



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**IMPATTO DI PRATICHE AGRICOLE
SULLE PROPRIETÀ FISICO-CHIMICHE DI
SUOLI DI DRYLANDS NEGLI EMIRATI
ARABI UNITI**

“Impact of agricultural practices on soil physico-
chemical properties of drylands in the United Arab
Emirates”

TIPO TESI: SPERIMENTALE

Studente:
Luca Zaffini

Relatore:
PROF./DOTT. STEFANIA COCCO

Correlatore:
PROF./DOTT. ANDREA SALVUCCI

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

1 INTRODUZIONE	3
1.1 SUOLI SALINI	3
1.2 PROCESSO DI SALINIZZAZIONE	4
1.3 PROBLEMATICHE DI UN SUOLO SALINO	5
1.4 CLASSIFICAZIONE DEI SUOLI SALINI	6
1.5 DRYLANDS E SUOLI DEGLI EMIRATI ARABI UNITI.....	7
2 SCOPO DELLA TESI	10
3 MATERIALI E METODI	11
3.1 DESCRIZIONE DEI SITI.....	11
3.1.1 <i>Al Foah</i>	11
3.1.2 <i>Sweiha</i>	12
3.2 CAMPIONAMENTO PEDOLOGICO E DESCRIZIONE MORFOLOGICA DEI SUOLI.....	13
3.2.1 <i>Descrizione morfologica dei suoli</i>	13
3.3 PREPARAZIONE DEI CAMPIONI	19
3.4 ANALISI FISICO-CHIMICHE	19
3.4.1 <i>Tessitura</i>	19
3.4.2 <i>Determinazione del pH in H₂O</i>	20
3.4.3 <i>Determinazione della conducibilità elettrica</i>	20
3.5 ANALISI STATISTICA	21
4 RISULTATI	22
4.1 PROPRIETÀ FISICO-CHIMICHE DEI SUOLI DI AL FOAH.....	22
4.3 PROPRIETÀ FISICO-CHIMICHE DEI SUOLI DI SWEIHAN	26
5 DISCUSSIONI	31
6 CONCLUSIONI	33
7 BIBLIOGRAFIA	34

1 INTRODUZIONE

1.1 Suoli salini

La salinità di un suolo è riferita alla concentrazione di sali disciolti nella soluzione circolante di esso, vengono presi in considerazione i sali più solubili del gesso, tra questi i più presenti sono: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} (Paz et al., 2023; Tomaz et al., 2020). La salinità viene misurata tramite la conducibilità elettrica (EC) [dS m^{-1}], ed un suolo viene definito salino quando la sua EC è superiore a 4 dS m^{-1} . Viene adottando questo valore basandosi sull'osservazione, che a questa soglia, le colture più comuni iniziano a mostrare una significativa riduzione della crescita e della resa (Richards, 1954). Nel 1988 la FAO ha stabilito che un suolo deve essere classificato salino quando la sua EC è superiore a 2 dS m^{-1} , perché da questa soglia la salinità inizia ad influenzare negativamente la crescita delle colture, soprattutto colture più sensibili come lattuga, cipolla, fagioli, carote e fragole (FAO, 1988). La conducibilità elettrica viene misurata sulla soluzione estratta da pasta satura (EC_e) ad una temperatura di 25°C , oppure può essere misurata anche sull'acqua di estrazione (EC_{sw}) ma questo valore è meno accurato rispetto il precedente in quanto non tiene in considerazione la diversa capacità della pianta di estrarre la soluzione dal suolo in base all'acqua presente, questo perché vengono usati rapporti tra campione di suolo e acqua di 1:2,5 o 1:5. Non sono condizioni naturali in quanto in un suolo difficilmente abbiamo una così grande quantità di acqua (Paz et al., 2023; Tomaz et al., 2020). Un accumulo eccessivo di ioni sodio in un suolo salino può portare a caratterizzarlo come un suolo salino-sodico. Questa tipologia di suolo è caratterizzata da un EC maggiore di 4 dS m^{-1} e da un indice percentuale di sodio scambiabile (ESP) maggiore del 15%, questa percentuale indica che la quantità di ioni Na^+ rispetto tutti gli altri cationi scambiabili nel suolo. ed ha un Rapporto di Adsorbimento del Sodio (SAR) maggiore di 13. Quest'ultimo è un parametro che indica il rapporto tra la concentrazione di sodio e le concentrazioni di ioni calcio e magnesio nella soluzione del suolo. (Paz et al., 2023).

I suoli salini sono presenti in tutti i continenti, anche se con proporzioni variabili. La FAO nel 2015 ha stimato che nel mondo la superficie ricoperta da suoli salini era di circa 1 miliardo di ha. Le aree aride e semi-aride presentano una maggior proporzione di suoli salini, a causa della

bassa e irregolare piovosità e dell'elevata evaporazione favorendo un accumulo dei sali. Anche le coste sono colpite dalla salinità, essendo in continuo contatto con acqua marina ricca di sali disciolti (“Mapping of Salt-Affected Soils – Technical Manual,” 2020).

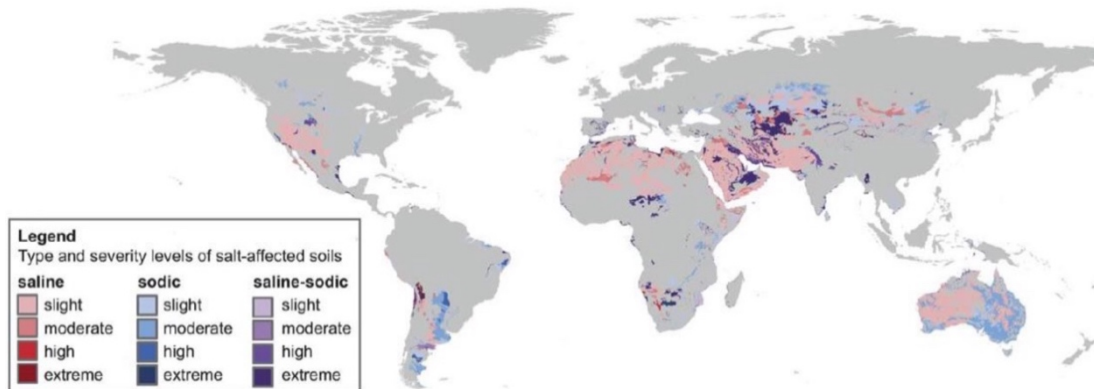


Figura 1-1 distribuzione globale dei suoli salini (“Mapping of Salt-Affected Soils – Technical Manual,” 2020)

Come si può vedere in Figura 1-1 le aree con una maggiore concentrazione di suoli salini sono quelle desertiche, in particolare si può notare il deserto del Sahara, il Gran Deserto Sabbioso in Australia, i deserti degli Stati Uniti, e tutta la penisola araba, in cui è presente anche il Rub’ al-Khali, un deserto sabbioso che si estende nella parte meridionale della penisola.

1.2 Processo di salinizzazione

La salinizzazione del suolo è un processo di accumulo di sali dovuto a cause naturali o anche dette primarie e cause antropogeniche o anche definite secondarie. Le cause naturali includono la mineralogia del materiale parentale, la topografia e la qualità della falda acquifera. La degradazione dei minerali primari rilascia cationi e anioni solubili. In climi umidi questi ioni sono generalmente lisciviati dal sistema del suolo e trasportati verso forme di rilievo più basse o falde acquifere. In ambienti aridi e semi-aridi, i cationi tendono a rimanere nel complesso di scambio del suolo o a precipitare come minerali secondari quando la concentrazione ionica raggiunge la saturazione di un determinato sale. I minerali meno solubili come il gesso e la magnesite possono facilmente precipitare in condizioni aride, sottraendo il calcio in soluzione e facendo aumentare la proporzione relativa di ioni Na^+ . Inoltre, i sali più solubili del gesso come carbonato di sodio, solfato di sodio, solfato di magnesio, cloruro di potassio, cloruro di magnesio e cloruro di sodio possono precipitare nel suolo, caratterizzando i suoli salini. La

topografia e l'idrologia con i processi di ricarica e deflusso favoriscono l'accumulo di sali, soprattutto in zone aride o semi-aride dove l'evaporazione è maggiore rispetto le precipitazioni o il deflusso di queste acque ricche di sali, portando ad un accumulo nel suolo. Con la scarsa piovosità, può essere richiamata per capillarità acqua salina dalle falde, ed una volta in superficie evaporare accumulando sale. In aree costiere la deposizione dei sali può avvenire anche con il trasporto da parte del vento o l'intrusione di acqua salina. Le cause secondarie sono tutte quelle dovute all'accumulazione di errori di gestione agricola da parte dell'uomo, tra questi abbiamo un'eccessiva fertilizzazione, una cattiva gestione dell'irrigazione con acque con un alto contenuto di sali unita ad una sbagliata gestione del drenaggio, soprattutto in zone pianeggianti, che non permette il deflusso dell'acqua con il sale, che di conseguenza si accumula (Stavi et al., 2021; Rengasamy, 2016; Bui, 2017). Si stima che nel mondo quasi il 20% della superficie coltivata irrigua sia affetta da salinizzazione (Tomaz et al., 2020). L'irrigazione con acque saline è purtroppo un problema riguardante soprattutto le zone più aride, in cui le precipitazioni non sono tali da riuscire a ricaricare le falde acquifere, per cui non c'è disponibilità di acqua di buona qualità per irrigare o per dilavare i suoli dal sale, e gli agricoltori sono costretti ad utilizzare acque saline per l'irrigazione (Tedeschi, 2020).

1.3 Problematiche di un suolo salino

Un suolo salino può causare molti danni, tra cui la diminuzione dell'assorbimento di acqua da parte delle radici. Questo assorbimento è possibile tramite l'effetto osmotico che permette all'acqua di passare da un ambiente meno concentrato, che in condizioni normali sarebbe il suolo, ad un ambiente più concentrato di soluto, cioè all'interno della radice. Se la presenza di sali nel suolo è molto alta, l'acqua non entrerà all'interno delle radici, perché la pressione osmotica sarà troppo debole, e la pianta andrà incontro a morte per disidratazione (Mc Farlane et al., 2017). Oltre ad un effetto sull'assorbimento dell'acqua gli ioni presenti nei suoli salini possono creare problemi di tossicità. Tra questi i principali sono gli ioni del sale cloruro di sodio (NaCl). Il cloro, Cl^- , tende ad accumularsi nelle foglie, interferendo con la fotosintesi e portando a clorosi e necrosi fogliari. Inoltre, un'eccessiva presenza di cloro nel suolo interferisce con l'assorbimento di nutrienti essenziali come il nitrato, NO_3^- . Invece gli ioni di sodio, Na^+ , se presenti in concentrazioni elevate possono sostituirsi agli ioni potassio nelle funzioni cellulari causando l'equilibrio osmotico delle cellule vegetali (Gamalero et al., 2020). Un'alta concentrazione di ioni sodio causa anche problemi alla struttura del suolo, in quanto il sodio si sostituisce agli altri ioni nei siti di scambio presenti nei colloidi, causando un collasso della struttura portandola ad uno stato di dispersione. Questo stato di dispersione

riduce la porosità, in quanto le particelle più fini come l'argilla tendono ad occludere tutti gli spazi, e quindi porta ad avere un suolo quasi sigillato, in cui l'acqua percola difficilmente portando a ristagni superficiali e le radici non riescono ad approfondirsi

Gli effetti tossici di questi ioni non si limitano soltanto alle piante ma anche alla componente microbica del suolo causando effetti come lo stress osmotico, sbilanciamento ionico che è dovuto in particolare agli ioni Na^+ che interferiscono con la funzionalità degli enzimi, della sintesi proteica e delle proteine di membrana oppure interferenza con i processi biochimici della cellula a causa all'eccesso di ioni Cl^- . Essendo compromessa la sopravvivenza degli organismi meno resistenti a questi ioni si riduce l'attività di decomposizione della materia organica e la diversità (Gamalero et al., 2020).

Un altro problema dell'accumulo di sali nel suolo è l'alcalinizzazione. Si tratta di un innalzamento del pH con livelli sopra il 7. Questo innalzamento di pH è causato dalla presenza elevata di minerali di carbonio solubili. con un aumento del pH del suolo, il comportamento dei nutrienti delle piante cambia in maniera significativa. La solubilità e mobilità di molti nutrienti sono influenzate dal pH del suolo. In generale, un pH superiore a 8, riduce la disponibilità di micronutrienti come ferro, manganese, rame e zinco, causando sintomi di carenze. Anche il fosforo con l'aumento del pH diventa meno disponibile, in quanto reagendo con il calcio precipita formando composti insolubili. Allo stesso tempo, l'alta disponibilità di calcio nei suoli alcalini può interferire con l'assorbimento di magnesio e potassio, causando ulteriori carenze di nutrienti (Paz et al., 2023; Hartemink & Barrow, 2023). Anche le comunità microbiche del suolo vengono alterate da un pH elevato, ne inibisce l'attività enzimatica rallentando o addirittura arrestando la mineralizzazione della sostanza organica. Inoltre, un pH superiore a 8,5-9 causa una riduzione del numero di specie di queste comunità, riducendo ulteriormente l'efficienza dei processi microbici per la mineralizzazione della sostanza organica (Naz et al., 2022).

1.4 Classificazione dei suoli salini

I suoli salini e suoli sodici sono classificati secondo la Soil Taxonomy dalla presenza di orizzonti diagnostici *salic* e *natric*, che sono caratterizzati da specifiche proprietà fisiche e chimiche legate alla presenza di sali solubili e sodio scambiabile. L'orizzonte *salic* è un orizzonte di suolo che contiene elevate concentrazioni di sali solubili, sufficienti a influenzare negativamente la crescita delle piante, la presenza di questo è indicativa di suoli salini. Questo orizzonte di almeno 15cm è caratterizzato da un EC_e maggiore di 30 dS m^{-1} a 25°C , per almeno 90 giorni consecutivi all'anno. La presenza di sali come cloruri, solfati e, in minor misura,

bicarbonati e carbonati, causano spesso una crosta superficiale bianca o macchie bianche all'interno del profilo di suolo. L'orizzonte *natric*, invece, è un orizzonte del suolo di origine illuviale, caratterizzato da un accumulo di argilla accompagnata da una significativa quantità di sodio scambiabile, andando poi a caratterizzare i suoli sodici, presente in uno o più orizzonti nei primi 40 cm di suolo. Questo orizzonte presenta un assorbimento di sodio (SAR) maggiore di 13, indicando una dominanza di sodio sugli altri cationi, ed un pH di 8,5. Inoltre, ha una struttura prismatica o colonnare ben sviluppata, che generalmente nella parte superiore tende a rompersi in blocchi, e un EC_e minore rispetto il *salic*. Il sodio scambiabile contribuisce alla dispersione delle particelle di argilla, portando a una struttura del suolo densa e compatta, riducendo la permeabilità dell'acqua e rende difficile la penetrazione delle radici (Soil Taxonomy, 1999).

1.5 Drylands e suoli degli Emirati Arabi Uniti

Le *drylands* sono le terre aride, occupano circa il 41% della superficie terrestre, sono definite dal rapporto tra le precipitazioni annuali (P) e l'evapotraspirazione potenziale annuale (PET), con P/PET minore di 0,65. Sono classificate in base a questo rapporto in iperaride ($P/PET < 0,05$), aride ($0,05 < P/PET < 0,20$), semi-aride ($0,20 < P/PET < 0,50$) e sub-umide secche ($0,50 < P/PET < 0,65$). Queste terre includono deserti, praterie e savane boschive, vivendo ai margini della sostenibilità a causa della scarsa umidità per tutto o parte dell'anno (Feng & Fu, 2013).

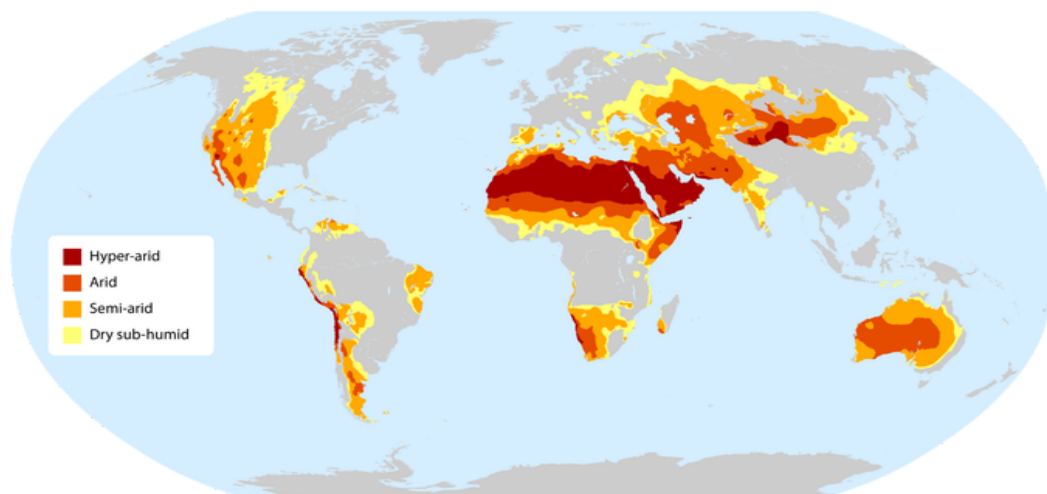


Figura 1-2 Distribuzione globale drylands (fao.org, 2007)

La maggioranza dei suoli definiti *drylands* sono suoli sabbiosi. Un suolo è definito sabbioso dalla classificazione USDA quando nella sua tessitura ha percentuali di argilla minori del 10%, di limo minori del 15% e di sabbia maggiori dell'85%. I suoli sabbiosi presentano diverse problematiche a causa della loro tessitura grossolana, essendo suoli molto arieggiati la poca sostanza organica presente nel suolo si decompone rapidamente, non permettendo la formazione di aggregati più stabili per garantire una buona struttura. Sempre a causa della struttura grossolana è ridotta la ritenzione idrica e anche la capacità di trattenere i nutrienti a causa della bassa capacità di scambio cationico. La bassa capacità di ritenzione idrica fa sì che l'acqua percoli rapidamente all'interno del suolo, e oltre a non essere disponibile per le piante con la lisciviazione porta con sé tutti gli elementi nutritivi presenti, trasportandoli fino alle falde sotterranee rischiando di inquinare (Li et al., 2021). La struttura leggera e friabile rende questi suoli particolarmente suscettibili anche all'erosione da parte del vento e dell'acqua, soprattutto in aree con scarsa copertura vegetale, causando un rallentamento dello sviluppo del suolo (Di e Cameron, 2002). Riferendosi alle *drylands* il problema della lisciviazione dei nutrienti non si pone, in quanto non ci sono le condizioni per cui avvenga, essendoci poche e deboli precipitazioni, ma fanno sì che inizino i processi di pedogenesi liberando ioni nel suolo. La veloce evaporazione dell'acqua però fa sì che questi elementi non possano essere trasportati in profondità e quindi precipitano e si accumulano negli strati superficiali aumentandone la salinità. Un problema sempre legato alla veloce evaporazione dell'acqua è che i processi pedogenetici non sono abbastanza lunghi per disgregare le particelle di suolo, portando ad avere una struttura grossolana (Osman, 2018).

Come si vede in Figura 1-2 gli Emirati Arabi Uniti si trovano all'interno delle *drylands*, in particolare nella classe iperaride. Sono caratterizzati da suoli appartenenti agli ordini *aridisols* e *entisols*. Gli *aridisols* sono suoli che si formano in climi aridi e desertici, generalmente a basso contenuto organico e accumuli di sali e minerali. Si distinguono tre sub-ordini in queste zone: *salids*, dove il suolo è fortemente salino, *gypsisols* sono quei suoli che hanno un orizzonte *gypsic* o *petrogypsic* entro 100cm dalla superficie del suolo (questi orizzonti sono caratterizzati da un'alta presenza di gesso), *calcids*, sono quei suoli che hanno un orizzonte *calcids* o *petrocalcids* entro 100cm dalla superficie del suolo (gli orizzonti in questione sono caratterizzati da un'alta presenza di carbonato di calcio). Gli *entisols* sono suoli in cui non è presente un orizzonte diagnostico, perché il suolo non è abbastanza sviluppato a causa di processi pedogenetici rallentati o di continue erosioni. Sono dominanti in tutte quelle zone desertiche della regione, caratterizzate dalla presenza di dune, e molto suscettibili all'erosione del vento (Abdelfattah e Shahid 2007). Generalmente i suoli degli Emirati arabi hanno uno

sviluppo significativamente limitato a causa della scarsità di acqua che rallentano i processi pedogenetici. La limitata disponibilità idrica impedisce la completa maturazione dei profili pedogenetici, poiché i processi di alterazione chimica e fisica sono molto lenti. Di conseguenza, i suoli rimangono poco sviluppati, con scarsa formazione di orizzonti pedogenetici distinti e una ridotta capacità di trattenere l'umidità e sostenere la vegetazione (Mirus et al., 2009; Nimmo et al., 2009).

2 SCOPO DELLA TESI

Il presente lavoro di tesi si inserisce all'interno di un progetto più ampio, finalizzato a studiare le dinamiche e i processi pedogenetici che interessano i suoli di *drylands*. In particolare, l'obiettivo del lavoro è effettuare un confronto preliminare tra suoli coltivati e non coltivati in aree situate nell'emirato di Abu Dhabi (Emirati Arabi Uniti), considerando 3 dei principali parametri fisico-chimici (tessitura, pH, conducibilità elettrica).

3 MATERIALI E METODI

3.1 Descrizione dei siti

I siti di studio si trovano negli Emirati Arabi Uniti, più in particolare sono state esaminate due zone distinte entrambe nell'emirato di Abu Dhabi, che sono l'area di Al Foah (Al Fou'ah), e l'area di Sweihan. (fig. 3-1). Per entrambe le zone sono state esaminate due aree, una coltivata e una non coltivata.

3.1.1 Al Foah

Al Foah è un quartiere della città di Al Ain al confine con l'Oman, caratterizzato da un clima desertico con poche piogge durante l'anno. È infatti considerato nella categoria BWh secondo la classificazione dei climi di Köppen-Geiger, ovvero deserti caldi e aridi. La temperatura media è di 28°C. Il mese più caldo è quello di luglio con temperature medie di 36,2 °C mentre le temperature minime si registrano nel mese di gennaio con una media di 17.7°C. La precipitazione annua è di 48mm, e le piogge sono concentrate soprattutto nei mesi invernali, anche se il mese più piovoso è marzo con una media di 13mm ed il maggior numero di giorni piovosi. Mentre sono quasi assenti nei mesi estivi e autunnali, in particolare maggio, giugno, settembre e ottobre con assenza totale di precipitazioni (Climate-data.org, 2021).

Il sito di campionamento dell'area coltivata si trova all'interno dell'azienda agricola sperimentale del College of Agriculture and Veterinary medicine, compresa nell'United Arab Emirates University, in un appezzamento pianeggiante rimasto incolto per cinque anni dove precedentemente era stato coltivato mais. All'interno dell'azienda vengono coltivati anche ortaggi, e alcuni alberi da frutto come ad esempio palme da dattero. Oltre a perseguire studi di orticoltura e gestione delle risorse agricole. Il sito in cui sorge l'azienda è stato interessato da un evento colluviale, che ha comportato l'apporto di particelle fini trasportate dall'acqua di ruscellamento derivante da eventi piovosi importanti che hanno colpito la zona molti anni fa, interessando anche i versanti della vicina catena montuosa dell'Oman, dando origine ad un conoide di deiezione. (Fig. 3-1) Il sito di campionamento dell'area non coltivata è una duna con la presenza sporadica di qualche pianta di *Ammophila arenaria* e una pendenza di circa il

20%. Si trova a circa sei chilometri dalla zona coltivata, preso in considerazione perché non interessato dall'attività umana.

3.1.2 Sweihan

Sweihan è una piccola città a circa settanta chilometri nord-ovest da Al Ain. Anche questa area è considerata una zona desertica con poche precipitazioni, appartenente alla categoria BWh secondo la classificazione dei climi di Köppen-Geiger. La temperatura media è di 27.9°C. Il mese più caldo è agosto con una temperatura media di 36.3°C, mentre il mese con le temperature minori è gennaio con una media di 18°C. Le precipitazioni annue sono di 55mm, anche qui distribuite soprattutto nei mesi invernali. Il mese con più precipitazioni è marzo con 15mm, mentre si registra un'assenza di precipitazioni nei mesi di maggio, giugno, ottobre e settembre (Climate-data.org, 2021).

Il sito di campionamento dell'area coltivata è anch'esso dell'azienda agricola sperimentale del College of Agriculture and Veterinary medicine. In quest'area si svolgono principalmente prove sperimentali su specie alofite, ma sporadicamente si fanno prove su colture arboree. Il sito di campionamento dell'area non coltivata è a circa 350 metri dal sito coltivato (Fig. 3-1), e con una copertura vegetale del 20% da *Tetraena qatarensis*, un piccolo arbusto spontaneo tipico di quelle zone.



Figura 3-1: Localizzazione dei siti di Sweihan e Al Foah (A); siti di campionamento coltivato e non coltivato di Al Foah (B); siti di campionamento coltivato e non coltivato di Sweihan(C)

3.2 Campionamento pedologico e descrizione morfologica dei suoli

Il campionamento pedologico dei siti è stato effettuato aprendo dei profili di suolo e procedendo con la classificazione visiva dei vari orizzonti seguendo il metodo di Schoeneberger (2012) andando ad individuare e descrivere i diversi parametri morfologici: tipo di orizzonte, profondità, limite, colore, struttura, consistenza e radici (Schoeneberger et al., 2012).

3.2.1 Descrizione morfologica dei suoli

Come si può osservare nelle Tabelle 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ed in Figura 3-2 e 3-3, tutti i suoli coltivati presentano orizzonti A e B ad eccezione del sito non coltivato di Al Foah situato in una duna che presenta solo orizzonti C. I siti coltivati presentano orizzonti Ap divisi poi tra di loro in dei sotto-orizzonti indicati con dei numeri, che possono indicare le diverse tipologie di lavorazioni effettuate. In entrambi i siti di Sweihan si può notare la presenza di gesso nel suolo, indicato con la lettera y accanto al nome dell'orizzonte. I limiti degli orizzonti sono quasi tutti chiari ed ondulati ad eccezione degli orizzonti del sito non coltivato di Al Foah in cui gli orizzonti sono separati in maniera netta (limite abrupto), ben visibile in figura 3-2. In tutti gli orizzonti dei siti di Al Foah è presente una struttura a granulo singolo, indicando che le particelle sono separate tra di loro, senza formare aggregati stabili. Mentre nei siti di Sweihan gli orizzonti hanno una struttura debole, eccetto per l'orizzonte By del sito coltivato che ha una struttura moderata. Le dimensioni della struttura vanno da molto fine a grossolana con presenza di blocchi angolari o sub-angolari, con la presenza di granuli singoli, ad eccezione dell'orizzonte Ay del sito non coltivato che presenta solamente una struttura a granulo singolo. Gli orizzonti di entrambi i siti hanno una consistenza sciolta e friabile. Nei siti di Sweihan si ha una minima presenza di radici negli orizzonti By, inoltre negli orizzonti Apy1 e Apy2 del sito coltivato è presente materiale organico. Nel sito non coltivato il suolo presenta noduli di gesso di consistenza estremamente dura, come si nota in figura 3-3, e nell'orizzonte Ay 2% di scheletro e presenza di radici morte. Ad Al Foah sono presenti radici morte solo nell'orizzonte Ap1 del sito coltivato.

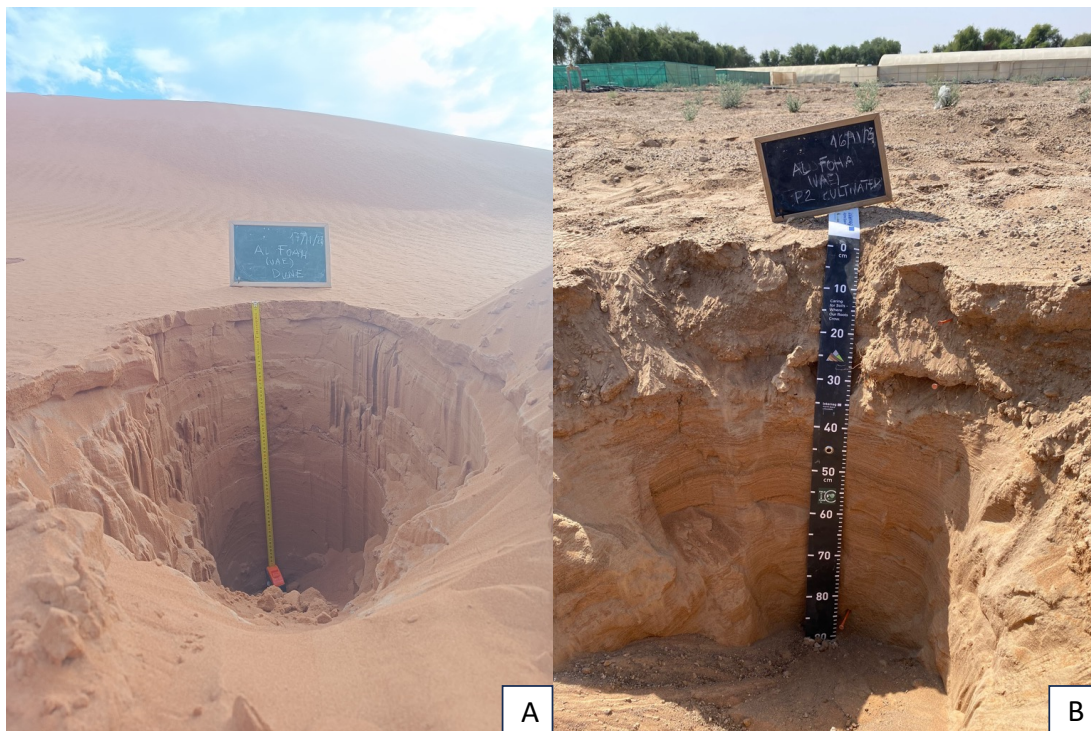


Figura 3-2: Profilo sito non coltivato (A) e sito coltivato (B) Al Foah.



Figura 3-3: Profilo sito non coltivato (A) e non coltivato (B) Sweihan

Tabella 3.1: Proprietà morfologiche dei profili di suolo non coltivato in Sweihan. Codici attribuiti secondo Schoeneberger et al. (2002). Per simboli vedere legenda

Suolo non coltivato, Sweihan							
Pendenza: 2%; copertura vegetale 20 %: <i>Tetraena qatarensis</i>							
Suolo: Haplogypsid							
Orizzonte	Profondità (cm)	Limite ^a	Colore ^b	Struttura ^c	Consistenza ^d	Radici ^e	Osservazioni ^f
Ay	0-6	CW	10YR 7/3	Sg	d(lo)	-	2% scheletro mm, cm; GYN d(eh); radici morte
By1	6-17	GW	5YR 6/6	1vf,f,m,co abk, sbk; sg	d(so), d(lo)	1vf,f	1% gesso, GYN
By2	17-33	GI	5YR 6/6	1vf,f,mco abk, sbk; sg	d(so), d(lo)	1vf,f	25% gesso GYN d(eh)

^a C=definito; G=graduale; W=ondulato, I=irregolare.

^b Secondo le Munsell Soil Color Chart (1992 edition).

^c 1=debole; vf=molto fine, f=fine, m=media, co=grossolana; abk=blocchi angolari, sbk=blocchi subangolari, sg=granulo singolo.

^d d=secco; (lo)=sciolto, (so)=morbido.

^e 1=poche, vf=molto fine, f=fine

^f GYN=noduli di gesso; d=secco, (eh)=estremamente duro; percentuale visiva stimata secondo “percent of area covered” riportato in Schoeneberger et al. (2012).

Tabella 3.2: Proprietà morfologiche dei profili di suolo coltivato in Sweihan. Codici attribuiti secondo Schoeneberger et al. (2002). Per simboli vedere legenda

Suolo coltivato, Sweihan							
Pendenza: 0%; copertura vegetale 0%							
Suolo: Haplosalids							
Orizzonte	Profondità (cm)	Limite ^a	Colore ^b	Struttura ^c	Consistenza ^d	Radici ^e	Osservazioni ^f
Apy1	0-9	CW	10YR 6/3	1vf,f,m abk, sbk; sg	d(so), d(lo)	-	ORM; 2% gesso
Apy2	9-13	CW	10YR 6/4	1vf,f,m,co abk, sbk; sg	d(so), d(lo)	-	ORM (manure); 2% gesso
Apy3	13-20	GW	10YR 6/4	1vf,f,m,co abk, sbk; sg	d(so), d(lo)	-	2% gesso
By	20-38	CW	7.5YR 6/6	2vf,f,m,co abk, sbk; sg	d(so), d(lo)	1f,1m	<2% gesso

^a C=definito; G=graduale; W=ondulato.

^b Secondo le Munsell Soil Color Chart (1992 edition).

^c 1=debole, 2=moderata; vf=molto fine, f=fine, m=media, co=grossolana; abk=blocchi angolari, sbk=blocchi subangolari, sg=granulo singolo.

^d d=secco; (lo)=sciolto, (so)=morbido.

^e 1=poche; f=fine, m=medie.

^f ORM=materiale organico; GYV=venature di gesso; d=secco, (eh)=estremamente duro; percentuale visiva stimata secondo “percent of area covered” riportato in Schoeneberger et al. (2012)

Tabella 3.3: Proprietà morfologiche dei profili di suolo coltivato in Al Foah. Codici attribuiti secondo Schoeneberger et al. (2002). Per simboli vedere legenda

Coltivato; Al Foah							
Pendenza:0%, copertura vegetale=0%							
Suolo: Torripsamments							
Orizzonte	Profondità (cm)	Limite ^a	Colore ^b	Struttura ^c	Consistenza ^d	Radici ^e	Osservazioni ^f
Ap1	0-10	CW	7.5YR 6/4	sg	d(lo)	1vf,f morte	40% cm,dm (selce, serpentinite e arenaria).
Ap2	10-20	AW	7.5YR 6/4	sg	d(lo)	0	Non ci sono segni di lavorazioni sotto i 20cm e le stratificazioni non sono ben visibili
AB	20-30	CW	7.5YR 5/4, con 6/3	sg	d(lo)	0	Coni di materiale da Ap, dovuto a radici.

^a A=abrupto, C=definito; W=ondulato.

^b Secondo le Munsell Soil Color Chart (1992 edition).

^c sg=granulo singolo

^d d=secco; (lo)=sciolto.

^e l=poche; vf=molto fine, f=fine.

^f percentuale visiva stimata secondo “percent of area covered” riportato in Schoeneberger et al. (2012)

Tabella 3.4: Proprietà morfologiche dei profili di suolo di duna in Al Foah. Codici attribuiti secondo Schoeneberger et al. (2002). Per simboli vedere legenda

Dune di sabbia, Al Foah							
Pendenza: 20%; Copertura vegetale <5%: <i>Ammophila arenaria</i>							
Suolo: Torripsamments							
Orizzonte	Profondità (cm)	Limite ^a	Colore ^b	Struttura ^c	Consistenza ^d	Radici ^e	Osservazioni
C1	0-4	AS	m(7.5YR 5/8)	sg	m(lo)	0	
C2	4-15	AS	d(7.5YR 5/6)	sg	d(lo)	0	
C3	15-23	CW	d(7.5YR 5/6)	sg	d(lo)	0	
C4	23-35	AS	d(7.5YR 5/6)	sg	d(lo)	0	3-4mm strati di sabbia con serpentine e colore olivina.

^a A=abrupto, C=definito; S=continuo, W=ondulato.

^b m=umido, d=secco; secondo le Munsell Soil Color Chart (1992 edition).

^c sg=granulo singolo.

^d m=umido, d=secco; (lo)=sciolto.

^e 0=assenti.

3.3 Preparazione dei campioni

Per ogni orizzonte pedologico individuato sono stati presi dei campioni da analizzare in laboratorio. I campioni sono stati sottoposti a essiccamento all'aria e successivamente setacciati tramite un setaccio con una maglia di 2mm di diametro in modo che la componente terra fine (<2mm) venisse separata dalla componente scheletro (>2mm). In modo da poter fare le analisi chimiche sulla terra fine, come da convenzione internazionale.

3.4 Analisi fisico-chimiche

3.4.1 Tessitura

Per l'analisi della tessitura sono stati presi campioni di terra da 15 a 30g (in base alla disponibilità del campione) provenienti da ogni orizzonte dei profili analizzati e messi in un becher da laboratorio. Successivamente è stata aggiunta un'uguale quantità di acqua distillata e poi messi in agitatore meccanico per 30 minuti in modo che la soluzione risulti più omogenea per la separazione. Al termine del tempo di agitazione si è proceduto alla separazione delle particelle che compongono il suolo (sabbia, limo e argilla) in base alle loro differenti dimensioni. Sono state utilizzate delle colonne di setacci posti uno sopra l'altro, con maglie sempre più fine, e tramite l'utilizzo di acqua distillata in una pipetta si asseconda il passaggio delle particelle senza forzarlo. La colonna era composta da cinque setacci rispettivamente di: 1 millimetro, 0,5 millimetri, 0,25 millimetri, 0,1 millimetri e 0,053 millimetri. Questa colonna serve a separare la frazione sabbiosa del suolo da quella argillosa e limosa, inoltre tra i vari setacci c'era un'ulteriore divisione della frazione sabbiosa secondo il metodo USDA distinguendo: sabbia grossa (tra 1 e 2mm), sabbia grossa (tra 1 e 0,5mm), sabbia media (tra 0,5 e 0,25mm), sabbia fine (tra 0,25 e 0,1mm) e sabbia molto fine (tra 0,1 e 0,053mm). La componente restante di suolo che non rimaneva nei setacci, rispettivamente limo e argilla, era in sospensione nell'acqua e veniva raccolta in fondo alla colonna di setacci da un sotto vaglio. I vagli contenenti le particelle di sabbia trattenute sono stati posti in stufa per l'essiccazione. Successivamente, sono stati accuratamente puliti per permettere la pesatura e la conservazione delle particelle di sabbia per future analisi. Mentre la componente in sospensione con l'acqua veniva posta in un cilindro graduato di vetro, poi portato a volume con acqua distillata. Per fare in modo che la colonna d'acqua all'interno del cilindro arrivasse ad un'altezza di 30 cm, su cui successivamente andranno fatte prove di sedimentazione delle particelle in base al loro

peso. Il tempo di prelevamento (t), per permettere la separazione delle particelle di limo e argilla nella colonna d'acqua viene calcolato attraverso la legge di Stokes:

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

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

Il tempo di sedimentazione calcolato è di 24 ore dopo il quale alla base del cilindro era presente la componente limo (precipitata) mentre la componente argilla era rimasta in sospensione. Le componenti sono state separate e fatte essiccare in stufa per procedere poi alla pesatura e conservazione per analisi future.

3.4.2 Determinazione del pH in H₂O

Per determinare il pH dei campioni di suolo sono stati prelevati 5g di campione e posti in una provetta di plastica. A questo punto è stata aggiunta acqua distillata in rapporto 1:2,5 (cioè 12,5 ml di acqua per ogni 5g di campione. Il tutto è stato agitato meccanicamente per 2 ore e poi lasciato riposare per 10 minuti. I valori di pH sono stati misurati con due cifre decimali. Prima della misurazione il pH-metro è stato calibrato utilizzando due soluzioni tampone di pH noto: una soluzione neutra con pH 7,01 e una soluzione acida con pH 4,01. Dopo la calibrazione, l'elettrodo è stato sciacquato con acqua distillata, asciugato e poi immerso nei diversi campioni per rilevare i valori di pH. Dopo la misurazione di ogni campione l'elettrodo è stato sciacquato con acqua distillata e poi asciugato, per eliminare eventuali problemi di inquinamento della misurazione successiva.

3.4.3 Determinazione della conducibilità elettrica

Per determinare la salinità del suolo, è stato utilizzato il metodo della misurazione della conducibilità elettrica, poiché questa è proporzionale alla quantità di ioni presenti in una soluzione e quindi alla quantità di sali. Si tratta di una misurazione indiretta della quantità di

sali presenti, espressa come conducibilità elettrica (EC) nella soluzione acquosa. La preparazione delle provette per l'analisi della salinità è simile a quella utilizzata per la misurazione del pH: sono stati prelevati 5g di campione posti in una provetta di plastica, alla quale sono stati aggiunti 12,5ml di acqua distillata (rapporto 1:2,5). Le provette sono state poi agitate tramite agitatore meccanico per 2 ore e lasciate riposare per 10 minuti. Successivamente è stato utilizzato un conducimetro per misurare la conducibilità elettrica della soluzione. Questo strumento impiega una sonda immersa nel campione che misura la conducibilità della soluzione tra due elettrodi, determinando la quantità di corrente per una determinata unità di lunghezza alla temperatura di 25°C. Il risultato è espresso in dS/m. maggiore è la quantità di sali disciolti nella soluzione, maggiore sarà la conducibilità elettrica misurata.

3.5 Analisi statistica

Per semplificare le operazioni di analisi statistica e rendere comparabili i dati ricavati dalle analisi precedentemente descritte si è deciso di raggruppare gli orizzonti di ogni sito in tre classi denominate come superficiale (S), medio (M) e profondo (P). Per la classe superficiale sono stati raggruppati i due orizzonti più in superficie facendo una media ponderata dei loro valori. Fare una media ponderata permette di dare un peso a ciascun valore, ovvero assegnargli un'importanza, in modo da riflettere quanto sia significativo.

L'analisi della varianza (ANOVA) a due vie è stata eseguita attraverso l'ausilio del software R (R core team, 2013) al fine di investigare differenze nei parametri fisico-chimici analizzati, considerando l'uso del suolo (coltivato e non coltivato) e l'orizzonte (superficiale, medio, e profondo) come fattori. Gli assunti di applicabilità dell'analisi ANOVA sono stati valutati eseguendo il test Shapiro-Wilk e il test Levene (R pacchetto R "car") entrambi al 5% di significatività per normalità e omoschedasticità, rispettivamente. Un'ANOVA a due vie è stata adottata anche quando la normalità era violata, grazie alla robustezza del test con dati non normali (Schmider et al., 2010). Il test ANOVA è stato considerato significativo con $p \leq 0.05$.

4 RISULTATI

4.1 Proprietà fisico-chimiche dei suoli di Al Foah

Nella tabella 4.1 sono riportati i risultati delle proprietà fisiche (frazioni tessiturali) degli orizzonti di suolo individuati nel sito coltivato (SC) e non coltivato (SN) di Al Foah. Tutti gli orizzonti hanno una tessitura sabbiosa, in particolare rientrano nella classe *fine sand*, secondo la classificazione USDA, caratterizzati da una percentuale di sabbia fine e molto fine maggiore del 50% rispetto le altre classi tessiturali (<https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/soil-texture-calculator>). Il contenuto di sabbia totale eccede il 90%, con un minimo di 994 g kg⁻¹ nell'orizzonte C3 ed un massimo di 997 g kg⁻¹ nell'orizzonte C4 di SN. In SC, il contenuto di sabbia totale varia da un minimo di 933 g kg⁻¹ nell'orizzonte Ap2 ed un massimo di 983 g kg⁻¹ nell'orizzonte AB. La frazione limosa del sito coltivato è in media di 37,7 g kg⁻¹, mentre la frazione argillosa è di 9 g kg⁻¹. Nel sito non coltivato la frazione di limo si aggira intorno ai 4,4 g kg⁻¹, mentre è assente la frazione argillosa. La frazione sabbiosa preponderante in tutti i suoli è quella di sabbia fine (le particelle hanno un diametro compreso tra 0,25 e 0,1 mm). In SN questa frazione ha un minimo di 780 g kg⁻¹ nell'orizzonte C4 ed un massimo di 869, g kg⁻¹ nell'orizzonte C1, mentre in SC ha un minimo di 533 g kg⁻¹ nell'orizzonte Ap1 e un massimo di 670 g kg⁻¹ nell'orizzonte AB. La seconda frazione di sabbia più presente nel sito non coltivato è quella di sabbia media (particelle con un diametro compreso tra 0,5 e 0,25mm) con una media di 158,6 g kg⁻¹. Diversamente, nel sito coltivato, la seconda frazione di sabbia più rappresentata è quella molto fine (particelle con un diametro compreso tra 0,1 e 0,053mm) con una media di 193,2 g kg⁻¹. Un'altra particolarità che si può notare è l'assenza di particelle di sabbia molto grossa (particelle con diametro superiore a 1mm) negli orizzonti del sito non coltivato.

In figura 4-1 sono riportati i valori di conducibilità elettrica (CE) e pH nei due siti di studio. Si può notare come il suolo abbia una reazione alcalina in tutti gli orizzonti, con valori di pH superiori a 8,4 (media di pH di 8,87 in SN e di 8,66 in SC). La CE ha una media di 0,10 dS m⁻¹ nel sito non coltivato e di 0,23 dS m⁻¹ in quello coltivato.

In Tabella 4.2 e Figura 4-2 sono riportati i risultati dell'ANOVA a due vie eseguita al fine di investigare differenze nei parametri fisico-chimici analizzati, considerando l'uso del suolo (SC

e SN) e l'orizzonte (S, M, e P) come fattori. In Tab. 4.2 sono riportati i parametri che hanno mostrato interazione tra i due fattori, mentre in Fig.4-2 quelli in cui non c'è interazione tra i due fattori. Analizzando i parametri che hanno registrato un'interazione, si può notare come il contenuto delle frazioni di sabbia molto grossa, grossa e argilla mostri lo stesso andamento tra gli orizzonti di SC, con quantità superiori negli orizzonti più superficiali, rispetto a quello profondo. Facendo un confronto tra usi del suolo, si può notare come queste tre componenti abbiano lo stesso andamento, risultando significativamente maggiori negli orizzonti medi e superficiali di SC rispetto a SN, mentre nell'orizzonte profondo non si registrano differenze. In SN queste tre componenti sono quasi assenti, con quantità massime di 1 g kg^{-1} . Allo stesso modo anche il limo risulta essere maggiore negli orizzonti di SC rispetto quelli di SN, ma si nota che negli orizzonti di SC i quantitativi minimi sono nell'orizzonte più profondo. Confrontando questi risultati con quelli relativi al pH, si può notare come quest'ultimo abbia un andamento contrario, risultando maggiore in SN rispetto a SC negli orizzonti medi e superficiali. Inoltre, in SC è stato registrato un pH maggiore nell'orizzonte profondo rispetto ai superficiali. Il contenuto di sabbia fine risulta avere lo stesso andamento tra usi del suolo, con valori minimi di 779 g kg^{-1} in SN, rispetto a SC che mostra valori massimi di 670 g kg^{-1} . Dai risultati riportati in figura 4-1, si può notare come la sabbia molto fine risulti essere maggiore negli orizzonti SC rispetto gli orizzonti SN, mentre in entrambi i siti si registrano quantitativi maggiori negli orizzonti medi rispetto ai profondi. L'altro parametro che non ha mostrato interazione tra i fattori è la CE che allo stesso modo risulta essere maggiore in SC rispetto a SN, ma non mostrando differenze significative tra gli orizzonti.

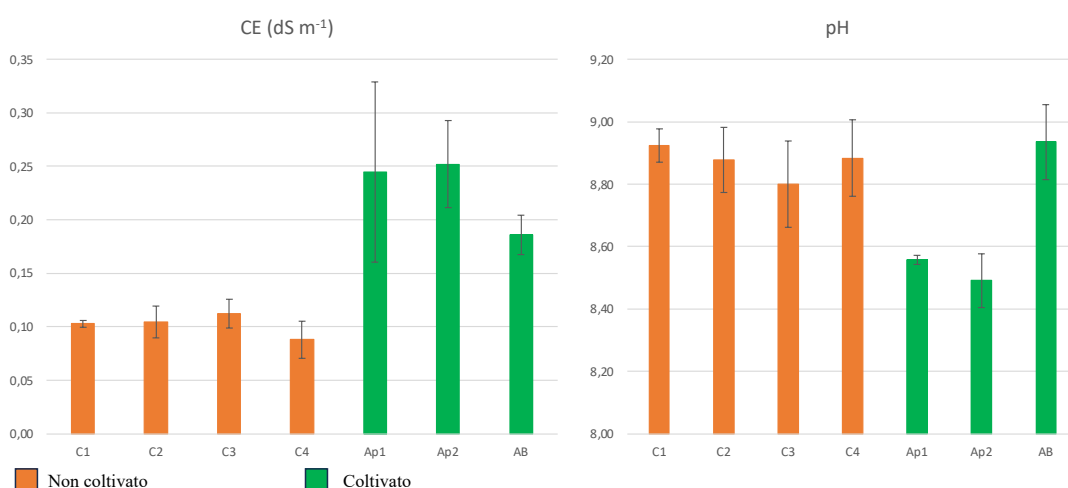


Figura 4-1: Conduttività elettrica (a destra) e pH (a sinistra) degli orizzonti nei siti di Al Foah.

Tabella 4.1: Tessitura del suolo nel sito non coltivato (SN) e coltivato (SC) di Al Foah. Tra parentesi sono riportate le deviazioni standard (n=3).

SITO	ORIZZONTE	SABBIA					SABBIA TOTALE	LIMO	ARGILLA
		MOLTO GROSSA	GROSSA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE			
		>1mm	>0,5mm	>0,25mm	>0,1mm	>0,053mm			
g kg ⁻¹									
SN	C1	0 (-)	0 (-)	103 (72)	869 (72)	23 (4)	995	5 (2)	0,00 (-)
	C2	0 (-)	0 (1)	178 (22)	801 (22)	18 (9)	997	3 (5)	0,00 (-)
	C3	0 (-)	1 (1)	149 (40)	824 (47)	19 (7)	994	6 (1)	0,00 (-)
	C4	0 (-)	0 (-)	205 (52)	780 (55)	12 (3)	997	3 (3)	0,00 (-)
SC	Ap1	25 (15)	32 (5)	144 (41)	533 (44)	209 (22)	943	43 (4)	13 (2)
	Ap2	25 (9)	31 (1)	119 (36)	540 (62)	218 (22)	933	53 (2)	14 (1)
	AB	2 (1)	4 (1)	155 (55)	670 (65)	153 (40)	983	17 (1)	0 (-)

Tabella 4.2 ANOVA a due vie per rilevare le variazioni delle proprietà fisico-chimiche nell'orizzonte [superficiale (S), medio (M) e profondo(P)] e nell'uso del suolo [suolo non coltivato (SN) e suolo coltivato (SC)] ad Al Foah, Emirati Arabi Uniti. Sono riportati solo i parametri con interazione tra i due fattori. Le lettere minuscole indicano differenze nelle colonne, mentre le lettere maiuscole indicano differenze tra gli usi del suolo all'interno di ciascun orizzonte, entrambe a un livello di significatività $p \leq 0,05$. I numeri tra parentesi indicano la deviazione standard ($n=3$).

Orizzonte	Sabbia molto grossa >1mm		Sabbia grossa >0,5mm		Sabbia fine >0,1mm	
	g kg ⁻¹					
	SN	SC	SN	SC	SN	SC
S	0 ^B	25 ^{aA}	0 ^B	32 ^{aA}	822 ^A	533 ^{bB}
	(-)	(16)	(1)	(5)	(35)	(44)
M	0 ^B	25 ^{aA}	1 ^B	31 ^{aA}	824 ^A	540 ^{bB}
	(-)	(9)	(1)	(1)	(47)	(61)
P	0	2 ^b	1	4 ^b	779 ^A	670 ^{aB}
	(-)	(1)	(1)	(1)	(55)	(65)
	Limo		Argilla		pH	
	g kg ⁻¹					
	SN	SC	SN	SC	SN	SC
S	4 ^B	44 ^{bA}	0 ^B	13 ^{aA}	8,89 ^A	8,56 ^{bB}
	(4)	(4)	(-)	(3)	(0,08)	(0,02)
M	6 ^B	53 ^{aA}	0 ^B	14 ^{aA}	8,80 ^A	8,49 ^{bB}
	(1)	(2)	(-)	(1)	(0,14)	(0,09)
P	3 ^B	17 ^{cA}	0	0 ^b	8,88	8,94 ^a
	(3)	(1)	(-)	(-)	(0,12)	(0,12)

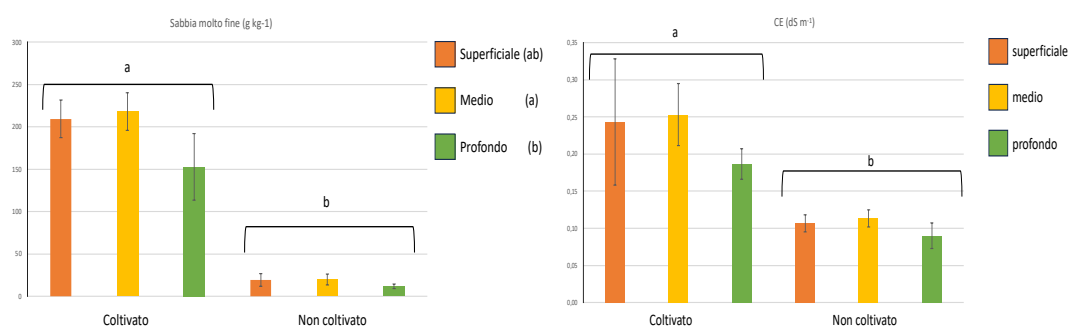


Figura 4-2 Risultati ANOVA a due vie per rilevare le variazioni delle proprietà fisico-chimiche nell'orizzonte e nell'uso del suolo ad Al Foah, Emirati Arabi Uniti. Sono riportati solo i parametri in cui non c'è interazione tra i due fattori. Lettere differenti indicano differenze tra usi del suolo e/o tra orizzonti, con un livello di significatività $p \leq 0,05$.

4.3 Proprietà fisico-chimiche dei suoli di Sweihan

Nella tabella 4.3 sono riportati i risultati delle proprietà fisiche (frazioni tessiturali) degli orizzonti di suolo individuati nel sito coltivato (SC) e non coltivato (SN) di Sweihan.

Tutti gli orizzonti in SN hanno tessitura di tipo sabbioso, a causa dell'elevato contenuto di sabbia, che varia da un minimo di 937 g kg⁻¹ nell'orizzonte B1 fino ad un massimo di 958 g kg⁻¹ nell'orizzonte A. Ricadono tutti nella classe *fine sand*, secondo la classificazione USDA (<https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/soil-texture-calculator>). In tutti gli orizzonti di SN, la componente preponderante di sabbia è quella fine con un massimo di 597 g kg⁻¹ nell'orizzonte B1 ed un minimo di 387 g kg⁻¹ nell'orizzonte A, mentre la componente di limo ha una media di 54,67 g kg⁻¹. Analizzando i risultati di SC, la frazione sabbiosa ha registrato un minimo di 894 g kg⁻¹ nell'orizzonte Ap1 ed un massimo di 932 g kg⁻¹ nell'orizzonte B2. La componente preponderante di sabbia è quella sabbia fine, con un minimo di 394 g kg⁻¹ nell'orizzonte B2 ed un massimo di 420 g kg⁻¹ nell'orizzonte Ap1, anche se ci sono quantitativi elevati della frazione di sabbia molto fine, con un minimo di 86 g kg⁻¹ nell'orizzonte B2 ed un massimo di 326 g kg⁻¹ dell'orizzonte Ap1. Il limo varia da un massimo di 151 g kg⁻¹ nell'orizzonte Ap1, fino ad un minimo di 68 g kg⁻¹ nell'orizzonte B2. La classificazione USDA della tessitura degli orizzonti del sito coltivato si differenzia in base alle proporzioni tra le diverse frazioni sabbiose. In particolare l'orizzonte Ap1 è definito come *loamy fine sand* perché presenta complessivamente contenuti di sabbia molto grossa, grossa e media minori del 25% e di sabbia molto fine inferiori al 50%. Mentre gli orizzonti Ap2 e B1 sono entrambi *fine sand*. L'orizzonte B2 invece è classificato come *sand*, presentando un totale minore del 25% di sabbia molto grossa, grossa e media, un totale minore del 25% di sabbia di sabbia molto grossa e grossa, meno del 50% di sabbia fine e meno del 50% di sabbia molto fine (<https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/soil-texture-calculator>). In figura 4-3 sono riportati i valori di conducibilità elettrica e pH. Come si può vedere dal grafico a sinistra, la conducibilità elettrica media degli orizzonti di SN è di 2,81 dS m⁻¹, mentre in SC ha un massimo nell'orizzonte Ap1 con 44,33 dS m⁻¹ seguito dall'orizzonte Ap2 con 37,5 dS m⁻¹ ed un minimo nell'orizzonte B2 di 5,43 dS m⁻¹. Nel grafico a destra è riportato il valore di pH, maggiore di 8 in tutti gli orizzonti, conferendo a quei suoli reazione alcalina. Negli orizzonti del sito non coltivato il pH medio è di 8,18, mentre in quelli del sito coltivato è di 8,71.

In Tabella 4.4 e Figura 4-4 sono riportati i risultati dell'ANOVA a due, eseguita al fine di investigare differenze nei parametri fisico-chimici analizzati, considerando l'uso del suolo (SC e SN) e l'orizzonte (S, M, e P) come fattori. In Tab. 4.4 sono riportati i parametri che hanno mostrato interazione tra i due fattori, mentre in Fig.4-4 quelli in cui non c'è interazione tra i due fattori. Tra i parametri che hanno mostrato interazione, si può notare come le frazioni di sabbia molto grossa e sabbia grossa si comportino allo stesso modo tra gli orizzonti dei diversi usi del suolo. Entrambe le frazioni in SN, non registrano differenze significative tra gli orizzonti, mentre nell'orizzonte profondo di SC notiamo valori maggiori rispetto agli orizzonti più superficiali che hanno un massimo di 50 g kg^{-1} . Facendo un confronto tra usi del suolo, in entrambe le frazioni l'orizzonte profondo di SC ha quantità maggiori rispetto a SN, mentre nell'orizzonte superficiale non si registrano differenze significative. La sabbia fine ha un andamento opposto rispetto alla sabbia molto grossa, con contenuti maggiori negli orizzonti profondi di SN in confronto a SC, mentre quelli in superficie non hanno differenze significative. In SC non ci sono differenze significative tra gli orizzonti, mentre in SN notiamo quantità minori di sabbia fine nell'orizzonte superficiale a quelli profondi. Il limo mostra un andamento opposto a quello della sabbia fine, con differenze significative solo nell'orizzonte superficiale tra gli usi del suolo (146 g kg^{-1} in media in SC contro i 42 g kg^{-1} di SN) In SN non ci sono differenze significative tra orizzonti, mentre in SC l'orizzonte superficiale ha quantità superiori. La sabbia molto fine non presenta differenze significative tra gli orizzonti superficiali e tra gli orizzonti profondi dei diversi usi, mentre nell'orizzonte medio si trovano quantità maggiori in SC rispetto a SN. La conducibilità elettrica è significativamente maggiore in SC rispetto a SN, con un valore minimo nell'orizzonte più profondo ($5,43 \text{ dS m}^{-1}$), fino a raggiungere valori superiori ai 40 dS m^{-1} nell'orizzonte superficiale. Contrariamente, in SN l'orizzonte profondo ha valori maggiori di conducibilità se confrontati con gli orizzonti sovrastanti. Tra i parametri che non hanno mostrato interazione tra fattori si registrano sabbia media e pH. Si è riscontrata una maggiore presenza di sabbia media negli orizzonti del non coltivato rispetto al coltivato, e in entrambi i casi si nota che le quantità maggiori sono nell'orizzonte profondo rispetto gli orizzonti più superficiali. Al contrario il pH risulta essere maggiore negli orizzonti del coltivato rispetto gli orizzonti del non coltivato, oltre al fatto che risulta essere superiore nell'orizzonte superficiale rispetto quelli più profondi.

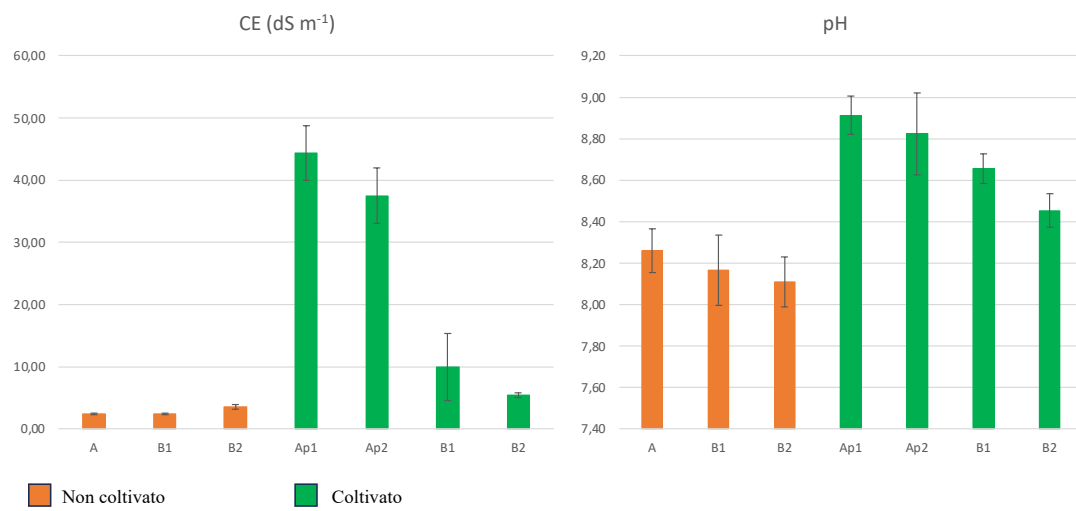


Figura 4-3: Conducibilità elettrica (a destra) e pH (a sinistra) degli orizzonti nei siti di Sweihan.

Tabella 4.3: Tessitura del suolo nel sito non coltivato (SN) e coltivato (SC) di Sweihan. Tra parentesi sono riportate le deviazioni standard (n=3).

SITO	ORIZZONTE	SABBIA					SABBIA TOTALE	LIMO	ARGILLA
		MOLTO GROSSA	GROSSA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE			
		>1mm	>0,5mm	>0,25mm	>0,1mm	>0,053mm			
g kg ⁻¹									
SN	A	35 (8)	32 (5)	175 (5)	387 (40)	329 (50)	958	42 (10)	0 (-)
	B1	12 (2)	19 (1)	220 (38)	597 (68)	90 (28)	937	63 (4)	0 (-)
	B2	17 (10)	22 (7)	296 (42)	549 (69)	56 (21)	940	60 (9)	0 (-)
	Ap1	4 (2)	14 (7)	85 (34)	420 (22)	326 (25)	849	151 (26)	0 (-)
	Ap2	23 (15)	43 (25)	112 (34)	416 (91)	270 (24)	864	136 (13)	0 (-)
	B1	50 (35)	49 (20)	106 (30)	387 (80)	313 (87)	905	95 (38)	0 (-)
B2	72 (20)	129 (42)	251 (70)	394 (79)	86 (26)	932	68 (22)	0 (-)	

Tabella 4.4 ANOVA a due vie per rilevare le variazioni delle proprietà fisico-chimiche nell'orizzonte [superficiale (S), medio (M) e profondo(P)] e nell'uso del suolo [suolo non coltivato (SN) e suolo coltivato (SC)] a Sweihan, Emirati Arabi Uniti. Sono riportati solo i parametri con interazione tra i due fattori. Le lettere minuscole indicano differenze nelle colonne, mentre le lettere maiuscole indicano differenze tra gli usi del suolo all'interno di ciascun orizzonte, entrambe a un livello di significatività $p \leq 0,05$. I numeri tra parentesi indicano la deviazione standard (n=3).

Orizzonte	Sabbia molto grossa >1mm		Sabbia grossa >0,5mm		Sabbia fine >0,1mm	
	SN	SC	SN	SC	SN	SC
	g kg⁻¹					
S	35 (8)	14 ^b (8)	32 (5)	29 ^b (15)	387 ^b (40)	412 (49)
M	12 ^B (2)	50 ^{abA} (35)	19 (1)	49 ^b (20)	597 ^{aA} (68)	387 ^B (80)
P	17 ^B (10)	72 ^{aA} (20)	22 ^B (7)	129 ^{aA} (42)	549 ^{aA} (69)	394 ^B (79)
	Sabbia molto fine >0,053mm		Limo		CE	
	SN	SC	SN	SC	SN	SC
	g kg⁻¹					
S	329 ^a (50)	302 ^a (15)	42 ^B (10)	146 ^{aA} (18)	2,45 ^{bB} (0,16)	41,38 ^{aA} (2,56)
M	90 ^{bB} (28)	313 ^{aA} (87)	63 (4)	95 ^b (38)	2,43 ^{bB} (0,13)	10,00 ^{bA} (5,40)
P	56 ^b (21)	86 ^b (26)	60 (9)	68 ^b (22)	3,54 ^{aB} (0,40)	5,43 ^{cA} (0,34)

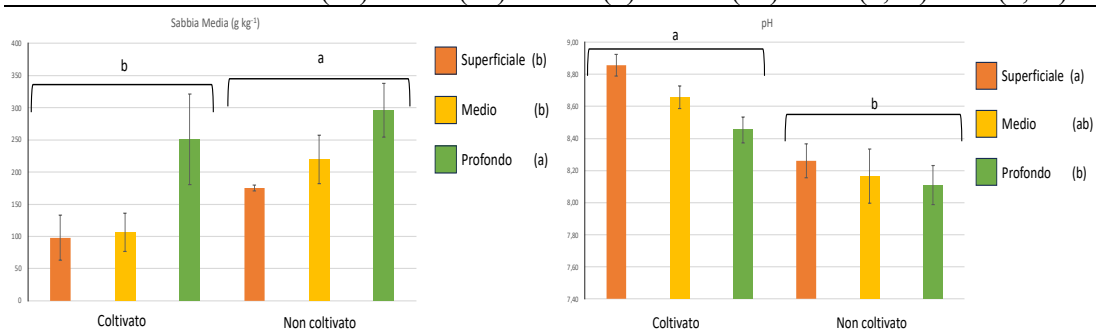


Figura 4-4: Risultati ANOVA a due vie per rilevare le variazioni delle proprietà fisico-chimiche nell'orizzonte e nell'uso del suolo ad Sweihan, Emirati Arabi Uniti. Sono riportati solo i parametri in cui non c'è interazione tra i due fattori. Lettere differenti indicano differenze tra usi del suolo e/o tra orizzonti, con un livello di significatività $p \leq 0,05$.

5 DISCUSSIONI

Otto dei nove parametri investigati non hanno mostrato differenze significative tra gli orizzonti del SN nella località di Al Foah. I suoli di *drylands* sono caratterizzati da lenti processi pedogenetici. La scarsità di acqua rallenta i processi di alterazione fisica e chimica della frazione minerale del suolo, riducendo l'evoluzione della pedogenesi e quindi la differenziazione degli orizzonti del profilo. Questa condizione è accentuata dal fatto che questo sito si trova in corrispondenza di una duna, un ambiente estremamente dinamico, in cui la sabbia viene continuamente erosa e/o accumulata dal vento. Pertanto, la combinazione di questi fattori non permette al materiale di subire processi pedogenetici spinti, e di conseguenza, di non avere orizzonti genetici differenziati da proprietà fisico-chimiche specifiche. Inoltre, l'assenza di questi processi pedogenetici impedisce l'alterazione dei minerali fino a particelle di diametro minore, come l'argilla. La componente del vento ha un ruolo determinante anche nella delimitazione degli orizzonti, che si caratterizzano per un limite abrupto e lineare. Questo fenomeno è dovuto al fatto che il materiale che li compone è stato trasportato in tempi diversi dal vento (Livingstone et al., 2007). La sabbia fine, essendo facilmente trasportabile, è la frazione predominante, mentre la sabbia grossa e molto grossa è praticamente assente. Queste ultime, infatti, risultano essere meno suscettibili all'erosione eolica a causa del maggior peso, che ne rende difficile il sollevamento e il trasporto da parte del vento.

Facendo riferimento ai dati del SC di Al Foah possiamo notare nella tessitura una presenza maggiore di limo, argilla e sabbia fine che sono dovute al materiale derivante dall'evento colluviale che ha interessato l'area in passato, il quale ha trasportato particelle più fini dai versanti montuosi limitrofi. Inoltre, tra gli orizzonti si registrano maggiori differenze, in quanto l'ambiente è meno dinamico ma con più fattori che possono contribuire ai processi pedogenetici, come la presenza di colture.

A Sweihan, il sito non coltivato ha registrato valori di conducibilità maggiori nell'orizzonte profondo rispetto a quelli sovrastanti. Questo risultato potrebbe essere legato ad accumuli di gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), che aumentato in profondità, fino a raggiungere quantitativi del 25% nell'orizzonte più profondo. L'aumento della salinità è pertanto associato a un incremento della

concentrazione di ioni Ca^{2+} e SO_4^{2-} , i quali, solubilizzandosi, determinano un aumento della conducibilità elettrica. Al contrario, in SC, la presenza di accumuli di gesso è circa del 2%, un contenuto che, teoricamente, risulta troppo basso per determinare valori di CE superiori a 40 dS m^{-1} , se confrontato con SN. Pertanto, l'elevata salinità negli orizzonti di SC potrebbe essere legata alla presenza di altri sali che non derivano solo dal materiale parentale, ma da attività antropiche connesse all'agricoltura. Questo tipo di salinizzazione, denominata salinizzazione secondaria, deriva da errate pratiche di gestione, come concimazioni elevate o irrigazione con acque di bassa qualità. Infatti, in zone aride e semi-aride è comune utilizzare acque saline per l'irrigazione (Tedeschi, 2020). Queste acque potrebbero derivare anche da falde di origine marina. L'impiego di acqua di bassa qualità potrebbe favorire l'accumulo di sali nel suolo, in particolare un accumulo di cloruro di sodio (NaCl). Tale accumulo di sali potrebbe determinare problematiche per le colture, principalmente a causa della presenza di ioni Na^+ e Cl^- , che possono influire negativamente sulla fisiologia vegetale (Ân et al., 1999).

Infine, confrontando i risultati ottenuti nei siti di Al Foah e Sweihan possiamo notare come il pH di entrambe le aree sia sempre superiore ad 8, e soltanto nel sito non coltivato di Sweihan rimane inferiore a 8,5. Pertanto, questi suoli hanno una reazione alcalina in cui le principali problematiche sono connesse alla nutrizione delle colture. Infatti, il pH elevato riduce la disponibilità di nutrienti come il fosforo e micronutrienti come manganese, rame e zinco. Allo stesso tempo aumenta la disponibilità di calcio che interferisce con l'assorbimento di manganese e potassio. Confrontando i risultati di CE, sebbene entrambi i siti coltivati abbiano mostrato valori di CE maggiori rispetto ai siti non coltivati, si osserva una differenza nell'entità di tale aumento. Infatti, ad Al Foah il sito coltivato ha registrato un valore medio di $0,23 \text{ dS m}^{-1}$, mentre a Sweihan l'orizzonte superficiale raggiunge valori di 40 dS m^{-1} . L'aumento della salinità potrebbe essere associato a fattori di intervento umano, ma non necessariamente a pratiche agricole inadeguate in entrambi i siti. Infatti, a Al Foah si osserva un incremento relativamente contenuto, che potrebbe derivare da pratiche di concimazione, mentre a Sweihan l'uso inappropriato di acque di scarsa qualità potrebbe aver compromesso le funzionalità del suolo. È importante sottolineare che i campioni non sono stati analizzati in pasta satura, metodo più adeguato per determinare la salinità di un suolo, ma con un rapporto solido:liquido 1:2.5. Quest'ultimo è un metodo più rapido, utile per un primo confronto, ma i valori ottenuti potrebbero non rispecchiare le condizioni reali di campo.

6 CONCLUSIONI

I suoli delle *drylands* sono caratterizzati da condizioni estreme che rendono difficile la coltivazione, principalmente a causa del clima molto arido e della tessitura grossolana dei terreni, che riducono la disponibilità idrica per le colture. L'uomo può mitigare queste problematiche attraverso pratiche di gestione agricola, ma tali interventi non sempre offrono una soluzione definitiva e, in alcuni casi, possono addirittura peggiorare la situazione, contribuendo alla degradazione del suolo.

Questo studio, condotto in siti localizzati in due aree con diversi usi del suolo (coltivato e non coltivato), ha evidenziato come le pratiche agricole influenzino in modo diverso le proprietà fisico-chimiche di questi terreni. Quando le pratiche sono gestite correttamente, evitando eccessi di fertilizzazione e impiegando acque adeguate per l'irrigazione, l'impatto negativo risulta limitato. Al contrario, la mancanza di precauzioni, come l'abuso di fertilizzanti o l'uso di acque non idonee, può portare a un degrado irreversibile del suolo, rendendolo inutilizzabile per la coltivazione senza ricorrere a costose e drastiche misure di bonifica. Tali interventi richiedono infatti grandi quantità d'acqua per il lavaggio dei sali, risorsa spesso già scarsa in queste aree.

Lo studio su queste terre aride e dalle caratteristiche particolari è utile per pianificare interventi mirati che possano salvaguardare altri ambienti con condizioni simili, prevenendo un peggioramento irreversibile e riducendo la necessità futura di pratiche di bonifica che comporterebbero un notevole dispendio idrico, difficilmente sostenibile in zone a scarsa disponibilità d'acqua.

7 BIBLIOGRAFIA

Abdelfattah MA, Shahid SA (2007) A comparative characterization and classification of soils in Abu Dhabi coastal area in relation to arid and semi-arid conditions using USDA and FAO soil classification systems. *Arid Land Res Manag* 21:245–271. doi:10.1080/15324980701426314

Ân, J., Ânez, M., & Ân, B. (1999). Irrigation with saline water: benefits and environmental impact.

Bui, E. N. (2017). Causes of Soil Salinization, Sodification, and Alkalinization. In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.264>

Di, H. J., & Cameron, K. C. (2002). Nitrate leaching in temperate agroecosystems: Sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 64(3). <https://doi.org/10.1023/A:1021471531188>

FAO Soils Bulletin No. 39: "Salt-affected Soils and Their Management" (1988)

Feng, S., & Fu, Q. (2013). Expansion of global drylands under a warming climate. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(19), 10081–10094. <https://doi.org/10.5194/acp-13-10081-2013>

Gamalero, E., Bona, E., Todeschini, V., & Lingua, G. (2020). Saline and arid soils: Impact on bacteria, plants, and their interaction. In *Biology* (Vol. 9, Issue 6, pp. 1–27). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/biology9060116>

Hartemink, A. E., & Barrow, N. J. (2023). Soil pH - nutrient relationships: the diagram. In *Plant and Soil* (Vol. 486, Issues 1–2, pp. 209–215). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05861-z>

<https://en.climate-data.org/africa/sahrawi-arab-democratic-republic-251/> (ultimo accesso 29 giugno 2024)

<https://www.fao.org/dryland-forestry/background/what-are-drylands/en/>

Li, L., Zhang, Y. J., Novak, A., Yang, Y., & Wang, J. (2021). Role of biochar in improving sandy soil water retention and resilience to drought. *Water (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/w13040407>

Livingstone, I., Wiggs, G. F. S., & Weaver, C. M. (2007). Geomorphology of desert sand dunes: A review of recent progress. *Earth-Science Reviews*, 80(3–4), 239–257. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.09.004>

Mapping of salt-affected soils – Technical manual. (2020). In *Mapping of salt-affected soils – Technical manual*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9215en>

McFarlane, D. J., George, R. J., Barrett-Lennard, E. G., & Gilfedder, M. (2017). Salinity in dryland agricultural Systems: Challenges and opportunities. In *Innovations in Dryland Agriculture* (pp. 521–547). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47928-6_19

Mirus, B. B., Perkins, K. S., Nimmo, J. R., & Singha, K. (2009). Hydrologic Characterization of Desert Soils with Varying Degrees of Pedogenesis: 2. Inverse Modeling for Effective Properties. *Vadose Zone Journal*, 8(2), 496–509. <https://doi.org/10.2136/vzj2008.0051>

Naz, M., Dai, Z., Hussain, S., Tariq, M., Danish, S., Khan, I. U., Qi, S., & Du, D. (2022). The soil pH and heavy metals revealed their impact on soil microbial community. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 321). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115770>

Nimmo, J. R., Perkins, K. S., Schmidt, K. M., Miller, D. M., Stock, J. D., & Singha, K. (2009). Hydrologic Characterization of Desert Soils with Varying Degrees of Pedogenesis: 1. Field Experiments Evaluating Plant-Relevant Soil Water Behavior. *Vadose Zone Journal*, 8(2), 480–495. <https://doi.org/10.2136/vzj2008.0052>

Osman, K. T. (2018). Dryland Soils. In K. T. Osman (Ed.), *Management of Soil Problems* (pp. 15–36). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75527-4_2

Paz, A. M., Amezketa, E., Canfora, L., Castanheira, N., Falsone, G., Gonçalves, M. C., Gould, I., Hristov, B., Mastrorilli, M., Ramos, T., Thompson, R., & Costantini, E. A. C. (2023). Salt-affected soils: Field-scale strategies for prevention, mitigation, and adaptation to salt accumulation. *Italian Journal of Agronomy*, 18(2), na. <https://doi.org/10.4081/ija.2023.2166>

Rengasamy, P. (2016). Soil Salinization. In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.65>

Richards, L.A. (ed.) (1954). "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils." USDA Agricultural Handbook No. 60.

Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L., Bühner, M., 2010. Is It Really Robust? *Methodology* 6, 147–151. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000016>

Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., & Broderick, W. D. (n.d.). *Field Book for Describing and Sampling Soils*.

Sentís, I. P. (2014). Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland and irrigated conditions. In *International Soil and Water Conservation Research* (Vol. 2, Issue 4).

Soil Survey Staff, Soil Taxonomy. *A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey*, 2nd edition. Agricultural Handbook 436, Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington DC, USA. 1999.

Stavi, I., Thevs, N., & Priori, S. (2021). Soil Salinity and Sodicity in Drylands: A Review of Causes, Effects, Monitoring, and Restoration Measures. In *Frontiers in Environmental Science* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>

Tedeschi, A. (2020). Irrigated agriculture on saline soils: A perspective. In *Agronomy* (Vol. 10, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111630>

Tomaz, A., Palma, P., Fialho, S., Lima, A., Alvarenga, P., Potes, M., Costa, M. J., & Salgado, R. (2020). Risk assessment of irrigation-related soil salinization and sodification in mediterranean areas. *Water (Switzerland)*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/w12123569>