dell'effetto tossico degli ioni verso i semi germinati (Tomaz et al., 2020)

Muuns (2002) presenta il concetto di "risposta bifase della crescita alla salinità" che consiste in una fase iniziale di crescita ridotta per via dell'effetto osmotico, simile alla risposta iniziale allo stress idrico, con lievi differenze fra i genotipi; la seconda fase, ad effetto più lento, risulta dall'effetto tossico dei sali accumulati nelle foglie; in questa fase una pianta o un genotipo sensibili al sale differiscono da piante tolleranti per via della loro impossibilità di evitare l'accumulo di sali nelle foglie sopra livelli tossici (Läuchli and Grattan, 2007). Le risposte della pianta allo stress salino e allo stress idrico hanno molto in comune, in quanto la salinità riduce la capacità delle piante di

assorbire acqua, insieme ad una serie di cambiamenti metabolici analoghi a quelli causati dallo stress idrico (Munns, 2002). Negli stadi iniziali l'esposizione al sale induce una riduzione della crescita e della divisione cellulare e una riduzione della crescita fogliare. In stadi più avanzati prende luogo una riduzione della crescita dei germogli e della grandezza della pianta. I sintomi visivi appaiono gradualmente: nelle prime fasi si notano giallumi, crescita stentata e avvizzimento; mentre in fase avanzata appaiono clorosi delle parti verdi e necrosi delle foglie (Machado and Serralheiro, 2017).

Oltre ai danni causati dall'alta concentrazione di sali è da tener conto l'eventuale elevata presenza di ioni Na^+ , i quali costituiscono un agente altamente dispersivo che porta al disfacimento degli aggregati strutturali del suolo; l' Na^+ scambiabile in soluzione e nel complesso di scambio contribuisce alle forze repulsive che disperdono le particelle argillose. Di conseguenza vengono peggiorate le proprietà chimiche, fisiche e, a cascata, anche quelle microbiologiche del suolo. Per via di questi ioni che disgregano la struttura, si creano quindi condizioni indesiderate, influenzando lo scambio di acqua e aria fra terreno e atmosfera, riducendo l'aerazione del suolo, la sua porosità e il suo contenuto idrico. Applicato ad una condizione di salinità avremo un suolo che in condizioni secche manterrà un'ottima struttura ma che, una volta inumidito, porterà alla dispersione dei colloidi e quindi alla formazione di una struttura che non permette la discesa di acqua lungo il profilo, il che si estende anche all'utilizzo di acqua per la lisciviazione dei sali, la quale rimarrà nel profilo e una volta evaporata permetterà ancora il loro accumulo (Businelli, 2009; Tan, 1993).

Gli effetti negativi si riscontrano anche nelle caratteristiche biologiche del suolo, come l'attività enzimatica, la respirazione, la biodiversità e la biomassa della popolazione microbica. Questi impatti, a loro volta, influenzano la produttività attraverso la riduzione del ciclo dei nutrienti, della fissazione del carbonio, della porosità e della resistenza agli stress biotici (Bello et al., 2021).

1.2 Metodi di Bonifica

Le perdite nella produzione indotte dalla salinità possono essere mitigate preventivamente attraverso l'utilizzo di pratiche gestionali che siano adeguate al suolo, alla pianta e alle condizioni ambientali. L'obiettivo di queste strategie è principalmente quello di garantire un equilibrio salino favorevole nella zona interessata dalle radici e di mantenere la struttura del suolo. In linea teorica, per ottenere questo equilibrio, la quantità di sali immessi deve essere controbilanciata dalla quantità di sali che vengono rimossi (Weil and Brady, 2016). Il metodo di controllo della salinità più utilizzato è la lisciviazione dei sali, ottenuta incrementando il volume di acqua per l'irrigazione di una quantità calcolata per questo scopo. L'efficacia di questo metodo dipende dall'uniformità di somministrazione dell'acqua, minore è l'uniformità d'irrigazione infatti, maggiore sarà l'acqua richiesta per controllare la salinità nelle zone meno irrigate del campo (Hanson, 2006); inoltre, anche il drenaggio del suolo è importante in quanto, in certe condizioni, il volume di acqua necessario per soddisfare i requisiti idrici per allontanare i sali dal profilo è notevole, presentando il rischio di ristagni idrici (Ayers and Westcot, 1985).

Altre pratiche di controllo della salinità che hanno avuto effetti positivi sono: l'uso di residui colturali lasciati sulla superficie del suolo per diminuire l'evaporazione; evitare applicazioni non necessarie di fertilizzanti (che sono fonte di diversi sali solubili); utilizzo di colture tolleranti; cambiare o miscelare le forniture di acqua; l'adozione di tecnologie per l'agricoltura di precisione, come l'irrigazione a rateo variabile (VRI) con sensori di salinità, per incrementare l'uniformità e l'efficienza d'irrigazione (Ayers and Westcot, 1985; Machado and Serralheiro, 2017; Weil and Brady, 2016).

Per la sodicità l'approccio classico prevede l'utilizzo di ammendanti chimici, come il gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$), per rimuovere gli ioni Na^+ dal complesso di scambio, sostituendoli con ioni Ca^{2+} . Un'altra possibilità è l'utilizzo di acido solforico (H_2SO_4) che reagisce nel suolo con il calcare (CaCO_3) e libera così Ca^{2+} (Ayers and Westcot, 1985; Weil and Brady, 2016). Tuttavia, per garantire l'efficacia degli ammendanti è necessario lisciviare gli Na^+ liberi che sono stati rimpiazzati dagli Ca^{2+} attraverso l'apporto di acqua (Tomaz et al., 2020).

Esiste anche un'ampia scelta di correttivi organici, come ad esempio il compost, utilizzabili per il recupero dei suoli affetti da salinità. Questi differiscono per caratteristiche e varietà di processi che inducono nel suolo, ma in generale il loro utilizzo fornisce elementi nutritivi essenziali (come N, P e K), ristabilisce le caratteristiche fisiche e chimiche del suolo e rigenera la popolazione microbica e la sua attività (Lakhdar et al., 2008; Hanay et al., 2004). Lo studio degli effetti di tali fertilizzanti sulle proprietà di suoli mediterranei mostra infatti un aumento di qualità e quantità del carbonio organico totale, un aumento di fosforo e azoto, e un aumento della biomassa microbica e dell'attività enzimatica (Melero et al. 2007).

In particolare, l'applicazione di sostanza organica promuove la flocculazione dei minerali argillosi, la quale è una condizione essenziale per l'aggregazione delle particelle del suolo; l'aggiunta di materiale organico provvede a cementare tra di loro le particelle del suolo, a formare aggregati più grandi e stabili in presenza di acqua, andando a migliorare la porosità e quindi l'aerazione del suolo, la quale è fondamentale per la crescita delle piante e dei microrganismi, nonché per il controllo dell'erosione (McConnell et al., 1993; Rasool et al., 2007). La conseguenza di questo miglioramento della struttura nei suoli miscelati con sostanza organica si palesa anche con un aumento del dilavamento dell'acqua salata. In particolare, si osserva un'accelerazione del lavaggio di Na^+ che porta ad una diminuzione della percentuale di sodio scambiabile (ESP) e della conducibilità elettrica (EC) (Lakhdar et al., 2009) (**Figura 3**).

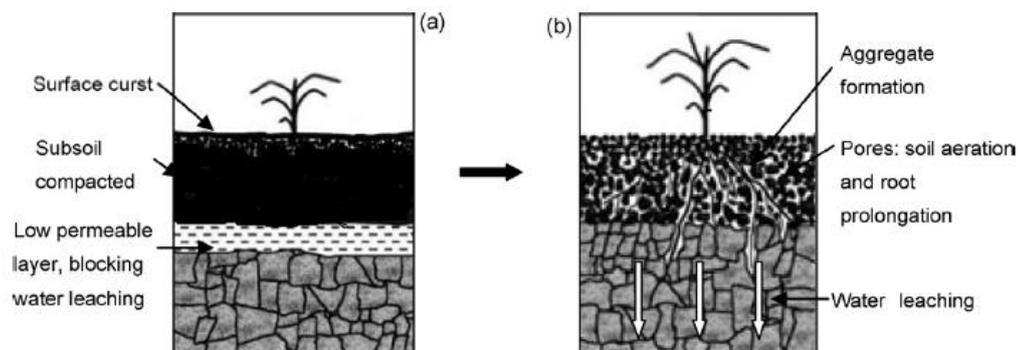


Figura 3. Rappresentazione schematica del suolo prima (a) e dopo (b) l'aggiunta di ammendanti organici (Lakhdar et al., 2009)

A livello biologico il compost risulta fondamentale per il ripristino dell'attività microbica, al suo utilizzo infatti consegue un aumento della mineralizzazione dell'azoto per via della maggiore solubilità della sostanza organica ad alti valori di pH, il che porta ad un aumento della presenza di substrati carboniosi per la crescita microbica (Pathak and Rao, 1998), contemporaneamente abbiamo un incremento nel rilascio di CO₂ e quindi della presenza di aria nel suolo (Muhammad et al., 2007). Lo stimolo della biomassa microbica e dell'attività enzimatica è un indicatore diretto dell'aumento della fertilità del suolo a seguito dell'utilizzo del materiale organico, questo come già accennato è dovuto da diversi fattori, tra cui: la presenza di risorse energetiche a pronto utilizzo; la diminuzione degli stress osmotici e da pH sui microrganismi; l'inoculo che questo fertilizzante porta nei terreni sterili; l'eventuale presenza nella frazione organica aggiunta di enzimi intra- ed extracellulari (Lakhdar et al., 2009). Ad ogni modo, bisogna tener conto che l'utilizzo irrazionale o di compost di bassa qualità è causa di diverse minacce come il rilascio di inquinanti organici e inorganici che possono influenzare molto l'ecosistema e gli organismi (Cai et al., 2007).

1.3 Digestato Compostato

In Europa, il digestato solido, un sottoprodotto del processo di produzione del biogas, è spesso utilizzato direttamente come fertilizzante, sebbene lo status giuridico differisca tra i diversi stati membri: alcuni hanno delle politiche che ne incoraggiano l'uso, mentre altri non lo considerano un fertilizzante per via dei possibili rischi ambientali associati al suo utilizzo, come l'emissione di ammoniaca e l'alto contenuto di acidi grassi volatili (Gurmessa et al., 2021a). Inoltre, digestati che provengono da letame e da rifiuti della lavorazione degli alimenti possono essere fonte di malerbe, patogeni, residui farmaceutici e geni di resistenza agli antibiotici (ARGs) (Gurmessa et al., 2020; Gurmessa et al., 2021b). Al fine di evitare questi svantaggi e aumentare la qualità del digestato come fertilizzante, sono stati proposti diversi trattamenti, tra cui il compostaggio. Quest'ultimo porta diversi vantaggi in termini di aumento della disponibilità dei nutrienti, riduzione del volume della biomassa e abbassamento

generale dei rischi ambientali. Ad esempio, Karwal and Kaushik (2020) hanno riscontrato riduzioni significative del contenuto di Cd, Cu, Pb e Zn attraverso il compostaggio. I parametri comunemente utilizzati per il monitoraggio di tale processo sono la temperatura, il rapporto C/N, il pH, il contenuto di solidi totali, il contenuto di metalli pesanti, e l'indice di germinazione (Gurmessa et al., 2021a; Tang et al., 2020). Inoltre, l'attività enzimatica è considerata come uno dei migliori indicatori utilizzabili, in quanto essa tende ad aumentare o stabilizzarsi con il raggiungimento della maturità (Gurmessa et al., 2021a). Un'alternativa al compostaggio del singolo rifiuto o sottoprodotto è quella di effettuare co-compostaggio aggiungendo ad esso un altro materiale, Gurmessa et al. (2021a) hanno studiato le differenze fra i prodotti di questi due processi in base ai parametri sopra citati, i risultati riportano una riduzione generale del rapporto C/N e per il co-compostaggio sono migliori in quanto a fitotossicità (miglior indice di germinazione), immobilizzazione degli oligoelementi, aumento dell'attività enzimatica e in generale in tutti gli indicatori tenuti in considerazione. Complessivamente, con il co-compostaggio si ottengono risultati migliori rispetto all'utilizzo di un solo materiale, compreso l'aumento dell'efficienza di rimozione degli ARGs (Chen et al., 2021). La digestione anaerobica dei rifiuti organici è largamente utilizzata per mitigare la presenza degli ARGs, nonostante l'intensità di tale eliminazione varia con il tipo di ARGs, il tipo di reattore, il tempo di ritenzione, la temperatura, la materia prima, ecc (Gurmessa et al., 2020). Contrariamente, è stato riportato che la digestione anaerobica può anche essere l'ambiente ideale per l'emergenza di nuovi ARGs o l'arricchimento di quelli esistenti a causa delle condizioni favorevoli presenti nei reattori, tra cui il possibile accumulo di residui di antibiotici e i cambiamenti della popolazione microbica (Ma et al., 2011; Wallace et al., 2018). Anche in questo caso con il compostaggio sono stati evidenziati risultati più soddisfacenti, riportando una rimozione del 75% dei geni di resistenza alla tetraciclina dal letame bovino (Qian et al., 2018). Questa più efficiente rimozione degli ARGs è relazionata al cambio di temperatura e ai cambiamenti della composizione chimica e di quella microbica (Oliver et al., 2020).

Capitolo 2

SCOPO DELLA TESI:

La presente tesi è inserita in un più ampio progetto di ricerca di dottorato, ed ha avuto lo scopo di caratterizzare suoli agricoli affetti da salinità nel sito sperimentale, al fine di ipotizzare il loro recupero attraverso l'applicazione di digestato anaerobico compostato.

Capitolo 3

MATERIALI E METODI:

3.1 Sito di Studio

Il sito di campionamento è interno all'azienda agraria Bologna Miriam, situata a Lido di Spina, una frazione di Comacchio (FE) (**Figure 4-5**). L'areale d'interesse rientra nel territorio delle valli di Comacchio, che si estendono da Comacchio fino al Reno per un totale di 16781 ha, queste a loro volta sono incluse nel perimetro del Parco regionale Delta del Po.

L'attuale conformazione della zona è il frutto di un lavoro di sistemazione idraulica e di bonifica della vasta area paludosa delle valli emiliane e romagnole; la movimentazione dell'acqua verso le valli interne avviene grazie a dei manufatti idraulici di diversa entità, come chiaviche e sifoni.

Lido di Spina presenta un clima caldo e temperato, si registra una temperatura media di 15.3 °C, con luglio come mese più caldo dell'anno con una temperatura media di 25.6 °C, mentre il più freddo è gennaio, con una media di 5.5 °C. La media annuale di piovosità è di 795 mm, il mese più secco è gennaio con 51 mm medi di pioggia, mentre il mese più piovoso è novembre, con una media di 90 mm (Climate-data.org, 2022).

Il sito del campionamento è situato in una zona marginale di un appezzamento dell'azienda, su quale in precedenza è stato coltivato favino; la zona è stata scelta per la vicinanza ad un canale di acqua salmastra (pH = 7.85, EC = 43.9 dS/m), che influenza la salinità del suolo come evidenziato dalle precedenti analisi di EC (Tabella 2), I valori di EC solitamente più elevati negli orizzonti più profondi, denotano una risalita della falda salmastra, con risultati che indicano anche un gradiente di salinità in base alla vicinanza del canale. Pertanto, la prova sperimentale è stata impostata su tre fasce di suolo parallele al canale che distano rispettivamente 5m, 15m e 25m da esso. Ogni striscia di suolo sarà poi suddivisa in diverse parcelle che casualmente saranno di controllo, ammendate con compost o inoculate.

Tabella 2 - Valori di pH e conducibilità elettrica in estratto di pasta satura di campioni di suolo rappresentativi di orizzonti genetici identificati nei profili del transetto salino investigato. Azienda Bologna Miriam, Lido di Spina, Comacchio (FE). Tra parentesi la deviazione standard.

| Orizzonte | pH | EC |
|------------|----------------|--------------------|
| | | dS m ⁻¹ |
| 5m | | |
| Ap1 | 8,14 (0,47) | 5,12 (4,59) |
| Ap2 | 8.35 (0.28) | 6.26 (5.64) |
| Bg1 | 8.12 (0.06) | 7.42 (3.34) |
| Bg2 | 7.75 (0.53) | 11.94 (1.65) |
| 15m | | |
| Ap1 | 8.04 (0.05) | 10.07 (1.07) |
| Ap2 | 8.13 (0.05) | 5.70 (1.48) |
| Bw | 8.30 (0.20) | 5.84 (3.88) |
| Bg | 7.99 (0.06) | 8.61 (0.90) |
| 25m | | |
| Ap1 | 8.04 (0.40) | 3.64 (2.13) |
| Ap2 | 8.04 (0.19) | 3.96 (1.15) |
| Bw | 8.33 (0.10) | 3.23 (3.25) |
| Bg | 8.19 (0.07) | 5.54 (1.24) |

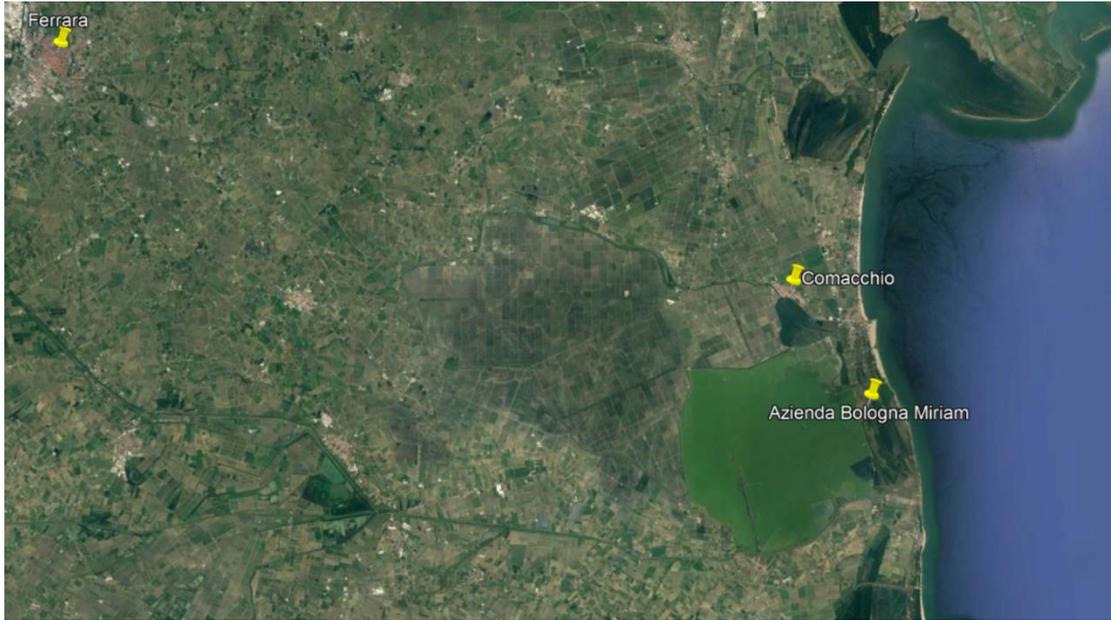


Figure 4-5. Localizzazione del sito di campionamento attraverso catture a differenti ingrandimenti fatte con Google Earth.

3.2 Processo di Compostaggio del Digestato

Il compost investigato in questa tesi (**Figura 6**) come possibile opzione di recupero del suolo oggetto di studio deriva da digestato anaerobico prodotto presso l'azienda agricola Antonio Trionfi Honorati, che annovera un allevamento di vacche e bufale. Il digestore presente in azienda è alimentato in gran parte con il letame delle stalle, il quale viene addizionato con silomais e con una porzione di digestato. Successivamente alla digestione, attraverso un separatore solido-liquido, è avvenuta la divisione della porzione liquida del digestato da quella solida, la quale sarà utilizzata per produrre compost. Il processo di compostaggio è stato favorito da rimescolamenti settimanali finalizzati ad omogeneizzare temperatura e umidità, mentre il monitoraggio di tali parametri è avvenuto tre volte a settimana.



Figura 6. Cumulo di digestato sottoposto a processo di compostaggio presso l'Azienda Agraria Antonio Trionfi Honorati, Jesi (AN)

3.3 Campionamento Pedologico

Prima dello svolgimento delle analisi fisico-chimiche è necessario condurre un campionamento pedologico al fine di descrivere gli orizzonti presenti e di prelevare da essi dei campioni che contengano tutte le informazioni del suolo d'origine. La rappresentatività infatti è una condizione fondamentale e ne consegue che il campionamento è un'operazione delicata che può portare ad errori consistenti in analisi e perciò si procede seguendo criteri rigorosi. Il profilo di suolo è una sezione che mostra gli orizzonti dalla superficie alla roccia inalterata; la prima operazione da fare è la scelta dei punti in cui aprire questi profili, nel presente caso studio l'appezzamento risultava omogeneo dal punto di vista morfologico, ma variava la distanza dal canale di acqua salmastra. Alla luce di ciò sono stati aperti due profili per ogni striscia di suolo presente, per un totale di 6 profili (**Figura 7**).

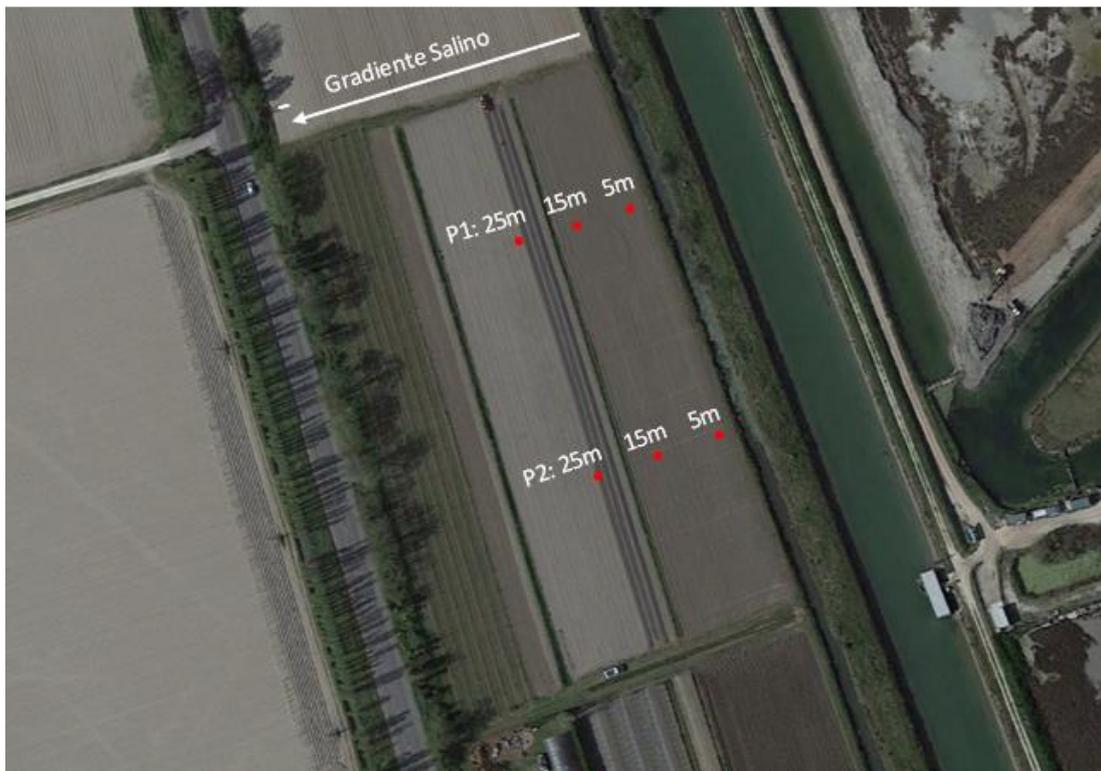


Figura 7. *Disposizione dei siti di campionamento all'interno dell'appezzamento con indicazione dell'andamento del gradiente salino.*

L'apertura è fatta manualmente con l'ausilio di attrezzature come trivella e vanga, fino ad una profondità che idealmente è quella della roccia inalterata, ma in base alle esigenze può essere minore, come nel nostro caso, in cui abbiamo scavato fino a 60cm circa di profondità per poter verificare al meglio l'oscillazione della falda tramite gli eventuali segni che essa ha lasciato. Poi, sul fondo dello scavo viene utilizzata una trivella per monitorare l'andamento del profilo, in particolare l'eventuale presenza di screziature fino ad una profondità di circa 70cm. La faccia dello scavo in cui si vuole osservare e descrivere il profilo va lasciata inalterata durante l'operazione di apertura per evitare di spostare materiale fra gli orizzonti; inoltre, la prima operazione da compiere è la sua pulitura, in modo da togliere i primi centimetri e rendere così evidenti le sue caratteristiche naturali. A questo punto si procede con il riconoscimento e la classificazione dei vari orizzonti seguendo il metodo Schoeneberger, compilando così le varie voci della tabella morfologica con i dati ricavati dal rilievo visivo, in particolare si descrivono tipo di orizzonte, profondità, spessore, colore, struttura, consistenza, radici e limite (Schoeneberger et al., 1998). Una volta identificati e descritti i vari orizzonti si procede al campionamento vero e proprio, ovvero al prelievo di quantità di materiale da ciascun orizzonte cercando di ottenere campioni rappresentativi della situazione. Il passaggio successivo è la deposizione dei campioni in sacchetti di polietilene con riportate in etichetta le informazioni necessarie al loro riconoscimento, come sito di campionamento, data e sigla identificativa del campione. Infine, si richiude il profilo rimettendo i vari orizzonti nella loro posizione originale. L'intera operazione è contornata da rilievi fotografici della morfologia del sito e dei vari profili aperti (**Figure 8-9-10**). Arrivati in laboratorio i campioni vengono essiccati e setacciati a 2mm in modo da separare lo scheletro e ottenere la terra fine sulla quale condurre le successive analisi.

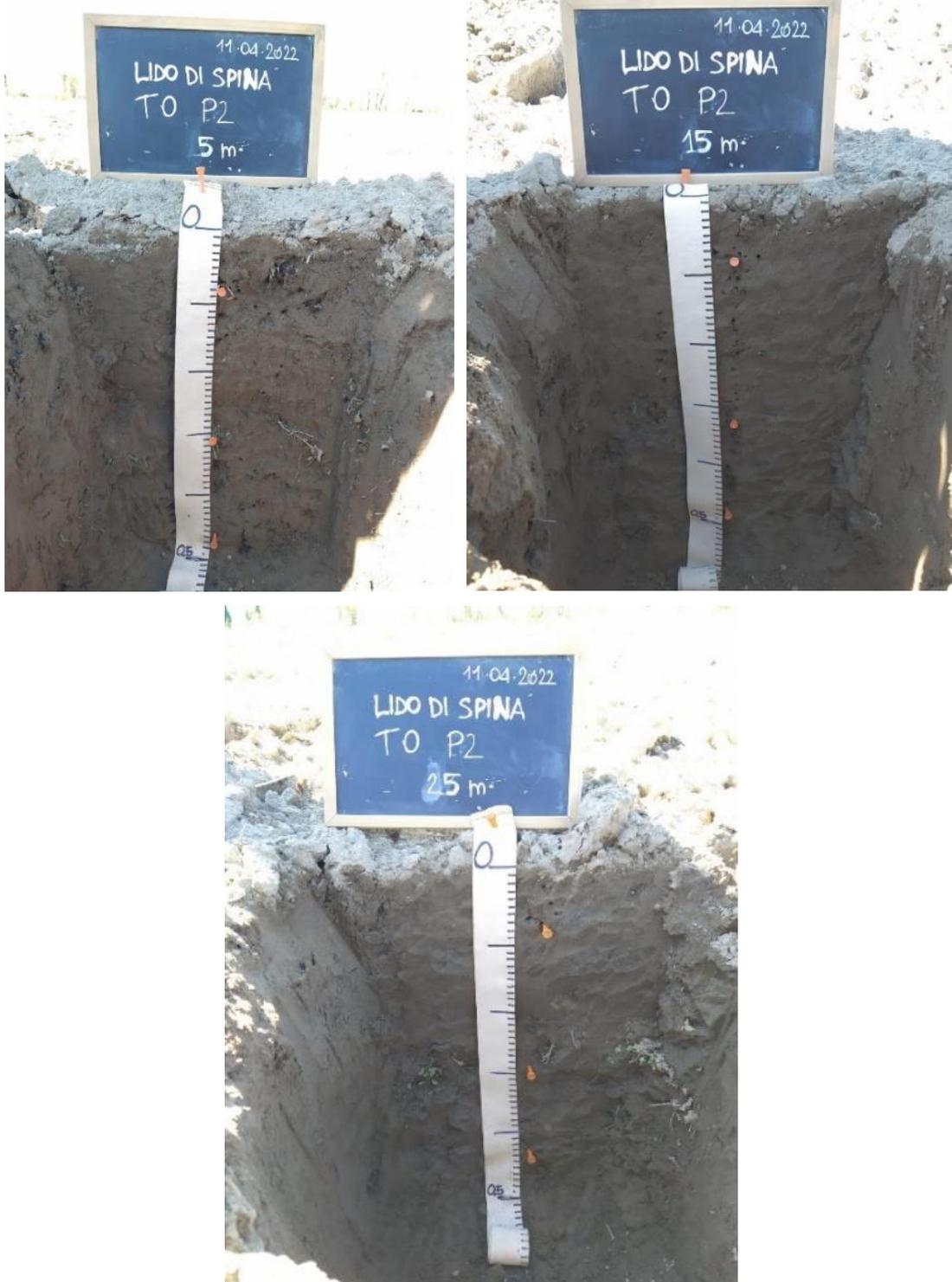


Figure 8-9-10. rilievo fotografico dei profili aperti nei punti P2 (5m), P2 (15m) e P2 (25m).

3.4 Analisi Chimico Fisiche

3.4.1 Tessitura

Per l'analisi della tessitura è stato seguito il metodo della pipetta (Day, 1965), basato sull'applicazione della legge di Stokes. La quantità di terra utilizzata è di 10g e preliminarmente viene setacciata in umido con 3 setacci a maglie rispettivamente di 1mm, 0.5mm e 0.053mm; questo passaggio permette di separare sabbia grossa, sabbia media e sabbia fine, le quali costituiscono la frazione sabbiosa del campione; con ciò la parte rimanente sarà una soluzione costituita unicamente da acqua, limo e argilla. Le particelle non passate attraverso i setacci sono messe poi in stufa a 100°C e pesate dopo il raffreddamento.

Successivamente la soluzione viene posta in un cilindro e portata all'altezza di 30cm con l'aggiunta di acqua distillata fino a raggiungere un volume noto; il procedimento prevede il campionamento diretto per mezzo di una pipetta di aliquote di sospensione a tempi e profondità predeterminati, infatti a questo punto viene prelevata un'aliquota di 10ml ad altezza standard che verrà messa in stufa e pesata per ricavare la massa del limo e dell'argilla. La sospensione viene poi mescolata per diversi secondi e lasciata riposare, dopo 24 ore si saranno depositate solo le particelle con diametro maggiore di 0.002mm, ovvero quelle di limo; prelevando un'altra aliquota di 10ml ed essiccandola in stufa si otterrà quindi il peso dell'argilla e successivamente anche quello del limo, ricavandolo tramite differenza con il valore rilevato precedentemente. Il tempo di prelevamento (t), fissato per permettere la separazione delle diverse frazioni, è ricavabile dalla legge di Stokes attraverso:

$$t = \frac{18 * \eta_l * h}{(\rho_s - \rho_l) * g * d^2}$$

Dove:

η_l = viscosità della soluzione

ρ_s = densità delle particelle

ρ_l = densità della soluzione

h = altezza percorsa da particelle di un definito diametro

g = accelerazione gravitazionale

d = diametro della particella

3.4.2 TOC

La determinazione del carbonio organico totale viene eseguita tramite il metodo Walkey-Black (Allison, 1965), utilizzabile per tutti i tipi di suolo e anche per il digestato; data la variabilità del tipo di campione il quantitativo di materiale da sottoporre ad analisi viene scelto in funzione del contenuto di sostanza organica, in questo caso 0.5g per i campioni di suolo e 0.05g per i campioni di digestato. Il processo si basa sull'ossidazione della sostanza organica per via della presenza di bicromato di potassio ($K_2Cr_2O_7$) e acido solforico (H_2SO_4).

La reazione viene poi interrotta dall'aggiunta di acqua dopo un tempo prestabilito, e la quantità di potassio bicromato che non ha reagito viene determinata mediante titolazione con una soluzione di ferro ammonio solfato (sale di Mohr) in presenza di acido fosforico concentrato (H_3PO_4) e dell'indicatore difenilammina, così da ricavare la quantità di sostanza organica originariamente ossidata.

Il metodo Walkey-Black utilizza solo il calore di diluizione dell'acido solforico e non risulta pertanto sufficiente alla completa ossidazione dei composti organici. Solamente le forme più attive del C vengono ossidate, infatti nel metodo originale nel calcolo si introduce un fattore empirico (0.77) che tiene conto della frazione realmente ossidata di sostanza organica; per indurre l'ossidazione di tutto il carbonio organico si utilizza una variante che introduce un passaggio intermedio che segue l'aggiunta del bicromato di potassio e dell'acido solforico, ovvero un periodo di 30 minuti in stufa.

Il procedimento inizia con l'aggiunta di 10ml di bicromato di potassio (1/6 mol/l) e 20ml di acido solforico in una beuta dove è presente il campione da analizzare; segue il passaggio in stufa per 30 minuti a 163 °C che termina con l'aggiunta di 200ml di acqua distillata per bloccare la reazione; poi si uniscono alla soluzione 5ml di acido fosforico e 0.5ml di indicatore e si pone la beuta su un agitatore magnetico; in seguito viene eseguita la titolazione con il ferro ammonio solfato fino al viraggio della soluzione da blu a verde (**Figure 11-12**). In parallelo vengono effettuate due prove in bianco per verificare la validità dei reagenti.

Infine, si calcola il carbonio organico ossidato (espresso in g/kg) tramite la seguente formula:

$$C = 1000 * \frac{(B - B1) * 10 * 0.003}{B * P}$$

B = media volumi in ml di sale di Mohr consumati dalle prove in bianco

B1 = volume in ml di sale di Mohr consumato per titolare il campione

P = massa in g del campione sottoposto ad analisi

0.003 = peso equivalente del carbonio

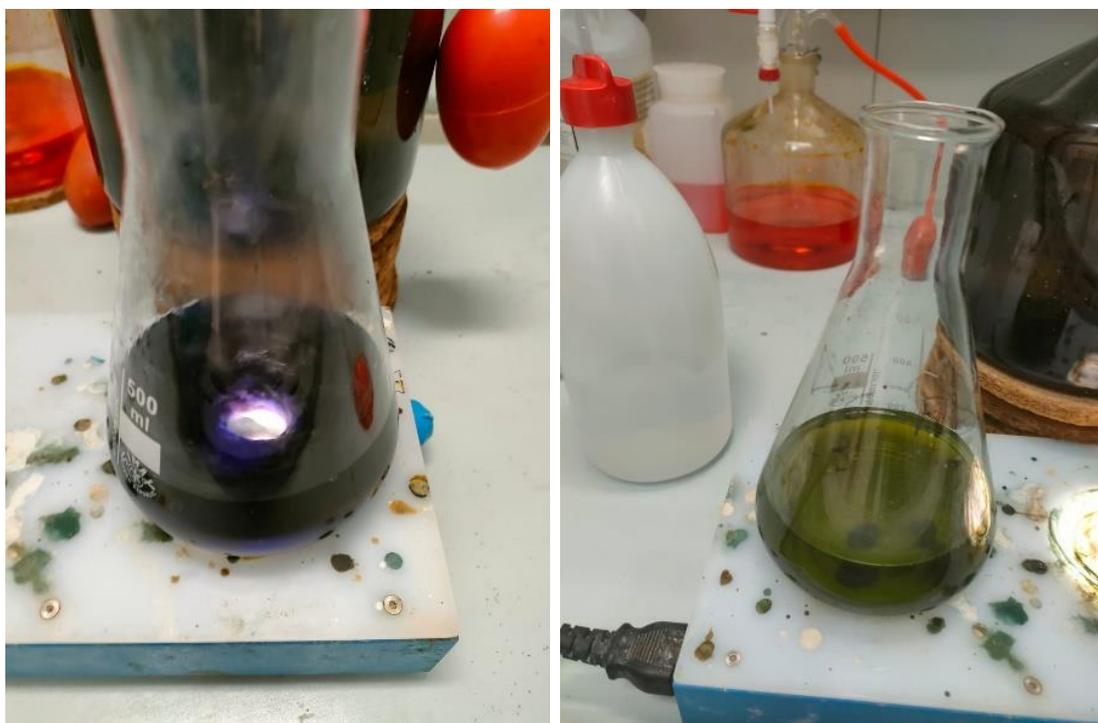


Figure 11-12. Beuta contenente la soluzione da titolare con Ferro Ammonio Solfato, prima (sopra) e dopo (sotto) del viraggio.

Capitolo 4

RISULTATI ANALISI:

4.1 Analisi Morfologica

Nella **Tabella 3** sono riportati i risultati della descrizione morfologica dei profili aperti per il campionamento. Trattandosi di un suolo agrario si riscontra la presenza di orizzonti superficiali antropici (Ap) in ogni profilo, formati in seguito a delle lavorazioni; al di sotto troviamo due tipi di orizzonte: il Bw, un orizzonte minerale alterato da vari processi, e il Bg, caratterizzato dalla presenza di screziature.

La profondità alla quale sono stati rinvenuti gli orizzonti è circa di 0-9 cm per gli Ap1, 9-30cm per gli Ap2, e 30-50cm per quelli sottostanti.

Il colore degli orizzonti è nella maggior parte dei casi bruno-grigiastro (10YR 4/2), con alcune eccezioni ritrovate negli orizzonti Ap1 e Ap2 del P1(5m) che risultano marroni (10YR 4/3), nel Bg1 P1(5m) che si presenta bruno-grigiastro molto scuro (10YR 3/2) e nel Bg2 P2(5m) che risulta grigio scuro (10YR 4/1).

La struttura si presenta debolmente sviluppata in superficie, con orizzonti Ap1 caratterizzati da aggregati granulari e a blocchi sub angolari di dimensione media, con l'eccezione del P2(15m) dove la grandezza arriva fino a grossolani, e del P2(25m) caratterizzato da blocchi molto grossolani; scendendo in profondità nel profilo la struttura risulta più sviluppata e non più granulare, inoltre gli aggregati nella maggior parte dei casi hanno dimensioni maggiori, ad eccezione del P2(15m) e del P2(25m).

Le radici sono presenti in quantità e dimensione variabili, negli orizzonti superficiali Ap1 sono poco presenti e di dimensione molto fine o fine, ad eccezione del P1(15m) dove sono comuni, e del P1(25m) dove sono presenti anche di dimensione media; negli orizzonti Ap2 sono comuni o molte, ed anche le dimensioni risultano maggiori; scendendo ancora nel profilo la presenza diminuisce fino a scomparire.

Tra le osservazioni fatte, è stata notificata la presenza di croste superficiali con spessore variabile in ognuno degli orizzonti Ap1, di residui vegetali nel Bw1 P1(25m) e nel Ap2 P2(25m) e di screziature negli orizzonti più profondi.

Tabella 3 - Proprietà morfologiche dei profili di suolo del transetto salino investigato presso Azienda Bologna Miriam, Lido di Spina, Comacchio (FE).

Codici attribuiti secondo Schoeneberger et al. (2002).

Per i simboli vedere legenda.

| Orizzonte | Profondità (cm) | Spessore | Colore^a | Struttura^b | Consistenza^c | Radici^d | Limite^e | Altre osservazioni |
|---|----------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| Profilo 1, 5 metri dalla capezzagna | | | | | | | | |
| Ap1 | 0-10 | 8-10 | 10YR 4/3 | gr, 1 vf, f, m sbk | vfr | 1 vf, f | C, S | Croste superficiali (<0,5 cm di spessore) |
| Ap2 | 10-30 | 19-20 | 10YR 4/3 | 1 vf, f, m sbk | vfr | 2 vf, f 1 m | C, S | Screziature grigie (2,5YR 4/1; circa 5% e mescolate con la matrice) |
| Bg1 | 30-49 | 19-20 | 10YR 3/2 | 2 vf, f, m, co, vco sbk | vfr | 2 vf, f | C, S | Screziature grigie/grigio scuro (circa 10% e mescolate nella matrice) |
| Bg2 | 49-57+ | - | 10YR 4/2 | 2 vf, f, m, co sbk | vfr | - | - | Screziature grigie/blu (circa 15-20% poco visibili) |
| Bg3 | 57-67 | - | - | - | - | - | - | Screziature arancioni |
| Profilo 1, 15 metri dalla capezzagna | | | | | | | | |
| Ap1 | 0-11 | 7-8 | 10YR 4/2 | gr, 1 vf, f, m sbk | vfr | 2 vf, f | C, S | Croste superficiali (scarsa presenza; <0,5cm di spessore) |
| Ap2 | 11-26 | 13-15 | 10YR 4/2 | 1 vf, f, m, co, vco sbk | vfr | 3 vf 2 f | C, S | |
| Bw | 26-46 | 19-21 | 10 YR 4/2 | 1-2 vf, f, m, co sbk | vfr | 3 vf 2 f | C, S | |
| Bg1 | 46-57+ | - | 10YR 4/2 | 2 vf, f, m, co, vco sbk | vfr | - | - | Screziature blu/grigie (circa 5%) |
| Bg2 | 57-67 | - | - | - | - | - | - | Screziature blu/grigie e rossicce (circa 10%; rilevate con trivella) |

| Profilo 1, 25 metri dalla capezzagna | | | | | | | | |
|---|--------|-------|-------------|------------------------------|-----|-------------------|------|---|
| Ap1 | 0-8 | 8-10 | 10YR 4/2 | gr, 1 vf, f, m sbk | vfr | 1 f, m | C, S | Croste superficiali (<0.5 cm di spessore) |
| Ap2 | 8-30 | 20-22 | 10YR 4/2 | 1 vf, f, m, co, vco sbk | vfr | 1 f 2 m | C, S | |
| Bw1 | 30-49 | 7-9 | 10YR 4/2 | 1-2 vf, f, m, co, vco sbk | vfr | 1 m | C, S | Presenza residui vegetali |
| Bw2 | 49-53+ | - | 10YR 4/2 | 2 vf, f, m, co sbk | vfr | - | - | |
| Bg | 53-63 | - | - | - | - | - | - | Screziature arancioni |
| Profilo 2, 5 metri dalla capezzagna | | | | | | | | |
| Ap1 | 0-8 | 8-9 | 10YR 4/2 | gr, 1 vf, f, m sbk | vfr | 1 vf | C, S | Croste superficiali (<1cm di spessore); Screziature (circa 2%) |
| Ap2 | 8-31 | 22-23 | 10YR 4/2 | 1-2 vf, f, m sbk | vfr | 3 vf, f 1 m | C, S | Screziature (circa 2%, mescolate); Presenza residui vegetali |
| Bg1 | 31-47 | 13-16 | 10YR 4/2 | 2 vf, f, m sbk | vfr | 1 vf | C, S | Screziature (circa 2%) |
| Bg2 | 47-50+ | - | 10YR 4/1 | 2 vf, f, m, co sbk | vfr | - | - | Screziature (circa 20%) |
| Bg3 | 50-60 | - | - | - | - | - | - | Screziature grigie (circa 75%) e rosse (circa 15%) |

| Profilo 2, 15 metri dalla capezzagna | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|-------|-----------------|-------------------------------|-----|------------|------|---|
| Ap1 | 0-8 | 8-9 | 10YR 4/2 | gr, 1 vf, f, m, co sbk | vfr | 1 vf | C, S | Crosta superficiale (<1cm di spessore) |
| Ap2 | 8-34 | 22-24 | 10YR 4/2 | 1 vf, f, m sbk | vfr | 2 vf, f | C, S | |
| Bw | 34-49 | 14-15 | 10YR 4/2 | 2 vf, f, m sbk | vfr | 2 vf, f | C, S | |
| Bg1 | 49-59+ | - | 10 YR 4/2 | 2 vf, f, m, co sbk | vfr | 1 vf | - | Screziature (grigio scuro circa 70%, rosse circa 10%; anche mescolate con la matrice) |
| Bg2 | 59-69 | - | - | - | - | - | - | Screziature rosse (circa 20%) e grigie (circa 70%) |
| Profilo 2, 25 metri dalla capezzagna | | | | | | | | |
| Ap1 | 0-9 | 9-13 | 10YR 4/2 | gr, 1vf, f, m, co, vco sbk | vfr | 1 vf, f | C, S | Crosta superficiale (<1cm di spessore) |
| Ap2 | 9-30 | 20-21 | 10YR 4/2 | 1-2 vf, f, m, co sbk | vfr | 3 vf, f | C, S | Presenza residui vegetali |
| Bw | 30-45 | 13-15 | 10YR 4/2 | 2 vf, f, m, co sbk | vfr | 2 vf, f | C, S | |
| Bg1 | 45-50+ | - | 10YR 4/2 | 2 vf, f, m, co sbk | vfr | - | - | Screziature (circa 5%; mescolate con la matrice) |
| Bg2 | 50-60 | - | - | - | - | - | - | Screziature rossicce (circa 5%) |

^a Determinato ad umidità di campo secondo Munsell Soil Color Chart (1992 edition)

^b 1=debolmente sviluppata, 2=moderatamente sviluppata; vf=molto fini, f=fini, m=medi, co=grossolani vco=molto grossolani; gr=granulare, sbk=blocchi sub angolari.

^c vfr= molto friabile

^d 1=poche, 2=comuni, 3=molte; vf= molto fini, f= fini, m=medie dimensioni

^e C=chiaro; S=lineare

4.2 Analisi Fisico-Chimiche

La **Tabella 4** riporta i risultati delle analisi fisico-chimiche riguardanti gli orizzonti e i risultati del TOC di campioni di digestato fresco e di digestato compostato. Le varie classi tessiturali riscontrate sono di stampo sabbioso per via dell'alto contenuto di sabbia fine che è presente mediamente con circa 930 g/kg e della bassa presenza di limo e argilla, che si aggirano rispettivamente intorno a 35 g/kg e 6 g/kg (**Figura 13**). I valori rilevati per il TOC oscillano tra 5 g/kg e 7 g/kg; inoltre, si riscontra una tendenza degli orizzonti Ap2 ad avere un contenuto di componente organica maggiore rispetto agli altri. I risultati del TOC riguardanti il digestato presentano valori di circa 404 g/kg per quello fresco e 367 g/kg per il compost, indicando che il digestato compostato risulta più povero in carbonio organico di quello fresco.

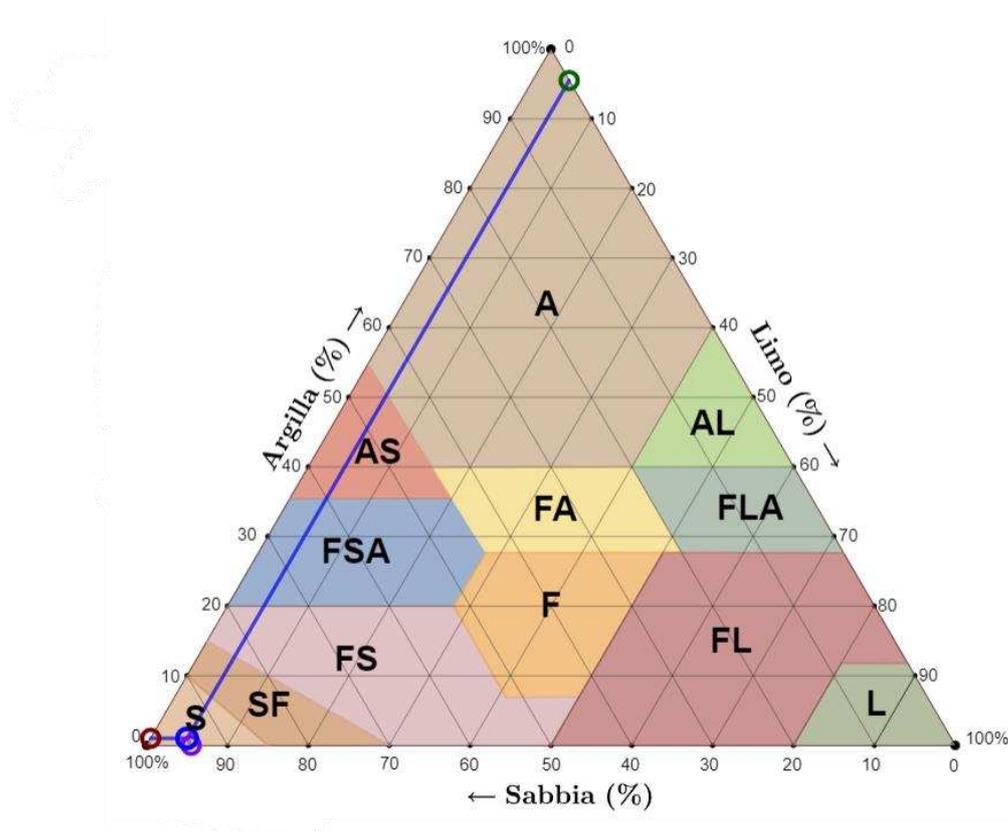


Figura 13. Triangolo della tessitura compilato utilizzando per le componenti le percentuali rappresentative della situazione media del sito di studio: Sabbia= 95.5%, Limo=4.5%, Argilla=1.0%.

Tabella 4 – Risultati delle analisi fisico-chimiche dei campioni di suolo rappresentativi di orizzonti genetici identificati nei profili del transetto salino investigato. Azienda Bologna Miriam, Lido di Spina, Comacchio (FE). Tra parentesi la deviazione standard.

| Orizzonte | Tessiture | | | | | Classe Tessiturale ^a | TOC |
|------------|---------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|---------------------------------|----------------|
| | g/kg | | | | | | |
| | Sabbia grande | Sabbia media | Sabbia fine | Limo | Argilla | | |
| 5m | | | | | | | |
| Ap1 | 6.0 (2.8) | 9.5 (0.7) | 931.0 (17.0) | 47.5 (21.9) | 6.0 (7.1) | S | 5.04 (0.22) |
| Ap2 | 4.5 (3.5) | 8.5 (0.7) | 925.5 (7.8) | 53.0 (19.8) | 8.5 (9.2) | S | 6.21 (1.28) |
| Bg1 | 3.0 (0.0) | 5.0 (1.4) | 932.0 (1.4) | 57.0 (2.8) | 3.0 (2.8) | S | 5.67 (0.16) |
| Bg2 | 6.0 - | 11.0 - | 917.0 - | 61.0 - | 4.0 - | S | 5.73 (0.14) |
| 15m | | | | | | | |
| Ap1 | 2.5 (0.7) | 6.0 (1.4) | 931.5 (9.2) | 54.0 (17.0) | 6.0 (7.1) | S | 6.44 (0.47) |
| Ap2 | 3.5 (0.7) | 6.5 (0.7) | 935.0 (26.9) | 51.5 (27.6) | 3.5 (0.7) | S | 6.20 (0.36) |
| Bw | 3.5 (0.7) | 3.0 (0.0) | 931.0 (2.8) | 58.0 (5.7) | 4.5 (3.5) | S | 6.77 (0.45) |
| Bg | 1.0 (0.0) | 4.0 (0.0) | 954.5 (14.8) | 33.5 (9.2) | 7.0 (5.7) | S | 6.58 (1.12) |

| 25m | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---|--------|
| Ap1 | 2.0 | 8.5 | 943.0 | 35.5 | 11.0 | S | 6.28 |
| | (0.0) | (2.1) | (9.9) | (13.4) | (5.7) | | (0.20) |
| Ap2 | 2.5 | 11.0 | 935.0 | 38.5 | 13.0 | S | 7.37 |
| | (0.7) | (4.24) | (12.7) | (5.0) | (2.8) | | (0.00) |
| Bw | 1.0 | 7.5 | 930.5 | 49.5 | 11.5 | S | 6.88 |
| | (0.0) | (2.1) | (31.8) | (21.9) | (12.0) | | (0.11) |
| Bg | 11.0 | 17.0 | 916.0 | 55.0 | 1.0 | S | 5.85 |
| | - | - | - | - | - | | (0.47) |
| Digestato Fresco | - | - | - | - | - | - | 404.72 |
| | | | | | | | (6.86) |
| Digestato Compostato | - | - | - | - | - | - | 367.50 |
| | | | | | | | (9.01) |

^aS= Sabbiosa

Capitolo 5

DISCUSSIONE:

5.1 Analisi Morfologica

Il suolo del sito sperimentale ha subito due lavorazioni nel corso del periodo antecedente al campionamento come è indicato dalla presenza di due orizzonti superficiali Ap. La prima è un'aratura effettuata a 30 cm come suggerito dalla profondità degli orizzonti Ap2, con il fine di compiere sovescio della coltura precedentemente trinciata ed aumentare così la quantità di sostanza organica nel suolo. Ciò è confermato dalla presenza di residui vegetali negli orizzonti Bw1 P1(25m) e Ap2 P2 (25m), appartenenti con tutta probabilità al favino presente in campo in precedenza al campionamento. La seconda lavorazione è stata compiuta con un erpice a 10cm, suggerita dalla profondità media degli orizzonti Ap1, in modo da affinare la struttura superficiale, la quale nell'Ap1 si presenta granulare per via di tale processo. L'aratura e la successiva erpicatura hanno comportato la presenza di limiti netti e regolari negli orizzonti Ap, imposti dall'azione meccanica di tali macchine, facilitando l'identificazione degli orizzonti.

La consistenza degli aggregati osservati lungo i profili risulta sempre molto friabile, ciò per via della classe tessiturale prevalentemente sabbiosa, confermata dai dati analitici, e quindi dai deboli legami che tengono insieme le particelle minerali.

In ogni profilo si osservano screziature più o meno espresse, delle quali si nota una presenza maggiore e più frequente negli orizzonti di profondità. Questo è dovuto all'oscillazione della falda che interessa il suolo a differenti profondità in relazione ai differenti regimi termici e di umidità nelle diverse stagioni. Essa in certi periodi dell'anno risale lungo il profilo e crea condizioni di anossia, attivando processi anaerobici che portano alla riduzione degli elementi presenti nel suolo, i quali in forma ridotta risultano più solubili. Grazie all'acqua presente vengono solubilizzati, mobilizzati e si concentrano in determinati punti; una volta discesa la falda le

condizioni ritornano ossiche e tali elementi vengono quindi ossidati, portando ad un cambiamento nel loro colore e alla loro insolubilizzazione. Pertanto, le zone di accumulo risulteranno di colore differente rispetto al resto dell'orizzonte. Essendo di natura salina, l'acqua risalente lungo il profilo rilascia sali in seguito a processi di evapotraspirazione e precipitazione; la profondità a cui arriva è evincibile dalla presenza di screziature. Perciò in questo caso in cui il suolo risulta salino possiamo dedurre che la presenza di orizzonti profondi che hanno valori di EC maggiori di quelli superficiali sia dovuto alla risalita della falda salmastra, in quanto è proprio a tali profondità che si riscontra maggiore presenza di screziature (Vepraskas and Bouma, 1976).

5.2 Analisi Fisico-Chimiche

Il carbonio organico totale presente nei due tipi di digestato indica che il compostaggio ha comportato una diminuzione del TOC. Ciò è spiegabile dalla natura delle reazioni chimiche effettuate dai microrganismi in questo processo, le quali provvedono alla degradazione della sostanza organica e alla riduzione del contenuto di carbonio e azoto, formando un substrato che risulta più stabile (FAO, 1980). Tale trasformazione è composta da quattro fasi: la prima è mesofila e porta alla degradazioni delle componenti solubili come gli zuccheri; la seconda è termofila e la temperatura raggiunta porta alla igienizzazione del substrato, eliminando ad esempio batteri come *Escherichia coli* e *Salmonella sp.*, spore fungine e semi di infestanti; la terza fase è mesofila e qui i microrganismi provvedono a continuare la degradazione dei polimeri complessi; infine vi è la fase di maturazione nella quale avvengono polimerizzazioni, condensazioni di componenti carboniose e la formulazione di acidi fulvici e umici (Meena et al., 2021). Questo processo di compostaggio è importante per aumentare il miglioramento che il digestato apporta al terreno e per diminuire le conseguenze negative derivanti dal suo utilizzo in campo.

La tendenza del TOC di essere maggiore negli orizzonti Ap2 è dovuta probabilmente alla pratica del sovescio che ha apportato sostanza organica soprattutto nei primi 30cm di suolo, come si evince anche dalla presenza di residui vegetali in alcuni orizzonti. Il fine di tale apporto è quello di aumentare il contenuto di sostanza organica nel suolo,

soprattutto per migliorare le problematiche che sono implicate dalla natura sabbiosa del suolo.

Infatti, la tessitura sabbiosa riscontrata con le analisi comporta varie caratteristiche, come ad esempio la scarsa presenza di componenti tessiturali fini che, unita al basso TOC, rappresentano un indice di bassa microporosità, portando inevitabilmente il suolo ad avere una inadatta capacità di ritenere acqua ed elementi nutritivi. Pertanto, l'aggiunta di compost potrebbe sopperire a tali difficoltà, andando a incrementare la ritenzione idrica. La maggior presenza di acqua nel suolo si traduce nell'abbassamento della concentrazione della soluzione circolante e nella conseguente riduzione di stress osmotici a carico degli organismi presenti nel suolo (Lakhdar, 2009). D'altra parte, la classe tessiturale sabbiosa comporta la presenza di alta macroporosità, la quale implica la presenza di un'ottima capacità di drenaggio e quindi della possibilità di lisciviare senza difficoltà i sali presenti nel suolo, e accelera i processi di mineralizzazione della sostanza organica per via dell'elevata areazione, il che è deducibile dai bassi valori del TOC riscontrati dalle analisi (Šimanský et al. 2019). Dalle caratteristiche descritte finora si desume che l'aggiunta di digestato compostato in questo suolo non comporta un miglioramento della stabilità di struttura, in quanto tali classi tessiturali hanno una buona capacità di autodrenarsi (Brady et al., 2008). Infatti, in questo suolo le criticità legate alla salinità riguardano soprattutto la disponibilità di elementi nutritivi e la salute della frazione biologica che lo popola, e per queste problematiche il compost, che presenta un alto TOC, risulta già un buon mezzo per apportare sostanza organica mineralizzabile e substrati nutrienti per i microrganismi, comportando un potenziale aumento della presenza di elementi nutritivi per le colture (Rao and Pathak, 1996).

Capitolo 6

CONCLUSIONI:

Il mondo sta attraversando un periodo di profondo cambiamento climatico che influenza inevitabilmente anche l'agricoltura, e sotto questo punto di vista il suolo è una risorsa delicata che va tutelata per evitarne la degradazione. In particolare, in Italia la desertificazione è un fenomeno in crescita che minaccia i suoli affetti da salinità, presenti in quasi tutte le regioni del Paese. Per evitare di perdere questi suoli è necessario adottare delle strategie che incentivino l'allontanamento dei sali solubili e contemporaneamente il miglioramento delle caratteristiche fisiche e chimiche compromesse da questa condizione. L'oggetto di studio è un suolo agrario affetto da salinità, che in seguito alle analisi effettuate è risultato avere tessitura sabbiosa e un basso contenuto di sostanza organica, tipico di suoli agrari, specialmente se sabbiosi. Il recupero di questi suoli risulta possibile apportando digestato compostato, considerando il ruolo di questo substrato nell'aumento della ritenzione idrica del suolo e quindi nella diminuzione della concentrazione di sali nel suolo, comportando altresì un miglioramento nelle condizioni di crescita della pianta e degli organismi. Inoltre, il recupero della fertilità del suolo riguarda anche la funzione del compost di rappresentare un substrato di crescita per i microrganismi, comportando un aumento nella disponibilità degli elementi nutritivi. Pertanto, future analisi biologiche potranno confermare con risultati concreti queste potenziali migliorie.

BIBLIOGRAFIA

- Allison, L.E., (1965). Organic Carbon, in: C.A. Black et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Agronomy series no. 9, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
<https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c39>
- Ayers, R.S., Westcot, D.W., (1985). *Water Quality of Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Revision 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Bello, Suleiman K., Abdullah H. Alayafi, Samir G. AL-Solaimani, and Kamal A. M. Abo-Elyousr. (2021). "Mitigating Soil Salinity Stress with Gypsum and Bio-Organic Amendments: A Review" *Agronomy* 11, no. 9: 1735.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11091735>
- Brady N.C., Weil R.R. (2008). *The nature and properties of soils*, 14th ed. Pearson (September 16, 2007)
- Burt, R. (2011). *Soil Survey Laboratory Information Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 45, Version 2.0, February 2011. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center Lincoln, Nebraska
- Businelli M., *Chimica del suolo*, Morlacchi Editore. (2009)
- Cai Q.Y., C.H. Mo, Q.T. Wu, Q.Y. Zeng, A. Katsoyiannis, Concentration and speciation of heavy metals in six different sewage sludge-composts, *J. Hazard. Mater.* 147 (2007) 1063–1072.
- Canfora L., Salvati L., Benedetti A., Dazzi C., Lo Papa G. (2017). Saline soils in Italy: distribution, ecological processes and socioeconomic issues. DOI: 10.13128/REA-21964
- Chen, Z., Li, Y., Ye, C., He, X., Zhang, S., (2021). Fate of antibiotics and antibiotic resistance genes during aerobic co-composting of food waste with sewage sludge. *Sci. Total Environ.* 784, 146950. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146950>.
- Climate-Data.org (data di accesso 20 settembre 2022) <https://it.climate-data.org/europa/italia/emilia-romagna/lido-di-spina-199732/>
- Day, P.R., (1965). Particle fractionation and particle size analysis, in: C.A. Black, D.D. Evans, L.E. Ensminger, J.L. White, F.E. Clark. (Eds.) *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy. Madison. pp. 545-567. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c43>.
- Dazzi C., Lo Papa G. (2013). Soil threats. In *The Soils of Italy*, (Edited by Costantini E.A.C. and Dazzi C.). World Soils Book Series XI Springer, Dordrecht, 205-245.
- FAO. 1980. *A manual of rural composting*. FAO/UNDP Regional Project RAS/75/004 Field Document No. 15. Rome.
- Ghassemi, F., Jakeman, A.J., Nix, H.A., (1995). *Salinization of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, Management and Case Studies*. University of New South Wales Press Ltd, Sydney, 526 pp.
- Gurmessa, B., Pedretti, E.F., Cocco, S., Cardelli, V., Corti, G., (2020). Manure anaerobic digestion effects and the role of pre- and post-treatments on veterinary antibiotics and antibiotic resistance genes removal efficiency. *Sci. Total Environ.* 721, 137532.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137532>
- Gurmessa B., Cocco S., Ashworth A.J., Foppa Pedretti E., Ilari A., Cardelli V., Fornasier F., Ruello M.L., Corti G. (2021a). Post-digestate composting benefits and the role of enzyme

- activity to predict trace element immobilization and compost maturity. *Bioresour. Technol.* 338, 125550. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125550>
- Gurmessa B., Milanovic V., Foppa Pedretti E., Corti G, Ashworth A.J., Aquilanti L., Ferrocino I., Corvaglia M.R., Cocco S. (2021b). Post-digestate composting shifts microbial composition and degrades antimicrobial resistance genes. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125662>
- Güzel, N., Gülüt, K., (2010). *Soil Formation and Properties*. University of Çukurova, Adana, Faculty of Agriculture Pub. No. 289.
- Hanay A., F. Buyuksonmez, F.M. Kiziloglu, M.Y. Canbolat, Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost, *Compost Sci. Util.* 12 (2004) 175-179.
- Hanson, B.R., (2006). Leaching fractions and irrigation uniformity. In: Hanson, B.R., Grattan, S.R., Fulton, A. (Eds.), *Agricultural Salinity and Drainage*. Division of Agriculture and Natural Resources Publication 3375, University of California Irrigation Program. University of California, Davis, CA, pp. 131-132.
- Horneck, D., Ellsworth, J., Hopkins, B., Sullivan, D., Stevens, R., (2007). *Managing Salt-Affected Soils for Crop Production*. A Pacific Northwest Extension publication Oregon State University, University of Idaho and Washington State University.
- IUSS Working Group WRB (2014). *World Reference Base for Soil Resources 2014*. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports No. 106*. FAO, Rome.
- Karwal, M., Kaushik, A., (2020). Co-composting and vermicomposting of coal fly-ash with press mud: Changes in nutrients, micro-nutrients and enzyme activities. *Environ. Technol. Innov.* 18, 100708. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100708>
- Lakhdar A., C. Hafsi, M. Rabhi, A. Debez, F. Montemurro, C. Abdelly, N. Jedidi, Z. Ouerghi, Application of municipal solid waste compost reduces the negative effects of saline water in *Hordeum maritimum* L., *Bioresour. Technol.* 99 (2008) 7160–7167.
- Lakhdar A., Rabhi M., Ghnaya T., Montemurro F., Jedidi N., Abdelly C., Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 171, Issues 1–3, (2009), Pages 29-37, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.132>.
- Läuchli, A., Grattan, S.R., (2007). Plant growth and development under salinity stress. In: Jenks, M.A., Hasegawa, P.M., Jain, S.M. (Eds.), *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*. Springer, Dordrecht, pp. 1-32. Available from: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5578-2>.
- Ma, Y., Wilson, C.A., Novak, J.T., Ri, R., Aynur, S., Murthy, S., Pruden, A., (2011). Effect of Various Sludge Digestion Conditions on Sulfonamide, Macrolide, and Tetracycline Resistance Genes and Class I Integrins 7855–7861. <https://doi.org/10.1021/es200827t>.
- Machado, R., Serralheiro, R., (2017). Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae* 3 (2), 30. Available from: <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020030>
- McConnell B., A. Shiralipour, W. Smith, Compost application improves soil properties, *Biocycle* 34 (1993) 61–63.
- Meena, A.L., Kaerwal M., Dutta D., Mishra R.P. (2021). Composting: Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. Article ID: 10028
- Melero S., E. Madejon, J.C. Ruiz, J.F. Herencia, Chemical and biochemical properties of a clay soil under dryland agriculture system as affected by organic fertilization, *Eur. J. Agron.* 26 (2007) 327–334.
- Muhammad S., T. Muller, R. Georg Joergensen, Compost and P amendments for stimulating microorganisms and maize growth in a saline soil from Pakistan in comparison with a nonsaline soil from Germany, *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170 (2007) 745–751.
- Munns, R., (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ* 25, 239-250.

- Okur B., Örcen N., (2020). Soil salinization and climate change Climate Change and Soil Interactions. LTD. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00012-6>
- Oliver, J.P., Gooch, C.A., Lansing, S., Schueler, J., Hurst, J.J., Sassoubre, L., Crossette, E. M., Aga, D.S., (2020). Invited review: Fate of antibiotic residues, antibiotic-resistant bacteria, and antibiotic resistance genes in US dairy manure management systems. *J. Dairy Sci.* 103 (2), 1051–1071. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16778>
- Pathak H., D.L.N. Rao, Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils, *Soil Biol. Biochem.* 30 (1998) 695–702.
- Perini L., Salvati L., Zitti M., Sorrenti S., Ceccarelli T. (2008). *La desertificazione in Italia*, Bonanno, Roma-Acireale.
- Pisinaras, V., Tsihrintzis, V.A., Petalas, C., Ouzounis, K., (2010). Soil salinization in the agricultural lands of Rhodope District, northeastern Greece. *Environ. Monit. Asses* 166, 79-94. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0986-6>.
- Qian, X., Gu, J., Sun, W., Wang, X.J., Su, J.Q., Stedfeld, R., (2018). Diversity, abundance, and persistence of antibiotic resistance genes in various types of animal manure following industrial composting. *J. Hazard. Mater.* 344, 716–722. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.11.020>.
- Rao, D.L.N. & Pathak, H. (1996). Ameliorative Influence of Organic Matter on Biological Activity of Salt-Affected Soils. *Arid Land Research and Management - ARID LAND RES MANAG.* 10. 311-319. 10.1080/15324989609381446.
- Rasool R., S.S. Kukal, G.S. Hira, Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice–wheat system, *Soil Till. Res.* 96 (2007) 64-72.
- Schoeneberger P.J., Wysoki D.A., Benham E.C., Broderson W.D., (1998). *Field book for describing and sampling soils*. Natural Resources Conservation Service, USDA, National Soil Survey Center, Lincoln, 185
- Šimanský V., Juriga M., Jonczak J., Uzarowicz Ł., Stepień W. (2019). How relationships between soil organic matter parameters and soil structure characteristics are affected by the long-term fertilization of a sandy soil. *Geoderma*, 342 (2019), pp. 75-84
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Tan K.H., *Principles of soil chemistry*, Marcel Dekker Inc., (1993)
- Tang, J., Zhang, L., Zhang, J., Ren, L., Zhou, Y., Zheng, Y., Luo, L., Yang, Y., Huang, H., Chen, A., (2020). Physicochemical features, metal availability and enzyme activity in heavy metal-polluted soil remediated by biochar and compost. *Sci. Total Environ.* 701, 134751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134751>
- Tomaz, A., Palma, P., Alvarenga, P., Gonçalves, M.C., (2020). Soil salinity risk in a climate change scenario and its effect on crop yield, *Climate Change and Soil Interactions. LTD.* <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818032-7.00013-8>
- United States Salinity Laboratory Staff. 1954. L.A. Richards (ed.). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agric. Handb. 60. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Vepraskas M.J., Bouma J., Model experiments on mottle formation simulating field conditions. *Geoderma*, Volume 15, Issue 3, (1976), Pages 217-230, ISSN 0016-7061. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(76\)90076-8](https://doi.org/10.1016/0016-7061(76)90076-8).
- Wallace, J.S., Garner, E., Pruden, A., Aga, D.S., (2018). Occurrence and transformation of veterinary antibiotics and antibiotic resistance genes in dairy manure treated by advanced anaerobic digestion and conventional treatment methods. *Environ. Pollut.* 236, 764–772. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.024>.
- Weil, R.R., Brady, N.C., (2016). *The Nature and Properties of Soils*, fifteenth ed. Pearson, Columbus, OH (Chapter 10)