

23. - APPROCCIO ALLA DEFINIZIONE DEI CRITERI DI UTILIZZAZIONE DI ACQUE SALMASTRE IN AGRICOLTURA

COTECCHIA V. & CALIANDRO A. (*)

23.1. - INTRODUZIONE

L'utilizzo di acque salmastre in agricoltura ha origini remote non solo in Italia ma in tutto il mondo. Alcuni storici, infatti, ipotizzano che il progressivo decadere delle società mesopotamiche, insediatesi nella valle compresa tra i corsi dei fiumi Tigri ed Eufrate, sia da correlare alla graduale salinizzazione e sodicizzazione dei terreni irrigati con acque salmastre.

Nelle aree in cui per un certo periodo dell'anno il regime pluviometrico è insufficiente a soddisfare le esigenze idriche delle colture, gli agricoltori hanno sempre cercato di fare ricorso all'irrigazione. Dopo il secondo conflitto mondiale, per circostanze diverse, l'interesse per l'irrigazione è continuamente aumentato in Italia ed in tutti i paesi del mondo caratterizzati da condizioni climatiche simili.

In Italia, per le piogge limitate e concentrate nel periodo autunno-invernale, la necessità di fare ricorso all'irrigazione è sentita particolarmente nel meridione e nelle isole, dove, però, la sua espansione

(*) Prof. Angelo Caliandro. Ordinario di Agronomia Generale e Coltivazioni erbacee. Università di Bari

è ostacolata dalla presenza di limitate risorse idriche, dovute alla quasi inesistenza di corsi d'acqua, a causa della natura geologica del terreno di tipo carsico, come in Puglia. In queste situazioni da tempi lontani si è manifestata la tendenza ad utilizzare acque salmastre di falda, talvolta con valori di salinità anche superiori a quelli comunemente accettati.

In Puglia, sin dall'inizio del secolo scorso, l'utilizzo di acque salmastre si è diffuso con intensità crescente lungo la costa adriatica e ionica, attingendo acqua da sorgenti affioranti in prossimità del mare e dalla falda superficiale, scavando pozzi poco profondi. Tali acque, di salinità variabile, spesso con residuo secco anche dell'ordine di 4-7 g/l ed oltre (PANTANELLI, 1929; CAVAZZA, 1968), venivano usate su terre rosse superficiali, ricchi di sesquiossidi di ferro e di alluminio, e su terreni calcarei, tutti di buona struttura e permeabilità e con drenaggio non impedito, lungo la costa adriatica, e su terreni sabbiosi molto permeabili e facilmente dilavabili, lungo la costa ionica, per irrigare colture resistenti alla salinità, come pomodoro da conserva, o colture a ciclo estivo - autunnale, come cavoli.

Nell'usare acque salmastre sono stati adottati particolari accorgimenti di tecnica irrigua (turni irrigui brevi e volumi specifici di adacquamento modesti, ma superiori a quelli necessari per portare alla capacità idrica di campo lo strato di terreno interessato dagli apparati radicali, al fine di lisciviare da questo strato i soluti apportati con le acque irrigue) e di tecnica colturale (come per es. l'avvicendamento di colture irrigate con colture non irrigate, per consentire alle acque delle piogge del periodo autunno - invernale di uno o più anni consecutivi di dilavare i sali apportati durante la stagione irrigua con le acque d'irrigazione).

Accorgimenti, questi, derivanti da consolidate esperienze pratiche degli agricoltori, che hanno avuto riscontro scientifico da parte di istituzioni di ricerca che hanno affrontato le problematiche dell'utilizzo delle acque salmastre a scopo irriguo.

Nella prima metà del secolo scorso, parallelamente all'espansione dell'irrigazione, in diverse parti del mondo istituzioni scientifiche hanno avviato indagini e ricerche sulla qualità delle acque irrigue, preoccupandosi prevalentemente del loro contenuto salino e della qualità dei sali presenti, al

fine sia di comprendere le loro origini sia di studiare l'influenza dei vari costituenti sul terreno e sulla pianta (USDA/US. SALINITY LABORATORY STAFF, 1954). Molti studiosi di questi problemi hanno elaborato proposte di classificazione qualitative delle acque irrigue, ad alcune delle quali si farà riferimento di seguito.

In Puglia la Stazione Agraria Sperimentale di Bari, prima, e la Facoltà di Agraria di Bari, successivamente, nella prima metà del secolo scorso avviarono interessanti studi sulla qualità delle acque irrigue e sugli effetti di queste ultime sul terreno e sulle colture. A tal proposito PANTANELLI (1929), direttore della Stazione Agraria Sperimentale, in una pregevole memoria riporta interessanti indicazioni sulla salinità delle falde idriche in Puglia, sugli effetti dell'acqua salmastra sul terreno, sulle piante e sulle attività microbiche del terreno e sui rimedi contro la salsedine. Successivamente BOTTINI (1963) e BOTTINI & LISANTI (1955), dell'Istituto di Chimica Agraria della Facoltà di Agraria di Bari, affrontarono le problematiche dei volumi e dei turni irrigui con l'uso di acque salmastre e dell'irrigazione con queste ultime acque lungo il litorale barese. Un contributo notevole alle conoscenze della qualità delle acque di falda in Puglia utilizzate a scopo irriguo è stato apportato dall'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania, con la collaborazione della Stazione Agraria Sperimentale e delle Facoltà di Agraria e di Ingegneria di Bari.

Più recentemente, dalla seconda metà del secolo scorso all'attualità, istituzioni diverse (Facoltà di Agraria, CNR, Centri di Ricerca del MiPaaf) hanno svolto una intensa attività di ricerca su problematiche riguardanti le acque salmastre ed i terreni salini, conseguendo risultati interessanti dal punto di vista sia scientifico sia pratico applicativo.

23.2. - CLASSIFICAZIONE DELLE ACQUE SALMASTRE AI FINI IRRIGUI

Con la pratica irrigua l'apporto di acqua al terreno in aggiunta a quella di pioggia è in quantità variabili da centinaia a migliaia di m³/ha, con apporti di sostanze in esse presenti in quantità anche variabili, in relazione all'entità sia di acqua appor-

tata sia di sostanze presenti. L'acqua irrigua contribuisce a soddisfare i fabbisogni idrici delle colture e si disperde quasi totalmente nell'atmosfera per effetto dell'evapotraspirazione; le sostanze disciolte in essa, invece, permangono nel terreno, dove tendano ad accumularsi, e possono avere effetti negativi sia sul terreno sia sulle piante. Da qui la necessità di valutare le caratteristiche qualitative delle acque irrigue e di stabilire i valori limiti dei parametri qualitativi individuati, accettabili ai fini della utilizzazione delle acque in agricoltura.

A tal fine possono essere presi in considerazione parametri fisici, chimici e microbiologici, a seconda della provenienza e del rischio di inquinamento a cui le stesse acque sono sottoposte.

Dovendo fare riferimento solo alla classificazione delle acque salmastre, non saranno presi in considerazione gli aspetti microbiologici, aspetti questi ultimi riguardanti le acque reflue urbane o comunque acque inquinate.

Relativamente ai parametri fisici possono assumere rilevanza la temperatura ed il materiale solido in sospensione. In linea generale è preferibile che la temperatura dell'acqua sia non molto diversa da quella dello strato di terreno maggiormente interessato dagli apparati radicali, allo scopo di non determinare sensibili turbe nel metabolismo radicale e conseguentemente nell'assorbimento dell'acqua stessa e degli elementi nutritivi da parte delle piante. In Puglia il problema della temperatura si porrebbe per le acque di falda, la cui temperatura si aggira intorno ai 15-16 °C. Tale temperatura, però, in generale non desta preoccupazioni e non arreca rilevanti turbe nel metabolismo radicale in quanto durante la distribuzione in campo e l'attraversamento dello strato più superficiale del terreno, la cui temperatura durante il periodo estivo è elevata e superiore a quella del sottostante strato radicale, l'acqua si riscalda ed assume una temperatura non dissimile da quella media dello strato di terreno interessato dall'apparato radicale.

Il materiale solido in sospensione può essere distinto in organico ed inorganico. Il materiale organico generalmente non è presente nelle acque di falda, almeno in quelle non inquinate, pertanto non sarà preso in considerazione. Tuttavia si fa rilevare che la sostanza organica è uno dei principali fattori

della fertilità del terreno e la sua eventuale presenza nelle acque d'irrigazione andrebbe considerata come aspetto positivo e non negativo, a meno che non si accompagni ad altre sostanze indesiderate, nocive per la fertilità dei terreni e per le piante. Il materiale solido in sospensione prevalentemente minerale nelle acque superficiali, di fiumi e d'invasi, specialmente in concomitanza con eventi piovosi torrentizi, può essere presente anche in quantità apprezzabili, mentre lo è meno in acque di falda; tuttavia, materiale minerale in sospensione può essere presente in quantità significative anche in acque di falda provenienti da acquiferi costituiti da materiale fine. In ogni caso la presenza di materiale minerale in sospensione può porre problemi sia a livello delle colture, se adottato il metodo irriguo per aspersione, con il quale bagnando la chioma i depositi potrebbero ridurre la funzionalità delle foglie e deprezzare i prodotti, sia degli impianti irrigui (danni per azione abrasiva ed occlusione degli erogatori nel caso dell'irrigazione a goccia). In queste situazioni si potrebbe rendere necessario il filtraggio dell'acqua.

Prendendo in considerazione i parametri chimici, i criteri di valutazione delle acque irrigue proposti da vari autori nel tempo si basano sul contenuto in sali disciolti, sulla qualità di questi ultimi e sul contenuto in elementi tossici per la pianta ed eventualmente nocivi per i consumatori di prodotti vegetali: uomo ed animali.

Le acque usate a scopo irriguo, infatti, contengono sempre una certa quantità di sali disciolti, la cui concentrazione varia entro limiti piuttosto ampi in relazione alla loro provenienza. Le acque provenienti da corsi superficiali (fiumi, ruscelli) e da invasi (naturali e artificiali) generalmente hanno un basso contenuto di sali disciolti, mentre nelle acque provenienti da falde più o meno profonde il contenuto salino spesso è elevato, come accade frequentemente in Puglia lungo le coste, soprattutto a causa del fenomeno dell'intrusione marina negli acquiferi.

Le origini dei sali contenuti nelle acque di falda possono essere diverse: dalla dissoluzione di rocce e/o di sostanze solubili esistenti nei terreni a mano a mano che l'acqua li attraversa e/o dalla diffusione da strati di acqua a diversa concentrazione salina.

I rischi potenziali connessi all'utilizzo delle acque irrigue e le relative limitazioni d'uso sono ri-

conducibili a differenti categorie:

- rischi legati alla presenza di elevate concentrazioni di sali. Condizione che si traduce in una minore disponibilità per la pianta dell'acqua presente nel terreno, in risposta a variazioni del suo potenziale osmotico;
- rischi legati alla presenza di elevate concentrazioni di sodio. La progressiva sodicizzazione del complesso di scambio provoca la disgregazione degli aggregati strutturali dei terreni tendenzialmente argillosi, con riduzione delle dimensioni medie dei pori del terreno e conseguente riduzione della sua permeabilità ed aumento, invece, della sua capacità di ritenzione idrica, che può portare a fenomeni di asfissia;
- rischi legati alla presenza, oltre certi limiti, di elementi tossici, quali boro, litio, cloro, metalli pesanti, residui di fitofarmaci, ecc., la cui presenza può determinare fenomeni di tossicità in specie vegetali sensibili.

23.2.1. - *Contenuto in sali disciolti*

Uno dei criteri più antichi e più diffusi nel passato per esprimere la salinità di un'acqua ai fini irrigui è quello di indicare il residuo salino fisso o contenuto in sali solubili. Su questa base sono stati proposti, in epoche differenti e da parte di autori diversi, vari limiti oltre i quali un'acqua si deve definire salmastra; sono usati limiti dell'1 ‰, dell'1,5 ‰, del 2 ‰, del 3 ‰. Il limite più usato è del 2 ‰ o 2000 p. p. m.

Come accennato in precedenza, il contenuto totale di sali solubili di un'acqua ha interesse essenzialmente perché è in relazione con la componente osmotica del potenziale dell'acqua, da cui dipende la sua disponibilità per la pianta. In realtà, quindi, ciò che interessa conoscere è la pressione osmotica che i sali solubili determinano. D'altra parte, la pressione osmotica più che dal peso del residuo salino dipende dal grado di dissociazione delle sostanze e quindi dalla concentrazione ionica della soluzione, oltre che dal tipo di ioni in essa presenti, strettamente correlati con la conducibilità elettrica dell'acqua (EC_w) espressa in $dS\ m^{-1}$.

Tenendo conto delle linee guida riportate in letteratura e di un congruo numero di esperienze documentate, AYERS & WESTCOT (1976, 1995) hanno formulato le linee guida per l'interpretazione della

qualità delle acque irrigue riportate in "Irrigation and drainage paper 29 e 29 Rev." della F.A.O. del 1976 e del 1985, indicate nella tabella 23.1. Tali linee guida, oltre alla salinità totale, espressa sia in mg/l e sia in termini di conducibilità elettrica (EC_w), considerano anche la qualità dei sali disciolti ed il contenuto in elementi tossici per le piante.

Tra la salinità totale (STD [‰]) e la EC_w [$dS\ m^{-1}$], esiste la seguente relazione empirica approssimata:

$$STD = 0,64 \times EC_w \quad (23.1)$$

Tra la EC_w [$dS\ m^{-1}$], e la pressione osmotica di una soluzione, costituita da un miscuglio di sali ($\pi\ mix$, [kPa]), esiste invece la seguente relazione empirica approssimata:

$$\pi\ mix = 36 \times EC_w \quad (23.2)$$

23.2.2. - *Qualità dei sali disciolti*

Un altro aspetto riguardante la qualità delle acque irrigue è la qualità dei sali in essa disciolti, in quanto quest'ultima può influenzare le proprietà fisiche e chimiche dei terreni. Questo aspetto è tanto più evidente quanto maggiore è il contenuto in materiale argilloide del terreno, specialmente se si tratta di veri e propri materiali argillosi, soprattutto se della famiglia delle montmorilloniti. L'azione dell'acqua salmastra sulle proprietà fisiche del terreno dipende molto anche dalla composizione dei cationi presenti in esso, principalmente dalla presenza di Ca sotto forma di calcare attivo.

Nel terreno, infatti, gli ioni presenti nell'acqua di irrigazione e quelli del complesso di scambio non sono in equilibrio. Tra queste due fasi venute a contatto ha inizio uno scambio di ioni tendente ad un equilibrio regolato da una legge che, secondo Gapon, empiricamente potrebbe esprimersi nel modo seguente:

$$\frac{C_{a+}}{C_{a++}} = K \frac{C_{s+}}{\sqrt{C_{s++}}} \quad (23.3)$$

dove con C viene indicata la concentrazione molare e con gli indici "a" ed "s", rispettivamente, gli ioni assorbiti ed in soluzione, monovalenti (+) e bivalenti (++).

Questa espressione, anche se empirica, mette bene in evidenza che variazioni di composizione nella soluzione hanno conseguenze nettamente diverse sulle variazioni degli ioni assorbiti.

Tab. 23.1- *Indicazioni per valutare la qualità dell'acqua per l'irrigazione (da AYERS & WESTCOT, 1976, 1985).*
- Indications to assess the water quality for irrigation (after AYERS & WESTCOT, 1976, 1985).

Problemi Potenziali dell'irrigazione	Unità di misura	Grado di limitazione d'uso		
		nessuna	da lieve a moderata	severa
Salinità	EC _w (dS m ⁻¹)*	<0.7	0.7 – 3.0	>3.0
(influenza la disponibilità di acqua per la coltura)	oppure TDS (mg l ⁻¹)**	<450	450 – 2000	>2000
Infiltrazione	SAR = 0-3 con EC _w	>0.7	0.7 – 0.2	<0.2
(influenza la velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno tenendo conto, contemporaneamente, la EC _w ed il SAR***)	SAR = 3-6 con EC _w	>1.2	1.2 – 0.3	<0.3
	SAR = 6-12 con EC _w	>1.9	1.9 – 0.5	<0.5
	SAR = 12-20 con EC _w	>2.9	2.9 – 1.3	<1.3
	SAR = 20-40 con EC _w	>5.0	5.0 – 2.9	<2.9
Effetti di tossicità da ioni specifici su specie vegetali sensibili:				
• Ione sodio (Na⁺)				
irrigazione superficiale	SAR	<3	3 – 9	>9
irrigazione a pioggia	me l ⁻¹	<3	>3	
• Ione cloro (Cl)				
irrigazione superficiale	me l ⁻¹	<4	4 – 10	>10
irrigazione a pioggia	me l ⁻¹	<3	>3	
• Ione Boro (B)	me l ⁻¹	<0.7	0.7 – 3	>3.0
*EC _w (dS m ⁻¹): Conduttività elettrica dell'acqua, misurata a 25°C, espressa in dS m ⁻¹ , numericamente eguali a mmhos cm ⁻¹ (milliSiemens/cm).				
**TDS (mg l ⁻¹): Solidi Totali disciolti in mg l ⁻¹ .				
***SAR: Rapporto di assorbimento del sodio.				

Per tenere conto di questi fatti e della notevole importanza dei rapporti tra i diversi ioni, specialmente tra quelli monovalenti e quelli bivalenti, sul grado di dispersione dell'argilla nel terreno e di conseguenza sulla struttura di quest'ultimo, sulla sua stabilità, e quindi sulla permeabilità dello stesso, sono stati proposti vari indici di qualità dell'acqua irrigua.

Tra questi uno di uso molto comune è quello proposto dall'U.S.R. *Salinity Laboratory*. Trattasi del rapporto di assorbimento del sodio (S.A.R. da "*Sodium Adsorption Ratio*"), che si basa sulla legge di equilibrio di Gapon prima indicata; esso è riportato nel modo seguente:

$$S.A.R. = \frac{[N_a]}{\sqrt{\frac{[Ca] + [Mg]}{2}}} \quad (23.4)$$

dove la concentrazione del Na, Ca e Mg è espressa in meq l⁻¹.

Studi più recenti hanno messo in evidenza che le proprietà fisiche del terreno, quindi anche la sua permeabilità, non sono influenzate solo dal contenuto in sodio dell'acqua irrigua rispetto agli altri cationi, bensì dalla interazione dei seguenti tre fattori: 1) contenuto in sodio rispetto al calcio e magnesio; 2) contenuto in carbonati e bicarbonati; 3) concentrazione salina totale dell'acqua.

Anche se il S.A.R. è un indice che mette bene in evidenza le conseguenze sugli ioni adsorbiti al variare della composizione della soluzione, esso non considera che le proprietà fisiche del terreno e tra queste, come risultante, la permeabilità, possono subire modifiche nel senso negativo in relazione al contenuto in carbonati (CO₃⁻) e bicarbonati (HCO₃⁻) dell'acqua d'irrigazione. Tra due interventi irrigui, infatti, a mano a mano che il terreno si essicca, una parte dei carbonati e dei bicarbonati precipita sotto forma di carbonati di cal-

cio e magnesio, rimuovendo così Ca e Mg dall'acqua del terreno e determinando un aumento relativo del sodio con probabile aumento della sua pericolosità. Per tener conto di quest'ultimo aspetto, fin dal 1950 è stato suggerito di valutare, tenendone conto, il Carbonato di Sodio Residuo (R.S.C. da *Residual Sodium Carbonate*) (EATON, 1950; U.S.SALINITY LABORATORY STAFF, 1954; WILCOX *et alii*, 1954).

Risultati sperimentali più recenti hanno consentito di affinare ulteriormente i concetti del S.A.R. e del R.S.C. suggerendo un nuovo indice che, in qualche modo, coinvolge i due precedentemente indicati. Questo indice, che deriva dalla modifica del vecchio S.A.R., viene indicato come S.A.R. aggiustato (*adjS.A.R.*); esso si calcola con la seguente espressione:

$$adjS.A.R. = \frac{[N_a]}{\sqrt{\frac{[Ca] + [Mg]}{2}}} [1 + (8.4 - pH_c)] \quad (23.5)$$

dove Na, Ca e Mg sono espressi in meq l⁻¹ e pH_c è un pH teorico calcolato dell'acqua d'irrigazione in contatto con carbonati ed in equilibrio con la CO₂ del terreno.

Il valore del pH_c può essere valutato dai risultati dell'analisi chimica dell'acqua, utilizzando la seguente espressione:

$$pH_c = (pk'_2 - pk'_c) + p(C_a^{++} + M_g^{++}) + p(Alk) \quad (23.6)$$

Nella quale:

$$(pk'_2 - pk'_c) = C_a^{++} + M_g^{++} + N_a^+ \text{ meq l}^{-1} \quad (23.7)$$

$$p(C_a^{++} + M_g^{++}) = C_a^{++} + M_g^{++} \text{ meq l}^{-1} \quad (23.8)$$

$$p(Alk) = CO_3^{=} + HCO_3^- \text{ meq l}^{-1} \quad (23.9)$$

I valori di (pk'₂ - pk'_c), p(C_a⁺⁺ + M_g⁺⁺) e p(Alk), corrispondenti a valori differenti delle somme dei rispettivi cationi ed anioni in meq l⁻¹, sono riportati nella tabella 23.2.

Valori di pH_c superiori a 8,4 indicano la tendenza a dissolvere i carbonati del terreno attraversato dall'acqua; valori di pH_c inferiori a 8,4 indicano, invece, la tendenza a precipitare i carbonati dell'acqua somministrata.

OSTER & RHOADES (1977), OSTER & SCHROER (1979) e SUAREZ (1981) valutando accuratamente i valori del S.A.R. aggiustato giunsero alla conclusione che esso sovrastima la pericolosità del sodio. Sulla base di queste conclusioni SUAREZ (1981) propose un nuovo modo di calcolare il S.A.R. ag-

giustato che tiene conto anche della salinità dell'acqua (EC_w), della concentrazione in HCO₃⁻ ed in Ca⁺⁺ e della pressione parziale della CO₂ in prossimità della superficie del terreno. L'equazione proposta da Suarez per il calcolo del nuovo S.A.R. è la seguente:

$$NadjS.A.R. = \frac{[N_a]}{\sqrt{\frac{[C_{ax}] + [M_g]}{2}}} \quad (23.10)$$

Tab. 23.2 - Abaco per il calcolo del pH teorico dell'acqua d'irrigazione in contatto con carbonati ed in equilibrio con la CO₂ del terreno (pH_c).

- Nomogram to compute the theoretical pH of the irrigation water in contact with carbonates and at equilibrium with soil CO₂ (pH_c).

Somme dei meq l ⁻¹	pK' ₂ - pK' _c	p(C _a ⁺⁺ + M _g ⁺⁺)	p(Alk)
0.05	2.0	4.6	4.3
0.10	2.0	4.3	4.0
0.15	2.0	4.1	3.8
0.20	2.0	4.0	3.7
0.25	2.0	3.9	3.6
0.30	2.0	3.8	3.5
0.40	2.0	3.7	3.4
0.50	2.1	3.6	3.3
0.75	2.1	3.4	3.1
1.00	2.1	3.3	3.0
1.25	2.1	3.2	2.9
1.50	2.1	3.1	2.8
2.00	2.2	3.0	2.7
2.50	2.2	2.9	2.6
3.00	2.2	2.8	2.5
4.00	2.2	2.7	2.4
5.00	2.2	2.6	2.3
6.00	2.2	2.5	2.2
8.00	2.3	2.4	2.1
10.0	2.3	2.3	2.0
12.5	2.3	2.2	1.9
15.0	2.3	2.1	1.8
20.0	2.3	2.0	1.7
30.0	2.4	1.8	1.5
50.0	2.5	1.6	1.3
80.0	2.5	1.4	1.1

Dove Na^+ e Mg^{++} sono espressi in meq l^{-1} ; Ca_x^{++} è la concentrazione del Ca^{++} modificata in relazione alla conducibilità elettrica dell'acqua (ECw), al rapporto $[\text{HCO}_3^-]/[\text{Ca}^{++}]$ dove HCO_3^- e Ca^{++} sono espressi in meq l^{-1} , ed alla pressione parziale della CO_2 nei primi millimetri superficiali del terreno, stimata pari a 0,07 kPa. Il valore di Ca_x^{++} può essere ricavato dalla tabella 23.3.

Sulla base della ECw e del NadjS.A.R. nella tabella 23.1 sono riportati i limiti di pericolosità dell'acqua irrigua nei riguardi delle proprietà fisiche del terreno, più in particolare della permeabilità, proposti da AYERS & WESTCOT (1976, 1985).

L'evoluzione delle modalità di calcolo del SAR consente di indicare che:

- il SAR aggiustato (adjSAR) è utilizzabile per acque di falda ricche di CO_2 da destinare all'irrigazione di terreni non calcarei;
 - il nuovo SAR aggiustato proposto da Suarez (NadjSAR) è utilizzabile per acque da destinare all'irrigazione di terreni calcarei;
 - il SAR originale proposto dall'U.S.R. *Salinity Laboratory* è utilizzabile per tutte le altre situazioni.
- Si sottolinea che l'indice SAR, comunque calcolato, non indica pericolosità da salinità, ma solo pericolosità da sodio.

Tab. 23.3 - Abaco per il calcolo del valore di Ca_x (concentrazione del Ca^{++} modificata in relazione alla conducibilità elettrica dell'acqua (ECw), al rapporto $[\text{HCO}_3^-]/[\text{Ca}^{++}]$, ed alla pressione parziale della CO_2 nei primi millimetri superficiali del terreno, stimata pari a 0,07 kPa).

- *Nomogram to compute Ca_x value (concentration of Ca^{++} modified in relation to water electrical conductivity (ECw), $[\text{HCO}_3^-]/[\text{Ca}^{++}]$, and partial pressure of CO_2 in the top soil millimetres, estimated to be equal to 0.07 kPa).*

Rapporto $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{++}$	ECw dell'acqua irrigua dS m^{-1}											
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
0.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.29	17.97	19.07	19.94
0.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.00	10.35	10.89	11.32	12.01	12.58
0.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.05	6.31	6.52	6.96	7.13	7.57	7.91
0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48	1.54	1.63	1.70
2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58
2.50	0.97	1.00	1.02	1.05	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.85	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07
4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99
5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93
7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74
10.00	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58
20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37
30.00	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28

23.2.3. - *Presenza di ioni tossici*

I fenomeni di tossicità possono insorgere del tutto indipendentemente dai pericoli di salinità e sodicizzazione ed affiorano quando alcuni elementi presenti nell'acqua irrigua si accumulano nei tessuti vegetali in quantità tali da causare riduzione di produzione areica. I livelli di soglia di tossicità degli elementi che più comunemente possono far insorgere fenomeni di fitotossicità (Na^+ , Cl^- , B^{3-}) sono riportati nella tabella 23.1.

Nelle acque di falda, se inquinate, possono essere presenti anche metalli pesanti e fitofarmaci. I primi, in forme diverse, sono in grado di condizionare la mobilità e la disponibilità biologica; di conseguenza il dato relativo alla loro concentrazione complessiva non sempre esprime l'effettiva pericolosità delle acque che li contengono. I livelli di soglia di tollerabilità di microelementi e di elementi tossici sono riportati nella tabella 23.4.

Tab. 23.4 - *Massime concentrazioni di microelementi ed elementi tossici tollerabili nelle acque di irrigazione.*

- Maximum allowable concentrations of microelements and toxic elements in irrigation water.

Elemento	Concentrazione massima (mg l^{-1})
ALLUMINIO	5.00
ARSENICO	0.10
BERILLIO	0.10
BORO	0.5
CADMIO	0.01
COBALTO	0.05
CROMO	0.10
FLUORO	1.0
FERRO	5.0
LITIO	2.5
MANGANESE	0.20
MERCURIO	0.002
MOLIBDENO	0.01
NICHEL	0.20
PIOMBO	5.0
RAME	0.20
SELENIO	0.02
STAGNO, TITANIO, TUNGSTENO	-
VANADIO	0.10
ZINCO	2.0

Le acque di falda potrebbero essere inquinate da residui di fitofarmaci capaci di danneggiare direttamente le colture e/o il terreno agrario. Le attuali conoscenze al riguardo non forniscono indicazioni precise circa i limiti di tolleranza delle diverse sostanze nelle acque da destinare all'irrigazione. Tuttavia il problema si pone e là dove sussistono sospetti d'inquinamento è opportuno approfondire le indagini analitiche coinvolgendo competenze specifiche.

La presenza nelle acque irrigue di azoto totale, nitrati, nitriti e fosfati non costituisce un rischio per le colture in quanto azoto e fosforo sono i principali elementi nutritivi dei vegetali. I limiti di accettabilità riportati nella tabella 23.5 vanno interpretati come segnale di adeguamento delle fertilizzazioni in funzione delle quantità di elementi nutritivi apportate con l'acqua irrigua.

Tab. 23.5 - *Valori limite per l'azoto totale, nitrati, nitriti e fosfati per la classificazione delle acque irrigue in classi di qualità.*

- Limit values for total nitrogen, nitrates, nitrites and phosphates for classification of irrigation water in quality classes.

Parametro	Unità di misura	Classe I	Classe II
Azoto totale	mg l^{-1}	< 40	>40
Nitrati	mg l^{-1}	<50	>50
Nitriti	mg l^{-1}	< 2	> 2
Fosfati	mg l^{-1}	<0.4	> 0.4

23.2.4. - *Assunzioni su cui si basano le linee guida riportate nella tabella 23.1*

Per una corretta comprensione dei limiti entro cui sono valide le linee guida riportate nella tabella 23.1, qui di seguito si riportano le assunzioni su cui si basano:

- *uso dell'acqua*: su terreni variabili da sabbiosi di medio impasto ad argillosi di medio impasto, con buon drenaggio interno; in condizioni di clima da semi-arido ad arido, con limitata pioggia annua utile per soddisfare le esigenze idriche delle colture;

in condizioni di assenza di falda superficiale e se presente comunque controllata; seguendo queste linee guida tutte le colture praticate dovrebbero dare luogo alla produzione massima ottenibile con acque non salmastre; in caso di salinità non compatibile con tutte le colture, scelta di speci resistenti alla salinità dell'acqua disponibile;

- *metodo e turno irriguo*: utilizzo di metodi irrigui gravimetrici (scorrimento totale, infiltrazione laterale da solchi, sommersione) e per aspersione, idonei ad intervenire con l'irrigazione alla "domanda"; la coltura utilizza la maggior parte della riserva idrica del terreno prima del successivo intervento irriguo; con i metodi irrigui indicati il 15 % del volume di adacquamento percola al di sotto dello strato radicale; si presume che le linee guida proposte siano molto restrittive in caso di utilizzo dell'irrigazione a goccia e dell'aspersione con elevata frequenza degli interventi irrigui;

- *assorbimento dell'acqua da parte della coltura*: la coltura assorbe acqua da qualunque punto dello strato radicale in cui essa è più disponibile. Normalmente è assorbita per circa il 40 % dal quarto superiore dello strato radicale, il 30 % dal secondo quarto, il 20 % dal terzo quarto ed il 10 % dal quarto più basso. Con ogni intervento irriguo si dilava la parte superiore dello strato radicale, la cui salinità è mantenuta a livelli relativamente bassi. Pertanto la salinità del terreno aumenta con la profondità ed assume i valori più elevati nella parte più bassa dello strato radicale. La concentrazione salina media della soluzione del terreno dell'intero strato radicale è assunto essere pari a tre volte quella dell'acqua irrigua e si ipotizza che questa sia la salinità a cui la coltura reagisce. Questo corrisponderebbe a una frazione di lisciviazione pari al 16 %, tenendo conto dell'assorbimento dell'acqua da parte della coltura lungo il profilo dello strato radicale del 40-30-20-10 % e della profondità media di tale strato.

Poiché i sali dilavati dagli strati più superficiali dello strato radicale si accumulano nella parte più bassa di quest'ultimo, la salinità della parte più profonda della zona radicale è considerata di poca importanza se la parte superiore dello stesso strato è ben rifornita di acqua. La frazione di acqua di lisciviazione dovrebbe controllare la salinità nella

parte inferiore della zona radicale.

- *limitazione d'uso*: la divisione riportata nella tabella 23.1 in "nessuna limitazione", "limitazione da lieve a moderata" e "limitazione severa" è in qualche modo arbitraria in quanto le variazioni sono gradualmente e non sussistono punti netti di separazione.

23.3. - ULTERIORI CRITERI DI VALUTAZIONE DELLE ACQUE SALMASTRE AI FINI IRRIGUI

La valutazione delle acque salmastre ai fini irrigui proposta da AYERS & WESTCOT (1976, 1985), precedentemente indicata, fondamentale si basa sulla variazione delle produzioni delle colture al variare della salinità media della zona radicale. È stato accennato, inoltre, che la valutazione di quest'ultima, variabile durante il ciclo colturale e nello spazio, anche in funzione dell'entità del flusso di acqua nel sistema continuo suolo - pianta - atmosfera, dipendente dalle condizioni ambientali, presenta difficoltà ed incertezze e rappresenta un indice statico, là dove, invece, il fenomeno è di tipo dinamico.

Consci di quest'ultimo aspetto, fondamentale nel sistema biologico, alcuni studiosi hanno proposto indici di tipo dinamico. Tra questi si cita l'indice di stress salino dinamico (SSI, da *dynamic salinity stress index*) proposto da DALTON *et alii*, (1977). Esso sostanzialmente si basa sul flusso di ioni dalla zona radicale verso la pianta, valutato attraverso il loro accumulo nella pianta durante il ciclo colturale della specie coltivata. In altri termini si basa sulla concentrazione ionica nella pianta, quindi sul potenziale osmotico di quest'ultima.

Un altro indice riportato in letteratura è l'indice di stress idrico giornaliero (WSDI, da *water stress day index*) proposto da KATERJI *et alii*, (2000). Esso si basa sull'ipotesi che la tolleranza delle colture alla salinità è funzione del deficit idrico imposto alla coltura durante il suo ciclo colturale, conseguente a variazioni della salinità nel terreno e nella pianta.

Questi ed altri indici dinamici riportati in letteratura, però, benché più aderenti ai processi fisiologici delle piante, richiedono ancora ulteriori approfondimenti sulle diverse colture ed in condizioni ambientali differenti, prima di poterli adottare nella pratica.

23.4. - UTILIZZO DELLE ACQUE SALMASTRE

23.4.1. - *Ripercussioni della salinità delle acque sul terreno*

Dai cenni sulla valutazione della qualità delle acque di irrigazione si desume che le ripercussioni della loro salinità sul terreno possono essere di due tipi: a) progressivo accumulo di sali e di elementi tossici, variabile in relazione alla concentrazione salina dell'acqua e del volume stagionale d'irrigazione somministrato; b) aumento del pH (alcalinizzazione) ed alterazione delle proprietà fisiche del terreno, che dipende dal tipo di sali disciolti presenti nell'acqua d'irrigazione e dal tipo di terreno (quelli argillosi sono particolarmente suscettibili). L'alcalinizzazione dei terreni si verifica quando il livello di sodio presente nelle acque irrigue non è bilanciato dal calcio e dal magnesio (i. e. quando l'acqua è caratterizzata da valore elevato di SAR e basso valore di EC).

L'accumulo di sali negli strati superficiali del terreno interessati dagli apparati radicali, può essere causato anche da fattori indipendenti dalla qualità dell'acqua irrigua o dall'irrigazione. La presenza di falda poco profonda, infatti, per effetto della capillarità, determina un flusso di acqua e dei sali in essa disciolti verso gli strati superficiali del terreno, dove l'acqua evapora e si disperde nell'atmosfera mentre i sali tendono ad accumularsi. In queste situazioni l'irrigazione, favorendo l'innalzamento della falda, può aggravare il problema, specialmente se l'acqua è salmastra.

Problemi quasi simili al precedente si verificano anche in presenza, lungo il profilo del terreno, di strati impermeabili superficiali che potrebbero ostacolare lo spostamento negli strati profondi dei soluti apportati con l'acqua irrigua.

In assenza di falda superficiale e di strati impervi lungo il profilo del terreno, l'accumulo dei soluti apportati con acque irrigue è maggiore in terreni poco permeabili (in terreni argillosi) e minore in quelli permeabili (terreni sabbiosi).

Volumi di adacquamento pari o inferiori a quelli necessari per riportare alla capacità idrica di campo lo strato di terreno maggiormente interessato degli apparati radicali, favoriscono accumuli di sali nella rizosfera, specialmente nella parte inferiore dello

strato umettato.

Nell'acqua d'irrigazione un eccesso di sodio, attuale o potenziale, rispetto agli altri cationi bivalenti presenti, può ridurre anche di molto la permeabilità del terreno, particolarmente di quelli argillosi. Questo parametro fisico influisce notevolmente sulla produttività delle colture per due ragioni opposte tra di loro: limita la costituzione della riserva idrica nel terreno e rallenta il drenaggio dell'acqua in eccesso.

Con bassi valori di velocità d'infiltrazione (<2,5 mm/h), infatti, è quasi impossibile somministrare al terreno elevati volumi di adacquamento senza danneggiare le colture per prolungati ristagni superficiali. In tali situazioni la quantità di acqua che si accumula nel terreno è modesta, le colture possono soffrire per limitate dotazioni idriche ed emergono problemi relativi alla scelta del metodo irriguo, alla loro efficienza ed al dimensionamento delle diverse variabili irrigue.

D'altra parte, la bassa permeabilità è determinata dal prevalere di pori di piccole dimensioni, a causa della disgregazione delle unità strutturali del terreno, i grumi; tali pori conferiscono al terreno elevata capacità di trattenuta idrica e, in periodi di abbondante disponibilità di acqua, basso rapporto aria/acqua, con conseguenti fenomeni di asfissia, che limitano le attività microbiologiche e l'accrescimento delle radici. I fenomeni di asfissia, inoltre, possono verificarsi anche per ristagni superficiali.

23.4.2. - *Ripercussioni della salinità delle acque irrigue sulle colture*

La salinità, abbassando il potenziale osmotico, rende l'acqua meno disponibile per le colture, ne modifica il normale consumo idrico e determina fenomeni di stress idrici, a cui si accompagnano attenuazioni dell'accrescimento delle piante, riduzioni delle produzioni areiche e modifiche qualitative dei prodotti.

La disponibilità dell'acqua per la pianta, inoltre, si riduce a mano a mano che il terreno si essicca, ossia da subito dopo un adacquamento all'inizio di quello successivo, a causa della riduzione del potenziale sia matriciale che osmotico, in conseguenza della progressiva riduzione del contenuto

in acqua del terreno, che si localizza in pori via via più piccoli, e quindi dell'aumento della sua concentrazione salina.

A livello fisiologico elevate concentrazioni di sali causano nelle piante sbilancio ionico e stress iper-osmotico. Lo stress ionico può influenzare sia la funzionalità delle membrane cellulari, con alterazione della permeabilità e del trasporto, sia lo stato nutrizionale, dovuto a competizione ionica nei processi di assorbimento radicale e ad attività enzimatiche che compromettono processi metabolici, come fotosintesi e respirazione (FLAGELLA *et alii*, 1994, 1996). Danni iper-osmotici, causati da bassi valori di potenziali dell'acqua nel terreno, sono dovuti a riduzione del turgore cellulare che coinvolge alterazioni di processi metabolici (FLAGELLA *et alii*, 1998) ed inibizione dell'accrescimento. Inoltre, in conseguenza di questi effetti primari, spesso occorrono anche stress secondari, come danni ossidativi. Il livello di tossicità dei diversi tipi di sali varia con la specie vegetale ed il sistema colturale adottato (AYERS & WESTCOT, 1985; SUBBARAO & JOHANSEN, 1993).

Circa l'accrescimento delle piante al variare della salinità è stato proposto un modello bifasico relativo a tre genotipi di una stessa specie, differenti per il grado di tolleranza alla salinità: sensibile moderatamente tollerante e tollerante (MUNNS, 1993; fig. 23.1).

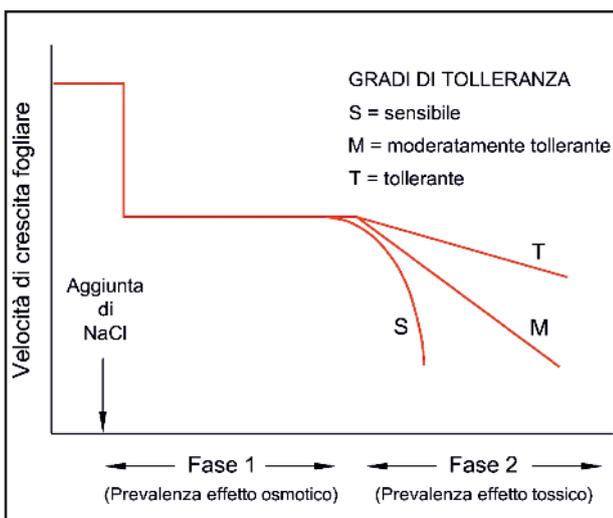


Fig. 23.1 - Illustrazione schematica della risposta di crescita bifasica allo stress salino di tre genotipi della stessa specie, differenti per tre diversi gradi di tolleranza (mod., da MUNNUS, 1993).

- Sketch of the biphasic growth response to the salt stress of three genotypes of the same species, differing by three tolerance degrees (modified, after MUNNUS, 1993).

Sulla base di questa assunzione l'accrescimento in un primo momento è inibito dall'abbassamento del potenziale dell'acqua del terreno, che dipende dalla concentrazione salina all'esterno della pianta. In questa prima fase la risposta alla salinità è indipendente dalla sensibilità del genotipo. Successivamente, ulteriore inibizione dell'accrescimento è dovuto a stress tossico che si manifesta per prima sulle foglie più vecchie che muoiono a causa di un rapido innalzamento della concentrazione salina nelle pareti cellulari o nel citoplasma, quando i vacuoli non sono più in grado di sequestrare ioni tossici. Quando la perdita di foglie vecchie è superiore all'emissione di nuove, gli assimilati disponibili diminuiscono, causando così danni severi all'accrescimento. In questa seconda fase la risposta delle piante si differenzia in relazione al grado di tolleranza alla salinità del genotipo: la velocità di accrescimento delle foglie decresce molto velocemente, moderatamente e lentamente in genotipi sensibili, moderatamente tolleranti e tolleranti, rispettivamente.

Nel complesso, molti dati empirici evidenziano che lo stress salino: aumenta la resistenza stomatica al flusso idrico; riduce la traspirazione, l'assimilazione della CO₂, la sintesi delle proteine, le gibberelline e le citochinine delle foglie, i regolatori osmotici organici; determina la senescenza prematura delle foglie.

A livello morfologico, elevata concentrazione salina nel terreno causa: riduzione della superficie fogliare, aumento dello spessore delle foglie; riduzione della densità e delle dimensioni degli stomi; clorosi e necrosi delle foglie; prematura cascola delle foglie; riduzione dell'accrescimento delle radici; riduzione del numero e delle dimensioni dei fiori; cascola dei fiori; riduzione dell'accrescimento della pianta e morte delle stesse.

A livello produttivo, aspetto più interessante dal punto di vista pratico applicativo, la tolleranza delle colture alla salinità spesso è descritta come una complessa funzione del calo della produzione relativa (calo della produzione in % rispetto a quella ottenibile con acque non salmastre) al variare della concentrazione salina (MAAS & HOFFMAN, 1977; VAN GENUCHTEN & HOFFMAN, 1984). Nell'ambito dei modelli proposti per differenziare la tolleranza relativa alla salinità di specie o cultivar diverse sono

usati due parametri: 1) il livello soglia (EC_e), ossia la conducibilità elettrica dell'estratto di pasta satura limite oltre la quale si verifica un significativo calo della produzione; e 2) la pendenza (s), ossia la percentuale di riduzione della produzione per ogni unità di salinità al disopra del livello soglia. La produzione relativa (Y) corrispondente ad ogni salinità eccedente EC_t si può calcolare con la seguente espressione:

$$Y = 100 - s (EC_e - EC_t) \quad (23.11)$$

dove EC_e [$dS m^{-1}$] è la conducibilità elettrica dell'estratto di pasta satura del terreno prelevato dallo strato radicale, come media del periodo del ciclo colturale e dell'intero strato.

Il livello soglia di tolleranza delle colture alla salinità è molto sensibile alle interazioni tra salinità e fattori ambientali. Esso dipende sia dall'accuratezza della misura della salinità sia dalle modalità con cui la stessa è integrata sull'intero strato di terreno esplorato dalle radici durante il ciclo colturale. Pertanto sussiste una elevata incertezza nel valutare la pendenza, ossia la percentuale di riduzione della produzione per ogni unità di salinità al disopra del livello soglia (SHANNON M.C., & GRIEVE C.M., 1999).

Inoltre, la classificazione delle diverse specie vegetali sulla base della loro tolleranza alla salinità non è univoca rispetto ai due parametri prima indicati (EC_t ed s) (fig. 23.2). Ad elevato valore del

livello soglia, indicante buona tolleranza, infatti, non necessariamente corrisponde un basso valore della pendenza. Per esempio, può sussistere un valore del livello soglia relativamente basso, come per il sedano ($EC_e = 1.8 dS m^{-1}$), con valore della pendenza ugualmente basso ($s = 6,2 \%$), oppure può riscontrarsi valore del livello soglia elevato con pendenza anche essa elevata, come zuccchino e carciofo; il calo delle produzioni all'aumentare della salinità è modesto nel primo caso, mentre è elevato nel secondo caso.

Diversi autori, sulla base di risultati di numerose ricerche, hanno approntato tabelle di tolleranza delle colture alla salinità tenendo conto del valore del livello soglia, indicando anche le riduzioni delle produzioni areiche al variare della salinità dell'acqua irrigua e della presumibile salinità dell'estratto di pasta satura e dell'acqua del terreno.

Considerando che le indicazioni riguardanti la tolleranza delle colture alla salinità in corrispondenza del livello soglia destano incertezze, a causa delle approssimazioni insite nelle valutazioni della salinità media nello strato radicale e durante il ciclo colturale, FLAGELLA *et alii*, (1994) e SHANNON M.C. & GRIEVE C.M. (1999) hanno proposto come valore più attendibile di salinità tollerabile dalle colture quello corrispondente al 50 % di riduzione della produzione (E_{50}), valore deducibile dall'equazione 23.11 noti i livelli soglia e le pendenze (tabella 23.6). Tra le colture orticole, l'asparago è quella più tollerante alla salinità, dovuto al basso valore della pendenza, per cui il calo di produzione del 50% (C_{50}) si verifica in corrispondenza della conducibilità elettrica dell'estratto di pasta satura (EC_e) pari a $29,1 dS m^{-1}$. Questo valore, invece, si aggira intorno a $3-5 dS m^{-1}$ per colture sensibili (per es. fragola, fagiolo, cipolla, carota e finocchio), intorno a $5-9 dS m^{-1}$ per specie moderatamente sensibili (per es. radicchio, peperone e lattuga), intorno a $9-12 dS m^{-1}$ per specie moderatamente tolleranti (per es. bietola, zuccino e carciofo). Tra le colture da granella, i cereali a ciclo autunno-vernino, come triticale, frumento duro e orzo, hanno una elevata tolleranza, con C_{50} variabile tra 18 e $26 dS m^{-1}$; mentre le specie a ciclo primaverile-estivo, come il mais ($C_{50} = 6 dS m^{-1}$), generalmente sono sensibili. Tra le colture industriali, il cotone e la bar-

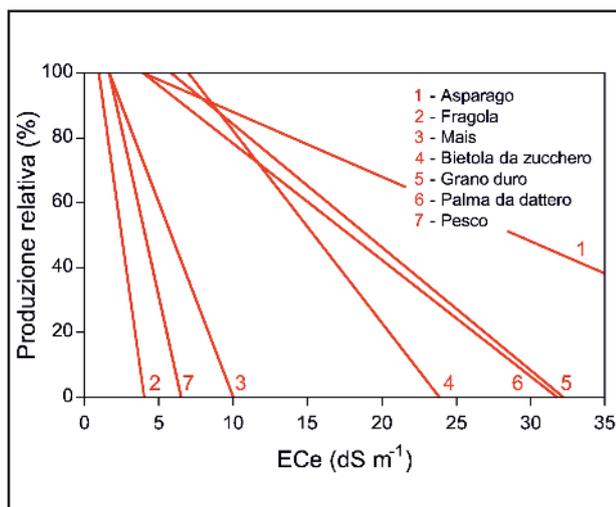


Fig. 23.2 - Produzioni relative di alcune colture erbacee ed arboree al variare della salinità del terreno, secondo il modello di MAAS & HOFFMANN (1977).
- Relative yield of some herbaceous and tree crops with the change in soil salinity, according to the model by MAAS & HOFFMAN (1977).

Tab. 23.6 - Parametri caratterizzanti la tolleranza alla salinità delle principali specie orticole (A), da fibra, da granella ed industriali (B), foraggere (C) e arboree (D), secondo il modello di Maas e Hoffman (1977), rispetto alla conducibilità elettrica dell'acqua (ECw) e alla conducibilità dell'estratto di pasta satura del terreno (ECe). (mod., da FLAGELLA et alii, 2002).

S = sensibile; MS = moderatamente sensibile; MT = moderatamente tollerante; T = tollerante.

– Parameters characterizing salt salinity tolerance of major vegetable crops (A), fibre crops, grain and industrial crops (B), fodder crops (C) and tree crops (D), according to the model by Maas and Hoffman (1977), with respect to the water electrical conductivity (ECw) and the conductivity of the saturated soil-paste extract (ECe) (modified after FLAGELLA et alii, 2002). S = sensitive; MS = moderately sensitive; MT = moderately tolerant; T = tolerant.

A)		Parametri di tolleranza alla salinità						
Coltura		rispetto alla ECw			rispetto alla ECe			Classe
Nome comune	Nome botanico	Soglia ECw (dS m ⁻¹)	Pendenza (% per dS m ⁻¹)	ECw ₅₀ ECw (dS m ⁻¹)	Soglia Ece (dS m ⁻¹)	Pendenza (% per dS m ⁻¹)	ECe ₅₀ ECe (dS m ⁻¹)	
Colture orticole								
Aglio	<i>Allium sativum</i> L.	1.1	15	4.5	1.7	10	6.7	MS
Asparago	<i>Asparagus officinalis</i> L.	2.7	3	19.4	4.1	2	29.1	T
Bietola da orto	<i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>conditiva</i> Alef.	2.7	13.5	6.4	4	9	9.6	MT
Carciofo	<i>Cynara cardunculus</i> L. subsp. <i>scolymus</i> Hayeck	4.1	17.3	7	6.1	11.5	10.4	MT
Carota	<i>Daucus carota</i> L.	0.7	21	3	1	14	4.6	S
Cavolo broccolo	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i> Plenck	1.9	13.8	5.5	2.8	9.2	8.2	MS
Cavolo cappuccio	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> L.	1.2	14.6	4.6	1.8	9.7	7	MS
Cavolo cinese	<i>Brassica rapa</i> L.	2.1	15	5.5	3.2	10	8.2	MS
Cetriolo	<i>Cucumis sativus</i> L.	1.7	19.5	4.2	2.5	13	6.3	MS
Cipolla da bulbi	<i>Allium cepa</i> L.	0.8	24	2.9	1.2	16	4.3	S
Cipolla da seme	<i>Allium cepa</i> L.	0.7	12	4.8	1	8	7.3	MS
Fagiolino dall'occhio	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	3.3	18	6	4.9	12	9.1	MT
Fagiolo comune	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	0.7	28.5	2.4	1	19	3.6	S
Fagiolo mungo	<i>Vigna radiata</i> (L.) R. Wilc.	1.2	31.1	2.8	1.8	20.7	4.2	S
Fava	<i>Vicia faba</i> L.	1.1	22.5	3.4	1.7	15	5	MS
Finocchio	<i>Foeniculum vulgare</i> Miller var. <i>azoricum</i> (Mill.) Thell.	0.8	22.5	3	1.2	15	4.8	S
Fragola	<i>Fragaria × ananassa</i> Duch.	0.7	49.5	1.7	1	33	2.5	S
Lattuga	<i>Lactuca sativa</i> L.	0.9	19.5	3.4	1.3	13	5.1	MS
Mais dolce	<i>Zea mays</i> L. var. <i>saccharata</i> Koern	1.1	18	3.9	1.7	12	5.9	MS
Melanzana	<i>Solanum melongena</i> L. var. <i>esculentum</i> Nees.	0.7	10.4	5.6	1.1	6.9	8.3	MS
Melone	<i>Cucumis melo</i> L. subsp. <i>reticulatus</i> Naudin	0.7	12.6	4.6	1	8.4	7	MS
Patata	<i>Solanum tuberosum</i> L.	1.1	18	3.9	1.7	12	5.9	MS

Segue

Patata dolce	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	1	16.5	4	1.5	11	6	MS
Peperone	<i>Capsicum annuum</i> L.	1	21	3.4	1.5	14	5.1	MS
Pisello	<i>Pisum sativum</i> L.	2.3	15.9	5.4	3.4	10.6	8.1	MS
Pomodoro	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	1.7	14.9	5	2.5	9.9	7.6	MS
Pomodoro tipo cherry	<i>L. esculentum</i> Mill. var. <i>ce-rasiforme</i> (Dunal) Alef.	1.1	13.7	4.8	1.7	9.1	7.2	MS
Portulaca	<i>Portulaca oleracea</i> L.	4.2	14.4	7.7	6.3	9.6	11.5	MT
Rapa	<i>Brassica rapa</i> L. var. <i>rapa</i>	0.6	13.5	4.3	0.9	9	6.5	MS
Rapa (foglie)	<i>Brassica rapa</i> L. var. <i>rapa</i>	2.2	6.5	10	3.3	4.3	14.9	MT
Ravanello	<i>Raphanus sativus</i> L.	0.8	19.5	3.4	1.2	13	5	MS
Sedano	<i>Apium graveolens</i> L. var. <i>dulce</i> (Mill.) Pers.	1.2	9.3	6.6	1.8	6.2	9.9	MS
Spinacio	<i>Spinacia oleracea</i> L.	1.3	11.4	5.7	2	7.6	8.6	MS
Zucca	<i>Cucurbita pepo</i> L.	2.1	24	4.2	3.2	16	6.3	MS
Zucchino	<i>Cucurbita pepo</i> L.	3.1	14.1	6.7	4.7	9.4	10	MT

B)		Parametri di tolleranza alla salinità							Classe
Coltura		rispetto alla EC _w			rispetto alla EC _e				
		Soglia-EC _w (dS m ⁻¹)	Pendenza (% per dS m ⁻¹)	EC _{w50} EC _w (dS m ⁻¹)	Soglia EC _e (dS m ⁻¹)	Pendenza (% per dS m ⁻¹)	EC _{e50} EC _e (dS m ⁻¹)		
Nome comune	Nome botanico								
Colture da granella, fibra, industriali									
Arachide	<i>Arachis hypogaea</i> L.	2.1	43.5	3.3	3.2	29	4.9	MS	
Avena	<i>Avena sativa</i> L.	-	-	-	-	-	-	MT	
Bietola da zucchero	<i>Beta vulgaris</i> L.	4.7	8.9	10.3	7	5.9	15.5	T	
Canna da zucchero	<i>Saccharum officinarum</i> L.	1.1	8.9	6.8	1.7	5.9	10.2	MS	
Cartamo	<i>Carthamus tinctorius</i> L.	5	9	10.6	7.5	6	15.8	MT	
Colza	<i>Brassica napus</i> L.	6.7	16.8	9.6	10	11.2	14.5	T	
Cotone	<i>Gossypium hirsutum</i> L.	5.1	7.8	11.5	7.7	5.2	17.3	T	
Crambe	<i>Crambe abyssinica</i> Hochst. ex R.E. Fries	1.3	9.8	6.5	2	6.5	9.7	MS	
Fagiolo	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	0.7	28.5	2.4	1	19	3.6	S	
Frumento duro	<i>Triticum turgidum</i> L. var. <i>durum</i> Desf.	3.9	5.7	12.7	5.9	3.8	19.1	T	
Frumento tenero	<i>Triticum aestivum</i> L.	4	10.7	8.7	6	7.1	13	MT	
Girasole	<i>Helianthus annuus</i> L.	3.2	7.5	9.9	4.8	5	14.8	MS	
Kenaf	<i>Hibiscus cannabinus</i> L.;	5.4	17.4	8.3	8.1	11.6	12.4	T	
Lino	<i>Linum usitatissimum</i> L.	1.1	18	3.9	1.7	12	5.9	MS	
Mais	<i>Zea Mays</i> L.	1.1	18	3.9	1.7	12	5.9	MS	
Orzo	<i>Hordeum vulgare</i> L.	5.3	7.5	12	8	5	18	T	
Riso	<i>Oryza sativa</i> L.	2	18	4.8	3	12	7.2	S	
Segale	<i>Secale cereale</i> L.	7.6	16.2	10.7	11.4	10.8	16	T	
Soia	<i>Glycine max</i> (L.) Merill	3.3	30	5	5	20	7.5	MT	
Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench.	4.5	24	6.6	6.8	16	9.9	MT	
Topinambur	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	0.3	14.4	3.7	0.4	9.6	5.8	MS	
Triticale	<i>Triticum secale</i> Witt.	4.1	3.8	17.4	6.1	2.5	26.1	T	

C)		Parametri di tolleranza alla salinità						
Coltura		rispetto alla EC _w			rispetto alla EC _e			Classe
Nome comune	Nome botanico	Soglia EC _w (dS m ⁻¹)	Pendenza (% per dS m ⁻¹)	EC _{w50} EC _w (dS m ⁻¹)	Soglia EC _e (dS m ⁻¹)	Pendenza (% per dS m ⁻¹)	EC _{e50} EC _e (dS m ⁻¹)	
Colture foraggere								
Avena	<i>Avena sativa</i> L.	-	-	-	-	-	-	MS
Erba medica	<i>Medicago sativa</i> L.	1.3	11	5.9	2	7.3	8.8	MS
Fava	<i>Vicia faba</i> L.	1.1	14.4	4.5	1.6	9.6	6.8	MS
Festuca	<i>Festuca elatior</i> L.	2.6	8	8.9	3.9	5.3	13.3	MT
Frum. tenero, foraggio	<i>Triticum aestivum</i> L.	3	3.9	15.8	4.5	2.6	23.7	MT
Frum. duro, foraggio	<i>Triticum turgidum</i> L. var. <i>durum</i> Desf.	1.4	3.8	14.7	2.1	2.5	22.1	MT
Loglio	<i>Lolium perenne</i> L.	3.7	11.4	8.1	5.6	7.6	12.2	MT
Mais, foraggio	<i>Zea mays</i> L.	1.2	11.1	5.7	1.8	7.4	8.6	MS
Orzo, foraggio	<i>Hordeum vulgare</i> L.	4	10.7	8.7	6	7.1	13	MT
Trifoglio alessandrino	<i>Trifolium alexandrinum</i> L.	1	8.6	6.8	1.5	5.7	10.3	MS
Trifoglio pratense	<i>Trifolium pratense</i> L.	1	18	3.8	1.5	12	5.7	MS
Trifoglio strisciante	<i>Trifolium repens</i> L.	1	18	3.8	1.5	12	5.7	MS
Veccia	<i>Vicia angustifolia</i> L.	2	16.5	5	3	11	7.5	MS
Vigna	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	1.7	16.5	4.7	2.5	11	7	MS

D)		Parametri di tolleranza alla salinità						
Coltura		rispetto alla EC _w			rispetto alla EC _e			Classe
Nome comune	Nome botanico	Soglia EC _w (dS m ⁻¹)	Pendenza (% per dS m ⁻¹)	EC _{w50} EC _w (dS m ⁻¹)	Soglia EC _e (dS m ⁻¹)	Pendenza (% per dS m ⁻¹)	EC _{e50} EC _e (dS m ⁻¹)	
Colture arboree								
Albicocco	<i>Prunus armeniaca</i> L.	1.1	36	2.5	1.6	24	3.7	S
Arancio	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	0.9	19.7	3.4	1.3	13.1	5.1	S
Cedro	<i>Citrus × paradisi</i> Macf.	0.8	20.3	3.3	1.2	13.5	4.9	S
Ciliegio	<i>Prunus avium</i> L.	-	-	-	-	-	-	S
Fico	<i>Ficus carica</i> L.	-	-	-	-	-	-	MT
Limone	<i>Citrus limon</i> (L.) Burm.	1	19.2	3.6	1.5	12.8	5.4	S
Mandorlo	<i>Amigdalus communis</i> L.	1	28.5	2.8	1.5	19	4	S
Melo	<i>Malus sylvestris</i> Miller	1.1	24	3.2	1.7	16	4.8	S
Olivo	<i>Olea europea</i> L.	1.8	13.2	5.6	2.7	8.8	8.4	MT
Pero	<i>Pyrus communis</i> L.	1.1	24	3.2	1.7	16	4.8	S
Pesco	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	1.1	31.5	2.7	1.7	21	4.1	S
Pompelmo	<i>Citrus paradisi</i> Mcfayden	1.2	24	3.3	1.8	16	4.8	S
Rovo	<i>Rubus macropetalus</i> Dougl. ex Hook	1	33	2.5	1.5	22	3.8	S
Susino	<i>Prunus domestica</i> L.	1.7	46.5	2.8	2.6	31	4.2	MS
Vite	<i>Vitis vinifera</i> L.	1	14.4	4.5	1.5	9.6	6.7	MS

babietola da zucchero sono tolleranti ($C_{50} = 17$ e 16 dS m^{-1} , rispettivamente).

Le colture arboree, rispetto a quelle erbacee, generalmente sono più sensibili alla salinità. Per esempio gli agrumi sono sensibili ($C_{50}=4-5 \text{ dS m}^{-1}$), la vite è moderatamente sensibile ($C_{50}=7 \text{ dS m}^{-1}$), l'olivo è moderatamente tollerante ($C_{50} = 8,4 \text{ dS m}^{-1}$).

Diversi fattori ambientali interagiscono significativamente con la risposta alla salinità, quali temperatura, vento, umidità, luce ed inquinamento atmosferico. Per esempio, in condizioni ambientali severe di temperatura elevata e di bassa umidità relativa, la funzione di risposta alla salinità può subire variazioni nel senso che il valore del livello soglia diminuisce e la pendenza aumenta, rendendo la coltura più sensibile (SHULHEVET, 1994).

La tolleranza delle colture alla salinità, in conseguenza degli effetti delle variazioni dei fattori ambientali sull'accrescimento e sulla risposta produttiva, potrebbe essere meglio valutata tenendo conto, invece che del livello di salinità nella rizosfera (indice statico), del flusso degli ioni verso la pianta (indice dinamico), ossia della concentrazione ionica nella parte aerea della pianta, che varia in relazione al livello di salinità nella rizosfera ed all'intensità traspirativa della pianta (DALTON *et alii*, 1977).

23.4.3. - Ripercussioni della salinità delle acque irrigue sulla qualità dei prodotti

Quando si fa riferimento agli effetti della salinità sulle produzioni delle colture, generalmente sono prese in considerazione le quantità e sono trascurati, invece, gli aspetti qualitativi. Recentemente sono stati presi in considerazione anche questi ultimi aspetti, in modo particolare in ambienti in cui il problema della salinità non è tanto drammatico, come in molti paesi in via di sviluppo, ma fa parte di un contesto socio-economico che attribuisce importanza agli aspetti qualitativi (CANTORE, 1998). Gli effetti della salinità sulla qualità dei prodotti e la loro importanza economica variano in relazione alla specie, al tipo di prodotto (frutto, radice, foglia, etc.), all'uso (consumo fresco o trasformato) ed al livello di salinità. Sullo stesso prodotto gli effetti possono essere positivi e negativi, alcuni parametri

qualitativi possono essere migliorati, altri invece possono essere peggiorati. Tra gli aspetti positivi sono stati osservati l'aumento del contenuto in sostanza secca, solidi solubili, zuccheri ridotti, acidità titolabile e miglioramento del sapore. Gli aspetti negativi riguardano l'aumento del contenuto in fibre, particolarmente negativo per alcuni ortaggi (lattuga, bietola, finocchio e carciofo), la riduzione della pezzatura (osservata per il melone, carciofo, pomodoro e patata) e la freschezza sullo scaffale, *shelf life*, (osservato per melone e pomodoro).

Tuttavia i dati disponibili in letteratura permettono di affermare che con valori di salinità entro i limiti considerati tollerabili dalle colture e riduzione del 50 % della produzione (C_{50}), gli effetti negativi sono trascurabili o non inesistenti.

23.4.4. - Possibilità di utilizzo delle acque salmastre

L'impiego irriguo di acque salmastre generalmente determina incrementi di produzioni areiche rispetto a quelle ottenibili senza irrigazione, riduzioni, invece, rispetto alle produzioni ottenibili irrigando con acqua dolce.

La conoscenza delle caratteristiche qualitative dell'acqua d'irrigazione consente di adottare accorgimenti idonei per attenuare effetti negativi sulle colture e sul terreno. Tuttavia, ogni limite di distinzione tra acque dolci e acque salmastre, o acque non pericolose ed acque pericolose per l'agricoltura, non può che essere arbitrario, mirando a creare una discontinuità laddove esiste una graduale variazione continua, le cui conseguenze pratiche sono pure graduali e continue e, pertanto, soggette a compiere scelte molto diverse secondo i terreni, i climi, le colture, le tecniche colturali e le condizioni economiche generali.

Pertanto, anche se i vari limiti analitici sono molto utili per caratterizzare il tipo di acqua, essi dicono poco circa la possibilità della sua utilità ed utilizzabilità. Situazioni particolari possono consentire l'utilizzazione di acque giudicate dalla letteratura corrente non idonee per l'irrigazione. A questo proposito la tolleranza basata sul calo del 50% della produzione ottenibile con acqua dolce (C_{50}) proposta da FLAGELLA *et alii*, (1994) e da SHANNON M.C. & GRIEVE C.M. (1999), rispetto a

quella basata sul livello soglia, come pure gli esempi esistenti in Puglia di utilizzo per decenni su terreni calcarei e su terre rosse, come riportato da PANTANELLI (1929) e da CAVAZZA (1968), di acque caratterizzate da conducibilità elettrica tra 4 e 5 dS m⁻¹ o da residuo secco di 4-7 g/l, con risultati soddisfacenti, ne sono la conferma.

Scegliendo accuratamente le colture, tenendo conto delle caratteristiche climatiche e dei terreni su cui si opera, ed adottando tecniche agronomiche ed irrigue adeguate, è possibile utilizzare acque salmastre a scopo irriguo, anche con limitazione severa e con valori di salinità superiori a quelli indicati nella tabella 23.1.

23.5. - ACCORGIMENTI NELL'UTILIZZO DELLE ACQUE SALMASTRE

Gli accorgimenti adottabili nell'utilizzo di acque salmastre sono diversi ed essenzialmente mirano a contenere gli effetti negativi sulla fertilità del terreno e sulla produttività delle colture. In considerazione che la tolleranza delle colture alla salinità varia con la specie e la cultivar, uno degli accorgimenti di primaria importanza da adottare è la scelta delle colture e delle cultivar da irrigare, adeguate alle caratteristiche dell'acqua che si dispone.

Come più volte è stato accennato, l'uso di acqua salmastra comporta riduzione della disponibilità di acqua per le colture ed è causa di progressiva salinizzazione e/o sodicizzazione dei terreni, pertanto ogni accorgimento mirante a prevenire o attenuare tali fenomeni valorizza l'impiego delle acque salmastre.

Gli effetti negativi della salinità delle acque sul terreno decrescono passando da quelli argillosi ai terreni sabbiosi, per via della maggiore permeabilità e del minore rischio di degrado delle proprietà fisiche di questi ultimi; pertanto, là dove è possibile, utilizzare le acque salmastre per irrigare terreni sabbiosi e non terreni argillosi, specialmente quando il contenuto in sodio rispetto a calcio e magnesio nelle acque è elevato.

Agevolare la lisciviazione dei soluti apportati con le acque d'irrigazione dallo strato di terreno interessato dagli apparati radicali in quelli sottostanti, attivando un buon sistema di drenaggio naturale, attraverso la rottura di strati impervi

superficiali rimovibili, là dove sono presenti, artificiale, invece, là dove sono presenti falde poco profonde soggette a fluttuazioni durante l'anno a causa delle piogge invernali e dell'irrigazione durante la stagione irrigua, realizzando appropriata rete di drenaggio sottosuperficiale.

Tra i lavori preparatori principali del terreno è da preferirsi la discissura profonda o l'ara-ripuntatura, detta anche a doppio strato, in alternativa all'aratura profonda, al fine di non riportare in superficie strati profondi del terreno in cui si sono accumulati sali lisciviati dagli strati sovrastanti e di evitare la formazione del crostone o suola di lavorazione, che ostacolerebbe il drenaggio profondo.

Avvicinare colture irrigate con colture non irrigue, al fine di accentuare l'azione liscivante delle piogge invernali. In ambienti irrigui della Puglia è stato ampiamente dimostrato che le piogge invernali allontanano dallo strato radicale la quasi totalità dei soluti apportati con le acque durante la stagione irrigua precedente (PANTANELLI, 1929; FICCO, 1961; CALIANDRO *et alii*, 1991). Alternando colture irrigue a colture non irrigate si dà la possibilità alle piogge di due o più inverni consecutivi di dilavare i sali apportati in precedenza con le acque irrigue; questo accorgimento è particolarmente indicato in annate siccitose.

Là dove si dispone anche di quantità limitate di acqua dolce si potrebbe prevedere di avvicinare colture sensibili alla salinità, da irrigare con acqua dolce, con colture resistenti alla salinità, da irrigare con acque salmastre, almeno dopo la fase di germinazione-emergenza, oppure impiegare acque dolci durante le fasi fenologiche critiche della coltura nei riguardi della salinità e le acque salmastre durante le fasi tolleranti.

In presenza di acque a diversa concentrazione salina si potrebbe anche ipotizzare la miscelazione dell'acqua dolce con quella salmastra; questa soluzione, però, se da una parte migliora la qualità dell'acqua salmastra, dall'altra peggiora quella dell'acqua dolce. L'opportunità di miscelare acque di qualità diverse dipende da più circostanze e da valutazioni anche di tipo economico oltre che tecnico. A quest'ultimo riguardo CAVAZZA & PATRUNO (2009) suggeriscono la possibilità di miscelare acque a diversa concentrazione salina sulla base della risposta pro-

duttiva delle colture ad acque a diversa salinità e degli effetti della salinità dell'acqua sulla qualità del prodotto ottenuto e sul suo valore commerciale.

È buona norma frazionare la concimazione azotata in più epoche al fine di non contribuire ad elevare la concentrazione salina dell'acqua del terreno. Tuttavia, si ribadisce che la tolleranza delle colture alla salinità aumenta con l'aumentare della fertilità del terreno, quindi la concimazione adeguata assume notevole importanza.

Tra i metodi irrigui disponibili sarebbe preferibile adottare quelli che favoriscono la lisciviazione dei soluti apportati con le acque irrigue dagli strati del terreno colonizzati dagli apparati radicali a quelli sottostanti, come la sommersione, lo scorrimento l'aspersione, che determinano nel terreno il flusso dell'acqua, quindi dei soluti, dalla superficie in profondità. L'irrigazione per infiltrazione laterale da solchi e quella localizzata a goccia, pur determinando un flusso di acqua e di soluti intorno alla zona di infiltrazione, al disotto e lateralmente al solco o al punto di gocciolamento, consentono di allontanare i soluti dal volume di terreno umettato, in cui le radici sono più attive. Tuttavia, questi due metodi favoriscono accumuli di soluti in superficie tra solchi o gocciolatoi contigui, con problemi di salinità per la coltura successiva a quella irrigata se i soluti accumulati non sono dilavati da piogge cadute nell'intermezzo tra le due colture consecutive o da irrigazione liscivante effettuata in presemina o pre-trapianto.

La sommersione e lo scorrimento, però, non consentendo di dosare bene piccoli volumi di adacquamento, quindi di realizzare turni irrigui brevi con elevata efficienza distributiva dell'acqua, e non essendo idonei per irrigare la maggior parte delle colture praticate in Puglia, sono poco utilizzabili.

L'irrigazione a pioggia, pur permettendo di usare turni irrigui brevi e realizzare elevata efficienza distributiva con piccoli volumi di adacquamento, bagnando la vegetazione, almeno delle colture erbacee e di quelle arboree con impianti soprachioma, può favorire assorbimenti fogliari di soluti e di ioni tossici (Na, Cl, B). Tuttavia, questo aspetto negativo può essere attenuato irrigando le colture erbacee durante le ore meno soleggiate della giornata o durante la notte, realizzando im-

pianti sottochioma per le colture arboree.

Da subito dopo un intervento irriguo a poco prima di quello successivo, l'umidità del terreno diminuisce progressivamente, per perdite di acqua per evapotraspirazione, e la concentrazione salina dell'acqua residua aumenta, di conseguenza si abbassano i potenziali matriciale, osmotico e quindi quello totale dell'acqua residua del terreno; pertanto, con l'uso di acqua salmastra il potenziale totale può essere elevato ed i fenomeni di stress idrico possono essere attenuati adottando turni irrigui brevi, ossia irrigando in corrispondenza di limiti di umidità del terreno più elevati rispetto a quelli considerati validi quando si irriga con acqua dolce.

Una tecnica generalmente suggerita con l'uso di acque salmastre è l'adozione del *leaching requirement* (L.R.), ossia l'applicazione di una opportuna quantità di acqua superiore al volume di adacquamento occorrente per portare alla capacità idrica di campo lo strato di terreno colonizzato dalle radici; l'acqua in più apportata percola al disotto della zona radicale e liscivia, da quest'ultima, i soluti apportati con l'adacquata precedente. Tuttavia, se il fabbisogno idrico delle colture è soddisfatto in parte anche dalle acque di pioggia e se queste ultime, durante il periodo autunno-invernale, allontanano dallo strato radicale i soluti apportati durante la precedente stagione irrigua, come generalmente si verifica in Puglia, l'adozione della tecnica del L.R. si rivela di scarsa utilità o addirittura dannosa (FICCO, 1961; CALIANDRO *et alii*, 1991)

Dopo queste indicazioni, però, non si può concludere che la tecnica di lisciviazione sia inutile; si deve, invece, considerare l'opportunità di verificare, durante la stagione irrigua, l'evoluzione della salinità del terreno lungo il profilo e di intervenire con acqua di lisciviazione quando la EC_e della zona radicale risulta superiore a quella compatibile con il calo di produzione ipotizzata.

Un'abbondante irrigazione prima dell'inizio della stagione delle piogge può risultare molto utile per migliorare l'azione dilavante dell'acqua di pioggia, particolarmente quando l'entità di quest'ultima non è sufficiente per portare alla capacità idrica di campo la zona radicale.

Il problema della lisciviazione si pone anche per attenuare gli aspetti negativi del sodio sulle caratte-

ristiche fisiche del terreno. La pericolosità del sodio, infatti, può essere controllata con l'applicazione di correttivi, al terreno o direttamente all'acqua, capaci di abbassare il rapporto $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ nell'acqua del terreno. Il correttivo comunemente usato è il gesso (CaSO_4), che arricchendo la soluzione circolante in Ca^{++} abbassa anche il rapporto $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ sul complesso di scambio (legge di Gapon). L'efficacia del correttivo è legata alla lisciviazione del Na^+ che, per sostituzione, arricchisce la soluzione circolante.

La lisciviazione si dimostra utile, inoltre, anche per il controllo di fenomeni di tossicità che possono insorgere per la presenza nell'acqua d'irrigazione o nel terreno di Na^+ , Cl^- , e B^{3-} in quantità superiori ai limiti compatibili con le colture irrigate.

La frazione di acqua in più da somministrare rispetto al volume di adacquamento, detta "Fabbisogno di Lisciviazione", può essere valutata con metodologie diverse.

Una delle prime metodologie, suggerita dall'U.S.D.A. fin dal 1954, si basa sul principio del costante bilancio dei soluti nel terreno, essa è la seguente:

$$\text{LR} = \text{EC}_w / \text{ECd}_w = \text{Dd}_w / \text{D}_w \quad (23.12)$$

dove:

$\text{LR} = \text{leaching requirement}$ (fabbisogno di lisciviazione) in percento del volume di adacquamento;

EC_w [dS m^{-1}] = conducibilità elettrica dell'acqua d'irrigazione;

ECd_w [dS m^{-1}] = conducibilità elettrica dell'acqua di drenaggio dallo strato radicale massima compatibile con la produzione ipotizzata della coltura;

Dd_w [mm] = quantità di acqua di drenaggio espressa in altezza;

D_w [mm] = quantità di acqua irrigua espressa in altezza.

Studi più recenti, basandosi sul fatto che lo strato di terreno che maggiormente contribuisce al rifornimento idrico delle colture è la metà superiore della zona radicale, strato maggiormente lisciviato durante ogni adacquata, hanno evidenziato la possibilità di ridurre la quantità di acqua di lisciviazione calcolata con la metodologia prima indicata senza riscontrare apprezzabili riduzioni di produzioni areiche delle colture.

Questo concetto è particolarmente applicabile

quando si adottano turni irrigui relativamente brevi, più in particolare con metodi irrigui che permettono di dosare bene il volume di adacquamento, come quelli a pioggia ed a goccia.

RHOADES (1974) suggerisce di calcolare il LR nei seguenti modi:

- con metodi irrigui gravimetrici che non permettono turni irrigui brevi:

$$\text{LR} = \text{EC}_w / (5 \text{EC}_e - \text{EC}_w) \quad (23.13)$$

- con metodi irrigui che consentono turni irrigui brevi, come l'irrigazione a pioggia ed a goccia:

$$\text{LR} = \text{EC}_w / 2 (\text{max EC}_e) \quad (23.14)$$

Dove: " EC_e " e " (max EC_e) " sono la conducibilità elettrica dell'estratto da pasta satura del terreno [dS m^{-1}], compatibile con la riduzione di produzione areica, rispetto a quella massima, del 10 % e del 100 %, rispettivamente. Gli altri simboli sono uguali a quelli indicati in precedenza.

23.6. - CONSIDERAZIONI SULL'USO DI ACQUE SALMASTRE IN PUGLIA

L'utilizzo a scopo irriguo delle acque salmastre in Puglia presenta problematiche che, entro certi limiti, si discostano da quelle derivanti dalle assunzioni su cui si basano le linee guida indicate da AYERS R.S. & WESTCOT D.W. (1976), per l'interpretazione della qualità delle acque da utilizzare a scopo irriguo. Le differenze derivano dalle interazioni tra la tolleranza delle colture alla salinità e l'ambiente: caratteristiche climatiche e pedologiche.

Relativamente agli aspetti climatici le linee guida indicano che "l'acqua è utilizzata in condizioni di clima da semi - arido ad arido, con limitata pioggia utile per soddisfare le esigenze idriche delle colture". In Puglia la piovosità totale annua in media varia tra un massimo di circa 900 - 970 mm nel Gargano ed un minimo inferiore a 500 mm nel Tavoliere foggiano, a ridosso del Gargano, e lungo la costa ionica in provincia di Taranto. Piovosità variabili tra 750 e 800 mm in media si verificano nelle zone estreme della provincia di Lecce, sull'alta Murgia delle provincie di Taranto e di Bari, sui Monti della Daunia e sulle zone medio basse del Gargano. Nelle rimanenti parti del territorio regionale le piogge oscillano tra 500 e 650 mm; la piovosità media annua ponderata sull'intero territorio

regionale è di 626 mm (ACLA2, 2001). Le piogge concentrate durante il periodo autunno – invernale generalmente dilavano la quasi totalità dei soluti apportati durante la precedente stagione irrigua e costituiscono una apprezzabile riserva idrica nel terreno a favore delle colture a ciclo primaverile – estivo, così pure le piogge che cadono durante il periodo primaverile - estivo, ancorché in quantità ridotte, contribuiscono in modo non del tutto trascurabile a soddisfare le esigenze idriche delle colture a ciclo primaverile - estivo, contribuendo così a contenere i fabbisogni irrigui, a diluire la concentrazione salina dell'acqua del terreno ed a ridurre la durata dell'esposizione delle colture alla salinità. A quest'ultimo proposito, è noto che la risposta delle piante alla salinità è direttamente correlata alla durata dell'esposizione alla stessa salinità. Per le colture a ciclo estivo - autunnale, come le crucifere, il carciofo, le insalate, ecc. il fabbisogno idrico è soddisfatto in prevalenza dalle piogge.

L'evapotraspirazione di riferimento (E_{T0}) totale annua presenta un valore medio ponderato sull'intero territorio regionale di 978 mm ed oscilla tra valori minimi intorno a 780 mm della parte più alta del Gargano e dei Monti della Daunia, a valori massimi intorno a 1100 mm della zona centrale del Tavoliere di Foggia ed in alcune località della costa ionica tarantina e salentina. Al di fuori di questi valori estremi, sulla maggior parte del territorio regionale l'evapotraspirazione di riferimento totale media annua oscilla tra 880 e 1000 mm (ACLA2, 2001).

Il deficit idrico climatico totale annuo (sommatoria dei valori positivi delle differenze tra i valori mensili dell'E_{T0} e della pioggia), che rappresenta la quantità di acqua necessaria, in aggiunta a quella piovana, per soddisfare l'evapotraspirazione di riferimento, presenta un valore medio ponderato sull'intero territorio regionale di 582 mm ed oscilla da valori minimi compresi tra 330 e 400 mm delle zone più alte del Gargano e dei Monti della Daunia, a valori massimi compresi tra 640 e 740 mm del Tavoliere di Foggia e della costa ionica tarantina e salentina; su quasi tutta la rimanente superficie del territorio regionale il deficit idrico climatico medio totale annuo oscilla tra 500 e 600 mm (ACLA2, 2001). Da queste indicazioni si deduce che il fabbisogno irriguo delle colture, pur va-

riabile tra le diverse speci ed i diversi ambienti della Puglia, in relazione all'ampiezza del ciclo colturale ed al periodo dell'anno in cui si compie, al massimo, come media ponderata sull'intero territorio, si aggira intorno a 600 mm e che la pioggia soddisferebbe circa il 60 % del fabbisogno idrico delle speci vegetali.

Per quanto riguarda gli aspetti pedologici, facendo riferimento alla carta pedologica realizzata nell'ambito del progetto ACLA 2, il territorio della regione Puglia è caratterizzato da numerosi tipi di terreno, ampiamente distribuiti; dal punto di vista granulometrico essi variano da sabbiosi, la cui riserva idrica disponibile massima (in % vol.) si aggira intorno al 10 %, a terreni di medio impasto, argillosi e limosi tendenti al medio impasto, le cui riserve idriche disponibili massime (in % vol.) variano, rispettivamente, dal 16-17 % al 20-25 %. Lo spessore dei terreni è anche esso variabile; si passa da terreni molto superficiali, a quelli profondi. I terreni irrigati e quelli suscettibili di trasformazione irrigua generalmente variano da mediamente profondi (intorno a 40 – 50 cm) a profondi (> 80-100-cm). Per la maggior parte dei terreni irrigati il drenaggio non è impedito, particolarmente quando poggiano su substrato calcareo fessurato e su calcareniti. I terreni irrigati, inoltre, spesso sono calcarei o ricchi di sesquiossidi di ferro ed alluminio, le terre rosse, tutti di buona struttura, aspetti questi che contribuiscono ad aumentare la tolleranza delle colture alla salinità. I terreni sabbiosi si prestano bene ad essere irrigati con acque salmastre per la loro facile dilavabilità. I terreni a grana fine (tendenzialmente limosi o argillosi), per la loro elevata riserva idrica disponibile massima che si costituisce con le piogge durante il periodo autunno - invernale, consentono alle colture di utilizzare abbondanti quantità di acqua di pioggia, con riduzione dei fabbisogni irrigui; inoltre, l'elevato contenuto di acqua ancora presente nel terreno al momento dell'intervento irriguo permette di diluire significativamente la concentrazione salina delle acque irrigue salmastre apportate.

Le caratteristiche climatiche e pedologiche della Puglia sono tali che per le colture arboree la stagione irrigua è piuttosto breve, in quanto ha inizio nella tarda primavera, fine maggio - inizio di giu-

gno, e si completa a fine estate - inizio autunno, con il sopraggiungere delle prime piogge di fine estate inizio autunno. Di conseguenza i volumi stagionali d'irrigazione sono contenuti (in media intorno a 3600 e 3200 m³/ha per la vite di uva da tavola e da vino, rispettivamente, pari a 3100 m³/ha per gli agrumi, a 3800 m³/ha per ciliegio e pesco, intorno a 850 m³/ha per l'olivo) e la durata dell'esposizione alla salinità è limitata.

Per le colture erbacee la durata della stagione irrigua varia di molto in relazione all'ampiezza del ciclo colturale; i volumi stagionali d'irrigazione in media si aggirano intorno: ai 4000 m³/ha per le colture a ciclo primaverile - estivo, come per es. il pomodoro, ai 560 e 810 m³/ha per le colture orticole a ciclo estivo autunnale, come per es. le lattughe e le brassicacee, ai 2250 m³/ha per il carciofo (LAMADDALENA, CALIANDRO *et alii*, 2008).

Secondo i dati riportati dall'INEA (1999) la superficie irrigata in Puglia è intorno ai 353.000 ha con un consumo di acqua irrigua intorno a 812 Mm³, a cui corrisponde un volume stagionale d'irrigazione medio di circa 2.300 m³/ha, quantità di acqua significativamente più bassa rispetto a quella usata in altri ambienti mediterranei con deficit idrico climatico più elevato rispetto a quello della Puglia. Come si dirà di seguito, questi fabbisogni irrigui, con appropriati accorgimenti, sono suscettibili di significative riduzioni.

Le caratteristiche climatiche e pedologiche della regione Puglia ed il loro ruolo nella tolleranza delle colture alla salinità, unitamente alle incertezze nella valutazione della salinità media, nello spazio e nel tempo, dello strato radicale, rendono accettabile, per la Puglia, i limiti di salinità delle acque irrigue corrispondenti, per le diverse colture, al calo di produzione del 50 % (C₅₀) riportati nella tabella 23.6, anziché il livello soglia al disopra del quale si verificano significativi cali di produzioni. L'accettabilità di questi limiti deriva anche dal fatto che in Puglia il metodo irriguo più diffuso su colture arboree e su colture orticole è quello a goccia. Metodo che allevia gli effetti negativi della salinità per i turni irrigui brevi richiesti e per la pressoché continua lisciviazione dei soluti che con esso si determina dal punto di gocciolamento di ciascun gocciolatoio verso il fronte di umettamento.

Recentemente su colture orticole è in espansione il metodo irriguo a pioggia con *mini-sprinklers*. Anche questo metodo irriguo allevia gli effetti negativi delle acque salmastre per diverse ragioni: 1) determina nel terreno un moto verticale dell'acqua dalla superficie verso gli strati sottostanti, con lisciviazione dei soluti dalla zona radicale; 2) gli agricoltori generalmente irrigano nelle prime ore del mattino o nel tardo pomeriggio, di conseguenza gli assorbimenti di soluti attraverso la parte aerea della pianta sono limitati; 3) generalmente sono adottati turni irrigui brevi ed il potenziale totale dell'acqua del terreno è mantenuto relativamente elevato.

23.7. - POSSIBILI EFFETTI DELL'USO IRRIGUO DELLE ACQUE DI FALDA PRESENTI IN PUGLIA SUI TERRENI IRRIGATI

I possibili effetti dell'uso delle acque di falda, presenti nel sottosuolo del territorio della Puglia, sui terreni che con esse sono o potranno essere irrigati, saranno valutati facendo riferimento agli studi condotti per la redazione della carta pedologica realizzata nell'ambito del progetto ACLA 2, alle indicazioni sulla qualità delle acque riportate nella tavola 4 (f.t.), che riporta per gli acquiferi carbonatici profondi la concentrazione salina media del tratto di falda compreso tra il tetto dell'acquifero ed una profondità dalla superficie piezometrica pari a 10 volte l'altezza piezometrica, ed ai dati riportati nella figura 23.3, riguardanti il rapporto dell'assorbimento del sodio (SAR) determinato sulla base dei dati rinvenuti nella I e II campagna di misure (2007÷2008) condotte nell'ambito del "Sistema di monitoraggio qualitativo e quantitativo dei corpi idrici sotterranei della Puglia" (cap. 27).

La carta pedologica è stata realizzata prevedendo una prima suddivisione del territorio in sistemi e sottosistemi di paesaggio (fig. 23.4), rappresentanti aree omogenee per caratteristiche morfologiche, geologiche e climatiche. All'interno di questi raggruppamenti sono state delimitate le Unità cartografiche, che rappresentano il poligono di maggiore dettaglio della carta, racchiudenti aree omogenee per tipologie di suoli.

In questo studio, però, saranno prese in considerazione le caratteristiche pedologiche medie dei

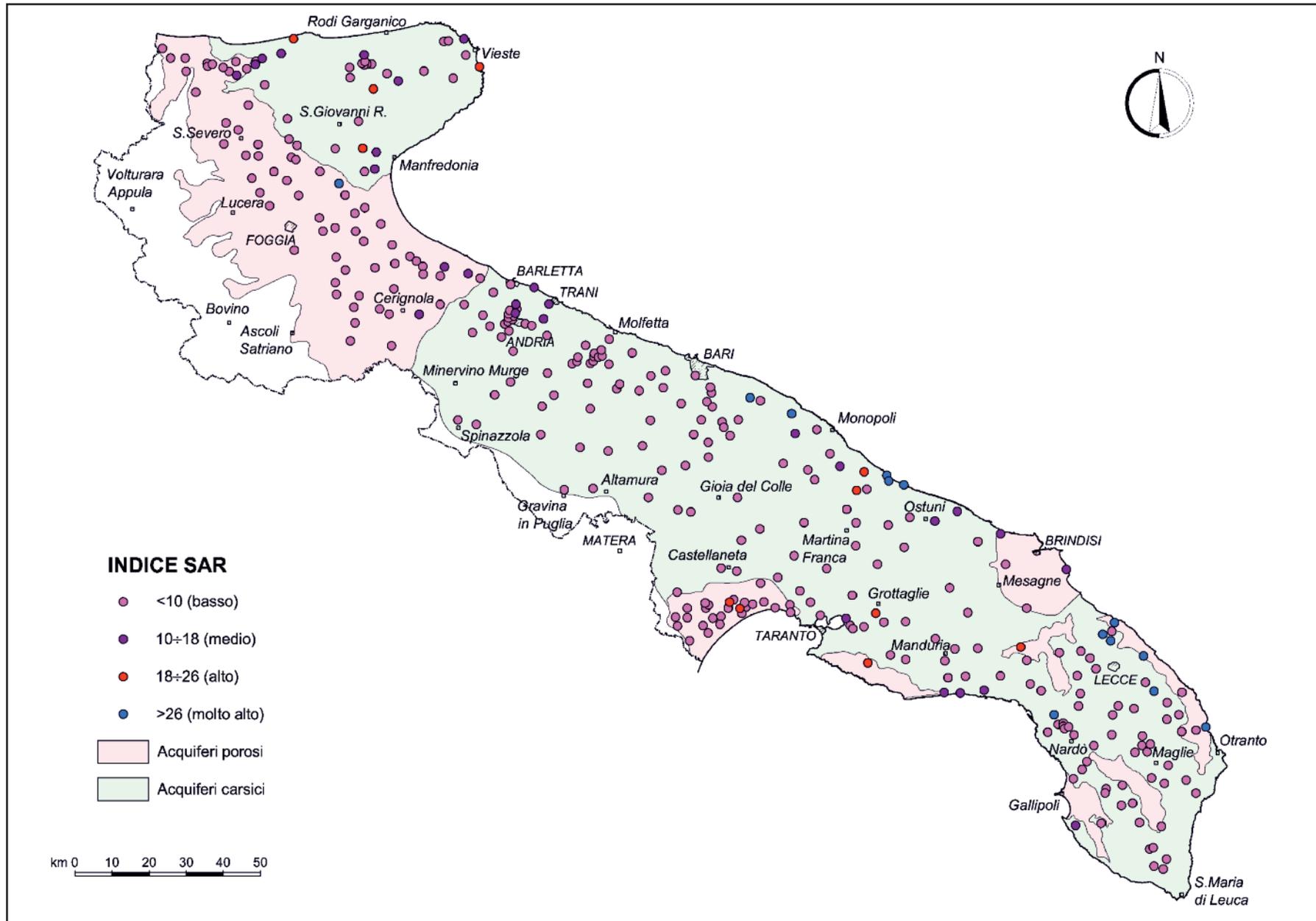


Fig. 23.3 - Indice SAR delle acque sotterranee regionali (da PTA, 2009).
 - SAR index of regional groundwater (from PTA, 2009).

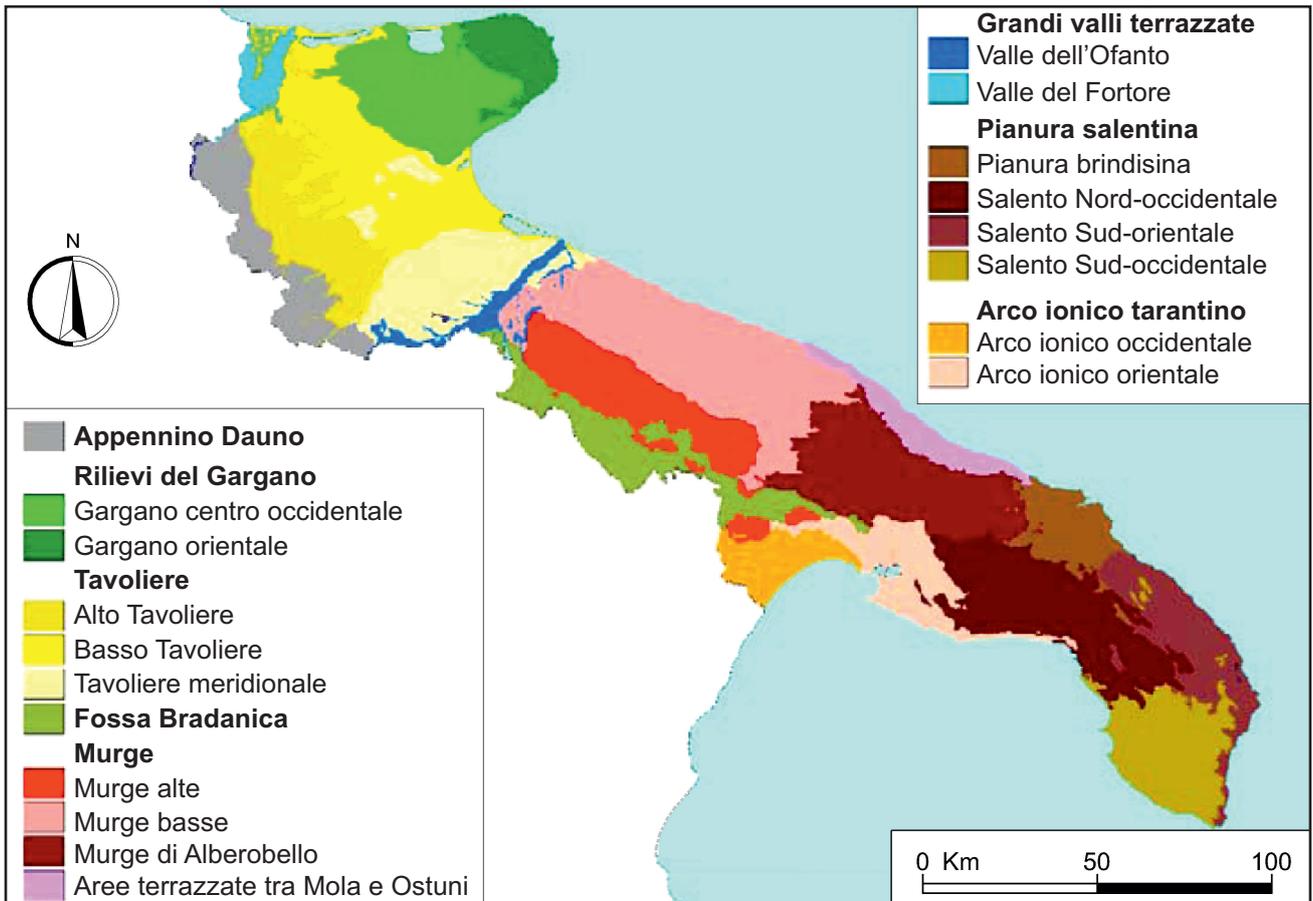


Fig. 23.4 - Sistemi e sottosistemi di paesaggio in cui è stato suddiviso il territorio della Puglia nel redigere la carta Pedologica.
- *Landscape systems and subsystems of Apulia in the regional Soil Map.*

sistemi e sottosistemi di paesaggio in cui ricadono aree irrigate o irrigabili. Nell'ambito di ciascun sottosistema, dopo aver accennato alle principali caratteristiche dei presumibili terreni irrigati o irrigabili, sarà identificata la qualità delle acque presenti nel sottosuolo e saranno indicati i loro effetti sui terreni, se irrigati. Non saranno invece prese in considerazione le problematiche riguardanti il depauperamento quantitativo delle acque sotterranee.

Partendo dal foggiano fino ad arrivare al basso Salento, terreni irrigati o irrigabili si rinvengono nell'ambito dei seguenti sistemi o sottosistemi di paesaggio.

Sistema di paesaggio dei rilievi del Gargano.

Nell'ambito di questo sistema di paesaggio sono irrigati o suscettibili di trasformazione irrigua terreni pianeggianti, franco-argillosi e franco-sabbiosi, da mediamente profondi a profondi, di buona struttura e con buon drenaggio. Le acque di falda utilizzabili per l'irrigazione per la maggior

parte sono caratterizzate da bassa salinità, compresa tra 0,5 e 1 g/l, e da bassi e medi valori di SAR (<18). L'utilizzo di queste acque a scopo irriguo non determinerebbero alcun problema circa la fertilità dei terreni, non solo per il loro discreto livello qualitativo, ma anche per il buon drenaggio dei terreni, per la loro granulometria e buona struttura, che faciliterebbero la lisciviazione dagli strati radicali dei soluti apportati con le acque irrigue, grazie alle piogge invernali.

Sistema di paesaggio del tavoliere delle Puglie.

In questo sistema di paesaggio sono irrigati o suscettibili di trasformazione irrigua terreni aventi caratteristiche diverse: nei sottosistemi di paesaggio dell'alto e basso tavoliere terreni da moderatamente a molto profondi; di tessitura generalmente fine, da argillosi a franco-argillosi, franco-limosi-argillosi, franco-sabbiosi-argillosi e franchi, alcuni anche di tipo vertico; calcarei; con drenaggio da mediamente rapido a lento e mediocre; nel sottosistema di paesaggio

del tavoliere meridionale terreni profondi, di tessitura generalmente grossolana, da poco a molto calcarei e con buon drenaggio. Le acque disponibili nel sottosuolo di questi due sottosistemi di paesaggio non presentano problemi sia di salinità che di eccesso di sodio rispetto a calcio e magnesio; i valori di salinità e del SAR, infatti, sono quasi sempre inferiori a 1 g/l ed a 10, rispettivamente. Pertanto, l'irrigazione con queste acque dei terreni del foggiano, benché di grana fine e con qualche problema di drenaggio, ma generalmente calcarei, non desta preoccupazioni circa la loro fertilità, anche perché l'ampia disponibilità di terreni seminativi esistenti nel territorio in esame consente di adottare ordinamenti colturali che prevedono parzializzazioni irrigue piuttosto basse, senza contrarre le superfici delle colture irrigue. Così operando l'irrigazione non sarebbe praticata ogni anno sugli stessi terreni ed eventuali effetti negativi dell'irrigazione sulla loro fertilità si attenuano o si annullano: nel foggiano questa pratica è ampiamente diffusa.

Sistema di paesaggio delle murge.

Il sistema di paesaggio delle murge comprende diversi sottosistemi ed occupano un'ampia superficie, della quale solo una parte limitata è irrigata o suscettibile di trasformazione irrigua. Quest'ultima parte la si riscontra prevalentemente in prossimità della costa, nell'ambito *dei sottosistemi di paesaggio delle murge basse, delle murge di Alberobello e delle aree terrazzate fra Mola e Ostuni*. I terreni irrigati o suscettibili di trasformazione irrigua sono prevalentemente le tipiche "terre rosse", molto diffuse nelle province di Bari, Brindisi, Lecce e in parte in quella di Taranto. Trattasi di terreni da superficiali a mediamente profondi e profondi, di tessitura prevalentemente fine, con presenza di scheletro, a volte anche abbondante, da poco calcarei a non calcarei, di buona struttura, con drenaggio buono. Le caratteristiche delle acque della falda presente nel sottosuolo sono diverse ed hanno un contenuto salino che varia tra 0,5÷1,0 g/l nell'entro terra ed in alcune aree in prossimità della costa, a 1-2, 2-5 g/l ed in alcune aree limitate a 5-10 g/l, in prossimità della costa. Anche la concentrazione del sodio, rispetto al calcio e magnesio, è variabile. Il SAR, infatti, oscilla da valori generalmente bassi (< 10) o medi (10-18), a valori alti (18-26) o addirittura molto alti (> 26) in aree limitate

vicino alla costa. L'utilizzo a scopo irriguo di queste acque non desta problemi di fertilità dei terreni e di produzioni delle colture quando i valori degli indici di qualità delle acque sono relativamente bassi (salinità < 2g/l e SAR < 18); con valori più elevati di tali indici, anche se i terreni irrigati sono di buona struttura e con buon drenaggio, si potrebbero riscontrare nel tempo degrado della fertilità e riduzioni delle produzioni delle colture a causa di fenomeni di progressiva salinizzazione e o sodicizzazione dei terreni. Tuttavia, tenendo presente che i terreni sono di buona struttura, spesso poco profondi e con buon drenaggio, l'uso di tecniche agronomiche adeguate, a cui si è fatto cenno in precedenza, come avvicendamento di colture irrigate con colture non irrigate, e la scelta di colture resistenti alla salinità, potrebbero attenuare gli inconvenienti prima accennati. Anzi l'irrigazione con acque salmastre potrebbe esaltare la qualità dei prodotti di alcune colture, come pomodoro, cocomero barattiero, bietola, ecc, con ricaduta economica vantaggiosa. Aspetto quest'ultimo riscontrabile attualmente nelle aree terrazzate tra Mola di Bari ed Ostuni.

Sistema di paesaggio dell'Arco Ionico Tarantino.

I terreni irrigati o suscettibili di trasformazione irrigua del sistema di paesaggio dell'Arco Ionico Tarantino generalmente sono: profondi; di tessitura variabile da sabbiosi a franchi, franco-sabbiosi-argillosi e franco-argillosi; calcarei; di buona struttura; spesso con presenza di scheletro; con drenaggio buono ed in alcuni casi rapido. Le colture irrigate sono agrumi, orticole, vigneti e fruttifere diverse. Le acque della falda presente nel sottosuolo hanno caratteristiche qualitative variabili: la salinità oscilla da valori compresi tra 1 e 2 g/l, a valori compresi tra 2 e 5 g/l; i valori del SAR sono bassi (< 10). L'utilizzo di queste acque a scopo irriguo potrebbe portare a progressiva salinizzazione dei terreni, mentre non darebbero luogo a fenomeni di sodicizzazione degli stessi. Tuttavia le caratteristiche granulometriche dei terreni, tendenzialmente sabbiosi, ed il loro buon drenaggio riducono notevolmente i rischi di salinizzazione. D'altra parte queste acque sono utilizzate da decenni e non risultano segnalazioni di fenomeni di salinizzazione dei terreni. Evidentemente l'azione liscivante delle piogge invernali è molto efficace nell'allontanare dallo strato

radicale i soluti apportati con le acque irrigue. Tutto ciò, però, non evita di suggerire agli organi competenti di prevedere il monitoraggio continuo della qualità delle acque di falda, emunte anche da pozzi privati, per seguirne l'evoluzione nel tempo, e della salinità dei terreni irrigati, per verificare eventuali avvii di fenomeni di salinizzazione, dannosi per la fertilità dei terreni, al fine di adottare provvedimenti restrittivi nell'emungimento dell'acqua.

Sistema di paesaggio della penisola salentina.

Il sistema di paesaggio della penisola salentina comprende una vasta area che si estende dalla pianura brindisina fino ai margini inferiori della regione; essa è caratterizzata da terreni sostanzialmente diversi tra loro ed è stato suddiviso in quattro sottosistemi di paesaggi. *Nel sottosistema di paesaggio della pianura brindisina* prevalgono terreni profondi, poco calcarei, di tessitura variabile dal medio impasto al sabbioso e con drenaggio buono. Le acque della falda presente nel sottosuolo hanno una concentrazione salina variabile da 1-2 a 2-5 g/l, valori di SAR < 10 ed in alcuni casi compresi tra 10 e 18. Adottando pratiche agronomiche adeguate, come l'avvicendamento di colture irrigate con colture non irrigate, l'utilizzo di queste acque a scopo irriguo non avrebbe effetti negativi sulla fertilità dei terreni, data la loro tessitura tendenzialmente sabbiosa ed il loro buon drenaggio. I terreni irrigati o suscettibili di trasformazione irrigua *del sottosistema di paesaggio del Salento Nord occidentale* prevalentemente sono "terre rosse", non calcari, da profondi a poco profondi, di tessitura fine e con drenaggio buono. Le acque della falda sono caratterizzate da salinità totale variabile da 0,5-1 g/l a 1-2 g/l ed a 2-5 g/l, da valori di SAR nella maggior parte dei casi < 10, in alcune zone compresi tra 10 e 18 e raramente compresi tra 18 e 26. L'utilizzo di queste acque a scopo irriguo potrebbero dar luogo a fenomeni di progressiva salinizzazione dei terreni solo in quelle aree dove la salinità delle acque è superiore a 2 g/l, mentre raramente potrebbero verificarsi fenomeni di sodicizzazione. Tuttavia, considerando la buona struttura dei terreni, il loro buon drenaggio e spesso la loro limitata profondità, potrebbero essere utilizzate anche acque con salinità compresa tra 2 e 5 g/l, purché con valore di SAR < 18, con risultati agronomici ed economici soddisfacenti, special-

mente se le colture irrigate si avvantaggiano di tali acque e la gestione dell'irrigazione è adeguata. *Il sottosistema di paesaggio del Salento Sud orientale* è caratterizzato da terreni: profondi, tendenzialmente sabbiosi, permeabili e con buon drenaggio; moderatamente profondi, calcarei, di tessitura grossolana e con drenaggio buono e da terreni poco profondi, franco argillosi, di buona struttura e con drenaggio buono, ossia da "terre rosse". Le acque della falda hanno: salinità molto variabile, da 0,25-0,5 g/l, a 0,5-1 g/l, a 1-2 g/l ed anche a 2-5 g/l; valori di SAR da < 10 a 18-26 in prossimità della costa; il loro uso a scopo irriguo può destare preoccupazioni quando la salinità è > 2g/l ed il SAR > 18. Con valori di salinità compresi tra 2 e 5 possono farsi considerazioni simili a quelle formulate per il Salento Nord occidentale. *Il sottosistema di paesaggio del Salento Sud occidentale* è caratterizzato da "terre rosse" poco profonde, di tessitura fine, non calcarei e con drenaggio buono. I terreni, per la loro limitata profondità, sono poco suscettibili di trasformazione irrigua, le superfici irrigate sono limitate, la qualità delle acque di falda è buona e non sussistono preoccupazioni per il loro uso a scopo irriguo.

Sistema di paesaggio delle grandi valli terrazzate.

In questo sistema di paesaggio sono compresi i sottosistemi di paesaggio riguardanti i due principali corsi d'acqua che interessano la Puglia: *della valle del Fortore e dei suoi affluenti e della valle dell'Ofanto e dei suoi affluenti*. Il primo sottosistema è caratterizzato da terreni profondi, con tessitura fine, da poco calcarei a calcarei e con drenaggio da mediocre a buono. Le acque di falda della valle del Fortore hanno salinità compresa tra 0,5 e 1,0 g/l e tra 1 e 2 g/l e valori di SAR < 10. Pertanto non sussistono rischi di degrado della fertilità dei terreni di questo sottosistema irrigati con le acque di falda, attribuibili alle loro caratteristiche qualitative. *Il sottosistema di paesaggio della valle dell'Ofanto e dei suoi affluenti* è caratterizzato da terreni da franchi a franco-sabbiosi-argillosi e franco-sabbiosi, da profondi a molto profondi, generalmente calcarei, spesso con presenza di scheletro, con drenaggio generalmente buono, a volte mediocre. Le acque di falda in questo sottosistema sono caratterizzate da salinità < 1 g/l ed in alcune aree compresa tra 1 e 2 g/l, da valori di SAR < 10 e raramente compresi tra 10 e 18. Pertanto anche in

questo sottosistema non sussiste alcun rischio di degrado della fertilità dei terreni irrigati con le acque della falda esistente, anche perché, a differenza dei terreni del sottosistema della valle del fortore, trattati di terreni a grana più grossolana e con presenza di scheletro e quindi facilmente dilavabili con le piogge invernali.

23.8. - POSSIBILITÀ DI RIDURRE I FABBISOGNI IRRIGUI DELLE COLTURE IN PUGLIA

È stato accennato che la superficie irrigata in Puglia è di circa 353000 ha, di cui circa 270000 ha irrigati con acqua di falda, e che il volume di acqua utilizzato per l'irrigazione è stimato intorno a 812 Mm³, pari ad un consumo medio di 2300 m³ ha⁻¹; da questi dati è lecito dedurre che la falda contribuirebbe al fabbisogno irriguo regionale con circa 620 Mm³. Stima sostanzialmente simile a quella riportata dall'INEA nello studio riguardante lo stato dell'irrigazione in Puglia, secondo cui circa i 2/3 degli attuali fabbisogni irrigui delle colture sono soddisfatti con acqua di pozzi privati (541 Mm³) e 43,3 Mm³ con acque sotterranee attraverso pozzi consortili e della Regione Puglia.

Il condizionale è d'obbligo visto che trattasi di stime. A tale riguardo si rileva che, benché all'agricoltura sia destinato più del 50 % dell'acqua utilizzata dall'uomo, i sistemi irrigui sono quasi del tutto privi di misuratori volumetrici e le conoscenze dei volumi di acqua destinati sia nel complesso all'agricoltura sia alle singole colture da ciascuno agricoltore sono delle stime con approssimazioni non ben definite. Di conseguenza non si ha la piena consapevolezza degli effettivi volumi idrici utilizzati in agricoltura, ma quello che più preoccupa è che gli agricoltori, non potendo verificare gli effettivi volumi di acqua somministrati alle colture, corrono il rischio di non gestire razionalmente l'irrigazione, con problemi di eccessi e/o di deficit idrici per le colture, anche quando sono utilizzati metodi irrigui localizzati a bassa portata di erogazione, come per esempio l'irrigazione a goccia. Questi metodi irrigui, potendosi avvalere di tecnologie avanzate, consentono apprezzabili risparmi idrici, anche dell'ordine del 50 %, rispetto ad altri metodi irrigui più tradizionali. Pertanto anche con questi metodi irri-

gui i risparmi di acqua possono risultare contenuti se le variabili irrigue adottate non sono adeguate alle realtà pratiche. A quest'ultimo aspetto sarà fatto cenno successivamente.

I problemi della qualità delle acque di falda sicuramente sono connessi ad un eccessivo sfruttamento della stessa, almeno nella generalità dei casi, pertanto, al fine di preservare questa risorsa vitale per le attuali e le future generazioni, si pone il problema di ridurre gli attingimenti. A questo proposito innanzitutto ci si chiede se sono praticabili riduzioni dei fabbisogni irrigui senza contrarre le superfici irrigate e le produzioni unitarie. In linea di massima la risposta è affermativa, salvo a verificare il tutto con dati obiettivi. Questo è possibile monitorando i consumi irrigui con misuratori volumetrici, a livello non solo di sistemi irrigui pubblici ma a maggior ragione anche di quelli privati, ossia di singoli pozzi privati. Di conseguenza una prima strategia mirante a ridurre i fabbisogni irrigui è l'introduzione dei misuratori volumetrici; tali apparati offrono la possibilità agli agricoltori di confrontare gli effettivi volumi di adacquamento somministrati alle colture con quelli effettivamente occorrenti, deducibili dalle caratteristiche idrologiche dei terreni e dalle caratteristiche fisiologiche e morfologiche delle speci coltivate, in particolare profondità e densità radicale. Questo confronto è possibile, però, in presenza sul territorio di un efficiente ed operativo servizio di assistenza tecnica in agricoltura. Misurando i volumi di acqua somministrati alle colture, inoltre, si ha la possibilità di realizzare bilanci idrici colturali più aderenti alla realtà e di stabilire con più accuratezza il momento degli interventi irrigui. In altri termini il monitoraggio dei volumi irrigui consente di definire con buona approssimazione le variabili irrigue (momento dell'intervento irriguo e volume di adacquamento), da cui dipende l'efficienza d'uso dell'acqua.

Una seconda strategia per ottimizzare l'uso dell'acqua irrigua, quindi, sarebbe quella di attivare un valido servizio di assistenza tecnica in agricoltura diffuso sul territorio.

Relativamente ai sistemi irrigui pubblici, sul contenimento dei fabbisogni irrigui influisce molto il tipo di tariffazione dell'acqua. La tariffazione su base volumetrica, per motivi di natura economica

abbastanza intuitivi, induce gli agricoltori a risparmiare acqua rispetto a quello che si verifica con la tariffazione ad ettaro coltura, con la quale, entro certi limiti, il costo dell'acqua non varia in relazione ai consumi. Un'esperienza valida ai fini della riduzione dei consumi idrici è stata realizzata nell'ambito del Consorzio di Bonifica per la Capitanata, adottando la tariffa volumetrica differenziata: prezzo più basso per volumi minimi compatibili con le esigenze irrigue delle colture, prezzo più elevato per volumi eccedenti quelli minimi. Inoltre, sempre ai fini del risparmio idrico, nello stesso Consorzio si è dimostrato valido un apparato di consegna basato su un sistema di micro-processore che permette di regolare i prelievi dell'acqua e di gestire più razionalmente un sistema irriguo con consegna alla domanda.

Altre opportunità di risparmi idrici, dell'ordine anche del 20 - 30 %, sono offerte dall'adozione di tecniche di aridocoltura in ambienti irrigui (CALIANDRO & CATALANO, 1991; CALIANDRO, 2008) e delle tecniche di irrigazione deficitaria controllata (FERERES, & SORIANO, 2007), particolarmente indicata per le colture arboree.

23.9. - CONCLUSIONI

L'utilizzo delle acque salmastre, in Puglia ed in tutti i paesi con condizioni climatiche simili, ha origine remota ed è ipotizzabile che la crescente domanda di acqua da parte delle diverse utenze (civili, industriali ed agricole) porterà nel futuro ad un crescente uso in agricoltura di acque non convenzionali (salmastre e reflue).

Da tempo è stata avvertita la necessità di valutare le caratteristiche qualitative delle acque irrigue e di definire i valori limiti dei parametri individuati compatibili con la salvaguardia della fertilità dei terreni e con la produttività delle colture.

In relazione alle caratteristiche chimiche, vari autori hanno proposto criteri di valutazione delle acque irrigue basati sul contenuto in sali disciolti, sulla qualità di questi ultimi e sul contenuto in elementi tossici per la pianta. Sulla base di questi parametri sono stati stabiliti limiti di tolleranza alla salinità di numerose colture, ponendo in relazione le produzioni con la salinità media della zona radi-

cale durante il ciclo colturale.

Più recentemente alcuni studiosi, obiettando che questi parametri sono di tipo statico, mentre il fenomeno è di tipo dinamico, hanno proposto indici dinamici che sostanzialmente si basano sulla concentrazione ionica nella pianta, quindi sul relativo potenziale osmotico, durante il ciclo colturale. Questi indici, però, richiedono ulteriori approfondimenti ed allo stato attuale sono poco utilizzabili nella pratica.

Tenendo conto degli effetti delle acque salmastre sul terreno e sulle produzioni delle colture, si può concludere che esse, pur ponendo problematiche, sono utilizzabili in agricoltura con risultati economici soddisfacenti, avendo l'accortezza, però, di adottare accorgimenti agronomici adeguati. In alcune circostanze l'uso di acque salmastre si rende indispensabile per esaltare specifiche caratteristiche qualitative, come per il pomodoro I.G.P. di Pachino prodotto in Sicilia, ed anche per il cocomero barattiero, la bietola da costa, ecc, coltivati nelle aree terrazzate tra Mola di Bari ed Ostuni.

Considerando che la presenza di acqua salmastra nel sottosuolo è connessa all'eccessivo sfruttamento della falda, si pone il problema di ridurre i prelievi, evitando però la contrazione delle superfici irrigate e delle produzioni unitarie delle colture. Questo è possibile sia attraverso strategie miranti a ridurre i fabbisogni irrigui delle colture sia con il ricorso a fonti idriche diverse da quelle sotterranee estratte con i pozzi.

I fabbisogni irrigui delle colture possono essere ridotti: a) con i sistemi irrigui collettivi: consegna dell'acqua alle utenze a domanda; adozione di apparati di consegna basati su sistema di micro-processore, che permettono di regolare i prelievi dell'acqua e di gestire più razionalmente i sistemi irrigui con consegna alla domanda; adozione della tariffazione su base volumetrica e con tariffa volumetrica differenziata (prezzo più basso per volumi minimi compatibili con le esigenze irrigue delle colture, prezzo più elevato per volumi eccedenti quelli minimi); b) con i sistemi irrigui individuali: uso di misuratori volumetrici, al fine di permettere agli agricoltori di assumere la piena consapevolezza dei volumi di acqua effettivamente somministrati alle colture e disporre di informazioni utili per definire,

con l'aiuto di un efficiente servizio di assistenza tecnica, le variabili irrigue il più corrispondenti possibile alle situazioni pratiche; adozione di metodi irrigui che consentono di realizzare elevate efficienze distributive dell'acqua, come i metodi localizzati a bassa pressione (goccia, spruzzo, zampillo, subirrigazione capillare, ecc.), di tecniche di aridocoltura, appropriate ad ambienti irrigui, e di irrigazione deficitaria controllata, utilizzabile in particolare per colture arboree, molto diffuse in Puglia.

Lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee può essere drasticamente ridotto utilizzando altre fonti idriche: acque reflue affinate (cap. 24), peraltro previsto dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia; recupero di ulteriori acque superficiali con invasi realizzabili con sbarramenti sui corsi d'acqua aventi foce sullo Jonio e sull'Adriatico (cap. 29; SANTOVITO, NAPOLI & TRIMIGLIOZZI, 1974); utilizzo delle acque delle sorgenti costiere (capp. 4 e 29). L'utilizzo di queste acque, con un piano integrato di gestione delle stesse, permetterebbe di ridurre drasticamente gli emungimenti dalla falda, magari ricorrendo ad essa solo in periodi di punta, ad integrazione dell'acqua proveniente da altre fonti e nel contempo di non contrarre le attuali superfici irrigate e di non ridurre le produzioni areiche delle colture.

Così operando, pur contraendo significativamente i prelievi dalla falda, il normale svolgimento evolutivo delle attività agricole sarebbe assicurato.

Le possibilità di contrarre significativamente gli attingimenti dalla falda sono avvalorate anche dalle indicazioni riportate dell'INEA in uno studio del 1999 riguardante lo stato dell'irrigazione in Puglia, di cui alcune considerazioni di rilievo sono le seguenti: a) "in Puglia, nel comparto dell'irrigazione pubblica, a fronte di una carenza idrica generalizzata, si verifica, per l'inadeguatezza strutturale e per una gestione poco attenta, una sottoutilizzazione della risorsa idrica irrigua disponibile e la non utilizzazione di parte della superficie attrezzata con rete irrigua consortile. Tra perdite di distribuzione ed acqua non prelevata, circa 1/3 di tutta la risorsa idrica irrigua pubblica disponibile non viene utiliz-

zata." b) "Oltre agli investimenti già finanziati, i vari Consorzi di Bonifica hanno provveduto ad elaborare progetti finalizzati al recupero di ulteriori risorse idriche, alla riabilitazione dei sistemi esistenti ed al miglioramento delle attività gestionali".

In conclusione, da quanto prima riportato, è possibile affermare che appropriati interventi miranti a completare le opere già previste dalla Cassa per il Mezzogiorno e dall'Ente per lo Sviluppo e la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania e quanto indicato dall'INEA consentirebbero: di ridurre gli attuali fabbisogni irrigui; di aumentare la disponibilità delle risorse idriche da fonti diverse dalla falda; di ridurre significativamente i prelievi da quest'ultima e di avviarne il processo di risanamento.