

## 1.Introduzione

Uno dei problemi più urgenti per l'agricoltura odierna è l'accumulo di sale nei terreni irrigui: si stima che circa un terzo delle terre irrigue nel mondo siano affette da eccessivi carichi salini, e che ogni anno 10 milioni di ettari irrigati siano mediamente abbandonati a causa di questo problema (Flowers *et al.*, 1986). Previsioni particolarmente pessimistiche arrivano a prefigurare che entro i prossimi 25 anni la salinizzazione causerà la perdita del 30% degli attuali terreni agrari, valore destinato a salire fino al 50% entro il 2050 (Altman, 1999). Queste proiezioni appaiono tanto più preoccupanti qualora si consideri che la popolazione umana sta crescendo a un ritmo tale che nel 2050 avremo superato i 10 miliardi di individui, mentre l'incremento annuo della produzione agricola ammonterebbe al solo 1,8% (Altman, 1999).

La salinizzazione è inoltre uno dei principali fenomeni alla base del processo di desertificazione dei terreni, processo che nelle sue forme più intense interessa oltre 100 paesi minacciando la sopravvivenza di più di 1 miliardo di persone. La situazione è particolarmente drammatica nelle zone aride, dove circa il 70% delle aree, corrispondenti a 1/4 dell'intera superficie terrestre, risultano minacciate. Ma il problema è largamente presente anche nelle zone temperate: da stime effettuate dalla Unione Europea risulta che il 27% del territorio italiano è esposto a un elevato rischio di erosione; le regioni della Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia e Sardegna mostrano un processo di desertificazione già avanzato (dalla prima conferenza mondiale sulla Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Desertificazione (UNCCD), Roma, 1997).

La salinizzazione di un terreno agricolo può essere dovuta a due fenomeni: uno primario, indotto dalla costituzione del terreno, e uno secondario, legato all'applicazione intensiva di alcune tecniche colturali tra cui in particolare l'irrigazione con acque saline (Szabolcs, 1994).

Mentre il primo tipo di fenomeno è tipico dei terreni aridi e semiaridi, dove la rapida evaporazione della soluzione circolante lascia un accumulo di sali negli strati più superficiali, il secondo si verifica prevalentemente nelle aree costiere. Il motivo è che lo sfruttamento intensivo, unito agli scarsi apporti idrici, causano alle acque di falda un aumento del contenuto di sali per infiltrazione di acqua marina. Da ciò consegue un accumulo di sali nel terreno e l'insorgenza nelle specie coltivate di stress, che in definitiva portano a una riduzione della produzione (Maas & Hoffman, 1977), accompagnata da precisi sintomi di tipo morfologico e fisiologico. Si capisce pertanto come il problema assuma dimensioni drammatiche soprattutto nei paesi a clima arido e semiarido situati in prossimità delle coste, quali ad esempio quelli del Medio Oriente, o ancora la costa occidentale degli Stati Uniti (California): la salinità congiunta dei terreni e delle acque ha obbligato i governi di questi paesi a investire nella ricerca di soluzioni applicabili su larga scala.

Gli sforzi degli studiosi si sono in un primo momento rivolti all'ottenimento di acque dolci utilizzabili per l'agricoltura, identificando come tecniche principali per il dissalamento dell'acqua l'osmosi inversa e il *boiling*, tecniche dotate di caratteristiche diverse che rendono più adatta l'una o l'altra a seconda delle condizioni di lavoro (in particolare, l'osmosi inversa si presta meglio su scale medio-piccole, mentre il *boiling* è preferibile laddove sia necessario conseguire un dissalamento più spinto, o qualora si debba lavorare su grande scala). Oggi 12500 impianti di desalinizzazione sono operanti nel mondo, il 60% dei quali concentrati in Medio Oriente. Essi forniscono 20 milioni di m<sup>3</sup> di acqua dolce al giorno, pari all'1% della disponibilità mondiale giornaliera di acqua potabile.

Questi dati potrebbero sembrare confortanti, ma non è così. I costi di produzione sono infatti molto alti (mediamente 1,2 euro/m<sup>3</sup> nei paesi mediterranei), e i volumi di acqua prodotti sono di gran lunga insufficienti a soddisfare il fabbisogno irriguo dell'agricoltura.

Le tecniche di dissalamento dell'acqua trovano pertanto utile applicazione per l'impiego alimentare e domestico (si stima pari a 40 l/giorno la quantità minima

di acqua potabile necessaria alla sopravvivenza di un individuo) ma non possono risolvere, allo stato attuale delle conoscenze, le richieste del comparto agricolo.

Il costo notevole delle tecniche di desalinizzazione delle acque ha spinto gli studiosi a indagare altre strategie di riduzione dello stress salino nelle piante agrarie, quali la selezione di genotipi tolleranti e l'impiego di adatte strategie di tipo agronomico, la cui individuazione e applicazione non può comunque prescindere dalla conoscenza dei meccanismi di azione dello stress salino al livello di suolo e pianta.

## **1.1 La salinità dell'acqua**

Stabilire l'idoneità di un'acqua per l'irrigazione è piuttosto complesso in quanto essa deve presentare determinate caratteristiche. In particolare si fa riferimento ai seguenti parametri:

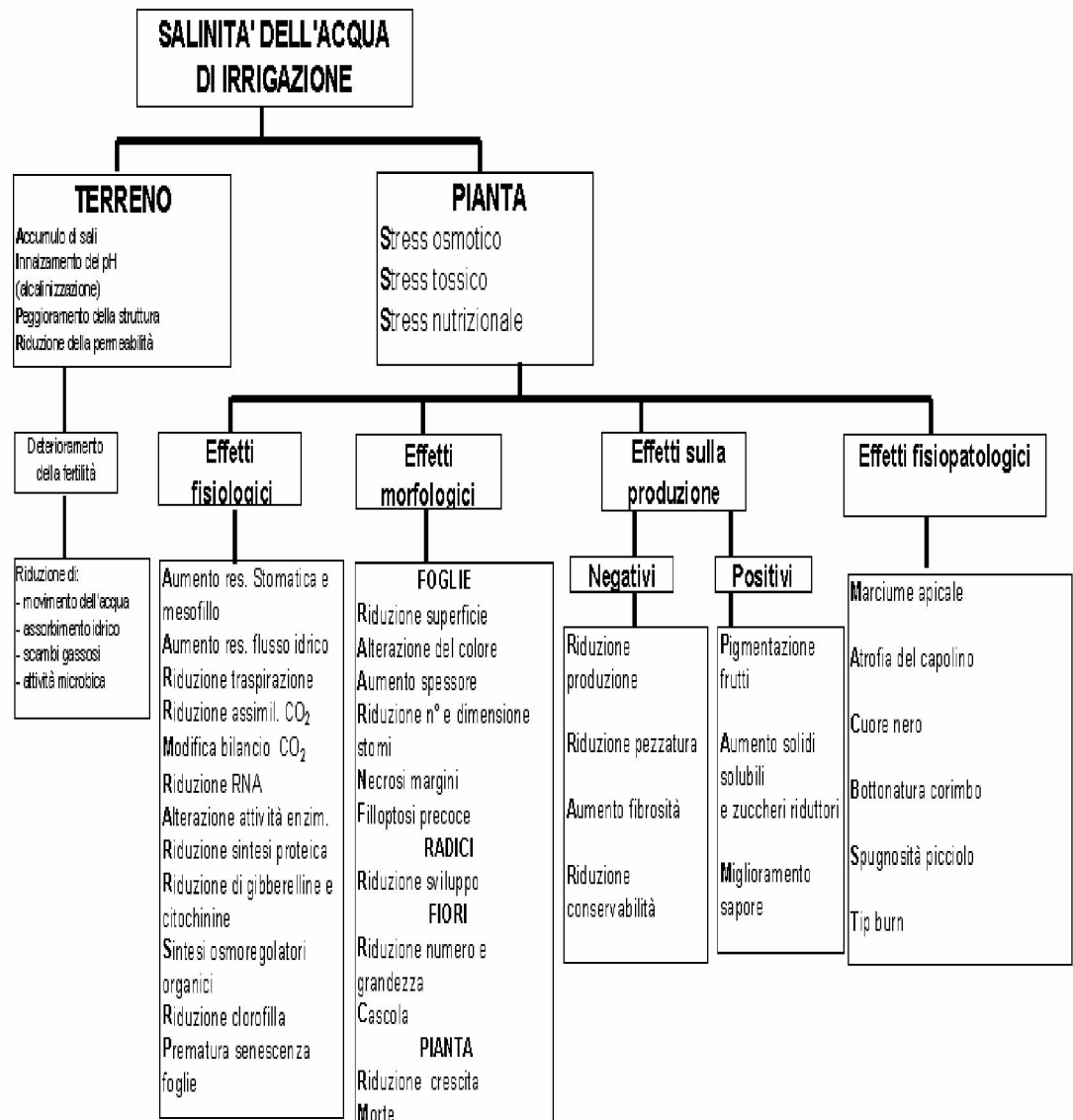
- concentrazione totale dei sali in soluzione;
- rapporto relativo del sodio rispetto ad altri cationi;
- concentrazioni di ioni specifici che possono essere tossici per le piante.

La salinità resta comunque una delle caratteristiche più importanti per definire la qualità dell'acqua irrigua. Essa è determinata dalla dissociazione in acqua di Sali minerali. I sali che più frequentemente si trovano disciolti nelle acque sono essenzialmente i nitrati, i cloruri, i solfati, i carbonati e i bicarbonati di elementi alcalini e alcalini terrosi (sodio, potassio, magnesio, calcio); altrettanto interessanti per i loro effetti, sono alcuni singoli elementi (boro, cloro, sodio etc.). Il contributo di un sale alla salinità dell'acqua è tanto maggiore quanto più elevata è la sua concentrazione ed in particolare quanto più esso è dissociato. L'utilizzo di acque saline comporta tutta una serie di problemi che si traducono innanzitutto in una riduzione di fertilità del suolo con conseguente maggiore difficoltà nello sviluppo radicale e nel processo di assorbimento dell'acqua da parte delle piante nonché una alterazione dei normali processi fisiologici delle piante con intensità diversa a

seconda della quantità e qualità dei sali, del tipo di terreno, del clima, della specie coltivata, del suo stato biologico e dell'insieme dei fattori colturali adottati. (Kafkafi 1991; Läuchli e Epstein, 1990; Maas, 1986).

Un aumento della salinità dell'acqua causa un aumento della pressione osmotica della soluzione circolante del suolo, che si traduce in una ridotta disponibilità di acqua per le piante (Barbieri e De Pascale, 1992). Se diversi terreni con caratteristiche simili hanno lo stesso contenuto di acqua, ma uno è libero da sali e gli altri sono salini, la pianta è in grado di estrarre ed usare più acqua dal primo che non da quelli salini.

Inoltre, man mano che tra due successive irrigazioni l'acqua viene perduta per evapotraspirazione, si ha un aumento della concentrazione di sali a causa del volume più ridotto di acqua contenuta nel suolo così che lo stress idrico ed osmotico divengono più gravi (Hsiao, 1973).



## **1.2 Formazione dei suoli salini.**

I sali sono sempre presenti nei suoli anche se la loro origine può essere differente (Aringhieri, 1997). Generalmente, i sali sono composti ionici che formano cristalli. Sono di solito solubili in acqua, dove si separano i due ioni (cationi e anioni) (S.I., 2004). La solubilità del solfato di calcio o gesso ( $\text{CaSO}_4$ ) è usata come standard per compararne la solubilità. Sali che hanno maggior solubilità rispetto al gesso ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  or  $\text{NaCl}$ ) sono considerati “solubili” e causano salinità. Quelli meno solubili del gesso ( $\text{CaCO}_3$ ) sono considerati insolubili e non apportano salinità (Seelig, 2000). La salinità del suolo è causata dai sali solubili dissociati nella soluzione circolante del suolo (Panero, 1987). La quantità e il tipo di sali dipende dalle caratteristiche climatiche, morfologiche, pedologiche e idrologiche del suolo. Il solfato di calcio o gesso è frequente nelle zone desertiche o semi desertiche. I sali solubili (solfati, clorati, bicarbonati di calcio, sodio, potassio e magnesio) sono caratteristici dei suoli salini e alcalini (Sequi, 1989).

I principali sali che causano salinizzazione sono i clorati, solfati, bicarbonati, carbonati di sodio, potassio, magnesio e calcio. Anche il boro causa salinizzazione.

Ad eguale concentrazione (espressa in mg or g/l or ‰) a sali differenti corrispondono differenti livelli di salinizzazione. Le principali cause della salinizzazione nel nostro ambiente sono legate alla redistribuzione dell’acqua e sali solubili, sia sopra che sotto il suolo (B.A.P.,2004).

Nelle regioni umide, il dilavamento dovuto alla pioggia tende a rimuovere i sali, prevenendo la loro concentrazione negli strati superficiali del suolo (Aringhieri, 1997; De Pascale e Barbieri, 1995; 2000). I problemi associati alla salinizzazione sono, invece, più acuti nelle zone aride e semi aride del mondo, dove sia processi naturali (evapotraspirazione) che attività umane (disboscamento, gestione delle risorse e irrigazione) giocano la loro parte nella concentrazione dei sali nelle acque e nei suoli (Pitman e Läuchli, 2002). La dinamica dell’accumulo dei sali si può distinguere in due cicli: 1) salinizzazione primaria o naturale e 2)

salinizzazione secondaria o antropogenica (indotta dall'uomo) (Munns, 1999; F.A.O. & A.G.L., 2000; Tanji, 2002).

### **1.2.1 Salinizzazione primaria o naturale**

La formazione di suoli salini avviene quando l'acqua scompare dal suolo essenzialmente per evaporazione e traspirazione, piuttosto che per percolazione (Sequi, 1989). La salinizzazione generalmente avviene in suoli di regioni con piogge scarse, alto deficit d'acqua e scarso drenaggio (M.M.A., 2002). Tanji (2002) riporta che la salinità presente nei suoli è soggetta a fenomeni ciclici di concentrazione, dovuta alle perdite evapotraspirative della superficie, e di diluizione, dovuta a piogge e scioglimento delle nevi (precipitazioni atmosferiche). Visto che i suoli delle regioni aride hanno un alto valore del rapporto evaporazione/precipitazione, tendono ad essere salini, mentre i suoli delle regioni umide hanno valori bassi del rapporto evaporazione/precipitazione e tendono a non essere salinizzati. La salinità primaria può derivare anche da fenomeni di risalita capillare dei sali (dovuta all'evaporazione) e da movimenti sotterranei dell'acqua (Pitman e Läuchli, 2002; B.A.P., 2004). Altra causa di salinizzazione è il trasporto di sali dall'oceano a causa del vento e/o della pioggia. L'acqua piovana contiene da 6 a 50 mg/kg di sale. La quantità di Sali presenti nei suoli varia anche in base al tipo di suolo (bassa per i suoli sabbiosi, alta per quelli argillosi).

La salinità è anche inversamente correlata alla media annua di piovosità (Munns, 1999). I cambiamenti climatici costituiscono un'altra causa della salinizzazione primaria (aumento delle temperature, diminuzione dell'umidità) che nelle regioni secche possono dare un contributo sostanziale alla desertificazione. In alcune zone aride i depositi di acqua salmastra, lo scarso drenaggio e falde superficiali possono anche rafforzare la salinizzazione e promuovere la formazione di orizzonti salini (o infiltrazioni saline). Tali infiltrazioni si formano quando l'acqua percolante incontra uno strato relativamente poco permeabile e roccioso. L'acqua inizia a scorrere verso le aree circostanti dove forma una piccola falda o

rimane inclusa nel substrato. Senza un adeguato drenaggio, quest'acqua salina tende a risalire verso la superficie ed ad evaporare lasciando depositi salini.

### **1.2.2 Salinizzazione secondaria o antropogenica**

Le fonti saline nella salinizzazione secondaria sono costituite dai sali presenti nell'acqua di irrigazione e dai sali residui di ammendanti del suolo e dell'acqua (gesso, zolfo elementare, acidi), di deiezioni animali (letame e acque di lavaggio), di fertilizzanti chimici, e di fanghiglie di scarto (Tanji, 2002).

La salinizzazione secondaria è causata da una cattiva gestione dell'irrigazione (insufficienti volumi d'irrigazione, scarsa efficienza d'irrigazione, utilizzazione di acqua salina o di qualità marginale in suoli particolarmente sensibili alla salinizzazione come suoli sodici, improprie pratiche agronomiche), da una scarsa livellazione del terreno e da pratiche che durante i periodi secchi aumentano i movimenti di risalita capillare in presenza di falde superficiali (scorretto uso di macchine pesanti e seguente compattazione del suolo, eccessivo dilavamento con scarso drenaggio, uso di rotazione improprie ed abbinamenti colturali) (F.A.O. & A.G.L. 2000).

La salinizzazione secondaria risulta dalle attività umane che espongono suolo ed acqua a contaminazioni e degradazioni prima sconosciute, e di conseguenza cambiano il bilancio idrogeologico del suolo tra acqua apportata (irrigazioni e/o piogge) e acqua utilizzata dalle colture (traspirazione). La rottura dell'equilibrio dinamico fra acqua e sali circolanti ha seriamente colpito la produttività di biomassa (Munns, 1999; B.A.P., 2004). L'accantonamento delle piante con radici lunghe (ad esempio, piante erbacee perenni, alberi e arbusti) e la conseguente coltivazione su larga scala di specie annuali in monosuccessione aventi radici superficiali in bacini poco profondi, su pianure alluvionali è forse una delle principali cause di salinizzazione secondaria e degradazione del suolo (B.A.P., 2004). Prima dell'attività antropica, nei climi aridi e semi-aridi, c'era un bilanciamento tra l'acqua usata dalla vegetazione spontanea e le piogge che era sufficiente a mantenere la falda acquifera sotto la superficie del suolo. In un tale



bilancio ecologico, la vegetazione era capace di utilizzare quasi tutta l'acqua piovana. L'eliminazione della vegetazione spontanea ad apparato radicale espanso e l'introduzione della pratica dell'irrigazione ha modificato questo bilancio. Di conseguenza il cumulo di piogge e acqua

d'irrigazione forniscono più acqua di quella necessaria alle coltivazioni. L'eccesso d'acqua causa la risalita della falda e mobilita sali in precedenza accumulati nel sottosuolo, portandoli al livello delle radici. Le piante assorbono l'acqua dalla soluzione circolante provocando l'accumulo dei sali. La falda continua la sua risalita, e quando raggiunge la superficie, l'acqua evapora lasciando sali sulla superficie. I sali mobilizzati possono anche muoversi lateralmente verso i corsi d'acqua, aumentandone la salinità (Munns, 1999).

In condizioni irrigue, la più comune tecnica per dilavare i sali dalla zona radicale richiede l'applicazione di acqua non salina in quantità maggiore alle necessità evapotraspirative (Rhoades, 1989). Tuttavia, in molte zone irrigate si pone il problema riguardante la risalita della falda dovuto ad eccessivi volumi d'acqua d'irrigazione in condizioni di drenaggio insufficiente (Munns, 1999; Pitman e Läuchli, 2002). La maggior parte dei progetti d'irrigazione su larga scala non prevedono sistemi di drenaggio, fino a che non sorgano problemi di ristagno idrico.

La deviazione dell'acqua d'irrigazione dalle necessità superficiali e il percolamento profondo dell'acqua della stessa (spesso associata a sovra-irrigazione), conducono a saturazione del bacino sotterraneo. Dopo decenni di irrigazione, la zona sotterranea si satura e la falda si alza fino a raggiungere il franco di coltivazione, causando ristagno idrico. In condizioni di falda acquifera alta, ci sono risalite di sali dovute all'evaporazione e all'estrazione radicale dell'acqua (Tanji, 2002).

Teoricamente esistono molti fattori che comportano suoli salini ma l'irrigazione è certamente quello che guida gli altri nella formazione di molti milioni di suoli salini e/o alcalini in molte parti del mondo (Szabolcs, 1984).

### **1.3 Effetti della salinità sulla struttura del terreno agrario**

La struttura del suolo riflette come le particelle inorganiche e organiche sono combinate tra loro in aggregati. La struttura del suolo ha un ruolo fondamentale, in quanto ne influenza la porosità, l'idrologia, la lavorabilità, la resistenza all'erosione la disponibilità di nutrienti (Sequi, 1989; Piccolo e Mbagwu, 1999). Si riconoscono differenti classi di struttura nei suoli. La struttura granulare è molto comune negli strati superficiali che normalmente mostrano un alto contenuto di sostanza organica e un'attività biologica intensa. Strutture a blocchi sono comuni nei sottosuoli ma si trova anche in suoli superficiali di prateria che hanno un alto contenuto in argilla. Le strutture lamellari di solito si ritrovano in sottosuoli che sono stati sottoposti a lisciviazione o compattamento ed hanno un colore molto pallido. Strutture prismatiche sono caratteristiche degli orizzonti B o sottosuoli di praterie. La struttura colonnare è molto compatta ed è molto sfavorevole per la crescita delle piante. Una struttura compatta ridurrà fortemente i movimenti di aria e di acqua nel suolo, influenzerà la penetrazione delle radici e la capacità della pianta di propagare le radici attraverso il suolo.

Una buona struttura del suolo può essere espressa dalla stabilità degli aggregati in acqua che è influenzata principalmente dalla qualità e quantità di sostanza organica (S.O.), dal tipo di argilla e dalla popolazione microbica (NRCS, 1996). Alcuni studi parlano di effetti positivi della sostanza organica in generale, mentre altri asseriscono che è la composizione della sostanza organica (specialmente le frazioni umificate) piuttosto che la sua quantità totale ad influenzare la stabilità degli aggregati (Piccolo e Mbagwu, 1999).

Uno dei processi naturali più importanti che riguardano la stabilità strutturale dei suoli è l'intensità dei cicli di inumidimento-disseccamento ai quale sono naturalmente esposti. Generalmente, questo ciclo determina una riduzione nel diametro degli aggregati (in presenza di illite e smectite) o una capacità di riaggregazione che si traduce in un aumento nel diametro degli aggregati (in caso di predominanza di caolinite, specialmente con calcare) (Piccolo *et al.*, 1997a). Gli effetti di questo ciclo variarono: in suoli scarsamente strutturati, come quelli

con zolle massive o superficie compattata, i cicli inumidimento-disseccamento possono facilitare la riduzione del compattamento (Piccolo *et al.*, 1997a), mentre in suoli agricoli naturalmente ben aggregati, cicli di inumidimento-disseccamento possono produrre un collasso strutturale in quanto causano la formazione di micro-aggregati facilmente erodibili.

La produzione di questi piccoli aggregati è dovuta a una riduzione di dimensione degli aggregati più grandi a diametri più piccoli come risultato delle fratture formatesi durante le contrazioni e le espansioni (Piccolo *et al.*, 1997a; Spaccini. *Et a.l.*, 2002).

Naturalmente, solamente la frazione umica della sostanza organica ha un ruolo a lungo termine nella formazione e stabilizzazione di aggregati di suolo, in quanto provoca la formazione di ponti tra i polimeri organici e le particelle inorganiche attraverso cationi polivalenti (FAO, 2001), contribuendo così all'aumento della porosità, alla ritenzione di acqua e aiutando i movimenti della fauna, dell'aria e dell'acqua. Questi aggregati, come detto, sono anche protetti dalla biodegradazione grazie ad una protezione idrofobica (Piccolo, 1996; Parè *et al.*, 1999; Piccolo e Mbagwu, 1999). La frazione umica, non è composta tanto da grossi polimeri, ma da molecole relativamente piccole legata da una serie di forze idrofobiche e ponti idrogeno, infatti attualmente viene considerata una struttura sovramolecolare con apparente alto peso molecolare (Piccolo, 2002). Presenta sulla propria superficie numerosi gruppi funzionali, che conferiscono al suolo una maggiore CSC e consentono la formazione di complessi con le argille, mediati da cationi polivalenti (soprattutto  $Ca^{2+}$ ), o con altre molecole idrofile derivate dalla degradazione di materia organica fresca (Fagnano e Quaglietta, 2003). Questi legami orientano verso l'interno delle particelle i gruppi funzionali carbossilici e fenolici, lasciando le componenti idrofobiche (alifatiche e aromatiche) orientate verso la superficie esterna delle particelle in modo da formare un rivestimento con alta tensione superficiale che riduce l'infiltrazione di acqua all'interno delle particelle (Piccolo *et al.*, 1997b). La salinità può generare flocculazione poiché porta le particelle fini a legarsi insieme formando

aggregati. Elevate concentrazioni di sali nella soluzione circolante del suolo promuovono aggregazioni delle particelle argillose e danno luogo a suoli maggiormente permeabili. Di conseguenza, i suoli sono meno portati a divenire o rimanere intrisi d'acqua dopo piogge rispetto a suoli non flocculati (Warrence, 2002).

Questa spinta all'aggregazione è benefica nei confronti dell'aerazione del suolo, penetrazione e crescita delle radici. La flocculazione è rafforzata generalmente quando la salinità della soluzione del suolo è approssimativamente superiore a 1.5 dS/m o la salinità dell'acqua di irrigazione è maggior di 0.5 dS/m. Mentre un crescente livello di salinità nella soluzione del suolo ha effetti positivi nell'accrescere o stabilizzare l'aggregazione del suolo, un alto livello di salinità ha un effetto negativo e potenzialmente letale sulle piante (Walinga *et al.*, 1995; Warrence *et al.*, 2002).

Il sodio ha un effetto opposto sul suolo rispetto ad una generale salinizzazione. Mentre elevate concentrazioni di elettroliti possono favorire la flocculazione, la saturazione sodica può causare la dispersione delle particelle. A causa della sua grandezza relativa, della carica elettrica singola e dello stato di idratazione, il sodio adsorbito tende a produrre la separazione delle particelle del suolo poiché le forze repulsive fra le molecole superano quelle attrattive (Warrence, 2002). Ciò può eventualmente aumentare il numero dei micropori a scapito dei macropori (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). Un secondo processo piuttosto reversibile associato alla saturazione di sodio è il rigonfiamento degli aggregati e degli strati (Warrence, 2002). Questa combinazione di condizioni porta al disgregamento della struttura del suolo (Rhoades, 1991). È anche importante ricordare che le argille sono più disposte alla dispersione rispetto al limo o alle sabbie. Inoltre, il sodio riduce la permeabilità soprattutto dei suoli in cui predomina la montmorillonite (Warrence, 2002; Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). In fine, la dispersione indotta da sodio riduce la permeabilità e genera delle croste superficiali (Warrence, 2002).

Una bassa permeabilità diminuisce la mobilità dell'aria (ossigeno e anidride carbonica) e dell'acqua attraverso il suolo (Seeling, 2000). Uno strato denso, chiamato crosta argillosa, si forma alla superficie o nelle sue vicinanze, ed è una barriera per le radici. Ne risulta che la maggior parte delle radici è costretta nello strato di suolo al di sopra di tale strato. Poiché i movimenti dell'acqua, dei nutrienti e dei gas sono troppo lenti attraverso la crosta argillosa (Seeling, 2000) risultano ridotte l'infiltrazione e la conduttività idraulica del suolo. Quando aumenta la ESP, la quota di infiltrazione è ridotta e conseguentemente aumenta la perdita d'acqua (Warrence, 2002). La conduttività idraulica è il rapporto in base al quale l'acqua si muove attraverso il suolo. Quando il suolo contiene grandi concentrazioni di sodio, la perdita di struttura riduce la conduttività idraulica. Il ristagno idrico e il rigonfiamento del suolo spesso comportano condizioni anaerobiche. Tali condizioni riducono o impediscono la crescita delle piante, diminuiscono la percentuale di decomposizione della materia organica, che dipende da microrganismi aerobi che utilizzano i residui vegetali. Questa diminuzione della decomposizione porta alla formazione di suoli ricchi in materia organica, di colore nero o marrone scuro. Questi suoli sono denominati suoli alcalini neri (Warrence, 2002).

L'aggiunta di gesso (sia nel suolo che nell'acqua) può spesso aiutare in modo apprezzabile a evitare o attenuare i problemi connessi alla ridotta capacità infiltrativa (Ayers, 1984; Rhoades, 1991; Franzen, 2003, Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003; F.A.O.&A.G.L., 2002c).

Al crescere della salinità del suolo aumenta il potenziale osmotico della soluzione circolante. Di conseguenza, a seguito della salinizzazione le piante devono spendere più energia per assorbire l'acqua dal suolo (Panero, 1987). A valori di potenziale osmotico prossimi a -14 atm le piante non possono più assorbire acqua in quanto non riescono ad abbassare ulteriormente il loro potenziale totale (Panero, 1987). I sali riducono l'acqua disponibile per le piante. La capacità di campo e la saturazione sono proprietà della matrice del suolo non modificabili dalla salinità, mentre il punto di appassimento aumenta

all'aumentare della salinità. Quindi, l'acqua disponibile per le piante diminuisce (Panero, 1987; Saxton, 2003). La diminuzione dell'acqua disponibile può seriamente compromettere la normale crescita e sviluppo della pianta (Warrence, 2002).

#### **1.4 Misura della salinità dell'acqua e del suolo**

Dal momento che le piante assorbono la maggior parte dei sali tramite le radici è importante misurare e classificare la concentrazione dei sali nel suolo. La misura della salinità dell'acqua si esegue con relativa semplicità, mentre la misura della salinità del suolo è complicata a causa della forte influenza dell'umidità contenuta nello stesso. La salinità è una proprietà dinamica della zona radicale delle piante poiché dipende da: 1) concentrazione della soluzione del suolo dovuta all'assorbimento radicale e all'evaporazione dalla superficie del suolo e, 2) apporto di acqua al suolo, dovuto a pioggia, scioglimento delle nevi e/o irrigazione. Inoltre, i sali dissociati sono molto mobili lungo il profilo del suolo grazie alla diffusione chimica (mobilità ionica) e al trasporto convettivo e dispersivo dell'acqua stessa.

Pertanto, le radici delle piante sono esposte a cambiamenti spaziali e temporali della salinità del suolo, che rende più difficile l'adattamento (Tanji, 2002).

Il metodo più comune per misurare la salinità del suolo è la determinazione della sua conducibilità elettrica (EC) utilizzando un estratto di pasta satura (suolo mescolato ad acqua distillata, EC<sub>e</sub>). L'unità di misura del S.I. per la conduttività elettrica (EC) è il dS/m. Munns (1999) sostiene che questo metodo è laborioso poiché occorre preparare la pasta satura ed estrarre l'acqua con una potente pompa a sottovuoto. Inoltre con suoli molto sabbiosi non è facile ottenere la pasta satura. Un metodo più conveniente ed universale è l'estratto 1:5. Il suolo viene prima essiccato e setacciato, quindi si mescolano 5 g di acqua deionizzata ad 1 g di suolo. La conducibilità elettrica della soluzione acquosa viene poi misurata con un conduttivimetro. La EC del suolo può essere calcolata se il suo

contenuto in acqua è noto al momento del campionamento. Alternativamente la misura può essere relazionata alla capacità di campo del suolo usando fattori di conversione (Munns, 1999). Altri autori (Tanji, 2002) hanno riportato che è possibile misurare la conduttività elettrica in uno strato del suolo saturato da un quantitativo d'acqua noto ( $EC_e$ ), o da soluzione di suolo estratto sotto vuoto usando tazze di suzione immerse nel suolo in condizioni di umidità ( $EC_{sw}$ ). In alternativa è possibile utilizzare la tecnica in situ ( $EC_a$  per l'apparente EC) come la fila di elettrodi di Wenner, le sonde da 4 elettrodi per la salinità, o la deviazione elettromagnetica (sonda EM-38). Anche il Time Domain Reflectometry (TDR) è usato per misurare la salinità (Tanji, 2002). Un altro parametro importante per caratterizzare un suolo salino è la percentuale di sodio scambiabile (ESP) che si definisce come la proporzione fra il sodio scambiabile assorbito (che è legato all'argilla) e la capacità di scambio cationico del suolo (Läuchli e Epstein, 1990; Rhoades *et al.*, 1991):

$$ESP = \frac{\text{Sodio scambiabile (meq/100g)}}{CSC \text{ (meq/100g)}} \times 100$$

Oltre ad essere lunga e laboriosa, la determinazione diretta della ESP è soggetta ad errori. È quindi raccomandato calcolarla con la relazione empirica proposta dal Sequi, 1989:

$$ESP = 100 (-0,0126 + 0,01475 SAR): 1 + (-0,0126 + 0,014775 SAR)$$

Dove:

$$SAR = Na^+ : (\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}} : 2)$$

All'aumentare del valore ESP, diminuisce la qualità del suolo e si riduce la crescita delle piante. Strettamente legata alla ESP, il rapporto di assorbimento del sodio (SAR) misura la preponderanza relativa del sodio nei confronti di calcio e magnesio, elementi specifici che moderano gli effetti negati del sodio (SAR e ESP sono considerate interscambiabili) (Rhoades *et al.*; 1991; B.A.P., 2004). Il

test del pH, che determina l'acidità o l'alcalinità, può essere usato come indicatore della capacità del suolo di fornire nutrienti alla pianta. L'alcalinità (alto pH) tende a ridurre la disponibilità di micro-elementi essenziali (ad esempio ferro, magnesio, zinco, rame e cobalto) (Violante, 1996).

La misura quantitativa della salinità dell'acqua può essere effettuata con metodi analitici o con metodi conduttivimetrici. Nel primo caso la salinità si esprime come residuo salino fisso o residuo secco o durezza totale o contenuto in sali solubili e rappresenta il contenuto totale di sali disciolti nell'unità di volume in g/l o come concentrazione di sali minerali in ‰. L'acqua viene definita salmastra quando ha un residuo secco pari o superiore al 2 ‰ o 2000 ppm. Un indice analitico più completo è rappresentato dai meq/l. Nel secondo caso la salinità si esprime con la conducibilità elettrica (EC) di una soluzione che è direttamente proporzionale al suo contenuto in sali. Un'acqua viene definita salmastra quando l'EC è pari o supera i 3,0 dS/m a 25 °C.

## **1.5 Classificazione dei suoli salini.**

I suoli salinizzati sono comunemente classificati salini, sodici, o come una combinazione dei due (Follett, 1981; Seeling, 2000).

I suoli salini sono per lo più sciolti e sabbiosi con grandi quote di superficie evaporante e percolazione profonda dovuta alla loro tessitura (fine o grossolana) (B.A.P., 2004); generalmente contengono significative quantità di sali solubili in acqua (cloruro di sodio, solfati di calcio e magnesio), EC superiore a 4 dS/m, ESP inferiore al 15%, e pH < 8.5 (Seeling, 2000; Singh e Chatrath, 2001). Questi suoli hanno generalmente una buona struttura, e la loro permeabilità all'acqua e le loro caratteristiche strutturali sono come quelle dei suoli non salini (Follett *et al.*, 1981). Qadir e Oster (2004) hanno riportato che l'eccesso di salinità non ha impatto negativo sulla struttura del suolo e sulle proprietà fisiche ed idrauliche. Invece, la salinità può avere favorevoli effetti sulla stabilità della struttura del suolo (Qadir e Oster, 2004). I suoli salini sono quindi i più facili da bonificare



(Follet *et al*, 1981) ed hanno un valore limitato per l'agricoltura solo se i sali non possono essere rimossi (F.A.O.&A.G.L., 2000c).

I suoli sodici sono generalmente densi e costipati con scarsa permeabilità all'acqua, all'aria e ai gas. Questi suoli sono caratterizzati da un basso contenuto di sali solubili ( $EC < 4$  dS/m), una struttura del suolo ridotta ( $ESP > 15\%$ ) e reazione alcalina ( $pH > 8.5$ ). (Munns 1999; Follett, 1981; Seeling, 2000; Singh e Chatrath, 2001). A causa della diminuita capacità di trattenere l'acqua risultano generalmente sfavorevoli alla crescita delle piante (Tanji, 2002). La sodicità è di solito associata con alti concentrazioni di carbonati e bicarbonati di sodio insolubili, che si legano alle particelle argillose e/o organiche, causando il rigonfiamento della matrice del suolo, e formando croste compatte nei pressi della superficie. I suoli sodici generalmente diventano improduttivi e difficili da bonificare (B.A.P., 2004).

I suoli salini-sodici, prevalenti in regioni aride e semi aride, spesso rappresentano uno strato di transizione fra salinità e sodicità con un  $EC > 4$  dS/m,  $ESP > 15\%$  e  $Ph < 8.5$  (Follet, 1981; Seeling, 2000).

Tali suoli risultano spesso non ammendabili col semplice dilavamento, specialmente quando la sodicità tende a prevalere negli strati superiori del profilo e necessitano di appropriate lavorazioni e ammendanti calcici (B.A.P., 2004).

La tabella 1 riassume le fondamentali caratteristiche dei suoli salinizzati.

**Tabella 1-** Classificazione dei suoli salinizzati e loro proprietà (B.A.P., 2004).

<b>Suoli</b>	<b>EC(dS/m)</b>	<b>ESP (%)</b>	<b>SAR</b>	<b>pH</b>
<b>Salino</b>	>4	<15	<12	<8.5
<b>Sodico</b>	<4	>15	>12	>8.5
<b>Salino-Sodico</b>	>4	>15	>12	<8.5

L' acqua è generalmente considerata non-salina per valori inferiori a 0.7 dS/m, mediamente salina fra 0.7-2.0 dS/m e salina (a vari gradi) sopra i 2 dS/m; l'acqua piovana o distillata ha una EC di 0.02-0.05 dS/m mentre l'acqua marina, all'altro estremo, si attesta fra 45-60 dS/m (Tab. 2). La salinità dell'acqua è facilmente misurabile e classificabile secondo il metodo TDS (Rhoades *et al.*, 1992).

**Tabella 2** – Classificazione della salinità dell'acqua (Rhoades *et al.*, 1992)

<b>Acqua</b>	<b>EC (dS/m)</b>	<b>TDS (mg/l)</b>	<b>Tipo d'acqua</b>	<b>Utilizzo</b>
<b>Pura</b>	<0.7	<500	da bere e per irrigazione	potabile, tutte le colture
<b>Lievemente salata</b>	0.7-2.0	500 - 1500	drenaggio primario e acqua del suolo	Bestiame, molte colture
<b>Moderatamente salata</b>	2-10	1500-7000	drenaggio secondario e acqua del suolo	colture tolleranti il sale
<b>Molto salata</b>	10-45	7000-35000	acqua del suolo molto salata	Molte alofite

La concentrazione dei sali solubili nel suolo e nell'acqua fornisce valori assoluti che possono essere utili per comparare la crescita e la potenziale produttività delle differenti colture. Comunque, questi valori non forniscono specifiche indicazioni sui meccanismi fisiologici di fondo che conferiscono diversi gradi di tolleranza.

## **1.6 Piante e stress salino.**

Nelle glicofite, categoria a cui appartengono la maggior parte delle piante coltivate, l'effetto più evidente della salinità è la riduzione dei processi di crescita.

Un aumento dei sali nella soluzione circolante comporta un abbassamento del suo potenziale osmotico, il che si traduce in una maggiore difficoltà delle piante ad assorbire acqua (effetto osmotico), con conseguente riduzione del turgore cellulare, e rallentamento dei processi di crescita (Kafkafi, 1991; Hsiao, 1993; Ruggiero *et al.*, 1994), inoltre se una eccessiva quantità di sali entra nel flusso traspiratorio della pianta, ci saranno danni alle cellule (effetto fitotossico). Lo stress idrico e salino agirebbero pertanto in modo simile nel limitare la traspirazione e la crescita.(Munns, 2002a).

L'effetto dei sali sulle piante è un risultato combinato fra diversi processi di adattamento morfologici, fisiologici e biochimici allo stress.

La più comune risposta della pianta allo stress salino è una diminuzione generale di crescita e produzione (Maas, 1996). Elevati livelli di sali nell'umidità del suolo (>4 dS/m) inibiscono la germinazione e la crescita della maggior parte delle colture commerciali, riducono significativamente la produzione di biomassa, la resa economica e la complessiva sopravvivenza della pianta (Maas e Grattan, 1999).

Nei suoli salinizzati, la riduzione della crescita e della produzione sono i risultati della combinazione dei problemi nutrizionali (sbilancio ionico o deficienza di nutrienti) e delle compromesse proprietà fisiche del suolo (diminuita permeabilità

all'acqua e all'aria) (De Pascale e Barbieri, 2000). Munns (1999) riporta che la diminuzione della crescita in condizioni di salinità dipende da 1) effetti del sale all'esterno delle radici, e 2) effetti del sale all'interno della pianta.

Il primo effetto della salinizzazione avviene all'esterno delle radici (potenziale osmotico) e consiste nella riduzione del potenziale dell'acqua nella soluzione del suolo riducendo l'assorbimento radicale (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). In stato di avanzata salinizzazione, lo stress osmotico causa disidratazione e di conseguenza, riduce la crescita di foglie e radici (Munns, 1999, De Pascale *et al.*, 2003(a); Maggio *et al.*, 2003). Dal momento che l'acqua si muove secondo un gradiente di potenziale (da alto potenziale (poco sale) verso un basso potenziale (molto sale)), quando la soluzione del suolo ha un potenziale osmotico inferiore a quello delle cellule, la pianta non può estrarre acqua dal suolo. Le piante, quindi sono incapaci di rimpiazzare l'acqua persa attraverso la traspirazione e avvizziscono (Seeling, 2000). Questo effetto è simile a quello causato da una mancanza d'acqua (siccità) (Seeling, 2000; Muuns 2002(a), De Pascale *et al.*, 2003(a), 2003(b)).

Pertanto, i sintomi di salinità eccessiva sono simili a quelli associati a mancanza d'acqua, inclusi disseccamento delle radici (disidratazione cellulare), aumento della succulenza, crescita stentata, foglie disseccate e necrotiche (B.A.P., 2004).

Al crescere della salinità del suolo e quindi in presenza della riduzione del potenziale osmotico della soluzione circolante le piante reagiscono abbassando il loro potenziale totale (De Pascale *et al.*, 1995, 1997 and 2003 (a); Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). L'associata diminuzione del potenziale di turgore riduce la conduttanza stomatica, che determina una ridotta traspirazione e un aumento della temperatura delle foglie. La chiusura degli stomi indotta dallo stress, diminuisce anche il flusso di CO<sub>2</sub> nelle foglie limitando l'attività fotosintetica (Lauteri *et al.*, 1997; De Pascale *et al.*, 2003(a)).

L'eccesso di sali fuori e dentro la pianta può causare specifiche carenze di nutrienti e accumulo di ioni tossici. La tossicità può conseguire dall'incapacità delle piante di escludere gli ioni dannosi al di fuori delle radici e/o

compartimentalizzarli all'interno dei vacuoli (Panero 1987, Maggio *et al.*, 2002(b)). Le piante possono controllare gli ioni tossici accumulandoli nei vacuoli e/o mobilizzandoli nelle foglie vecchie destinate a cadere (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003).

A tal proposito, Munns (1999) riporta che la velocità con la quale piante sottoposte a stress salino producono nuove foglie dipende dal potenziale idrico della soluzione del suolo, così come in piante sottoposte a stress idrico dipende dal potenziale matriciale.

Le piante accumulano i sali nei tessuti più vecchi, per evitare la morte delle foglie giovani. I tessuti meristemati sono nutriti dal floema, dal quale i sali sono esclusi. La rapida distensione cellulare rende possibile l'immagazzinamento dei sali provenienti dallo xilema all'interno dei loro vacuoli in crescita. Così, il sale assorbito dalla pianta non inibisce direttamente la crescita delle nuove foglie ma accelera la senescenza delle foglie vecchie. Il continuo trasporto di ioni nelle foglie traspiranti a lungo andare comporta una concentrazione molto alta sia di  $\text{Na}^+$  che di  $\text{Cl}^-$ , che conduce alla morte della foglia. La percentuale di foglie morte è fondamentale per la sopravvivenza della pianta. Se nuove foglie sono continuamente prodotte in quantità superiore a quelle delle foglie senescenti, la pianta riesce a fotosintetizzare abbastanza per produrre fiori e semi.

In caso contrario, la pianta non potrà giungere alla piena produzione. La riduzione della crescita consta di due fasi. Nella prima fase, la riduzione è apparente ed è dovuta alla presenza di ioni all'esterno delle radici, legata ad un effetto osmotico. La seconda fase, invece, conduce a un danno dei tessuti ed è geneticamente determinata. Il tasso al quale le vecchie foglie muoiono dipende dal tasso con il quale gli ioni vengono accumulati. Il controllo avviene a livello della corteccia radicale, nei tessuti xilematici, e nel punto di contatto fra questi due siti. Questi tre processi servono a ridurre la quantità di ioni trasportati nella parte superiore della pianta. Il controllo a livello fogliare avviene tramite l'esclusione dei sali presenti nella linfa floematica (Passiura e Munns, 2000). In base a questi risultati l'iniziale riduzione della crescita è dovuta all'effetto

osmotico della concentrazione del sale nella zona delle radici, e ciò che distingue una specie sensibile da una tollerante alla salinità è la capacità di evitare che i sali raggiungano livelli tossici nelle foglie traspiranti (Munns, 1999).

Riguardo alle carenze nutritive, esse sono dovute a competizioni più o meno specifiche fra ioni tossici e macronutrienti vitali (come fosforo e azoto). Di conseguenza le piante salinizzate soffrono di malnutrizione. Una salinità del suolo alta riduce i processi biologici essenziali (limitando flora e fauna) e limita o blocca l'assorbimento di importanti nutrienti dalla materia organica limitandone la loro disponibilità (B.A.P., 2004). La salinità con prevalenza dello ione  $\text{Na}^+$  non solo riduce la disponibilità del  $\text{Ca}^+$  ma riduce il trasporto e la sua mobilità verso le parti giovani della pianta, danneggiando la qualità sia degli organi vegetativi che di quelli riproduttivi. La salinità può direttamente ridurre l'assunzione di nutrienti dal momento che  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  riducono l'assorbimento  $\text{K}^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , rispettivamente. (Lazof e Bernstein, 1999; De Pascale *et al.*, 2001, 2003(a), 2003(b), 2003(c); Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003).

Nel pomodoro, diminuzioni di P, K, Mg e nitrati sono stati generalmente osservati all'aumentare della salinità (De Pascale *et al.*, 2001, 2003(c)). In altre specie, invece, non ci sono variazioni nel livello di  $\text{K}^+$  dopo stress salino (Sifola *et al.*, 1995) mentre è stato osservato un aumento del livello di  $\text{K}^+$  dopo uno stress idrico (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). De Pascale *et al.*, 2003(a) hanno constatato che alte concentrazioni di  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nell'acqua di irrigazione non alterano significativamente il livello di  $\text{K}^+$  nelle foglie del peperone. Invece, uno stress da carenza idrica induce nelle piante livelli di  $\text{K}^+$  più alti, rispetto al testimone irrigato. Quindi questi risultati indicano che gli ioni  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  giocano ruoli simili nel mantenimento del turgore cellulare sotto stress rispettivamente salino ed idrico. L'alcalinità del suolo diminuisce notevolmente la solubilità dello zinco e del ferro e ne limita la disponibilità per la pianta.

Per gli altri macro e microelementi è difficile valutare le variazioni dell'assorbimento dovute allo stress salino, poiché ci sono numerose prove in contraddizione fra loro basate sulle innumerevoli interazioni nutrienti – salinità.

Lo stress salino può provocare modifiche morfologiche che includono risposte di adattamento (ad esempio incremento dello spessore della foglia) e ferite apparenti (ad esempio bruciature delle foglie). Le ampiezze degli effetti inibitori o avversi possono essere conosciute soltanto effettuando comparazioni critiche con piante testimone che crescono in condizioni comparabili in suoli non salini. La salinità può inibire direttamente o indirettamente la divisione e la distensione cellulare (Singh e Chatrath, 2001). L'arresto rapido di crescita dovuta alla salinità ha origine nei tessuti giovani, non in quelli maturi fotosintetizzanti. Alla fine, foglie e rami delle piante salinizzate appaiono stentati (Singh e Chatrath, 2001). La tossicità del sodio causa necrosi che appaiono sul bordo delle foglie (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003) e la sua accumulazione comporta disidratazione, ridotto turgore e morte della cellula. Il sodio può anche ridurre o attivare la sintesi di ormoni. In più, l'integrità della membrana cellulare può essere compromessa dall'antagonismo verso il calcio del sodio, con conseguente impatto negativo sull'assorbimento di acqua e nutrienti (Warrence, 2002).

La tossicità del cloro si manifesta in aree necrotiche che partono dall'apice fogliare e si espandono verso il picciolo/ramo (Fagnano e Quaglietta Chiarandà, 2003). Talvolta possono apparire danni da boro.

La salinità generalmente accresce la percentuale della materia secca (De Pascale *et al.*, 2001; 2003b; 2003c). In più, causa una riduzione della densità delle radici (De Pascale *et al.*, 1995; 2003a), un aumento del rapporto radici/chioma (Singh e Chatrath, 2001, De Pascale *et al.*, 1998, 2003a), una riduzione della crescita dell'area e della taglia della foglia (De Pascale *et al.*, 2003a; 2003b), riduce il peso, taglia e numero dei frutti (De Pascale *et al.*, 1995) e abbassa la produzione vendibile (Sifola *et al.*, 1995; De Pascale e Barbieri, 2000; De Pascale *et al.*, 2003(c)). La salinità inoltre è causa generalmente dello scadimento qualitativo dei prodotti ottenuti (De Pascale e Barbieri, 1995), ma anche in tal caso si possono registrare delle eccezioni, con miglioramento della qualità (Petersen, 1998), come nel caso del pomodoro dove si attiva la sintesi/accumulo di alcuni composti/elementi che definiscono la qualità delle bacche quali, acido citrico,

zuccheri, e potassio (Mitchell *et al.*, 1991). Inoltre, poiché lo stress stimola nelle piante la produzione di molecole con attività antiossidativa (Hasegawa *et al.*, 2000), l'applicazione di moderati stress potrebbe indurre incrementi del contenuto di carotenoidi con un conseguente miglioramento del valore nutrizionale delle bacche di pomodoro. Petersen *et al.*, (1998) hanno infatti osservato un maggiore contenuto di carotenoidi in bacche di piante di pomodoro irrigate con acque saline. Gli stessi autori hanno, tuttavia, attribuito l'incremento ad un effetto *concentrazione* dovuto al ridotto contenuto idrico. De Pascale *et al.* (2001; 2003a), hanno verificato che la quantità di carotenoidi totali nei frutti di piante sottoposte a moderato stress salino (4,4 dS/m) è maggiore di quello attribuibile al solo effetto concentrazione.

## **1.7 Strategie di induzione di tolleranza allo stress salino nelle piante.**

Nell'ultimo ventennio i lavori dei ricercatori si sono orientati verso l'individuazione e l'adozione di materiale genetico tollerante al fine di fornire una soluzione al problema della crescente salinizzazione dei terreni e delle acque impiegate per l'agricoltura. Nel corso di questa ricerca sono stati frequenti risultati positivi e incoraggianti, soprattutto nella direzione di adottare genotipi dalla maggior tolleranza (Aaronson, 1985, 1989; Epstein, 1983; Gallagher, 1985; Glenn & O'Leary, 1985) e di svilupparne di nuovi tramite le nuove tecniche di miglioramento genetico (Cuartero & Fernandez-Munoz, 1999; Ramage, 1980; Shannon, 1984). Inoltre, altri tentativi si sono indirizzati verso l'impiego del *leaching* (Hamdy, 1990a , 1990b) o di tecniche di desalinizzazione dell'acqua di mare (Lee, 1972; Muralev *et al.*, 1997). Ciononostante, la maggior parte di queste tecniche si è poi rivelata di non facile applicazione, essenzialmente per gli alti costi implicati.



Viene di seguito presentata una breve panoramica sulle diverse tecniche messe a punto negli ultimi venti anni per fare fronte al problema della salinità; il criterio di classificazione che è stato adottato si basa sulla distinzione ecofisiologica tra risposte di *avoidance* e *tolerance* della pianta allo stress salino (e agli stress abiotici in genere). Tale criterio pertanto suddivide le tecniche adottate tra quelle che cercano agire sull'ambiente (*avoidance*), e quelle che cercano di fornire all'organismo vegetale effettiva resistenza allo stress medesimo (*tolerance*).

### **1.7.1 Strategie di avoidance**

Le strategie di avoidance sono state ideate per migliorare l'ambiente di crescita della pianta, riducendo l'entità degli stress a cui essa è sottoposta. Queste soluzioni pertanto, anziché cercare di indurre resistenza nell'organismo vegetale, agiscono a monte dell'insorgenza della condizione di stress, limitandone la portata. Nel caso specifico della salinità, possono considerarsi strategie di *avoidance* tutte quelle volte a limitare il carico salino in prossimità della rizosfera.

#### **A – Consociazione con piante alofite**

Un campo di ricerca molto interessante e ancora non sviluppato è quello della consociazione. L'idea alla base è l'impiego di piante alofite, indicate per la loro capacità di assorbire i sali presenti nella soluzione circolante del terreno, in consociazione con specie ortive. Infatti l'azione di uptake dei sali (soprattutto il Na) effettuata dalle alofite dovrebbe creare un ambiente favorevole allo sviluppo della coltura anche in caso di irrigazione con acque saline: questa tecnica può essere applicata senza difficoltà sia in pieno campo che nel fuori suolo. La strategia assume un interesse ancora maggiore nel caso in cui le alofite vengano scelte tra quelle che possono avere un impiego alimentare come ortive minori, in modo da trarre un duplice vantaggio dal loro utilizzo. Al momento, il numero di lavori pubblicati sull'argomento è esiguo (Zhao, 1991; Kovalev & Krylova, 1992; Zurayk *et al.*, 2001) benché si tratti di una tecnica di facile applicazione e che ha già dato risultati promettenti.

Albaho & Green (2000) hanno testato gli effetti della consociazione con l' alofita *Suaeda salsa* L. su crescita e rese di pomodoro coltivato in CIPS (*closed insulated pallet system*) in condizioni di salinità, nonché sull'accumulo di salinità nel mezzo di coltura. *Suaeda salsa* abbassava, nella tesi salina, la conducibilità elettrica e la [Na] del mezzo di crescita rispettivamente del 45,2% e del 50,8%. Sul pomodoro, la consociazione con l' alofita dava un decremento significativo (-37,6%) della [Na] nelle foglie, nonché un abbattimento dell'incidenza di BER (*blossom end rot*: marciume apicale delle bacche) pari a quasi il 50%; benché non si fossero riscontrati aumenti significativi di crescita e di rese, questo ha costituito già un risultato importante, ed è probabile che per salinità più moderate (quelle impiegate nella prova erano piuttosto alte) si sarebbero riscontrati anche effetti sulla produzione. Graifenberg *et al.* (2003), hanno confrontato invece crescita, rese e qualità di pomodoro irrigato con 0 e 3 g/l NaCl, da solo o in consociazione con le alofite *Salsola soda* L. e *Portulaca oleracea* L., entrambe seminate rade o fitte, su terreno. Mentre la *Salsola* migliorava le rese del pomodoro in salinità solo quando seminata fitta, dando un incremento del 22%, la *Portulaca* funzionava a entrambe le densità di semina, e comunque meglio della *Salsola* (l'incremento medio della resa era del 33%).

Come si vede, la ricerca nel campo della consociazione con le alofite non è ancora ampia, ma i primi risultati sono incoraggianti anche considerando la semplicità ed economicità della tecnica. Ulteriori studi potranno fruttuosamente orientarsi sull'utilizzo di nuove specie di alofite e sul confronto tra varie densità di semina e tempi di trapianto dell'ortiva principale.

## **B – Applicazione di sali di K**

Diversi Autori (Bar *et al.*, 1997; Feigin, 1985; Kafkafi *et al.*, 1982) hanno dimostrato come una concimazione minerale appropriata possa almeno in parte limitare gli effetti deleteri dell'eccessiva salinità del suolo o dell'acqua d'irrigazione. Inoltre altri lavori hanno evidenziato come tra gli elementi nutritivi, in questo senso, giochi un ruolo molto importante il K (Hepaksoy *et al.*,

1999; Taban *et al.*, 1999). Evans *et al.* (1966) hanno dimostrato come questo elemento sia in grado di attivare una serie di sistemi enzimatici nelle piante. Secondo Bernstein (1961; 1975) un'elevata disponibilità di ione K fa sì che esso possa competere, per effetto-massa, con Na nel venire assorbito dalla pianta, limitando gli effetti dannosi di quest'ultimo (effetto tossico e denaturante nei confronti degli enzimi citoplasmatici, che porta a un'alterazione della struttura delle membrane cellulari e dell'integrità funzionale dell'organo in maniera irreversibile. Botrini *et al.* (2000) hanno messo in evidenza come la somministrazione abbondante di K a coltura di pomodoro permettesse sensibili abbassamenti della concentrazione di Na in tutti gli organi della pianta, nonostante che questa fosse allevata in condizioni di salinità estreme (da 11,4 a 19,7 dS/m). Economakis & Daskalaki (2003) hanno ottenuto, con salinità della soluzione circolante pari a 600 ppm NaCl, un aumento del 13% nelle rese a seguito di un incremento della concimazione potassica. Achillea (2003) ha confrontato l'effetto di due diversi concimi, nitrato di potassio e nitrato di calcio, per paragonare l'efficacia dello ione Ca nel limitare l'assorbimento di Na da parte della pianta con quella dello ione K. La prova ha mostrato come i risultati migliori siano dati dal K: la somministrazione di  $\text{KNO}_3$  ha aumentato le rese del 200% rispetto al controllo, mentre il  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  le ha incrementate solo dell'80%. Ben-Asher *et al.* (1997) proposero un modello per spiegare i meccanismi che si innescano con la salinità in relazione al K, e che può essere usato per interpretare i risultati di Achillea. K è uno ione che aiuta l'assorbimento dell'anione nitrato da parte delle radici, nelle quali è usato per produrre proteine. Lo ione K inoltre fa da veicolo per il trasporto dello ione malato dalle foglie verso le radici, dove viene utilizzato come fonte di energia. L'aumento della concentrazione di  $\text{NO}_3$  nella soluzione circolante, determinato da una concimazione sostenuta di  $\text{KNO}_3$ , risulta inoltre favorevole perché esiste un rapporto di competizione tra  $\text{NO}_3$  e Cl per l'assorbimento. Quindi una minore presenza di Cl nella pianta può evitare il manifestarsi delle tipiche necrosi dei tessuti a rapida moltiplicazione, come gli apici vegetativi, determinata dal suo accumulo.

Pertanto il motivo per cui il nitrato di potassio risulta efficace nel ridurre lo stress salino trova spiegazione nel fatto che gli ioni K e NO<sub>3</sub> agiscono sinergicamente nell'alleviare gli effetti della salinità. Lo ione NO<sub>3</sub> presente nelle radici ha infatti bisogno del malato per essere convertito in proteine, e la presenza di malato nelle radici è a sua volta garantita dal suo trasporto dalla parte epigea mediata dal K (Ben-Asher *et al.*, 1997).

### **C – Gestione delle acque di irrigazione**

Come è noto, la crescente salinizzazione delle acque di falda causa disponibilità di risorse irrigue più scadenti. Il lavoro di molti studiosi si è focalizzato su questo punto, che è quello più a monte del problema dello stress salino in agricoltura, per cercare di trovare soluzioni tecnologiche per la coltivazione. Esistono pertanto numerose ricerche che indagano il problema della salinità concentrandosi non tanto sulla pianta o sul terreno, bensì direttamente sulla gestione dell'acqua di irrigazione.

Spesso i risultati di questi studi sono ambigui: succede infatti che molte delle soluzioni proposte comportino la diluizione dell'acqua salina con quote variabili di acqua dolce, oppure il ricorso a frequenti lavaggi del substrato di coltivazione ancora con acqua dolce. Si tratta pertanto di soluzioni apparentemente poco decisive, perché impongono il consumo proprio di quell'acqua dolce che si voleva tesaurizzare, e dall'impiego della quale è logico aspettarsi una riduzione dello stress salino.

Lo sforzo, in realtà, sta nel cercare di elevare al massimo l'utilità marginale della poca acqua dolce investita, in modo che il vantaggio in termini di rese e crescita sia più che proporzionale all'investimento di acqua dolce effettuato. Lungo questo sottile confine si concentra l'impegno di numerosi ricercatori, e molteplici sono le idee messe in atto per conseguire il risultato desiderato.

Una delle più tradizionali strategie relative alla gestione dell'acqua di irrigazione è il ricorso al *leaching*. E' nota da tempo l'utilità di impiegare volumi di soluzione nutritiva sovradimensionati rispetto alla richiesta di evapotraspirazione

della coltura, così da lavare parte dei sali accumulatisi nel substrato (Ayers & Westcot, 1985; Hanson, 1993).

Giuffrida & Lipari (2003) hanno studiato l'effetto dell'aggiunta quotidiana di diversi volumi (0, 95, 220 e 470 g/pianta) di acqua dolce (piovana) a pomodoro allevato fuori-suolo su argilla espansa, con *leaching fraction* del 6 %. L'assorbimento di P e K non è stato influenzato dai diversi trattamenti, mentre quello di N aumentava all'aumentare dell'acqua dolce impiegata. La dose massima di acqua dolce (470 g /giorno \* pianta) aumentava le rese del 21%, così come la biomassa fresca (22%); il calo del contenuto in soluti totali rispetto a condizioni di maggior salinità ha fatto sì che la biomassa secca aumentasse invece solo del 12%. Per 220 g/giorno si sono avuti incrementi produttivi più modesti; per 95 g/giorno tali incrementi sono stati quasi trascurabili. Come si può capire, all'aumentare del volume di acqua dolce impiegato diminuiva l'incidenza dello stress salino, ma ovviamente diminuiva anche l'efficienza idrica (WUE: *water use efficiency*); lo scopo del lavoro è stato individuare le combinazioni più vantaggiose. In generale è stato riscontrato come, per avere risultati rilevanti, sia necessario impiegare volumi di acqua di lisciviazione piuttosto consistenti: per piccoli volumi si ha solo consumo di acqua.

E' noto come, in fuori-suolo, tra sistemi aperti, semiaperti e chiusi, i primi siano i più indicati all'impiego di acque saline, in quanto riducono l'ulteriore accumulo di soluti inorganici che si verifica nell'acqua nei sistemi chiusi, ed esercitano un effetto dilavante (*leaching*) (Gieling & Van Os, 1994; Van Os & Stanghellini, 2001), benché sia evidente che i volumi di acqua richiesti sono maggiori, portando a una ridotta WUE (*water use efficiency*).

Confrontando i sistemi di subirrigazione e irrigazione a goccia (Venezia *et al.*, 2003), è emerso come la subirrigazione sia la meno idonea in condizioni saline. Questo deriva dal fatto che la risalita di acqua per capillarità causa l'accumulo di sali negli strati più alti del substrato, in assenza dell'effetto lisciviante esercitato dall'irrigazione a pioggia. Si tratta di un dato che si riallaccia agli esperimenti precedentemente menzionati riguardo il *leaching*, e indica come la subirrigazione

sia una tecnica sconsigliabile quando si ha a che fare con carichi salini elevati nelle acque irrigue.

Una soluzione indagata da alcuni ricercatori riguarda la **variazione di conducibilità** della soluzione circolante tra giorno e notte, su fuori suolo. Adams & Ho (1989) proposero una combinazione DH/NL (*day high/night low*), somministrando soluzione a 8 dS/m il giorno e a 3 dS/m la notte, confrontata con DM/NM (*day medium/night medium*) in cui la soluzione era costantemente a 5 dS/m: il primo trattamento riduceva le rese e incrementava l'incidenza di BER (marciume apicale delle bacche). Altri Autori proposero dunque la soluzione inversa (DL/NH), che prevedeva un incremento del carico salino notturno (Sandoval-Villa *et al.*, 1999; Nederhoff, 1999). Questa combinazione ha dato risultati più soddisfacenti, essendo il picco di assorbimento idrico da parte della pianta concentrato nelle ore diurne.

Il più recente dei lavori sull'argomento è di Santamaria *et al.* (2003), che hanno messo a confronto DL/NL (2 dS/m sia di giorno che di notte) e DL/NH (rispettivamente 2 e 6 dS/m). Quest'ultima non causava diminuzioni di rese complessive, numero e pezzatura dei frutti, e non ne influenzava la qualità limitatamente ai parametri % s.s., acidità titolabile e contenuto in vitamina C; il residuo rifrattometrico era tuttavia più alto, e la concentrazione di Na quasi doppia rispetto al controllo. Il consumo idrico giornaliero non variava inoltre tra le due tesi.

In definitiva la prova non ha evidenziato grandi differenze tra le due tesi, risultando più decisivo il carico salino dell'acqua diurna che non di quella notturna. Alla luce dei risultati poco rilevanti si può sostenere che la discriminazione notte-giorno su fuori-suolo sia una soluzione poco decisiva del problema della salinità.

La proposta forse più innovativa, nel campo della gestione dell'acqua irrigua, è rappresentata dallo "*split root system*", tecnica che prevede di suddividere le radici della pianta in due porzioni, ognuna delle quali peschi in una differente soluzione nutritiva (nel nostro caso a differente salinità). In realtà la tecnica era

già stata sperimentata in passato (Bingham & Garber, 1970; Zekri & Parsons, 1990), ma non tanto a fini applicativi quanto di indagine fisiologica. Tabatabaie *et al.* (2003) hanno confrontato varie combinazioni di trattamenti su pomodoro, in lana di roccia o in vasi di sabbia-ghiaia-perlite, evidenziando come in generale le rese maggiori fossero quelle delle tesi in cui almeno una delle due metà dell'apparato radicale era immersa in acqua dolce (incrementi fino al 200%). Le rese in tali tesi erano più o meno analoghe a quelle che si sarebbero avute dando solo acqua non salata ai pomodori, per via del fatto che la maggior parte dell'assorbimento idrico veniva operato dalla porzione di radici in acqua pura. L'immersione di metà dell'apparato radicale in acqua pura abbassava inoltre di molto l'incidenza di marciume apicale delle bacche, passando dal 38% al 12%. La tecnica appare quindi promettente, ma rimangono delle perplessità riguardo alla facilità di applicazione su ampia scala.

Le soluzioni che coinvolgono la gestione dell'acqua d'irrigazione sono pertanto assai numerose, e la ricerca può ampliare ancora di più la gamma di tecniche applicabili; è però necessario un certo discernimento per individuare la strategia più adatta al tipo di produzione che si intende attuare.

#### **D - Strategie di stampo prettamente agronomico**

Esistono numerose strategie di lotta allo stress salino caratterizzate dall'economicità e dalla facilità di messa in opera. Si tratta, nella maggior parte dei casi, di strategie di stampo prettamente agronomico, ovvero che prevedono l'impiego mirato di tecniche agronomiche tradizionali e consolidate, quali la pacciamatura, l'innesto e così via. Possiamo distinguerle, per comodità, tra tecniche che agiscono direttamente sulla pianta e tecniche che agiscono sul sistema suolo-pianta-aria. Le seconde sono quelle che meglio si prestano ad essere applicate nell'ambiente di serra: comunemente mirano a una riduzione della traspirazione, e quindi a limitare lo stato di siccità fisiologica determinato da condizioni di salinità. In ambiente protetto, per raggiungere l'effetto di una riduzione della traspirazione della coltura si può ricorrere all'ombreggiatura con

teli di plastica, che può presentare tuttavia l'inconveniente di un abbattimento eccessivo della radiazione solare (Lorenzo, 1996). Esistono vari studi sull'ombreggiatura fissa della serra (Willits, 2001; Miguel *et al.*, 1994) o sull'ombreggiatura interna mobile (Dayan *et al.*, 2000; Sanchez, 2002); di recente è stata sperimentata anche l'ombreggiatura mobile esterna, che ha dato su pomodoro risultati particolarmente interessanti, mostrando incrementi della *water use efficiency* fino al 62%, della RUE (*radiation use efficiency*) fino al 37%, abbattimento dell'incidenza di marciume apicale delle bacche fino all'80%, con una riduzione della radiazione lungo l'intero ciclo pari a circa il 36% (Lorenzo *et al.*, 2003).

Un'ulteriore tecnica di possibile applicazione è quella della riduzione di traspirazione tramite l'incremento dell'umidità dell'ambiente, sperimentata da Cohen *et al.* (2003) su rosa fuori-suolo, coltivandola sia a circuito aperto che a circuito chiuso: nel primo caso la traspirazione era ridotta del 25%, nel secondo del 20%. L'umidificazione mitigava il crollo di potenziale idrico fogliare dovuto all'elevata concentrazione della soluzione nutritiva, ma non causava effetti rilevanti sull'apertura stomatica delle foglie. Questo tipo di strategia va ad interessare direttamente la fisiologia della pianta, influenzando i suoi scambi idrici, ma presenta l'inconveniente di essere relegata strettamente all'ambiente di serra, poiché è impossibile agire sull'umidità atmosferica in pieno campo.

Prospettive interessanti, infine, vengono dall'impiego dell'innesto, una tecnica tradizionalmente usata nelle coltivazioni arboree. Questa tecnica si sta recentemente affermando anche nel settore ortivo, prevalentemente allo scopo di indurre resistenza ai patogeni (Biles *et al.*, 1989); è stato tuttavia in alcuni casi dimostrato come il portinnesto, modificando l'assorbimento e il trasporto di soluti al nesto, possa alterare le caratteristiche di quest'ultimo in termini di crescita e sviluppo (Turquois & Malone, 1996). Nei casi in cui un apparato radicale vigoroso ed efficiente venga innestato a una cultivar potenzialmente produttiva, ma dalle scarse capacità idriche, è possibile ottenere risultati soddisfacenti anche in condizioni di stress quali siccità o salinità (Ruiz *et al.*,



1997). Fernandèz-Garcia *et al.* (2003) mostrano come l'innesto di pomodoro cv. Fanny su cv. AR 9704 in idroponica abbatta i valori di conduttanza idraulica (L0), conduttanza stomatica ( $\text{mmol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) e del tasso di fotosintesi ( $\text{mmol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) nel nesto in condizioni non saline, ma come al contempo, qualora le piante siano allevate in salinità (NaCl 60 mM), l'innesto attenua invece l'abbattimento di tali parametri, a dimostrazione del fatto che l'innesto può aumentare la resistenza alla salinità tramite un miglioramento delle relazioni idriche e degli scambi gassosi.

### **1.7.2 – Strategie di tolerance**

Le strategie qua elencate mirano tutte a indurre maggior resistenza alla salinità nell'organismo vegetale operando direttamente sul suo metabolismo, così che la pianta possa far fronte a carichi salini più elevati in prossimità dell'ambiente rizosferico.

#### **A – Infezione micorrizica**

Un campo di ricerca particolarmente fecondo, stimolato in particolare da una recente maggiore sensibilità ecologica in agricoltura e dal bisogno di trovare soluzioni a basso costo per incrementare la produttività, è quello relativo ai cosiddetti “biofertilizzanti”. Sono così definiti tutti quei microrganismi che, in virtù di loro determinate qualità, quali la capacità di fissare l'azoto atmosferico, solubilizzare i fosfati del terreno, stimolare la crescita delle piante o incrementarne l'uptake di minerali, vengono sempre più spesso utilizzati come “fertilizzanti viventi”. Le agricolture di paesi in via di sviluppo sono quelle che possono beneficiare maggiormente di tali metodologie, e la ricerca è ivi particolarmente fervente.

Molti sono i tipi di microrganismi interessati da questo tipo di impiego: batteri azotofissatori, attinomiceti e alghe azzurre per fare qualche esempio. Ma quelli che sono stati più approfonditamente studiati, sia ai fini dell'incremento delle rese che dell'induzione di resistenza a stress biotici e abiotici sono i funghi

micorrizici. I funghi micorrizici sono in grado di formare associazioni simbiotiche con circa l'80% delle piante terrestri, e con la maggior parte delle piante di interesse agrario, all'interno di un ampio range di condizioni ambientali (Al-Karaki & Al-Raddad, 1997; Mosse, 1986). Si tratta di una simbiosi mutualistica, che prevede la colonizzazione delle radici della pianta ospite da parte del fungo micorrizico, il quale riceve fotosintati (che non sarebbe in grado di sintetizzare autonomamente) cedendo in cambio nutrienti minerali (il cui uptake risulta pertanto migliorato a beneficio della pianta). Questo migliore assorbimento di nutrienti può tra l'altro essere determinante all'interno di condizioni di stress abiotici quali salinità, siccità o scarsità di nutrienti (Barea, 1991; Mohammad *et al.*, 1995; Rosendhal & Rosendhal, 1991).

Questo incremento nell'assorbimento di nutrienti è permesso dall'abbassamento delle concentrazioni-soglia necessarie all'assimilazione (Bolan *et al.*, 1987)) e all'esplorazione di maggiori volumi di terreno, grazie all'espandersi delle ife fungine nella rizosfera (Rhodas & Gerdemann, 1980).

Partendo da queste premesse, i ricercatori sono andati a indagare l'effetto della simbiosi con funghi micorrizici come strategia per indurre resistenza alla salinità in specie agrarie. La resistenza viene indotta dal fungo micorrizico per mezzo di una discriminazione nell'assorbimento degli ioni disciolti nella soluzione circolante, e in particolare tramite il parziale bloccaggio di Na e Cl, e tramite il miglioramento delle condizioni osmotiche della pianta (Azcon, 1996).

Numerosi esperimenti mostrano come piante inoculate con funghi del genere *Glomus* subiscano, all'aumentare dello stress salino, diminuzioni di crescita, rese e qualità sensibilmente più modeste rispetto alle piante non inoculate (Al-Karaki & Hammad, 2001; Ruta *et al.*, 2002). Esistono inoltre prove a favore del fatto che livelli elevati di salinità non influiscano negativamente sul tasso di colonizzazione (Mergulhao *et al.*, 2001, su *Brachiaria humidicola*). A tal proposito, presentano una fitness ottimale ceppi fungini provenienti da suoli naturalmente salini: Copeman *et al.* (1996) confrontano su pomodoro ceppi del

genere *Glomus* provenienti da suoli salini e non salini, mostrando come i primi inibiscano maggiormente l'accumulo di Cl nei tessuti.

Altri microrganismi-chiave nel migliorare la resistenza delle piante agli stress biotici e abiotici sono gli azotofissatori, in natura spesso associati alle micorrize: prove sono state condotte sia per confrontare l'efficienza dei due diversi microrganismi nell'indurre resistenza alla salinità, sia per evidenziare eventuali interazioni.

Ahmed (1996) mostra come, su *Vicia faba*, l'inoculazione sia di *Rhizobium* che di funghi micorrizici limitino significativamente i danni dovuti alla salinità.

Baker *et al.* (1995) hanno indagato le interazioni tra funghi micorrizici e batteri azotofissatori, inoculando contemporaneamente entrambi i microrganismi su *Prosopis juliflora* (Swartz): è emerso come la micorrizzazione faciliti la colonizzazione da parte degli azotofissatori, fino a incrementi del 56% nel tasso di nodulazione. Simili osservazioni (la nodulazione favorita dalle VAM) erano già state fatte in precedenza (Barea *et al.*, 1992); il fenomeno è attribuibile al miglior assorbimento dello ione fosfato da parte della pianta micorrizzata, in quanto l'azotofissazione può essere ridotta da carenza di P (Becker *et al.*, 1991). L'effetto del P viene mostrato dalla differente risposta dei due tipi di microrganismi all'interferenza della concimazione: a seguito della somministrazione di alte dosi di superfosfato, infatti, mentre il tasso di nodulazione si alzava significativamente, l'infezione micorrizica ne veniva abbattuta (Ahmed, come sopra). Questo dimostra come, accostandosi all'uso di microrganismi come biofertilizzanti per l'agricoltura, non si possa prescindere da un'attenta valutazione delle loro interazioni reciproche e con le altre operazioni colturali.

## **B - Impiego di genotipi tolleranti**

Una tradizionale risposta dell'uomo al problema degli stress biotici e abiotici in agricoltura (tra i più presenti proprio quello della salinità) è sempre stata il ricorso a specie e cultivar che a tali stress presentassero una tolleranza spiccata.

Questa “forma mentis” ha portato storicamente a una caratterizzazione delle diverse aree geografiche del mondo in base a quelle che ne erano le colture tipiche, scelte tra le più “adatte” alle condizioni ambientali della zona, e spesso tale fenomeno ha influito sul destino economico e sociale di un paese.

La ricerca scientifica ha una lunga tradizione di studio in questo campo: esiste una ricca letteratura sul tema del confronto varietale in orticoltura (Saneoka *et al.*, 1993; Alarcon *et al.*, 1994, Alian *et al.*, 2000; Shalata *et al.*, 2001).

I confini di tale strategia sono tuttavia marcati, perché la variabilità genotipica offerta dalla natura non è illimitata. Nel caso della salinità, ad esempio, esistono specie (quali la fragola, la carota, il fagiolo) molto sensibili e prive di varietà tolleranti: per esse la coltivazione non è possibile in determinate zone.

L’affermarsi in tempi recenti delle nuove tecniche di biologia molecolare permette di ottenere e sperimentare nuovi genomi, inducendo mutazioni programmate o trasferendo le caratteristiche desiderate (quali ad esempio la resistenza ad un determinato stress) da certi organismi ad altri, che possono anche essere filogeneticamente molto lontani dai primi. La variabilità genotipica ottenibile in questo caso è potenzialmente illimitata, orientando le ricerche nella direzione che interessa a seconda del problema da risolvere, e non sono mancati i tentativi nel campo della salinità.

Nonostante esistano molte ricerche nell’ambito della tolleranza delle colture al sale, sono stati rari i casi in cui si sono sviluppate cultivar tolleranti, a causa della complessità del problema. La tolleranza al sale è infatti un fenomeno la cui regolazione genica è stadiospecifica e poligenica: da uno stadio ontogenetico all’altro cambia il pattern di espressione genica che è alla base della tolleranza (Foolad, 2004). Non mancano tuttavia casi in cui l’induzione di resistenza è veicolata da uno o pochi geni: pomodori transgenici in cui era espresso il singolo gene per una proteina che controlla il trasporto di  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  attraverso il vacuolo, trasferito da *Arabidopsis thaliana*, hanno mostrato alti livelli di tolleranza al sale, fino a concentrazioni di 200 mM NaCl (Zhang & Blumwald, 2001); il trasferimento del medesimo gene ha dato inoltre risultati positivi anche su

*Brassica napus* (Zhang *et al.*, 2001); il trasferimento di geni codificanti per la produzione e l'accumulo di trealosio (uno zucchero raro presente in numerosi funghi, batteri e piante superiori resistenti all'essiccamento) promette induzione di tolleranza alla salinità in varie specie ortive (Penna, 2003). I risultati fino ad ora non sono stati comunque incoraggianti, in base anche a quanto riferiscono Kuklev *et al.* (2003).

### **C – Impiego di regolatori di crescita**

L'orticoltura moderna è strettamente legata all'uso di agrochimici quali fertilizzanti, prodotti per la difesa e regolatori di crescita, tra cui gli ormoni. Gli ormoni sono sostanze chimiche che agiscono sulla crescita e sullo sviluppo della pianta, alterando o correggendo specifici comportamenti fisiologici (Reinecke & Bandurski, 1990).

Un gran numero di regolatori di crescita è oggi usato in orticoltura: molti di essi influenzano le attività enzimatiche quali quelle che presiedono all'assimilazione di azoto e all'assorbimento dei minerali. Quest'ultimo effetto può essere positivamente sfruttato nell'induzione di resistenza alla salinità del mezzo permettendo un assorbimento più equilibrato, che può prevenire l'insorgenza di disordini fisiologici.

Indurre un incremento nell'elaborazione e nell'attività di un enzima può tuttavia, a seconda dei casi, rivelarsi controproducente, e addirittura peggiorare le performance della pianta trattata. La conoscenza incompleta dei rapporti di causa-effetto che si innescano a seguito della somministrazione di diversi fitoregolatori fa sì che a tutt'oggi la ricerca vada per tentativi, registrando talvolta risultati poco incoraggianti.

Tra gli ormoni vegetali, la classe di composti più studiata nell'ottica dell'applicazione alle colture è quella delle auxine, legate ai fenomeni di distensione, divisione e differenziamento cellulare: si è indagato l'effetto sia delle forme naturali, quali l'acido indolacetico (IAA), sia quello dei composti di

sintesi, quali l'acido indolbutirrico, l'acido naftalenacetico e il 2,4 D (Hedden & Hoad, 1994).

Salas *et al.* (2003) hanno studiato l'effetto dell'acido indolbutirrico allo 0,4% (Exuberone) su melone in condizioni saline, ottenendo risultati poco interessanti. L'unico effetto dell'applicazione di IBA è stato infatti un'accelerazione della fioritura, mentre crescita, rese e qualità non hanno mostrato nessuna differenza rilevante tra il controllo e le due tesi trattate, che prevedevano l'impiego del prodotto a 0,5 l/ha e 1,0 l/ha.

Risultati più promettenti si sono avuti col Paclobutrazolo (PBZ). Questo composto è un inibitore della biosintesi di gibberelline, e funge pertanto da ritardante della crescita. E' già stato sperimentato con successo su soia verde riducendo l'uptake di Na e Cl (Saha & Gupta, 1998); su cotone, mitigando lo stress salino e inducendo tolleranza (Shen *et al.*, 1996); su pesco, riducendo lo stress salino (El-Khashab *et al.*, 1997). Banòn *et al.* (2003) hanno studiato gli effetti della somministrazione di Paclobutrazolo (PBZ) per ridurre gli effetti dello stress salino su *Rhamnus alaternus*, confrontando piante in vaso irrigate con acqua a salinità 70 e 140 mM NaCl, trattate o meno con 30 mg di PBZ. Le piante trattate con PBZ sono risultate mediamente più piccole, con minor incidenza di filloptosi e necrosi apicali e marginali, soprattutto nella tesi a 140 mM (si sono avute riduzioni massime dell'80% dell'incidenza dei sintomi). La somministrazione di PBZ ha provocato inoltre un aumento del contenuto relativo in clorofilla per entrambe le salinità, e un incremento della conducibilità stomatica da 37,2 a 72,3 (doppia)  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a 70 mM NaCl, e da 47,8 a 68,0 (+ 40%) a 140 mM NaCl. Il contenuto di sali nelle acque di lisciviazione era infine più alto per le piante trattate con PBZ, a suggerire che la presenza di questo composto renda meno disponibili i sali (in particolare gli ioni Na e Cl) all'assorbimento da parte della pianta.

## **D – Applicazione di sali di Si**

Il Silicio non è un nutriente fondamentale per le piante, tuttavia non mancano i lavori che dimostrano l'utilità della sua somministrazione nell'indurre effetti benefici nelle specie coltivate.

Nella maggior parte dei casi, tali effetti si originano dal rinforzo meccanico delle pareti cellulari a seguito della deposizione di Si in forma di silice amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ ) e fitoliti (Inanaga & Okasaka, 1995; Epstein, 1999), con vantaggi derivanti che possono essere vari: piante più rigide ed erette hanno una migliore ricezione della luce, e di conseguenza maggiori rese (Yoshida *et al.*, 1969; Rafi & Epstein, 1997); la maggior resistenza meccanica dei tessuti può renderli più resistenti ad attacchi di insetti e di patogeni sia batterici che fungini (Adatia & Besford, 1986; Menzies *et al.*, 1991); in alcuni casi è stata dimostrata anche induzione di resistenza ai metalli pesanti (Barcelo *et al.*, 1993; Iwasaki *et al.*, 2002).

Per quanto riguarda l'interazione tra Si e stress salino, esistono in letteratura lavori che dimostrano come la somministrazione di dosi aggiuntive del microelemento migliorino le performances fisiologiche e produttive della pianta (Bradbury & Ahmad, 1990; Liang *et al.*, 1996, Stamatakis & Papadantonakis, 2003), ma rimane aperta la discussione sui meccanismi coinvolti nell'esprimersi di tali effetti. A tal proposito è stato teorizzato che il Si, depositandosi nelle foglie, limiti la traspirazione e quindi l'accumulo di sali (Matoh *et al.*, 1986), o ancora che eserciti un effetto complessante ai danni del Na a livello delle radici (Ahmad *et al.*, 1992). Una spiegazione alternativa è stata proposta da Yeo *et al.* (1999), che ha saggiato l'effetto del Si su riso allevato in salinità. È stato visto come il Si limitasse l'assorbimento di Na nella pianta senza per questo ridurre il volume di traspirazione: ciò ha portato ad escludere un'influenza del Si sui ritmi di assorbimento idrico (è stato visto anzi come in sua presenza il grado di apertura stomatica incrementasse).

La spiegazione che è stata data è che la presenza di Si limiti il *bypass flow* (la percentuale del volume di traspirazione che attraversa la radice per via apoplastica): a questa conclusione si è giunti confrontando l'uptake di Na con

quello di un tracciante apoplastico (PTS). Si tratterebbe quindi di un bloccaggio parziale e specifico dell'assorbimento ionico radicale: non è tuttavia ancora ben chiaro se si tratti di uno specifico ostacolo all'ingresso di Na o un generale abbattimento del flusso apoplastico. A sostegno della seconda ipotesi ci sono una serie di calcoli (Yeo *et al.*, 1987; Garcia *et al.*, 1997) che dimostrano come il *bypass flow* veicoli una quota molto piccola del volume traspiratorio totale, ma sia al contempo responsabile di un afflusso di ioni sufficiente, in casi estremi, a indurre tossicità.

Quale che sia la spiegazione giusta, rimane il fatto importante che l'azione del silicio, riducendo lo stress salino senza limitare la traspirazione, può permettere la coltivazione in condizioni di salinità senza influenzare le rese.

## **1.8. Osmoregolazione e soluti compatibili**

Uno dei meccanismi per migliorare la tolleranza delle piante agli stress idrici e salini è quello di abbassare il potenziale osmotico incrementando la concentrazione delle soluzioni cellulari.

L'adattamento osmotico coinvolge alcuni soluti detti soluti compatibili (o osmoliti compatibili). Questi costituiscono un piccolo gruppo di composti organici chimicamente diversi, altamente solubili e che non interferiscono con il metabolismo cellulare anche ad alte concentrazioni.

La sintesi e l'accumulo di osmoliti organici sono largamente diffusi nelle piante: si conoscono la prolina, la glicinbetaina, gli zuccheri alcolici come il sorbitolo e il mannitolo o il "comune" saccarosio. In genere, una famiglia vegetale ne accumula nel citosol e, negli organelli, uno o due, utilizzando per la loro sintesi una quantità di carbonio pari anche al 10% del peso della pianta (Taiz and Zeiger, 2001). Il ruolo di queste sostanze sopra menzionate sembra essere anche quello di proteggere attivamente l'integrità degli organelli e la



funzionalità dei processi metabolici in condizioni di stress (Rajasekaran *et al.*, 1997).

## **Il Chitosano**

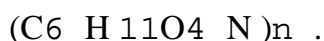
Dal punto di vista storico, la chitina, precursore del chitosano, fu isolata per la prima volta dai funghi dallo studioso francese H. Braconnot nel 1811. Pochi anni dopo fu scoperta anche nelle corazze di insetti. Essa è costituita da una lunghissima catena formata da unità di N- acetil- D- glucosammina e costituisce la fibra più abbondante in natura dopo la cellulosa, alla quale somiglia sotto diversi aspetti. La chitina viene oggi ottenuta principalmente dal guscio (esoscheletro) dei crostacei, in particolare granchi e gamberi, per un ammontare di 50 000 tonnellate all'anno.

Il chitosano, invece, fu scoperto per caso dal prof. C. Rouget nel 1859 mentre cercava di produrre un sapone naturale bollendo la chitina in alcali: dopo ebollizione, infatti, si liberano per deacetilazione i gruppi amminici ottenendo il chitosano vero e proprio.

Il fiorire della ricerca nel campo dei prodotti sintetici fece poi abbandonare gli studi su questi derivati naturali, e solo dopo il 1970 l'attenzione degli studiosi si è rivolta nuovamente a questo settore.

Il chitosano è un polisaccaride naturale molto importante, non tossico biodegradabile, chimicamente definibile come un omopolimero lineare costituito da unità di B (1,4) 2 - ammino - 2 - deossi - D glucosio ( D - glucosammina) con configurazione tridimensionale ad  $\alpha$ - elica stabilizzata da legami idrogeno intramolecolari.

La formula chimica del chitosano è la seguente :



Sotto il termine di chitosano rientrano tutta una serie di polimeri a differente peso molecolare (50 Kda - 200 Kda), viscosità e grado di deacetilazione (40% - 98%).

Il chitosano è un biopolimero idrofilo, ottenuto industrialmente tramite un trattamento alcalino, dalla parziale deacetilazione della chitina, ma è anche

naturalmente presente come tale in alcuni organismi ed in alcuni funghi come il lievito.

Come già detto, il chitosano può avere un grado di deacetilazione variabile, ma in genere le unità deacetilate del prodotto reperibile in commercio rappresentano il 70 - 80 % del totale, mentre nella chitina soltanto il 15 % è deacetilato.

Dopo la deacetilazione della chitina, il chitosano si presenta come una poliammina lineare, i cui gruppi amminici sono predisposti a reazioni chimiche e in particolare alla reazione con acidi, sia organici che inorganici, che porta alla formazione di sali.

Questa proprietà è dovuta al fatto che il chitosano, che è insolubile a pH neutri ed alcalini ed in alcuni solventi organici, è invece solubile in acidi. A questi valori di pH, infatti, il gruppo amminico del polimero viene protonato ed il polisaccaride così ottenuto, carico positivamente, si salifica con l'acido utilizzato, che può essere, per esempio, l'acido glutammico, l'acido cloridrico, l'acido lattico o l'acido acetico. La forma salificata più frequentemente adoperata è quella di sale glutammato o di sale cloridrico.

E' proprio questa capacità dei gruppi amminici di protonarsi, caricandosi positivamente, che conferisce a questo polimero le sue peculiari attività.

I sali di chitosano sono solubili in acqua, anche se il grado di solubilizzazione dipende dal grado di deacetilazione (e quindi dal valore di pka del chitosano) e dal pH della soluzione stessa.

Il chitosano con un basso grado di deacetilazione, ossia intorno al 40%, è solubile a valori di pH inferiori a 9, mentre il chitosano con un grado di deacetilazione più elevato, ossia intorno all'85% , è solubile solo a valori di pH inferiori a 6,5.

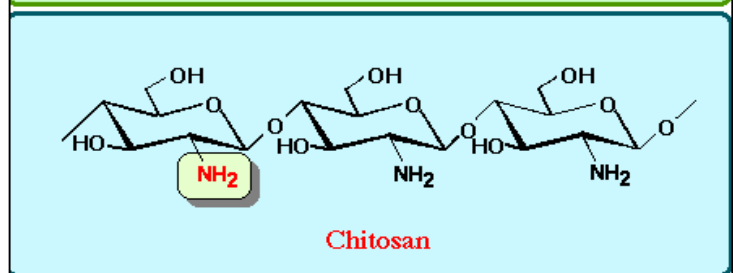
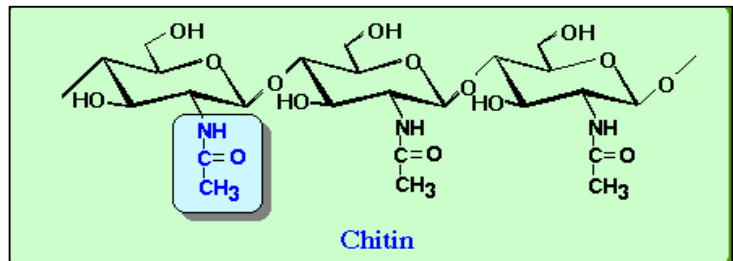
La solubilità del chitosano è inoltre influenzata dall'addizione di sali alla soluzione: maggiore è la forza ionica della soluzione (e ciò accade aggiungendo elettroliti alla soluzione), minore è la solubilità.

Il grado di deacetilazione influisce anche sulla viscosità di una soluzione di chitosano, in quanto ne determina la conformazione: un elevato grado di deacetilazione, che implica che le molecole siano molto cariche, conferisce al

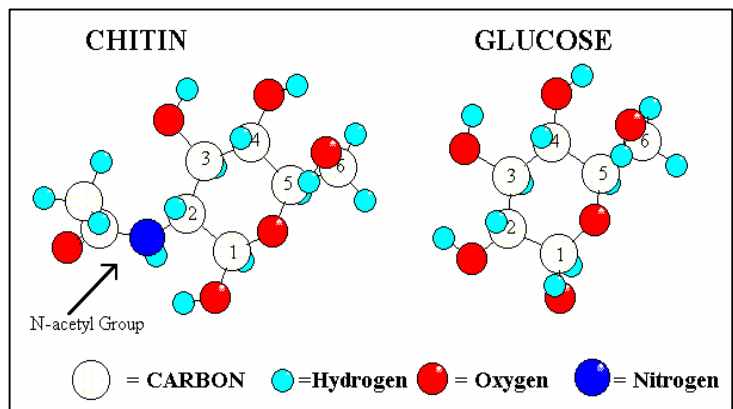
chitosano una conformazione allungata e quindi molto flessibile, che si traduce in un aumento della viscosità; un grado di deacetilazione inferiore, invece, implica che le molecole siano meno cariche, e quindi assumono una forma “a bastone” o attorcigliata che provoca una diminuzione della viscosità.

La viscosità di una soluzione di chitosano è anche direttamente proporzionale alla concentrazione stessa del chitosano nella soluzione, ed inversamente proporzionale alla temperatura adottata.

Data la sua carica positiva, il chitosano reagisce con i polianioni di carica opposta o con composti come l'aldeide glutarica, formando un gel. Ed è proprio questa sua caratteristica “gelificazione” che ne ha permesso l'uso con successo nell'ambito del rilascio controllato dei farmaci.



Formula chitina e chitosano  
<http://dalwoo.com/chitosan/structure.htm>



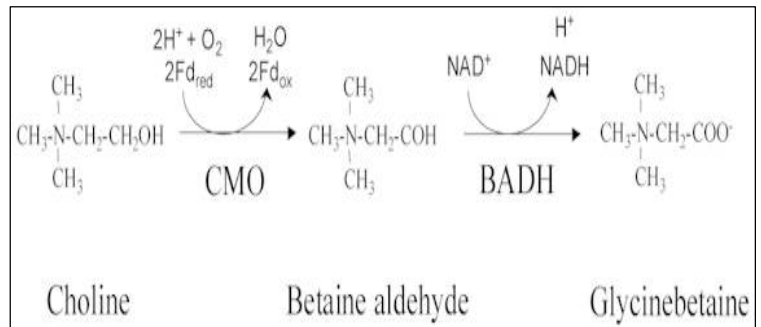
Comparazione chitina e glucosio da  
<http://dalwoo.com/chitosan/structure.htm>

La presenza di questa carica positiva, inoltre, permette al chitosano di reagire fortemente con la superficie negativa di molti minerali, e di chelare gli ioni metallici grazie al residuo del gruppo amminico. Questa proprietà viene sfruttata spesso per la separazione dei metalli di transizione, come il cobalto, la cui purificazione, infatti, potrebbe in futuro avvenire proprio grazie all'uso di questo

biopolimero. Altra importante proprietà del chitosano è quella di provocare la flocculazione e la ridispersione di una dispersione di lipidi quando questa viene aggiunta ad una soluzione del polimero.

## La glicinbetaina

La glicinbetaina è uno di quei soluti compatibili (come prolina, mannitolo, saccarosio, etc.) che si accumulano nel citosol e che permettono alla cellula di mantenersi turgida più a lungo rispetto a quanto ci si aspetterebbe date le condizioni ambientali.



Biosintesi della glicinbetaina nelle piante (da Mickelbart *et al.* 1999)

In particolare, la glicinbetaina può essere somministrata per via fogliare da dove viene traslocata agli altri organi della pianta svolgendo un duplice effetto:

- il primo consiste in un abbassamento del potenziale idrico, diretta conseguenza della diminuzione del potenziale osmotico, che induce il richiamo di un supplementare volume d'acqua dal suolo. L'entità di tale volume d'acqua assorbito è comunque poco rilevante (Taiz and Zeiger, 1991);
- il secondo e principale meccanismo d'azione consiste in un rallentamento del flusso di traspirazione. Questo si determina a seguito dell'aumento della concentrazione dei soluti cellulari, con conseguente diminuzione di acqua libera. L'effetto che si ha è un abbassamento della tensione di vapore e quindi una più lenta evaporazione dell'acqua, per cui la glicinbetaina è da intendere non tanto come un mezzo

per incrementare l'assorbimento, quanto un mezzo per rallentare il processo della traspirazione.

Se consideriamo due piante, di cui solo una trattata, e ipotizziamo le possibili differenze tra le rispettive efficienze di traspirazione in differenti momenti, si può supporre che in un primo momento, in cui lo stress salino non è ancora molto spinto, il controllo (tesi non trattata) traspirerà con una intensità maggiore rispetto alla pianta trattata per cui la sua efficienza di traspirazione sarà minore.

E' fondamentale sottolineare che pur essendo vero, in termini generali, che una maggiore traspirazione porta ad un maggiore sviluppo, nel nostro caso, tale principio non è valido in quanto la diminuzione della traspirazione non implica una riduzione nell'assimilazione di CO<sub>2</sub>. Di conseguenza, in questa prima fase, la pianta trattata assimilerà un uguale quantitativo di CO<sub>2</sub> traspirando meno acqua; in un momento successivo, è lecito supporre che il controllo metta in azione i meccanismi di resistenza allo stress prima della pianta trattata, in seguito alla maggiore quantità di acqua persa.

Nella pianta trattata con glicinbetaina, infatti, aumentando la concentrazione dei soluti all'interno del plasmalemma si assiste ad un abbassamento del potenziale idrico. Ciò induce un più lento flusso d'acqua attraverso la pianta e quindi in ultima analisi una diminuzione della sensibilità allo stress salino.

Diversi autori hanno studiato la funzione osmoprotettrice della glicinbetaina nei confronti degli stress idrici, salini e da freddo (Jones and Gorham 1983; Kishitani et al., 1994; Xing and Rajashekar, 2001). Nel caso di stress da alte temperature il calo di fluorescenza della clorofilla è stato meno evidente nelle piante in grado di accumulare GB rispetto a quelle GB deficienti (Mikelbart *et al.* 1999). Risulta, inoltre, che la glicinbetaina rientra nei processi di stabilizzazione dell'ossigeno del complesso Fotosistema II (Murata *et al.* 1992), nella sintesi dell'ATP (Mamedow *et al.*, 1991) e nel mantenere l'integrità delle membrane cellulari e di altre componenti macromolecolari (Zhao *et al.* 1992).

Le sue capacità protettive sotto condizioni di stress hanno stimolato lo studio di numerosi metodi per incrementare l'accumulo o l'ereditabilità di questa

sostanza in specie come sorgo (Grote *et al.* 1994) mais (Brunk et al. 1989) ed orzo (Grumet and Hanson, 1986). Altre ricerche hanno interessato il trasferimento, attraverso l'ingegneria genetica, del ciclo della glicinbetaina nelle specie glicinbetaina-deficienti (McCue and Hanson 1992).

## 2. I TAPPETI ERBOSI

I tappeti erbosi costituiscono un particolare tipo di coltura agraria dove il prodotto non è ciò che si asporta, ma ciò che rimane sul campo (Cereti, 1993). Le piante da tappeto erboso formano una copertura vegetale variamente continua che persiste in condizioni regolari di taglio e calpestamento. La comunità interconnessa di piante da tappeto erboso ed il suolo aderente alle loro radici ed altri organi sotterranei, forma il tappeto erboso (Turgeon, 1985).

Si tratta di colture in espansione nei paesi a sviluppo economico avanzato dove forniscono un luogo idoneo alla pratica di sport così come a momenti di riposo, oppure volte alla valorizzazione di complessi monumentali, architettonici o residenziali, oppure volti a funzioni meramente tecniche (controllo dell'erosione, copertura di scarpate, di piste da sci, inerbimento margini delle piste aeroportuali, assorbimento del rumore o della polverosità, ecc.).

Dal punto di vista storico, i tappeti erbosi si diffusero dapprima in ambienti reali e aristocratici, alla fine del XVIII secolo, quando l'architetto André LeNotre disegnò piccole aree a prato tra i giardini del Palazzo di Versailles. Il gradevole effetto estetico di queste coperture fu apprezzato dalla nobiltà inglese, che non esitò ad importare questo modello di giardino in Inghilterra. I colonialisti inglesi esportarono in seguito i tappeti erbosi negli Stati Uniti, nel tentativo di rendere quelle terre selvagge più simili al "vecchio mondo". L'architetto Lancelot Brown creò così migliaia di acri di magnifici parchi. I primi tappeti erbosi domestici sorsero nel 1868, quando Law Olmsted ebbe l'incarico di disegnare il quartiere di Riversdale, alla periferia di Chicago (Pollan, 2000).

Al giorno d'oggi negli Stati Uniti le superfici ricoperte con prati erbosi sono stimate in circa 18 milioni di ettari (Balogh et. al., 1992). Il 70% di questa enorme superficie, è occupato dai prati intorno alle abitazioni, il 10% da parchi cittadini, il 9% da percorsi di golf, il 9% da strutture educative, il 2% da chiese e cimiteri. Negli USA i problemi connessi ai tappeti erbosi assumono anche un elevato interesse politico, per il loro contributo al raggiungimento della tranquillità psicologica,

una delle più forti aspirazioni dell'uomo moderno (Hull, 1990; Roberts, 1990). Altri Paesi dove si registra una forte diffusione dei tappeti erbosi sono l'Australia (180.000 ettari), la Gran Bretagna (110.000 ettari), la Nuova Zelanda (100.000 ettari) ed il Canada (Aldous, 2000). Nell'Europa continentale i tappeti erbosi sono più diffusi in Francia e Germania. In Italia, negli ultimi anni, si sta manifestando un certo interesse nei confronti del tappeto erboso, non solo ad uso sportivo ma anche tecnico e ricreativo. Questa crescente attenzione non è però ancora supportata da un'adeguata attività di ricerca condotta a livello nazionale (Cereti, op. cit.) Grazie alla loro crescente espansione, la coltivazione dei tappeti erbosi sta assumendo una rilevante importanza economica. Negli USA la spesa per la costruzione di nuovi prati e il mantenimento di quelli esistenti, è stimata in circa 25 miliardi di euro. Questa spesa è assorbita per il 68% dai tappeti erbosi ad uso domestico, per il 26% da parchi, scuole, autostrade, cimiteri e per il 6% dai percorsi di golf (Balogh et. al., op. cit.). Il comparto dei tappeti erbosi è quello in massima espansione nell'agricoltura americana; in alcuni stati USA esso è ormai la prima o seconda fonte di reddito del settore agricolo. Negli USA lavorano nel comparto più di 500.000 persone. (Grounds Maintenance, 1996).

Le finalità per cui si coltivano i tappeti erbosi sono molto diverse tra di loro e caratterizzate da differenti livelli di input. Si distinguono tappeti erbosi:

**ornamentali:** vi rientrano i prati di prestigio e di rappresentanza, con funzione, quindi, prevalentemente estetica. Generalmente sono tagliati ogni tre giorni, concimati, irrigati e diserbati frequentemente;

**ricreativi:** offrono momenti di riposo e contribuiscono ad incrementare la qualità della vita. Sono generalmente tagliati ogni tre o quattro giorni, fertilizzati una o due volte all'anno, irrigati e diserbati quando necessario;

**sportivi:** costituiscono il luogo idoneo allo svolgimento di attività sportive, contribuendo a ridurre l'incidentalità del sito. I livelli di mantenimento sono, in genere, molto elevati. Necessitano di cure continue per rimediare ai danni provocati dal calpestamento;

**tecnici:** in genere non subiscono calpestamento e non devono avere necessariamente



nte un elevato valore estetico. livelli di input sono pertanto bassi: taglio una o due volte l'anno, concimazioni saltuarie, assenza di irrigazione e di controllo delle erbe infestanti (Panella et. al., 2000).

## 2.1. Specie da tappeto erboso

Le specie adatte ad essere usate per costituire tappeti erbosi appartengono quasi esclusivamente alla famiglia delle Gramineae (graminacee), originatasi circa 70 milioni di anni fa, nel periodo Cretaceo dell'era Mesozoica. L'evoluzione di questa famiglia ebbe un particolare impulso nel Miocene, durante il quale si differenziò anche la famiglia animale dei Bovidae. La selezione naturale determinò lo sviluppo di specie adatte a sopravvivere all'azione di pascolo degli animali, favorendo di fatto piante con internodi corti e/o habitus strisciante.

Nell'ambito delle Graminae, le sottofamiglie a cui appartengono le specie adatte a costituire tappeti erbosi, sono le sottofamiglie Festucoideae, Eragrostidae e Panicoideae. Alle Festucoideae appartengono le specie comunemente chiamate microrterme, in quanto l'optimum di temperatura è compreso tra i 16 e i 25 °C (Turgeon, 1985). Tra queste le specie interessanti per costituire tappeti erbosi rientrano nelle tribù:

**Agrostideae:** l'infiorescenza è a panicolo, raramente a racemo, a volte stretto e simile ad una spiga; le spighe sono, in genere, perfette e uniflore; l'articolazione è di solito sopra le glume, che non sono ridotte. I generi più interessanti sono *Agrostis*, *Ammophila* e *Phleum*;

**Festuceae:** l'infiorescenza è un panicolo od un racemo, a volte stretto e simile ad una spiga; le spighe hanno due o più fiori. Sono interessanti i generi *Bromus*, *Festuca* e *Poa*;

**Hordeae:** l'infiorescenza consiste di una o più spighe simmetriche; l'articolazione è sopra le glume o con il rachide a volte disarticolato. Sono interessanti i generi *Agropyron* e *Lolium*.

Ai generi appena indicati appartengono circa venti specie utilizzabili come essenze da tappeto erboso. Tuttavia, le specie di primario interesse sono soltanto sei: *Lolium perenne* L., *Poa pratensis* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Festuca rubra* ssp., *Agrostis stolonifera* L. e *Agrostis tenuis* Sibth.

Alle sottofamiglie Eragrostidae e Panicoideae appartengono invece le specie comunemente chiamate macroterme, con optimum di temperatura tra i 25 e i 35 °C, originatesi in regioni a clima caldo, sia umide che aride (Panella et al., 2000). Nella sottofamiglia Eragrostidae si distinguono le tribù:

Chlorideae: vi appartengono i generi *Cynodon*, *Bouteloua*, *Buchloe*. Tra questi la specie più importante è sicuramente *Cynodon dactylon* (L.) Pers. diffusissima come infestante ma di cui sono state selezionate varietà, ibride e non, adatte all'utilizzo come tappeto erboso.

Zoysiae: cui appartiene il genere *Zoysia*, dove spiccano le specie *Z. japonica* Steud., *Z. matrella* (L.) Merr., di ampia diffusione come tappeti erbosi in svariati Paesi a clima caldo, soprattutto laddove è richiesta una elevata resistenza al calpestamento.

Alla sottofamiglia Panicoideae invece rientrano le tribù:

Paniceae: generi *Paspalum*, *Stenotaphrum*, *Pennisetum* e *Axonopus*. Le specie più importanti per l'utilizzo da tappeto erboso sono *Paspalum vaginatum* Swartz., usato soprattutto in ambienti ad elevata salinità, e *Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze, favorito laddove siano minimi gli input destinati alla coltura.

## **Specie microterme**

Le specie microterme impiegate per realizzare tappeti erbosi sono circa venti ed appartengono per la maggior parte ai generi *Agrostis*, *Festuca*, *Lolium* e *Poa*; possono essere impiegate sia in purezza che in miscugli e/o blend, per favorire un più rapido insediamento ed una maggior resistenza agli stress ambientali.

Tali specie sono adatte ad un clima freddo-umido, mal tollerano le alte temperature e la siccità. Presentano una crescita ottimale tra i 16°C ed i 25°C, con due picchi di crescita, più elevato in tarda primavera (Maggio) e più ridotto in autunno.

Fra le altre caratteristiche si annoverano la propagazione principalmente per via sessuale (seme), la crescita tendenzialmente eretta, l'apparato radicale poco profondo, la buona resistenza al logorio, la media suscettibilità a malattie e la buona tolleranza all'attacco di insetti.

Tradizionalmente, per la costituzione dei tappeti erbosi, in Italia vengono impiegate principalmente queste specie, soprattutto per la facile reperibilità del seme (Croce et al, 1999). Queste specie nelle stagioni intermedie ed in inverno, si adattano ottimamente ai nostri climi, mentre nel periodo estivo, per evitare il disseccamento della parte epigea, è indispensabile l'irrigazione con notevoli oneri finanziari e destinazione non sempre corretta delle risorse idriche (Volterrani et al., 1996).

Un confronto varietale condotto a Pisa nel biennio 1994-1995, su graminacee microterme da tappeti erbosi, ha mostrato che anche nel periodo estivo, alcune varietà di *Lolium* perenne e di *Poa pratensis* e, soprattutto, tutte le varietà di *Festuca arundinacea*, con particolare preferenza per quelle a foglia fine come 'Armindà', 'Barfielix' e 'Silverado', mostrano un aspetto estetico generale più che soddisfacente (Volterrani et al., 1997c). L'adattamento ottimale all'ambiente di prova di quasi tutte le varietà di *Festuca arundinacea* fa auspicare una sua maggiore diffusione in considerazione anche della elevata resistenza al calpestamento, alle malattie, ai suoli acidi e della bassa suscettibilità alla formazione del feltro (Volterrani et al., 1997b).

## **Genere Puccinellia**

Il genere Puccinellia, è originario delle zone costiere sabbiose dell'America, soprattutto nelle zone temperate a clima mite marittimo, adattandosi bene al clima Mediterraneo. Attualmente una sola specie è impiegata nei tappeti erbosi: Puccinellia distans

### ***Puccinellia distans***

La Specie Puccinellia distans. è un' alofita microterme, ed è nota anche con il sinonimo di *Atropis distans* ma in Italia è conosciuta come Gramignone delle argille. è un' alofita microterma.

È nativa degli Stati Uniti occidentali e del nord-est, dove è stata classificata e consigliata per la prima volta come specie da tappeto erboso adatta ad essere irrigata con acque salmastre (Pace and Johnson, 2002 ).

In suoli costituzionalmente salini, oppure soggetti allo spargimento di sale durante l'inverno per prevenire la formazione del ghiaccio, o ancora in prossimità di zone costiere, è necessario disporre di specie con una particolare resistenza a tali condizioni di coltivazione e Puccinellia distans è una di queste, e può produrre tappeti erbosi attraenti a tessitura medio-fine. L'habitus di crescita è cespitoso, tollera il taglio regolare ma mantiene un eccellente aspetto estetico anche se non viene tagliata.

La *Puccinellia distans* è una specie che sembra avere un'alta tolleranza alla salinità se coltivata in terreni sodici o in colture idroponiche ricche in NaCl (Tarasoff, 2004).

Si sviluppa in terreni argillosi e in terreni sabbiosi. Comincia lo sviluppo in maggio e giugno e continua durante l'estate presentando, comunque, una buona tolleranza al freddo.

Specie perenne, non stolonifera che forma un buon manto erboso, le foglie sono verde scuro. È stata consigliata per il recupero e la stabilizzazione del bordo stradale, viene utilizzata in aree dove per l'irrigazione si fa uso di acqua di bassa

qualità o riciclata. Fino ad oggi la varietà “FULT” ha dato i risultati migliori (Marcum, 2006).

## **Genere Poa**

Il genere Poa, comprendente il gruppo più noto delle essenze da tappeto erboso, tra cui *Poa pratensis*, *Poa trivialis* e *Poa annua*, è originario dell'Europa e dell'Asia, ma si è diffuso nelle zone fredde-umide e di transizione del globo.

### ***Poa pratensis***

E' la specie più importante di questo genere ed è soggetta ad un continuo miglioramento genetico volto alla produzione di cultivar di grande adattabilità e qualità.

### Caratteristiche

La tessitura è media, la densità buona ed il colore è un caratteristico verde-blu.

La grande vigoria dei rizomi permette un buon potenziale di recupero ed una buona resistenza al logorio. La velocità di insediamento è bassa e la resistenza all'ombreggiamento è scarsa.

### Possibilità di impiego

La buona qualità complessiva, assieme alla resistenza al logorio ed al buon potenziale di recupero, rendono *Poa pratensis* la specie maggiormente impiegata nel settore dei tappeti erbosi ad uso sportivo; è infatti tipicamente adottata nei campi da calcio e nei fairway dei campi da golf, dove il suo insediamento non avviene in purezza, ma in miscuglio con *Lolium perenne*. E' possibile impiegare questa specie anche per tappeti erbosi ornamentali di qualità.

### Pratiche culturali richieste

Il grado di manutenzione varia da medio a medio-alto. L'altezza di taglio deve essere compresa tra 25 e 30 mm ed il fabbisogno di azoto è pari a circa 20-40 kg/ha ogni 30 giorni di crescita.

## **Genere Festuca**

Originario dell'Asia e dell'Europa, conta un centinaio di specie di cui solamente cinque o sei hanno interesse nel settore dei tappeti erbosi. Le specie appartenenti a questo genere sono adatte a climi freddo-umidi ma al tempo stesso tollerano ambienti siccitosi (Panella et al., 2000).

### ***Festuca arundinacea***

E' originaria del nord Europa ma, grazie alla sua tolleranza alle alte temperature, si è diffusa anche nella zona di transizione e perfino nelle aree colonizzate dalle macroterme.

### Caratteristiche

La tessitura è molto grossolana, la densità è bassa ed il colore è un verde di media tonalità. Il potenziale di recupero è basso a causa del portamento cespitoso. La specie presenta una buona resistenza alle alte temperature, alla siccità, al logorio ed al ristagno idrico. La resistenza alle basse temperature è scarsa e porta ad un ingiallimento del tappeto erboso, se non è ben concimato con azoto nel periodo tardo-autunnale (Grossi et al, 2005).

### Possibilità di impiego

Impiegata per i rough dei campi da golf, con adeguata gestione potrebbe essere utilizzata nei campi da calcio e in prati ornamentali. Per quanto riguarda l'aspetto funzionale l'impiego si estende a banchine stradali, piste di aeroporti, pendii ed in tutte quelle aree che non prevedono, o in cui non è possibile, l'irrigazione.

### Pratiche culturali richieste

La manutenzione è di livello medio-basso. L'altezza di taglio è compresa tra 35 e 55 mm ed il fabbisogno di azoto è di circa 20-45 kg/ha per mese di crescita.<sup>9</sup>

## **Genere Agrostis**

Originario della fascia freddo-umida del continente eurasiatico, presenta alcune essenze in grado di colonizzare anche le zone di transizione. Le specie di interesse per la costituzione di tappeti erbosi sono *Agrostis alba*, *Agrostis canina*, *Agrostis tenuis* ed *Agrostis stolonifera*, quest'ultima riveste una grande importanza per il suo utilizzo nei green dei campi da golf.

### ***Agrostis stolonifera***

Presenta apparato stolonifero molto sviluppato e vigoroso ed è la specie che, tra le essenze microterme, forma il tappeto erboso più compatto.

### Caratteristiche

La tessitura è fine, la resistenza al logorio è scarsa, ma il potenziale di recupero è buono, l'insediamento è lento e la resistenza alla siccità piuttosto scarsa.

### Possibilità di impiego

Largamente utilizzata nei green, ma anche nei tee e nei fairway, dei campi da golf ed in passato anche nei campi da tennis in erba.

### Pratiche culturali richieste

Il livello di manutenzione è alto. L'altezza di taglio ottimale è compresa tra 3 e 15 mm, anche se per superfici ornamentali è possibile arrivare ad un'altezza di 25-30 mm.

La specie è molto soggetta alla produzione di feltro, per limitare tale problema è indispensabile un taglio basso e molto frequente. Il controllo del feltro è condotto praticando il verticut ed il topdressing.

Il fabbisogno azotato è piuttosto elevato, varia da 25 a 65 kg/ha per mese di crescita.

E' molto suscettibile a malattie fungine e spesso richiede un elevato numero di interventi fitosanitari.

## **Genere Lolium**

Di origine europea, questo genere si è largamente diffuso in tutto il mondo, soprattutto nelle regioni temperate e subtropicali. Di notevole interesse dal punto di vista foraggiero, presenta solamente due specie da tappeto erboso: *Lolium perenne* e *Lolium multiflorum*, anche se quest'ultima non vanta cultivar selezionate a tale scopo.

### ***Lolium perenne***

E' una tra le specie da tappeto erboso più impiegate e diffusa al mondo.

#### Caratteristiche

La velocità di insediamento è la migliore tra tutte le microterme, buona è la resistenza al logorio e media la tolleranza all'ombreggiamento. Scarsa è la resistenza alla siccità.

#### Possibilità di impiego

*Lolium perenne* è componente di consociazioni con *Poa pratensis* e *Festuca rubra*, tali miscugli sono impiegati per tappeti erbosi ad uso sportivo ed ornamentale.

E' impiegata inoltre per realizzare rapidi inerbimenti (anche in piste di aeroporti e banchine stradali), stabilizzazioni di terreni e rigenerazioni di campi sportivi (anche in tee e fairway dei campi da golf).

#### Pratiche culturali richieste

L'intensità di manutenzione è media, l'altezza di taglio è compresa tra 15 e 50 mm, mentre il fabbisogno di azoto è compreso tra 20 e 50 kg/ha per mese di crescita.



## **Specie macroterme**

Le principali specie macroterme da tappeto erboso appartengono ai generi *Cynodon*, *Paspalum*, *Zoysia*, *Pennisetum* e *Stenotaphrum*.

Tali specie sono adatte a climi caldi, sia umidi che aridi e preferiscono temperature dell'aria comprese tra i 25°C ed i 35°C. Si risvegliano in primavera, e si sviluppano con intensità crescente durante l'estate, poi in autunno interrompono la crescita, fino a quando, con temperature inferiori a 0°C, si assiste ad una più o meno rapida perdita di colore ed alla stasi vegetativa invernale. Infatti, il picco di crescita e di sviluppo si presenta nei mesi estivi, mentre l'entrata in dormienza si presenta in corrispondenza dei mesi più freddi dell'anno (dall'autunno a primavera).

Le macroterme vengono propagate più spesso per via vegetativa (stoloni, rizomi e rotoli di prato) e sono impiegate in purezza. La crescita si presenta piuttosto prostrata, gli stoloni ed i rizomi si sviluppano creando una fitta trama e spesso anche un'eccessiva produzione di feltro. Altre caratteristiche tipiche delle macroterme sono: basse esigenze idriche, alta resistenza alla siccità, alta resistenza al logorio (Busey, 1992), alle malattie e bassa resistenza all'attacco di insetti. La loro fotosintesi è molto efficiente anche all'aumentare della temperatura e dell'intensità luminosa; questo è possibile grazie al fatto che queste piante hanno ciclo C4 e riescono a sfruttare meglio l'elevata radiazione solare.

Queste specie offrono tappeti erbosi di elevata qualità, consentendo consumi idrici più ridotti (dal 20 al 45%) rispetto alle microterme (Biran et al., 1981). La maggior tolleranza alla siccità rispetto alle microterme è dovuta ad apparati radicali più profondi, abbondanza di peli e rivestimenti cerosi delle foglie o comunque meccanismi fisiologici che consentono loro di sopportare intense disidratazioni dei tessuti (Beard, 1989).

Sono molto utilizzate negli Stati Uniti, anche in regioni con inverni più freddi di quelli mediterranei, mentre in Italia si stanno diffondendo, ed è tuttora allo studio il loro adattamento al clima della nostra penisola. Nell'ultimo decennio sono state condotte prove di adattabilità dalla Federazione Italiana Golf (FIG), dal

CONI e dal Centro Ricerche Tappeti Erbosi Sportivi (CeRTES) dell'Università di Pisa (Volterrani et al., 1996, Croce et al., 2001).

I risultati di tali sperimentazioni hanno messo in evidenza che le specie macroterme si adattano ottimamente agli ambienti costieri dell'Italia centro-meridionale fornendo tappeti erbosi di buona o eccellente qualità durante i mesi più caldi (Croce et al., 2002). Il loro limite di impiego è costituito dal periodo di disseccamento invernale conseguente all'abbassamento delle temperature, ma nel nostro paese tale inconveniente si riduce procedendo da nord verso sud ed è comunque ovviabile, quando non tollerato, mediante la trasemina autunnale con una specie microterma a rapido insediamento come *Lolium perenne* (Volterrani et al., 1996).

Da varie sperimentazioni è inoltre emerso che le varietà propagate vegetativamente forniscono risultati qualitativi più elevati rispetto a quelle da seme; così negli ultimi anni sono stati avviati numerosi programmi di miglioramento per le varietà da seme di alcune specie dei generi *Cynodon* e *Zoysia*.

I minimi danni, causati da patogeni fungini, osservati in queste specie e quindi il limitato uso di fitofarmaci, oltre al minore impiego d'acqua d'irrigazione rispetto alle specie microterme, le fanno preferire anche nell'ambito di una gestione del tappeto erboso più rispettosa dell'ambiente.

## **Genere Cynodon**

Il genere Cynodon, originario del bacino dell'Oceano Indiano ed in particolare del corno d'Africa, è la macroterma più diffusa al mondo per la formazione di tappeti erbosi.

Questo genere è caratterizzato da una buona qualità complessiva legata all'elevata densità ed alla grande capacità di recupero. Tali peculiarità hanno indotto i ricercatori statunitensi ad effettuare programmi di miglioramento genetico fin dal 1952, con particolare interesse verso la produzione di ibridi tra le specie dactylon e transvaalensis da cui sono derivate le cultivar più famose come la Tifgreen (1956) e la più nota Tifway (1960) (Beard, 1989).

Le specie del genere Cynodon impiegate nei tappeti erbosi sono:

***C. dactylon***: gramigna comune, ubiquitaria tra 45° N e 45° S (Taliaferro, 1995). E' propagata per seme, mostra una vigorosa crescita laterale, tollera eccellentemente il caldo, la siccità, la salinità ed il calpestamento. La tessitura fogliare è media e la densità dei culmi è bassa. La resistenza all'ombra è scarsa.

***C. transvaalensis***: ha tessitura molto fine e densità molto elevata, ma la crescita è lenta e la resistenza alle basse temperature è scarsa.

*C. dactylon* x *transvaalensis*: La tessitura è fine, produce stoloni sottili con internodi molto ravvicinati, la resistenza alle basse temperature è buona, non produce seme vitale.

### Possibilità di impiego

Tra le specie macroterme, Cynodon sembra essere quella più adatta ad una grande diffusione in Italia (Miele et al., 2000). Può essere impiegata per tappeti erbosi di elevata qualità, per uso sportivo e alcune cultivar possono costituire i green dei campi da golf.

La grande resistenza al logorio e l'ottima capacità di recupero rendono adatto questo genere per l'utilizzo in superfici sottoposte ad intenso traffico, mentre la resistenza alla siccità ne permette l'impiego anche in aree a bassa manutenzione come banchine stradali e piste di piccoli aeroporti.

### Pratiche culturali richieste

La manutenzione può essere elevata, nei green dei campi da golf, oppure media, nei tappeti erbosi ornamentali.

In generale le altezze di taglio ottimali sono comprese tra 12 e 25 mm, anche se alcune varietà migliorate per l'uso nei green sopportano altezze di taglio di circa 5 mm. La concimazione azotata è compresa tra 35-80 kg/ha per mese di crescita.

#### Cultivar disponibili in Italia

Le cultivar possono essere a propagazione vegetativa o per seme, le prime presentano mediamente caratteristiche qualitative superiori. Ne ricordiamo alcune attualmente impiegate nel nostro paese:

- Santa Ana: è un ibrido a propagazione vegetativa di *C. dactylon* x *transvaalensis* rilasciato nel 1966 in California. Presenta tessitura fogliare media, crescita vigorosa e buon potenziale di recupero.
- Tifaway 419: è un ibrido a propagazione vegetativa di *C. dactylon* x *transvaalensis* rilasciato in Georgia, U.S.A., nel 1960. Presenta tessitura medio-fine, un eccellente ripresa primaverile, ha buon potenziale di recupero e richieste di azoto intermedie.
- Princess: è una varietà migliorata di *Cynodon dactylon* che viene propagata per seme. Questa varietà produce poco seme, che viene commercializzato a prezzi molto elevati. Presenta una tessitura medio-fine e crea tappeti erbosi densi e di qualità elevata.

## **Genere Zoysia**

Il genere *Zoysia*, originario dell'Asia orientale e introdotto in America intorno al 1895 (Christians, 2003), è adatto a zone con clima caldo-umido e di transizione, dove è in grado di formare tappeti erbosi di ottima qualità.

La lentezza con cui cresce, che peraltro può rendere difficoltosa la fase di insediamento, ha impedito finora una maggiore diffusione di questo genere in Italia.

Le specie impiegate per la formazione di manti erbosi sono tre: *Zoysia japonica*, *Zoysia tenuifolia* e *Zoysia matrella*.

### Caratteristiche

Tale genere comprende le specie da tappeto erboso più resistenti in assoluto al logorio; presenta una buona resistenza alla siccità ed alle alte temperature, una buona tolleranza alla salinità ed all'ombreggiamento e mal sopporta i ristagni idrici. La lenta crescita, tipica delle specie appartenenti a questo genere incide negativamente sul potenziale di recupero.

Nei nostri climi *Zoysia* spp. presenta il periodo di dormienza più breve rispetto a tutte le altre macroterme. A Pisa tale periodo, che presenta durata variabile secondo la specie e la varietà, nel caso di *Zoysia tenuifolia* mostra la durata minima di circa 45 giorni, compresi tra fine Gennaio e metà Marzo (Volterrani et al., 1997a).

### Possibilità di impiego

*Z. japonica* e *Z. matrella* sono le specie di *Zoysia* più comunemente usate negli Stati Uniti d'America.

Le varietà migliorate sono impiegate per tappeti erbosi di elevata qualità, sia a scopi ornamentali che in tappeti erbosi ad uso sportivo.

*Zoysia japonica* è la specie più adatta per la formazione di bunkers, fairways e tee dei campi da golf nelle zone di transizione (Patton et al., 2004c).

### Pratiche culturali richieste

L'altezza di taglio ottimale è compresa tra 15 e 25 mm, anche se alcune varietà dal portamento prostrato consentono tagli più bassi. Data la durezza della lamina,

le operazioni di taglio devono essere compiute con utensili ben affilati. Sono necessarie pratiche mirate alla riduzione del feltro. Il fabbisogno di azoto è pari a 20-45 kg/ha per mese di crescita.

#### Cultivar disponibili in Italia

- Zoysia japonica 'Meyer': è una varietà a propagazione vegetativa rilasciata nel 1951. Crea tappeti erbosi molto densi, tollera il parziale ombreggiamento (Duble,1996).
- Zoysia japonica 'Zenith': può essere propagata per seme o vegetativamente; tessitura medio-grossolana.
- Zoysia japonica 'El Toro': è una varietà a propagazione vegetativa, ha una velocità di insediamento maggiore rispetto a Z.j. 'Meyer' e presenta tessitura grossolana.
- Zoysia matrella 'Zeon': varietà propagata vegetativamente, tessitura medio-fine, buona resistenza alla siccità, velocità di insediamento media.

## **Genere Paspalum**

Il genere Paspalum, è originario delle zone costiere sabbiose del Sud America e dell’Africa ma si è diffuso nella fascia tropicale umida e nelle zone temperate a clima mite marittimo, adattandosi bene al clima Mediterraneo.

Due sono le specie che è possibile impiegare nei tappeti erbosi: Paspalum vaginatum e Paspalum notatum.

### ***Paspalum vaginatum***

L’areale di origine di tale specie, che proviene da zone paludose costiere e salmastre, ha permesso a Paspalum vaginatum di adattarsi ad alcune situazioni “estreme” quali valori di pH compresi tra 3,6 e 10,2 (Miele et al., 2002).

E’ la specie macroterma più tollerante ad alte concentrazioni di sali nel terreno o nell’acqua di irrigazione (Duncan et al., 2000) e riesce a tollerare periodiche inondazioni di acque saline. Paspalum vaginatum ha, inoltre, la capacità di resistere a prolungati periodi di siccità, ma anche di tollerare ristagni idrici.

La capacità di tollerare situazioni difficili conferisce a tale specie un grande potenziale di diffusione.

### Caratteristiche

Tale specie è caratterizzata da una rapida velocità di insediamento, una buona densità ed una tessitura medio-fine; sopporta discretamente il calpestio e presenta un buon potenziale di recupero.

### Possibilità di impiego

In Italia l’uso di questa specie si va diffondendo prevalentemente in ambienti ostili dal punto di vista pedoclimatico (substrati sabbiosi aridi e salsi), dove è in grado di fornire tappeti erbosi di buona qualità (Volterrani et al., 1996).

Paspalum vaginatum è impiegata per tappeti erbosi ricreazionali a basso impatto ambientale. Il rapido insediamento e la resistenza alla salinità ne consentono l’impiego per la stabilizzazione di terreni costieri soggetti ad erosione ed in aree dove sono presenti problemi di salinità dell’acqua di irrigazione.

Inoltre, la tessitura medio-fine ne consente l’utilizzo in tappeti erbosi di elevata qualità, come i campi da golf.

### Pratiche culturali richieste

Richiede una manutenzione media in quanto si adatta ad altezze di taglio comprese tra 6 e 25 mm. Il fabbisogno di azoto per manti erbosi di elevata qualità è di 30-40 kg/ha al mese nella stagione di crescita.

### **Genere Stenotaphrum**

Questo genere comprende solamente sei specie, di cui solo una, *Stenotaphrum secundatum*, è impiegata per i tappeti erbosi. Tale specie, originaria del centro America, è molto diffusa nelle regioni tropicali dell’Africa, dell’Australia e nel sud degli Stati Uniti, inoltre è abbastanza diffusa anche nelle zone costiere del bacino Mediterraneo.

### Caratteristiche

*Stenotaphrum secundatum* presenta una media resistenza al logorio, un’eccellente resistenza all’ombreggiamento, una buona tolleranza alla salinità, una tessitura fogliare molto grossolana ed un colore verde chiaro.

L’apparato radicale non è molto profondo ma la presenza di grandi stoloni rende la zolla molto robusta. La ritenzione di colore durante il periodo invernale, la ripresa vegetativa primaverile e la resistenza alla siccità sono simili a quelli di *Zoysia*.

### Possibilità di impiego

E’ impiegata per tappeti erbosi ornamentali, specialmente se questi si trovano in zone ombreggiate. Tuttavia il suo utilizzo è possibile ove non è richiesta una tessitura fogliare fine.

### Pratiche culturali richieste

Le esigenze di manutenzione sono medio-basse e l’altezza di taglio varia da 45 a 65 mm; altezze di taglio minori rischiano di diradare il manto erboso e facilitare così la comparsa di infestanti. Il fabbisogno di azoto è pari a 25-45 kg/ha per mese di crescita.



## **Genere Pennisetum**

Il genere Pennisetum comprende numerose specie, ma tra queste solamente una è impiegata nel settore dei tappeti erbosi: *Pennisetum clandestinum*. Questa specie, originaria dell’Africa orientale è stata introdotta in America all’inizio degli anni ‘20, dove spesso è considerata una pericolosa infestante a causa della sua aggressività nel propagarsi. In Italia il suo sviluppo è piuttosto limitato per l’elevata sensibilità alle basse temperature invernali.

### Caratteristiche

Veloce tasso di diffusione e produzione di grandi e vigorosi stoloni, colore verde chiaro, tessitura media, buona resistenza al logorio e alla siccità, sensibilità elevata alle basse temperature.

### Possibilità di impiego

La scarsa resistenza alle basse temperature rende il suo utilizzo tendenzialmente limitato alle regioni meridionali dell’Italia.

## **2.2 Il clima italiano e la scelta delle specie**

L’Italia è protetta dalle correnti fredde, provenienti dal nord Europa, grazie alla catena alpina ed è caratterizzata da un ampio sviluppo costiero dove il mar Mediterraneo esplica i suoi effetti mitigatori lungo tutta la penisola, cedendo durante l’inverno il calore immagazzinato durante i mesi estivi; tali peculiarità conferiscono al nostro paese un clima di tipo subtropicale-temperato (Figura 1).

In particolare, lungo le coste la nostra penisola è contraddistinta da un clima tipicamente mediterraneo con inverni freddi, ma non eccessivamente rigidi, con temperature minime che raramente scendono sotto gli 0°C ed estati calde e poco piovose.

Nell’entroterra si accentuano leggermente i rigori invernali, anche se non è possibile parlare di clima continentale vero e proprio.

La temperatura media annua è circa 11°C nell'Italia settentrionale e 19°C nel meridione, in entrambe le zone i mesi più freddi sono Dicembre e Gennaio, mentre quelli più caldi sono Luglio e Agosto.

Le precipitazioni durante l'arco dell'anno non sono abbondanti e sono concentrate in brevi periodi: tra la fine dell'autunno e la prima metà dell'inverno, dove il picco massimo si registra nel mese di Novembre. Al contrario i mesi estivi sono i più siccitosi e nel mese di Luglio si ha il minimo di precipitazioni.

Anche se la piovosità varia molto all'interno della penisola, possiamo affermare che piove maggiormente nelle regioni settentrionali e meno in quelle meridionali.

Alla luce di quanto appena detto è possibile dedurre che in Italia le esigenze ottimali per lo sviluppo delle specie da tappeto erboso, sia esse microterme che macroterme, non sono presenti costantemente per tutto l'arco dell'anno. L'Italia, come la fascia centrale degli Stati Uniti d'America, si trova in una zona di transizione climatica all'interno della quale le microterme risentono delle condizioni climatiche tipiche dell'estate e le macroterme risentono delle condizioni climatiche invernali.

Il fattore climatico principale da considerare nella scelta della specie è la temperatura, in particolare i suoi estremi, che condizionano l'attività vegetativa e la sopravvivenza delle specie.

La temperatura costituisce il fattore più influente nella scelta della specie in quanto non è possibile modificarla, mentre è possibile correggere, ad esempio, le carenze idriche tramite l'irrigazione.

Altrettanto importante, ai fini della scelta delle specie, è la funzione che il tappeto erboso dovrà svolgere. Per manti erbosi di particolare pregio qualitativo si sceglieranno le specie anche in base alle loro caratteristiche estetiche; mentre in aree sottoposte a frequente calpestamento, soprattutto in aree sportive, per mantenere la miglior funzionalità possibile, saranno impiegate specie soprattutto caratterizzate da una grande capacità di resistenza e di recupero, quali le specie macroterme.

## 3. PARTE SPERIMENTALE

### 3.1 Obiettivo della tesi

L'obiettivo di questa tesi è stato quello di determinare il comportamento di due specie microterme (*Puccinellia distans*) e (*Poa pratensis*) irrigate con acqua salata a diverse concentrazioni (NaCl 200 mM e NaCl 600 mM ) e verificare se attraverso l'applicazione fogliare di **glicinbetaina** (osmoregolatore naturale) e **chitosano** (polimero derivante dalla chitina), in concentrazione 0,1 M, può essere ridotto l'effetto dello stress salino. In base all'esito dello studio si potrà consigliare l'uso di queste specie da tappeto erboso per la copertura di terreni (salini o sodici) ritenuti non adatti, utilizzando, inoltre, acque di scarsa qualità irrigua.

La specie microterma *Puccinellia distans* (L.) Parl viene ritenuta una specie alofita e, pertanto, particolarmente in grado di tollerare elevate concentrazioni saline sia del suolo che dell'acqua apportata con l'irrigazione. Da un punto di vista estetico poco si sa della sua attitudine all'inverdimento di zone tipicamente mediterranee e la sua risposta a determinate tecniche colturali.

La specie microterma *Poa pratensis* (L.) invece, forma un fittissimo e fine manto verde scuro viene già largamente utilizzata per la sua ottima resistenza all'usura e capacità di recupero. Mostra una buona adattabilità a condizioni di limitata disponibilità idrica e stress salino anche in ambienti caratterizzati da alte temperature.

Gli obiettivi di questa sperimentazione sono stati:

- determinare il comportamento di *Puccinellia distans* e *Poa pratensis* quando coltivate su suolo ed irrigate con acqua ricca di cloruro di sodio, a diverse concentrazioni;
- valutare se la glicinbetaina ed il chitosano possono essere usati per ridurre gli effetti dello stress da NaCl consigliandone un suo uso in pieno campo.

### 3.2. Materiali e metodi

Le prove sono state condotte presso il laboratorio di Ecofisiologia vegetale del Dipartimento di Scienze Botaniche di Palermo. Per l'esperimento sono stati utilizzati 120 vasi quadrati di PVC di lato 7cm e profondità 9,5 cm (volume 465.5 cm<sup>3</sup> –superficie 49 cm<sup>2</sup>) in una camera controllata con T pari a 25°C e fotoperiodo di 12 ore al giorno.

Il **suolo** con cui sono stati riempiti i vasi era costituito dal 45% di sabbia di cava, 45% terriccio universale, 5% di torba e 5% humus.

La **dose di semina** è stata aumentata non considerando la normale dose, che per la *Puccinellia distans* e la *Poa pratensis* viene impiegata (150kg per *Puccinellia* e 200 kg per *Poa* di seme a ettaro Panella, in "Tappeti erbosi"). Sulla base di dati ottenuti da una prova di germinazione preliminare sono stati seminati, per ogni vasetto, 0,25 g di seme che corrispondono a circa 1000 semi per entrambe le specie.

Le **soluzioni** di glicinbetaina e chitosano da utilizzare sono state preparate con due giorni di anticipo rispetto al momento dell'applicazione e conservate in frigo a 4°C.

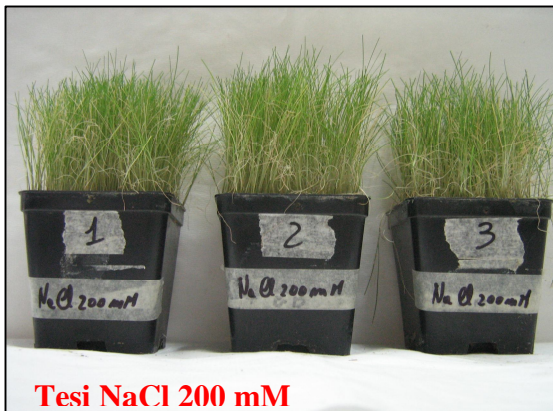
La glicinbetaina (greenstim, 95% GB) è stata disciolta in acqua per l'ottenimento di una concentrazione 0,1 M (8 gr/l).

Il chitosano (Sigma- grado di deacetilazione 85%) è stato disciolto in acido acetico. A seguito di esperimenti preliminari si è deciso di applicare una concentrazione di 1g l<sup>-1</sup> (1 gr. di chitosano disciolto in 100 ml di acqua distillata contenente 1 ml di acido acetico al completo scioglimento la soluzione viene portata ad 1 litro). Il pH della soluzione è stato corretto con idrossido di potassio e portato a pH 5.

Il trattamento salino settimanale ha avuto inizio dal primo giorno di semina ed è terminato a 90 giorni dalla stessa per un totale di 13 trattamenti. Le concentrazioni di NaCl usate sono state pari a 200mM (11,6 g/L) e 600mM (34,8 g/L).

I trattamenti con glicinbetaina e chitosano hanno avuto inizio a 40 giorni dalla semina, dopo il 4° trattamento salino. La somministrazione è avvenuta settimanalmente con uno spruzzatore-vaporizzatore manuale in ragione di 10ml per vasetto.

**Tesi:** ogni tesi è composta da 5 vasetti .Per la prova di sperimentazione della resistenza alla salinità delle due specie sono state usate 12 tesi per gli esperimenti con **glicinbetaina** e 12 tesi per quelli con **Chitosano**, così ripartite:

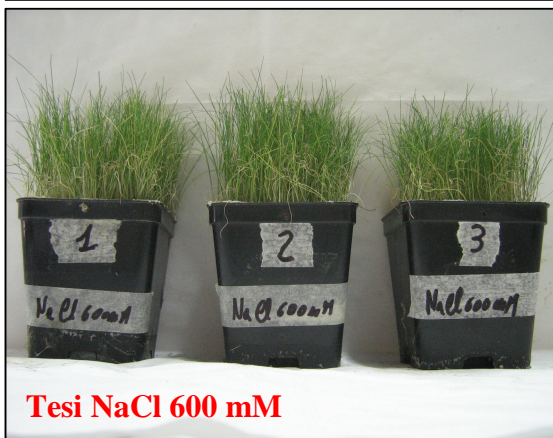


**Tesi NaCl 200 mM**

### **2 trattamenti settimanali**

**1° trattamento:** 20 ml soluzione salina (NaCl 200 mM)

**2° trattamento :**25 ml di H<sub>2</sub>O distillata.

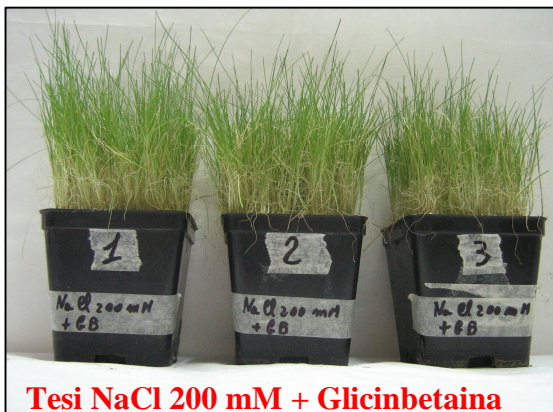


**Tesi NaCl 600 mM**

### **2 trattamenti settimanali**

**1° trattamento:** 20 ml soluzione salina (NaCl 600 mM)

**2° trattamento :**25 ml di H<sub>2</sub>O distillata.



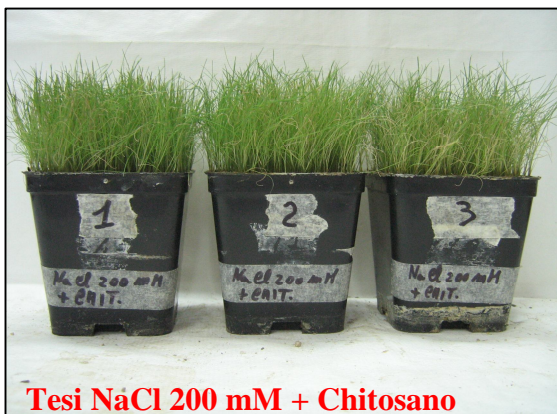
**Tesi NaCl 200 mM + Glicinbetaina**

### **3 trattamenti settimanali**

**1° trattamento:** 20 ml soluzione salina (NaCl 200 mM)

**2° trattamento :**25 ml di H<sub>2</sub>O distillata.

**3° trattamento:** 10 ml di glicinbetaina 0,1 M con spruzzatore-vaporizzatore

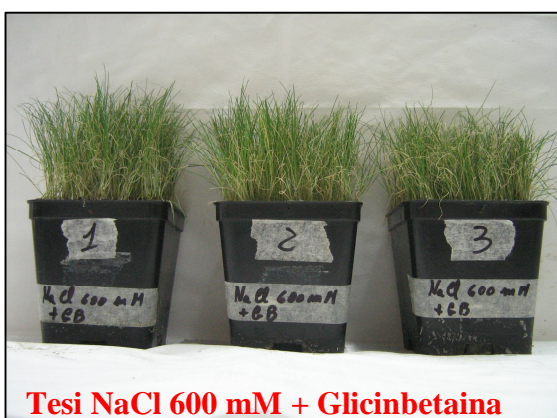


### 3 trattamenti settimanali

**1° trattamento:** 20 ml soluzione salina (NaCl 200 mM)

**2° trattamento :** 25 ml di H<sub>2</sub>O distillata.

**3° trattamento:** 10 ml di Chitosano 0,1 M con spruzzatore-vaporizzatore

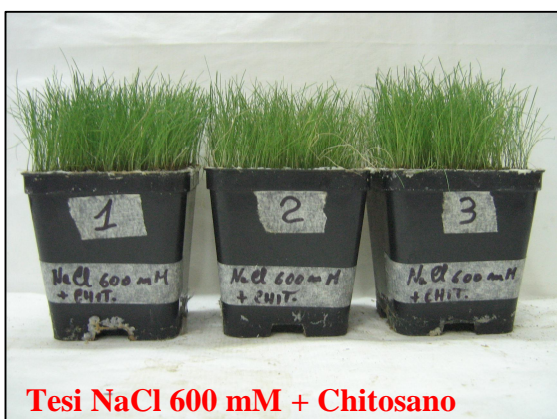


### 3 trattamenti settimanali

**1° trattamento:** 20 ml soluzione salina (NaCl 600 mM)

**2° trattamento :** 25 ml di H<sub>2</sub>O distillata.

**3° trattamento:** 10 ml di Glicinbetaina 0,1 M con spruzzatore-vaporizzatore



### 3 trattamenti settimanali

**1° trattamento:** 20 ml soluzione salina (NaCl 600 mM)

**2° trattamento :** 25 ml di H<sub>2</sub>O distillata.

**3° trattamento:** 10 ml di Chitosano 0,1 M con spruzzatore-vaporizzatore



**Tesi trattata con Glicinbetaina**

### 3 trattamenti settimanali

1° trattamento: 20 ml di H<sub>2</sub>O distillata.

2° trattamento :25 ml di H<sub>2</sub>O distillata.

3° trattamento: 10 ml di Glicinbetaina 0,1 M con spruzzatore-vaporizzatore



**Tesi trattata con Chitosano**

### 3 trattamenti settimanali

1° trattamento: 20 ml di H<sub>2</sub>O distillata.

2° trattamento :25 ml di H<sub>2</sub>O distillata.

3° trattamento: 10 ml di chitosano 0,1 M con spruzzatore-vaporizzatore



**Tesi Controllo**

### 2 trattamenti settimanali

1° trattamento: 20 ml di H<sub>2</sub>O distillata.

2° trattamento :25 ml di H<sub>2</sub>O distillata.

Nel corso del ciclo colturale sono stati rilevati i seguenti dati:

- misurazione dell'altezza raggiunta dalle piante prima di ogni taglio settimanale che mantenga le piante ad un'altezza di 6 centimetri, mediante un righello poggiato in corrispondenza del colletto delle piantine, a livello del vasetto;
- pesatura della biomassa asportata con il taglio, ponendo le foglioline rimosse con le forbici in un foglio di carta stagnola per il posizionamento su bilancia analitica;
- rilevamento della densità delle piante in ogni vasetto, al 40° e 80° giorno dalla semina, tramite una griglia a maglie di 1 cm<sup>2</sup>.
- misura dello stato idrico delle piante tramite Camera di Scholander (bomba a pressione).
- peso secco della biomassa asportata con il taglio, lasciando il campione in stufa a 60 gradi per almeno 24 ore;
- contenuto di clorofilla *a*, *b* e, per sommatoria, di quella totale alla fine del trattamento, al 90esimo giorno dalla semina, mediante estrazione in acetone all'80%;
- osmolalità del succo fogliare, determinata con Osmometro crioscopico .
- lunghezza dell'apparato radicale alla fine della prova, estraendo le piantine dai vasetti e ponendo le radici su di un piano a fondo bianco per una pulitura delicata dei peli radicali e la misurazione della radice più lunga a partire dal colletto;
- peso fresco e secco della biomassa radicale: le radici sono state lavate con acqua distillata, asciugate e pesate, sono poi state poste in stufa a 60°C per 24 ore e ripesate per la determinazione del peso secco.

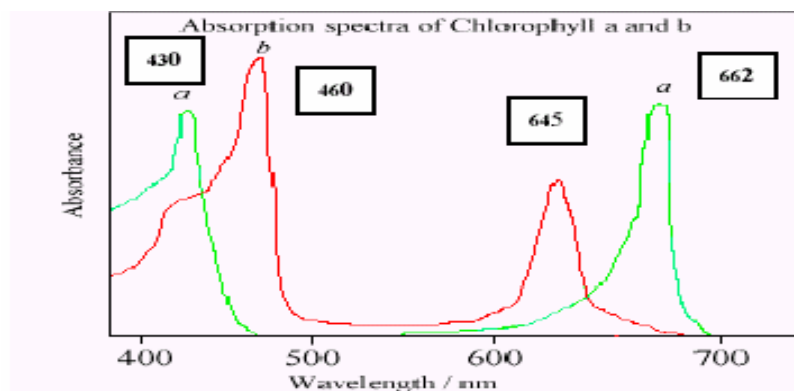


## Estrazione dei pigmenti fogliari e quantificazione per via spettrofotometrica della *clorofilla a*, della *clorofilla b* e dei carotenoidi



**Fig. 1** - Spettrofotometro Beckman coulter DU 800 ( Laboratorio di Ecofisiologia vegetale di Palermo)

Da una foglia si ricavano circa 10 porzioni di diametro noto (corrispondenti a circa **0,5 g** di peso fresco) e si calcola la superficie totale e il loro peso fresco. Successivamente i frammenti di tessuto vengono posti in un mortaio precedentemente pre-raffreddato e, dopo aver aggiunto azoto liquido e quarzo in cristalli, si riduce il materiale in una polvere finissima con il pestello. Si aggiunge poi la soluzione estraente costituita da acetone all'80%. L'estrazione dei pigmenti si considera completa quando il residuo nel mortaio è completamente bianco. L'estratto così ottenuto viene filtrato attraverso una membrana porosa con una pompa a vuoto per eliminare eventuali residui e portato ad un volume finale di 10 ml. A questo punto si misura l'assorbimento del campione allo spettrofotometro



(Fig. 1) a due diverse lunghezze d'onda: 645 e 663 nm, valori che corrispondono al picco massimo di assorbimento della clorofilla b e della clorofilla a, rispettivamente.

**Applicando poi le seguenti formule (Arnon et al., 1949), si calcola il contenuto delle due clorofille presenti nell'estratto:**

$$Cl\ a = [(12,7) \times (\text{lettura a } 663)] - [(2,69) \times (\text{lettura a } 645)]$$

$$Cl\ b = [(22,9) \times (\text{lettura a } 645)] - [(4,68) \times (\text{lettura a } 663)]$$

Ottenendo il valore della concentrazione delle clorofille espresso come mg di clorofilla per litro di estratto; il contenuto di clorofilla è stato poi espresso rispetto al peso fresco (g) del campione.

### **Determinazione dell'osmolalità del succo fogliare mediante Osmometro Crioscopico.**

L'osmometro crioscopico (Fig. 2) è stato appositamente realizzato per rilevamenti di routine nel campo medico ma è perfetto anche per rilevamenti nel settore industriale e in quello della ricerca. L'osmomat consente di determinare l'osmolalità di soluzioni acquose. Lo strumento richiede volumi campione molto ridotti e per questo lo si può utilizzare per effettuare rilevamenti particolarmente difficili.

L'osmolalità totale delle soluzioni acquose si determina mediante

misurazioni comparative dei punti di congelamento dell'acqua pura e delle soluzioni. Mentre l'acqua presenta un punto di congelamento di 0 °C, una



**Fig. 2 - Gonotec Osmomat 030**  
(Laboratorio di Ecofisiologia vegetale di Palermo)

soluzione avente una concentrazione salina di 1 Osmol/kg, ha un punto di congelamento di  $-1,858\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La soluzione campione viene raffreddata per mezzo di un sistema di raffreddamento Peltier che provvede anche al controllo automatico della temperatura. Quando la soluzione campione ha raggiunto la temperatura di sopraraffreddamento prescritta automaticamente viene avviato il processo di cristallizzazione del campione.

Quanto sopra lo si ottiene iniettando cristalli di ghiaccio nella soluzione raffreddando, con un secondo sistema di raffreddamento, un ago in acciaio inossidabile finchè sulla punta dello stesso non si formino dei minuscoli cristalli di ghiaccio; l'ago viene poi immerso per qualche istante nella soluzione del campione. Successivamente la temperatura si alza spontaneamente fino a raggiungere la temperatura di cristallizzazione misurata con una risoluzione di  $1,858/1000^{\circ}\text{C}$ .

### **Potenziale d'acqua delle foglie: Camera di Scholander**

La camera di Scholander (bomba a pressione) (Fig. 3) è uno strumento che permette di calcolare lo stato idrico di una pianta utilizzando una foglia o un ramo di piccolo diametro. La camera utilizzata è costituita da un cilindro di metallo con un coperchio, connesso ad una bombola che eroga aria compressa. Tra i due elementi vi sono un manometro e un rubinetto che può far variare o bloccare del tutto l'immissione dell'aria all'interno del cilindro.



**Fig.3** Skye Instrumentes UK, modello SKPM 1400 (Laboratorio di Ecofisiologia vegetale di Palermo)

Il coperchio possiede al suo interno una guarnizione a tenuta nel quale viene inserito il campione in modo che fuoriesca all'esterno della camera la superficie di taglio e che all'interno vi sia la lamina fogliare. Per evitare perdite d'acqua per evaporazione dalla lamina fogliare, il campione viene avvolto in pellicola di plastica.

Il principio di funzionamento dello strumento si basa sulla teoria della tensione-coesione per la salita dell'acqua.

Nel momento in cui recidiamo la foglia, rompiamo la colonna d'acqua nello xilema, questo causerà una caduta di tensione e un conseguente ritiro di acqua e dei soluti all'interno dell'organo.

L'aumento di pressione graduale dovuto all'immissione di aria compressa provocherà un incremento artificiale della pressione di turgore con una conseguente fuoriuscita di acqua dalla superficie di taglio, la pressione al quale avviene tale fenomeno prende il nome di "pressione di bilanciamento" perché controbilancia esattamente la tendenza dell'acqua ad entrare all'interno delle cellule, essa viene visualizzata nel display del manometro (Taiz & Zeiger 2009).

Il valore visualizzato sul manometro della bomba equivale al potenziale dell'acqua del campione di foglia o ramo, ma cambiato di segno.

L'acqua che raggiunge la superficie di taglio è esclusivamente acqua simplastica, dato che quella di parete (apoplastica) ha un potenziale di matrice talmente negativo da non poter essere estratta con le pressioni esercitate dalla Camera di scholander.

### 3.3 Risultati e discussione

La capacità produttiva delle piante è strettamente influenzata da vari fattori e soprattutto dalla fotosintesi che è uno dei parametri fisiologici più sensibile agli stress biotici e abiotici (Salvucci e Craft-Brander, 2004; Markovskaya *et al.*, 2002).

Allo stato attuale non si conoscono ancora bene gli effetti di glicinbetaina e chitosano sui vari processi fisiologici della pianta e sulla fotosintesi stessa.

Uno studio di Makela riporta che le piante sono capaci di assorbire la glicinbetaina somministrata per via fogliare e di traslocarla nelle varie parti della pianta, specialmente negli organi in via di sviluppo. Tale trasporto avviene già dalle prime ore dalla somministrazione e raggiunge le foglie più vecchie entro le 17 ore (Makela *et al.* 1996 b). In orzo, episodi di stress idrico e salino portano all'accumulo di glicinbetaina nelle foglie espanse e, se lo stress viene alleviato, ad una successiva traslocazione per via floematica alle foglie più giovani. In nessun caso si riscontrano diminuzioni della quantità totale di clorofilla nella pianta, né si ritrovano prodotti della sua degradazione. Ciò permette di poter dire, nelle piante che la producono naturalmente, che la presenza di glicinbetaina rappresenta l'indicatore di un avvenuto stress idrico (Ladyman *et al.*, 1980).

Kahn ed altri hanno somministrato chitina e chitosano per via fogliare a piantine di mais e soia, e si è visto che il secondo ha provocato un aumento della fotosintesi netta in mais, senza avere alcun effetto sulla crescita dello stesso (Khan *et al.*, 2002).

Il chitosano è presente nelle cellule di molte specie fungine responsabili di numerose malattie. Essendo un elicitore, durante l'infezione la sua presenza induce nella pianta una serie di risposte di difesa tra cui la chiusura degli stomi (Lee *et al.* 1999; Walker-Simmons *et al.* 1984; Lee and Beckam, 1980). Questa chiusura potrebbe avere come conseguenza, tra le altre, quella di ridurre il flusso traspirativo.

Applicazioni fogliari di chitosano in piante di peperone hanno ridotto l'uso della risorsa idrica del 26-43% rispetto al fabbisogno normale senza avere effetti sulla biomassa totale e sulla produzione (Bittelli *et al.*,2000).

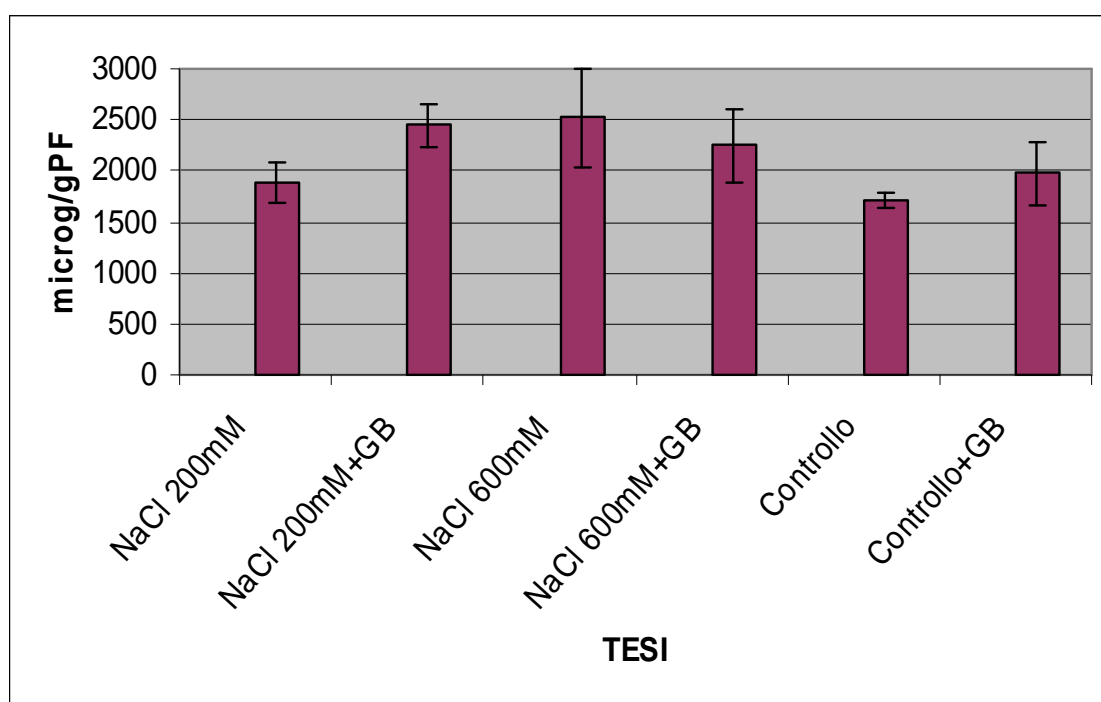
Considerato che *Puccinellia* e *Poa* presentano una lamina fogliare estremamente stretta si è dovuta scartare l'ipotesi di una misurazione diretta dell'attività fotosintetica per la valutazione di alcuni dei più importanti parametri fisiologici delle piante stesse. Il contenuto di clorofilla, invece, può essere preso in considerazione come un parametro più facilmente rilevabile nel caso delle specie scelte per questa tesi e più direttamente correlabile con il processo fotosintetico. Indubbiamente un maggior contenuto di clorofilla permette una maggiore captazione di luce fotosinteticamente attiva, ma ciò non deve farci dimenticare che il processo fotosintetico è la risultante di una numerosa serie di parametri influenzati da altrettante variabili ambientali e che, quindi, non è direttamente ed esclusivamente correlabile con il contenuto di pigmenti verdi.

Nel presente lavoro sono stati valutati gli effetti dello stress salino, su *Puccinellia distans* e *Poa pratensis*, , prendendo in considerazione varie caratteristiche delle piantine messe a dimora, tra cui la biomassa, la densità, il potenziale idrico e l'analisi della clorofilla eseguita applicando il metodo di Arnon.

## Dati clorofilla totale

Al termine del ciclo sperimentale, per verificare l'effetto di glicinbetaina e chitosano sul contenuto di clorofilla totale delle due specie trattate, si è proceduto alla misurazione dei pigmenti fotosintetici estratti in soluzione di acetone all'80% e misurati tramite spettrofotometro (beckman).

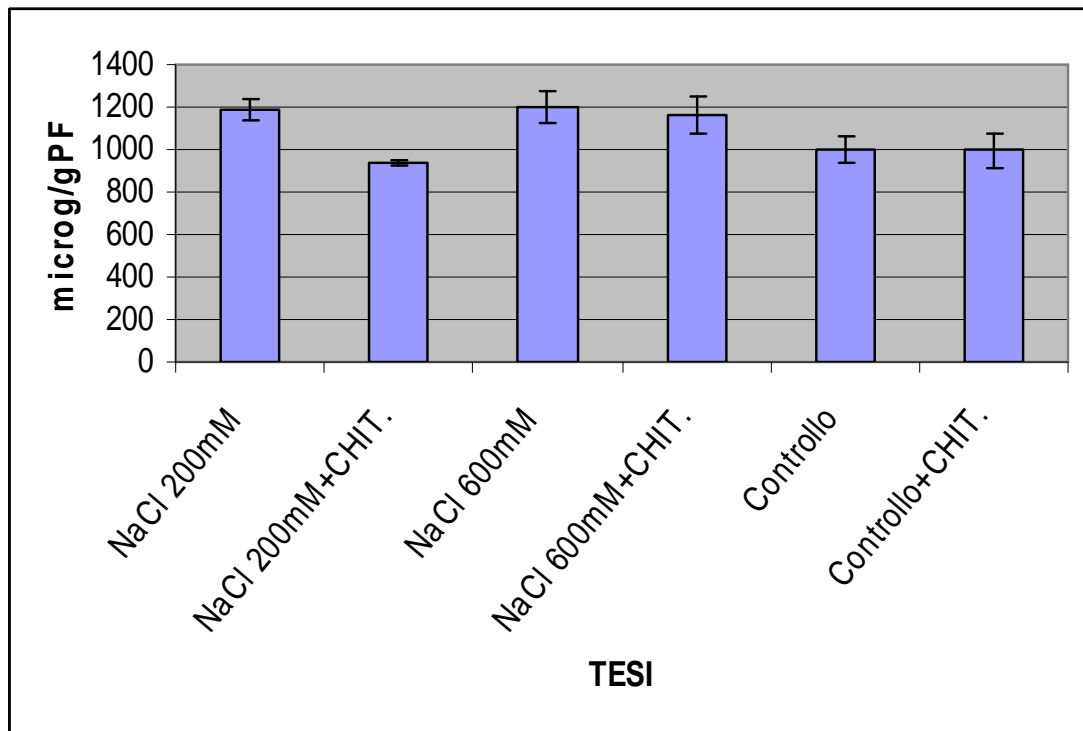
La **figura 1** illustra i dati riguardanti il contenuto di clorofilla totale riscontrato in *Puccinellia distans* trattata con glicinbetaina.



**Fig. 1** Clorofilla totale misurata a fine esperimento in *Puccinellia distans* trattata con glicinbetaina.

Si osserva che la glicinbetaina ha avuto effetti positivi sulle tesi NaCl 200mM+GB e sulla tesi Controllo+GB che presentano valori di clorofilla totale superiori ai rispettivi controlli. Nella tesi NaCl 600mM si è riscontrata la più alta quantità di clorofilla totale di tutte le tesi, mentre nella tesi NaCl 600mM+GB la glicinbetaina non sembra avere avuto nessun effetto riscontrabile.

La figura 1a illustra i dati riguardanti il contenuto di clorofilla totale riscontrato in *Puccinellia distans* trattata con chitosano.

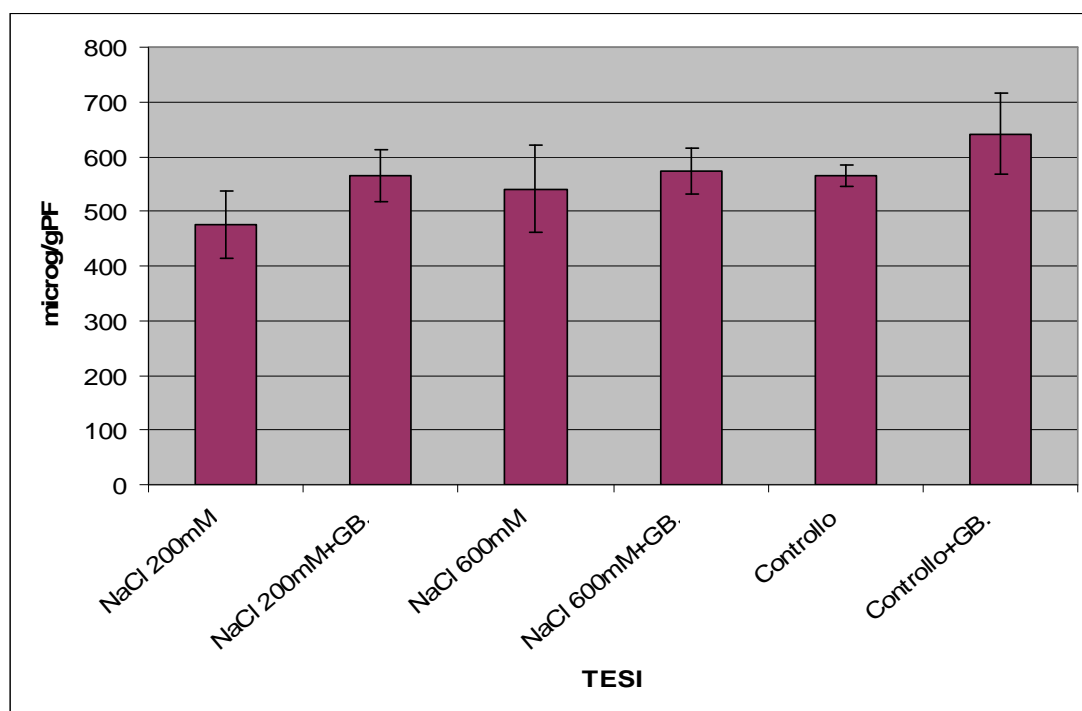


**Fig. 1a** Clorofilla totale misurata a fine esperimento in *Puccinellia distans* trattata con chitosano.

Dai dati osservati non si riscontra nessun effetto del chitosano sulle tesi trattate, infatti tutte le tesi controllo presentano valori di clorofilla totale superiore alle tesi chitosano. Anche in questo ciclo sperimentale si è riscontrata la maggiore quantità di clorofilla totale nella tesi NaCl 600mM.



La figura 2 illustra i dati riguardanti il contenuto di clorofilla totale riscontrato in *Poa pratensis* trattata con glicinbetaina.

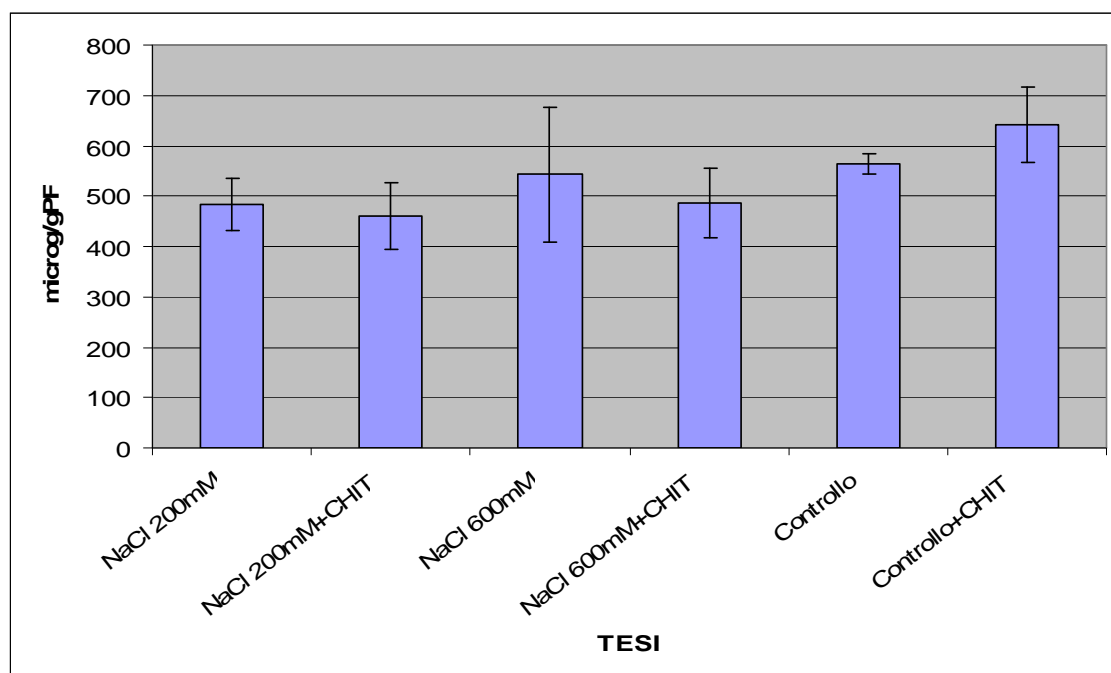


**Fig. 2** Clorofilla totale misurata a fine esperimento in **Poa pratensis** trattata con glicinbetaina.

Dai dati ottenuti si può osservare anche per questa specie l'effetto positivo della glicinbetaina in tutte le tesi trattate. Contrariamente a quanto osservato in Puccinellia, in Poa anche la tesi NaCl 600mM+GB presenta valori di clorofilla totale superiori alla tesi NaCl 600mM. La tesi NaCl 200mM+GB presenta il più alto valore di clorofilla totale rispetto alle altre tesi, mentre le tesi NaCl 200mM ed NaCl 600mM presentano valori di clorofilla totale pressoché uguali.

Dai dati sulla clorofilla totale ottenuti per via spettrofotometrica alla fine del ciclo sperimentale si evince che la glicinbetaina somministrata, sia per Poa che per Puccinellia, ha confermato la sua azione osmoprotettrice permettendo alla pianta di sintetizzare una maggiore quantità di pigmenti fotosintetici, specialmente in condizioni di stress salino, in accordo con i risultati ottenuti sulla Soia ( Agboma *et al.*, 1997a); in Frumento (Gristina *et al.*, 2003); in Orzo (Ladyman *et al.*, 1980).

La figura 2a illustra i dati riguardanti il contenuto di clorofilla totale riscontrato in *Poa pratensis* trattata con chitosano.



**Fig. 2a** Clorofilla totale misurata a fine esperimento in *Poa pratensis* trattata con chitosano.

Dai dati ottenuti si può osservare anche per questa specie lo scarso effetto del trattamento con chitosano sulle tesi saline, mentre si osserva un aumento dei valori di clorofilla totale nella tesi Controllo+chitosano. In questo ciclo sperimentale le tesi NaCl 600mM+chit. e NaCl 200mM+chit presentano valori di clorofilla totale pressoché uguali, mentre la tesi NaCl 600mM presenta dei valori di clorofilla totale superiori alla tesi NaCl 200mM.

Dai dati ottenuti si evince che il chitosano somministrato, sia per *Poa* che per *Puccinellia*, non ha avuto un'effetto positivo sulla pianta tale da permettere la sintesi di una maggiore quantità di pigmenti fotosintetici. Non si hanno riscontri bibliografici sugli effetti del chitosano sulla sintesi di pigmenti fotosintetici che possano essere comparati con i risultati ottenuti. Gli studi attualmente condotti su chitosano riguardano la riduzione di stress idrico e salino (Ryu *et al.*, 2001) la riduzione dell'apertura stomatica in pomodoro in condizione di stress idrico e salino (Bittelli *et al.*, 2000) riduzione del flusso traspirativo (Lee *et al.*, 1999).

## Dati altezza

Nei grafici riuniti **figura. 3** vengono riportati i dati di altezza media per la specie da tappeto erboso *Poa pratensis* trattata con chitosano, rilevati settimanalmente prima di ogni sfalcio.

Dai dati sull'altezza, misurati durante il ciclo sperimentale, possiamo osservare che nelle tesi trattate con chitosano si riscontra una certa omogeneità delle altezze medie. Le tesi trattate con chitosano presentano una differenza nell'altezza media rispetto alle tesi controllo non statisticamente rilevante durante tutto il ciclo sperimentale, anzi si può osservare che, dal 4° al 7° sfalcio, la tesi NaCl 200mM presenta un'altezza media leggermente superiore alla tesi NaCl 200mM+chitosano. Nelle tesi trattate con NaCl 600mM e NaCl 600mM+chitosano si è riscontrata una altezza media molto bassa, che si è mantenuta attorno a 6,2 – 6,3 dal 1° al 3° sfalcio, dal 4° al 7° sfalcio si è osservato un arresto della crescita. Nelle tesi Controllo e Controllo+chitosano, invece, si osserva un leggero aumento dell'altezza media in Controllo+chitosano dal 1° al 3° sfalcio, mentre dal 4° al 7° sfalcio non si osserva più una differenza rilevante.

Nei grafici riuniti **figura. 3a** vengono riportati i dati di altezza media per la specie da tappeto erboso *Poa pratensis* trattata con glicinbetaina rilevati settimanalmente prima di ogni sfalcio.

Gli effetti della glicinbetaina si osservano fin dai primi trattamenti. Le tesi NaCl 200mM+GB e GB presentano un'altezza media superiore alle tesi NaCl 200mM e Controllo durante tutto il ciclo sperimentale. La glicinbetaina non sembra avere avuto nessun effetto sulla tesi NaCl 600mM+GB, che dopo essersi mantenuta su una media di 6,2 – 6,3 nel 1° e nel 2° sfalcio, ha avuto un'arresto nell'accrescimento fino alla fine del ciclo.

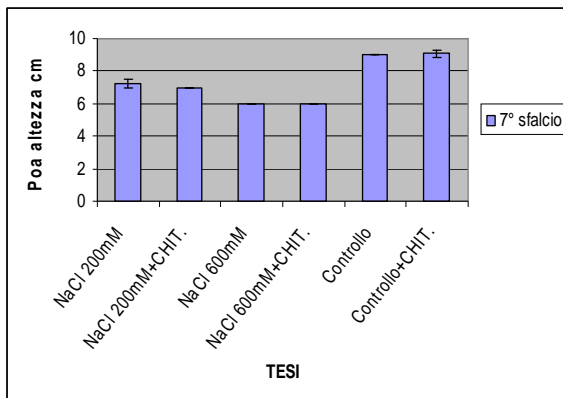
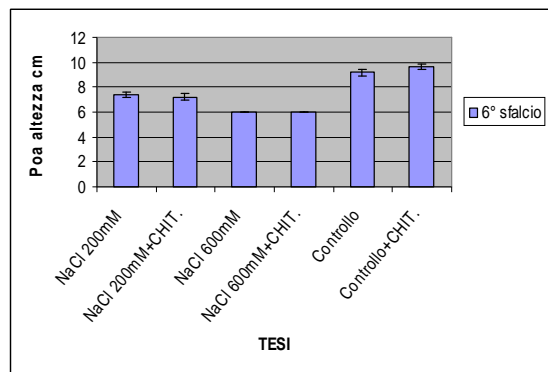
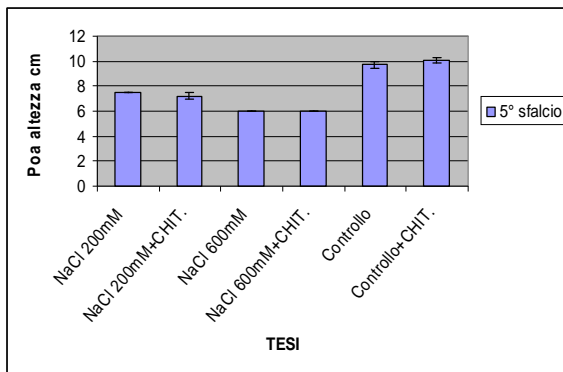
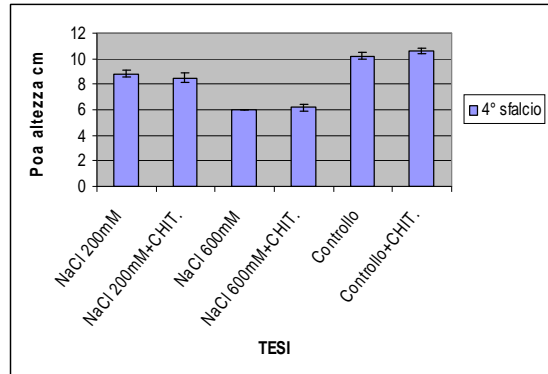
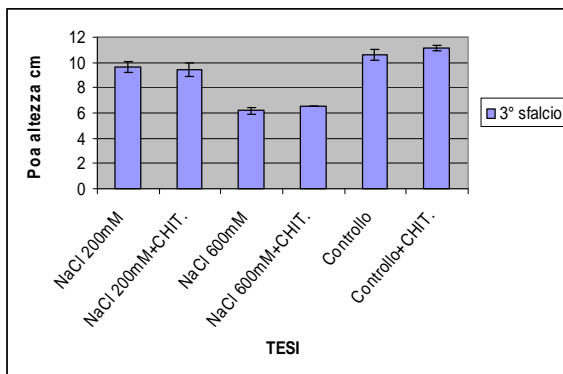
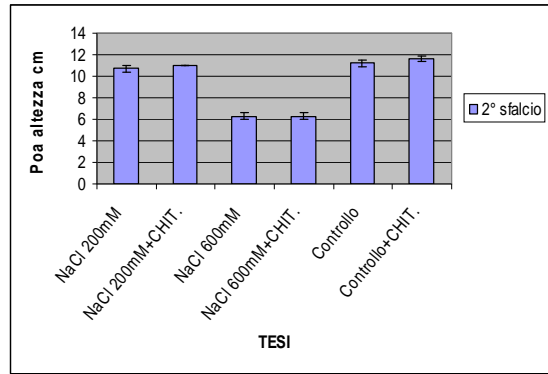
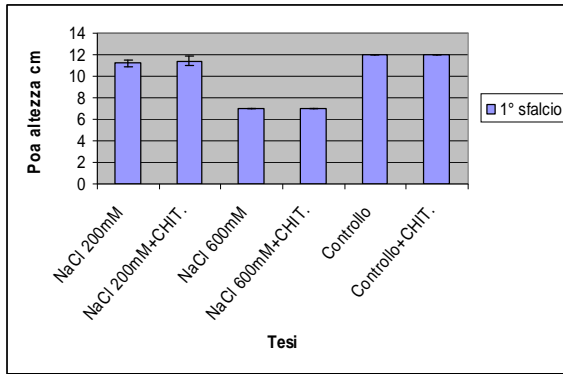
Nei grafici riuniti **figura. 4** vengono riportati i dati di altezza media per la specie da tappeto erboso *Puccinellia distans* trattata con chitosano rilevati settimanalmente prima di ogni sfalcio.

Anche in *Puccinellia* in tutto il ciclo sperimentale non si è osservato nessun aumento dell'altezza media in tutte le tesi trattate con chitosano, soltanto dal 5° al 7° sfalcio si osserva un leggero aumento, anche se non statisticamente apprezzabile, dell'altezza media della tesi Controllo+chitosano rispetto alla tesi controllo. Dal 6° al 7° sfalcio si è osservato un arresto della crescita nelle tesi NaCl 600mM e NaCl 600mM+chitosano.

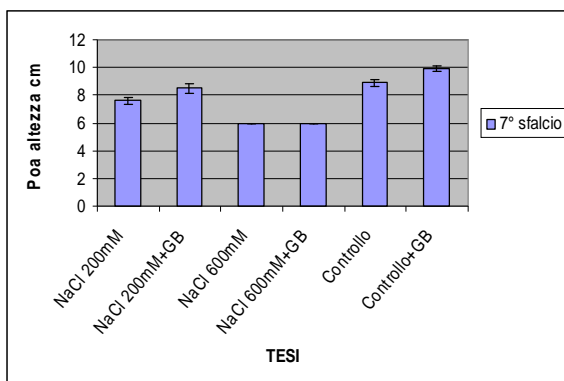
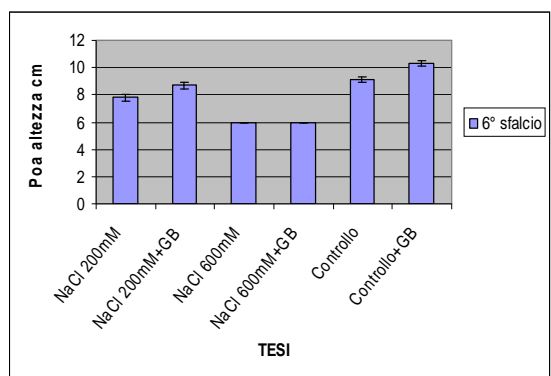
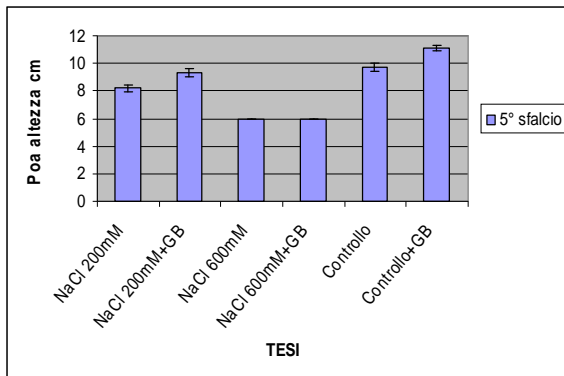
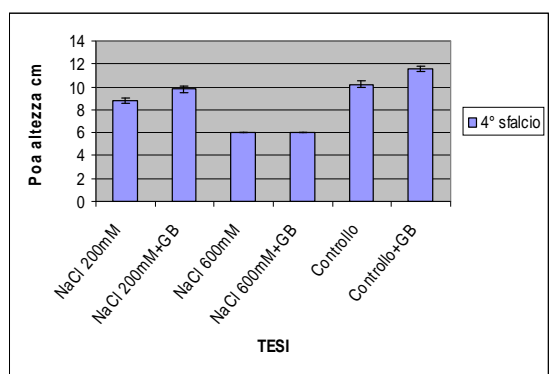
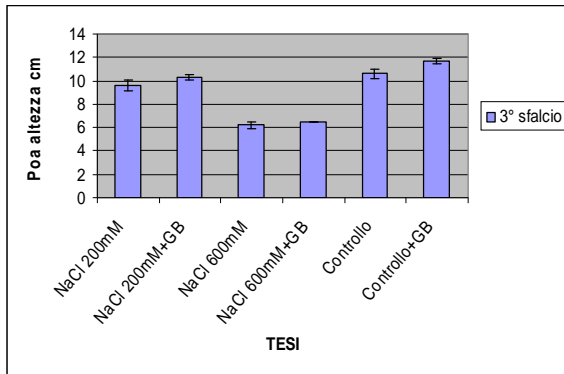
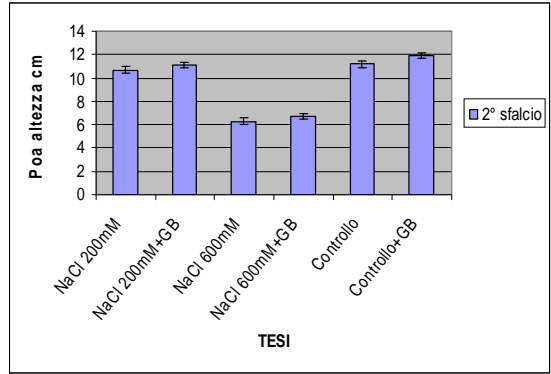
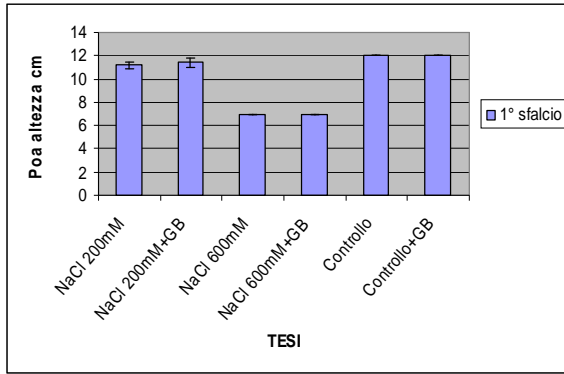
Nei grafici riuniti **figura. 4a** vengono riportati i dati di altezza media per la specie da tappeto erboso *Puccinellia distans* trattata con glicinbetaina rilevati settimanalmente prima di ogni sfalcio.

L'effetto della glicinbetaina nell'aumento dell'altezza media delle tesi trattate si è osservato in modo tangibile fin dal primo trattamento e per tutto il ciclo sperimentale. Nelle tesi NaCl 600mM e NaCl 600mM+GB dal 1° al 3° sfalcio si è osservata una differenza dell'altezza media quasi irrilevante, mentre dal 4° al 7° sfalcio nella tesi NaCl 600mM+GB si è osservata una altezza media maggiore rispetto alla tesi NaCl 600mM che ha arrestato il suo accrescimento dal 6° al 7° sfalcio. Nella tesi NaCl 200mM+GB si è osservata un'altezza media, durante tutto il ciclo sperimentale, pressoché uguale alla tesi controllo, mentre nella tesi Controllo+GB si riscontra la maggiore altezza media tra tutte le tesi.

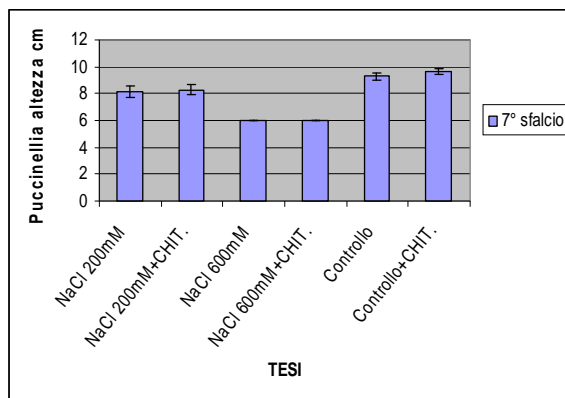
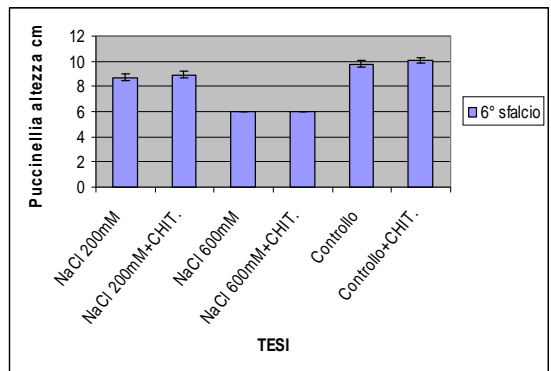
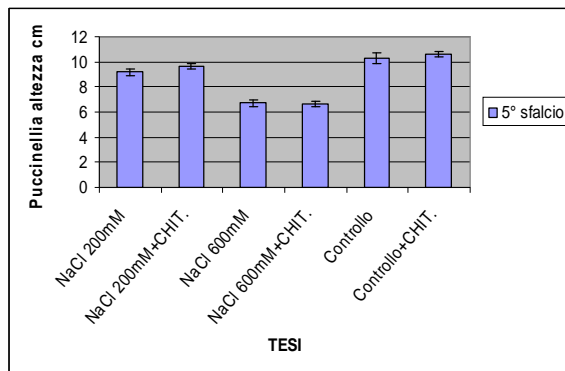
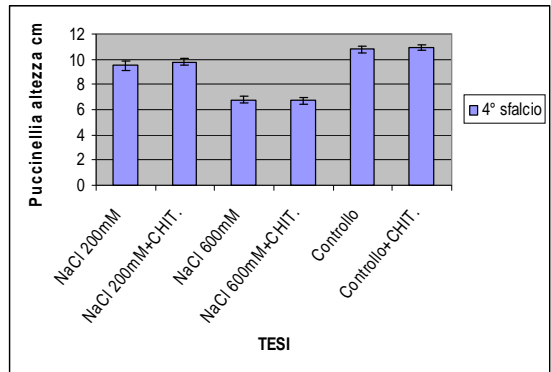
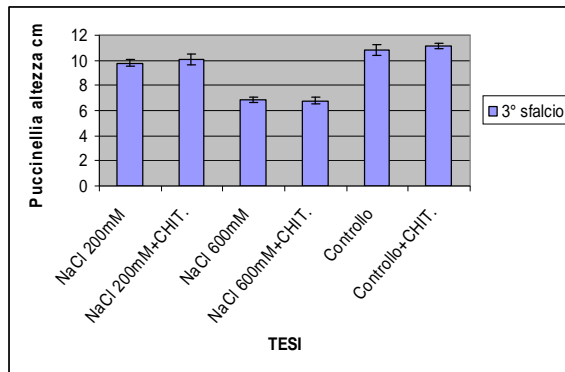
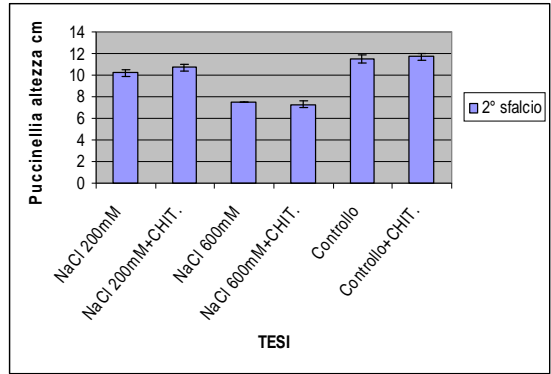
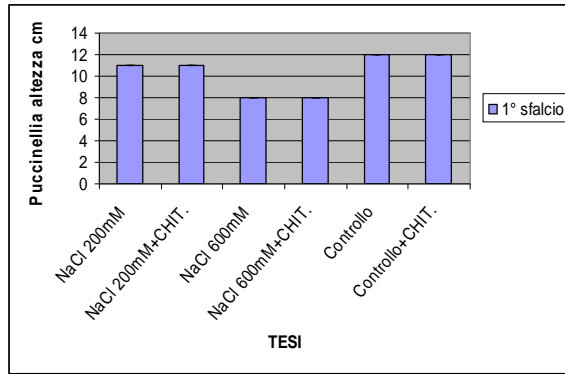
Dai dati sull'altezza media, misurati durante il ciclo sperimentale, possiamo osservare sia per *Poa* che per *Puccinellia* che le tesi trattate con glicinbetaina presentano un'altezza media superiore alle tesi non trattate, mentre nelle tesi trattate con chitosano possiamo osservare una certa omogeneità delle altezze medie. Questo dato si presenta molto interessante, poiché il trattamento con chitosano garantisce un minore sviluppo in altezza, diminuendo notevolmente le pratiche colturali che normalmente si applicano ad un tappeto erboso per lo sfalcio.



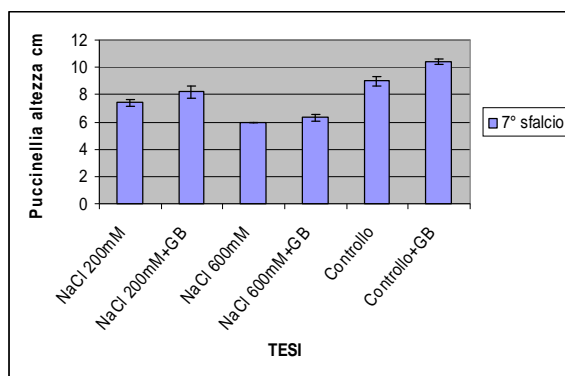
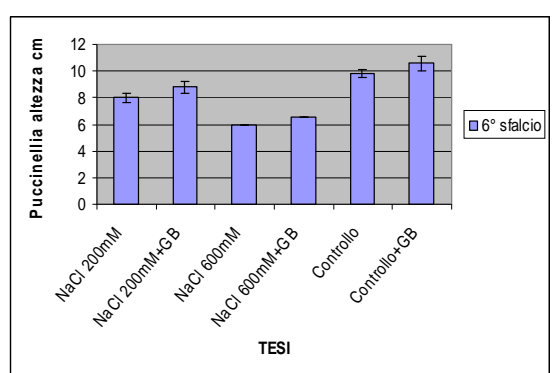
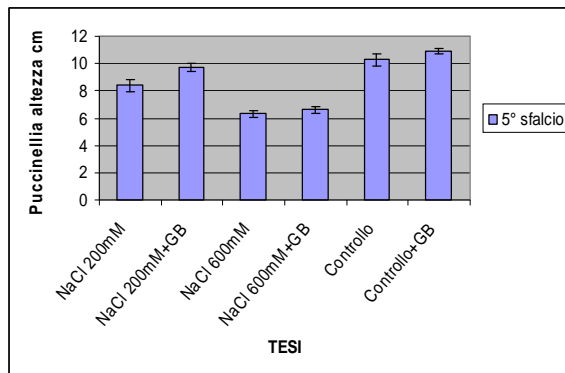
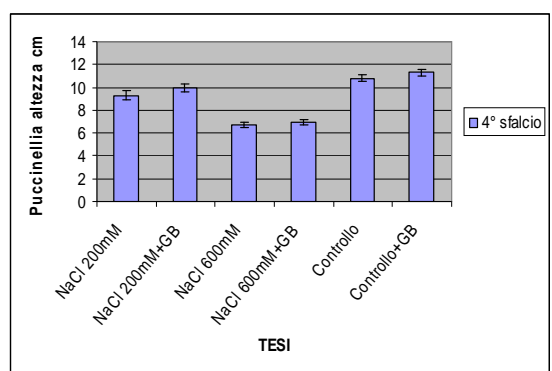
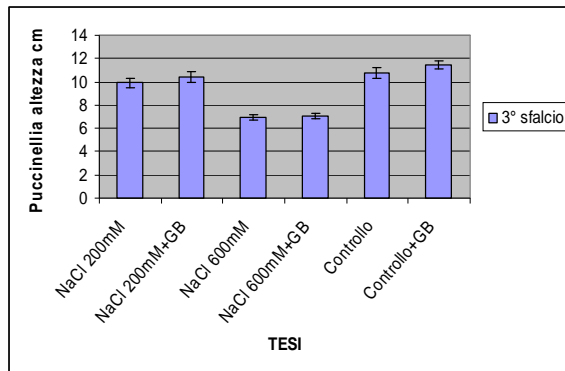
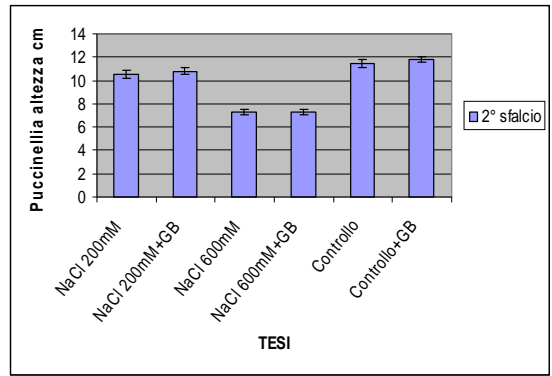
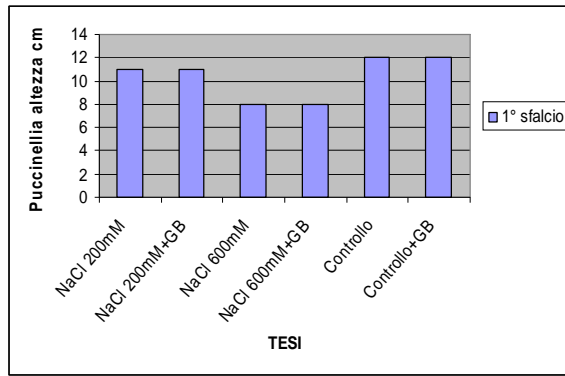
**Fig.3** Altezza media raggiunta dalle piantine di *Poa pratensis* trattate con chitosano prima di ogni sfalcio settimanale, a partire dal 40° giorno di semina.



**Fig.3a** Altezza media raggiunta dalle piantine di *Poa pratensis* trattate con glicinbetaina prima di ogni sfalcio settimanale, a partire dal 40° giorno di semina.



**Fig.4** Altezza media raggiunta dalle piantine di *Puccinellia distans* trattate con chitosano prima di ogni sfalcio settimanale, a partire dal 40° giorno di semina.



**Fig.4a** Altezza media raggiunta dalle piantine di *Puccinellia distans* trattate con glicinbetaina prima di ogni sfalcio settimanale, a partire dal 40° giorno di semina.



## **Dati peso fresco e secco della biomassa epigea**

Nei grafici riuniti (figura. **5-5a**) e (figura **6-6a**) viene illustrato l'andamento della produzione di biomassa fresca e secca, asportata con ogni sfalcio settimanale, dopo pesatura e successivo essiccamento in stufa a 60°.

Nella figura **5** si osserva l'andamento di biomassa fresca e secca osservato in **Poa pratensis** trattata con chitosano.

Nel 1° e 2° sfalcio osserviamo una certa omogeneità di valori di biomassa fresca e secca in tutte le tesi, mentre dal 3° al 7° sfalcio si osservano gli effetti del chitosano sull'aumento di biomassa soprattutto nella tesi NaCl 200mM+ chit. che presenta un aumento notevole di biomassa nei confronti della tesi NaCl 200mM. Nella tesi Controllo+chit. dal 3° sfalcio si riscontra un leggero aumento della produzione di biomassa, rispetto alla tesi Controllo che si manifesterà per tutto il ciclo sperimentale. Le tesi NaCl 600mM ed NaCl 600mM+chit. presentano un andamento della produzione di biomassa pressochè uguale fino al 4° sfalcio dove si osserva l'arresto nella produzione della tesi NaCl 600mM e successivamente dal 5° sfalcio anche per la tesi NaCl 600mM+chit..

Per quanto riguarda il peso secco della biomassa asportata non si osservano variazioni rilevanti comparate all'andamento del peso fresco, in tutte le tesi trattate con chitosano abbiamo valori di biomassa di peso secco tendenzialmente superiori alle tesi controllo.

Nella figura **5a** si osserva l'andamento di biomassa fresca e secca rilevata in **Poa pratensis** trattata con glicinbetaina.

L'effetto della glicinbetaina si riscontra sin dal primo trattamento sulla tesi Controllo+GB che presenta un aumento di biomassa rispetto alla tesi Controllo, già dal 2° sfalcio per poi mantenersi costante fino alla fine del ciclo sperimentale. Nelle tesi saline NaCl 600mM e NaCl 600mM+GB e nelle tesi NaCl 200mM e NaCl 200mM+GB si riscontrano valori di biomassa pressoché simili dal 1° al 3° sfalcio, mentre dal 4° al 7° sfalcio nella tesi NaCl 200mM+GB si è riscontrato un netto aumento della biomassa rispetto alla tesi NaCl 200mM. Nelle tesi NaCl

600mM e NaCl 600mM+GB si riscontra una produzione di biomassa simile fino al 3° sfalcio, mentre dal 4° al 7° sfalcio si osserva un'arresto della produzione di biomassa in entrambe le tesi. Dai dati sul peso secco si osserva che i valori di biomassa secca non seguono l'andamento della biomassa fresca, attestandosi su valori più omogenei soprattutto nelle tesi Controllo e Controllo+GB. Lo stesso andamento, seppure meno significativo, si osserva anche nelle tesi NaCl 200mM e NaCl 200mM+GB.

La figura 6 illustra l'andamento della produzione di biomassa in **Puccinellia distans** trattata con glicinbetaina.

Dai dati ottenuti si osserva in modo tangibile che l'effetto della glicinbetaina ha favorito un aumento della biomassa fresca in tutte le tesi trattate che si è mantenuto costante per tutto il ciclo sperimentale. La tesi NaCl 200mM+GB reagito bene al trattamento raggiungendo dal 5° al 7° sfalcio valori vicini alla tesi Controllo. Le tesi NaCl 600mM e NaCl 600mM+GB, contrariamente ai dati riscontrati in *Poa*, hanno prodotto biomassa fino alla fine del ciclo sperimentale dimostrando la notevole resistenza di questa specie, anche in condizioni di forte stress salino.

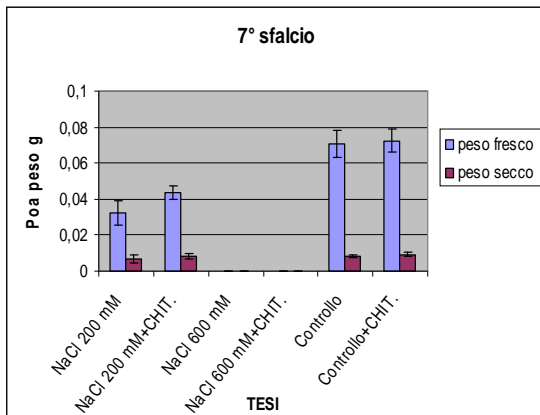
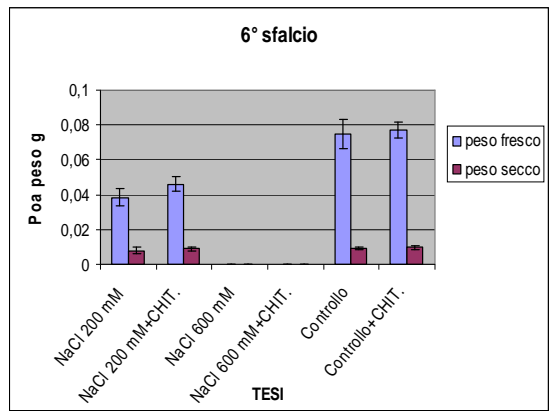
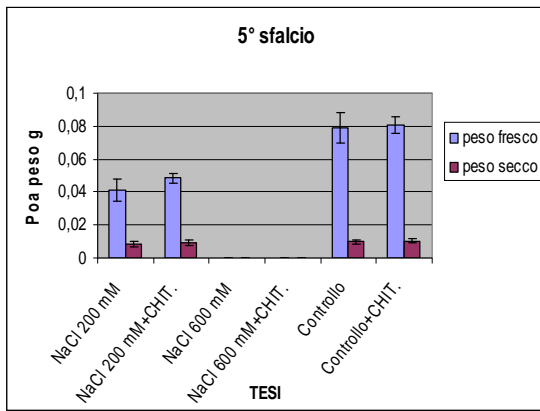
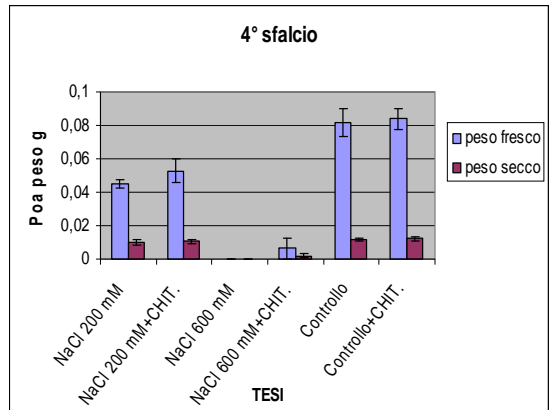
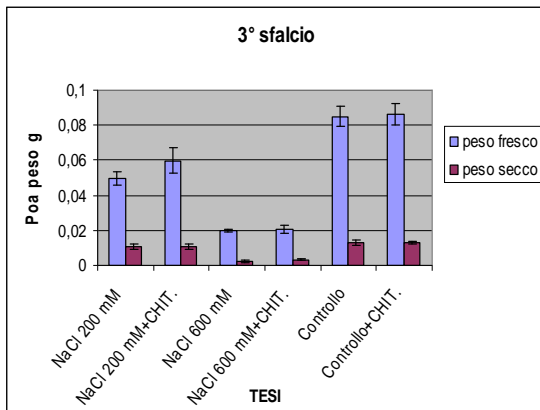
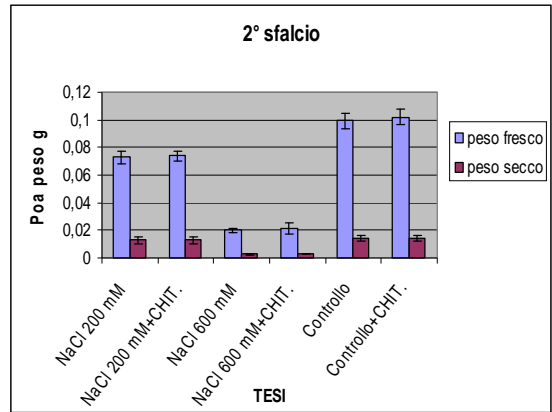
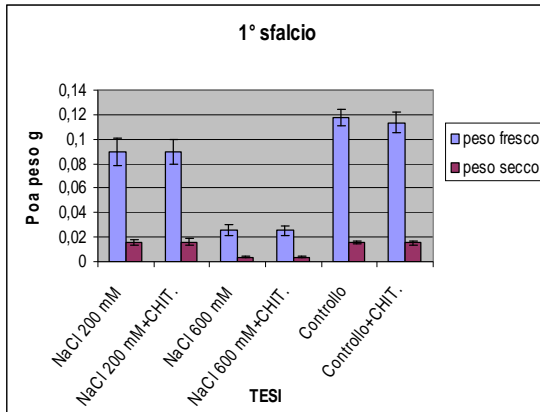
Dai dati osservati possiamo affermare che il trattamento con glicinbetaina ha avuto effetti positivi sulla produzione di biomassa sia in *Poa* che *Puccinellia*. Tutte le tesi trattate con questo osmoregolatore sono più produttive e vigorose (Chen e Murata 2008). I valori di peso secco della biomassa fogliare delle diverse tesi, non ha mostrato differenze statisticamente significative nelle tesi trattate con glicinbetaina. I valori omogenei di peso secco, ci portano a supporre che il maggiore valore di peso fresco della biomassa fogliare è imputabile non solo alla maggiore altezza delle tesi trattate con glicinbetaina, ma anche un maggiore quantità di acqua nel liquido cellulare delle stesse.

La figura 6a illustra l'andamento della produzione di biomassa in **Puccinellia distans** trattata con chitosano.

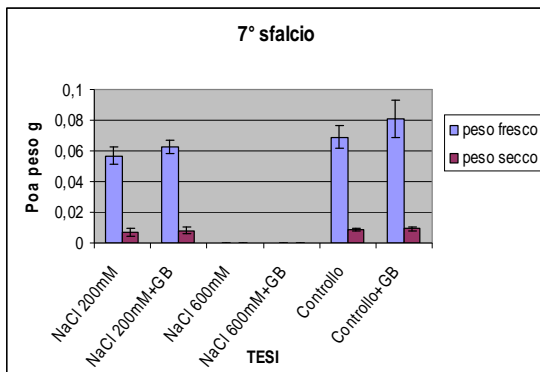
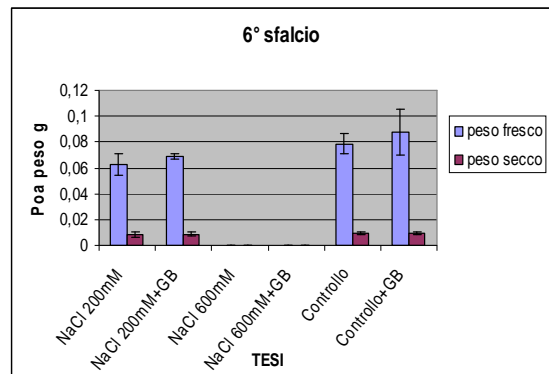
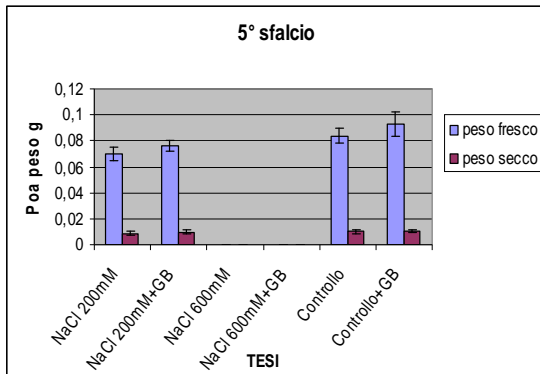
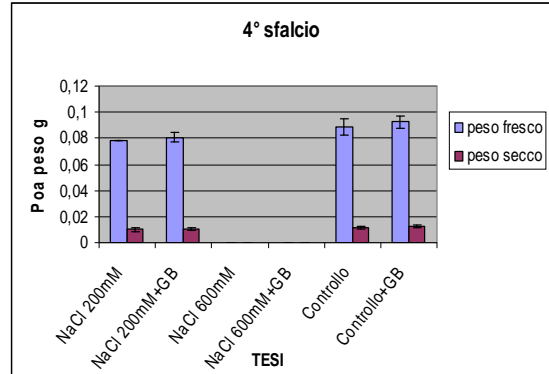
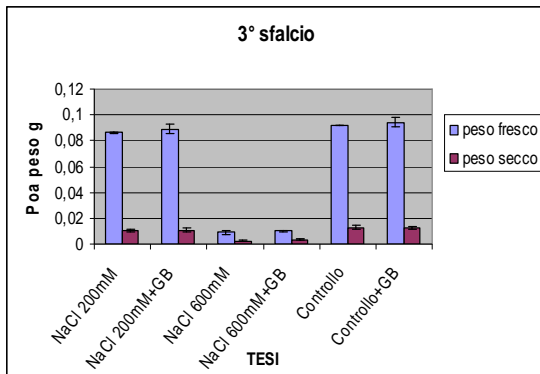
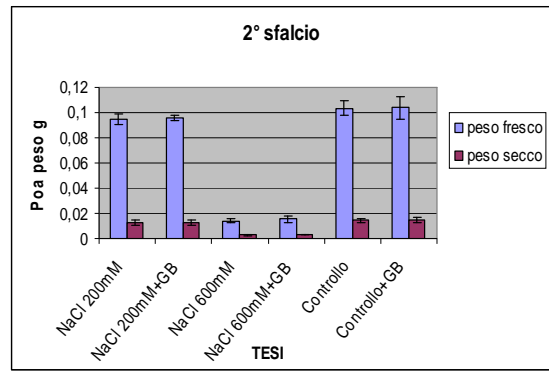
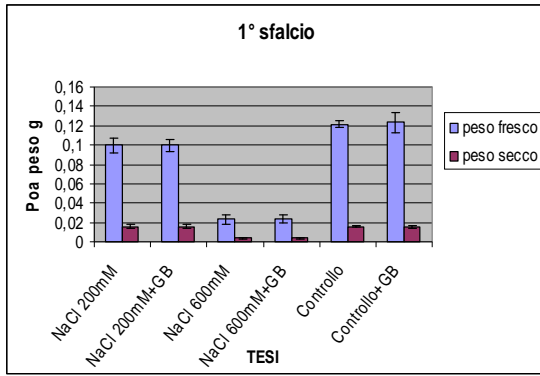
Dal 1° al 4° sfalcio il trattamento con chitosano non sembra avere avuto nessun effetto sulle tesi trattate, le quali presentano valori di biomassa pressoché uguali

ai controlli. Nelle tesi NaCl 200mM+chit. si riscontra un aumento di biomassa ,rispetto alla tesi NaCl 200mM, dal 5° al 7° sfalcio, mentre nelle tesi Controllo e Controllo+chit. non si è riscontrato nessuna variazione dell'andamento della produzione di biomassa durante tutto il ciclo sperimentale. Anche le tesi NaCl 600mM e NaCl 600mM+chit hanno mostrato un'omogeneità di valori di biomassa in tutto il ciclo sperimentale , l'unica nota riscontrabile è data dall'arresto di produzione di biomassa della tesi NaCl 600mM+chit. nel 6° e 7° sfalcio.

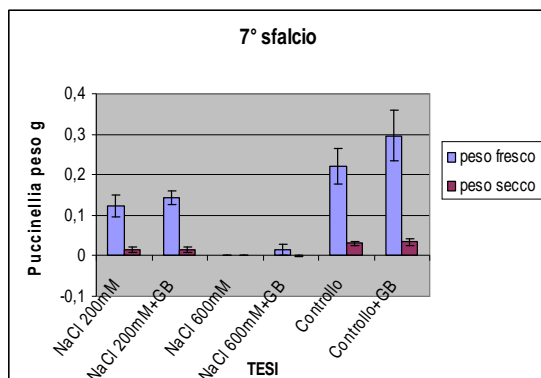
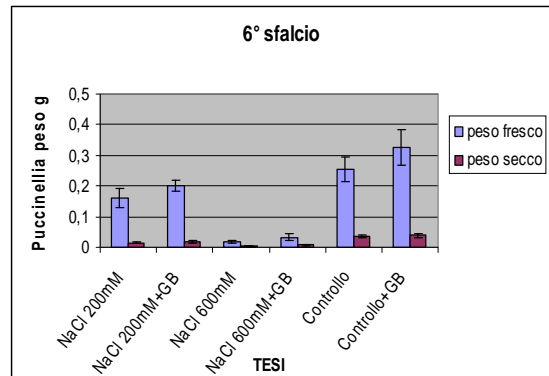
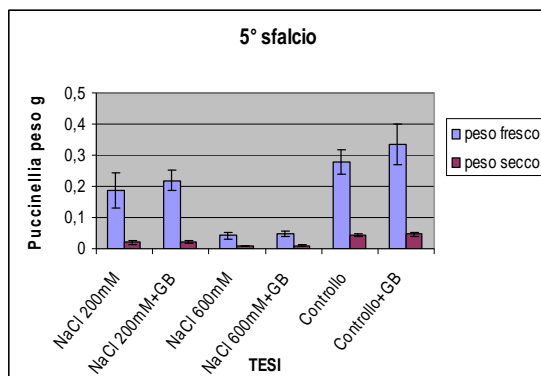
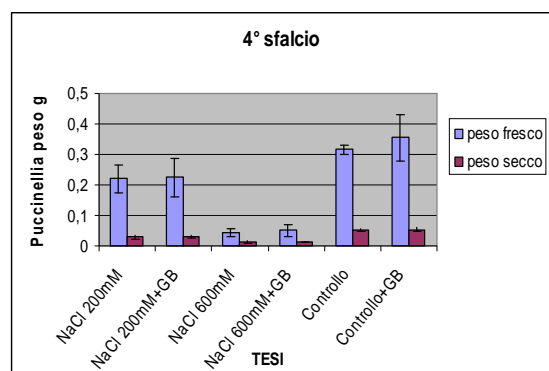
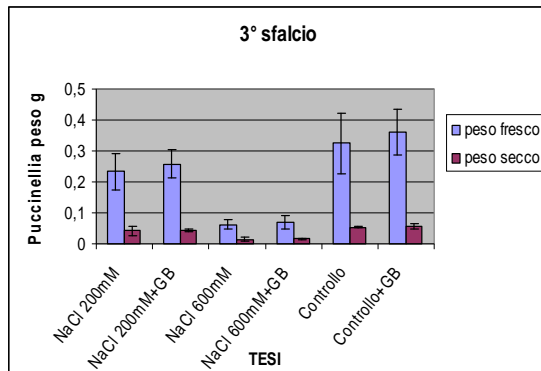
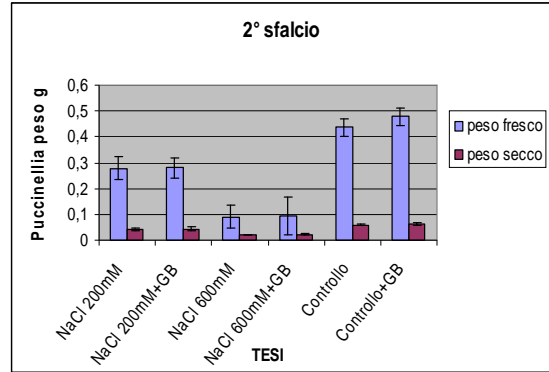
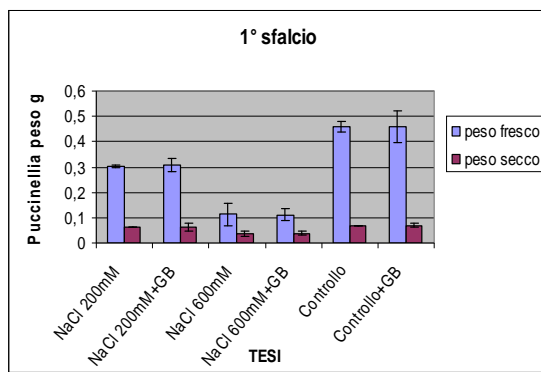
L'effetto del chitosano sulle tesi trattate ha avuto risultati diversi da quelli ottenuti con glicinbetaina, ma sicuramente non meno interessanti. L'effetto del chitosano non ha provocato un aumento rilevante dell'altezza, ma ha favorito, soprattutto nelle tesi saline, un minore tasso di mortalità. L'aumento di biomassa nelle tesi trattate con chitosano è ,quindi, imputabile ad una maggiore densità delle piantine che sono state capaci di utilizzare maggiormente la risorsa idrica a disposizione, anche in condizione di stress salino, in accordo con quanto verificato in peperone (Bittelli *et al.*, 2000).



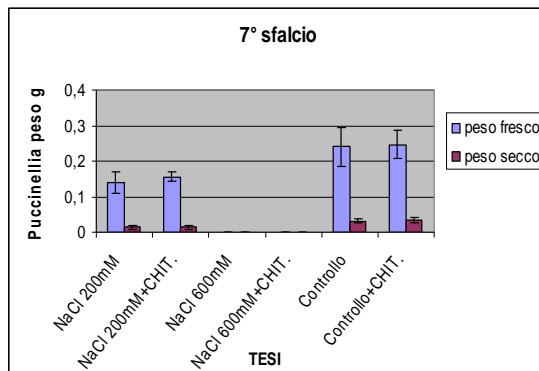
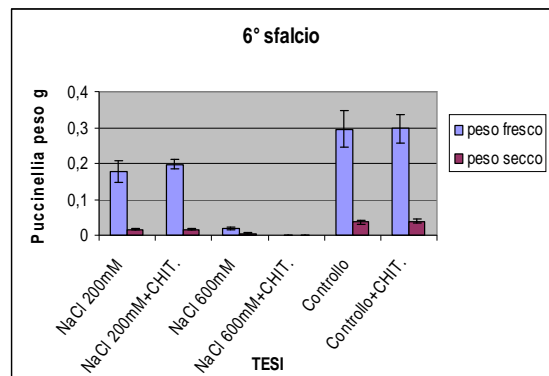
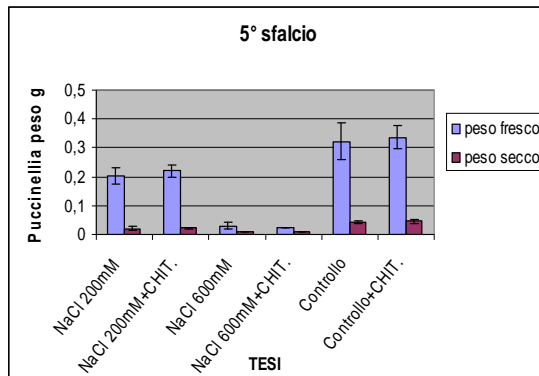
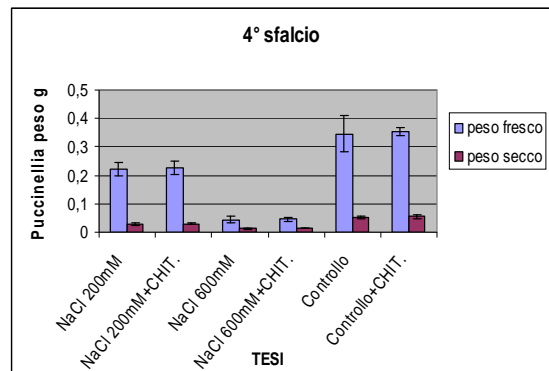
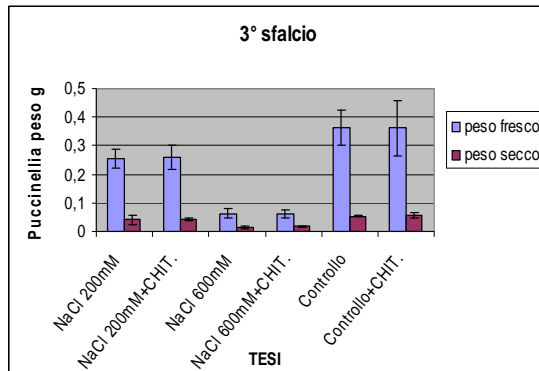
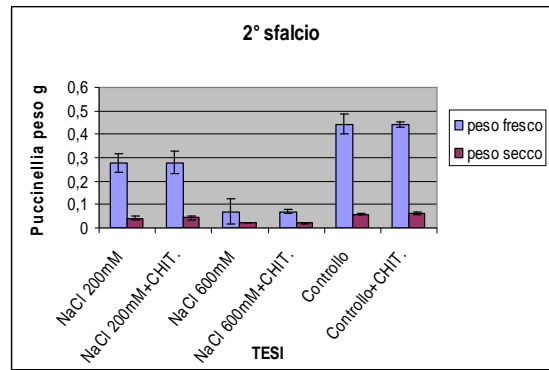
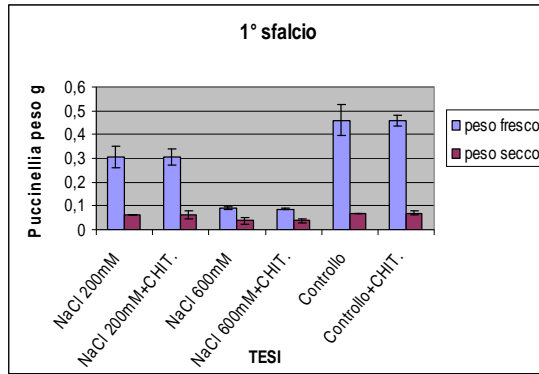
**Fig.5** Peso fresco e secco della biomassa asportata con uno sfalcio settimanale in *Poa pratensis* trattata con chitosano, a partire dal 40° giorno di semina.



**Fig.5a** Peso fresco e secco della biomassa asportata con uno sfalcio settimanale in *Poa pratensis* trattata con glicinbetaina, a partire dal 40° giorno di semina.



**Fig.6** Peso fresco e secco della biomassa asportata con uno sfalcio settimanale in *Puccinellia distans* trattata con glicinbetaina, a partire dal 40° giorno di semina.

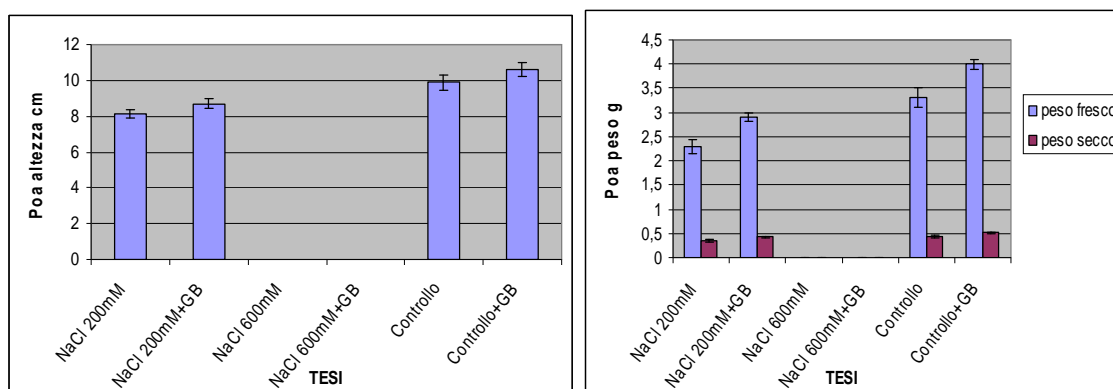


**Fig.6a** Peso fresco e secco della biomassa asportata con uno sfalcio settimanale in *Puccinellia distans* trattata con chitosano, a partire dal 40° giorno di semina.

## Dati parte epigea

I grafici (figura 7 e 7a) e (figura 8- 8a) illustrano i dati relativi all'altezza e alla biomassa epigea (foglie), asportata alla fine del ciclo sperimentale al 90° giorno dalla semina.

La figura 7 illustra i dati relativi all'altezza ed alla biomassa epigea asportata in *Poa pratensis* trattata con glicinbetaina.

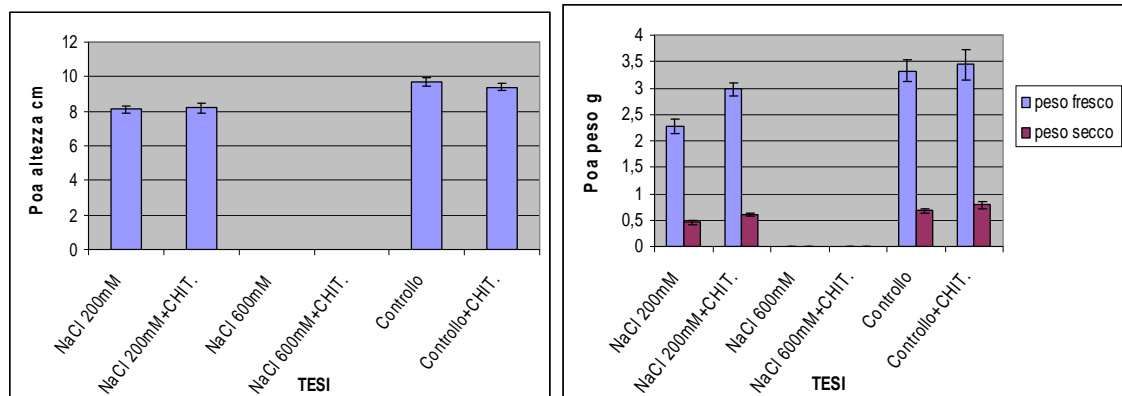


**Fig. 7-** Altezza e biomassa epigea in *Poa pratensis*, trattata con glicinbetaina, a fine esperimento

Il primo dato che subito si evidenzia è dato dalla mancanza dei valori di altezza e biomassa nelle tesi saline NaCl 600mM e NaCl 600mM+GB, poiché alla fine del ciclo sperimentale le tesi in oggetto non sono riuscite a resistere ad una concentrazione così alta di cloruro di sodio che ha creato un'alta mortalità delle piantine non permettendo di procedere alla misura dell'altezza né tanto meno alla pesatura della biomassa. Dai dati rilevati possiamo osservare che la tesi NaCl 200mM+ GB ha reagito bene al trattamento con glicinbetaina mostrando valori di altezza media e biomassa epigea vicini alla tesi Controllo. I dati di peso secco delle tesi NaCl 200mM e NaCl 200mM+ GB presentano una certa omogeneità, mentre i valori di peso secco della tesi Controllo+GB rispecchiano l'andamento della biomassa fresca attestandosi su valori superiori alla tesi Controllo.



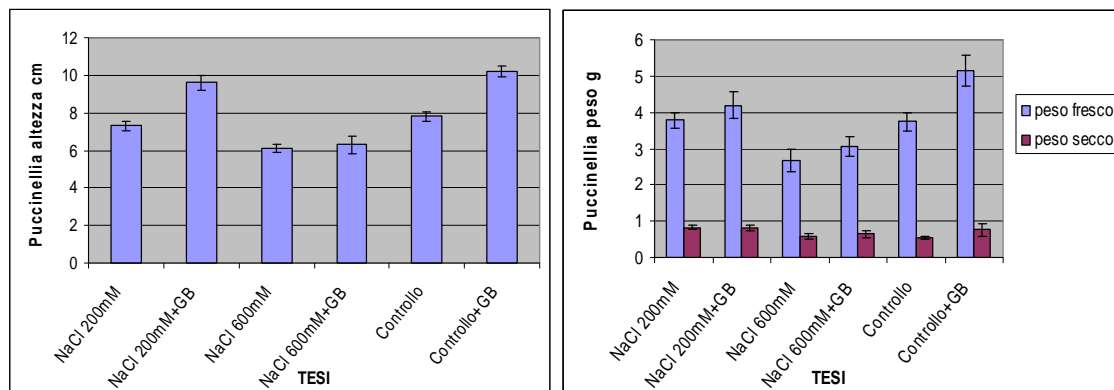
La figura 7a illustra i dati relativi all'altezza ed alla biomassa epigea asportata in *Poa pratensis* trattata con chitosano.



**Fig. 7-** Altezza e biomassa epigea in *Poa pratensis*, trattata con chitosano, a fine esperimento

I dati osservati trovano riscontro con i dati, rilevati durante il ciclo sperimentale, sull'andamento di altezza e biomassa. Si osserva alla fine del ciclo sperimentale una certa omogeneità di altezza media delle tesi trattate con chitosano rispetto alle tesi controllo, confermando ulteriormente che il chitosano non ha come suo effetto predominante un aumento di altezza nelle piantine trattate, mentre l'effetto sulla densità è evidente anche in questi grafici, poiché osserviamo che a parità di altezza tutte le tesi trattate con chitosano presentano una biomassa fresca e secca superiore alle tesi controllo, confermando la capacità di questa sostanza di avere effetto sulla densità e non sull'aumento di altezza. L'aumento di biomassa è evidente soprattutto nella tesi NaCl 200mM+ Chit. rispetto alla tesi NaCl 200mM, mentre si osserva con meno evidenza nelle tesi Controllo+Chit. rispetto al Controllo. Questo dato ci porta a supporre che il chitosano ha un'azione maggiore sulle tesi stressate con trattamenti che non sulle tesi controllo.

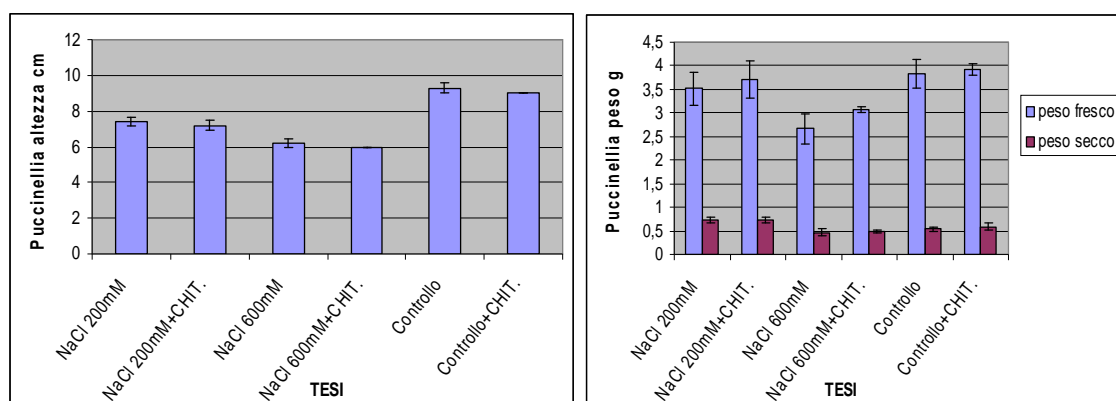
La figura 8 illustra i dati relativi all'altezza ed alla biomassa epigea asportata in *Puccinellia distans* trattata con glicinbetaina.



**Fig. 8-** Altezza e biomassa epigea in *Puccinellia distans*, trattata con glicinbetaina, a fine esperimento

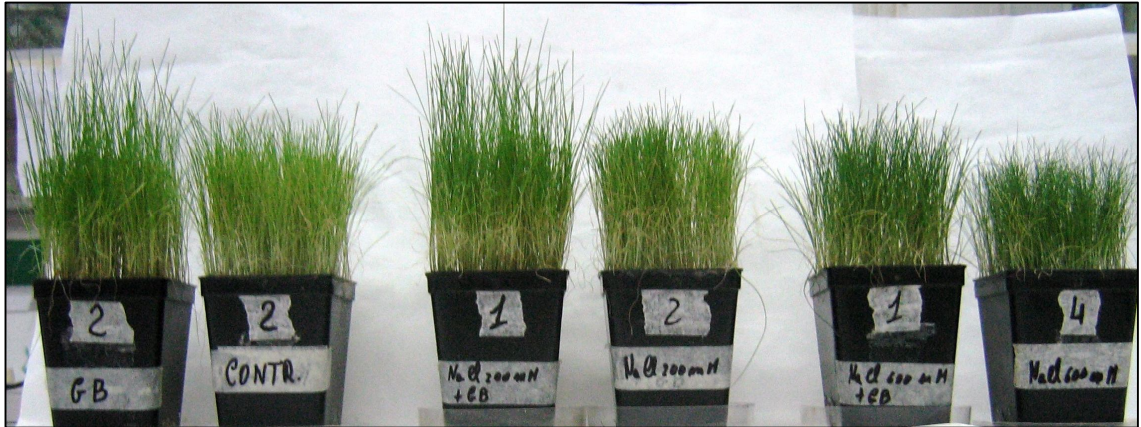
I dati relativi all'altezza ed alla biomassa epigea osservati a fine esperimento confermano l'effetto della glicinbetaina osservando in tutte le tesi trattate un'altezza ed una biomassa maggiore delle tesi controllo. Il dato più interessante si osserva nella tesi NaCl 200mM+ GB che presenta valori in altezza e biomassa quasi uguali alla tesi Controllo+GB dimostrando che questa concentrazione salina non influisce sui meccanismi fisiologici della specie. In termini di biomassa la tesi NaCl 200mM presenta valori simili alla tesi Controllo, confermando ancora l'elevata tolleranza della specie a questa concentrazione. Contrariamente a quanto visto in *Poa*, le tesi NaCl 600mM e NaCl 600mM+ GB hanno concluso il ciclo sperimentale in buone condizioni vitali, permettendo di procedere a tutte le misurazioni previste a fine ciclo. Un dato che si rileva sui pesi secchi è dato dall'omogeneità dei valori nelle varie tesi dimostrando ancora una volta che le tesi trattate con glicinbetaina presentano un maggiore peso dovuto anche ad un maggiore contenuto di acqua nelle cellule che poi viene perso con l'essiccazione in stufa avvicinandosi ai valori del peso secco rilevato nei controlli.

La figura 8a illustra i dati relativi all'altezza ed alla biomassa epigea asportata in *Puccinellia distans* trattata con chitosano.



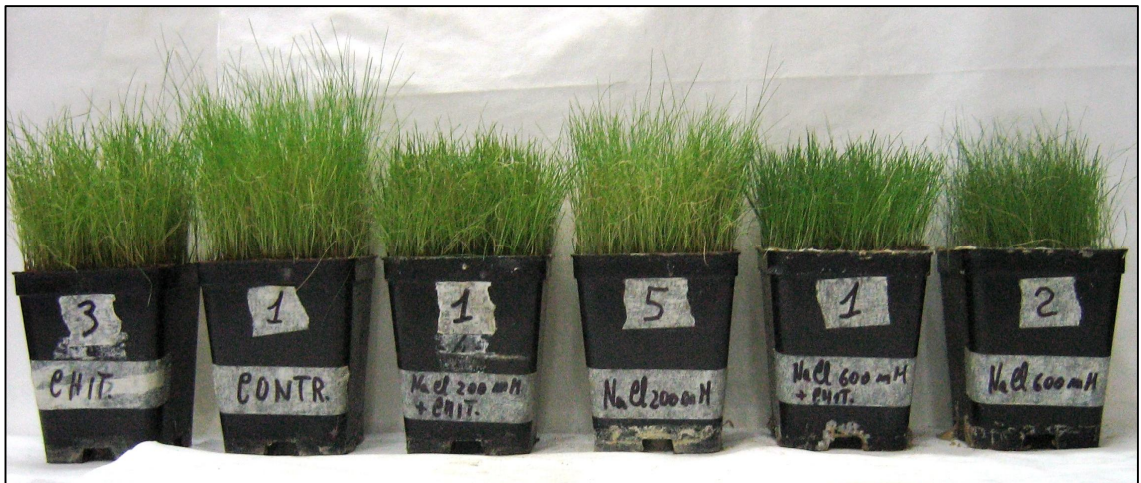
**Fig. 7-** Altezza e biomassa epigea in *Puccinellia distans*, trattata con chitosano, a fine esperimento

Le altezze pressoché simili rilevate alla fine del ciclo sperimentale evidenziano ulteriormente che il trattamento con chitosano non sortisce nessun effetto sull'aumento dell'altezza nelle piante trattate, anzi su *Puccinellia* si può osservare che le tesi controllo presentano valori, seppur minimi, di altezza superiori alle tesi trattate. Nei dati rilevati sulla biomassa fresca e secca, invece, tutte le tesi trattate con chitosano presentano valori di biomassa fresca e secca superiore ai controlli. Dai dati osserviamo che le tesi NaCl 200mM e NaCl 200mM+ Chit. presentano valori di biomassa vicini alle tesi Controllo e Controllo+Chit., dimostrando ancora l'ottima resistenza di questa specie allo stress salino.



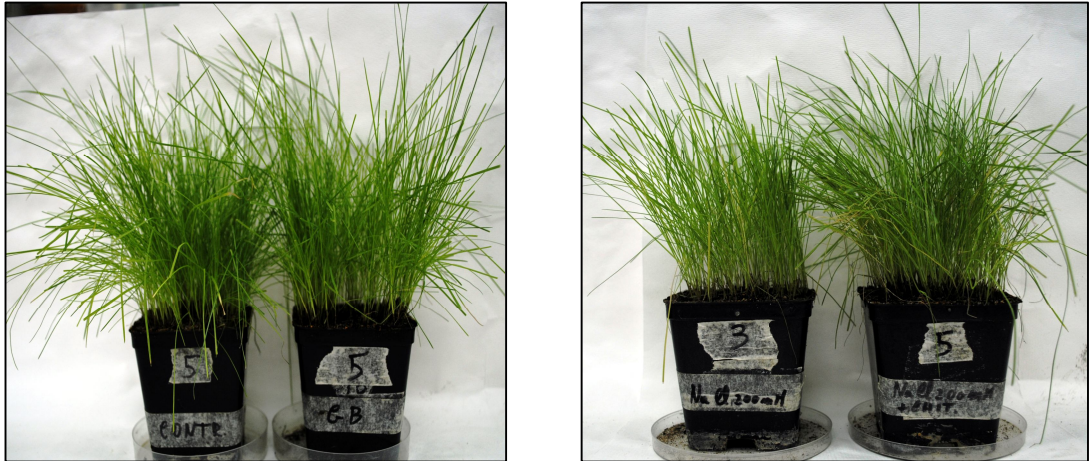
**Foto 1-** Piantine di *Puccinellia distans* trattate con glicinbetaina ad 80 giorni dalla semina

La **foto 1** illustra le piantine di *Puccinellia distans* ad 80 giorni dalla semina dopo aver subito 12 trattamenti salini e 8 trattamenti con glicinbetaina. Come si può osservare è tangibile l'effetto della glicinbetaina sull'altezza della tesi trattate.



**Foto 2-** Piantine di *Puccinellia distans* trattate con chitosano ad 80 giorni dalla semina.

La **foto 2** illustra le piantine di *Puccinellia distans* ad 80 giorni dalla semina dopo aver subito 12 trattamenti salini e 8 trattamenti con chitosano. Come si può osservare il chitosano non ha avuto nessun effetto sull'altezza della tesi trattate che si presentano leggermente più basse dei controlli.

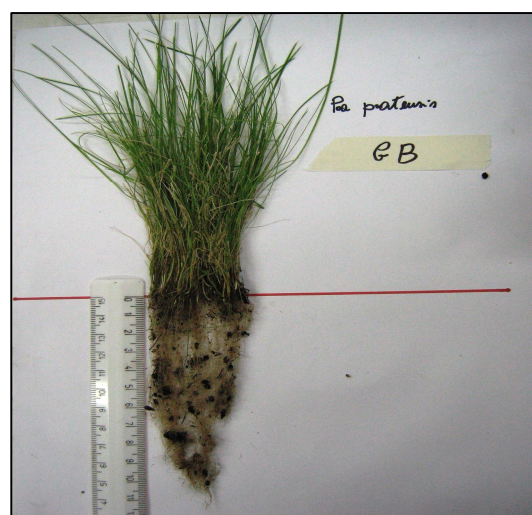
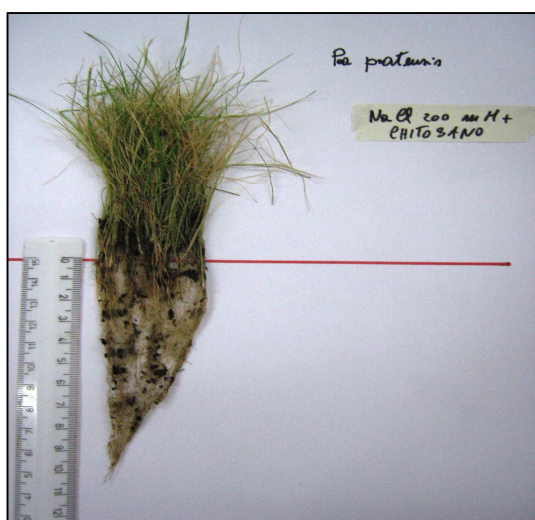


**Foto. 3-** Piantine di *Poa pratensis* ad 80 giorni dalla semina

La **foto 3** illustra le piantine delle tesi NaCl 200mM+ Chit. e NaCl 200mM (destra) e Controllo ed Controllo+ GB (sinistra) di *Poa pratensis* ad 80 giorni dalla semina dopo aver subito 12 trattamenti salini e 8 trattamenti con chitosano e glicinbetaina. Come si può osservare il chitosano non ha avuto nessun effetto sull'altezza della tesi trattate che si presentano pressoché simili, ma è evidente come le tesi trattate con chitosano presentino una densità maggiore delle tesi controllo.

### Dati parte ipogea

La misurazione della lunghezza dell'apparato radicale alla fine del ciclo sperimentale si è effettuata estraendo le piantine dai vasetti e ponendo le radici su di un piano a fondo bianco per una pulitura delicata dei peli radicali e la misurazione della radice più lunga a partire dal colletto. Per il peso fresco e secco della biomassa radicale: le radici sono state lavate con acqua distillata, asciugate e pesate, sono poi state poste in stufa a 70°C per 24 ore e ripeseate per la determinazione del peso secco. Le **foto 4** e **5** illustrano alcuni esempi inerenti la misurazione dell'apparato radicale alla fine del ciclo sperimentale.



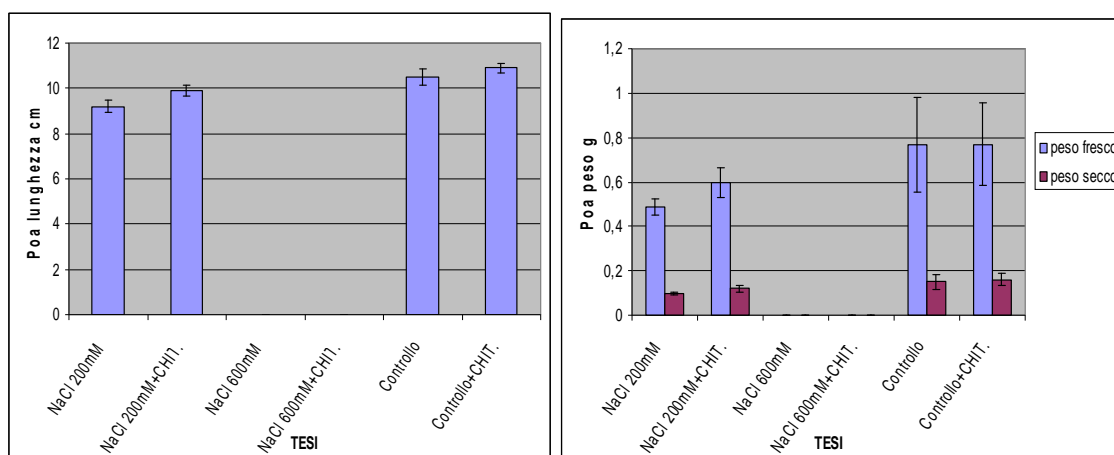
**Foto. 4-** Apparato radicale di *Poa pratensis*



**Foto. 5-** Apparato radicale di *Puccinellia distans*

Le figure (9 e 9a) e (10- 10a) illustrano i dati relativi alla lunghezza e alla biomassa ipogea (radici), asportata e misurata alla fine della prova.

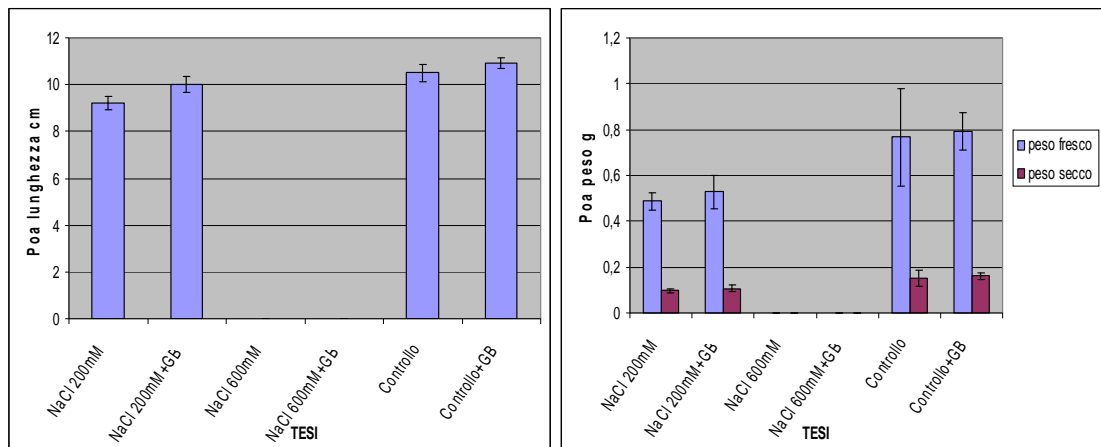
La figura 9 illustra i dati relativi alla lunghezza ed alla biomassa ipogea asportata in *Poa pratensis* trattata con chitosano.



**Fig. 9-** lunghezza e biomassa ipogea in *Poa pratensis*, trattata con chitosano, a fine esperimento.

Il primo dato che subito si evidenzia rileva dalla mancanza dei valori di lunghezza e biomassa dell'apparato radicale delle tesi saline NaCl 600mM e NaCl 600mM+Chitosano, poiché, alla fine del ciclo sperimentale le tesi in oggetto non sono riuscite a resistere ad una concentrazione così alta di cloruro di sodio che ha creato un'alta mortalità delle piantine non permettendo di procedere alla misura della lunghezza né tanto meno alla pesatura della biomassa delle radici. Dai dati ottenuti, si riscontra un aumento della lunghezza dell'apparato radicale nelle tesi trattate, si osserva che la tesi NaCl 200mM+ Chitosano mostra una lunghezza media vicina alla tesi Controllo. I dati di peso fresco della tesi NaCl 200mM+Chitosano presentano valori superiori alla tesi NaCl 200mM, mentre i valori di peso fresco e secco delle tesi Controllo+Chitosano e Controllo presentano una certa omogeneità. Il peso secco della tesi NaCl 200mM+Chitosano rispecchia l'andamento della biomassa fresca mantenendosi su valori superiori alla tesi NaCl 200mM.

La figura 9a illustra i dati relativi alla lunghezza ed alla biomassa ipogea asportata in *Poa pratensis* trattata con glicinbetaina.



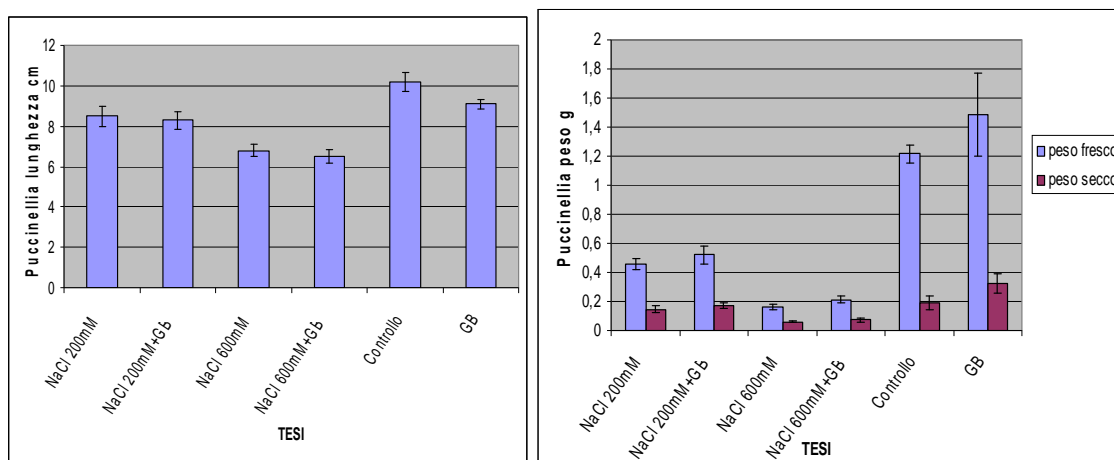
**Fig. 9a-** lunghezza e biomassa ipogea in *Poa pratensis*, trattata con glicinbetaina, a fine esperimento

Dai dati osservati si riscontra anche nell'esperimento con glicinbetaina l'assenza delle tesi NaCl 600mM e NaCl 600mM+GB dimostrando che anche questo osmoregolatore non ha nessun effetto sulla riduzione dell'alta percentuale di mortalità riscontrata in *Poa* irrigata con questa concentrazione salina. Si osserva che l'apparato radicale delle tesi NaCl 200mM+GB e Controllo+GB presenta una lunghezza media maggiore dei rispettivi controlli. I valori di peso fresco delle tesi NaCl 200mM+GB e Controllo+GB è superiore alle tesi controllo, mentre nelle tesi NaCl 200mM e NaCl 200mM+GB presentano valori di peso secco pressoché simili.

Dai dati ottenuti si osserva che sia la glicinbetaina che il chitosano hanno avuto effetti positivi sulla lunghezza e biomassa dell'apparato radicale di *Poa pratensis*, permettendo alle radici delle tesi trattate di raggiungere strati più profondi del suolo, dove lo stress ingenerato dalla presenza di sali è minore.



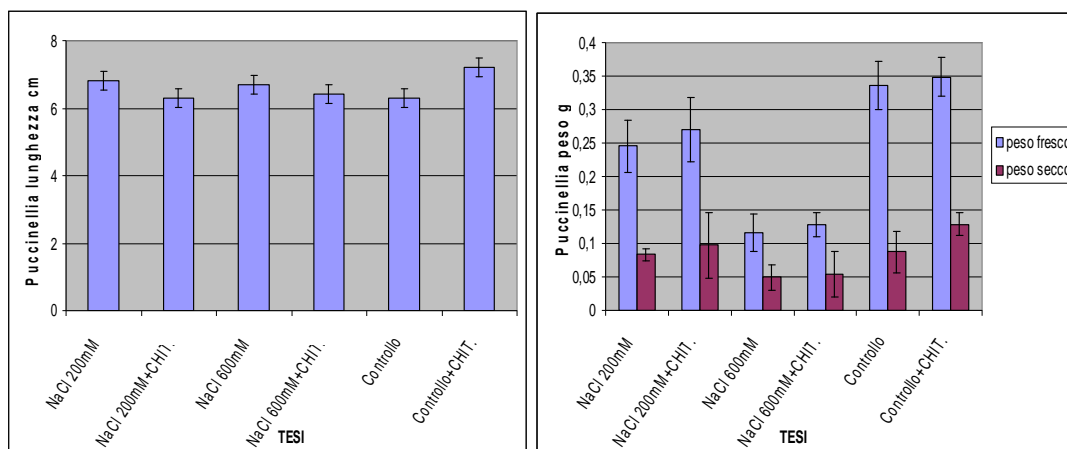
La figura 10 illustra i dati relativi alla lunghezza ed alla biomassa ipogea asportata in *Puccinellia distans* trattata con glicinbetaina.



**Fig. 10-** lunghezza e biomassa ipogea in *Puccinellia distans*, trattata con glicinbetaina, a fine esperimento

Dai dati ottenuti si osserva che la glicinbetaina non ha avuto nessun effetto positivo sull'aumento di lunghezza dell'apparato radicale delle tesi trattate che presentano una lunghezza inferiore alle tesi controllo. Un dato interessante, invece, si osserva nei valori di peso fresco delle tesi trattate che si presentano maggiori, nonostante la minore lunghezza, alle tesi controllo. I Valori di peso secco rispecchiano i valori del peso fresco mantenendosi su valori più alti nelle tesi NaCl 600mM e Controllo, mentre nelle tesi NaCl 200mM e NaCl 200mM+GB presentano valori di peso secco simili.

La figura 10a illustra i dati relativi alla lunghezza ed alla biomassa ipogea asportata in *Puccinellia distans* trattata con chitosano.



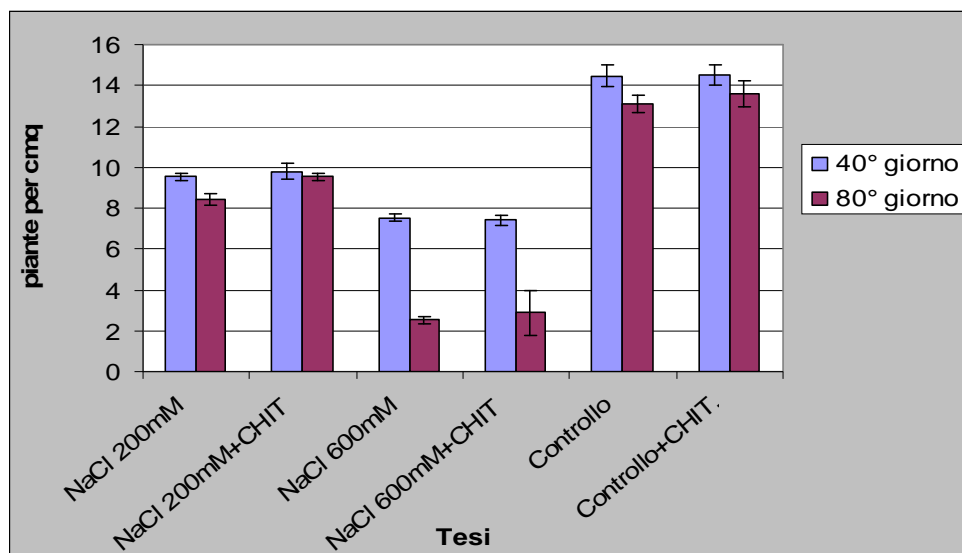
**Fig. 10a-** lunghezza e biomassa ipogea in *Puccinellia distans*, trattata con chitosano, a fine esperimento

Dai dati osservati si rileva che neanche il trattamento con chitosano ha sortito effetti positivi sull'apparato radicale delle tesi trattate che si presenta più corto in tutte le tesi saline rispetto ai controlli ad eccezione dell'apparato radicale della tesi Controllo+chitosano che presenta una lunghezza media superiore alla tesi Controllo. I dati sul peso fresco non rispecchiano l'andamento della lunghezze, poiché si può osservare che i valori di peso fresco delle tesi NaCl 600mM+Chitosano ed NaCl 600mM e nelle tesi Controllo+Chitosano e Controllo e pressoché simile, mentre la tesi NaCl 200mM+Chitosano presenta valori di peso fresco superiori alla tesi NaCl 200mM. I valori di peso secco si presentano simili nelle tesi NaCl 600mM, mentre nelle tesi NaCl 200mM+Chitosano e Controllo+Chitosano si riscontrano valori di peso secco superiori ai controlli.

### Dati densità epigea e germinazione

Al 40° e all'80° giorno dalla semina, tramite una griglia con maglie da 1 cm<sup>2</sup>, si è proceduto alla misurazione della densità epigea delle tesi. Le figure **11-11a** ed le figure **12-12a** illustrano le variazioni di densità in Poa e Puccinellia nel corso del ciclo sperimentale.

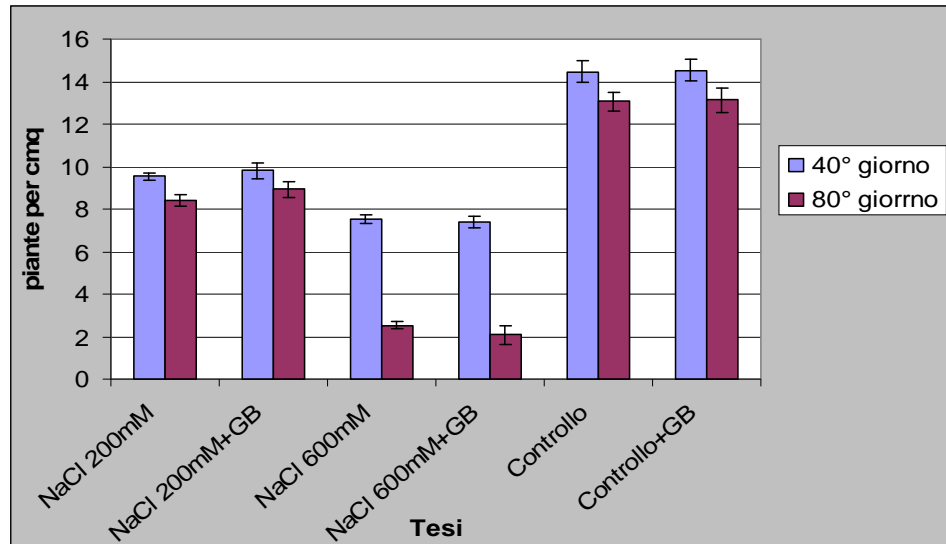
La figura **11** illustra la variazione di densità in Poa pratensis trattata con chitosano.



**Fig. 11-** Densità epigea Poa pratensis trattata con chitosano

L'effetto positivo del chitosano si è osservato soprattutto nelle tesi NaCl 200mM+chitosano, che ha mostrato all'80° giorno una perdita del 3% rispetto al misurazione effettuata al 40°, mentre la tesi NaCl 200mM ha presentato una perdita dell'11%. Il grafico mostra la notevole perdita di densità nelle tesi NaCl 600mM e NaCl 600mM+chitosano che si attesta tra il 66% e il 68%, confermando la scarsa resistenza di Poa a tale concentrazione salina. Non si osservano variazioni rilevanti nelle tesi Controllo e Controllo+chitosano, che presentano una riduzione di densità del 7% circa.

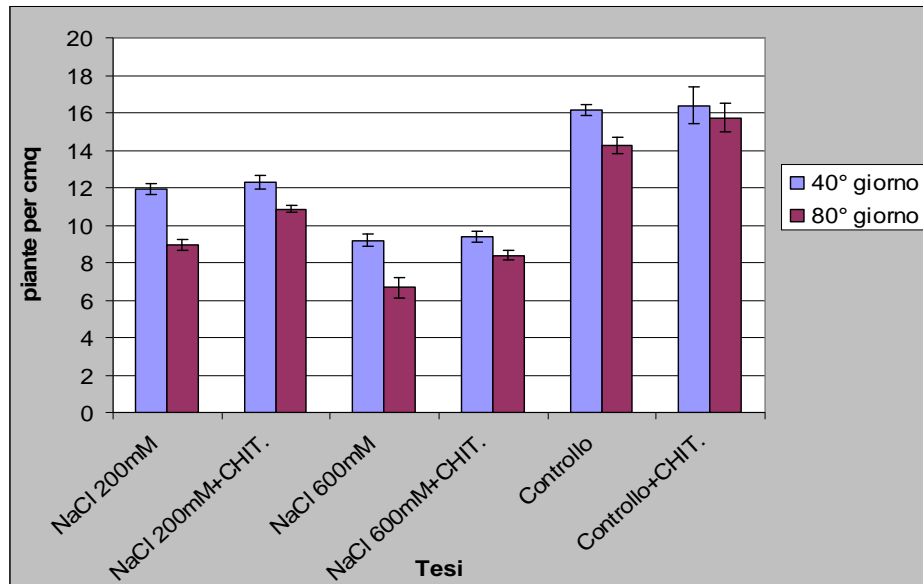
La figura **11a** illustra la variazione di densità in *Poa pratensis* trattata con glicinbetaina.



**Fig. 11a-** Densità epigea *Poa pratensis* trattata con glicinbetaina

La glicinbetaina non sembra avere avuto un notevole effetto sulla densità delle tesi Controllo e Controllo+GB che presentano valori praticamente omogenei, mentre ha avuto un leggero effetto sulla tesi NaCl 200mM+GB che presenta una perdita di densità pari all'8% rispetto alla tesi NaCl 200mM che ha avuto una perdita dell'11%. La glicinbetaina ha avuto un effetto negativo sulla tesi NaCl 600mM+GB, in cui si è osservata una perdita del 72% rispetto alla tesi NaCl 600mM che ha mostrato una perdita di densità pari al 66%.

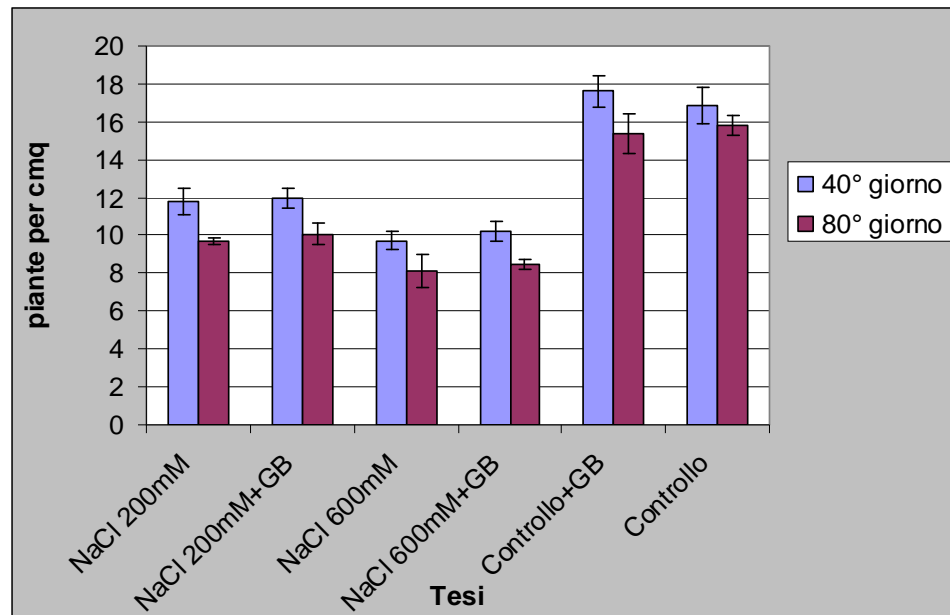
La figura 12 illustra la variazione di densità in *Puccinellia distans* trattata con chitosano.



**Fig. 12-** Densità epigea *Puccinellia distans* trattata con chitosano

Dal grafico si può osservare che, in *Puccinellia*, l'effetto positivo del chitosano si è manifestato in tutte le tesi. La tesi NaCl 200mM+chitosano, ha mostrato all'80° giorno una perdita di densità del 11% rispetto alla misurazione effettuata al 40°, mentre la tesi NaCl 200mM ha presentato una perdita dell'25%. Il grafico mostra il notevole effetto positivo del chitosano sulla perdita di densità della tesi NaCl 600mM+chitosano che si attesta al 10% rispetto alla tesi NaCl 600mM che presenta una perdita pari al 27%. Si osservano variazioni rilevanti anche nelle tesi Controllo e Controllo+chitosano, che presentano una riduzione di densità dell' 11% circa per la tesi Controllo e del 4% per la tesi Controllo+chitosano.

La figura 12a illustra la variazione di densità in *Puccinellia distans* trattata con glicinbetaina.



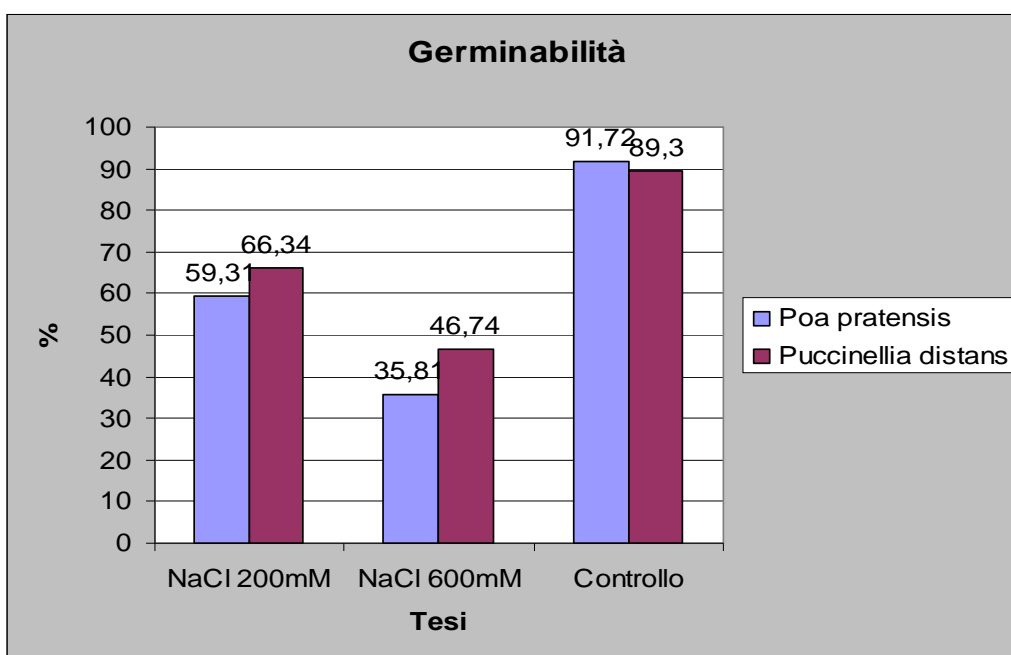
**Fig. 12a-** Densità epigea *Puccinellia distans* trattata con glicinbetaina

Anche in *Puccinellia*, la glicinbetaina non sembra avere avuto un notevole effetto positivo sulla perdita di densità delle varie tesi. La glicinbetaina ha avuto un leggero effetto sulla tesi NaCl 200mM+GB che presenta una perdita di densità pari all'15% rispetto alla tesi NaCl 200mM che ha avuto una perdita dell'18%, mentre sulla tesi NaCl 600mM+GB ed NaCl 600mM si osservano valori di densità praticamente omogenei, pari al 16%. Si osserva anche un effetto positivo sulla tesi Controllo+GB che presenta una perdita di densità del 8% rispetto alla tesi Controllo che si attesta al 12%.

Al 20° giorno dalla semina , dopo il terzo trattamento salino, tramite una griglia con maglie da 1 cm<sup>2</sup>, si è proceduto alla misurazione della densità delle tesi con lo scopo di determinare la percentuale di germinazione in *Puccinellia distans* e *Poa pratensis* in condizioni di stress salino.

La percentuale di germinazione nei vasetti si è calcolata attraverso una semplice operazione, infatti se consideriamo che la dose di semina di 0,30g sia per *Puccinellia* che per *Poa* corrisponde all'incirca a 1000 semi, e bastato moltiplicare la densità di ogni vasetto per la percentuale di germinazione dichiarata dalle aziende produttrici/1000 ( *Puccinellia* = **densità cm<sup>2</sup> x 96/1000**) (*Poa* = **densità cm<sup>2</sup> x 98/1000**) per ottenere, con buona approssimazione, la percentuale di piantine germinate con le varie concentrazioni saline.

La figura 13 illustra la percentuale di germinazione in *Puccinellia distans* e *Poa pratensis* in condizioni di stress salino.

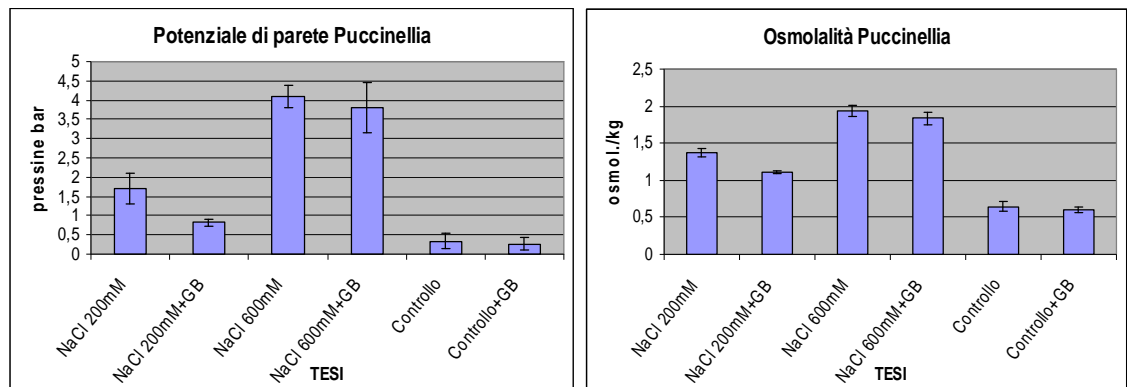


**Fig. 13-**Percentuale di germinazione in *Puccinellia distans* e *Poa pratensis* calcolata al 20° giorno dalla semina

## Potenziale idrico

Alla fine del ciclo sperimentale si è proceduto alla misurazione del potenziale di parete tramite la Bomba di Scholander (bomba a pressione) ed il potenziale di soluto o osmolalità attraverso l'osmometro crioscopico. Le figure **14-14a ; 15-15a**; illustrano i valori di potenziale di parete e osmolalità totale di *Puccinellia distans* e *Poa pratensis*.

La figura **14** illustra i valori di potenziale di parete e osmolalità totale di *Puccinellia distans* trattata con glicinbetaina.

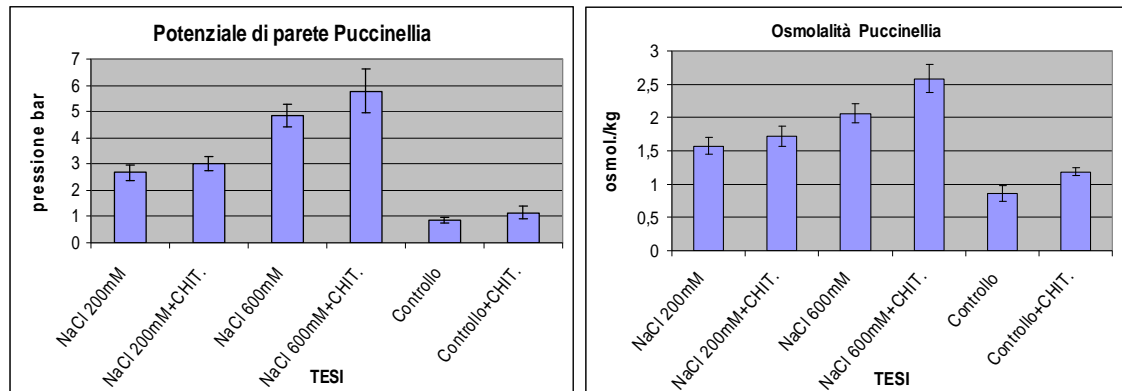


**Fig. 14-** Potenziale di parete e osmolalità totale di *Puccinellia distans* trattata con glicinbetaina.

Dai dati ottenuti sull'osmolalità era prevedibile che questa fosse maggiore nelle tesi trattate con sale per l'accumulo di NaCl nel liquido cellulare. I dati confermano l'effetto positivo della glicinbetaina sul potenziale di parete e sull'osmolalità totale. Questo effetto si osserva soprattutto nelle tesi saline NaCl 200mM+GB ed NaCl 600mM+GB, che presentano valori più bassi di potenziale ed osmolalità rispetto ai controlli. L'osmoregolatore non sembra avere effetto sulle tesi Controllo+GB e Controllo, le quali presentano valori di potenziale e osmolalità pressoché uguali.



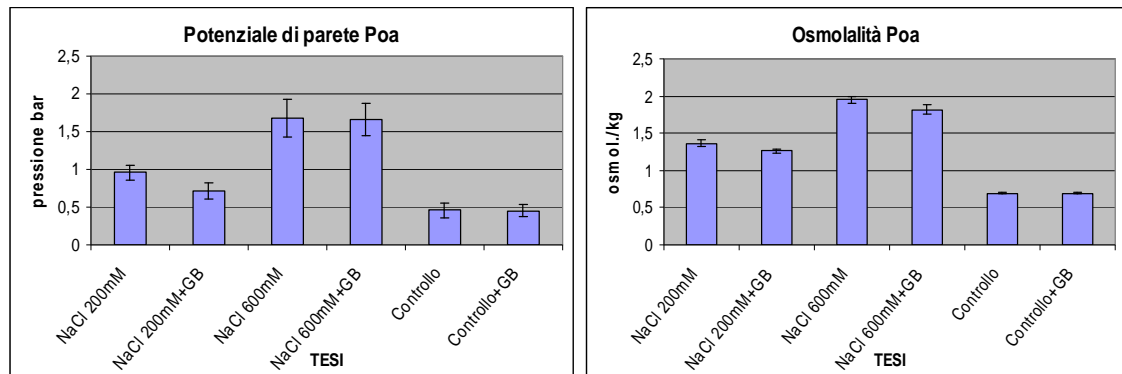
La figura **14a** illustra i valori di potenziale di parete e osmolalità totale di *Puccinellia distans* trattata con chitosano.



**Fig. 14a-** Potenziale di parete e osmolalità totale di *Puccinellia distans* trattata con chitosano.

Osservando i grafici si può affermare che il chitosano non abbia avuto notevoli effetti nel ridurre la presenza di osmoliti nelle tesi trattate, anzi si osserva l'effetto contrario, poiché tutte le tesi trattate con chitosano hanno valori di potenziale e osmolalità superiori ai controlli. Questa tendenza si osserva soprattutto nelle tesi NaCl 600mM+chitosano ed NaCl 600mM, mentre nelle tesi NaCl 200mM+ chitosano ed NaCl 200mM e nelle tesi Controllo+chitosano e Controllo non si osservano differenze rilevanti.

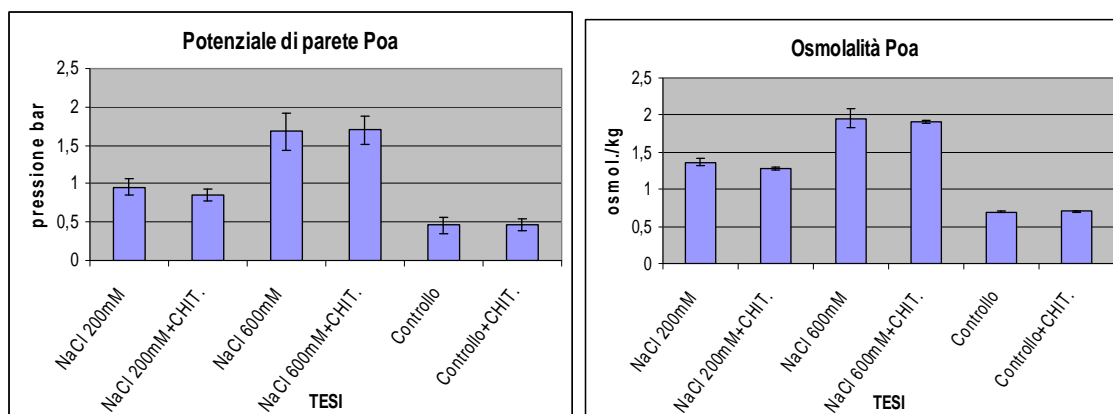
La figura 15 illustra i valori di potenziale di parete e osmolalità totale di *Poa pratensis* trattata con glicinbetaina.



**Fig. 15-** Potenziale di parete e osmolalità totale di *Poa pratensis* trattata con glicinbetaina.

Anche in *Poa*, i dati confermano l'effetto positivo della glicinbetaina nel ridurre la presenza di osmoliti, dovuta probabilmente ad una maggiore quantità di acqua presente nei tessuti delle tesi trattate. Questo effetto si osserva soprattutto nella tesi salina NaCl 200mM+GB, che presenta valori più bassi di potenziale ed osmolalità rispetto al controllo. L'osmoregolatore non sembra avere avuto effetto sulle tesi NaCl 600mM+GB ed NaCl 600mM e Controllo+GB e Controllo, che presentano valori di potenziale e osmolalità pressoché uguali.

La figura **15a** illustra i valori di potenziale di parete e osmolalità totale di *Poa pratensis* trattata con chitosano.



**Fig. 15a-** Potenziale di parete e osmolalità totale di *Poa pratensis* trattata con glicinbetaina.

Anche su *Poa*, il chitosano non ha avuto notevoli effetti nel ridurre la presenza di osmoliti nelle tesi trattate. Le tesi NaCl 600mM+chitosano ed NaCl 600mM e Controllo+chitosano e Controllo presentano valori di potenziale e osmolalità pressoché uguali, mentre nella tesi NaCl 200mM+ chitosano si osservano valori di potenziale e osmolalità leggermente inferiori alla tesi NaCl 200mM .

## Conclusioni

In base ai risultati ottenuti siamo in grado affermare che sia il chitosano che la glicinbetaina , pur presentando caratteristiche chimiche differenti e, pur agendo in maniera da condizionare meccanismi fisiologici diversi, hanno indotto la pianta a controllare meglio la condizione di stress salino.

Il **contenuto di clorofilla** nelle tesi trattate con glicinbetaina si è attestato, in quasi tutti i casi, su valori superiori rispetto a quelli delle tesi non trattate.. Dai dati sulla clorofilla totale ottenuti per via spettrofotometrica alla fine del ciclo sperimentale si evince che la **glicinbetaina** somministrata, sia per Poa che per Puccinellia, ha confermato la sua azione osmoprotettrice permettendo alla pianta di sintetizzare una maggiore quantità di pigmenti fotosintetici, specialmente in condizioni di stress salino, in accordo con i risultati ottenuti sulla Soia ( Agboma *et al.*, 1997a); in Frumento (Gristina *et al.*, 2003); in Orzo (Ladyman *et al.*, 1980).

Il trattamento con **chitosano** sia per Poa che per Puccinellia, non ha avuto un effetto positivo sulla pianta tale da permettere la sintesi di una maggiore quantità di pigmenti fotosintetici in condizioni di stress salino. Non si hanno riscontri bibliografici sugli effetti del chitosano sulla sintesi di pigmenti fotosintetici che possano essere comparati con i risultati ottenuti.

Dai dati sull'altezza media, misurati per ogni sfalcio durante tutto il ciclo sperimentale, si è osservato sia per Poa che per Puccinellia che le tesi trattate con glicinbetaina presentano un'altezza media superiore alle tesi non trattate. Questi dati da un punto di vista pratico-applicativo, si possono considerare negativi, poiché, il fatto che le piante trattate con sale e glicinbetaina siano più alte non si traduce necessariamente in un vantaggio nella gestione del tappeto erboso visto che il numero di tagli previsti per il suo normale mantenimento non verrebbe ridotto.

Da questo punto di vista il trattamento con chitosano ha dato risultati migliori, poiché, nelle tesi trattate con chitosano possiamo osservare una certa omogeneità delle altezze medie. Questo dato si presenta molto interessante, in quanto il

trattamento garantisce un minore sviluppo in altezza, diminuendo notevolmente le pratiche colturali che normalmente si applicano ad un tappeto erboso per lo sfalcio.

La glicinbetaina ha avuto effetti positivi sulla produzione di biomassa sia in *Poa* che *Puccinellia*. Tutte le tesi trattate con questo osmoregolatore sono più produttive e vigorose (Chen e Murata 2008). I valori di peso secco della biomassa fogliare delle diverse tesi, non ha mostrato differenze statisticamente significative nelle tesi trattate con glicinbetaina. I valori omogenei di peso secco, ci portano a supporre che il maggiore valore di peso fresco della biomassa fogliare è imputabile non solo alla maggiore altezza delle tesi trattate con glicinbetaina, ma anche un maggiore quantità di acqua nel liquido cellulare delle stesse.

L'effetto del chitosano sulla produzione di biomassa fresca nelle tesi trattate ha avuto risultati diversi da quelli ottenuti con glicinbetaina, ma sicuramente non meno interessanti. L'effetto del chitosano non ha provocato un aumento rilevante dell'altezza, ma ha favorito, soprattutto nelle tesi saline, un minore tasso di mortalità. L'aumento di biomassa nelle tesi trattate con chitosano è, quindi, imputabile ad una maggiore densità delle piantine che sono state capaci di utilizzare maggiormente la risorsa idrica a disposizione, anche in condizione di stress salino, in accordo con quanto verificato in peperone (Bittelli *et al.*, 2000).

Alla fine del ciclo sperimentale si è potuto osservare che sia la glicinbetaina che il chitosano hanno avuto effetti positivi sulla lunghezza e biomassa dell'apparato radicale di *Poa pratensis*, permettendo alle radici delle tesi trattate di raggiungere strati più profondi del suolo, dove lo stress ingenerato dalla presenza di sali è minore.

In *Puccinellia*, la glicinbetaina e il chitosano non sembrano avere avuto nessun effetto positivo sull'aumento di lunghezza dell'apparato radicale delle tesi trattate che presentano una lunghezza inferiore alle tesi controllo. Un dato interessante, invece, si osserva nei valori di peso fresco delle tesi trattate che si presentano maggiori, nonostante la minore lunghezza, alle tesi controllo. Questo dato è

imputabile, presumibilmente, ad una maggiore fascicolazione radicale che ha permesso, alle piante trattate, di sfruttare meglio la risorsa idrica anche in uno strato di suolo, dove lo stress salino è maggiore.

Dai dati ottenuti sull'osmolalità totale si è osservato l'effetto positivo della glicinbetaina su *Puccinellia* che presenta valori di osmolalità minore in tutte le tesi trattate dovuta probabilmente ad una maggiore quantità di acqua presente nei tessuti delle tesi trattate con questo osmoregolatore. Il chitosano non ha sortito gli stessi effetti, poiché sia in *Poa* che in *Puccinellia*, si sono osservati valori di osmolalità superiori alle tesi controllo.

In virtù dei dati ottenuti, considerando anche la percentuale di germinazione ottenuta in condizione di stress salino, possiamo affermare che le due specie hanno ben reagito al trattamento, ma è opportuno fare due diverse considerazioni sulla tolleranza salina dimostrata dalle due specie durante il ciclo sperimentale.

***Poa pratensis*** ha mostrato una buona tolleranza allo stress salino, soprattutto nella concentrazione NaCl 200mM, in cui si sono ottenuti risultati simili alle tesi Controllo. Nella concentrazione NaCl 600mM, *Poa pratensis*, ha mostrato una scarsa resistenza, presentando a fine ciclo un tasso di mortalità delle piantine del 90%. Considerati questi dati si consiglia la semina di *Poa pratensis*, anche in consociazione con *Puccinellia distans*, in terreni sodici o con acque irrigue che non superino la concentrazione di 300mM di NaCl.

***Puccinellia distans***, invece, ha dimostrato un'elevata resistenza al trattamento salino, anche nella concentrazione NaCl 600mM, in cui si è rilevato un tasso di mortalità, dopo i 12 trattamenti salini, del 40%. In base a questi risultati possiamo considerare la *Puccinellia distans*, tra le specie microterme con la più alta tolleranza allo stress salino, consigliandone la semina in terreni altamente sodici e con acque irrigue con concentrazioni di NaCl prossime a quelle dell'acqua marina. Si può consigliare questa specie, anche per una trasemina di 2° anno con specie macroterme di riconosciuta resistenza salina come *Paspalum* e *Cynodon*.

La **glicinbetaina** ha confermato la sua azione osmoprotettrice permettendo, quando somministrata, che la pianta presentasse un quantitativo maggiore di pigmenti fotosintetici, un'altezza superiore ed una maggiore biomassa.

Considerando le esigenze colturali di un tappeto erboso il trattamento con **chitosano** ha mostrato i migliori risultati, permettendo alla pianta di utilizzare al meglio la risorsa idrica a disposizione e permettendo di mantenere una colorazione più verde, una omogeneità dell'altezza media ed una maggiore densità e biomassa.

L'uso del chitosano in agricoltura è auspicabile per una serie di motivi: ha effetti positivi sulla pianta quando questa è sottoposta sia a stress biotici che ambientali, e, tra questi ultimi, il deficit idrico e salino è quello che maggiormente condiziona gli ambienti mediterranei, è una sostanza totalmente innocua, di origine naturale, che non ha effetti indesiderati né sulla coltura né sugli operatori che la somministrano. Occorre, però, specificare che i prezzi di questa sostanza, ad oggi, sono eccessivamente elevati per consigliare trattamenti generici a colture di pieno campo, si è ancora nella fase in cui sembra più opportuno limitarne l'uso a colture in serra ad alto reddito. D'altro canto, le nuove tecnologie applicate all'industria chimica ed agroalimentare, insieme all'enorme interesse che il chitosano sta suscitando nel campo della dietologia, lasciano ben sperare che, in un domani non troppo lontano, la sua produzione possa avvenire a costi più contenuti permettendone un uso più ampio.

Da un punto di vista agronomico il suo uso è auspicabile in un contesto agricolo moderno e sostenibile, soprattutto in attesa che vengano presto risolte alcune delle problematiche sopraindicate inerenti la solubilità e l'alto costo produttivo della sostanza.

## BIBLIOGRAFIA

- Abernethy , G. A., M.T. McManus 1998. “Biochemical responses to an imposed water deficit in mature leaf tissue of *Festuca arundinacea*”. *Environmental and Experimental Botany* 40, 17–28.
- Agboma, P.C., M.G.K. Jones, P. Peltonen-Sainio, H. Rita, and E. Pehu. 1997. Exogenous glycinebetaine enhances grain yield of maize, sorghum and wheat grown under two supplementary watering regimes. *J. Agron. Crop. Sci.* 178: 29 – 37.
- Agboma, P.C., P. Peltonen-Sainio, R. Hinkkanen, and E. Pehu. 1997b. Effect of foliar application of glycinebetaine on yield components of drought-stressed tobacco plants. *Exp. Agric.* 33:345 – 352.
- Albaho M. S. and Green J., 2000. *Suaeda salsa*, a desalinating companion plant for greenhouse tomato. *Hort Sci.* 35: 620-623.
- Al Karaki G. N. and Al Raddad A., 1997. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza* 7: 87-88.
- Alshammary, S.F., Y.L. Qian, and S.J. Whallner.2004. Growth response of four turfgrass species to salinity. *Agricultural Water Management.* 66:97-111.
- Altman A., 1999. Plant biotechnology in the 21st century: the challenges ahead. *Electronic Journal of Biotechnology*, Vol.2, n.2.141
- Aringhieri, R., 1997. Salts and soil structure. Introduction. In *salinity As a Limiting Factor For agricultural Productivity In the Mediterranean Basin.* Leone and Steduto (eds) First Trans-National Meeting. CNR – Irrigation Institute of Ercolano (NA) in collaboration with CNR – Office for Scientific and Technical Cooperation with Mediterranean Countries (NA) and CIHEAM – Mediterranean Agronomic Institute of Bari, Italy, pp: 141-152.
- Biosalinity Awareness Project, 2004. Soil, water and plants. Website: [www.biosalinity.org](http://www.biosalinity.org)
- Baker A., Sprent J. I., Wilson J., 1995. Effects of sodium chloride and mycorrhizal infection on the growth and nitrogen fixation of *Prosopis juliflora*. *Symbiosis* 19 (1): 39-51.



- Banòn S., Ochoa J., Martínez J. A., Fernández J. A., Franco J. A., Sánchez-Blanco M. J., Alarcón J. J., Morales M. A., 2003. Paclobutrazol as aid to reducing the effects of salt stress in *Rhamnus alaternus* seedlings. *Acta Horticulturae* 609: 263-268.
- Bar Y., Apelbaum A., Kafkafi U., Goren R., 1997. Relationship between chloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants. *J. Plant Nutr.* 20: 715-731
- Barbieri, G., De Pascale, S., 1992. Salinità dell'acqua di irrigazione e colture ortofloricole. *Colture Protette*, 2, pp. 75-81.
- Barcelo J., Guevara P., Poschenrieder Ch., 1993. Silicon amelioration of aluminium toxicity in teosinte (*Zea mays* L. ssp. *Mexicana*). *Plant Soil* 154: 249-255.
- Barea J. M., 1991. *Vesicular Arbuscular Mycorrhizae as Modifiers of Soil Fertility*; Springer-Verlag: New York.
- Ben-Asher J. and Pacardo E., 1997. K uptake by root system grown in saline soil: a conceptual model and experimental results. pp. 360-369. In: A. E. Johnston (eds.), *Food Security in the WANA Region, the Essential Need for Balanced Fertilization*. International Potash Institute, Basel, Switzerland.
- Bernstein L., 1961. Osmotic adjustments of plants to saline media. I. Steady State. *Am. J. Bot.* 48: 909-918.
- Bernstein L., 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Ann. Rev. Plant Pathol.* 13: 295-320.
- Beard J. B., 1989. "Turfgrass water stress: drought resistance components, physiological mechanisms, and species-genotype diversities". Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Turfgrass Research Conference, Tokyo, Japan, 23-28.
- Biles C. L., Martyn R. D., Wilson H. D., 1989. Isozymes and general proteins from various watermelon cultivars and tissue types. *HortScience* 24: 810-812.
- Bingham F. T. and Garber M. J., 1970. Zonal salinization of the root system with NaCl and boron in relation to growth and water uptake of corn plants. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 122-126.

- Biran I., Bravdo B., Bushkin-Harav, Rawitz E., 1981. "Water consumption and growth rate of 11 turfgrasses as affected by mowing height, irrigation frequency, and soil moisture". *Argonomy Journal*, 73: 85-90.
- Bittelli M., Flury M., Campbell G. S., Nichols E. J. 2001. Reduction of transpiration through foliar application of chitosan. *Agricultural and Forest Meteorology* 107:67-175.
- Blunden, G., M. H. Yang, G. Janicsak, I. Mathe, A. Carabot-Cuervo, and M. H. Yang, 1999: Betaine distribution in Amaranthaceae. *Biochem. Syst. Ecol.* 27, 87 – 92.
- Bolan N. S., Robson A. D., Barrow N. J., 1987. Effect of VAM on the availability of ironphosphates to plants. *Plant Soil* 99: 401-410.
- Botrini L., Lipucci di Paola M., Graifenberg A., 2000. Potassium affects sodium content in tomato plants grown in hydroponic cultivation under saline-sodic stress. *HortScience* 35 (7):1220-1222.
- Bouwer, H., 2000. Integrated water management, emerging issues and challenges. *Agr. Water. Managment*, 42, pp. 217- 228.
- Bradbury M. and Ahmad R., 1990. The effect of silicon on the growth of *Prosopis juliflora* growing in saline soil. *Plant Soil* 125: 71–74.
- Brunk, D. G., P. J. Rich, and D. Rhode. 1989. Genotypic variation for glycinebetaine among public inbreds of maize. *Plant Physiol.* 91: 1122 – 1125.
- Busey P., 1992. "Vehicular turf: use of turfgrass for parking areas". *TurfNews*, 15: 22-27.
- Copeman R. H., Martin C. A., Stutz J. C., 1996. Tomato growth in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline or nonsaline soils. *Hortscience* 1996 31 (3): 341-344.
- Coppa, I., Woodgate, P., Webb, A., 1998. Improving the management of dryland salinity in Australia through the national airborne geophysical projects. National Dryland Salinity Program: Know-how to tackle salinity. Webside: [www.ndsp.gov.au/NAGP/manage/bagp\\_pub.pdf](http://www.ndsp.gov.au/NAGP/manage/bagp_pub.pdf)
- Croce P., De Luca., Mocioni M., Volterrani M., Beard J. B., 2001. "Warm-season turfgrass species and cultivar characterizations for Mediterranean

- climate". Proceeding of the International Turfgrass Research Conference, Toronto, Ontario, Canada, 15-21 July, 9, 855-859.
- Croce P., De Luca A., Mocioni M., Volterrani M., Beard J., 2004. Adaptability of warm-season turfgrass species and cultivars in a mediterranean climate. *Acta Hort.* 661, ISHS: 365:367.
- Cuartero J. and Fernández-Munoz R., 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 83-125.
- De Pascale, S. and Barbieri, G., 1995. Effect of soil salinity from long-term irrigation with saline-sodic water on yield and quality of winter vegetable crops. *Scientia Horticulturae*, 64, pp. 145- 157.
- De Pascale, S., Barbieri, G., Sifola, M. I., Ruggiero, C., 1995. Gas exchanges, water relations and growth of eggplant (*Solanum Melongena* l.) as affected by salinity of irrigation water. *Acta Hort.*, p. 412.
- De Pascale, S., Barbieri, G., Ruggiero, C., 1997. Effect of water on plant growth and water relations in snap bean (*Phaseolus Vulgaris* l.). *Proc. 2nd Int. Sym. On Irrigation of Hort. Crops*, Ed. K.S. Chantzoulakis. *Acta Hort.*, 449, pp. 649-655.
- De Pascale, S. and Barbieri, G., 2000. Yield and quality of carrot as affected by soil salinity from long-term irrigation with saline water. *Acta Hort.*, 357, pp. 621-628.
- De Pascale, S., Maggio, A., Faugno, V., Ambrosino, P., Ritieni, A., 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, 76, pp. 447-453.
- De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G., Maggio, A., 2003(a). Physiological response of pepper to salinity and drought. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 128(1), pp. 48-54.
- De Pascale, S., Maggio, A., Ruggiero, C., Barbieri, G., 2003(b). Growth, water relation, and ion content of field-grown celery (*Apium Graveolens* l. Var. Dulce (Mill.) Pers.) under saline irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 128(1), pp. 136-143.

- De Pascale, S., Angelino, G., Graziani, G., Maggio, A., 2003(c). Effect of salt stress on water relations and antioxidant activity in tomato. *Acta Hort.*, 613, pp. 39-46.
- Duncan R. R., Carrow R. N., 2000 - "Seashore Paspalum. The environmental Turfgrass". Sleeping Bear Press, Chelsea, Michigan, U.S.A., pp. 281. ISBN 1-57504-141-3.
- Economakis C. and Daskalaki A., 2003. Effect of potassium nutrition on yield and quality of tomato plants grown with nutrient film technique under sodium chloride saline conditions. *Acta Horticulturae* 609: 337-340.
- Epstein E., 1983. Crops tolerance of salinity and other stresses. In *Symposium on Better Crops for Food*. Eds. J. Nubent and M. O'Connor. pp. 61-82. Pitman, London, UK.
- Evans H. J. and Sorger J. G., 1996. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. *Ann Rev. Plant Physiol.* 17: 47-77.
- F.A.O. & A.G.L., 2000. Extent and causes of salt- affected soil in participating countries. In *Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils*. Land and Plant Nutrition Management Service. Food and Agriculture Organization of United Nations/Land and Water Development Division. Website: [www.fao.org/ag/agl/agll/spush](http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush)
- F.A.O. & A.G.L., 2000(b). Introduction. In *Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils*. Land and Plant Nutrition Management Service. Food and Agriculture Organization of United Nations/Land and Water Development Division. Website: [www.fao.org/ag/agl/agll/spush](http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush)
- Fagnano, M., Quaglietta Chiarandà, F., 2003. Relazione tra qualità dell'ambiente e produzione agricola. *Atti del XXXV Convegno Società Italiana di Agronomia, Obiettivo Qualità Integrale: Il Ruolo della Ricerca Agronomica, Portici (NA), Italy*, pp. 40-56.
- Feigin A., 1985. Fertilization management of crops irrigated with saline water. *Pl. Soil* 82:285-299.
- Flagella, Z., V. Cantore, F. Boari, D. Volpe, A. De Caro. 2005. Tolleranza allo stress salino delle specie coltivate in relazione agli aspetti fisiologici, produttivi e qualitativi. <http://www.inea.it/otris/salinita/flagella.htm>

- Flowers T. J., Hajibagheri M. A., Clipson T., 1986. Halophytes. *Q. Rev. Biol.* 61: 313
- Follet, Roy H., Murphy, Larry S., Doname, Roy L., 1981. Reclamation and management of saline and sodic soils. In: *Fertilizer and Soil Amendments*. New York, U.S.A., pp 424- 457.
- Gallagher J. K., 1985. Halophytic crops for cultivation at seawater salinity. *Plant Soil* 89:323-336.
- Giuffrida F. and Lipari V., 2003. Leaching irrigation to prevent salt accumulation in the substrate. *Acta Horticulturae* 609: 435-440.
- Glenn E. P. and O'Leary J. W., 1985. Productivity and irrigation requirements of halophytes grown with seawater in the Sonoran Desert. *J. Arid Environ.* 9, 81-91.
- Goyal, S.S., and Rains, D.W., 2003. Strategies for managing crop production. In *Crop production in saline environment: Global and integrative perspectives*. Goyal, S.S., Sharma, S. K., Rains, D. W. (eds). Food Products press. New York, U.S.A.
- Graifnberg A., Botrini L., Giustiniani L., Filippi F., Curadi M., 2003. Tomato growing in saline conditions with biodesalinating plants: *Salsola soda* L. and *Portulaca oleracea* L. *Acta Horticulturae* 609: 301-305.
- Greenway, H., and R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31:149-190.
- Gristina L., Venezia G., Sarno M., Ferretti F., Caruso A., Scalia R. 2003 . Somministrazioni fogliari di Glicinbetaina (osmoprotettore naturale) per migliorare l'arido-resistenza del frumento duro. *Atti del XXXV convegno S.I.A.*
- Grote, E. M., G. Ejeta, and D. Rhodes, 1994: Inheritance of glycinebetaine deficiency in sorghum. *Crop. Sci.* 34, 1217 – 1220.
- Grumet, R., and A. D. Hanson.1986. Genetic evidence for an osmoregulatory function of glycinebetaine accumulation in barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 353 – 364.

- Hamdy A., 1990a. Management practices under saline water irrigation. In Symposium on Scheduling of Irrigation for Vegetable Crops Under Field Conditions. *Acta Hortic.* 278 (2):745-754.
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J.K., Bohnert, H., J., 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, pp. 463-499.
- Hsiao, T. C., 1973. Plant response to water stress. *Ann. Rev. Physiol. Plant Mol. Biol.*, 24, pp. 519-570.
- Hsiao, T.C., 1993. Growth and productivity of crops in relations to water status. *Acta Horticulturae*, 335, pp. 137 – 148.
- Inanaga S. and Okasaka A., 1995. Calcium and silicon binding compounds in cell walls of rice shoots. *Soil Sci. Plant Nutr.* 41: 103-110.
- Jones, R. G. W., and J. Gorham. 1983. Aspects of salt and drought tolerance in higher plants, In: T. Kosuge, C. P. Meredith, and A. Hollaender (eds), *Genetic Engineering of Plants. An Agricultural Perspective*. pp. 355 – 370. Plenum Press, New York.
- Kafkafi, U., 1991. Root growth under salinity stress. In *Plant Roots: the hidden half*. Weiel Y., Eshel A., Kafkafi, U. (eds), Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 375-391.
- Kishitani, S., K. Watanabe, S. Yasuda, K. Arakawa and T. Takabe. 1994. Accumulation of glycinebetaine during cold acclimation and freezing tolerance in leaves of winter and spring barley plants. *Plant Cell Environ.* 17:89 - 95.
- Kovalev V. M. and Krylova N. P., 1992. Use of halophytes to improve arid pastures. (Russian) *Sel'skokhozyaistvenssya Biol.* 4: 141
- Kovda V. A., 1977. Arid land irrigation and soil fertility: problems of salinity, alkalinity, compaction. *Arid Land Irrigation in Developing Countries*. Pergamon Press, Oxford
- Läuchli, A., and Epstein, E., 1990. Plant response to salinity and sodic conditions. In *Agricultural salinity assessment and management*. Tanji K. K. (ed). *Amer. Soc. Civil Eng. Manual Rpt Eng. Practice*, 71, pp. 113-137.
- Lauteri, M., Battistelli, A., Augusti, A., Moscatello, S., Brugnoli, E., 1997. Effect of

- salinity on photosynthesis efficiency. In salinity As a Limiting Factor For agricultural Productivity In the Mediterranean Basin. Leone and Steduto (eds) First Trans-National Meeting. CNR – Irrigation Institute of Ercolano (NA) in collaboration with CNR – Office for Scientific and Technical Cooperation with Mediterranean Countries (NA) and CIHEAM – Mediterranean Agronomic Institute of Bari, Italy, pp. 209-216.
- Lawor, D.W. 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany* 89\_871-885.
- Lazof., D., Bernstein, N., 1999. Effects of salinization on nutrient transport to lettuce leaves: consideration of leaf developmental stage. *New Phytol.*, 144, pp. 85-94.
- Lee K. N., 1972. Water, growth, and politics in coastal California: the Diablo Canyon desalting facility. Water Resources Center, University of California, Berkeley. Institute of Governmental Studies, No.2, 145 pp.
- Leto, C., S. La Bella, M. Sarno, T. Tuttolomondo. 2004. An evaluation of cool season turfgrasses in order to identify the species and varieties most suitable for the Mediterranean environment. *Agriculture Mediterranean* 134(2):119-136.
- Longstreth, D.J., and P.S. Nobel. 1979. Salinity Effects on Leaf Anatomy. *Plant Physiol.* 63:700-703.
- Lorenzo P., 1996. Intercepció de luz, bioproducció e intercambio gassoso durante la ontogenia de un cultivo invernal de *Cucumis sativus*, L. Almería. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Monografías 17/96.
- Luttge U. and Pitman M. G., 1976. Transport in Plants II, Part B, Tissues and Organs, *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. II.* Springer-Verlag, Berlin.
- Maas, E. V., 1986. Salt tolerance of plants. *Applied Agricultural Research* 1(1), pp. 12-26.
- Maggio, A., Matsumoto, T., Hasegawa, P. M., Pardo J. M., Bressan, R. A., 2002(b).  
The long and Winding road to halotolerance genes. In *Salinity: Environments-Plants-Molecules.* Läuchli, A. and Luttge, U., (eds), Klumer Academy Publishers, Netherland, pp.505-533.

- Maggio, A., Bressan, R. A., Ruggiero, C., Xiong, L., Grillo, S., 2003. Salt tolerance: placing advances in molecular genetics into a physiological and agronomic context. *Inabiotic Stresses in Plants*, Klumer Academy Publishers, Netherland, pp. 53-69.
- Maas E. V. and Hoffmann G. J., 1977. Crop salt tolerance - current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE* 22: 115 - 134.
- Maas E. V. and Niemann H., 1978. Physiology of plant tolerance to salinity. *Am. Soc. Agron.* 32: 277-299.
- Maas, E. V., 1996. Plant response to salinity. 4th National Conference and workshop on the Productive Use and Rehabilitation of Saline Lands, Published by Promaco Conventions PTY LTD, Albany Western Australia.
- Maas, E. V., Grattan, S. R., 1999. Crop salt tolerance. In *Agricultural drainage. Americ. Soc. Agron. Monogr.*, 38, pp.55-108.
- Mäkelä, P., J. Mantila, R. Hinkkanen, E. Pehu, and P. Peltonen-Sainio. 1996. Effect of foliar applications of glycinebetaine on stress tolerance, growth, and yield of spring cereals and summer turnip rape in Finland. *J. Agron Crop Sci.* 176:223 - 234.
- Mamedov, M. D., H. Hayashi, H. Wada, P. S. Mohanty, G. C. Papageorgiou, and N. Murata, 1991: Glycinebetaine enhances and stabilizes the evolution of oxygen and the synthesis of ATP by cyanobacterial thylakoid membranes. *FEBS Lett.* 294, 271 – 274.
- Marchione, V., 2003. Influenza di due regimi irrigui sull'accrescimento e su alcune caratteristiche estetiche di differenti graminacee micro- e macro-terme da tappeto erboso. *Italus Hortus* 1:35-41.
- Marcum, K.B. 1999. Salinity Tolerance Mechanisms of Grasses in the Subfamily Chloridoideae. *Crop Sci.* 39:1153-1160.
- Martiniello P., E. D'Andrea, 2006 "Cool-season turf grass species adaptability in Mediterranean environments and quality traits of varieties". *Europ. J. Agronomy* 25, 234–242
- McCue, K.F., and Hanson, A.D. 1992. Salt-inducible betaine aldehyde dehydrogenase from sugar beet: cDNA cloning and expression. *Plant Mol. Biol.* 18: 1–11



- Mickelbart, M. V., G. Ejeta, D. Rhodes, R. J. Joly, and P. B. Goldsbrough. 1999. Assessing the contribution of glycinebetaine to environmental stress tolerance in sorghum. [http://www.cimmyt.org/ABC/map/research\\_tools\\_results/wsmolecular/workshopmolecular/WorkshopMolecular.htm](http://www.cimmyt.org/ABC/map/research_tools_results/wsmolecular/workshopmolecular/WorkshopMolecular.htm).
- Miele, S., Volterrani M., Gaetani M., Grossi N., Pardini G., Chelini M. 1995. Modificazioni cromatiche di specie graminacee da tappeto erboso in conseguenza dello stress idrico. *Rivista di Agronomia* 29-2: 152-159.
- Miele S., Volterrani M, Grossi N., 2000. "Warm season turfgrasses: resulting of a five-year study in Tuscany". *Agricoltura Mediterranea*, 130: 196-202.
- Miele S., Volterrani M., Magni S., 2002. "Ruolo, sistemi costruttivi e strategie di manutenzione dei tappeti erbosi nel contesto urbano". *Atti Conferenza Nazionale sul Verde Urbano*, 9-10 Ottobre. Accademia dei Georgofili, Firenze, 233-243.
- Mitchell J. P., Shennan, C., Grattan S. R., May, D. M., 1991. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 116, pp. 215-221.
- Mohammad M., Pan W., Kennedy A., 1995. Wheat response to arbuscular mycorrhizal fungal inoculation of soils from eroded toposequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1086-1090.
- Munns, R., 1999. The impact of salinity stress. The Foundation for Sustainable Agriculture – Coping with Plant Environment Stress.
- Munns, R., 2002(a). Comparative Physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environ.* 25, pp. 239-250.
- Muralev E., Nazarenko P. I., Poplavskij V. M., Kutznetsov I. A., 1997. Seawater desalination. In *Nuclear Desalination of Seawater. Proceedings of a Symposium in Taejon, republic of Korea*, pp. 355-366. International Atomic Energy Agency, Austria, Vienna.
- Murata, N., P. S. Mohanty, H. Hayashi, and G. C. Papageorgiou, 1992: Glycinebetaine stabilizes the association of extrinsic proteins with the photosynthetic oxygen-evolving complex. *FEBS Lett.* 296, 187 – 189.
- Nassery H. and Baker D. A., 1972. Extrusion of sodium ions by barley roots. I. Characteristics of the extrusion mechanism. *Annu. Bot* 36: 881.

- Nederhoff E., 1999. Effect of different day/night conductivities on blossom-end rot, quality, and production of greenhouse tomatoes. *Acta Hort.* 481: 495-502.
- Nolan S. L., Ashe T. H., Martens D. C., 1982. Effect of sodium chloride levels on four foliage plants grown at two light levels. *Hort. Sci.* 17: 815-817.
- O'Leary J. W., 1984. Physiological basis for plant growth inhibition due to salinity. *Food, Fiber and the Arid Lands*. Mc Guinness eds. Tucson University, Arizona.
- Panella A., Croce P., De Luca A., Falcinelli M., Modestini F. S., Veronesi F., 2000. *Tappeti Erbosi*. Calderoni Ed agricole, Bologna, Italia. 475 pp.
- Panero, M., 1987. Salinità del terreno, dei fertilizzanti e delle acque di irrigazione. *Manuale pratico; REDA edizione per l'agricoltura*. Roma, Italy, pp. 7-26.
- Patton A. J., Williams D. W., Reicher Z. J. 2004c. "Renovating fairways using seeded zoysiagrass". *Golf Course Management*, 84-88.
- Passiura, J. B., Munns, R., 2000. Rapid environmental changes that effect life water status induce transient surges or pauses in leaf expansion rate. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27(10), pp.941-948.
- Penna S., 2003. Building stress tolerance through over-producing trealose in transgenic plants. *Trends in Plant Science* 8 (8): 355-357.
- Pereira L. S., Oweis T., Zairi A., 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agr. Water Management*, 57, pp. 175-206.
- Petersen K. K., Willumsen, J., Kaak, K., 1998. Composition and taste of tomatoes salt affected by increased salinity and different salinity sources. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 73(2), pp. 205-215.
- Philip, J. R. 1996. Plant water relations; some physical aspects. *Annual Review of Plant Physiology* 17
- Pitman M. G., 1984. Transport across the root and shoot/root interactions. *Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement*. Ed. R. C. Staples, pp. 93-123. Wiley, New York
- Pitman, M.G., Läuchli, A., 2002. Global impact of salinity and agricultural

ecosystems. In *Salinity: Environment – Plants – Molecules*. Läuchli, A., Luttge, U.(eds). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht (The Netherlands), pp. 3-20.

Ramage R. T., 1980. Genetic methods to breed salt tolerance in plants. In *Genetic engineering of osmoregulation: impact on plant production for food, chemicals and energy*. Eds. Rains D. W., Valentine R. C. and Hollaender A. pp. 311-318. Plenum Press, New York.

Rajakylä, E. and Paloposky, M., 1983: Determinations of sugars (and betaine) in molasses by high performances liquid chromatography. Comparison of the results with those obtained by the classical Lane-Eynon method. *J. Chromatogr.*, 288, 595 – 602.

Rajasekaran L.R., Kriedemann P.E., Aspinall D., Paleg L.G. 1997. Physiological significance of proline and glycinebetaine: mantaining photosynthesis during NaCl stress in wheat. *Photosynthetica* 34 (3): 357-366.

Richards L. A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook* nr. 60, U. S. D. A.

Rhodas L. H., Gerdemann J. W., 1980. Nutrient translocation in VAM. In *Cellular Interactions in Symbiosis and Parasitism*; Cooks C. B., Pappas P. W., Rudolph E. D., Eds.; Ohio State University Press: Columbus, OH, 173- 195.

Rosendahl C. N., Rosendahl S., 1991. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) on the response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salt stress. *Environ. Exp. Bot.* 31 (3): 313-318.

Ruggiero C., Barbieri G., De Pascale S., 1994. Effetti dell'irrigazione con acque a diverso contenuto salino sullo stato idrico, sull'accrescimento e sulla produzione della melanzana. *Riv. Agron.*, 28, pp. 222-234.

Ruiz-Lozano J. M, Azcón R., Gómez M., 1996. Alleviation of salt stress by arbuscularmycorrhizal

Sandoval-Villa M., Wood C. W., Guertal E. A., 1999. Effects of nitrogen form, nighttime nutrient solution strength, and cultivar on greenhouse tomato production. *J. Plant Nutrit.* 22:1931-1945.

Santamaria P., Susca L., Elia A., Serio F., 2003. Different day and night salinity levels, water use and yield of tomato. *Acta Horticulturae* 609: 321-328.

- Seeling, B. D., 2000. Salinity and sodicity in North Dakota Soils. NDSU Extension Service and North Dakota State University.
- Sequi, P., 1989. *Chimica del suolo*. Patron Editore. Bologna, Italia, pp. 406-413
- Shalhevet, J., 1994. Using water of marginal quality for crop production: major issues. *Agric. Water Manage.*, 25, 233-269.
- Shannon M. C., 1984. Breeding, selection, and the genetics of salt tolerance. In *Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement*. Eds. R. C. Staples and G. H. Toenniessen. pp. 231-254. John Wiley, New York.
- Shannon, M., 1997. Adaptation of plants to salinity. *Advances of Agronomy*, 60, pp. 5-120.
- Shin Y.G., Cho K.H., Kim J.M., Park M.K., Park J.H. 1999. Determination of betaine in *Lycium chinense* fruits by liquid chromatography-electrospray ionization mass. *Journal of Chromatography A*, 857:331-335.
- Sifola, M., I., De Pascale, S., Romano, R., 1995. Analysis of quality parameters in eggplant grown under saline water irrigation. *Acta Hort.*, 412, pp. 176-184.
- Singh, K. N., Chatrath, R., 2001. Salinity tolerance. In *Application of Physiology in Wheat Breeding*. Reynalds, M. P., Ortiz-Monasterio, I., McNab, A.,(eds), Mexico D. F.,CIMMYT, chapter 8, pp.101-110.
- Stamatakis A., Papadantonakis N., Lydakis-Simantiris N., Kefalas P., Savvas D., 2003. Effects of silicon and salinity on fruit yield and quality of tomato grown hydroponically. *Acta Horticulturae* 609: 141-148.
- Strauss D.G., 2000. "Did you know...? Turfgrass trivia". *Diversity*, 16 (1-2): 50
- Szabolcs I., 1994. Soils and salinization. *Handbook of Plant and Crop Stress*, Ed. M. Pessarakali, Marcel Dekker, New York, pp. 3-11.
- Szabolcs, 1984. *Prognosis of Salinity and Alkalinity*. FAO Soils Bulletin 31. Food and Agriculture Organization of United Nations. Rome.
- Taban S., Ozguven N., Celik H., Katkat V., 1999. Effects of potassium on macroelements distribution in maize plants grown under salt stress. p. 215-222. In: J. Hagin and A. E. Johnston (eds), *Nutrient*

Management under Salinity and Water Stress. Technion-Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.

Tabatabaie S. J., Gregory P. J., Hadley P., Ho L., 2003. Split root system for the use of saline water in hydroponic tomato production. *Acta Horticulturae* 609: 307-312.

Tagliaferro C. M., 1995. "Diversity and vulnerability of bermuda turfgrass species". *Crop Science*, 5: 327-332.

Taiz, L., and E. Zeiger 2001. *Fisiologia delle piante coltivate*. Piccin editore

Tanji, K. K., 2002. Salinity in the soil environment. In *salinity: environment-Plants- Molecules*. Läuchli, A., Lüttge, U. (eds). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht (The Netherlands), pp. 21-52.

Tedeschi, P., and Lacirignola, C., 1997. Introduction. In *salinity As a Limiting Factor For agricultural Productivity In the Mediterranean Basin*. Leone and Steduto (eds) First Trans-National Meeting. CNR – Irrigation Institute of Ercolano (NA) in collaboration with CNR – Office for Scientific and Technical Cooperation with Mediterranean Countries (NA) and CIHEAM – Mediterranean Agronomic Institute of Bari, Italy.

Tedeschi, A., and R. Dell'Aquila. 2005. Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. *Agricultural Water Management*. 77:308-322.

Turgeon A.J., 1980. *Turfgrass Management*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey USA. Pp 418.

Turquois N. and Malone M., 1996. Non-destructive assessment of developing hydraulic connections in the graft union of tomato. *J. Exp. Bot.* 298: 701-707.

Umali, D., 2003. *Irrigation – induced salinity: A growing problem for development and environment*. World Bank Technical Paper number 215.

Van Os E. A. and Stanghellini C., 2001. Diffusion and environmental aspects of soilless growing systems. *Italus Hortus* 8 (6): 9-15.

. Veronesi, F., M. Falcinelli., A. Panella. 1991. Le principali specie microterme utilizzabili nell'impianto di tappeti erbosi a uso tecnico, sportivo e ricreativo in Italia I: insediamento, intensità e colore. *Riv. di Agronomia* 25-1:69-75.

- Volterrani M., Pardini G., Grossi N., Miele S., Gaetani M., Pietrini E., 1996. “Valutazione dell'adattabilità di specie graminacee macroterme da tappeti erbosi alle condizioni ambientali dell'Italia centrale”. *Italus Hortus*, 3 (5), 10-16.
- Volterrani M., Grossi N., Pardini G., Miele S., Gaetani., MAGNI S., 1997a. “Warm season turfgrass adaptation in Italy”. Proceeding of the 8<sup>th</sup> International Turfgrass Research Conference, 1344-1354.
- Volterrani M., Grossi N., Pardini G., Miele S., Gaetani.,1997b. “Confronto varietale di specie graminacee microterme per tappeti erbosi. Nota I. Tempo di emergenza, velocità di crescita, densità, larghezza e contenuto azotato delle lamine fogliari”. *Rivista di Agronomia*, 31 (1): 118-126.
- Volterrani M., Grossi N., Pardini G., Miele S., Gaetani.,1997c. “Confronto varietale di specie graminacee microterme per tappeti erbosi. Nota II. Aspetto estetico generale, colore e percentuale di copertura”. *Rivista di Agronomia*, 31 (2): 514-520.
- Volterrani M., Gaetani M., Miele S., 2000. La trasemina autunnale di specie microterme su tappeti erbosi realizzati con *Paspalum vaginatum* Swartz e *Cynodon dactylon x transvalensis* Burt. Davy. Estratto dalla rivista di *Agronomia* anno XXXIV n. 1 – gennaio- marzo 28-33.
- Volterrani M., Grossi N., Foschi L., Miele S., 2005. Effects of nitrogen nutrition on bermudagrass spectral reflectance. *Agronomy Journal*, 10: 1009-1012.
- Walter H., 1961. Salinity problems in the arid zones. The adaptation of plants to saline soils. *Arid Zones Res. (U. N. E. S. C. O.)* 14: 129-134.
- Wang, R.Z., and Y.Q. Yuan. 2001. Photosynthesis, transpiration, and water use efficiency of two *Puccinellia* species on the Songnen grassland, northeastern China. *Photosynthetica*. 39 (2):283-287.
- Warrence, N. J., Bauder, J. W., Pearson, K. E., 2002. Basics of salinity and sodicity effects on soils physical properties. Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University-Bozeman.
- Yeo A. R., 1983. Salinity resistance: physiologies and prices. *Physiol. Plant.* 58: 214-222.

- Xing, W., and C.B. Rajashekar. 2001. Glycine betaine involvement in freezing tolerance and water stress in *Arabidopsis thaliana*. *Environ. Exp. Bot.* 46:21-28.
- Zekri M. and Parsons L. R., 1990. Response of split root sour orange seedlings to NaCl and polyethylene glycol stresses. *J. Exp. Bot.* 41: 35-40.
- Zeroni M., 1988. Plant tolerance of salinity in greenhouse. Physiological and practical considerations. *Acta Horticulturae* 229: 55-72.
- Zhang H. X., Blumwald E., 2001. Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. *Nat. Biotech.* 19 (8): 765-768.
- Zhang H. X., Hodson J. N., Williams J. P., Blumwald E., 2001. Engineering salt-tolerant Brassica plants: characterization of yield and seed oil quality in transgenic plants with increased vacuolar sodium accumulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98 (22): 12832-12836.
- Zhao K. F., 1991. Desalination of saline soils by *Suaeda salsa*. *Plant Soil* 135: 303- 325.
- Zuriak R. A., Koury N. F., Talhouk S. N., Baalbak R. Z., 2001. Salinity heavy metal interactions in four salt-tolerant plant species. *J. Plant Nutrit.* 24: 773-1786.

I