



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI

**SALINIZZAZIONE DEI SUOLI E  
PROBLEMATICHE AD ESSA CORRELATE**  
Soil salinization and related problems

TIPO TESI: compilativa

Studente:

LUCA OMICCIOLI

*Luca Omiccioli*

Relatore:

PROF. CRISTIANO CASUCCI

*Cristiano Casucci*

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

# SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE .....	3
ELENCO DELLE FIGURE .....	4
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI .....	5
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI .....	8
CAPITOLO 1 IL SUOLO .....	9
1.1 Costituenti dei suoli.....	10
1.2 Dotazione di elementi nutritivi del terreno: i sali.....	13
1.3 Cenni sulle proprietà chimiche del terreno .....	14
1.4 Che cos'è la salinizzazione?.....	17
1.5 Correzione dei terreni.....	23
1.6 FAO: giornata mondiale del suolo 2021 #worldsoilday .....	26
CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI.....	27
CAPITOLO 3 ARTICOLI .....	28
3.1 Articolo I .....	28
3.2 Articolo II.....	44
3.3 Articolo III.....	63
CONCLUSIONI.....	77
BIBLIOGRAFIA .....	80

## ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 3.1: Risultati di diversi studi su Se: evidenziano dose, modalità d'azione e tipo di selenio. ....	34
Tabella 3.2: Categorizzazione degli impianti in iperaccumulatori, accumulatori secondari e non accumulatori in funzione della concentrazione di Se .....	35
Tabella 3.3: Microrganismi alotolleranti e loro effetti benefici sulla crescita delle piante in condizioni saline .....	68

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1.1: Schema semplificato del processo pedogenetico .....	10
Figura 1.2: Locandina della FAO del 5 dicembre 2021 #worldsoilday .....	26
Figura 3.1: Cenni di trasporto del selenio nelle piante.....	31
Figura 3.2 Miglioramento della salute della pianta (proso miglio) grazie all'integrazione di Se .....	32
Figura 3.3: sistema interfacciale di evaporazione solare .....	44
Figura 3.4: illustrazione schematica del sistema di bonifica a energia solare .....	46
Figura 3.5: Caratterizzazione dei materiali e test di evaporazione .....	51
Figura 3.6: Prestazioni di evaporazione .....	54
Figura 3.7: Processo di bonifica salina del suolo.....	56
Figura 3.8: Prestazioni reali di bonifica salina del suolo.....	59
Figura 3.9: Strategie implicate nella biodesalinizzazione del suolo da parte di piante e microrganismi.....	65
Figura 3.10: Impatti negativi della salinità del suolo su piante e microrganismi.....	72

## ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

SIGLA1	<i>RM</i>	Roccia madre del substrato pedogenetico.
SIGLA2	<i>CE</i>	Conducibilità elettrica, o conducibilità elettrospecifica.
SIGLA3	<i>PH</i>	Indice del grado di acidità di una soluzione definita come il logaritmo in base 10 cambiato di segno dall'attività dello ione idrogeno.
SIGLA4	<i>PSS</i>	Percentuale di sodio scambiabile
SIGLA5	<i>ESP</i>	Evaporazione Spaziale Potenziale
SIGLA6	<i>FAO</i>	Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura
SIGLA7	<i>ROS</i>	Reactive Oxygen Species, processo biologico della risposta allo stress della pianta
SIGLA8	<i>ATP</i>	Adenosina Trifosfato, è costituito da una molecola di adenina e una di ribosio (zucchero a 5 atomi di carbonio) a cui sono legati tre gruppi fosforici mediante due legami ad alta energia
SIGLA9	<i>SULTR</i>	Trasportatori di solfati
SIGLA10	<i>APS</i>	ATP sulfurilasi
SIGLA11	<i>APSe</i>	Adenosina Fosforo-Selenato
SIGLA12	<i>SeCys</i>	Seleno-Cisteina
SIGLA13	<i>CS</i>	Cisteina sintasi
SIGLA14	<i>SL</i>	Selenocisteiniasi
SIGLA15	<i>SMT</i>	Selenocisteina metiltransferasi
SIGLA16	<i>Me-SeCys</i>	Metilselenocisteina

SIGLA17	<i>DMDS<sub>e</sub></i>	Composto del dimetilselenonio
SIGLA18	<i>DNSe</i>	Composto del dimetilselenonio
SIGLA19	SehoCys	Selenoomocisteina
SIGLA20	<i>OAS</i>	O-acetilserina
SIGLA21	<i>GPx</i>	Enzima Glutatione perossidasi
SIGLA22	<i>SOD</i>	Superossido Dismutasi, è un enzima che catalizza la conversione del radicale libero superossido a ossigeno elementare e perossido di idrogeno
SIGLA23	<i>POX</i>	Antiossidante
SIGLA24	<i>CAT</i>	Enzima appartenente alla classe delle ossidoreduttasi, coinvolto nella detossificazione della cellula da specie reattive all'ossigeno
SIGLA25	<i>MDA</i>	La malondialdeide, o aldeide malonica , è un composto chimico. Si trova naturalmente nei tessuti, è una manifestazione dello stress ossidativo. Formula chimica $CH_2(CHO)_2$ .
SIGLA26	<i>GPx</i>	Enzima Glutatione perossidasi
SIGLA27	<i>CP</i>	Carta di cellulosa commerciale
SIGLA28	<i>rGO</i>	Ossido di Grafene ridotto
SIGLA29	<i>OMS</i>	Organizzazione Mondiale della Sanità
SIGLA30	rGO@SA	Composito dell'ossido di grafene
SIGLA31	<i>PGPB</i>	Batteri promotori della crescita delle piante
SIGLA32	<i>TaNIP</i>	Gene dell'acquaporina
SIGLA33	<i>TaAQP8</i>	Gene dell'acquaporina
SIGLA34	<i>EST</i>	Elaborazione Tag di Sequenza espressa
SIGLA35	<i>cDNA</i>	Meccanismo per la replicazione del patrimonio genetico
SIGLA36	<i>SAGE</i>	Espressione genica

SIGLA37	<i>SSH</i>	Ibridazione Sottrattiva Soppressiva
SIGLA38	<i>RDA</i>	Analisi della differenza rappresentativa
SIGLA39	<i>DDRTPCR</i>	Catena di Trascrizione-Polimerasi Inversa di visualizzazione Differenziale Reazione
SIGLA40	<i>PGP</i>	Batterio <i>Chryseobacterium Balustinum</i>
SIGLA41	<i>PGPR</i>	Rizobatteri che promuovono la crescita delle piante
SIGLA42	<i>ACC</i>	Enzima in grado di inibire un passaggio fondamentale della sintesi dell'etilene
SIGLA43	<i>IAA</i>	Acido indol-3-acetico della struttura chimica del fitormone
SIGLA44	<i>POD</i>	Perossidasi

## INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

La salinizzazione e la sodificazione del suolo sono importanti processi di degrado del suolo che minacciano l'ecosistema e sono riconosciuti come uno dei problemi più importanti a livello globale per la produzione agricola, la sicurezza alimentare e la sostenibilità nelle regioni aride e semi-aride.

Nel mondo, circa 400 milioni di ettari di terreno (oltre il 6%) sono interessati da una sorta di salinizzazione e questa percentuale aumenta di giorno in giorno.

Lo scopo di questa tesi è, quello di analizzare e comprendere diversi metodi, sia innovativi che già noti, attraverso azioni da parte dell'uomo, su come si possa ridurre e contrastare la salinità nei diversi territori, favorendo il normale funzionamento e resistenza delle piante, cercando di mantenere ecosistemi sani per un maggiore benessere umano.



# Capitolo 1

## IL SUOLO:

Il suolo o terreno è la formazione naturale di superficie, di spessore variabile, derivante dalla disgregazione fisica e dalla decomposizione chimica e biologica della roccia madre e dei residui vegetali.

È lo strato detritico superficiale della crosta terrestre, di diverso spessore, costituito da sostanze organiche e inorganiche, capace di ospitare la vita delle piante e sede di processi fisici-chimici-meccanici ed attività biologica e che ne determinano continua evoluzione.

Origine dei suoli:

- Terreni autoctoni:

si formano da una roccia madre presente sul posto.

- Terreni alloctoni:

si formano dall'apporto di vario materiale prelevato da altri luoghi e trasportato da vettori, (vento, acqua) composizione mista.

In genere rispondono meglio alle esigenze delle colture, es. terreni alluvionali.

Origine del terreno:

dalla contemporanea alterazione fisico-chimica-meccanica della RM (substrato pedogenetico)

ad opera: - di agenti atmosferici - di processi c-f-m in situ - di agenti biotici.

Tappe fondamentali del processo pedogenetico: (Fig.1.1)

## Tappe fondamentali del processo pedogenetico

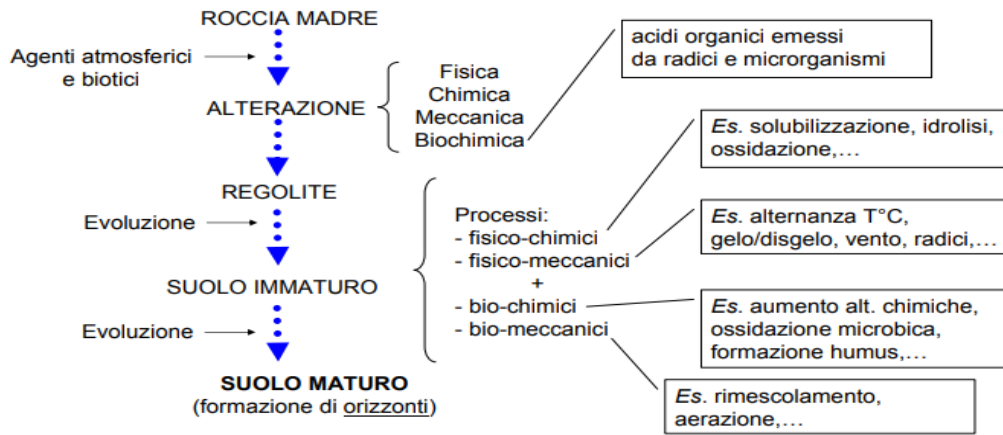


Figura 1.1 Schema semplificato del processo pedogenetico

### 1.1 Costituenti dei suoli

Il terreno è un sistema complesso risultante dalla coesistenza di diverse componenti: sostanze minerali, sostanze organiche, organismi viventi, acqua, aria.

Minerali, sostanze inorganiche naturali con composizione chimica costante o variabile entro precisi limiti caratterizzate da specifiche proprietà fisiche (92% silicati – 8% carbonati, solfati, fosfati, ossidi e idrossidi, cloruri, solfuri, nitrati).

I principali tipi mineralogici che si trovano a costituire i terreni del mondo sono i seguenti:

#### Minerali Argillosi

Sono silicati idrati di alluminio formatisi per alterazione di minerali primari e ascritti alla categoria dei fillosilicati data la loro costituzione cristallina di base:

strati di cristalli tetraedrici di silice si coniugano a strati di cristalli ottaedrici con uno ione alluminio circondato da ioni OH.

A seconda delle condizioni in cui si svolge la pedogenesi vari minerali argillosi possono formarsi, differenti strutturalmente per la successione degli strati, la distanza tra strato e strato, l'intensità della carica elettronegativa che si genera nei reticoli cristallini dei vari foglietti nei loro vari assemblaggi, l'eventuale presenza di cationi o molecole negli spazi interstrato. La dimensione delle particelle di argilla è quella dello stato colloidale (< 2µm), il che conferisce loro un grande rapporto superficie/volume; ciò, collegato con la carica

elettronegativa che hanno le argille, rende queste capaci di adsorbire sulla loro ampia superficie ioni con carica positiva (cationi).

Inoltre, altri ioni o molecole d'acqua trovano superfici adsorbenti anche negli spazi vuoti tra una lamella e l'altra, se questi sono di ampiezza sufficiente.

L'argilla, essendo un colloide, può trovarsi con le sue micelle in sospensione nell'acqua (stato disperso) oppure coagularsi in grumi (stato flocculato, molto vantaggioso dal punto di vista fisico).

### Ossidi e Idrossidi

La pedogenesi nei climi temperati produce ossidi e idrossidi di Si, Fe, Al e Mn, insieme alle argille.

Quelle parti dei silicati originari che non sono state coinvolte nel processo di argillificazione né sono state dilavate, possono subire una trasformazione in ossidi e idrossidi in forme paracrystalline o colloidali capaci di svolgere funzioni importanti: essendo colloidali elettropositivi adsorbono gli anioni; costituiscono forti e stabili cementi efficaci ad aggregare particelle di altri minerali promuovendo la strutturazione del terreno.

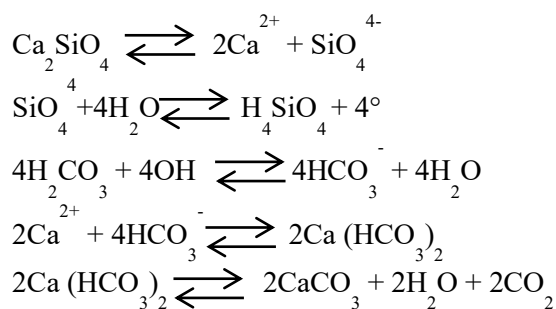
### Carbonati

Nella litosfera sono presenti i carbonati insolubili o poco solubili dei cationi alcalino-terrosi e di altri cationi bivalenti (Ca, Mg, Ba, Zn, Fe, Mn, Sr, Pb).

Il più importante è il  $\text{CaCO}_3$  che può avere origine chimica e organogena.

Origine chimica:

la reazione tra ioni calcio presenti nelle rocce eruttive e  $\text{CO}_2$  dell'atmosfera porta all'origine del  $\text{CaCO}_3$



### Silicati

Numero di coordinazione - Numero di ioni che possono disporsi intorno ad un altro in funzione delle loro dimensioni.

Coordinazione di vari cationi con l'ossigeno ( $r^+ = 0.14 \text{ nm}$ ) in funzione del rapporto tra i raggi ionici.

Con l'ossigeno coordinante:

il silicio assume coordinazione tetraedrica.

L'alluminio, il ferro trivalente il magnesio, il ferro bivalente ed il manganese coordinazione ottaedrica.

Il sodio ed il calcio esaedrica.

Il potassio ed il bario icosaedrica.

Per gli ioni il cui rapporto  $r^+ / r^-$  con l'ossigeno assume valori prossimi a quelli di due classi contigue può verificarsi la possibilità di coordinare in due classi diverse.

$\text{Al}^{3+}$  coordina in classe ottaedrica ma in opportune condizioni può coordinare anche in classe tetraedrica.

Genesi della frazione organica del suolo.

- I residui animali e vegetali subiscono processi di alterazione, più o meno rapidi, di natura fisica, chimica e chimico-fisica e soprattutto microbiologica.

- La sostanza organica del terreno è la risultante di una serie di processi di trasformazione che avvengono con differenti velocità e che portano alla formazione di sostanze a diversa stabilità, tra le quali riveste particolare importanza la frazione chiamata humus.

- La velocità della decomposizione dipende dalla disponibilità di ossigeno e acqua ed elementi nutritivi per i microrganismi e dalla temperatura.

- Nel deserto la mancanza di acqua ritarda notevolmente il processo di ossidazione del materiale organico.

- Le sostanze nonumiche sono costituite da carboidrati e composti simili, proteine e loro derivati, grassi, lignine, tannini e vari prodotti della decomposizione parziale comprese le radici delle piante.

Esse sono una fonte eccellente di cibo per i microrganismi.

- I principali prodotti di decomposizione sono acqua ed anidride carbonica oltre a piccole quantità di  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ , acidi organici ed altre sostanze non completamente ossidate.

- Nella successiva fase di decomposizione questi prodotti intermedi unitamente ai tessuti microbici di neoformazione vengono aggrediti da una larga varietà di microrganismi con produzione di nuova biomassa ed ulteriore perdita di carbonio come  $\text{CO}_2$ .

- Il 50-80% della sostanza organica che perviene al terreno viene perduta nel primo anno.

- La velocità di decomposizione è proporzionale alla quantità aggiunta.

Humus – Frazione colloidale della sostanza organica del terreno costituita da polimeri resistenti all'attività microbica, di colore variante dal marrone al nero, la cui composizione complessa è, a tutt'oggi, praticamente sconosciuta.

## **1.2 Dotazione di elementi nutritivi del terreno: i sali**

L'analisi chimica del terreno fornisce precise indicazioni sulla quantità totale degli elementi necessari alla nutrizione delle piante presenti nel terreno.

I principali elementi nutritivi assimilabili dalle piante dei quali necessita la conoscenza per caratterizzare le potenzialità nutritive di un terreno sono i seguenti:

Azoto

Fosforo

Potassio

Salinità':

Un'eccessiva quantità di sali solubili nel terreno compromette la normale crescita dei vegetali. La salinità è un problema tipico delle regioni a clima arido e semiarido, dove i fenomeni di dilavamento non hanno rilevanza mentre prevalgono quelli di evaporazione e di risalita dei sali, ed è circoscritto ai suoli di origine marina o a quelli che per la loro giacitura hanno subito l'apporto di sali con i flussi idrici provenienti dai terreni sovrastanti.

Nei climi umidi i sali solubili non possono accumularsi e i casi di salinità sono limitati alle basse terre litoranee dove il sale è apportato dalla falda acquifera salata alimentata dal mare. Il metodo più rapido e rispondente per la misura della salinità di un terreno è quello della conduttività elettrica dell'estratto acquoso del terreno stesso, metodo basato sul fatto che la conduttività di una soluzione è proporzionale alla sua concentrazione.

Pur senza dare a questa relazione un valore di assoluta precisione stante la variabilità dei sali presenti nei vari terreni, il metodo ufficiale di misura della salinità di un terreno è la conduttività elettrica (CE) dell'estratto acquoso di saturazione alla temperatura standard di 25°C.

Per la misura si usano conduttimetri portatili.

L'unità di misura ufficiale della conduttività elettrica di una soluzione è il Siemens per metro ( $\text{Sm}^{-1}$ ) o, più spesso, i suoi sottomultipli milli-Siemens (mS) e micro-Siemens ( $\mu\text{S}$ ).

CE < 4 dS m<sup>-1</sup> Salinità Lieve:

solo colture sensibilissime possono veder limitata la loro produttività.

4-8 dS m<sup>-1</sup> Salinità moderata:

molte colture vedono ridotta la loro produttività.

8-16 dS m<sup>-1</sup> Salinità elevata:

solo colture tolleranti producono soddisfacentemente.

>16 dS m<sup>-1</sup> Salinità elevatissima:

solo poche colture molto tolleranti producono soddisfacentemente.

### 1.3 Cenni sulle proprietà chimiche del terreno

Tra le proprietà chimiche del terreno le più importanti per la sua caratterizzazione agronomica sono le seguenti:

#### Reazione

Per reazione del terreno si intende il grado di neutralità, di acidità o di alcalinità del suo estratto acquoso, espresso in pH.

pH simbolo di <<potenziale idrogeno>>, è il logaritmo negativo della concentrazione di ioni H<sup>+</sup>; i valori di pH variano da 1 a 14.

pH=7 corrisponde alla neutralità, caso in cui la concentrazione di H<sup>+</sup> è uguale a quella degli OH<sup>-</sup>.

Quanto più la concentrazione di H<sup>+</sup> è alta, tanto più il pH è basso e tanto più acida è la soluzione, e viceversa.

In genere i terreni acidi si trovano sotto i climi piovosi dove i processi di dilavamento sono intensi e i cationi basici scambiabili sono continuamente rimossi.

Viceversa, i terreni alcalini prevalgono sotto i climi aridi dove il dilavamento è scarso o nullo e dove invece l'intensa evaporazione provoca la risalita di sali solubili degli strati profondi.

#### Effetti del pH

La maggior parte delle piante e degli organismi utili che abitano il terreno prospera nei terreni il cui pH è compreso tra 6 e 7,5; tuttavia ci sono grandi differenze nel grado in cui differenti specie gradiscono o tollerano valori di pH oltre questi limiti.

Il pH influisce sull'attività dei microrganismi: a pH <5,5 i batteri stentano mentre i funghi prosperano.

Il pH determina l'assimilabilità di molti elementi modificandone la solubilità.

A pH elevato ( $>7,5$ ) e in presenza di calcare il fosforo tende ad insolubilizzarsi (<<retrogradazione>> del fosforo che passa a fosfato tricalcico), così come pure il ferro (con conseguente clorosi per certi vegetali sensibili).

Viceversa, a pH molto basso certi elementi che a pH superiore sono insolubili e innocui diventano solubili e tossici: tale è il caso dell'alluminio e del manganese a  $\text{pH} < 5,5$ .

Altre azioni la reazione de terreno ha sullo sviluppo e il funzionamento delle radici, sulla patogenicità di certe malattie provocate da funghi terricoli, sulla flora infestante, ecc.

#### Calcare

I carbonati alcalino-terrosi che si trovano in quantità consistente nel terreno sono primariamente il carbonato di calcio, e secondariamente quello di magnesio; per convenzione il contenuto totale di questi due Sali è espresso come calcare.

Un alto contenuto di calcare determina un pH subalcalino (non superiore a 8,3) ed è limitante solo per poche piante calcifughe (lupino, castagno, arachide); su altre piante, segnatamente su molti alberi da frutto, un alto contenuto di calcare ha effetti negativi indiretti, in quanto provoca la non assimilabilità di certi microelementi (ad esempio il ferro e di conseguenza carenze e clorosi).

#### Capacità' di scambio (o potere assorbente)

La nutrizione minerale dei vegetali avviene per l'assorbimento da parte delle radici di ioni prelevati dalla soluzione circolante, cioè dalla fase liquida del terreno costituita dall'acqua con disciolte sostanze cedute dalla fase solida e dall'aria.

La concentrazione della soluzione circolante in genere è piuttosto bassa e varia molto, ovviamente, al variare dell'umidità del terreno, ma è soggetta a complessi equilibri di scambio con la fase solida: in altre parole, man mano che ioni vengono assorbiti dalle radici essi vengono rimpiazzati da identici ioni che le particelle solide rilasciano nella soluzione circolante grazie al loro complesso di scambio.

Questo meccanismo definisce la capacità di scambio (o potere assorbente del terreno).

La capacità di scambio più importante è quella che si esercita sui cationi.

#### Capacità di scambio cationico

I colloidi più rappresentati nella maggior parte dei terreni del mondo sono elettronegativi: argilla e sostanza organica.

In conseguenza essi hanno la prerogativa di adsorbire sull'ampia superficie esterna delle loro particelle gli ioni a carica elettrica positiva: i cationi.

I più abbondanti cationi scambiabili sono Ca, Mg, K e Na che sono basici, H e Al che producono acidità; meno abbondanti sono ammoniaca e ferro.

Grazie al potere assorbente, questi importantissimi elementi nutritivi sono sottratti al pericolo di dilavamento e allo stesso tempo sono tenuti a disposizione delle colture.

#### Percentuale di sodio scambiabile (PSS)

La conoscenza della salinità di un terreno è importante per valutare le potenzialità agricole di questo e gli interventi possibili per migliorarla, ma per una completa valutazione del problema è importante avere un altro elemento di conoscenza:

la percentuale di sodio scambiabile (PSS) presente nel complesso assorbente del terreno.

Come è indicato dalla definizione, esso è dato dal rapporto percentuale tra la quantità di  $\text{Na}^+$  e la CSC.

Se la capacità di scambio cationico di un terreno è 20 m.e. per 100g di terra, la percentuale di sodio scambiabile è pari a 10.

Il sodio è un elemento altamente deleterio:

conferisce al terreno proprietà chimiche e fisiche pessime, tra cui le più gravi sono un pH molto alto ( $>8,3$ ) e uno stato deflocculato dell'argilla che rende il terreno privo di struttura e quindi duro, impermeabile, asfittico, in una parola inabitabile.

Per convenzione un terreno è considerato alcalino quando la sua percentuale di sodio scambiabile è  $>15$ .

In base alle varie combinazioni di salinità e di alcalinità si hanno i seguenti tipi di terreni anomali:

Salinità	PSS	Tipo di terreno
$<4$	$>15$	Terreno alcalino
$>4$	$<15$	Terreno salino
$>4$	$>15$	Terreno alcalino-salino

Il miglioramento di questi tipi di terreno è uno dei compiti più difficili e delicati che si possono presentare ad un agronomo e ad un chimico agrario.



#### **1.4 Che cos'è la salinizzazione?**

Tutti i suoli contengono sali la cui quantità dipende dalle condizioni climatiche, morfologiche, pedologiche ed idrologiche del territorio.

Quando la quantità di sali solubili (solfati, cloruri e bicarbonati di sodio, potassio, calcio e magnesio) diviene eccessiva, al punto tale che le colture ne risentono negativamente, il terreno viene classificato come salino.

La salinizzazione impedisce la crescita delle piante in quanto limita la loro capacità di rifornirsi di acqua, provoca squilibri nutrizionali e induce fenomeni di tossicità. Soltanto alcune specie coltivate presentano un'elevata tolleranza alla salinità e, tra queste, la barbabietola, l'orzo, l'asparago, lo spinacio.

Cause della salinizzazione:

La salinizzazione è un processo tipico degli ambienti dove le precipitazioni non sono sufficienti ad eliminare i sali contenuti nel suolo.

In genere il fenomeno si accentua in presenza di falde acquifere poco profonde dalle quali l'acqua, con movimento ascendente, trasporta i sali verso la superficie.

Una certa quantità di sali si può accumulare anche in climi moderatamente umidi, nelle depressioni con fondo impermeabile, dove confluiscono le acque provenienti dalle aree circostanti i cui terreni o sedimenti contengono sali.

Un tipo di salinizzazione, detta secondaria, è frequente nei terreni irrigati.

Ciò è dovuto a vari fattori:

apporto di acque di irrigazione non idonee i cui sali si concentrano nel terreno a causa della evapotraspirazione.

Ad esempio, irrigando con acqua "dolce", contenente lo 0,5% di sali, e considerando volumi di 4000.;5000 m' ettaro all'anno, si apportano al suolo da 2 a 2,5 tonnellate ad ettaro di sali. Questi, se non vengono dilavati con le precipitazioni nel periodo autunno-vernino, possono accumularsi nel suolo; innalzamento del livello delle falde acquifere, che può apportare sali al terreno direttamente o per risalita capillare oppure impedisce la lisciviazione dell'eccesso di sali.

Recentemente si nota un rapido ed intenso accumulo di sali nei terreni delle serre, provocato dall'uso di forti dosi di concimi chimici e di bassi volumi di acqua.

### Salinizzazione naturale

Tutti i suoli, per loro natura, contengono una miscela di Sali più o meno solubili in acqua.

Alcuni di essi sono essenziali per lo sviluppo vegetale, mentre altri possono apportare danni di tipo biologico.

L'origine dei sali è strettamente correlata con l'alterazione da parte degli agenti atmosferici delle cosiddette rocce magmatiche (o ignee), presenti nella porzione esterna più rigida del Pianeta, la litosfera.

Queste alterazioni hanno portato, nei secoli, alla deposizione di enormi quantità di sali all'interno delle rocce sedimentarie, nelle acque interne e marine, ma anche negli oceani.

Si sono così formati dei veri e propri giacimenti a partire dai quali, seguendo varie vie, i sali raggiungono gli ambienti costieri interni.

Qui, se le condizioni climatiche comportano eccessive evaporazioni di acqua, possono formarsi dei veri e propri accumuli di sale all'interno del suolo, detti orizzonti o croste saline. È quindi scontato che questo fenomeno sia più accentuato in zone aride, dove le precipitazioni scarseggiano.

### Salinizzazione antropica

Negli ultimi anni, l'accentuazione del cambiamento climatico non ha fatto altro che peggiorare la situazione, implementando la formazione di orizzonti salini anche in aree terrestri interne e dando non poco filo da torcere a coloro che lavorano a stretto contatto con la terra, gli agricoltori.

Questi ultimi però, a volte, sono i principali responsabili di questo fenomeno e in questo caso si parla di salinizzazione antropica o secondaria.

Pratiche agricole inesatte e poco sostenibili, uso di acque irrigue ricche di sali, eccessivo impiego di fertilizzanti e anticrittogamici, eccessivo sfruttamento delle falde acquifere, sono tutti fenomeni che possono portare alla salinizzazione secondaria.

Generalmente, il semplice cambio di coltura da vegetazione spontanea a coltura agraria apporta dei danni al suolo in termini di salinizzazione, in quanto, di solito, le piante coltivate hanno apparati radicali molto meno profondi e poco sviluppati.

Questo determina un progressivo innalzamento della falda idrica e la solubilizzazione dei sali presenti nel sottosuolo, i quali risalgono insieme all'acqua fino ad interessare lo strato occupato dalle radici delle coltivazioni.

In seguito a questo processo, la suzione idrica delle radici e il fenomeno di evapotraspirazione classico delle piante portano a un accumulo di sali in superficie rendendo il substrato inadatto alla crescita della vegetazione.

Il processo di salinizzazione secondaria, però, non è solamente da attribuire all'attività agricola.

Settori produttivi quali quello turistico e industriale, insieme anche a svariati aspetti demografici, giocano infatti un ruolo fondamentale.

L'insieme di questi effetti può comportare un progressivo ed eccessivo sfruttamento delle falde acquifere e provocare la cosiddetta intrusione del cono salino:

si tratta di un'intrusione delle acque marine verso l'interno della costa a causa dell'abbassamento della falda acquifera provocata dalle attività umane.

Questo fenomeno aumenta vertiginosamente la concentrazione dei sali all'interno del suolo, provocando così numerosi danni alla vegetazione e alla fauna terricola.

#### Conseguenze della salinizzazione del suolo

La salinizzazione del suolo è da considerare come una delle principali cause di degrado sia fisico che chimico e biologico dei suoli.

Esso, infatti, rientra all'interno di quei processi che progressivamente portano alla desertificazione, sebbene tra le altre conseguenze degne di nota ci siano anche un maggiore tasso di erosione (causato dalla minore coesione tra i diversi strati del suolo), la riduzione della concentrazione di materia organica e fenomeni di contaminazione delle acque sia locali che diffusi.

A tutti questi effetti primari sono correlate una serie di conseguenze come, ad esempio, la riduzione della biodiversità terricola e non, ma anche l'aumento del rischio di frane e smottamenti, fattore che comporta un pericolo non indifferente per l'incolumità dei cittadini. Gli effetti negativi della salinizzazione si ripercuotono inevitabilmente anche su una serie di variabili socio-economiche, come l'aumento dei costi delle produzioni agricole e la necessità di attuare processi più oculati di purificazione delle acque destinate all'uso civile. Talvolta però, una modesta salinizzazione può avere anche degli effetti positivi.

Negli ultimi anni, infatti, è diventato sempre più comune il consumo del cosiddetto pomodoro Pachino, una varietà che per ottenere le proprietà organolettiche che lo distinguono ha la necessità di essere irrigato con acque moderatamente saline.

In ogni caso, questo non deve farci credere che la salinizzazione sia un'opportunità, dato che i suoi effetti su larga scala sono effettivamente drammatici.

Come evitare la salinizzazione del suolo

Premettendo che le azioni da adottare per cercare di ridurre il livello di concentrazione di sale nei suoli devono essere commisurate sulla base del contesto, tutte le risposte, per essere efficaci, devono agire su almeno uno dei passaggi precedenti la salinizzazione stessa.

È infatti di fondamentale importanza programmare, prevedere e implementare azioni piuttosto eterogenee e che agiscano alla radice del problema.

Tra le azioni di prevenzione della salinizzazione del suolo rientrano sicuramente:

- la diminuzione dei consumi idrici;
- la regolamentazione degli scavi finalizzati all'ottenimento di nuovi pozzi e alla ricerca di nuove fonti di approvvigionamento idrico;
- la desalinizzazione dell'acqua utilizzata sia in agricoltura che direttamente dall'uomo.

Se non fosse possibile mettere in atto queste risposte, si potrebbe intervenire sulla tolleranza ad elevati potenziali osmotici delle specie coltivate e sulla modificazione delle tecniche di irrigazione.

Infatti, utilizzando l'irrigazione a goccia si andrebbero a risparmiare notevoli quantità di acqua permettendo un minore sfruttamento delle falde e l'utilizzo di acqua solamente nelle porzioni di suolo immediatamente circostanti all'apparato radicale.

È bene però precisare che tutte queste azioni, per essere efficaci, devono essere combinate tra di loro attraverso un insieme di atti e politiche messe in campo dalle amministrazioni locali e non, con lo scopo di ottenere risultati duraturi.

I segnali di salinizzazione:

- Primi segnali:

crescita irregolare delle colture e mancanza di vigore nelle piante; crescita di piante tolleranti alla salinità; in aree semiaride e aride, l'incremento dell'umidità, per la pioggia o per l'irrigazione, può determinare che i suoli non tollerino il peso dei mezzi di lavorazione.

Ciò è dovuto alla perdita della struttura del suolo a causa della dispersione delle argille provocata dal sodio.

- Segnali avanzati:

crosta bianca sulla superficie; sulla superficie di un suolo adiacente ad un corpo d'acqua, si può osservare la presenza di un bordo irregolare biancastro; zone e strisce bianche sul suolo, anche se in superficie non è ancora visibile la crosta.

La salinità può essere stimata misurando la conduttività elettrica della soluzione del suolo, che cresce in proporzione diretta alla concentrazione di sali disciolti in essa. Un suolo viene definito salino quando la conduttività elettrica è maggiore di 4 dS/m.

Quali possono essere gli effetti della salinizzazione?

I sali nel suolo determinano un aumento del lavoro che le radici delle piante devono compiere per rifornirsi di acqua.

Elevate quantità di sali nel suolo hanno un effetto simile alla siccità, che rende l'acqua meno disponibile per la suzione radicale.

conduttività elettrica Inferiore a 4 dS/m tra 4 e 8 dS/m tra 8 e 16 dS/m superiore a 16dS/m  
salinità Assente Lieve Moderata Forte Effetti.

Gli effetti della salinità sulla crescita delle colture agrarie sono trascurabili; tuttavia, le colture arboree possono manifestare riduzioni delle rese, influenzata la crescita di molte colture agrarie, come le colture ortive, la fragola ed i fruttiferi.

Le produzioni si riducono significativamente.

Solo piante tolleranti la salinità riescono a crescere, ma le produzioni sono fortemente ridotte. Tutte le colture agrarie non tollerano tali livelli di salinità.

Solo le alofite riescono a crescere.

Poiché poche colture agrarie crescono bene in suoli salini, in questi ultimi si restringe la possibilità di scelta degli ordinamenti colturali.

Si può arrivare ad una riduzione della produzione anche del 20% senza che appaiano evidenti i danni provocati dall'eccesso di salinità.

Tuttavia, all'aumentare della concentrazione dei sali, si manifesta con sempre maggiore chiarezza la riduzione dello sviluppo delle piante.

Le foglie assumono colorazione sempre meno brillante, spesso verde bluastra, e si coprono di un deposito ceroso.

Riassumendo, l'eccesso di salinità può indurre:

essiccamento fisiologico dei vegetali; squilibri nutrizionali a causa dell'antagonismo che si manifesta tra alcuni ioni (ad esempio i solfati inducono carenza di calcio, eccessive quantità di sodio deprimono l'assorbimento del calcio, del magnesio e del potassio); manifestazioni di tossicità causate da forti accumuli di borati, cloruri, sodio e altri ioni.

Ciò è dovuto all'influenza che questi ioni esercitano sulla permeabilità delle membrane, sulle attività enzimatiche ed ormonali ed in generale sui processi biochimici cellulari.

Come possono essere gestiti i problemi di salinizzazione

Come Le misure per il controllo della salinità devono attuarsi secondo un approccio integrato considerando sia i sistemi colturali che di lavorazione.

Tuttavia, ridurre l'intensità e l'estensione della salinità del suolo è prima di tutto un problema di gestione dell'acqua.

Essa può essere indirizzata in due modi.

Nella gestione delle aree che contribuiscono alla ricarica di acqua nel suolo:

diminuire l'eccesso di acqua che si infiltra nel suolo, mantenere la falda bassa, a livello di sicurezza e non irrigare più del necessario.

Nelle aree dove manca un drenaggio naturale, eccedendo con la pratica irrigua si può determinare un sollevamento della falda; ciò può richiedere l'introduzione di un sistema di drenaggio artificiale:

irrigare con volumi d'acqua tali da mantenere i sali ad un livello basso nella zona delle radici.

Utilizzare sistemi di coltivazione e lavorazione che promuovono una adeguata infiltrazione e permeabilità.

Questo comprende il mantenimento del contenuto di sostanza organica nel suolo per migliorare l'aggregazione, evitando così la compattazione.

Preferire colture che utilizzano al meglio l'acqua disponibile nel suolo.

Infatti, colture con apparati radicali superficiali non possono estrarre l'acqua presente in eccesso negli strati profondi e questo può condurre alla salinizzazione.

Rimuovere l'acqua in eccesso utilizzando piante a rapida crescita e con apparati radicali profondi.

Le colture perenni e le foraggere, specialmente l'erba medica, sono utili perché hanno una lunga stagione di crescita e asportano, rispetto alle colture annuali, più acqua da maggiori profondità del suolo.

Le foraggere possono anche aumentare il contenuto di sostanza organica e migliorare la struttura del suolo.

Restituire al suolo i residui colturali per incrementare la ritenzione idrica.

Ridurre il maggese nei periodi estivi utilizzando coltivazioni che permangono più al lungo sul suolo.

Nella gestione delle aree dove l'acqua arriva in superficie per risalita capillare.

Nelle aree a rischio, convertire la copertura permanente del suolo con colture tolleranti alla salinità.

Ridurre la profondità di lavorazione, la quale può far risalire i sali dagli orizzonti più profondi del suolo.

Coltivare foraggiere o piante in prossimità dei corsi d'acqua per aumentare il consumo di acqua. Installare sistemi di drenaggio artificiale solo nelle aree severamente affette dalla salinizzazione.

Eliminare l'infiltrazione dai canali di irrigazione, dai laghetti o da altri sistemi di raccolta delle acque.

### 1.5 Correzione dei terreni

Correzione dei terreni alomorfi:

i terreni alomorfi sono quelli che presentano problemi di accumulo di Sali che, per la quantità o la natura chimica, creano cattive condizioni di abitabilità del terreno e/o per lo sviluppo delle colture.

Per questi motivi gli interventi migliorativi talora condividono l'aspetto correttivo e quello ammendante.

I terreni alomorfi si presentano con tipologie caratteristiche dipendenti da parametri pedologici:

- quantità di Sali, espressa in termini di conduttività elettrica dell'estratto di saturazione (CE), in dS m<sup>-1</sup>
- tipo di salinità, rapporto tra cationi (espresso come ESP), percentuale di sodio scambiabile rispetto alla CSC
- valore di pH

In base a questi aspetti si distinguono le categorie che riflettono effetti negativi e modalità d'intervento diversissimi.

CE (dS m <sup>-1</sup> )	ESP	pH	Tipi di terreno
>4	<15	<8.5	Salino
<4	>15	>8.5	Alcalino (o sadico)
>4	<15	<8.5	Salino-Sadico (o alcalino-salino)

Correzione dei terreni salini:

si definiscono salini i terreni che hanno conduttività elettrica dell'estratto acquoso di saturazione superiore a 4 dSm<sup>-4</sup>, una quota di sodio scambiabile inferiore al 15% e un pH inferiore a 8,5.

I

Sali presenti sono generalmente solfati e cloruri; la loro alta concentrazione assicura che i colloidi del terreno siano allo stato flocculato per cui lo stato strutturale è discretamente buono così come pure la permeabilità all'acqua.

L'inconveniente principale è l'elevata concentrazione della soluzione circolante che crea sempre difficoltà all'assorbimento radicale, anche se in misura diversa da specie a specie. Quando un terreno è salino, per poterlo mettere in coltivazione è necessario procedere alla sua correzione che si fa facilmente, purché ci sia acqua, con il suo dilavamento mediante apposita irrigazione dilavante e un sistema di scolo (affossatura o drenaggio) perfettamente efficiente. L'irrigazione dilavante non va confusa con il << fabbisogno di lisciviazione >> che serve a mantenere basso il livello di salinità nel terreno.

I volumi d'acqua necessari per il dilavamento dipendono dal grado iniziale di salinità del terreno, dal grado di salinità desiderato e dal contenuto di sali dell'acqua di irrigazione. In mancanza dei dati per il calcolo razionale, una regola pratica, grossolana ma semplice e abbastanza affidabile, dice che un volume di adacquamento che porta a saturazione un dato spessore di terreno riduce a circa metà la quantità di sali presenti.

Da ciò deriva che con due adacquate saturanti i Sali si riducono al 20-25%, con tre al 10-12%, ecc.

Correzione dei terreni alcalini:

un'alcalinità moderata (pH inferiore a 8,5) è generalmente di origine calcica, tollerata da quasi tutte le colture e non necessita di nessuna correzione.

L'alcalinità è molto seria quando è dovuta a un'alta quantità di sodio scambiabile: infatti un terreno è definito alcalino quando la percentuale di sodio scambiabile è superiore a 15; un'alcalinità siffatta si manifesta con un pH sempre superiore a 8,5.

Lo stato fisico-chimico del terreno in queste condizioni è pessimo:

i colloidi sono deflocculati dalla presenza del sodio e in conseguenza il terreno è del tutto privo di struttura, lapideo quando secco, fangoso quando bagnato, praticamente impermeabile all'aria e all'acqua.

Solo pochissime piante hanno possibilità di vita in queste condizioni.

La correzione dei terreni alcalini si basa sull'apporto di ioni calcio e sullo spostamento del sodio dal complesso di scambio con successivo dilavamento.

Il correttivo classico è il gesso (solfato di calcio), da apportare in quantità rilevante, proporzionata al sodio da spostare: in genere si richiedono da 3 a 0 t<sup>ha</sup>-1 di gesso.



Questo, che deve essere finemente macinato, va incorporato bene nello strato superficiale del terreno con una lavorazione atta ad assicurare l'intima miscelazione prima di iniziare il vero e proprio dilavamento.

Correzione dei terreni alcalini-salini:

i terreni alcalini-salini uniscono un alto contenuto di Sali ( $CE > 4 \text{ dS m}^{-1}$  nell'estratto di saturazione) e un'alta quota di sodio (oltre il 15%) nei siti di scambio cationico.

Essi somigliano molto a quelli salini in quanto la loro alta concentrazione elettrolitica favorisce la flocculazione dei colloidali, con formazione di una buona struttura e una sufficiente permeabilità all'acqua.

La loro correzione, però, è molto diversa:

mentre i terreni salini si correggono con il semplice dilavamento, quelli alcalini-salini vanno dilavati solo dopo averne spostato il sodio.

Se si dilavassero senza aver fatto ciò, si trasformerebbero in terreni alcalini, che sono molto peggiori.

La rimozione del sodio va favorita con gli stessi mezzi indicati per i terreni alcalini.

## 1.6 FAO: giornata mondiale del suolo 2021 #worldsoilday



**Figura 1.2** Locandina della FAO del 5 Dicembre 2021#WorldSoilDay

La FAO con la Giornata mondiale del suolo 2021(#WorldSoilDay) e la campagna “Arrestare la salinizzazione del suolo, aumentare la produttività del suolo”, mira a sensibilizzare la società sull’importanza di migliorare la salute del suolo e mantenere ecosistemi sani combattendo la salinizzazione del suolo incoraggiando la società

La necessità di un approccio integrato

Le pratiche agricole non sostenibili, lo sfruttamento eccessivo delle risorse naturali e l’aumento della popolazione sono tutti fattori che incidono negativamente sulla qualità del suolo.

Come mette in evidenza la FAO, circa il 9% della superficie terrestre è già colpito dalla salinizzazione; il fenomeno si verifica in tutto il mondo, ma le aree più colpite sono quelle aride o semi-aride (Asia centrale, Medio Oriente, Sudamerica, Nord Africa e Pacifico).

La salinizzazione può avvenire anche in zone lontane dal mare: un esempio è l’Uzbekistan (Asia centrale), che non ha sbocco sul mare, confina con Paesi senza sbocco sul mare, eppure la salinizzazione di gran parte dei terreni rende difficile l’agricoltura.

La gestione di queste aree richiede un approccio integrato, che va dalla gestione sostenibile del suolo all’irrigazione e al drenaggio, fino alla selezione di colture e piante che sopportino il sale.

## Capitolo 2

### MATERIALI E METODI:

Al fine di raggiungere questo scopo sono stati presi in considerazione e analizzati i seguenti articoli scientifici che hanno come oggetto la salinizzazione dei suoli e come risolverla con diverse metodiche:

- Aadil Rasool, Wasifa Hafiz Shah, Naveed Ul Mushtaq, Seerat Saleem, Khalid Rehman Hakeem, Reiaz ul Rehman, 2022. *Amelioration of salinity induced damage in plants by selenium application: A review*. South African Journal of Botany. Volume 147, pages 98-105.
- Pan Wu, Xuan Wu, Yida Wang, Haolan Xu, Gary Owens, 2022. *Towards sustainable saline agriculture: interfacial solar evaporation for simultaneous seawater desalination and saline soil remediation*. Water Research. Volume 212. Article number: 118099
- Slimane Mokrani, El-hafid nabti, Cristina Cruz, 2022. *Recent Trends in Microbial Approaches for Soil Desalination*. Applied Sciences. Volume 12

## Capitolo 3

### ARTICOLI

#### 3.1 Articolo I

*Titolo:* Amelioration of salinity induced damage in plants by selenium application: A review.

*Autori:* Aadil Rasool, Wasifa Hafiz Shah, Naveed Ul Mushtaq, Seerat Saleem, Khalid Rehman Hakeem, Reiaz ul Rehman

*Obbiettivi:*

L'obbiettivo principale di questo studio è quello di studiare un composto per migliorare la resistenza delle piante allo stress salino:

Il Selenio (Se), è uno di questi candidati.

Lo studio relativo a Se nel fornire resistenza allo stress salino è limitato.

Questa recensione aggiunge di più alla comprensione dei miglioramenti interceduti da Se nell'avanzamento delle piante sotto stress salino.

Informazioni migliorate sullo stress salino e sul suo alleviamento da parte di Se possono essere utilizzate per ottenere una resa migliore sotto stress salino.

Se svolge ruoli significativi, come scavenger di radicali liberi e antiossidante.

Migliora la fotosintesi, l'omeostasi ionica, e attiva una progressione di segnali a valle che aiutano ad alleviare lo stress.

Stimola la flessibilità contro lo stress salino.

In questo studio, esaminiamo la letteratura recente e riassumiamo i ruoli normativi di Se. Comprendere l'impatto complessivo dell'assorbimento, del trasporto e del movimento di Se come Se e, come influenza le diverse procedure delle piante offrirà un'altra possibilità per aumentare la resistenza al sale delle piante.

Lo stress salino limita l'efficienza delle piante coltivate in tali condizioni, provocando generose perdite di resa; è un grave impedimento ambientale che impedisce il normale funzionamento delle piante.

Un'ampia gamma di modifiche nello sviluppo è incitata dall'eccesso di sale.

Una migliore comprensione dei meccanismi che mediano la mitigazione dello stress salino aiuterà i ricercatori a strutturare approcci per migliorare le prestazioni delle colture in condizioni naturali ostili.

## Selenio

Il chimico svedese Jacob Berzelius trovò il selenio nel 1817.

La parola selenio deriva dalla parola greca "Selene", che significa là.

Il selenio appartiene alla famiglia dell'ossigeno della tavola periodica.

Il raggio ionico di Se e zolfo è lo stesso, quindi sono abbastanza simili tra loro nelle proprietà chimiche.

Se è semiconduttore ed è ampiamente utilizzato nella produzione di articoli elettronici ed elettrici.

Il selenio si trova in forma inorganica, organica e gassosa.

Le forme inorganiche includono selenato ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ), selenite ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ), Selenide ( $\text{Se}^{2-}$ ) e Se elementare; le forme organiche primarie comprendono SeCys<sub>2</sub>, SeMet, SeMeCys; e la forma gassosa include dimetil seleniuro, dimetil diseleniuro.

Se ha sei isotopi: <sup>74</sup>Se, <sup>76</sup>Se, <sup>77</sup>Se, <sup>78</sup>Se, <sup>80</sup>Se e <sup>82</sup>Se.

In natura, vari fattori come il pH, la materia organica nel suolo, il contenuto di zolfo, l'attività microbica, la struttura del suolo determinano l'accessibilità e l'allocazione di Se.

Il selenato e la selenite si trovano prevalentemente in terreni aerobici con pH neutro e pH inferiore, rispettivamente.

Tuttavia, il seleniuro si trova in condizioni di suolo ridotte.

L'accessibilità e la tossicità di Se sono determinate dalle sue forme.

Per gli organismi viventi, Se ha un intervallo ristretto tra essenzialità e tossicità.

Se è essenziale per gli organismi viventi; tuttavia, fino a poco tempo fa era considerato pericoloso.

La selenosi o tossicità da Se si verifica nelle piante quando la concentrazione ottimale di Se supera le soglie.

Le soglie tossiche di Se dipendono da vari fattori come il tipo di Se, la concentrazione di Se e il tipo di piante.

Ad esempio, le soglie di tossicità per gli iperaccumulatori saranno diverse dagli accumulatori secondari e dai non accumulatori.

Varie colture come mais, miglio proso e miglio coda di volpe mostrano effetti tossici se fornite con concentrazioni di Se superiori a 5  $\mu\text{M}$  e 10  $\mu\text{M}$ .

La sensibilità specie-dipendente a Se può essere dedotta dal fatto che la concentrazione più bassa di Se che causa tossicità nel cetriolo era 20  $\mu\text{M}$  per  $\text{SeO}_3^{2-}$  e 80  $\mu\text{M}$  per  $\text{SeO}_4^{2-}$  e la soglia tossica nella lattuga era 15  $\mu\text{M}$  per  $\text{SeO}_3^{2-}$  e 20  $\mu\text{M}$  per  $\text{SeO}_4^{2-}$ .

Inoltre, le piantine sono più sensibili a Se rispetto alle piante mature e Se formano  $\text{SeO}_3^{2-}$  che è più tossico di  $\text{SeO}_4^{2-}$ .

#### Assorbimento e trasporto del selenio

L'assorbimento, il trasporto e la traslocazione di Se dipendono da vari fattori come la concentrazione e la forma di Se nell'ambiente circostante, le specie vegetali, il pH del mezzo, la presenza di altri composti come lo zolfo.

Le forme primarie di Se nel suolo sono seleniuro, Se elementare, selenite e selenato.

Il selenato è la forma più diffusa che si trova nei suoli agricoli. È più solubile in acqua e viene assorbito più facilmente della selenite.

I trasportatori presenti nelle membrane cellulari delle radici facilitano l'assorbimento di Se nelle piante.

La forma del Se e lo stato nutrizionale della pianta; decide la preferenza di questi trasportatori per selenato e solfato.

Si scopre che la selenite è trasportata da un meccanismo di trasporto del fosfato o da un trasporto passivo.

Al contrario, il selenato viene trasportato attraverso trasportatori e canali di solfato.

Quando la concentrazione di solfato è elevata, la selettività di questi trasportatori per Se diminuisce.

Una volta all'interno, il selenato viene erogato dalle radici attraverso lo xilema ad altre parti della pianta.

La trasformazione di Se in forme organiche come SeCys avviene nel cloroplasto fogliare.

Dopo che Se entra nella pianta attraverso trasportatori di solfato, viene traslocato nelle foglie.

Nelle foglie, il macchinario metabolizzatore Se si trova nei plastidi dei cloroplasti.

Nei plastidi, SeCys o SeMet si forma attraverso il percorso di assimilazione dello zolfo.

La trasformazione di Se inizia con la conversione di Se inorganico in adenosina fosfoselenato; questa reazione è catalizzata dall'ATP sulfurilasi (APS) utilizzando ATP.

L'adenosina fosfoselenato viene ulteriormente ridotto a selenite; questo passaggio è catalizzato dall'APS reduttasi (APR).

La selenite viene quindi trasformata in seleniuro dalla solfito reduttasi.

Quindi SeCys si forma unendo l'O-acetil serina (OAS) al seleniuro dall'enzima cisteina sintasi, che ha un'elevata affinità per il seleniuro rispetto al zolfo.

SeCys può essere metilato in metil-SeCys dalla selenocisteina metiltransferasi o può essere trasformato in Se elementare dalla SeCys liasi o può essere convertito in selenometionina da un insieme di enzimi.

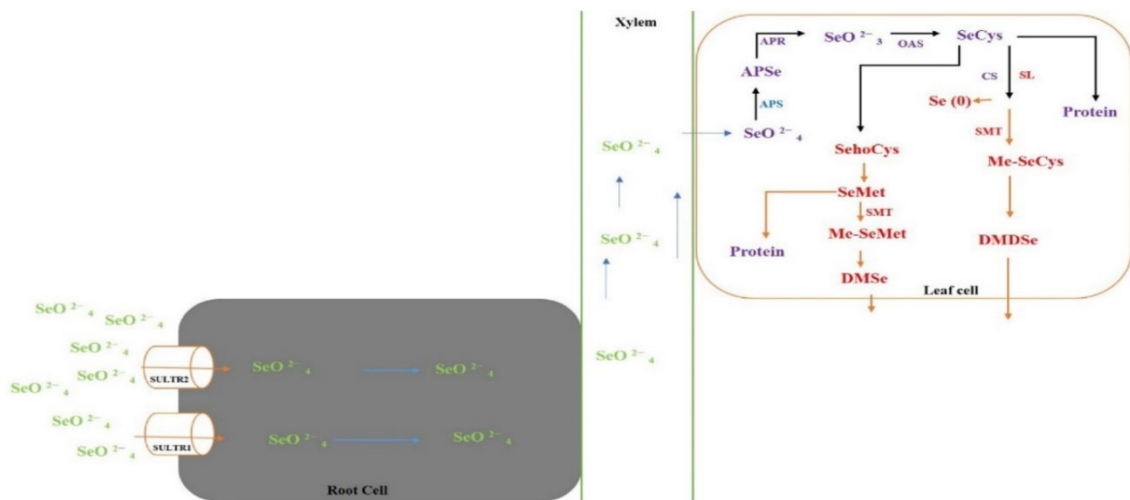
Queste forme vengono poi trasportate in altre parti della pianta, comprese le radici, attraverso il floema.

SeMet è formato da SeCys e si accumula principalmente nelle radici o può essere metilato per formare metil-SeMet.

SeMet agisce come precursore delle selenoproteine.

Me-SeCys o Me-SeMet possono anche essere volatilizzati come composti non tossici nell'atmosfera sia in non iperaccumulatori che in iperaccumulatori come dimetil seleniuro e dimetil diselenide, rispettivamente.

Il trasporto di Se nelle piante è rappresentato in **Figura 3.1**.



**Figura.3.1** Cenni di trasporto del selenio nelle piante;  $\text{SeO}_4^{2-}$ : Selenato; SULTR: trasportatori di solfati;  $\text{SeO}_3^{2-}$ : selenite; APS: ATP sulfurilasi; APSe: adenosina fosforo-selenato; aprile: APS reduttasi; SeCys: seleno-cisteina; CS: cisteina sintasi; SL: selenocisteineliase; SMT: Selenocisteina metiltransferasi; Me-SeCys: metilselenocisteina; DMSe/DNSe: composti di dimetilselenonio; SehoCys: selenoomocisteina; OAS: O-acetilserina.

Il selenio come composto benefico

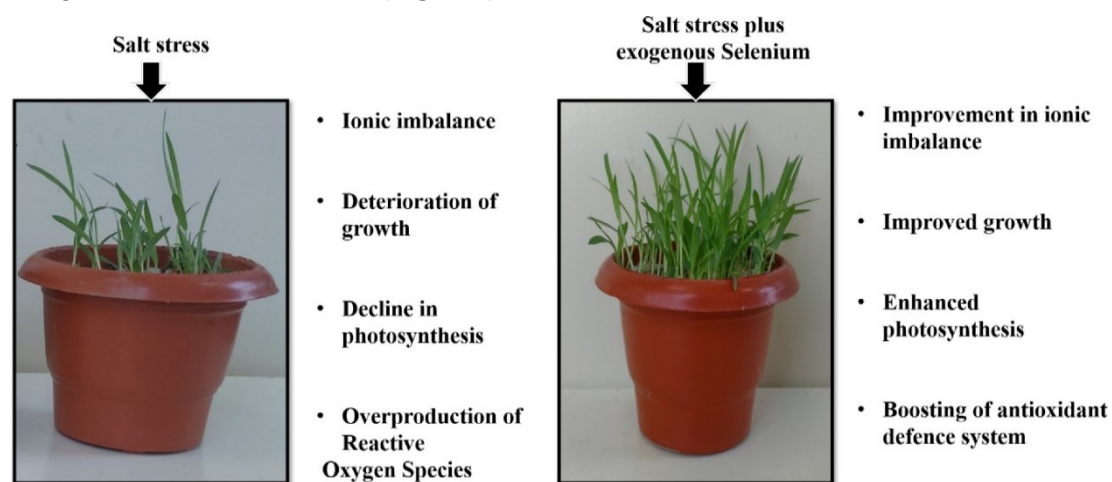
Se è essenziale per mammiferi, procarioti e alghe.

Se è necessario per il metabolismo primario, poiché Se è la parte centrale delle selenoproteine.

È essenziale per la tiroide, il sistema immunitario e la salute riproduttiva.

Nelle piante, sebbene Se non sia essenziale, Se ha vantaggi fisiologici; sovraregola il sistema antiossidante della pianta.

Migliora così la capacità della pianta di eliminare i ROS in eccesso, che aiuta le piante a mitigare le condizioni di stress (Fig. 3.2).



**Figura 3.2** Miglioramento della salute della pianta (proso miglio) grazie all'integrazione di Se.

Se a basse dosi si rivela un benefico mitigante contro lo stress da salinità potenziando il sistema di difesa antiossidante e migliorando la crescita, l'equilibrio ionico e la fotosintesi.

Tuttavia, ad alte concentrazioni, il selenio può diventare tossico per le cellule.

Se in alte concentrazioni può causare stress ossidativo e selenocomposti, come la selenocisteina e la selenometionina possono essere incorporati nelle proteine al posto dello zolfo, che possono causare disfunzioni proteiche.

C'è un divario minimo tra l'efficacia e l'inefficienza di Se nelle piante, a seconda della concentrazione di Se.

Una bassa concentrazione di Se ha effetti benefici sulla crescita e lo sviluppo delle piante in condizioni di stress biotico e abiotico, in particolare lo stress di salinità.

Numerose ricerche hanno rivelato l'impatto dell'utilizzo di Se per migliorare la resilienza contro lo stress salino, in base alla strategia di applicazione, alla concentrazione di Se, ai livelli di sale e alle specie vegetali.

Il selenio è benefico per le piante se applicato a basse dosi.



I meccanismi molecolari di come funziona Se devono ancora essere esplorati.

Tuttavia, Se è noto per mitigare lo stress salino in quanto è una parte essenziale dell'enzima Glutazione perossidasi (GPx).

Se è noto per avere proprietà antiossidanti e antitumorali ed è noto per promuovere la crescita e la fotosintesi sotto stress salino migliorando il sistema di difesa antiossidante dei cloroplasti.

Inoltre, Se funge da centro catalitico di diverse selenoproteine, come la glutazione perossidasi (GSHPx), la tioredossina reduttasi (TrxRs) e la iodotironina-deiodinasi, quindi è importante nello scavenging dei radicali liberi, nella protezione dallo stress ossidativo in particolare durante lo stress salino.

Inoltre, Se è noto per alleviare il danno all'ultrastruttura del cloroplasto, sovraregolare ZmNHX1 e OsNHX1, migliorare l'attività degli enzimi antiossidanti, aumentare il contenuto di prolina e ridurre  $H_2O_2$  e concentrazioni di MDA.

Ha anche migliorato l'accumulo di biomassa e il relativo contenuto d'acqua, l'indice di stabilità della membrana, la conduttanza stomatica, l'efficienza fotochimica (**Tabella 3.1**).

## Risultati

Pianta	Forma di Selenio	Concentrazione di Se	Modo di agire
Zea mays L.	Selenite (Na <sub>2</sub> Se O <sub>3</sub> )	1, 5 o 25µM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ha aumentato il tasso fotosintetico netto.</li> <li>• Se ha alleviato i danni all'ultrastruttura dei cloroplasti.</li> <li>• Se up-regolato ZmNHX1 nelle radici.</li> </ul>
Oryza sativa L.	Selenato di sodio (Na <sub>2</sub> Se O <sub>4</sub> )	6 mg l <sup>-1</sup> in 50 e 100 ml	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se potenziata l'attività degli enzimi antiossidanti.</li> <li>• Se ha aumentato il contenuto di prolina e ridotto le concentrazioni di H<sub>2</sub> O<sub>2</sub> e MDA.</li> <li>• Se ha aumentato i livelli di trascrizione per OsNHX.</li> </ul>
Panico miliaceum L.	Selenite (Na <sub>2</sub> Se O <sub>3</sub> )	1µM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ha potenziato accumulo di biomassa (BA) e relativo contenuto d'acqua.</li> <li>• Se ha migliorato l'indice di stabilità della membrana.</li> <li>• Se una maggiore concentrazione di pigmento.</li> </ul>
Setaria italica (L.) P. Beauv.)	Selenite (Na <sub>2</sub> Se O <sub>3</sub> )	1µM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ha ridotto H<sub>2</sub> O<sub>2</sub>.</li> <li>• Se ha aumentato il contenuto di produzione di osmoliti.</li> <li>• Se ha potenziato il contenuto proteico totale solubile ed enzimi antiossidanti</li> </ul>
Vigna Mungo L.	Selenato di sodio (Na <sub>2</sub> Se O <sub>4</sub> )	1,5, 3 e 4,5 ppm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se contenuto nel perossido di idrogeno ridotto, comporta la formazione di malondialdeide, che provoca danni alla membrana cellulare, ma una migliore attività degli enzimi antiossidanti.</li> <li>• Le piante Se-trattate hanno mostrato un contenuto di clorofilla, conduttanza stomatica, efficienza fotochimica saccarosio e zuccheri riduttori più elevati.</li> <li>• L'Applicazione di Se ha migliorato l'assorbimento di Se e ridotto l'assorbimento di Na<sup>+</sup>.</li> </ul>

**Tabella 3.1.** Risultati di diversi studi su Se: evidenziano dose, modalità d'azione e tipo di selenio.

Oltre al suo ruolo protettivo contro lo stress abiotico come la salinità, Se protegge anche le piante dallo stress biotico.

Se può potenziare il meccanismo di difesa della pianta contro i parassiti.

Gli erbivori, che possono essere alimentatori del floema, distruttori cellulari, disturbano il normale funzionamento delle piante e quindi ne limitano la produttività.

Tuttavia, Se presente nei tessuti della pianta e la forma volatile limitano questi parassiti.

Queste tattiche difensive sono presenti sia negli iperaccumulatori che in quelli non iperaccumulatori.

La protezione di Se dagli erbivori è più evidente in quanto gli alimenti forniti con la stessa quantità di Se presente in alcune parti della pianta si sono rivelati velenosi per gli insetti.

I parassiti sembrano essere sensibili ai livelli di Se.

Alcuni erbivori possono tollerare concentrazioni di Se inferiori come gli afidi, mentre altri possono tollerare concentrazioni di Se più elevate come gli acari.

Il ruolo protettivo delle piante di accumulo di Se dipende da diversi fattori come il mantenimento di elevate quantità di Se nei tessuti, la produzione di forme gassose di Se e la formazione di alcuni composti difensivi (glucosinolati) aiutati da Se, che limitano la popolazione di insetti.

La popolazione di insetti è influenzata dalla concentrazione e dalla forma elementare di Se presente nella pianta.

La forma elementare ha un impatto significativo sugli erbivori, poiché alcune forme come il selenato sono più dannose della selenite.

Allo stesso modo, le forme volatili di Se come il dimetil seleniuro e il dimetil diseleniuro sono più efficaci contro gli erbivori.

Inoltre, Se sovraregola la produzione di altri composti di difesa.

Tuttavia, lo studio relativo alla connessione tra Se e altri composti di difesa è ancora agli inizi.

#### Il destino di Se nelle piante

A seconda dell'accumulo di Se all'interno delle cellule vegetali, sono stati classificati in iperaccumulatori, comprese piante come *Neptunia*, che accumulano quantità maggiori di Se nelle loro cellule (> 1000 mg Se/Kg DW) e prosperano bene nei suoli ricchi di Se.

Accumulatori secondari, comprese piante come la senape, che accumulano Se e non mostrano segni di tossicità fino a 100–1000 mg Se/KgDW.

I non accumulatori, comprese le piante come le piante di riso, sono quelle piante che accumulano meno di 100 mg Se/Kg del loro DW; non possono sopportare un'elevata concentrazione di Se e mostrano uno sviluppo ostacolato. **(Tabella 3.2)**

<b>Tipo di pianta</b>	<b>Accumulo di selenio</b>	<b>Esempi</b>
Iperaccumulatori	>1000 mg Se/kg DW	<i>Astragalus propinquus</i> , <i>Neptunia oleracea</i> , <i>Astragalus propinquus</i>
Accumulatori secondari	100–1000 mg Se/kg DW	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i> , <i>Helianthus annuus</i>
Non accumulatori	<100 mg Se/kg DW	<i>Oryza sativa</i> , <i>Zea mays</i>

**Tabella 3.2.** Categorizzazione degli impianti in iperaccumulatori, accumulatori secondari e non accumulatori in funzione della concentrazione di Se.

Come lo zolfo, le piante assorbono e accumulano prontamente Se nei loro tessuti.

Durante lo sviluppo della piantina, la concentrazione di Se è maggiore nelle foglie giovani rispetto a quelle più vecchie.

Quando è presente all'interno delle cellule vegetali, Se si accumula nei loro vacuoli e viene espulso attraverso i portatori di solfato presenti nel tonoplasto.

Selenite e seleniuro sono formati dall'assimilazione di Se nei cloroplasti fogliari.

Nel percorso di assimilazione, Se, può essere trasformato in forme organiche, non tossiche e volatili di Se.

Il selenato viene fatto avanzare ai germogli dove viene acclimatato nei cloroplasti fogliari, mentre la selenite viene rapidamente assorbita nelle radici.

La selenite viene quindi trasformata in selenocisteina (SeCys). SeCys può essere ulteriormente trasformato in alcuni diversi selenocomposti come il selenio elementare e l'alanina dall'attività di SeCyslyase.

Un altro destino di SeCys è la sua metilazione da parte della metiltransferasi SeCys per creare MeSeCys. Questo MeSeCys può essere trasformato in S-metilselenoglutatione e Gama-glutamilmetilselenocisteina.

Allo stesso modo, la metilselenocisteina può trasformarsi in DMDS<sub>2</sub> volatile o in omocisteina.

#### Selenio e miglioramento dell'equilibrio ionico

Se è noto per migliorare Le piante in condizioni saline accumulano più ioni  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , il che interrompe l'equilibrio ionico.

La tolleranza delle piante in condizioni saline dipende dallo stato dello ione  $\text{K}^+$ .

Nelle piante stressate dal sale,  $\text{K}^+$  svolge diversi ruoli cellulari nelle piante.

Aiuta nell'assorbimento dell'acqua, nella traspirazione, nella fotosintesi, nella regolazione stomatica, nell'espansione cellulare e nell'osmoregolazione, ed è anche un osmotico energeticamente poco costoso rispetto ad altri metaboliti organici.

Il rapporto  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  è un utile indicatore della tolleranza alla salinità.

Lo stress di salinità riduce considerevolmente il rapporto  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  nelle foglie e nelle radici.

Se aiuta ad alleviare l'accumulo di  $\text{Na}^+$  e i suoi impatti tossici sulla crescita e lo sviluppo complessivi delle piante.

Se aiuta nel mantenimento del rapporto  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ .

È stato visto che Se ha ridotto l'accumulo di ioni  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  e quindi mantenendo il rapporto  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  nell'aglio e nel trapano.

NHX1 è un vacuolare cruciale  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporto.

Catalizza il sequestro di ioni  $\text{Na}^+$  nei vacuoli sia delle radici che dei germogli.

La sovraespressione di NHX1 è stata una chiave nella mitigazione dello stress salino in alcune piante come pomodoro, colza, mais e pioppo.

La segregazione di  $\text{Na}^+$ ioni diminuisce l'ostruzione nel movimento dell'acqua e l'equilibrio osmotico causato dall'elevata concentrazione di ioni NaCl nei vacuoli dal movimento antiportatore NHX1.

Se aiuta nella sovraregolazione di NHX.

Nel riso, i livelli di trascrizione di OsNHX1 erano considerevolmente più alti nelle piante trattate con Se sotto stress NaCl.

È stato osservato che OsNHX1 potrebbe aver contribuito al sequestro di elevate concentrazioni di ioni NaCl nei vacuoli radicali.

Ha ridotto il trasporto di ioni  $\text{Na}^+$  ai germogli.

In un'altra osservazione, i livelli di espressione di ZmMPK5, ZmMPK7, ZmCPK11 e ZmNHX1, che sono coinvolti nella difesa antiossidante e nell'omeostasi ionica nel mais, sono stati migliorati con l'applicazione di Se, impressionando maggiormente il coinvolgimento di Se in  $\text{Na}^+$  e l'omeostasi  $\text{K}^+$  sotto stress salino.

Allo stesso modo, nelle piante di aglio, Se ha ridotto significativamente la concentrazione di  $\text{Na}^+$  nelle radici e nelle foglie.

È stato osservato che la riduzione di  $\text{Na}^+$  potrebbe essere dovuta alla formazione di un complesso tra Se e  $\text{Na}^+$  a livello della radice, che alla fine ha portato ad ostruire il suo movimento verso l'alto e ad alleviare l'effetto dannoso di  $\text{Na}^+$  sull'assorbimento di  $\text{K}^+$ .

Inoltre, l'applicazione di Se alle piante di acetosella stressate dal sale ha incoraggiato l'accumulo di  $\text{K}^+$  nelle foglie e una diminuzione di  $\text{K}^+$  è stato osservato nelle radici.

Se è associato alla regolazione dell'equilibrio ionico nelle piante e colpisce vari geni legati alla difesa delle piante.

Altri oligoelementi come il silicio sono noti anche per migliorare la difesa delle piante contro lo stress.

Il silicio ha sovraregolato l'attività della H-ATPasi della membrana plasmatica, determinando un aumento dell'assorbimento di  $\text{K}^+$  e una diminuzione dell'assorbimento di  $\text{Na}^+$  sotto stress salino.

È necessario studiare ulteriormente il modo in cui questi geni sono aumentati e sottoregolati per incitare la rete di resistenza cellulare nello stress salino sulle piante sotto l'integrazione di Se.

## Selenio e miglioramento della crescita

Negli ultimi decenni, molti lavori di ricerca sono stati diretti a comprendere il ruolo di Se nelle piante.

Vari studi hanno rivelato che Se migliora la crescita delle piante, in particolare sotto stress di salinità.

Se migliora la crescita e lo sviluppo delle piante, come è stato dimostrato in vari studi su piante diverse come roano, cetriolo, colza, melone, colza, lattuga, pomodoro, mais, riso, melograno, miglio di proso e miglio di coda di volpe.

Il mantenimento della crescita e dello sviluppo delle piante è giustamente connesso con la resistenza delle piante in condizioni di stress salino:

il Selenio, quando applicato a basse concentrazioni sotto stress di salsedine, ha fondamentalmente migliorato la crescita delle piante e gli attributi di sviluppo.

Le piante di acetosa sotto stress di salinità, se applicate con basse concentrazioni di Se (1–5  $\mu\text{M}$ ), hanno stimolato la crescita delle piante esposte a NaCl rispetto alle piante solo salate.

Inoltre, Se ha avuto un effetto di promozione della crescita sull'apparato radicale del cetriolo, e si è visto che la biomassa era quasi il doppio di quella delle piante esposte a stress salino.

Risultati simili sono stati ottenuti in limone, fagiolo dall'occhio, frumento, mais e riso, dove la lunghezza dei germogli e delle radici, il peso fresco e l'accumulo di biomassa sono migliorati rispetto alle sole piante trattate con sale dopo l'applicazione di Se.

Allo stesso modo, Se ha dimostrato uno straordinario potenziale per migliorare lo sviluppo del fusto nelle piante di melone e pomodoro sotto stress di salinità.

Nell'aglio, la statura del bulbo, la biomassa dei bulbi, la distanza del bulbo e il numero di chiodi di garofano in un singolo bulbo sono stati complessivamente migliorati con il Se è stato impiegato sotto stress di salinità.

Se ha migliorato i parametri di sviluppo di loietto e spinaci migliorando le qualità nutritive.

Se ha impatti diversi sull'apparato radicale nelle piante di lattuga.

Le radici basali e laterali hanno mostrato una lunghezza e una regione superficiale ridotte sull'applicazione di Se a basse concentrazioni.

Tuttavia, enormi aumenti di Se al suolo hanno fatto avanzare un particolare volume delle radici.

Se ha ampliato l'allocazione fotoassimilata per lo sviluppo dei tuberi di patata e ha realizzato un pozzo di cemento per gli amidi nelle giovani foglie superiori, stoloni, radici e tuberi.

Nel complesso, le piante sotto stress di salinità hanno diminuito la crescita e lo sviluppo; tuttavia, l'applicazione di basse concentrazioni di Se ha un enorme effetto sulla crescita e lo sviluppo.

#### Selenio e miglioramento dei pigmenti fotosintetici

Il calo della crescita delle piante dovuto allo stress della salinità può essere attribuito ai cambiamenti in varie proprietà fisiologiche e biochimiche comprendenti la diminuzione del contenuto di clorofilla fogliare (Chl a, b, carotenoidi) e la capacità di fotosintesi.

L'ambiente salino cambia la disposizione della clorofilla e innesca diversi cambiamenti nelle capacità e nella struttura del complesso pigmento-proteina.

La limitazione della sintesi della clorofilla sotto stress di salinità può essere attribuita al movimento diminuito di diversi enzimi come:

porfirinogeno IX ossidasi, porfobilinogeno deaminasi, coproporfirinogeno III ossidasi, acido 5-aminolevulinico disidratasi, protoclorofillide ossidoreduttasi e Mg-chelatasi.

L'inibizione dell'attività della clorofilla potrebbe anche essere dovuta ai radicali superossido e all' $H_2O_2$  generati durante lo stress salino, che interrompe le membrane tilacoidi e il cloroplasto. Nelle piante di fragole, si è verificata una riduzione dell'attività fotosintetica a causa di una diminuzione di Chl a e Chl b sotto vari livelli di salinità, che a sua volta potrebbe aver ridotto la crescita delle piante.

L'applicazione di Se può ridurre questi effetti negativi.

Nel mais, Se (1  $\mu$ M) ha aumentato il tasso fotosintetico netto e ha preservato l'ultrastruttura del cloroplasto.

Se ha prodotto una lamella interna più coesa, lamelle di grana più spesse e una forma più coerente dei tilacoidi nelle cellule fogliari rispetto alle piante trattate con NaCl da solo durante lo stress salino.

Si vide che la dilatazione del grana era ridotta; i tilacoidi erano disposti più regolarmente.

Se mitiga lo stress ossidativo migliorando il sistema di difesa antiossidante cellulare nei cloroplasti.

Nel pomodoro e nel mais, lo scavenging dei ROS nei cloroplasti potrebbe essere potenziato fondamentalmente attraverso la regolazione del ciclo ascorbato-glutatione, i meccanismi della tioredossina (Trx) e della glutaredossina (Grx).

Questa disintossicazione da ROS da parte di Se può aiutare le piante a tollerare condizioni di stress.

Il Se si è dimostrato utile in altre condizioni di stress, anche le piante di trifoglio bianco trattate con Se esposte a condizioni di siccità inflitte dal polietilenglicole (PEG) avevano una concentrazione di biomassa e clorofilla più elevata rispetto alle piante stressate dalla siccità. Allo stesso modo, Se ha migliorato l'attività fotosintetica compromessa dallo stress e il contenuto totale di clorofilla nelle piante di cetriolo esposte a temperature elevate. Inoltre, gli effetti dannosi del Cd sono stati compensati dall'applicazione. Se, che ha comportato un aumento delle dimensioni del cloroplasto e la ricostruzione dell'ultrastruttura del cloroplasto nell'impianto di colza. Lo studio relativo al miglioramento della capacità fotosintetica da parte di Se è ancora agli inizi e deve essere esplorato.

#### Selenio e miglioramento degli antiossidanti

Se fa parte dell'enzima antiossidante cruciale GPX, quindi il suo ruolo nella difesa antiossidante è distinto.

Un aumento di ROS accompagna lo stress di salinità.

I ROS provocano cambiamenti nelle strutture dei lipidi, delle proteine e degli acidi nucleici e, in questo modo, interferiscono con la crescita e lo sviluppo delle piante sane.

Livelli aumentati di ROS come  $H_2O_2$  possono innescare apoptosi, restringimento cellulare, condensazione della cromatina e frammentazione del DNA.

Le piante hanno sviluppato un meccanismo efficiente per eliminare i ROS.

Se l'applicazione aumenta il meccanismo antiossidante delle piante per adattarsi alle condizioni di stress.

Gli studi hanno dimostrato che Se svolge un ruolo vitale nella sovraregolazione di vari enzimi antiossidanti:

catalasi (CAT), perossidasi (POX), superossido dismutasi (SOD), ascorbato perossidasi (APX) e glutatione perossidasi (GPX), che aiutano a combattere la sovrapproduzione di ROS avviata dal sale.

Il trattamento di Se a basse concentrazioni ha stimolato le attività di APX e GPX e ha ridotto i livelli di  $H_2O_2$  nelle piante di lattuga.

Inoltre, le piante di grano hanno dimostrato attività migliorate di CAT e POX quando trattate con Se.

Nelle piante di acetosella stressate dal sale, è stato osservato che il Se esogeno ha causato un aumento delle attività di SOD e POX.



Allo stesso modo, l'applicazione di Se nel pomodoro ha sovraregolato l'attività CAT nelle piante trattate con sale.

Se ostacola il senescing alleviando l' $\alpha$ -tocoferolo e aumentando l'attività di SOD nelle piante di lattuga.

È stato riportato che le piante coltivate in suoli seleniferi avevano potenziato l'attività GPX. Se ha anche indotto le attività di CAT e glutatione-*S*-transferasi in piante di acetosa esposte a stress salino.

Inoltre, le attività di SOD e POX nelle piante di melone sono aumentate nelle piante trattate con Se.

Se l'applicazione ha ridotto il contenuto di  $H_2O_2$  sotto stress di salinità.

È stato dimostrato che concentrazioni più basse di piante di Se proteggono dal danno ossidativo rinvigorito dai ROS.

Tuttavia, Se ad alte concentrazioni potrebbe essere dannoso.

Se è noto per aumentare la capacità antiossidante sotto stress da siccità; è stato osservato che l'attività di alcuni enzimi antiossidanti come APX, CAT e GPX è stata sovraregolata dall'applicazione Se.

Sotto stress da siccità, l'applicazione di Se ha potenziato l'attività dell'enzima antiossidante.

L'accumulo di  $H_2O_2$  è stato ridotto e le attività di CAT, SOD sono state potenziate nel grano trattato con Se esposto a stress da siccità.

Così Se migliora le capacità delle piante di mitigare lo stress salino potenziando il meccanismo di difesa antiossidante delle piante.

#### Selenio e miglioramento degli osmoliti

Gli osmoliti sono composti organici solubili a basso peso molecolare, che aiutano nella disintossicazione dei ROS e nella stabilizzazione di proteine e membrane.

La prolina è uno degli osmoliti essenziali che si accumula nelle piante durante diversi stress abiotici.

La prolina agisce come un accompagnatore molecolare essenziale per l'integrità delle proteine.

Se aumenta il contenuto di prolina sotto diversi stress abiotici.

Se si pensa che migliori l'attività della nitrato reduttasi e il contenuto di azoto, che sono essenziali per la formazione della prolina.

Lo stress di salinità provoca ostruzioni nel metabolismo dell'azoto e quindi interrompe la biosintesi della prolina.

Se potrebbe aumentare il contenuto di prolina aumentando il contenuto di azoto (N) e l'attività della nitrato reductasi.

Inoltre, Se ha migliorato l'accumulo di prolina potenziando l'attività dell'enzima glutamil chinasi e rallentando l'attività della prolina ossidasi, che ha ridotto la degradazione della prolina.

È stato stabilito che un maggiore accumulo di prolina porta ad un aumento dell'efficacia fotosintetica e della produzione di ATP nelle erbe alofite.

Simile in glicofiti come piante di canola, piantine di cetriolo e riso, dove l'applicazione di Se ha mostrato un contenuto di prolina più elevato sotto salinità indotta da NaCl fatica.

È stato osservato che l'irrorazione fogliare di piante di colza sottoposte a stress salino con Se di concentrazioni variabili ha innescato un aumento sostanziale del contenuto di prolina rispetto al controllo Se-non trattato.

Inoltre, è stato rilevato un livello di prolina migliorato nelle piantine di soia trattate con Se.

L'applicazione di Se ha anche migliorato l'accumulo di zuccheri idrosolubili nell'acetosa.

Se il contenuto di prolina è aumentato nelle piante di frumento e frumento primaverile sotto stress da siccità.

Inoltre, l'applicazione di Se nelle piante di cetriolo ha aumentato le piantine di contenuto di prolina nelle foglie esposte a stress da raffreddamento a breve termine.

Sotto stress da caldo, si è osservato un miglioramento del contenuto di prolina libera dopo l'applicazione di Se.

Queste osservazioni mostrano che l'uso efficiente di Se potrebbe essere utile nel migliorare la difesa delle piante contro lo stress da salinità del suolo.

### *Conclusioni*

In questa recensione, abbiamo cercato di dimostrare come Se può mitigare con successo gli effetti negativi dello stress salino sulla crescita e lo sviluppo delle piante.

Lo stress salino può causare squilibrio ionico, sovrapproduzione di ROS e danno ossidativo.

Lo stress salino influenza enormemente la capacità di sviluppo delle piante, l'abilità fotosintetica e provoca danni alla membrana.

Se è utile per rimediare a diversi stress biotici e abiotici, inclusa la salinità del suolo.

Gli impatti diretti di Se sono legati alla sua capacità di regolare i meccanismi di difesa antiossidante e quindi migliorare la resilienza delle piante allo stress ossidativo.

Se ha anche ridotto l'accumulo di ioni  $\text{Na}^+$  nelle parti della pianta attraverso la sovraespressione di  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporter e potenziamento del quadro di protezione antiossidante e potenziamento di altri meccanismi biochimici.

Gli effetti benefici di Se dipendono da vari fattori come la durata dello stress, i genotipi vegetali, i tipi di specie vegetali, i dosaggi di Se, la speciazione e molti altri.

Questo articolo di revisione ha impressionato sui miglioramenti nella crescita e nella produttività di varie piante coltivate mediante l'applicazione esogena del selenio.

## 3.2 Articolo II

*Titolo:* Towards sustainable saline agriculture: interfacial solar evaporation for simultaneous seawater desalination and saline soil remediation

*Autori:* Pan Wu, Xuan Wu, Yida Wang, Haolan Xu, Gary Owens

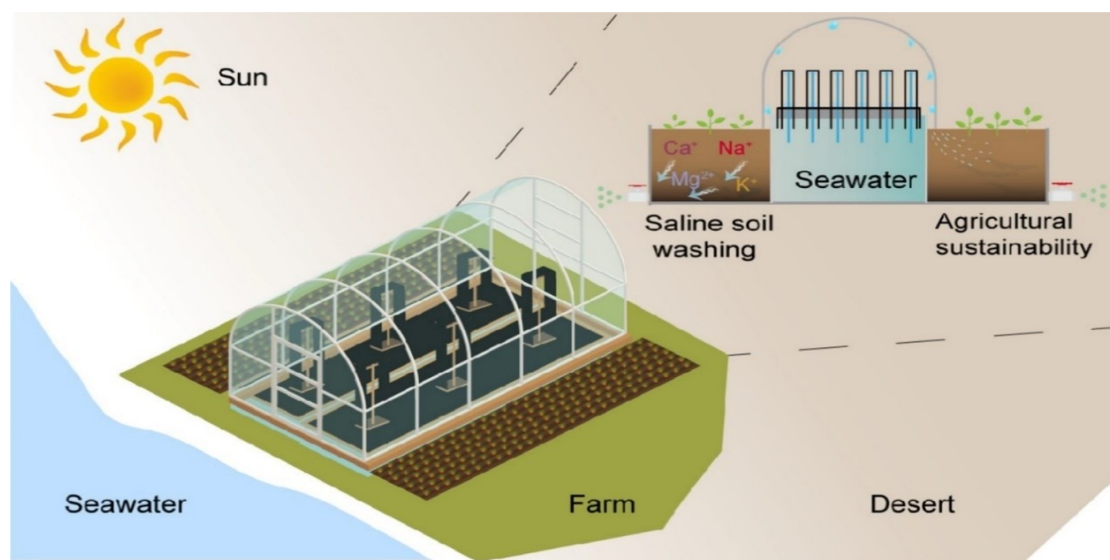
*Obbiettivi*

Attraverso questo metodo si vuole dimostrare che la generazione di vapore solare interfacciale è un modo efficiente per produrre acqua dolce da acqua salata.

Questa tecnologia è stata ulteriormente sfruttata qui per la simultanea bonifica salina del suolo e una maggiore sostenibilità agricola.

È stato progettato un sistema interfacciale di evaporazione solare e piantagione che utilizza l'acqua di mare trattata per il lavaggio del suolo salino e l'irrigazione agricola (**Fig 3.3**).

In esperimenti all'aperto l'evaporatore ha realizzato un'elevata produzione di acqua dolce ( $10,95 \text{ kg m}^{-2}\text{giorno}^{-1}$ ) con un'efficienza di lavaggio del suolo 3 volte superiore alla distillazione tradizionale.



**Figura 3.3** sistema interfacciale di evaporazione solare e piantagione che utilizza l'acqua di mare trattata per il lavaggio del suolo salino e l'irrigazione agricola

Mentre l'acqua è una risorsa essenziale per tutta la vita sulla terra, avendo un ruolo insostituibile nel sostenere l'ambiente e la funzione della società, è anche una risorsa in diminuzione limitata.

La mancanza di risorse di acqua dolce porta a molti problemi ambientali, come la ridotta attività vegetale e animale, la salinizzazione del suolo e la riduzione dei raccolti.

La conversione dell'acqua di mare in acqua dolce è un modo possibile per risolvere la crisi idrica emergente.

Le attuali tecnologie commerciali di desalinizzazione, come l'osmosi inversa e la distillazione sottovuoto, soffrono di elevati consumi energetici e costi di manutenzione, che fino ad oggi ne hanno limitato l'applicazione diffusa per la produzione quotidiana di acqua pulita nelle aree remote e rurali.

Essendo una delle risorse energetiche gratuite più abbondanti della terra, l'ampia disponibilità di energia solare nelle regioni soleggiate rende fattibili investimenti in impianti di desalinizzazione a base solare su larga scala.

In effetti, l'evaporazione solare è spesso considerata uno degli approcci più affidabili per la produzione di acqua potabile.

Sebbene sia stato avviato molto lavoro in quest'area, la tradizionale distillazione dell'energia solare è ancora di bassa efficienza e spesso richiede sistemi di raccolta del calore estremamente complessi, dove l'elevato costo economico associato ha limitato un'applicazione più ampia.

Rispetto alla tradizionale evaporazione solare diretta dell'acqua, l'evaporazione solare interfacciale è stata quindi proposta come un'alternativa affidabile all'evaporazione per riscaldamento di massa convenzionale e offre un nuovo approccio per ottimizzare dinamicamente le prestazioni di evaporazione.

Questa tecnologia emergente non solo affronta il problema della bassa produttività dell'acqua dolce da parte dei tradizionali alambicchi a disco, ma non richiede attrezzature costose.

Anche la desalinizzazione dell'acqua di mare guidata dall'evaporazione solare interfacciale è particolarmente interessante a causa dell'abbondanza di energia solare e dei suoi impatti ambientali trascurabili.

Il recente rapido sviluppo di questa tecnologia è stato osservato in molte aree diverse, tra cui il trattamento delle acque reflue, la desalinizzazione dell'acqua di mare, la sterilizzazione, la raccolta dell'umidità, il raffreddamento dei pannelli solari e la bonifica del suolo.

In quanto tecnologia potenzialmente affidabile e robusta per la produzione di acqua pulita, sono quindi giustificate indagini su applicazioni più ampie.

Il suolo salino è un serio vincolo per la produzione agricola, dove l'eccessivo accumulo di sali solubili nella zona delle radici ha un impatto negativo sulla vegetazione autoctona, sulle colture agricole e sui mezzi di sussistenza umana.

Sebbene il lavaggio del suolo sia ampiamente proposto e utilizzato per la bonifica salina del suolo, questa tecnica richiede una grande quantità di acqua dolce, che è spesso estremamente scarsa nelle aree di suolo salino, dove le risorse idriche più comunemente presenti tendono ad essere laghi salati o sorgenti marine.

Tuttavia, con un trattamento adeguato, queste risorse idriche saline possono essere utilizzate per il lavaggio del suolo salino e l'irrigazione agricola.

Ciò ha un duplice vantaggio nel fornire contemporaneamente una quantità d'acqua adatta per l'irrigazione e alleviare il dannoso impatto ambientale dell'eccessiva esposizione alle acque saline.

Pertanto, il concetto di agricoltura dell'acqua di mare, che include la desalinizzazione dell'acqua di mare per produrre acqua pulita per l'irrigazione, è stato recentemente sviluppato e ha ottenuto una crescente attenzione come approccio affidabile per l'approvvigionamento idrico agricolo nelle zone a scarse risorse idriche.

Gli approcci tradizionali fino ad oggi si sono concentrati principalmente sulla desalinizzazione dell'acqua, che spesso è solo un sintomo di un ambiente salino del suolo, piuttosto che affrontare direttamente la salinizzazione del suolo.

Un approccio più efficiente, in grado di realizzare la sostenibilità dell'agricoltura a lungo termine, sarebbe quello di desalinizzare l'acqua di mare e contemporaneamente bonificare il suolo salino.

Tuttavia, uno svantaggio degli approcci tradizionali di desalinizzazione dell'acqua di mare basati sulla distillazione solare è che la produzione di acqua è relativamente bassa.

In questo lavoro è stata applicata per la prima volta una tecnologia di generazione di vapore solare interfacciale per consentire l'utilizzo dell'acqua di mare per la bonifica salina del suolo e per migliorare la sostenibilità agricola.

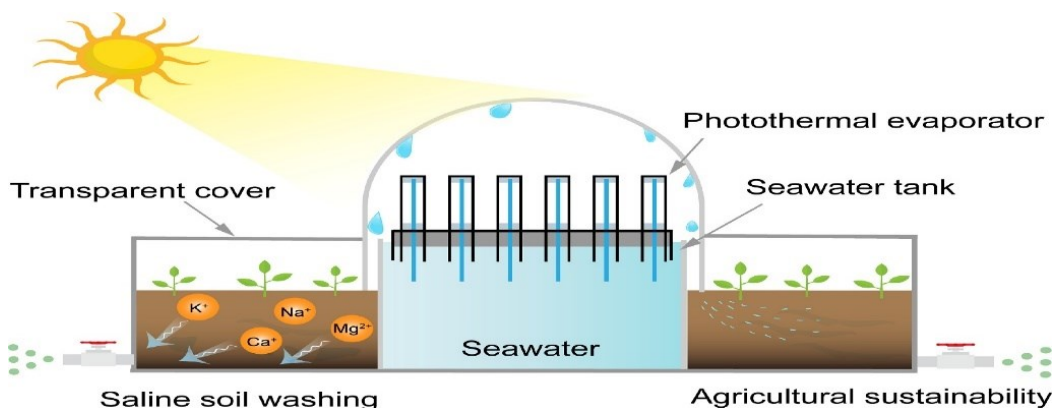


Figura 3.4. Illustrazione schematica del sistema di bonifica a energia solare

Il progetto del sistema, (**Fig3.4**) è costituito da un serbatoio per l'acqua di mare, un evaporatore fototermico e terreno salino sotto una copertura trasparente.

Una volta trasmessa la luce solare attraverso il coperchio trasparente, viene assorbita e convertita in calore dall'evaporatore fototermico.

Il calore generato guida l'evaporazione dell'acqua di mare e il vapore che si condensa sulle superfici di copertura e gocciola nel terreno.

Il vantaggio principale di questo design è che non è richiesta alcuna alimentazione aggiuntiva oltre alla luce solare gratuita.

L'acqua dolce prodotta viene trasferita direttamente nel terreno dove può essere utilizzata per il lavaggio del suolo e/o per l'irrigazione agricola.

Questo approccio richiede un'area di terreno minima ed evita complessi problemi di manutenzione poiché il sistema è semplice con poche parti mobili.

Negli esperimenti all'aperto, il progetto dell'evaporatore ha realizzato un'elevata produzione di acqua dolce di  $10,95 \text{ kg m}^{-2} \text{ giorno}^{-1}$ , con un'efficienza di lavaggio del suolo 3 volte maggiore rispetto alla distillazione tradizionale.

Questo processo è molto più rapido e molto più efficiente rispetto alla lisciviazione tradizionale del terreno poiché genera la soluzione di lavaggio in situ da una fonte di acqua salina.

Ciò consente di sfruttare e riciclare risorse idriche di qualità inferiore per migliorare il lavaggio del suolo, laddove in situ tecnica comporta anche un disturbo minimo del suolo e non introduce potenziali inquinanti secondari che potrebbero degradare la qualità del suolo.

La tecnica è anche economica e sostenibile poiché l'evaporatore funziona sotto l'illuminazione naturale della luce solare, senza bisogno di altre fonti di energia.

La principale novità di questo nuovo progetto è che dimostra con successo per la prima volta l'autosostenibilità di un sistema combinato di dissalazione-irrigazione e fornisce un cambio di paradigma nella bonifica salina del suolo verso la sostenibilità agricola. Il manoscritto è suddiviso in quattro sezioni principali.

### *Materiali e metodi*

Una carta di cellulosa commerciale (CP) è stata acquistata da un mercato locale.

L'ossido di grafene ridotto (rGO) è stato ottenuto da Huasheng Graphite Co., Ltd., Cina.

L'alginato di sodio (SA) e il cloruro di calcio sono stati acquistati da Sigma-Aldrich.

L'acqua Milli-Q è stata utilizzata per preparare tutte le soluzioni.

I semi di broccoli (Broccoli Green Sprouting) sono stati ottenuti da un mercato locale.

È stato preparato un terreno salino artificiale aggiungendo un terreno incontaminato utilizzando acqua di mare reale seguito da incubazione per 1 settimana a 37 ° C.

#### Fabbricazione di materiali

Il composito rGO@SA CP è stato fabbricato utilizzando rGO, SA e CP forniti.

Inizialmente, una sospensione da 1 mg ml<sup>-1</sup> rGO (100 ml) è stata preparata disperdendo rGO (0,50 g) in acqua deionizzata (0,5 L) con sonicazione (QSONIC Sonicator) per 5 ore.

Successivamente, la polvere di SA (0,5 g) è stata miscelata con la sospensione di rGO, con agitazione continua a 600 rpm per 12 ore per formare una soluzione omogenea.

Per caricare rGO sul CP, la sospensione uniforme è stata quindi lasciata cadere uniformemente sulla superficie del CP tagliato (25 cm di larghezza x 30 cm di lunghezza).

Successivamente, il campione è stato congelato a -60 ° C per 48 ore prima di essere immerso in CaCl<sub>2</sub> al 5% (100 mL) per altre 6 ore per promuovere la reticolazione.

Il composito finale (rGO @ SA CP) è stato ottenuto dopo il lavaggio con acqua deionizzata e liofilizzazione a -60 ° C per altre 48 ore.

#### Caratterizzazione dei materiali

Per misurare l'idrofilia CP è stato utilizzato un sistema di angoli di contatto (Data physics OCA 20).

Le morfologie interne sono state riprese utilizzando la microscopia elettronica a scansione (SEM) su un microscopio elettronico a scansione Zeiss Merlin.

Il contenuto di ioni alcalini è stato misurato mediante spettrometria di emissione ottica al plasma accoppiata induttivamente (ICP-OES, Agilent 7500).

I contenuti di anioni (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sono stati quantificati mediante cromatografia ionica (sistema di cromatografia ionica Dionne ICS-2000).

#### Evaporazione solare

Le prestazioni di evaporazione di diversi materiali ed evaporatori, CP iniziale e rGO@SA CP, sono state valutate individualmente.

Fatta eccezione per gli esperimenti a lungo termine, tutti i test di evaporazione dell'acqua sono stati valutati in condizioni di laboratorio controllate di 25 ° C e 34% di umidità relativa utilizzando rispettivamente un condizionatore d'aria e un deumidificatore.

La scelta della temperatura e dell'umidità si è basata su condizioni di laboratorio facilmente riproducibili, comparabili anche con le condizioni meteorologiche locali quotidiane.



Durante i test di evaporazione dell'acqua interna, gli evaporatori sono stati posti sotto un'illuminazione solare 1.0 fornita da un simulatore solare Newport Oriel Solar Simulator (classe ABA, 450 W, 69920).

L'intensità della luce solare simulata è stata misurata e calibrata da un misuratore di potenza ottica THORLABS PM400.

Una bilancia elettronica è stata utilizzata per registrare la perdita di acqua per evaporazione durante l'esperimento.

Le fotografie a infrarossi delle superfici dell'evaporatore sono state acquisite utilizzando una telecamera IR (FLIRE64501).

### Bonifica a lungo termine

La bonifica salina del suolo basata sull'evaporazione solare a lungo termine è stata applicata in un sistema chiuso.

In primo luogo, un becher (9 cm di raggio × 13 cm di altezza), è stato riempito con acqua di mare e posizionato al centro del dispositivo e l'evaporatore fototermico è stato posizionato sulla superficie dell'acqua di mare.

Come blank è stato utilizzato un dispositivo senza evaporatore fototermico.

Quindi, il terreno di prova (1 kg) è stato distribuito uniformemente in tutto il contenitore del terreno (23 cm di lunghezza × 15 cm di larghezza × 6,5 cm di altezza).

Piccoli fori (di 1 mm di raggio) sono stati praticati sui due lati del fondo del contenitore e chiusi con un panno filtrante per garantire che mentre l'acqua potesse passare attraverso questo insieme durante il processo di inzuppamento, il terreno non potesse essere trattenuto.

Quindi un coperchio di vetro trasparente (13 cm di raggio × 25 cm di altezza) è stato posizionato capovolto sull'evaporatore, con il fondo della copertura a contatto con il terreno in modo che l'acqua di condensa possa entrare direttamente nel terreno.

Per evitare un'eccessiva perdita d'acqua durante l'evaporazione dell'acqua del suolo, la parte superiore della scatola del contenitore è stata sigillata con il suo coperchio di plastica originale.

Durante l'evaporazione a lungo termine, il becher è stato rifornito di acqua ogni tre giorni per garantire un approvvigionamento idrico sufficiente e per mantenere la concentrazione di sale dell'acqua di mare a un livello di stabilità relativa.

Ogni giorno sono stati prelevati campioni di terreno dalla superficie del suolo.

Durante il periodo di lavaggio del terreno, l'acqua di percolato è stata raccolta ad entrambe le estremità del contenitore.

Coltivazione in vaso

I broccoli sono stati utilizzati per valutare la fitotossicità relativa del suolo prima e dopo la bonifica salina del suolo mediante evaporazione solare.

I broccoli (80 semi) sono stati coltivati in vasi contenenti terreno secco non trattato o bonificato (800 g) per 25 giorni.

Durante la coltivazione in vaso, poiché le condizioni ambientali, come l'umidità, la temperatura e la pressione dell'aria locale possono influenzare l'evaporazione dell'acqua del suolo qualsiasi potenziale accelerazione dell'evaporazione dell'acqua del suolo è stata mitigata coprendo il contenitore con una sottile pellicola di plastica "glad wrap".

Durante la crescita dei broccoli non sono stati aggiunti ulteriori nutrienti o altri ammendanti al suolo.

I germogli di broccoli sono stati raccolti dopo la semina e lavati con acqua deionizzata.

Successivamente, è stato registrato il tasso di germinazione e la lunghezza dei germogli.

### *Risultati*

Evaporazione dell'acqua azionata dal sole.

La realizzazione di una superficie con un'elevata capacità di assorbimento della luce è un'importante considerazione iniziale per facilitare un'elevata efficienza di evaporazione solare.

Qui, è stato fabbricato un CP rivestito con SA e rGO (denominato rGO @ SA CP) e utilizzato sia come assorbitore di luce che come superficie di evaporazione.

Il rivestimento rGO sulla superficie del CP ha aumentato significativamente la capacità di assorbimento della luce a > 96% (**Fig 3.5.a**).

Le immagini SEM del CP non trattato e rGO @ SA CP hanno mostrato che mentre il CP inizialmente aveva una struttura porosa relativamente uniforme (**Fig.3.5.b**), dopo il rivestimento, i pori si riempivano di SA e rGO (**Fig.3.5c,d**), dove l'aspetto di una struttura rugosa sulla superficie indicava che rGO era saldamente aderito a CP (**Fig3.5D**).

Il rGO@SA CP ottenuto era anche altamente idrofilo a causa dell'innata idrofilia di SA e CP, dove una singola goccia d'acqua poteva essere assorbita quasi immediatamente nella superficie di rGO@SA CP.

Inoltre, il rivestimento rGO era stabile sulla superficie del CP con cui è stato mantenuto un contatto intimo in modo che anche dopo 10 minuti di trattamento ad ultrasuoni continuo non sia stata osservata alcuna evidenza di sfaldamento superficiale o altro deterioramento.

Anche il processo di assemblaggio dell'evaporatore fototermico è stato semplice.

In primo luogo, il fototermico rGO@SA CP ottenuto è stato tagliato in forme diverse.

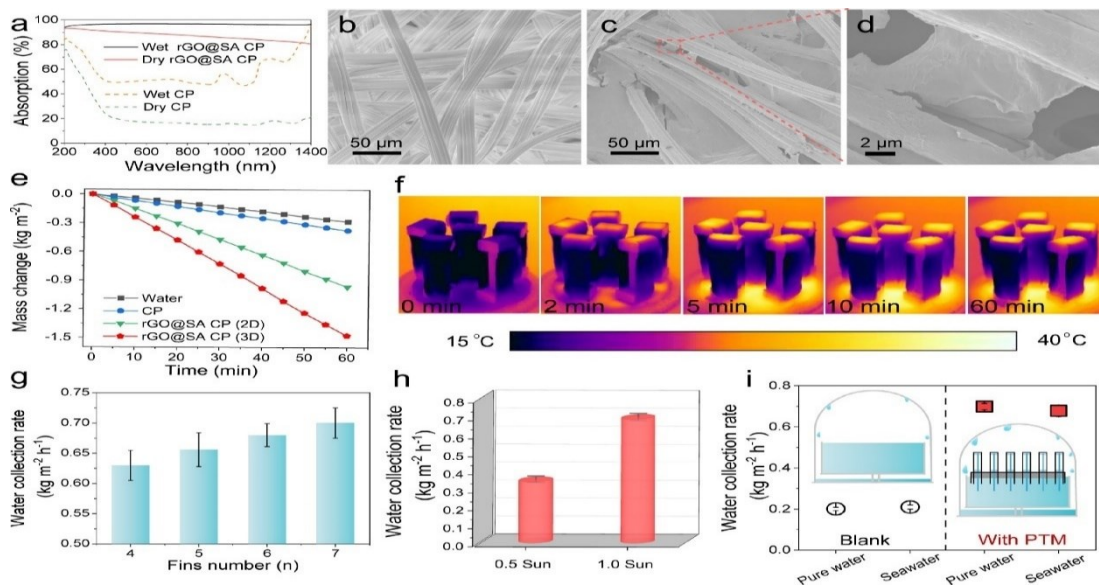
Le superfici di evaporazione superiori e le alette sono state assemblate utilizzando cannucce di plastica e schiuma come scheletro di supporto.

Come strato isolante galleggiante è stato utilizzato un pezzo di polistirene espanso (PS) (spessore 1,5 cm, diametro 8,5 cm).

La superficie in schiuma PS è stata anche ricoperta con rGO@SA CP.

Per migliorare l'area di assorbimento della luce, sono state aggiunte strutture verticali simili a pinne (la dimensione della superficie superiore è di 1,5 cm di larghezza  $\times$  2,0 cm di lunghezza) alla superficie 2D di rGO@SA CP.

L'estremità inferiore dell'evaporatore è passata attraverso un foro nella schiuma PS per garantire un approvvigionamento idrico sufficiente.



**Figura 3.5.** Caratterizzazione dei materiali e test di evaporazione. (a) Assorbimento della luce per CP e rGO@SA CP. (b) Immagine SEM del CP iniziale. (c) Immagine SEM di rGO@SA CP. (d) Immagine SEM di rGO sulla superficie di rGO@SA CP. (e) Prestazioni di evaporazione di diversi materiali con illuminazione solare 1.0. (f) Immagini IR dell'evaporatore 3D con 6 strutture simili ad alette in uso con tempi di illuminazione diversi. (g) Variazione nelle prestazioni di raccolta dell'acqua degli evaporatori 3D con un numero diverso di strutture simili ad alette. (h) Prestazioni di raccolta dell'acqua dell'evaporatore 3D con 6 strutture simili ad alette con illuminazione solare di 0,5 e 1,0. (i) Prestazioni di condensazione dell'acqua con illuminazione solare 1,0 per due diversi tipi di acqua.

Le prestazioni di evaporazione dei diversi materiali sono state inizialmente valutate individualmente.

Dopo l'illuminazione per 1 ora, le velocità di evaporazione per l'acqua sfusa, CP, rGO@SA CP senza alette e rGO@SA CP con 6 strutture simili a pinne erano rispettivamente 0,28, 0,37, 0,96 e 1,47 kg m<sup>-2</sup> (**Fig3.5e**).

Rispetto al 2D rGO @ SA CP, la maggiore evaporazione dell'evaporatore 3D (rGO @ SA CP con 6 strutture simili a pinne) è stata attribuita a una maggiore superficie di evaporazione.

Per l'evaporatore con 6 strutture simili ad alette, la temperatura della superficie di evaporazione superiore è aumentata significativamente entro 5 minuti dall'irradiazione della luce (**Fig3.5f**), che indica una rapida conversione fototermica.

Allo stesso tempo, la temperatura della superficie laterale è rimasta costante vicino a 17 °C, che era inferiore alla temperatura ambiente.

Pertanto, la superficie laterale potrebbe raccogliere energia extra dall'aria circostante tramite convezione e irraggiamento durante l'evaporazione solare, contribuendo a una maggiore efficienza di evaporazione dell'evaporatore.

Questo design 3D è anche flessibile, poiché le diverse strutture simili a pinne possono essere riorientate in direzione orizzontale per seguire la variabilità esterna degli angoli della luce solare per migliorare la cattura della luce.

Sebbene le elevate prestazioni di evaporazione del sistema aperto sarebbero adatte per il trattamento delle acque reflue, sarebbe comunque necessario aumentarle per soddisfare i volumi di produzione desiderabili per la raccolta dell'acqua dolce.

Invece, per raccogliere l'acqua dolce è stato utilizzato un sistema chiuso, che ha mostrato che la capacità di raccolta dell'acqua aumentava con il numero di pinne (**Fig3.5g**).

È stato anche valutato l'effetto di diverse intensità solari (**Fig3.5h**), che ha mostrato che il tasso di condensazione dell'acqua potrebbe essere aumentato da 0,33 a 0,68 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> quando l'intensità solare è aumentata da 0,5 a 1,0 sole.

Sono stati valutati anche due diversi tipi di acqua (acqua deionizzata e acqua di mare) durante l'evaporazione continua per 8 ore sotto un'illuminazione solare di 1,0.

Il tasso di condensazione era di soli 0,20 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> per il bianco (solo acqua sfusa) che è stato notevolmente aumentato a 0,68 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (3,4 volte superiore al bianco) utilizzando un evaporatore fototermico 3D (**Fig3.5i**).

Il mantenimento di un tasso di condensazione dell'acqua stabile su 8 ore di illuminazione è stato considerato un criterio importante per la desalinizzazione pratica dell'acqua di mare,

poiché facilita la raccolta dell'acqua a lungo termine su cicli ripetuti diurni e notturni, dove le ore di luce intensa in genere non superano le 8 ore di durata.

#### Produzione di vapore solare all'aperto

Il design dell'evaporatore ha anche realizzato eccellenti prestazioni di produzione di acqua dolce nell'arco di 10 ore. (dalle 8:00 alle 18:00) quando distribuito all'aperto presso il Mawson Lakes Campus (34,9229° S, 138,5912° E), University of South Australia, Adelaide, Australia, l'8 marzo 2021.

Durante le 10 ore di evaporazione solare, il flusso solare, l'angolo di incidenza solare, l'umidità e la temperatura ambientale sono stati continuamente registrati (**Fig. 3.6a,b**).

Prima del test, i campioni d'acqua sono stati equilibrati all'aperto durante la notte, dove per tutti i campioni, la temperatura dell'acqua iniziale (12,5 °C) era inferiore alla temperatura ambiente (circa 20,0 °C) quando sono stati avviati i test.

Con l'illuminazione, la temperatura dell'acqua è aumentata costantemente e ha superato la temperatura ambiente alle 11:30.

La temperatura massima dell'acqua registrata ha raggiunto rispettivamente 47,8 e 43,1 °C alle 16 per l'evaporatore 3D e per il bianco (solo acqua sfusa), confermando che in presenza dell'evaporatore fototermico è stata convertita più energia termica dalla luce solare per riscaldare l'acqua per evaporazione.

Dalle 8:00 alle 18:00, l'intensità solare è variata e inizialmente è aumentata fino a un massimo di 1,08 sole alle 13:00 prima di diminuire e diventare relativamente stabile.

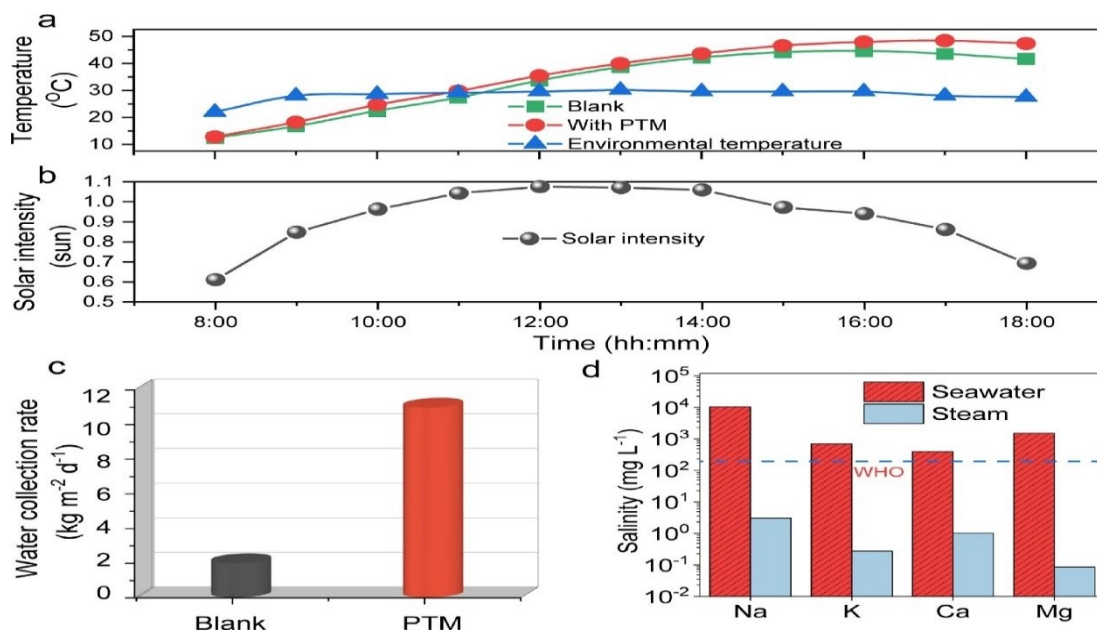
All'irradiazione solare, sono state generate quantità crescenti di vapore acqueo.

Così, in una giornata di sole, sono stati liberati 62,1 g di acqua dolce in 10 ore equivalenti a produrre  $10,95 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , che è più di 3 volte quello del bianco (**Fig. 3.6c**).

La purezza dell'acqua liberata è stata valutata mediante l'analisi delle concentrazioni di ioni alcalini nell'acqua condensata, che ha mostrato che le concentrazioni degli ioni principali nell'acqua di mare ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) erano tutte significativamente ridotte ben al di sotto dei valori standard dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) per l'acqua potabile.

Durante il funzionamento pratico, anche le variazioni meteorologiche hanno influito sulla velocità di produzione dell'acqua.

Ad esempio, una maggiore intensità della luce solare generalmente migliora l'evaporazione dell'acqua, suggerendo che questo design dell'evaporatore solare è adatto per aree con sole alto come i deserti.



**Figura 3.6** Prestazioni di evaporazione. (a) Variazione della temperatura dell'acqua durante la prova all'aperto di 10 ore. (b) La variazione dell'intensità solare durante il test all'aperto di 10 ore. (c) Prestazioni di condensazione dell'acqua del sistema con e senza evaporatore fototermico. (d) Concentrazione di cationi nel mare iniziale e nell'acqua di condensa.

### Prestazioni di riparazione a lungo termine

La configurazione sperimentale utilizzata per valutare la bonifica salina del suolo a lungo termine è mostrata in **Figura 3.7**.

Il processo di bonifica può essere suddiviso in due fasi funzionali.

Durante la prima fase, l'acqua dissalata ha bagnato il terreno, aumentando il contenuto di umidità del terreno salino inizialmente asciutto fino alla massima capacità di ritenzione idrica del terreno.

Durante la seconda fase, poiché il contenuto idrico superava la capacità di ritenzione idrica del suolo, è iniziato il lavaggio del suolo, come evidenziato dalla comparsa della soluzione dilavante.

Durante il processo di desalinizzazione dell'acqua di mare e lavaggio del suolo salino, l'acqua di mare viene inizialmente collocata nel contenitore dell'acqua di mare situato al centro del condensatore.

Sotto l'illuminazione solare, l'acqua di mare viene evaporata continuamente per generare vapore, che viene condensato sulla parete laterale della copertura per generare acqua dolce, che da allora in poi scorre direttamente attraverso il terreno.

L'evaporazione solare per la produzione di acqua dolce e il lavaggio del suolo salino si verifica principalmente durante le ore diurne, mentre di notte si verifica una minima evaporazione al buio.

Questo approvvigionamento idrico intermittente è vantaggioso per il lavaggio del suolo perché come riportato in precedenza, migliora l'efficienza di utilizzo dell'acqua, fornendo un tempo sufficiente per la diffusione e il rilascio dei sali dal terreno, in modo che possano essere rimossi nei successivi cicli di lavaggio.

In presenza di un evaporatore fototermico, il terreno può essere inumidito (stadio 1, 5 giorni) e lavato (stadio 2, 16 giorni) con acqua di condensa in un periodo più breve e l'efficienza della bonifica è di conseguenza notevolmente migliorata.

Tuttavia, per il grezzo, i processi di fase 1 (25 giorni) e fase 2 (39 giorni) hanno richiesto molto più tempo.

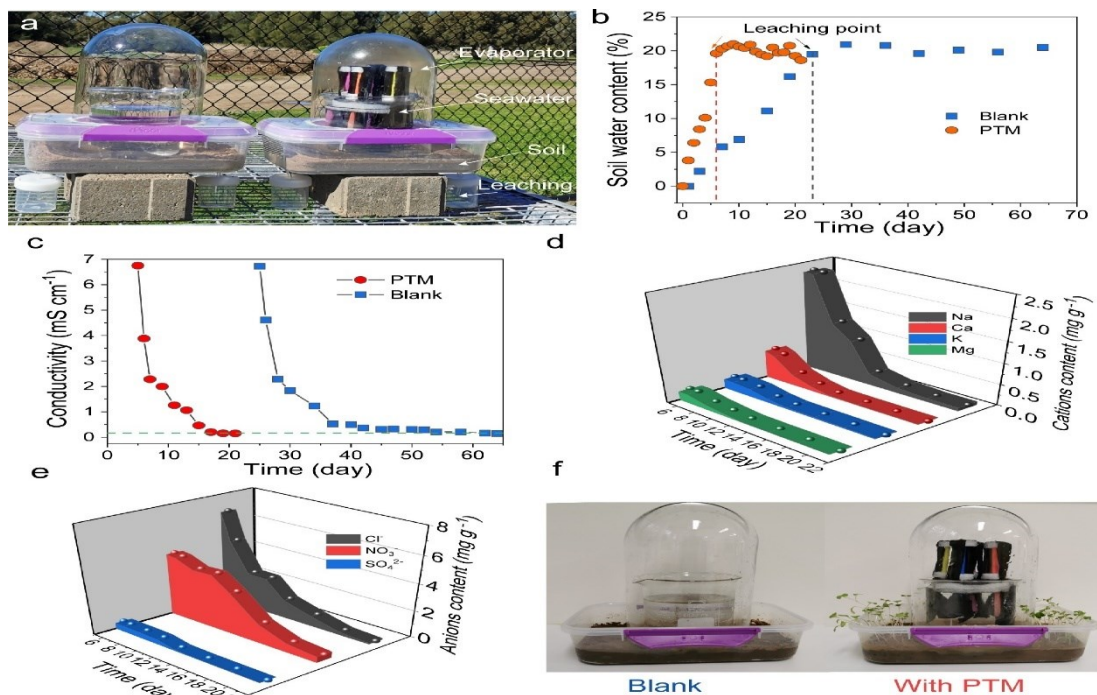
Pertanto, in termini di tempo, la bonifica salina del suolo basata sull'evaporazione fototermica ha migliorato significativamente l'efficienza di 3 volte.

Infatti, nel momento in cui il terreno era stato completamente lavato dal sistema di evaporazione fototermica, il sistema in bianco non aveva nemmeno completato la fase 1 di saturazione dell'acqua del suolo (**Fig.3.7b**).

Inizialmente, il terreno era privo di umidità (secco), ma con l'illuminazione e l'evaporazione solare si otteneva acqua dolce e il contenuto idrico del suolo aumentava costantemente diventando stabile quando veniva prodotto il percolato.

Durante questo processo, le condizioni ambientali locali, come il flusso solare, la temperatura ambientale e l'umidità sono state ottenute dal sito dell'ufficio meteorologico locale.

Durante la fase 2, la quantità di percolato prodotta variava con le condizioni meteorologiche esterne, dove un flusso solare più elevato ha accelerato il lavaggio del suolo, come evidenziato dall'aumento del percolato, perché la maggiore intensità solare ha migliorato l'evaporazione solare e ha migliorato la produzione di acqua pulita per il lavaggio del suolo salino.



**Figura. 3.7** Processo di bonifica salina del suolo. (a) Configurazione sperimentale all'aperto basata sulla generazione di vapore solare interfacciale con evaporazione dell'acqua, condensazione dell'acqua, lavaggio del suolo e irrigazione agricola. (b) Variazione temporale del contenuto di acqua nel suolo per i sistemi coinvolti nell'evaporatore bianco e fototermico. (c) Variazione temporale della conducibilità del suolo durante la bonifica a lungo termine. (d) Variazione temporale del contenuto di cationi durante la riparazione a lungo termine. (e) Variazione temporale del contenuto di anioni durante la riparazione a lungo termine. (f) Prestazioni di germinazione per terreno trattato senza e con evaporatore fototermico.

All'inizio del lavaggio del suolo, vari ioni solubili del suolo scorrevano attraverso il suolo insieme alle acque gravitazionali sotto forma di percolato.

Durante questa fase sono state rilevate variazioni nella conducibilità del suolo, come indicatore complessivo del contenuto di ioni (**Fig.3.7c**).

Rispetto al bianco, il terreno lavato con l'evaporatore fototermico ha richiesto solo 16 giorni per ottenere un'elevata efficienza di bonifica e ridurre significativamente la conduttività del suolo da 6,72 a 0,14 mS cm<sup>-1</sup>.

Anche la conducibilità della soluzione di lisciviazione è diminuita durante il processo di lavaggio a causa di una continua diminuzione del contenuto di sale nel suolo.

Al contrario, per il bianco durante lo stesso periodo, la conduttività del suolo è stata ridotta a soli 0,93 mS cm<sup>-1</sup>.

C'era una certa preoccupazione iniziale che l'efficienza del lavaggio potesse variare in base all'area del suolo.



Pertanto, è stata analizzata anche la conducibilità del suolo in una gamma di diversi punti di campionamento, il che ha mostrato che dopo la bonifica, la conduttività del suolo per diversi punti di campionamento era quasi la stessa, indicando che il processo di lavaggio era uniforme, senza evidenza di lavaggi incompleti in punti specifici.

L'aumento di scala è una considerazione importante per l'applicazione pratica della bonifica guidata dall'evaporazione solare.

Il vantaggio dell'utilizzo di evaporatori su piccola scala è che qualsiasi potenziale problema associato all'uniformità del lavaggio su scala fino a un singolo evaporatore più grande può essere evitato utilizzando una matrice di piccoli evaporatori in parallelo per coprire un'area più ampia.

Quando la conduttività del suolo è diminuita, anche le concentrazioni di ioni nel suolo sono diminuite (**Fig.3.7.d,e**), dove durante i primi 10 giorni di evaporazione solare si è verificato un rapido declino del contenuto di cationi nel suolo, guidato dal lavaggio del suolo.

Ad esempio,  $\text{Na}^+$ , che aveva il contenuto iniziale più alto ( $2,3 \text{ mg g}^{-1}$ ), è stato ridotto a soli  $0,10 \text{ mg g}^{-1}$  dopo 10 giorni.

Anche il contenuto di anioni è stato notevolmente ridotto durante il processo di lavaggio. Ad esempio, il contenuto di  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  è stato ridotto a  $<2,0 \text{ mg g}^{-1}$  con tassi di rimozione tutti  $> 90\%$ .

Di importanza pratica era che anche dopo un'evaporazione a lungo termine (23 giorni), non si osservava accumulo di sale sulla superficie dell'evaporatore e l'acqua di condensazione manteneva standard elevati di acqua potabile dell'OMS.

La variazione dei fattori ambientali esterni influisce anche sull'efficienza del lavaggio del suolo.

Ad esempio, durante il giorno l'intensità solare influisce sull'evaporazione dell'acqua, mentre durante la notte la temperatura influisce sulla condensazione del vapore.

Negli esperimenti all'aperto su larga scala, l'efficienza della bonifica è influenzata anche dal tasso di migrazione dell'acqua e dal tempo di permanenza dell'acqua nel suolo.

Dopo la bonifica, un test sulle piante di broccoli condotto su terreno salino sia trattato che non trattato (**Fig.3.7f**) ha mostrato che mentre i semi piantati in un terreno salino non trattato non germinavano affatto a causa dell'eccessiva concentrazione di sale oltre la tolleranza della pianta, i semi piantati nel terreno riparato dall'evaporazione solare germinavano bene.

Ciò ha confermato che i terreni altamente salini possono essere praticamente ripristinati in terreni agricoli produttivi con un tasso di germinazione di almeno il 65% dopo l'applicazione

di un lavaggio del suolo salino basato sull'evaporazione dell'acqua di mare solare verde e sostenibile.

Questo esperimento dimostra chiaramente che il lavaggio del suolo è un modo efficace per ridurre il contenuto di ioni alcalini, alleviando così lo stress della salinità nelle piante sensibili al sale.

Inoltre, la capacità di produzione di acqua dolce durante la desalinizzazione per evaporazione solare era relativamente alta a  $10,95 \text{ kg m}^{-2} \text{ giorni}^{-1}$  sotto l'illuminazione naturale della luce solare, mentre la domanda d'acqua per i broccoli era solo di circa  $370 \text{ kg m}^{-2} \text{ trimestre}^{-1}$  ( $4,1 \text{ kg m}^2 \text{ giorno}^{-1}$ ).

Pertanto, dopo il lavaggio del terreno salino, l'acqua pulita generata è stata sufficiente per supportare continuamente l'ulteriore crescita dei broccoli, realizzando un'agricoltura sostenibile dell'acqua di mare.

Nel complesso, questo nuovo progetto ha dimostrato con successo l'autosostenibilità di un sistema combinato di desalinizzazione-irrigazione e ha fornito un cambio di paradigma nella bonifica salina del suolo per la sostenibilità agricola.

Tuttavia, per la produzione agricola pratica su larga scala, molti fattori diversi possono influenzare il tasso di sopravvivenza delle piante, tra cui l'intensità della luce solare, la convezione dell'aria, le proprietà del suolo e l'approvvigionamento idrico preciso, poiché troppa o poca acqua possono entrambi essere dannosi per la crescita delle piante.

Studi dettagliati futuri dovranno studiare l'influenza di tali fattori sulla produzione di colture su larga scala.

#### Prestazioni reali di bonifica salina del suolo

La ricerca di cui sopra è stata condotta con un terreno salino artificiale di salinità estremamente elevata per dimostrare semplicemente la fattibilità e l'efficacia di questa tecnologia di bonifica del suolo salino basata sull'evaporazione solare.

Per valutare ulteriormente il potenziale di applicazione pratica delle tecnologie, anche il terreno salino reale, raccolto da Port Pirie, nell'Australia meridionale, è stato trattato e valutato sotto un'illuminazione solare. Prima di avviare la bonifica a lungo termine, è stato inizialmente implementato un esperimento batch per valutare le prestazioni di lavaggio del suolo.

Questo studio preliminare ha mostrato che la conduttività del suolo potrebbe essere ridotta da  $2,2$  a  $1,1 \text{ mS cm}^{-1}$  quando l'acqua di lavaggio del suolo aumentava al di sopra di  $1 \text{ gg}^1$ .

Questo maggiore utilizzo di acqua durante il lavaggio del suolo ha migliorato il tasso di germinazione, che è aumentato dal 20 al 60% poiché il consumo di acqua è aumentato da 0 a  $0,5 \text{ gg}^{-1}$ .

Successivamente, il tasso di germinazione è aumentato solo leggermente quando il consumo di acqua di lavaggio del suolo è aumentato di  $>0,5 \text{ gg}^{-1}$ .

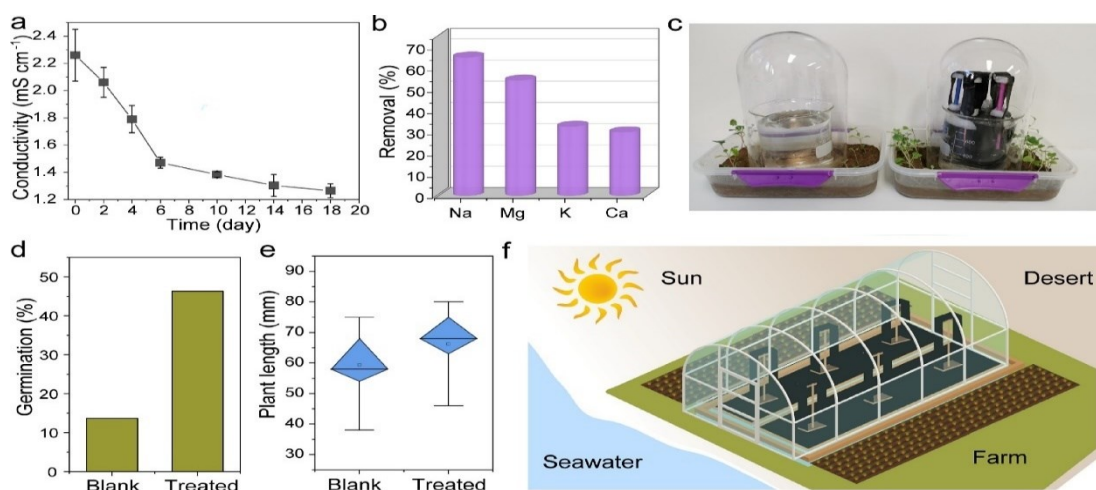
Durante i 20 giorni di bonifica salina del suolo basata sull'evaporazione solare, con 8 ore di illuminazione al giorno, è stata prodotta una quantità costante di soluzione di lisciviazione ogni giorno, indicando che l'evaporatore fototermico aveva un'eccellente stabilità ed era adatto per un funzionamento continuo a lungo termine.

La conducibilità del suolo è diminuita significativamente dopo 10 giorni di lavaggio da  $2,26$  a  $1,38 \text{ mS cm}^{-1}$  (**Fig3.8a**), dove dopo 18 giorni, il tasso di rimozione degli ioni alcalini ha raggiunto rispettivamente il 65,3, 54,4, 32,7 e il 30,0% per  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  (**Fig3.8b**).

Anche il contenuto di anioni è diminuito durante il lavaggio, con i due anioni principali,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Cl}^-$ , diminuendo rispettivamente da  $2,3$  a  $1,8 \text{ mg g}^{-1}$  e da  $1,1$  a  $0,2 \text{ mg g}^{-1}$ .

I saggi delle piante, utilizzando broccoli, per valutare le prestazioni di bonifica hanno mostrato che le prestazioni di germinazione erano migliorate dal 13,8% (terreno salino non trattato) al 46,3% dopo la bonifica per evaporazione solare (**Fig3.8C**).

Anche la lunghezza media dei germogli di broccoli è aumentata da  $59,4$  (terreno non trattato) a  $66,2 \text{ mm}$  (**Fig3.8d,e**), indicando che l'uso dell'evaporazione interfacciale dell'acqua di mare azionata dal sole è un approccio promettente per la bonifica del suolo salino reale e per aumentare la sostenibilità agricola.



**Figura 3.8.** Prestazioni reali di bonifica salina del suolo: (a) Variazione temporale della conducibilità del suolo durante la bonifica salina del suolo mediante evaporazione solare. (b) rimozione percentuale dei quattro ioni alcalini principali. (c) Differenza nel tasso di germinazione dei broccoli con il terreno salino prima e dopo il trattamento. (d,e) Differenza nella lunghezza dei broccoli prima e dopo il trattamento. (e)

Schizzi di potenziali applicazioni solari nel deserto.

Poiché il prototipo sviluppato ha dimostrato che l'acqua dissalata può essere utilizzata per recuperare il suolo salino e che in seguito è possibile un'irrigazione sostenibile delle piante, esiste un grande potenziale per la produzione di dispositivi su larga scala **(Fig.3.8f)**.

Ad esempio, la casa solare nel deserto (Moustafa, 2017), è un approccio agricolo moderno e sostenibile emergente per soddisfare la crescente domanda di acqua e cibo nelle aree desertiche.

Questo sistema ha il vantaggio di utilizzare la terra esistente nei deserti per produrre cibo a livello locale in modo sostenibile.

La casa solare nel deserto ha quindi il potenziale per ridurre l'impronta di carbonio delle forniture alimentari provenienti da fattorie rurali lontane, con un conseguente impatto ambientale positivo.

Poiché questo progetto è un sistema completamente automatizzato che utilizza solo l'acqua solare e di mare per l'irrigazione, elimina la necessità di scarse risorse umane per funzionare. Lo sviluppo di questa tecnologia interfacciale basata sull'evaporazione solare aiuterà anche a migliorare la qualità della vita di molte persone che vivono in aree remote e colpite dal deserto e fornirà una soluzione potenzialmente utile ai problemi della scarsità d'acqua e della desertificazione.

Sebbene l'efficienza del prototipo qui presentato fosse già relativamente alta, il sistema può essere ulteriormente migliorato riprogettando alcuni dei componenti dell'evaporatore per aumentare l'efficienza di conversione termica, nonché la velocità e l'efficacia in termini di costi della produzione di acqua.

Ad esempio, l'inclusione di un trattamento antiappannamento per la copertura trasparente dovrebbe garantire una maggiore stabilità e intensità della luce incidente che raggiunge il materiale fototermico e migliorare direttamente la velocità di raccolta dell'acqua durante l'evaporazione.

Il materiale dell'evaporatore potrebbe anche essere sostituito con alternative più economiche come spugne, asciugamani e una varietà di altri materiali a base di biomassa.

Idealmente, a seconda della località, sarebbe preferibile utilizzare la biomassa di scarto locale come supporto e a questo proposito il biochar di lolla di riso di scarto potrebbe essere un'opzione interessante.

Allo stesso modo, per i materiali fototermici, i materiali a base di carbonio come il biochar sono efficienti, stabili e possono essere prodotti su larga scala in modo relativamente economico.

In effetti, la fattibilità economica del sistema finale è un'importante considerazione pratica e gli studi futuri dovrebbero includere anche analisi economiche per confrontare il costo della produzione di acqua tramite evaporatori solari con altri sistemi esistenti.

Infine, come è stato mostrato in precedenza è possibile ottenere migliori informazioni sui miglioramenti pratici nella produzione di acqua sviluppando un solido quadro teorico per l'intero sistema per comprendere meglio come il calore dell'irradiazione viene sfruttato per realizzare una maggiore produzione di acqua aliquote.

### *Conclusioni*

Per la prima volta è stato qui proposto il concetto di un nuovo processo di evaporazione solare interfacciale, in grado di autoprodurre acqua dolce dall'acqua di mare, per promuovere il ripristino ecologico del suolo salino e la conseguente irrigazione delle piante.

Questo studio ha dimostrato con successo che il concetto di base dell'utilizzo dell'evaporazione solare interfacciale per migliorare la desalinizzazione dell'acqua di mare per la produzione di acqua pulita che potrebbe quindi essere utilizzata direttamente per migliorare l'efficienza del lavaggio del suolo salino era fattibile.

Il sistema prototipo ha realizzato un elevato tasso di produzione di acqua dolce di  $10,95 \text{ kg m}^{-2} \text{ giorno}^{-1}$  in esperimenti all'aperto e ha fornito un'efficienza di lavaggio del suolo 3 volte migliore rispetto a un processo di distillazione tradizionale.

L'evaporatore 3D ha anche mostrato un'eccellente stabilità nell'evaporazione solare esterna continua per 21 giorni in cui l'acqua dissalata soddisfaceva continuamente gli standard definiti dall'OMS per l'acqua potabile sicura.

L'acqua dolce così generata è stata quindi utilizzata con successo in tempo reale per la bonifica salina del suolo e la crescita delle colture su richiesta.

I saggi post-impianto hanno indicato che, utilizzando questa tecnologia, i terreni altamente salini possono essere restituiti a suoli di alta qualità adatti all'attività agricola con un tasso di germinazione del 65%.

Questo lavoro mette in evidenza il significato dell'applicazione della tecnologia di evaporazione solare interfacciale per utilizzare in modo efficiente l'acqua di mare per la bonifica salina del suolo e migliorare la sostenibilità agricola.

I test sugli impianti di post-trattamento hanno mostrato che i terreni inizialmente altamente salini potrebbero essere ripristinati in terreni agricoli funzionali con tassi di germinazione del 65% dopo il lavaggio del suolo, dove l'evaporazione solare potrebbe fornire continuamente acqua di irrigazione per la crescita delle piante.

Questo sistema è completamente automatizzato e utilizza solo l'energia solare e l'acqua di mare per la bonifica e l'irrigazione del suolo salino.

Lo sviluppo di questo sistema fornisce una soluzione potenzialmente utile per alleviare i problemi globali associati alla scarsità d'acqua, alla salinizzazione del suolo e alla desertificazione.

### 3.3 Articolo III

*Titolo:* Recent Trends in Microbial Approaches for Soil Desalination

*Autori:* Slimane Mokrani, El-hafid Nabti, Cristina Cruz

*Introduzione ed obiettivi:*

Un concetto innovativo noto come "agricoltura biosalina" ha preso piede negli ultimi decenni. Diverse alofite (piante tolleranti al sale) vengono prodotte in alternativa alle colture convenzionali che utilizzano l'irrigazione con acqua salina/salmastra.

La sostenibilità dell'agricoltura senza compromessi sulla qualità ambientale, il funzionamento dell'agroecosistema e la protezione della biodiversità sono tutte sfide chiave nell'agricoltura odierna.

Pertanto, la capacità del PGPB alotollerante o alofilo di crescere in resistenza a livelli elevati di sale attraverso l'uso di meccanismi di osmoregolazione per mantenere il regolare funzionamento cellulare è diventata cruciale.

Inoltre, per il ripristino dei terreni salini, la fitodepurazione può essere una soluzione economicamente vantaggiosa.

I suoli salini possono essere ripristinati aumentando il contenuto nutritivo del suolo e la quantità di organismi del suolo; un emendamento organico al suolo salino-alcalino può aumentare lo sviluppo di piante tolleranti al sale direttamente o indirettamente.

È stata inoltre stabilita la capacità del compost biochar-letame di alleviare lo stress salino nei suoli.

Varie strategie di allevamento e tecnologie di ingegneria genetica vengono utilizzate negli studi per migliorare le colture resistenti alla soluzione salina.

La ricerca genetica potrebbe portare allo sviluppo di colture tolleranti al sale, che potrebbero aumentare la produttività agricola nelle aree saline e consentire all'agricoltura di espandersi in aree precedentemente inadatte.

Inoltre, molte strategie innovative, come la combinazione di tipi di trattamento, colture vegetali miste e biostimolazione, vengono impiegate per aumentare l'efficienza e la qualità del ripristino dei suoli colpiti dal sale.

Tuttavia, a causa della natura a lungo termine e dell'alto costo di tali approcci, è necessario stabilire soluzioni biologiche semplici e a basso costo che possano essere applicate a breve termine.

Questo articolo affronta i diversi aspetti attuali della salinizzazione dei suoli agricoli, esplorando principalmente metodi biologici recenti utilizzati per bonificare i suoli salini agricoli.

### *Materiali e metodi*

#### Bio-fitorimediazione da parte delle piante

La fitodesalinizzazione è un metodo vegetale per rimuovere il sale in eccesso dalle aree contaminate e bonificare i terreni per l'agricoltura.

È un modo economico e rispettoso dell'ambiente per pulire i luoghi colpiti dal sale utilizzando una varietà di piante, a seconda del grado di inquinamento.

Le alofite sono piante amanti del sale con caratteristiche speciali che consentono loro di crescere in ambienti severi.

Tuttavia, le alofite sono un gruppo eterogeneo di piante che costituiscono solo l'1% della flora mondiale.

Dimostrano la diversità dell'habitat, le risposte allo stress abiotico e la dispersione tra i gruppi di piante da fiore.

Le piante possono essere classificate come alofite se riescono a completare il loro ciclo vitale a 200 mM di NaCl, e sulla base di ciò, 350 specie sono classificate come alofite, suddivise in 20 ordini e 256 famiglie.

Ci sono stati vari studi sulle colture tolleranti al sale.

Le alofite sono state ampiamente studiate al fine di ottenere una migliore conoscenza della loro adattabilità al sale da prospettive fisiologiche, morfologiche e biochimiche.

La gestione e la compartimentazione degli ioni, la produzione di soluti adatti, l'attivazione di enzimi antiossidanti, la stimolazione degli ormoni vegetali e le alterazioni dei sistemi fotosintetici sono tutti processi che la maggior parte delle piante possiede per mitigare gli effetti deleteri della salinità.

Inoltre, le alofite hanno una moltitudine di componenti cis-regolatori e motivi inducibili dallo stress che sono stati scoperti in molti geni sensibili allo stress.



## Meccanismi delle piante per la desalinizzazione

La resistenza al sale è una caratteristica sfaccettata con numerose caratteristiche interagenti e poco si comprende sulle reti regolatorie implicate.

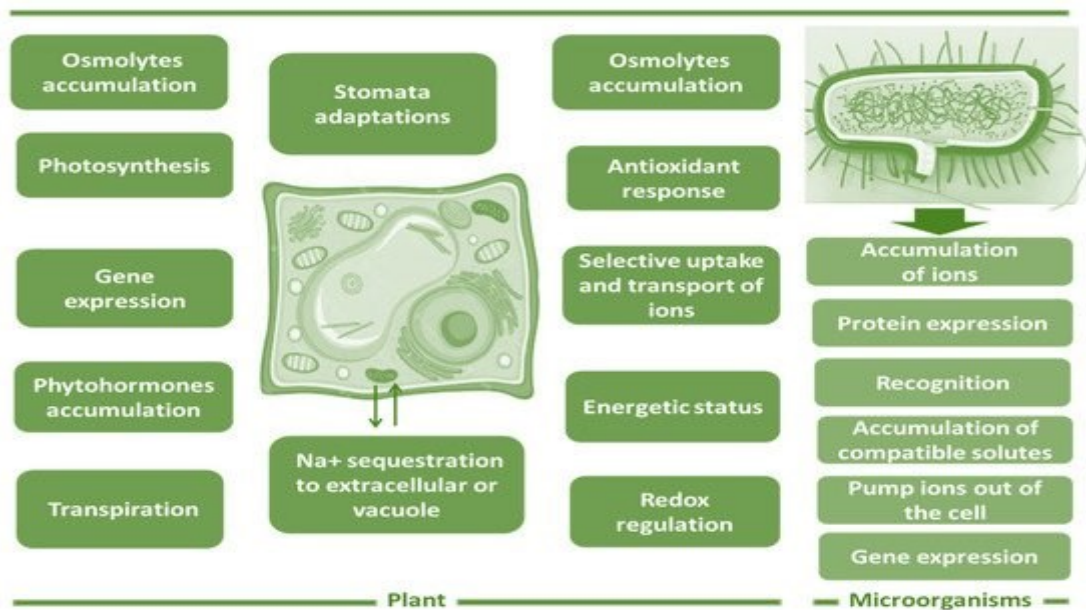
In particolare, la risposta delle piante allo stress salino comprende una serie di vie fisiologiche, metaboliche e molecolari.

Le alofite utilizzano una varietà di strategie fisiologiche e molecolari, comprese le variazioni dei tassi fotosintetici e di traspirazione, il sequestro di  $\text{Na}^+$  extracellulare o vacuolo, il controllo dell'apertura degli stomi e della densità stomatica e la concentrazione e la produzione di fitormoni, nonché la relativa espressione genica alla base di queste caratteristiche fisiologiche, come la trasduzione dei segnali di stress, il controllo del fattore di trascrizione, la stimolazione del gene trasportatore e espressione e inibizione o attivazione della sintetasi.

Alcune piante, comprese le alofite e le glicofite, impiegano il processo di esclusione del sale, che implica impedire al sodio di entrare nel citoplasma all'esterno della cellula limitando l'ingresso di elementi salini e respingendolo nella componente apoplasmatica.

Inoltre, altri processi, come la compartimentazione ionica, l'osmoregolazione da parte degli osmoliti, la formazione di succulenza, l'assorbimento e il trasporto di ioni selettivi, la reazione antiossidante, il controllo redox e lo stato energetico, partecipano tutti alle strategie di adattamento del sale negli alofiti.

È stato dimostrato che la sintesi delle mucillagini nell'alofta *Kosteletzkya virginica* è positivamente collegato alle quantità di sale e il contenuto di polisaccaridi varia tra le parti della pianta e i trattamenti (**Fig.3.9**).



**Fig.3.9** Strategie implicate nella biodesalinizzazione del suolo da parte di piante e microrganismi.

Alcuni di questi sistemi regolatori sono funzionali anche nei non alofiti, mentre altri sono attributi specifici dell'alofo che si sono sviluppati.

È evidente che varie specie di alofite utilizzano più di uno di questi sistemi regolatori.

Un gruppo può essere attivo in una categoria mentre un altro gruppo è prevalente in un'altra, con conseguente classificazione delle alofite come separatori di sale (ad es. *Rhizophora mangle*), inclusi di sale (che spesso possiedono meccanismi di eliminazione del sale, ad es. specie del genere *Tamarix*), e accumulatori di sale (alcune specie del genere *Atriplex*).

#### Ingegneria genetica per la biodesalinizzazione

Alcune misure migliorative convenzionali ben collaudate, ampiamente utilizzate ed economicamente convenienti (ad esempio, l'agricoltura di conservazione e l'uso di condizionatori ecologici) aiutano nella lotta contro la salinità e altri vincoli, in particolare nei paesi in via di sviluppo.

Negli ultimi decenni, le piante geneticamente modificate che sono completamente resistenti alle condizioni salino-alcaline sono emerse come un nuovo focus di ricerca sia in patria che all'estero, con l'obiettivo di aumentare la produttività delle piante nel suolo salino-alcino.

I concetti genetici e riproduttivi, come la raccolta e l'incorporazione di genotipi tolleranti al sale attraverso l'allevamento tradizionale, lo screening assistito da marcatori, le strategie molecolari e transgeniche e l'editing del genoma, sono al centro dell'attenzione da molto tempo e alcuni rimedi per la riduzione dello stress salino nelle colture è stata attuata con successo.

Il solito approccio ingegneristico al problema non è più sufficiente.

La tecnologia genetica consente lo sviluppo di colture tolleranti al sale e, se combinata con modifiche ambientali, potrebbe aumentare la produttività agricola nelle aree saline ed espandere l'agricoltura in aree precedentemente inadatte.

Ad esempio, le proteine del canale dell'acqua (acquaporine) sono importanti per l'assorbimento/il trasporto dell'acqua, in particolare in circostanze di stress; è stato riscontrato che la sovraespressione del gene dell'acquaporina TaNIP del grano nell'*Arabidopsis* ricombinante migliora la resistenza al sale rispetto alle piantine di tipo selvatico; ed è stato scoperto che il gene dell'acquaporina TaAQP8 del grano aumenta la resistenza al sale di tabacco ricombinante.

Il pericolo realistico o percepito del trasferimento genico orizzontale alle piante selvatiche o coltivate associate è un ostacolo significativo all'implementazione sul campo di piante transgeniche per il biorisanamento.

Di conseguenza, la prossima generazione di piante transgeniche includerà sicuramente metodi che proibiscono tale trasmissione, come l'incorporazione di transgeni nel DNA dei cloroplasti o l'uso di geni di letalità condizionata.

Esiste una variazione genetica significativa tra i genotipi alofitici e i genotipi di alcune popolazioni possono funzionare meglio in ambienti non ottimali.

Le moderne tecnologie di manipolazione genetica vengono ora utilizzate come tentativo di aumentare la biomassa delle piante resistenti al sale.

L'elaborazione di tag di sequenza espressa (EST) e librerie di cDNA che utilizzano strategie genomiche multiple, come l'analisi seriale dell'espressione genica (SAGE), l'ibridazione sottrattiva soppressiva (SSH), l'analisi della differenza rappresentativa (RDA) e la catena di trascrizione-polimerasi inversa di visualizzazione differenziale reazione (DDRTPCR), ha fornito un enorme database per lo studio della rete genetica coinvolta nei meccanismi di resistenza allo stress abiotico delle alofite.

Vari geni coinvolti nella tolleranza allo stress sono stati identificati da alofite e clonati o sovraespressi nei sistemi batterici, nonché da cultivar di glicofite sensibili, utilizzando questa metodologia per aumentare la tolleranza allo stress e la produttività agricola.

L'identificazione dei geni che operano nella rete si è basata molto sullo screening delle mutazioni che influiscono sulla risposta della pianta allo stress.

Gli schermi progettati includono quelli che mirano a identificare le mutazioni che aumentano o riducono la sensibilità al sale.

Anche l'adozione della tecnologia dei microarray del DNA è stata utile, poiché consente ai ricercatori di tracciare i cambiamenti nell'espressione genica in risposta allo stress e di identificare i geni che sono attivati o repressi dai trattamenti.

Pertanto, le seguenti tecniche sono state utilizzate per generare colture tolleranti al sale attraverso l'ingegneria genetica: aumentare la capacità della pianta di limitare l'assunzione di ioni sale dal suolo; aumentare la velocità di estrusione attiva dello ione sale; e migliorare la compartimentazione degli ioni sale nel vacuolo cellulare, dove non hanno alcun effetto sui processi cellulari.

Anche i geni osmoprotettori sono stati oggetto di studi di modificazione genetica, sebbene, mentre la sovraespressione migliora la tolleranza al sale in alcune circostanze, influisce anche sullo sviluppo delle piante in assenza di stress, con conseguente riduzione della produzione, che è una caratteristica altamente indesiderabile per gli agricoltori.

Bio-fitorimediazione da parte di microrganismi alofili

Gli ambienti estremamente salini sono habitat unici per la scoperta di nuove specie microbiche.

I microbiomi resistenti al sale sono stati trovati in una varietà di ambienti salini.

Proteobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes, Actinobacteria, Euryarchaeota e Spirochaetes erano tra i microrganismi trovati in una varietà di microrganismi resistenti al sale (**Tab3.3**).

Oltre ai loro adattamenti genetici e fisiologici al sale, la tolleranza alla salinità delle alofite è influenzata da complicati processi ecologici.

Di conseguenza, i procarioti e i funghi che vivono nelle radici e nelle foglie delle piante potrebbero avere un impatto sostanziale sullo sviluppo delle piante.

Archaea e batteri, così come i membri del regno fungino, sono progettati per essere in grado di acclimatarsi a un'ampia gamma di variazioni dell'osmolarità esterna.

<b>Microrganismi</b>	<b>Impianti</b>	<b>Effetti benefici</b>
Pseudomonas plecoglossicida KM233646 Acinetobacter calcoaceticus KM233647 Bacillusflexus KM233648 Bacillus safensis KM233652	Bacopa Monnieri L.	Crescita migliorata Rapporti Na <sup>+</sup> :K <sup>+</sup> migliorati
Pseudomonas putida Rs-198	Gossypium hirsutum L.	Promozione dello sviluppo del cotone e della germinazione dei semi
Alcaligenes faecalis (SBN01 e SBN02)	Triticum aestivum L.	Squilibrio ionico mantenuto controllando gli ioni Na <sup>+</sup> e K <sup>+</sup> Fattori di crescita elevati e biomassa vegetale Diminuzione delle specie reattive dell'ossigeno Perossidazione lipidica indotta. Accumulo migliorato di osmolita, pigmenti fotosintetici e fotosistema II migliorato.
Stenotrophomonas maltophilia BJ01	Arachis hypogaea	Aumento dell'ormone della crescita auxina e composizione totale degli aminoacidi nelle piante.

Geobacillus sp.	Zea mays	Aumento del contenuto di prolina e delle caratteristiche fotosintetiche.
Flavobacterium johnsoniae Pseudomonas putida Achromobacter xylooxidans Azotobacter chroococcum	Triticum turgidum L.	Notevole miglioramento nella germinazione dei semi.
Bacillus licheniformis QA1	Quinoa Chenopodium Willd	Indice di contenuto di clorofilla fogliare stimolato. Aumento dell'assorbimento di P e K <sup>+</sup> Riduzione dell'assorbimento della pianta di Na <sup>+</sup>
Pseudomonas koreensis MU2	Glicina max L.	Sistema antiossidante rafforzato. Perossidazione lipidica e prolina ridotte. Aumento del contenuto ridotto di glutatione. Aumento della lunghezza delle radici e dei germogli, biomassa vegetale e contenuto di clorofilla.
Azospirillum brasilense	Trifoglio repens	Diminuzione della composizione della malondialdeide delle foglie. Diminuzione del livello di Na <sup>+</sup> dei germogli e delle radici.
Trichoderma harzianum	Brassica juncea L.	Aumento dei livelli di pigmento e prolina.

**Tab.3.3** Microrganismi alotolleranti e loro effetti benefici sulla crescita delle piante in condizioni saline.

Questi germi servono anche come modelli ideali per la determinazione della tolleranza allo stress, dell'adattabilità e dei meccanismi di risposta, che possono quindi essere incorporati nelle piante agricole per far fronte agli stress legati ai cambiamenti climatici.

In tutto il mondo, microbiomi vegetali resistenti al sale (rizosferici, endofitici ed epifiti) sono stati identificati e descritti per la loro resistenza allo stress salino abiotico e ad altre caratteristiche favorevoli.

I processi che consentono ai microbi di crescere e sopravvivere in ambienti salini sono essenzialmente gli stessi tra i gruppi.

Le strategie principali comprendono evitare elevate concentrazioni di sale attraverso strutture specializzate della membrana o della parete cellulare, pompare ioni fuori dalla cellula tramite

meccanismi di "salting-out" o adattare il loro ambiente intracellulare accumulando osmoliti organici non tossici e adattare proteine ed enzimi a livelli elevati di ioni soluto.

Gli esopolisaccaridi sono escreti in grandi quantità da varie specie rizobatteriche, che contribuiscono a ridurre lo stress salino attraverso meccanismi sconosciuti.

Un microbo deve essere in grado di rilevare e rispondere al cambiamento per sopravvivere in un ambiente mutevole.

In condizioni saline, è stato dimostrato che il *Chryseobacterium balustinum*, un batterio PGP, migliora la superficie delle radici, la composizione totale dell'azoto e la fissazione biologica dell'azoto nelle piantine di *Lupinus albus*.

Il microbioma associato alle piante ha anche dimostrato di essere una componente importante nella comprensione dell'adattabilità delle piante a un ambiente salato.

I microbi associati alle alofite nella rizosfera possono resistere a livelli di sale fino al 30% e questa relazione tra piante e microbi può aiutare a migliorare la fertilità e la qualità del suolo.

#### Meccanismi di Microbia per la desalinizzazione

I microbi, come funghi e procarioti, che appartengono ai domini batteri e Archaea, possono adattarsi a un'ampia varietà di cambiamenti nell'osmolarità esterna.

Fino a poco tempo, si credeva che gli Archaea (famiglia di Halobacteriaceae) fossero gli unici eterotrofi aerobici attivi alla saturazione di NaCl o vicino a essa.

Inoltre, la maggior parte degli studi sulle alofite si è concentrata principalmente sul controllo fisiologico e genetico della tolleranza al sale.

In particolare, i batteri alofili sono acclimatati per crescere adeguatamente in condizioni ipersaline.

Alcune strategie sono utilizzate da questi batteri per sopravvivere e crescere. Lo squilibrio osmotico è riconosciuto da un osmosensore, che potrebbe essere macromolecole che eseguono alterazioni strutturali per adattarsi alle mutevoli funzioni extracellulari dell'acqua o modifiche nella struttura cellulare.

La prima strategia consiste nell'accumulare ioni potassio/cloruro al fine di mantenere l'equilibrio osmotico intracellulare delle cellule in ambienti ad alto contenuto di sale.

Questo è un adattamento frequente nei batteri alofili molto anaerobici.

Tuttavia, la maggior parte dei batteri alotolleranti e moderatamente alofili adotta una seconda strategia: la condensazione del soluto compatibile.

Questi soluti complicati (che includono zuccheri, polioli, amminoacidi, carboidrati e loro derivati) possono essere acquisiti dal mezzo o prodotti da organismi.

Il pompaggio di ioni fuori dalla cellula è un altro meccanismo utilizzato per evitare quantità eccessive di sale nel citoplasma.

Gli antiportatori  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ , come NhaA, un antiportatore presente in *E. coli* e altri batteri, aiutano a pompare gli ioni di sodio in eccesso.

L'analisi attuale delle alterazioni indotte dal sale nelle mappe del proteoma ha mostrato una maggiore complessità delle vie di accumulo degli osmoliti dei microrganismi.

Ad esempio, sotto stress salino, in *Halomonas sp.* L'AAD12 ha rivelato differenze sostanziali nell'espressione delle proteine implicate nell'osmoregolazione, nella reazione allo stress, nella produzione di energia e nel trasporto.

Per far fronte alle elevate quantità interne di sale, i funghi accumulano anche soluti compatibili.

Ciò è stato studiato nel lievito sensibile al sale *S. cerevisiae* e in diversi funghi filamentosi alotolleranti; è stato dimostrato che la maggior parte del glicerolo viene generata all'aumentare della quantità di sale.

Numerosi geni *H. werneckii* che reagiscono a quantità di sale moderatamente ed eccessivamente elevate sono stati trovati utilizzando l'ibridazione sottrattiva; 13 di loro non avevano omologia con sequenze nei database, a dimostrazione del fatto che il lievito nero ha adattamenti estremamente particolari all'ipersalinità.

#### Microrganismi alotolleranti per l'agricoltura salina

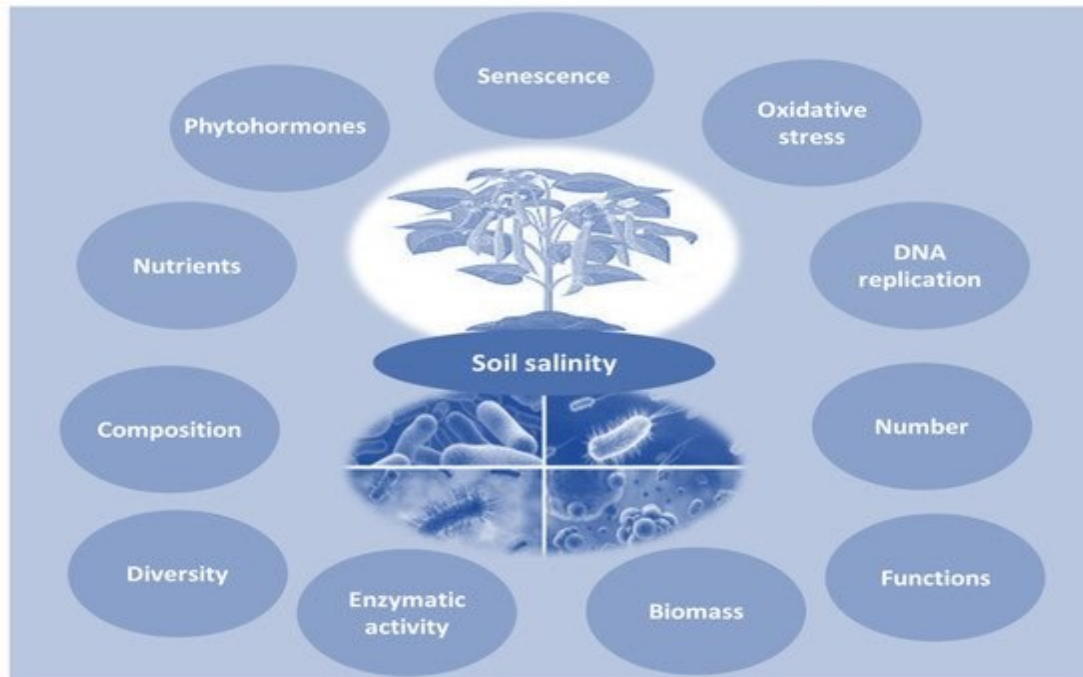
I microbi potrebbero svolgere un ruolo chiave nella creazione di sistemi di gestione delle colture rispettosi dell'ambiente.

Tuttavia, al fine di sviluppare strategie per il loro uso efficace nella produzione agricola, dobbiamo sfruttare meglio le loro caratteristiche speciali di resistenza agli estremi, varietà genetica e associazione con le piante coltivate.

In particolare, l'uso di rizobatteri che promuovono la crescita delle piante (PGPR) accoppiati con piante tolleranti al sale (alofite) come probiotici per l'agricoltura del suolo salato è una potenziale alternativa ai metodi tradizionali.

Diverse ricerche hanno dimostrato che i PGPR tolleranti alla salinità derivati dai suoli della rizosfera di diverse specie alofite hanno la capacità di essere utilizzati come bioinoculanti nella crescita di colture resistenti al sale glicofitico in regioni agricole dominate dal sale.

L'utilizzo di bioinoculanti microbici per promuovere la salute delle piante nei suoli salinizzati ha il potenziale per ridurre lo stress salino e migliorare lo sviluppo delle piante, aumentando anche la resistenza alle malattie (**Fig.3.10**).



**Fig3.10.** Impatti negativi della salinità del suolo su piante e microrganismi.

La *Salicornia brachiata* ha prodotto una serie di batteri resistenti al sale oltre al tipo di riso selvatico.

Tra questi batteri figurano *Haererehalobacter*, *Zhihengliuella*, *Rhizobium radiobacter* e *Brachybacterium saurashtrense*.

Gli impatti che promuovono la crescita delle piante su *S. brachiata* sono stati ben documentati, tra cui una maggiore solubilizzazione di P., produzione di IAA e biosintesi della deaminasi ACC in condizioni saline.

Inoltre, in ambienti salini, l'inoculazione di *Solanum lycopersicum* con *P. putida* UW4 ha potenziato la biomassa dei germogli.

Inoculare il frumento duro (*Triticum durum* var. waha) con il batterio rizosferico *Azospirillum brasilense* NH, che era stato inizialmente isolato da un terreno colpito dal sale nell'Algeria settentrionale, ha notevolmente migliorato la crescita in condizioni di terreno salino.

In ambienti salini, l'inoculazione multi-ceppo (PGPR) ha determinato una crescita significativa del mais e un miglioramento della resa. A  $6 \text{ dSm}^{-1}$ , i ceppi rizobatterici (da soli o in combinazione) hanno aumentato il peso di 1000 grani e la biomassa vegetale fresca e secca rispettivamente del 35%, 36% e 48%.

La sostanza secca della coltura (40%) non è stata registrata con il ceppo *Rhizobium Mn 2*.



Biorisanamento microbico in condizioni di stress abiotico

È importante comprendere le relazioni nello sviluppo delle piante che promuovono i rizobatteri e i fattori abiotici e biotici nei meccanismi di biorisanamento e produzione di energia.

Varie pressioni derivano da diverse condizioni ambientali, come metalli pesanti, siccità, luce UV, gelo, salinità, ipossia, temperature troppo basse e alte e luce intensa.

Ci sono pochi o nessun studio dedicato all'uso di microrganismi sotto vari stress abiotici, in particolare nel caso di tecniche di biorisanamento incontrollato, come i metodi in situ.

Indubbiamente, il biorisanamento che prevede l'utilizzo di microrganismi e diversi stress abiotici, nonché i loro effetti su questi ultimi, non agiscono in natura separatamente.

I microrganismi potrebbero essere in grado di svolgere un ruolo chiave in questo senso se riusciamo a sfruttare le loro caratteristiche uniche di estrema tolleranza, ubiquità, varietà genetica e interazione con le piante coltivate, oltre a sviluppare modi per il loro successo nella produzione agricola.

Batteri e Archaea, così come membri del regno fungino, sono noti per essere in grado di adattarsi a un'ampia gamma di variazioni dell'osmolarità esterna.

L'aumento della salinità del suolo è stato collegato a cambiamenti nella composizione del microbiota e la ricerca sulle interazioni funzionali tra piante e microrganismi che contribuiscono alla resistenza allo stress salino sta guadagnando terreno.

Una serie di vie fisiologiche, metaboliche e molecolari sono anche coinvolta nell'adattamento delle piante e nella resistenza allo stress salino.

L'efficienza del biorisanamento è determinata da una serie di fattori, tra cui modifiche, come carbone attivo e biochar, il tipo di organismi utilizzati, i parametri ambientali prevalenti nel sito inquinato e il livello di contaminanti presenti.

Temperatura, basse concentrazioni di nutrienti e altre condizioni difficili da gestire possono ostacolare l'uso e l'efficacia del processo di biorisanamento.

Nell'ecosistema, rappresentanti dei generi *Pseudomonas*,

*Flavobacterium*, *Bacillus*, *Azotobacter*, *Microbacterium*, *Hydrogenomonas*, *Achromobacter* e *Xanthomonas* sono i co-metabolizzatori più comuni.

L'incomparabile potere metabolico di tali organismi evidenzia la forte capacità implementabile dei membri PGP di tali generi di alleviare lo stress delle colture causato da suoli contaminati, aprendo la strada al biorisanamento.

Per affrontare i soluti tossici e sopravvivere in condizioni di stress, i microbi hanno sviluppato una moltitudine di reti adattative.

È stato dimostrato che gli enzimi prodotti dagli alofili possono essere importanti sostanze biologiche, come i fitormoni e gli esopolisaccaridi, che sono importanti nelle interazioni pianta-microbioma.

Questi sono anche utili per il biorisanamento degli inquinanti in ambienti salati.

In uno studio, lo screening della tolleranza allo stress microbico multi-abiotico ha portato alla selezione del ceppo *Pseudomonas azotoformans* BioRPaz-3: pH (6, 7, 8 e 10), temperatura (20 °C, 30 °C, 40 °C e 45 °C), salinità fino a 600 mM, siccità fino a 2,4 Mpa, Pb (100 µg/mL, 200 µg/mL e 500 µg/mL) e Cu (200 µg/mL, 500 µg/mL e 1000 µg/mL).

Questo ceppo può essere utilizzato in modo efficiente per il biorisanamento di Pb e Cu.

Sono state identificate diverse specie di PGPB, che facilitano la bonifica dei metalli pesanti e le prestazioni delle colture in condizioni di siccità e stress di salinità.

#### Metodi combinati di dissalazione del suolo

Per più di tre decenni, scienziati e responsabili politici di tutto il mondo hanno esplorato strategie a lungo termine, come fisico-chimica, allevamento convenzionale e ingegneria genetica, utilizzando tecniche molecolari all'avanguardia per gestire la salinità del suolo.

Tuttavia, hanno fallito a causa di valutazioni di fattibilità non tecniche, problemi di durabilità e accessibilità economica e limiti di sostenibilità a livello di campo.

Pertanto, la combinazione di diversi metodi di desalinizzazione sembra essere un approccio molto promettente per rimediare al problema globale della salinizzazione del suolo agricolo.

In uno studio è stato dimostrato che *S. verrucosum* migliora le qualità fisico-chimiche di un terreno moderatamente salato e argilloso, per lo più a profondità comprese tra 0 e 30 cm.

Quando *S. verrucosum* viene combinato con due ammendanti inorganici ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  e Polisul-C), la sua capacità di fitodesalinizzazione aumenta.

Inoltre, l'introduzione di ammendanti organici (vermicompost e sterco bovino) può alterare la ricchezza dell'organismo del suolo nel suolo salino-alcalino.

È stato riscontrato che il biochar, in associazione con compost di letame e soluzione piroligneo, aumenta la produzione di mais e contribuisce alla gestione dello stress salino nelle aree saline.

È una fornitura recalcitrante di carbonio organico del suolo che viene bruciato a temperature relativamente elevate in condizioni di basso ossigeno.

Il sequestro del carbonio (C), la generazione di bioenergia, il condizionatore del suolo e la gestione dei rifiuti di biomassa sono tutti vantaggi della pirolisi della biomassa.

Nel mais, biochar e *Pseudomonas* sp. è stato riscontrato che riducono il sodio rispettivamente

del 24% e del 50%, aumentando l'attività della prolina, del livello di umidità del suolo e della perossidasi (POD).

L'uso di fertilizzanti ha aumentato del 73% la perdita di elettroliti.

In un trattamento combinato con biochar e *Pseudomonas*, l'impatto del fertilizzante era 3-4 volte maggiore per l'attività della prolina e del POD.

Per ridurre lo stress salino, *Pseudomonas* sp. e il biochar possono essere utilizzati in aggiunta al fertilizzante.

#### Prospettive di dissalazione del suolo

Gli agroecosistemi sono estremamente vulnerabili alla salinizzazione. Inoltre, la salinità è spesso associata a una varietà di altri vincoli ambientali, come siccità, ristagni idrici, acidità, inquinamento e insufficienza di nutrienti.

Pertanto, la combinazione di biorisanamento e stimolazione della crescita delle piante potrebbe essere una strategia utile per risolvere questa sfida agricola globale.

Dopo la bio-formulazione, il PGPB più attraente e richiesto nel settore sarà il più produttivo per la commercializzazione.

Nel caso dei consorzi, i ceppi devono essere regolati in modo tale che i loro rapporti nel prodotto finale rimangano stabili.

La miscelazione dei ceppi durante o alla fine del loro ciclo di sviluppo può produrre i risultati più coerenti.

Tuttavia, i consorzi possono offrire vantaggi rispetto all'inoculo a ceppo singolo a causa delle relazioni di deformazione.

Le complessità e altri processi implicati nella desalinizzazione rimangono sconosciuti.

Ad esempio, è stato illustrato che alcune alofite utilizzano meccanismi di escrezione per eliminare gli ioni di sale in eccesso dai loro tessuti sensibili; che, in alcuni casi, queste configurazioni ghiandolari non sono sempre peculiari di  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ; e che altri componenti tossici, come cadmio, zinco, piombo e rame, sono concentrati ed escreti dalle ghiandole saline o dai tricomi sulla superficie delle foglie, un nuovo processo di fitorimediazione chiamato "fitoescrezione".

È stato anche dimostrato che l'utilizzo esogeno dei fitormoni è una tecnica molto interessante e utile per combattere le sfide ambientali, come lo stress salino.

Allo stesso modo, il trattamento con acido jasmonico esogeno sembra avere la capacità di migliorare gli effetti negativi indotti dal sale nelle piante attraverso il miglioramento delle

caratteristiche fisiologiche, poiché lo squilibrio fitoormonale è una comune reazione vegetale indotta dal sale.

I fitormoni sono un gruppo eterogeneo di sostanze organiche naturali (ad esempio, gibberelline, citochinine etilene, auxina, brassinosteroidi e strigolattone, e acido jasmonico, abscisico e salicilico) che controllano la crescita e lo sviluppo in condizioni normali e sono essenziali per segnalare le vie di trasduzione durante diversi stress ambientali.

La biomimetica per la desalinizzazione comporta lo sviluppo di nuove tecnologie basate su sistemi biologici o loro componenti come prototipi.

Inoltre, il continuo miglioramento della biotecnologia e dell'ecoingegneria fornisce alcune delle soluzioni più efficaci e innovative contro la salinità (ad es. modifica del genoma, nanomateriali, riproduzione assistita da marcatori e associazioni vegetali-microbiche), sebbene molte lacune di conoscenza e frontiere etiche debbano essere superate prima di queste soluzioni suggerite possono essere trasferite con successo alla produzione alimentare su scala industriale.

### *Conclusioni*

I microrganismi e le piante forniscono un'alternativa economica ed ecologica molto promettente per risolvere questi problemi.

Lo sviluppo di questo approccio attraverso altre discipline, come la genomica e l'ingegneria genetica (piante e microrganismi geneticamente migliorati utilizzati per la dissalazione), può contribuire efficacemente a un miglioramento della resa della desalinizzazione prevista.

Altre tecniche di biodesalinizzazione del suolo sono molto promettenti per alleviare gli effetti dei terreni colpiti.

La nanotecnologia è un metodo di scelta, poiché attualmente trova diverse applicazioni in campo agronomico.

La combinazione di vari metodi sembra essere più efficace.

La grande variabilità, sostenibilità e interdipendenza dei parametri che influenzano i processi legati alla biodesalinizzazione del suolo possono essere descritti come i principali svantaggi che richiedono un buon controllo in situ e saggi ex situ.

## CONCLUSIONI

La salinizzazione del suolo è un fenomeno molto dannoso che non deve essere assolutamente sottovalutato.

Il suolo è il substrato su cui si basa l'intera vita del nostro pianeta e la sua conservazione è di fondamentale importanza.

Rappresenterà una vera sfida nei prossimi anni, soprattutto a causa della sua interdipendenza con altri fenomeni naturali in crescita, come lo stress idrico e il cambiamento climatico.

Dall'analisi dei seguenti articoli, azioni che si pongono come obiettivo la diminuzione dello stato della salinizzazione e della sua evoluzione sono quindi essenziali e, aiutano a fornire informazioni utili per la definizione di tutte quelle politiche nazionali e internazionali che operano su questo tema.

Sarebbe opportuno diffondere la conoscenza delle "best practice" da adottare, per far crescere quella consapevolezza di natura preventiva laddove il fenomeno potrebbe peggiorare inesorabilmente e presentarsi in futuro in tutta la sua drammaticità.

Nei vari articoli trattati sono emersi diversi metodi innovativi per combattere e ridurre la salinizzazione dei suoli, favorendo il normale funzionamento delle piante e una migliore resa dal punto di vista agricolo.

Nello specifico i diversi studi svolti hanno risolto il problema attraverso diverse applicazioni da parte dell'uomo.

È emerso innanzitutto che, con una applicazione di dose giusta di una sostanza, il Selenio, si può migliorare la resistenza delle piante allo stress salino e ottenere così una migliore resa dal punto di vista delle coltivazioni.

Attraverso la recensione abbiamo visto che se svolge ruoli significativi, come scavenger di radicali liberi e antiossidante.

Migliora la fotosintesi, l'omeostasi ionica, e attiva una progressione di segnali a valle che aiutano ad alleviare lo stress.

Stimola la flessibilità contro lo stress salino.

Abbiamo esaminato così la letteratura recente e riassunto i ruoli normativi di Se.

Successivamente abbiamo visto come si può ottenere un'agricoltura salina sostenibile oggi giorno, attraverso lo sviluppo di una tecnologia da parte dell'uomo: evaporazione solare interfacciale per la desalinizzazione simultanea dell'acqua di mare e la bonifica salina del suolo.

Questa tecnologia è risultata un modo efficiente per produrre acqua dolce da acqua salata.

E' stata ulteriormente sfruttata per la simultanea bonifica salina del suolo e una maggiore sostenibilità agricola.

Inoltre, test sugli impianti di post-trattamento hanno mostrato che i terreni inizialmente altamente salini potrebbero essere ripristinati in terreni agricoli funzionali con tassi di germinazione del 65% dopo il lavaggio del suolo, dove l'evaporazione solare potrebbe fornire continuamente acqua di irrigazione per la crescita delle piante.

Questo sistema è completamente automatizzato e utilizza solo l'energia solare e l'acqua di mare per la bonifica e l'irrigazione del suolo salino.

Il recente rapido sviluppo di questa tecnologia è stato osservato in molte aree diverse, tra cui il trattamento delle acque reflue, la desalinizzazione dell'acqua di mare, la sterilizzazione, la raccolta dell'umidità, il raffreddamento dei pannelli solari e la bonifica del suolo.

In quanto tecnologia potenzialmente affidabile e robusta per la produzione di acqua pulita, sono giustificate indagini su applicazioni più ampie.

Infine, abbiamo visto come un concetto innovativo noto come "agricoltura biosalina" ha preso piede negli ultimi decenni.

Diverse alofite (piante tolleranti al sale) vengono prodotte in alternativa alle colture convenzionali che utilizzano l'irrigazione con acqua salina/salmastra.

Affrontando i diversi aspetti attuali della salinizzazione dei suoli agricoli, abbiamo esplorato principalmente i diversi impatti e meccanismi legati a questo fenomeno, nonché i metodi biologici utilizzati per bonificare i suoli salini agricoli.

Attualmente, è possibile utilizzare vari metodi per ridurre gli effetti negativi di questo problema.

L'uso di metodi biologici, come i batteri che promuovono la crescita delle piante (PGPB), la fitodepurazione e l'emendamento, sembrano essere molto vantaggiosi e promettenti come rimedio per un'agricoltura sostenibile ed ecologica.

Altri approcci mirano a combinare diverse tecniche, nonché l'utilizzo di metodi di ingegneria genetica.

Ricapitolando, è emerso alla fine di queste analisi che ci sono diversi metodi validi che l'uomo può applicare attraverso le sue conoscenze per ridurre e contrastare quello che oggi giorno è uno dei più grandi problemi del pianeta nel XXI secolo.

## BIBLIOGRAFIA

- Francesco Bocciarelli, Umberto Bocciarelli, 2002. Agronomia
- Autori vari, Patron Editore, 2005. Fondamenti di Chimica del suolo
- Autori vari, Patron Editore, 2003. Biochimica Agraria
- <https://www.rinnovabili.it/agrifood/salinizzazione-del-suolo-e-sicurezza-alimentare/>
- <https://www.fao.org/world-soil-day/en/>
- <https://www.biopills.net/salinizzazione-del-suolo/#:~:text=Pratiche%20agricole%20inesatte%20e%20poco,possano%20portare%20alla%20salinizzazione%20secondaria.>
- Aadil Rasool, Wasifa Hafiz Shah, Naveed Ul Mushtaq, Seerat Saleem, Khalid Rehman Hakeem, Reiaz ul Rehman 2022. Improvement of salinity-induced damage in plants by applying selenium: a review. South African Journal of Botany. Volume 147, pages 98-105.  
<https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cad.univpm.it/science/article/pii/S0254629921005470?via%3Dihub>
- Pan Wu, Xuan Wu, Yida Wang, Haolan Xu, Gary Owens 2022. Towards sustainable saline agriculture: interfacial solar evaporation for simultaneous seawater desalination and saline soil remediation. Water Research. Volume 212. Article number: 118099  
<https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cad.univpm.it/science/article/pii/S0043135422000628?via%3Dihub>
- Slimane Mokrani, El-hafid nabti, Cristina Cruz, 2022. Recent Trends in Microbial Approaches for Soil Desalination. Applied Sciences. Volume 12  
<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/7/3586/htm>