

**Rita Puddu – Stefania Fanni – Daniele Manca**

## **La salinizzazione in aree agricole costiere**



Estratto da "Estimo e Territorio"  
Anno LXVIII - n. 1 Gennaio 2005  
(Euro 6,20)



# **d o s s i e r**



**Analisi e strumenti  
per la tutela della risorsa suolo**



# La salinizzazione in aree agricole costiere

di Rita Puddu - Stefania Fanni - Daniele Manca

## Premessa

Il fenomeno della salinizzazione, che costituisce in molti casi un fattore di degrado ambientale irreversibile con gravi ripercussioni anche in campo economico, può evolvere verso processi di desertificazione, nella accezione più completa di ambiente privo di diversità biologica e quindi destinato all'abbandono.

Gli effetti negativi connessi ad un accumulo di sali solubili nel suolo, ed in alcuni casi specifici di sali sodici, sono molteplici e concatenati tra loro, effetti che concorrono tutti ad una perdita irreversibile di fertilità. A livello mondiale tale problema interessa soprattutto le regioni aride e semiaride, ma l'uso crescente della pratica irrigua, unitamente alla progressiva salinizzazione della falda in aree costiere, ha messo a rischio, negli ultimi decenni, vaste aree in paesi anche a clima prevalentemente umido (F.A.O., 1988). Se da un lato esistono diverse cause di tipo naturale che provocano fenomeni di accumulo di sali nei terreni, è indubbio che il problema della cosiddetta "salinità secondaria", ovvero indotta dall'uomo e connessa con un uso improprio del territorio, è oggi tra le principali fonti, anche in Sardegna, del de-

clino di molti comparti agricoli economicamente importanti.

Allo stato attuale ancora non è possibile definire l'estensione reale in Sardegna delle aree affette da un eccesso di salinità, soprattutto se si considera che tale fenomeno sta subendo un incremento in seguito ai frequenti e prolungati periodi siccitosi verificatisi negli ultimi decenni. Sono tuttavia ormai noti i processi dinamici di molti acquiferi costieri (Pula-Capoterra, Golfo di Palmas, Arborea-Terralba, Oristano-S. Giusta, Tortolì-Girasole, Muravera-Villaputzu) che, a causa di eccessivi emungimenti da pozzi per usi irrigui e domestici, incrementati nel periodo estivo, at-

▼ Foto 2 - Ripresa aerea dell'area di indagine citata in foto 1 (fonte: Regione Autonoma della Sardegna - Assessorato Enti Locali, Finanze e Urbanistica).

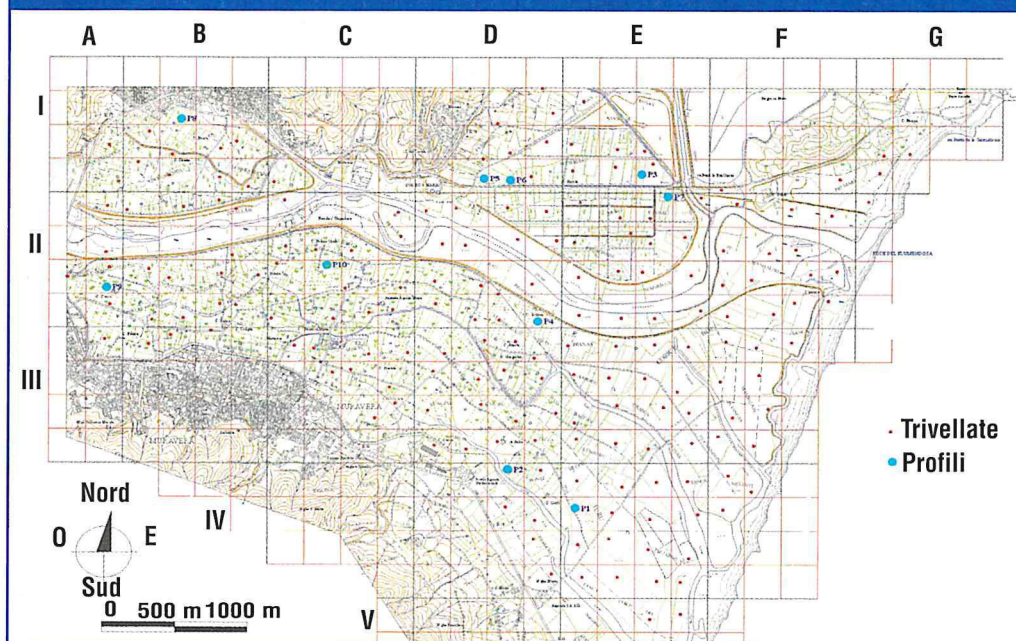


▼ Foto 1 - Piana di Muravera-Villaputzu: evidenti efflorescenze saline in un agrumeto.





Fig. 1 - Schema di rilevamento e ubicazione dei punti di prelievo.



lità principali di analizzare la diffusione territoriale del fenomeno, la sua intensità e l'influenza che ha sull'attività agricola e di individuare le più idonee tecniche di gestione delle acque e dei suoli.

## Inquadramento geografico e ambientale

Prima di procedere alle diverse fasi operative di campionamento e caratterizzazione dei suoli, è stata svolta un'indagine preliminare geografico-ambientale, estesa anche agli aspetti di geologia, idrogeologia e climatologia.

tualmente non riescono a contrastare l'avanzamento del fronte marino verso le zone interne, con conseguente inquinamento delle falde d'acqua dolce. In particolare la piana di Muravera-Villaputzu, nella Sardegna sud-orientale, che da sempre riveste un ruolo economico fondamentale per le colture agrumicole, negli ultimi decenni è stata interessata da fenomeni di intrusione marina e contaminazione della falda freatica con acque salmastre; parallelamente si è registrato un decremento delle produzioni agrumicole sia per l'abbandono di superfici coltivate che per la diminuzione delle produzioni unitarie (Foto 1).

È noto che la salinità del terreno, oltre certi limiti, ha un'influenza negativa sullo sviluppo delle colture agrarie in misura crescente all'aumentare della concentrazione dei sali nella soluzione circolante (Aringhieri, 1999). Le agrumicole, in particolare, rivelano una tolleranza medio-bassa alla salinità, con una progressiva diminuzione della produzione all'aumentare della conducibilità elettrica del suolo (ECe) e dell'acqua (ECw) secondo le stime percentuali esposte in tabella 1 (F.A.O., 1988). I presupposti della ricerca qui presentata sono nati, pertanto, anche dalla necessità di stabilire in che modo i processi di salinizzazione stiano influenzando le attività agricole di questo territorio e il declino produttivo dell'agrumicoltura, e di prospettare soluzioni per il recupero delle superfici non totalmente compromesse.

È infatti indubbio che questo fenomeno costituisce un fattore limitante per le produzioni dell'intera piana, visto che i valori misurati nel corso dell'indagine hanno messo in evidenza uno stato di compromissione generalizzato. Per la valutazione dello stato di salinizzazione nella piana di Muravera-Villaputzu, il Settore Utilizzazione del Territorio del CRAS (Centro Regionale Agrario Sperimentale della Regione Sardegna) ha intrapreso, a partire dall'anno 2000, uno studio sui suoli e sulle falde, articolato in due fasi (fase conoscitiva e fase di monitoraggio) con le fina-

TAB. 1 - LIMITI DI TOLLERANZA E RENDIMENTO POTENZIALE DI ALCUNE COLTURE AGRUMICOLE IN FUNZIONE DELLA SALINITÀ DEL SUOLO (ECe) E DELL'ACQUA (ECw) (F.A.O., 1988)

| Rendimento potenziale | 100% |     | 90%  |     | 75%  |     | 50%  |     | 0%   |     |
|-----------------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
|                       | ECe  |     | ECw  |     | ECe  |     | ECw  |     | ECe  |     |
|                       | dS/m |     | dS/m |     | dS/m |     | dS/m |     | dS/m |     |
| Arancio e limone      | 1,7  | 1,1 | 2,3  | 1,6 | 3,3  | 2,2 | 4,8  | 3,2 | 8,0  | 5,3 |
| Pompelmo              | 1,8  | 1,2 | 2,4  | 1,6 | 3,4  | 2,2 | 4,9  | 3,3 | 8,0  | 5,4 |

Grafico 1 - Valori termopluviometrici nel trentennio 1973-2002

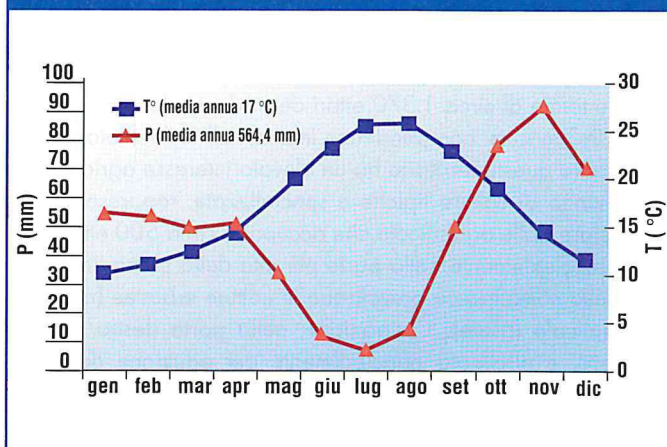




Fig. 2 - Carta della stima spaziale del SAR.

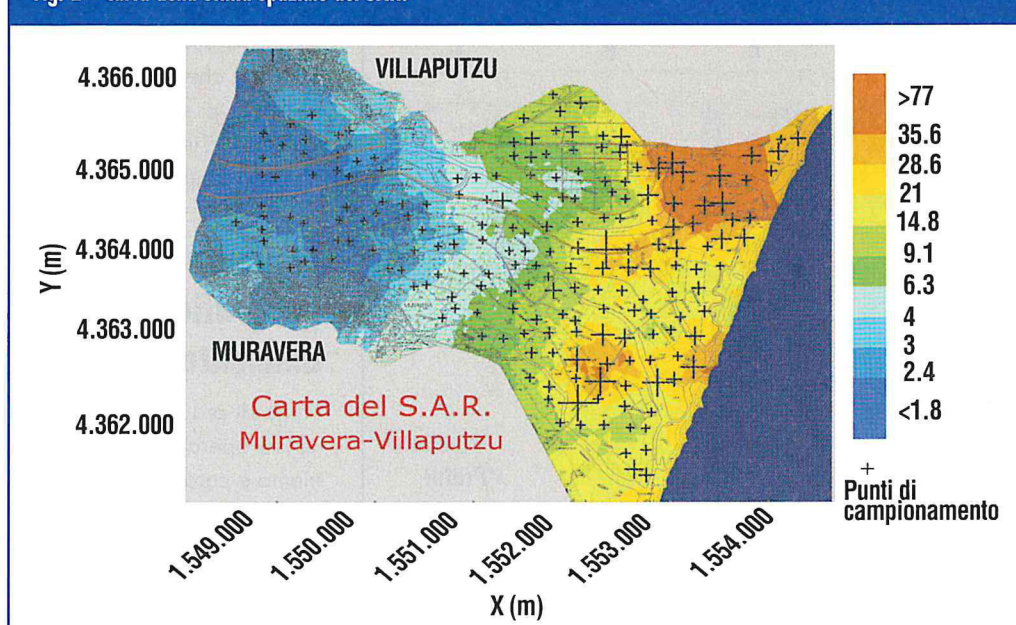
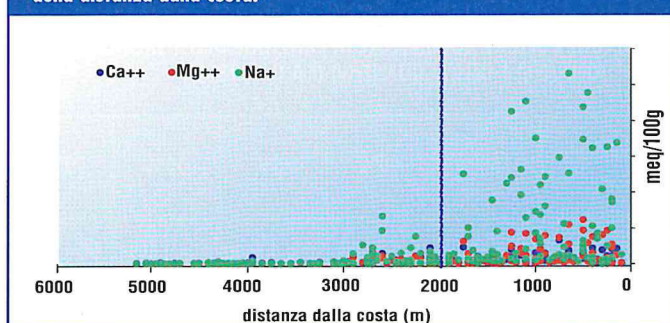


Grafico 2 - Andamento degli ioni  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{Na}^{+}$  in funzione della distanza dalla costa.



## Ubicazione e descrizione geografica dell'area

L'area su cui si è svolta l'indagine ha interessato la piana di esondazione del fiume Flumendosa, che sfocia in un tratto costiero della Sardegna sud-orientale, dopo un percorso di 127 km prevalentemente sviluppato in area montana, con un delta a canali intrecciati, in parte relitti di un più antico e diversificato sistema di foci. Essa è delimitata dai centri abitati di Muravera e di Villaputzu e dalla linea costiera orientale e si estende per una superficie totale di circa 1.370 ettari degradante da una quota di 4 m a 0,5 m s.l.m. con pendenze inferiori all'1°/∞. (Foto 2).

Da sempre questo territorio ha un elevato interesse agricolo per la presenza di colture tipiche e specializzate, rappresentate in particolare dalle agrumicole che occupano circa 500 ettari, ubicate prevalentemente nella parte più alta della piana. In prossimità della costa invece prevalgono le colture erbacee (medicai) e cerealicole (risaie). L'irrigazione, nella parte destra del Flumendosa, è effettuata principalmente per eduazione da pozzi scavati, poco profondi, e in minor misura da pozzi trivellati, mentre una porzione in sinistra idrografica è servita dalle acque cap-

tate direttamente dal fiume, in prossimità del centro abitato di Villaputzu e distribuite dal Consorzio di Bonifica della Sardegna Meridionale.

## Inquadramento geologico e idrogeologico

Da un punto di vista geologico l'area rilevata è totalmente occupata da coperture alluvionali di età olocenica, prevalentemente costituite da sedimenti sabbiosi, limosi e argillosi, disposti in successioni eteropiche tipiche degli ambienti deposizionali e deltizi. Tali depositi poggiano su un basamento cristallino-metamorfico di età paleozoica che circonda la piana, raccordandosi ad essa con depositi detritici pedemontani del Quaternario antico (AA.VV., 2000). Sotto il profilo idrogeologico, la potente coltre alluvionale è sede di un acquifero multifalda il cui livello freatico più superficiale oscilla tra i -6 e i -1,5 m di quota dal p.c., con un'escursione media stagionale valutata in 3,10 m circa (Atzori, 1989). Tale acquifero, sfruttato per l'approvvigionamento idropotabile dei

TAB. 2 - VALORI LIMITE OLTRE I QUALI I SUOLI SONO CLASSIFICATI COME SALINI E SODICI SECONDO L'U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (USDA, 1954)

| Tipo di terreno | ECe (dS/m) | ESP (%) | SAR  | pH    |
|-----------------|------------|---------|------|-------|
| Salino          | > 4        | < 15    | < 13 | < 8,5 |
| Sodico          | < 4        | > 15    | > 13 | > 8,5 |
| Salino-sodico   | > 4        | > 15    | > 13 | < 8,5 |

comuni di San Vito, Muravera e Villaputzu, e per l'irrigazione per mezzo di pozzi a largo diametro, profondi non più di 4-6 m dal p.c., risulta essere fortemente produttivo. La falda più profonda, in pressione, è separata dal sovrastante livello freatico da uno strato argilloso con profondità variabili: 10 metri circa al centro della piana, 10-15 metri in prossimità del mare e 50 metri a nord dell'abitato di Muravera (Ardau *et al.*, 2001).

## Inquadramento climatico

Per la caratterizzazione climatica sono stati elaborati i dati delle medie storiche del periodo 1973-2002 della stazione termopluviografica di Muravera, forniti dal Servizio Idrografico e dal Servizio di Agrometeorologia della Regione Sardegna. Il clima dell'area è tipicamente mediterraneo (Arrigoni, 1968), caratterizzato da un inverno mite e piovoso a cui fa seguito un lungo periodo primaverile-estivo caldo e siccitoso. Le temperature medie mensili sono comprese tra un minimo di 10 °C nel mese di gennaio ed un massimo di 26 °C nel mese di agosto. La piovosità media si attesta intorno ai 560 mm/anno, con punte di 80 e 90

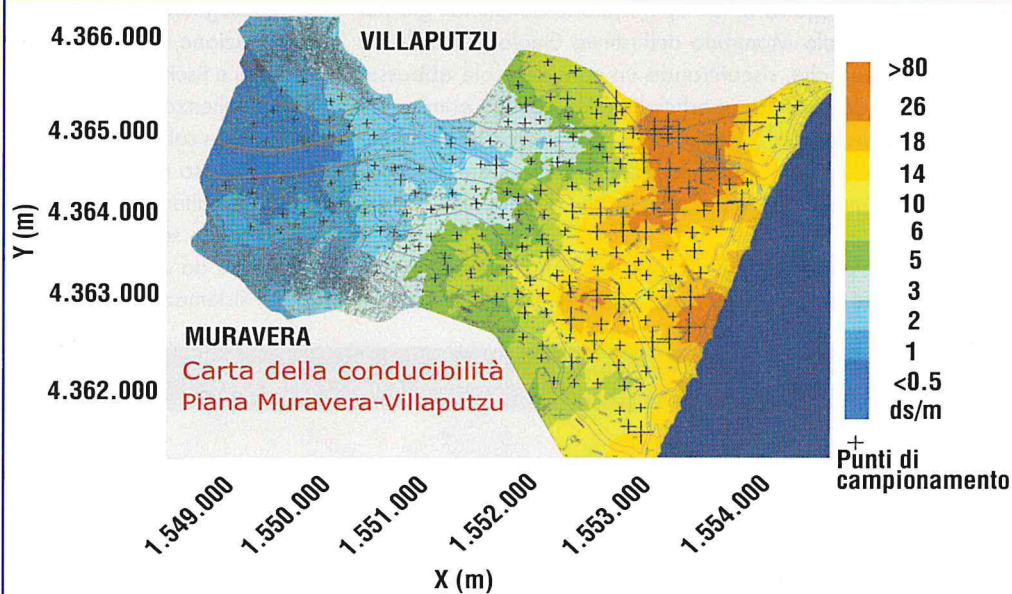


mm nei mesi di ottobre e novembre (Grafico 1). Le precipitazioni sono caratterizzate, tuttavia, da un'estrema variabilità annuale, nella distribuzione e nei quantitativi totali, mostrando talora valori molto al di sotto della media. A titolo di esempio si ricorda che negli anni 1987 e 2000 sono stati registrati rispettivamente 292 e 265 mm di pioggia totale.

### RADICI STORICHE DEL PROBLEMA

L'insorgere dei fenomeni di salinizzazione in quest'area va ricondotto ai lavori di bonifica e di riordino idraulico eseguiti a partire dagli anni '30 nel tratto vallivo del Flumendosa,

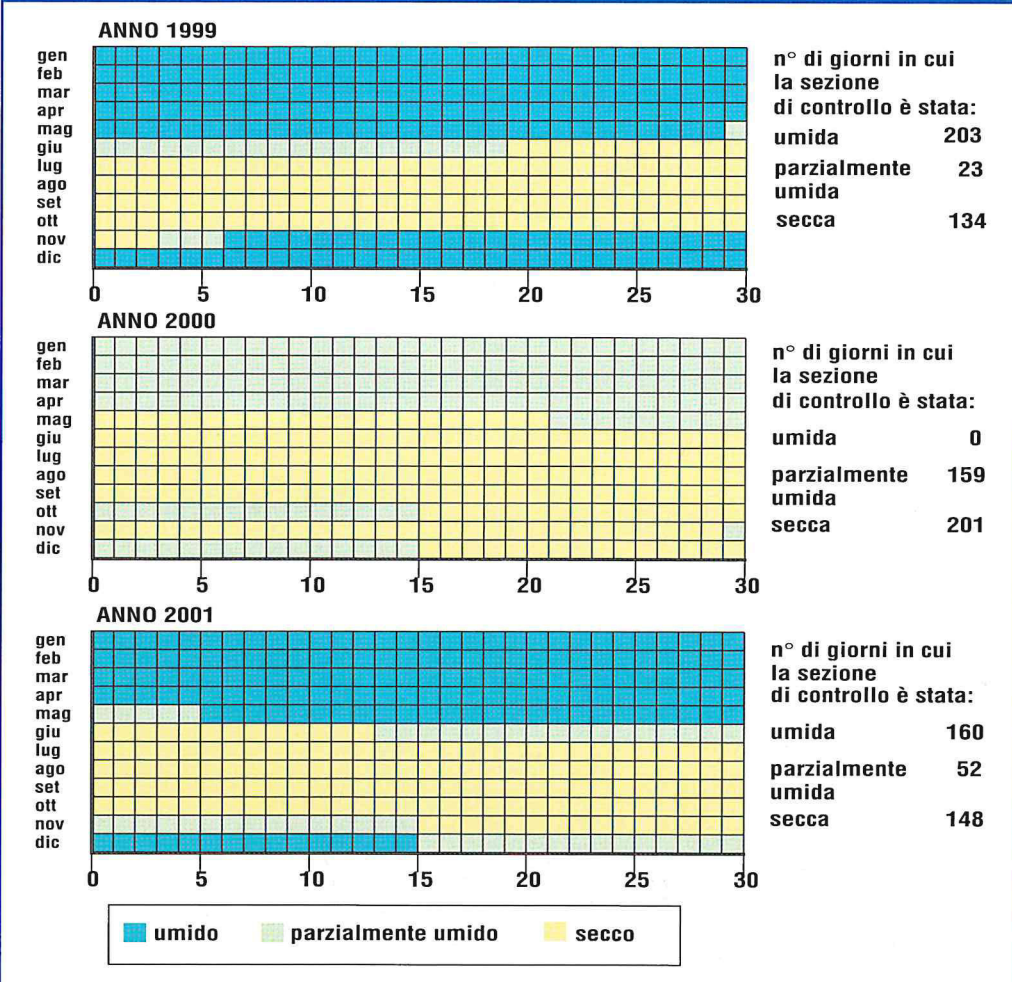
Fig. 3 - Carta della stima spaziale della ECe.



TAB. 3 - ANALISI DELLE ACQUE PRELEVATE DALLA RETE DI DISTRIBUZIONE CONSORTILE NEL SETTEMBRE 2000

|                               |        |                               |
|-------------------------------|--------|-------------------------------|
| pH                            |        | 7,3                           |
| ECw                           | (dS/m) | 5,3                           |
| Salinità Tot.                 | g/l    | 3,39                          |
| <b>Cationi</b>                |        |                               |
| Ca <sup>++</sup>              | (mg/l) | 115                           |
| Mg <sup>++</sup>              | (mg/l) | 125                           |
| K <sup>+</sup>                | (mg/l) | 26,6                          |
| Na <sup>+</sup>               | (mg/l) | 843                           |
| <b>Anioni</b>                 |        |                               |
| Cl <sup>-</sup>               | (mg/l) | 1505                          |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | (mg/l) | 495                           |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | (mg/l) | 0                             |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | (mg/l) | 220                           |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | (mg/l) | 3,22                          |
| Boro                          | (mg/l) | 0,4                           |
| Durezza Tot.                  | (°F)   | 80,13                         |
| SAR                           |        | 12,95                         |
| Classe U.S.D.A.               |        | C <sub>5</sub> S <sub>2</sub> |

Grafico 3 - Distribuzione annuale dei periodi di umidità del suolo nelle sezioni di controllo.





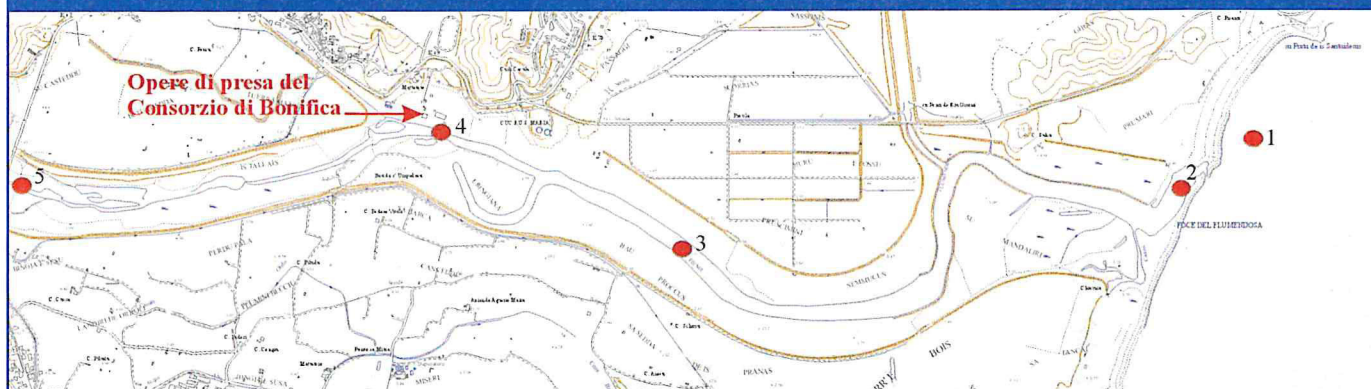
consistenti nell'innalzamento di arginature in golenia e nella riduzione delle sezioni del corso d'acqua principale e dei suoi affluenti. Gli effetti negativi di tali opere furono denunciati già nel 1947 dal prof. Paolo Montaldo dell'Istituto Geologico dell'Università di Cagliari che, riscontrando un considerevole abbassamento della falda freatica superficiale, intravedeva i primi segni di un diffuso processo di salinizzazione dei terreni e delle acque (Montaldo, 1947). Dopo la realizzazione delle opere, infatti, si presentarono immediatamente due ordini di problemi fondamentali:

1 - i consistenti volumi d'acqua di piena del fiume, un tempo liberi di spagliare in superficie, furono costretti a defluire rapida-

mente a mare, per cui veniva a cessare l'effetto di alimentazione idrica della piezometrica per moto *ab descensum* delle acque; 2 - conseguentemente alla mancanza di rifornimento idrico per percolazione, le superfici dei terreni, un tempo periodicamente imbibite e liscivate, furono gradualmente interessate da fenomeni di risalienza di acque saline per capillarità dal livello statico della falda salmastra, soprattutto nella fascia prossima alla costa dove il flusso di acque marine non trovava più un efficace contrasto di battente da parte della falda dolce sotterranea.

Dopo quasi sessant'anni i fenomeni di salinizzazione risultano aggravati da una serie di interventi antropici successivi a queste prime sistemazioni idrauliche, tra questi ricordiamo:

Fig. 4 - Punti di campionamento nelle acque di mare e di fiume.



TAB. 4 - RAPPORTO SR/CL NELLE ACQUE DI MARE E DEL FLUMENDOSA

|                                 |       |      | 1 - mare | 2 - face | 3 - Sedda Is P. | 4 - mattatoio | 5 - ponte |
|---------------------------------|-------|------|----------|----------|-----------------|---------------|-----------|
| inverno 2002 (1° campionamento) | Cl    | mg/l | 22335    | 1652     | 418             | 170           | 50        |
|                                 | Sr    | mg/l | 5,26     | 0,64     | 0,29            | 0,21          | 0,15      |
|                                 | Sr/Cl |      | 0,00024  | 0,00039  | 0,00069         | 0,00123       | 0,00302   |
| estate 2003 (2° campionamento)  | Cl    | mg/l | 22335    | 5602     | 5602            | 6488          | 71        |
|                                 | Sr    | mg/l | 5,26     | 1,53     | 1,54            | 1,75          | 0,18      |
|                                 | Sr/Cl |      | 0,00024  | 0,00027  | 0,00027         | 0,00027       | 0,00247   |







## dossier

condo gli standard di rilevamento della FAO e le indicazioni di altri autori (Rasio *et al.*, 1995), prevede un numero minimo di 16 osservazioni ogni 100 ha. Il territorio è stato dunque discretizzato in celle di 250x250 metri entro le quali sono stati individuati 198 siti di campionamento (Figura 1). Per ogni punto è stata effettuata la georeferenziazione secondo il sistema di coordinate Gauss-Boaga e misurata la distanza dal mare.

Le modalità dei prelievi, effettuati tra i mesi di settembre e novembre 2000, sono state le

- un massiccio incremento della pratica irrigua che attinge acqua dai pozzi. Nell'area rilevata questi sono stati stimati in numero di 212 sulla base di un conteggio effettuato sull'ultima cartografia C.T.R. in scala 1:10.000 del 1999, ma si ritiene che tale valore sia inferiore rispetto ai pozzi effettivamente realizzati;
- la costruzione di sbarramenti artificiali nel bacino montano del Flumendosa per scopi idroelettrici, irrigui e idropotabili, che hanno drasticamente ridotto le portate del fiume;
- la realizzazione di pozzi per l'approvvigionamento idropotabile dei numerosi insediamenti turistici sorti lungo la costa nell'ultimo trentennio;
- l'apertura delle antiche foci di Padrionnas, Bau Obilu e Flumini Becciu per le attività della peschiera di S. Giovanni, poco più a sud dell'area studiata, con il conseguente collegamento tra il mare e le acque dolci.

In tutte queste opere si riconoscono le cause determinanti del progressivo avanzamento del fronte salino dal mare verso l'interno della piana, giunto, secondo stime antecedenti alla realizzazione di questo studio ed effettuate sulle acque dei pozzi irrigui, a circa 2 km dalla linea di costa.

Un ultimo fattore, non meno importante che aggrava gli effetti delle cause succitate, è rappresentato dalla naturale carenza idrica dell'isola per scarsa piovosità e dal susseguirsi delle annate siccitose che, particolarmente in quest'area, hanno influenzato i processi pedogenetici verso l'accumulo di sali solubili nelle parti più superficiali del suolo e la formazione di orizzonti salini sia superficiali che profondi.

## Materiali e metodi

La conoscenza delle condizioni di partenza in cui si trovano i suoli costituisce la base su cui impostare un piano di monitoraggio dell'evoluzione del fenomeno di salinizzazione. A tale scopo è stato realizzato preliminarmente un programma di rilievi sul campo e di campionamento dello strato superficiale dei suoli secondo uno schema a maglie rigide, finalizzato alla misura dei parametri di salinità e alla realizzazione di cartografia tematica. La scala d'osservazione utilizzata è stata la 1:10.000 che, se-

guenti:

- Trivellate sino alla profondità di 40 cm in 188 siti, sui cui campioni sono state realizzate le seguenti analisi di laboratorio: tessitura (sabbia grossa, sabbia fine, limo grosso, limo fine e argilla in g/kg), conducibilità elettrica dell'estratto acquoso (ECe in dS/m), percentuale di Sodio di scambio (ESP in %), tasso di assorbimento del Sodio (SAR), pH, cationi di scambio (in mg/kg) e capacità di scambio cationico (CSC in meq/100 g).
- Descrizione di 10 profili pedologici completi, mediante rilevamento libero, per confrontare differenti proprietà pedo-ambientali nell'area (suoli interessati da una falda superficiale, suoli con falda profonda, suoli con colture in irriguo, suoli con colture in asciutto, ecc.). Sui campioni dei profili sono state eseguite le analisi di laboratorio complete secondo gli standard metodologici del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (AA.VV., 2001). I dati ottenuti sono stati sottoposti ad analisi geostatistica, secondo l'approccio del kriging lognormale (Deutsch *et al.*, 1998), al fine di determinare la variabilità spaziale del processo di salinizzazione e sodicizzazione, che ha portato all'elaborazione delle mappe di distribuzione nel territorio dei parametri ECe e SAR.

## Risultati

Il campionamento sistematico dei suoli effettuato nella prima fase di studio ha permesso di ottenere i seguenti risultati:

- 1 - definizione delle aree a differente grado di salinità e sodicità, mediante la redazione delle mappe delle stime spaziali delle variabili ECe (conducibilità elettrica) e SAR (tasso di assorbimento del Sodio) dell'estratto acquoso;
- 2 - caratterizzazione pedologica dell'area, con particolare riferimento ai processi pedogenetici in atto e ai regimi pedoclimatici predominanti;
- 3 - individuazione delle aree di monitoraggio.

### Diffusione territoriale dei suoli salini e sodici

Dall'esame delle carte delle variabili SAR ed ECe (Figura 2 e Figura 3) risulta evidente l'influenza della distanza dal mare sull'intensità dei fenomeni osservati.



**TAB. 5 - SINTESI DEI DATI ANALITICI DEI PROFILI PEDOLOGICI**

| Profilo                                | 1                                                                                                                                                                                                                                                           |       |                 | 2                                                                                                                                                                                              |       |                 |       |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-------|
| Orizzonti                              | Ap                                                                                                                                                                                                                                                          | Bn1   | Bn2             | Ap                                                                                                                                                                                             | Bn1   | Bn2             | C     |
| Profondità (cm)                        | 0-50                                                                                                                                                                                                                                                        | 50-90 | 90-140          | 0-30                                                                                                                                                                                           | 30-50 | 50-70           | y70   |
| ECe (dS/m)                             | 2.26                                                                                                                                                                                                                                                        | 5.51  | 6.80            | 12.5                                                                                                                                                                                           | 12.9  | 12.2            | 15.2  |
| pH in H <sub>2</sub> O                 | 8.57                                                                                                                                                                                                                                                        | 9.26  | 9.30            | 8.25                                                                                                                                                                                           | 8.60  | 8.56            | 8.35  |
| SAR                                    | 8.39                                                                                                                                                                                                                                                        | 36.48 | 37.48           | 17.19                                                                                                                                                                                          | 21.89 | 22.28           | 21.34 |
| ESP (%)                                | 14.67                                                                                                                                                                                                                                                       | 44.67 | 37.79           | 16.08                                                                                                                                                                                          | 27.32 | 30.83           | 40.43 |
| Salinità (g/kg)                        | 0.43                                                                                                                                                                                                                                                        | 1.10  | 1.37            | 2.05                                                                                                                                                                                           | 1.97  | 2.02            | 2.22  |
| Distanza dalla costa (m)               | 1250                                                                                                                                                                                                                                                        |       |                 | 1750                                                                                                                                                                                           |       |                 |       |
| Elementi diagnostici                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• nei primi 40 cm; pH &gt;8.2 e (Mg<sup>2+</sup>+NA<sup>+</sup>) &gt;Ca<sup>2+</sup> + acidità di scambio</li> <li>• presenza di materiali eluviali negli orizzonti profondi</li> <li>• orizzonte matrico</li> </ul> |       |                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• nei primi 40 cm: ESP &lt; 15 e SAR &gt; 13</li> <li>• presenza di materiali eluviali negli orizzonti profondi</li> <li>• orizzonte matrico</li> </ul> |       |                 |       |
| Classificazione (USDA 1998 e WRB 1999) | USDA                                                                                                                                                                                                                                                        |       | WRB             | USDA                                                                                                                                                                                           |       | WRB             |       |
|                                        | SODIC XERIC HAPLOCAMBID                                                                                                                                                                                                                                     |       | HAPLIC SOLONETZ | SODIC XERIC HAPLOCAMBID                                                                                                                                                                        |       | HAPLIC SOLONETZ |       |

| Profilo                                | 6                                                                                                                                                                                                                                                                |       |                                | 7                                                                                                                                                                                             |       |                           |         |       |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------|---------|-------|
| Orizzonti                              | Ap                                                                                                                                                                                                                                                               | Bw1   | Bw2                            | Ap1                                                                                                                                                                                           | Ap2   | Bw1                       | Bw2     | C     |
| Profondità (cm)                        | 0-40                                                                                                                                                                                                                                                             | 40-95 | 95-140                         | 0-30                                                                                                                                                                                          | 30-50 | 50-100                    | 100-140 | >140  |
| ECe (dS/m)                             | 8.32                                                                                                                                                                                                                                                             | 5.5   | 5.69                           | 7.92                                                                                                                                                                                          | 4.47  | 4.04                      | 3.65    | 3.88  |
| pH in H <sub>2</sub> O                 | 8.5                                                                                                                                                                                                                                                              | 9.4   | 9.2                            | 8.20                                                                                                                                                                                          | 8.37  | 8.38                      | 8.59    | 8.92  |
| SAR                                    | 14.89                                                                                                                                                                                                                                                            | 27.97 | 29.87                          | 6.75                                                                                                                                                                                          | 5.29  | 5.15                      | 7.20    | 16.70 |
| ESP (%)                                | 12.4                                                                                                                                                                                                                                                             | 19.3  | 22.9                           | 14.2                                                                                                                                                                                          | 6.56  | 7.08                      | 12.88   | 25.25 |
| SALINITÀ' (g/KG)                       | 1.84                                                                                                                                                                                                                                                             | 1.16  | 1.24                           | 1.63                                                                                                                                                                                          | 0.87  | 0.79                      | 0.63    | 0.73  |
| Distanza dalla costa (m)               | 2500                                                                                                                                                                                                                                                             |       |                                | 1450                                                                                                                                                                                          |       |                           |         |       |
| Elementi diagnostici                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• condizioni acquiche (o proprietà gleyiche) entro 100 cm dalla superficie del suolo</li> <li>• Carbonio organico &gt;0.2% a 125 cm</li> <li>• ESP &gt;15% e SAR &gt;13 entro 50 cm dalla superficie del suolo</li> </ul> |       |                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• presenza di materiali fluvici</li> <li>• Carbonio organico &gt;0.2% a 125 cm</li> <li>• ESP &gt;6% entro 50 cm dalla superficie del suolo</li> </ul> |       |                           |         |       |
| Classificazione (USDA 1998 e WRB 1999) | USDA                                                                                                                                                                                                                                                             |       | WRB                            | USDA                                                                                                                                                                                          |       | WRB                       |         |       |
|                                        | FLUVAQUENTIC ENDOAQUEPT                                                                                                                                                                                                                                          |       | FLUVIC-GLEYIC (SODIC) CAMBISOL | FLUVENTIC HAPLOXEREPT                                                                                                                                                                         |       | FLUVIC HYPOSODIC CAMBISOL |         |       |

Entro distanze dalla costa dell'ordine dei 2 km, infatti, il SAR diminuisce da valori superiori a 35 a valori inferiori a 13, per abbassarsi ulteriormente all'interno e attestarsi al di sotto dei valori limite definiti dall'U.S. Salinity Laboratory Staff nel 1954, per i suoli sodici e salino-sodici (Tabella 2). Ciò è evidenziato anche dal grafico 2 che mostra il comportamento dello ione Sodio nel complesso di scambio, sempre più predominante sugli ioni Calcio e Magnesio procedendo dall'interno verso la costa. Le stesse considerazioni valgono per l'ECe, che passa da valori superiori a 35 dS/m in prossimità della costa a valori inferiori a 4 dS/m verso l'interno (Figura 3).

Nella fascia dei 2 km si possono inoltre osservare, sia per il SAR che per l'ECe, due ristrette zone caratterizzate da valori più elevati: una a nord-est e l'altra più a sud, a meno di 1,5 km, in cor-

rispondenza di antichi depositi palustri costieri dove l'alto tenore in sali è chiaramente influenzato dalla natura del substrato e dall'oscillazione della falda salmastra sino alla superficie. Si può ritenere, pertanto, che i suoli in questa porzione di piana siano dotati di una salinità "primaria" attribuibile a processi di deposizione e accumulo per l'oscillazione stagionale della falda e per risalita capillare in seguito all'elevata evapotraspirazione nei mesi caldi. Dall'osservazione della carta dell'ECe risulta che in gran parte della porzione centrale della piana i valori sono maggiori di 4 dS/m, a dimostrazione dell'esistenza di una salinizzazione diffusa anche nelle zone interne, laddove è maggiore la concentrazione di frutteti e di pozzi irrigui.

Gli elevati valori di ECe nei primi 40 cm è presumibile siano dovuti, non tanto ad una risalita superficiale della falda, essendo il



| 3                                                                                                                                                                         |       |                 |         | 4                                                                                                                                                       |       |                 |        |                 | 5                                                                                                                                                       |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|--------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Ap                                                                                                                                                                        | Bn1   | Bn2             | C       | Ap1                                                                                                                                                     | Ap2   | Bw1             | Bw2    | Bw3             | Ap                                                                                                                                                      | B/C          |
| 0-30                                                                                                                                                                      | 30-65 | 65-120          | 120-160 | 0-30                                                                                                                                                    | 30-45 | 45-80           | 80-120 | 120-160         | 0,20                                                                                                                                                    | 20-100       |
| 1.77                                                                                                                                                                      | 3.90  | 7.54            | 2.33    | 3.77                                                                                                                                                    | 2.18  | 0.94            | 1.04   | 1.48            | 0.1                                                                                                                                                     | 0.09         |
| 8.56                                                                                                                                                                      | 9.07  | 9.24            | 8.93    | 8.13                                                                                                                                                    | 8.29  | 8.96            | 9.31   | 9.49            | 6.2                                                                                                                                                     | 6.4          |
| 7.61                                                                                                                                                                      | 24.55 | 36.58           | 15.65   | 3.17                                                                                                                                                    | 2.98  | 5.63            | 7.59   | 12.60           | 5.7                                                                                                                                                     | 9.7          |
| 10.31                                                                                                                                                                     | 11.91 | 9.11            | 41.03   | 7.53                                                                                                                                                    | 6.91  | 7.79            | 13.15  | 16.07           | 5.31                                                                                                                                                    | 9.78         |
| 0.41                                                                                                                                                                      | 0.84  | 1.43            | 0.52    | 0.66                                                                                                                                                    | 0.34  | 0.15            | 0.15   | 0.23            | n.d.                                                                                                                                                    | n.d.         |
| 1650                                                                                                                                                                      |       |                 |         | 1950                                                                                                                                                    |       |                 |        |                 | 2700                                                                                                                                                    |              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>nei primi 40 cm: SAR &gt;13</li> <li>presenza di materiali eluviali negli orizzonti profondi</li> <li>orizzonte natrico</li> </ul> |       |                 |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>presenza di materiali fluvici</li> <li>diminuzione irregolare del Carbonio organico con la profondità</li> </ul> |       |                 |        |                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>presenza tra 20 e 100 cm di frammenti di un orizzonte B privo di una organizzazione ben distinguibile</li> </ul> |              |
| USDA                                                                                                                                                                      |       | WRB             |         | USDA                                                                                                                                                    |       | WRB             |        | USDA            |                                                                                                                                                         | WRB          |
| SODIC XERIC HAPLOCAMBID                                                                                                                                                   |       | HAPLIC SOLONETZ |         | FLUVENTIC HAPLOXEREPT                                                                                                                                   |       | FLUVIC CAMBISOL |        | HAPLIC XERARENT |                                                                                                                                                         | ARIC REGOSOL |

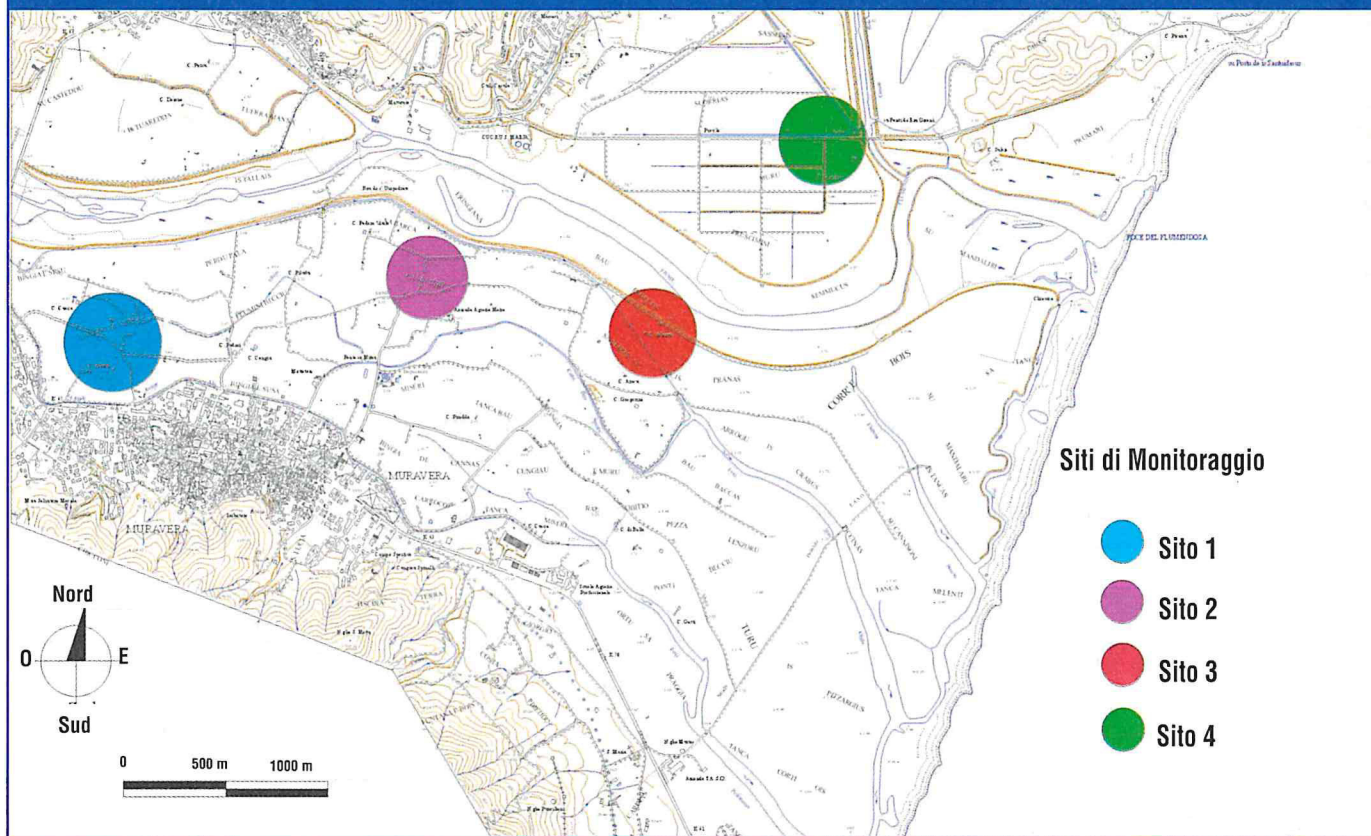
| 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |       |                                  |      | 9                                                                                                                                             |       |                 |         | 10                                                                                                                                                                                      |       |                           |        |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------|--------|---------|
| Ap                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Bw1   | Bw2                              | BC   | Ap                                                                                                                                            | C/B   | 2BA             | 3B      | Ap                                                                                                                                                                                      | Bw1   | Bw2                       | Bw3    | C       |
| 0-30                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 30-70 | 70-120                           | >120 | 0-35                                                                                                                                          | 35-80 | 80-120          | 120-160 | 0-20                                                                                                                                                                                    | 20-60 | 60-90                     | 90-140 | 140-160 |
| 2.34                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2.70  | 2.83                             | 1.27 | 1.07                                                                                                                                          | 0.38  | 0.45            | 0.70    | 10.4                                                                                                                                                                                    | 7.82  | 6.18                      | 4.84   | 4.81    |
| 8.46                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 8.80  | 8.99                             | 8.64 | 8.25                                                                                                                                          | 8.48  | 8.54            | 8.53    | 7.53                                                                                                                                                                                    | 7.98  | 8.14                      | 8.32   | 8.39    |
| 5.09                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 9.29  | 10.0                             | 5.73 | 2.59                                                                                                                                          | 2.02  | 3.71            | 3.63    | 5.27                                                                                                                                                                                    | 6.50  | 6.55                      | 7.49   | 6.45    |
| 6.36                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 12.14 | 14.57                            | 6.87 | 7.24                                                                                                                                          | 7.56  | 6.28            | 4.91    | 8.01                                                                                                                                                                                    | 11.83 | 9.29                      | 14.48  | 10.32   |
| 0.51                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0.57  | 0.59                             | 0.27 | 0.16                                                                                                                                          | 0.06  | 0.07            | 0.13    | 2.02                                                                                                                                                                                    | 1.44  | 0.96                      | 0.68   | 0.64    |
| 4750                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |       |                                  |      | 4800                                                                                                                                          |       |                 |         | 3450                                                                                                                                                                                    |       |                           |        |         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>condizioni acquiche (o proprietà gleyiche) entro 100 cm dalla superficie del suolo</li> <li>presenza di materiali fluvici</li> <li>diminuzione irregolare del Carbonio organico con la profondità</li> <li>ESP &gt;6% entro 50 cm dalla superficie del suolo</li> </ul> |       |                                  |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>assenza di sviluppo apprezzabile di orizzonti pedologici</li> <li>tessitura sabbioso-franca</li> </ul> |       |                 |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>presenza di materiali fluvici</li> <li>Carbonio organico &gt;0.2% a 125 cm</li> <li>ESP &gt;6% entro 50 cm dalla superficie del suolo</li> </ul> |       |                           |        |         |
| USDA                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |       | WRB                              |      | USDA                                                                                                                                          |       | WRB             |         | USDA                                                                                                                                                                                    |       | WRB                       |        |         |
| AQUIC HAPLOXEREPT                                                                                                                                                                                                                                                                                              |       | FLUVIC-GLEYIC HYPOSODIC CAMBISOL |      | TYPIC XEROPSAMMENT                                                                                                                            |       | PROTIC ARENOSOL |         | FLUVENTIC HAPLOXEREPT                                                                                                                                                                   |       | FLUVIC HYPOSODIC CAMBISOL |        |         |

livello medio della piezometrica di circa -4 m dal p.c., ma all'irrigazione con acque da mediate a fortemente saline emunte dai pozzi, come è risultato dai valori di conducibilità elettrica delle acque campionate in alcuni pozzi a largo diametro (valori di ECw oscillanti tra 1,2 e > 4 dS/m). Anche le acque d'irrigazione distribuite dal Consorzio presentano scarsa qualità in alcuni periodi dell'anno. In Tabella 3 sono riferite le analisi eseguite sulle acque della rete consortile relative al mese di settembre 2000, risultato un anno particolarmente siccitoso. I dati dimostrano la temporanea non idoneità di tali acque per gli usi irrigui, oltre a rivelare un'evidente compromissione delle acque del fiume nel punto in cui queste vengono captate (sotto il centro abitato di Villaputzu) per essere immesse nelle condotte. Altri campionamenti effettuati nel Flumendosa (Figura 4) hanno di-

mostrato l'esistenza di acque salmastre all'interno del fiume soprattutto nella stagione estiva. Oltre alle cause precedentemente accennate (apertura delle antiche foci per l'attività della peschiera di S. Giovanni) anche le maree e i venti da est di particolare intensità incidono notevolmente sulla risalita delle acque di mare lungo l'asta fluviale verso le zone interne. I valori del rapporto Sr/Cl, preso come indicatore della presenza di acque marine, hanno evidenziato che esiste un'effettiva ingressione nel fiume dell'acqua di mare durante l'estate, con valori costanti sino al punto di captazione della rete consortile e prossimi al valore rilevato nelle acque marine (Tabella 4). Questi risultati individuano nella pratica irrigua con acque non idonee, siano esse di pozzo o consortili, una delle principali cause della salinizzazione delle superfici agricole.



Fig. 5 - Ubicazione dei siti di monitoraggio.



### Caratterizzazione pedologica e regimi pedoclimatici

I suoli della piana di Muravera-Villaputzu complessivamente presentano una spiccata omogeneità dei caratteri fisico-strutturali, essendo per la maggior parte contraddistinti da un medesimo substrato alluvionale sabbioso-limoso e dalla presenza di sequenze più o meno sviluppate di orizzonti a media alterazione (orizzonti Bw). Ogni profilo rilevato è caratterizzato da una variazione tessiturale tra le classi franche, franco-limose, franco-sabbiose e sabbioso-franche. Le principali differenze tra i profili riguardano i caratteri chimici, con particolare riferimento al complesso di scambio e ai parametri di salinità dell'estratto acquoso che stabiliscono sostanziali differenze anche a livello tassonomico. La Tabella 5 riporta una sintesi dei dati chimici relativi alla salinità dei 10 profili e mette in evidenza i principali elementi diagnostici che hanno portato alle classificazioni proposte (U.S.D.A., 1998 e W.R.B., 1999).

Esiste una certa gamma di suoli a vario grado di salinità, con una generale diminuzione dei valori dei parametri man mano che si procede nelle aree interne. Per i primi tre profili è stata riconosciuta l'appartenenza all'ordine degli Aridosuoli, testimoniata dal rilevamento dei caratteri diagnostici ben espressi dell'orizzonte natrico (struttura prismatica o poliedrica angolare con presenza di materiali eluviali, valori di ESP, SAR e pH elevati, incremento di argilla secondo i rapporti richiesti).

La presenza di Aridosuoli fu già riscontrata nel 1963 da Aru in uno studio sui suoli salini nella bassa valle del Flumendosa (Aru

A., 1963), in corrispondenza di tutte le superfici limitrofe alle foci e con livello di falda variabile da 40 a 100 cm. A distanza di circa 40 anni si osserva, in base alle elaborazioni cartografiche esposte, che la salificazione degli orizzonti superficiali tende ad interessare anche zone più interne e con falda più profonda. Infatti, nella carta della stima spaziale della conducibilità elettrica tutte le aree che mostrano valori di  $EC_e > 25 \text{ dS/m}$  sono caratterizzate dalla presenza di un orizzonte salico, essendo soddisfatti anche gli altri requisiti richiesti dalla Soil Taxonomy (spessore orizzonte  $> 15 \text{ cm}$ ;  $EC_e \times \text{profondità} > 900$ ).

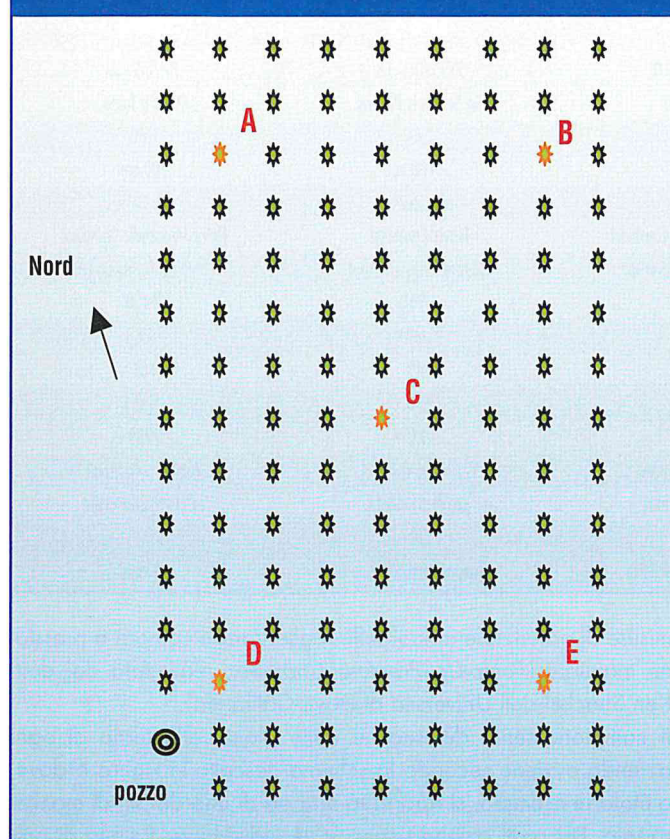
Il requisito di un regime di umidità di tipo aridico, che crea le necessarie condizioni pedogenetiche alla formazione di Aridosuoli, è al momento soddisfatto solo in alcuni anni dell'ultimo decennio, come ha dimostrato l'analisi dei dati climatici mediante il modello elaborato da Newall e modificato da Van Wanbeke, che calcola, in una sezione di controllo ideale, l'evapotraspirazione potenziale distribuita uniformemente nell'anno con mesi di 30 giorni ciascuno (Newhall, 1972).

Tuttavia condizioni quali elevata evapotraspirazione, scarsa lisciviazione dei sali e prolungato deficit idrico, con conseguente indisponibilità d'acqua utile per le piante, sono largamente favorite anche dal regime dry xeric, risultato dominante in tutte le sezioni di controllo dei profili descritti.

Il Grafico 3, riferito agli anni 1999, 2000 e 2001, tra i più rappresentativi di tale regime, evidenziano come i periodi in cui persistono condizioni di aridità del suolo vanno generalmente dal



Fig. 6 - Schema di campionamento



mese di giugno al mese di ottobre, talora prolungati sino al mese di dicembre, come nell'anno 2000 in cui il suolo è stato totalmente secco per 201 giorni cumulativi e in nessun giorno dell'anno si è presentato allo stato umido.

Altre considerazioni sull'origine dei processi di accumulo dei sali nei suoli sono state effettuate prendendo in esame l'uso e la differente gestione avvenuta sinora. Un esempio è dato dalle differenze rilevate tra i due profili limitrofi P3-EI/15 (Sodic-xeric Haplocambid) e P7-EII/3 (Fluventic Haploxerept), entrambi riconducibili ad una medesima unità di paesaggio per l'omogeneità dei caratteri del parent material e fisiografici, ma a differente conduzione agricola. Il P3 è stato eseguito in un suolo sottoposto a pascolamento le cui caratteristiche idrologiche sono influenzate prevalentemente dall'oscillazione della falda salmastra, mentre il P7 all'interno di un agrumeto attualmente irrigato con le acque della rete consortile. In quest'ultimo caso è stato riscontrato il benefico effetto lisciviante delle acque di irrigazione sui sali sino a 140 cm di profondità, sebbene i valori di sodio scambiabile siano ugualmente allarmanti data la posizione topografica dell'azienda (1,45 km dalla costa, quota 1,5 m dal p.c.). In tutti gli altri profili pedologici descritti i valori dei parametri di salinità risultano generalmente contenuti, ma in alcuni di essi è evidente una tendenza all'accumulo di sali sin dagli orizzonti superficiali (P6, P10) o comunque alla profondità di radicazione (P4, P8), per effetto delle acque irrigue non idonee.

**Aree di interesse per il piano di monitoraggio**



Il controllo preliminare sullo stato di salinizzazione dei suoli ha fornito gli elementi utili a circoscrivere le aree in cui avviare il programma di monitoraggio, che ha l'obiettivo di approfondire le complesse problematiche connesse all'evoluzione del fenomeno e le interazioni che intervengono tra suolo-acqua-pianta nell'ambito di una gestione agricola specializzata.

In considerazione di quanto emerso dall'indagine preliminare e degli obiettivi appena esposti sono stati individuati quattro siti di monitoraggio all'interno di aziende agrumicole (Figura 5), differenziati principalmente per distanza dalla costa, ubicazione topografica e gestione aziendale (uso di acque irrigue di falda e consortili, modalità di irrigazione):

#### **Aree oltre i 2 km dalla costa:**

**Sito 1 - loc. Landiri de Orroli**

*Frutteto irrigato con acque di pozzo profonde e sistema a goccia, dove non sono stati rilevati problemi di salinità dei suoli e delle acque. Area rappresentativa di condizioni ambientali non alterate e considerata "sito testimone". Distanza dalla costa 4.800 metri.*

**Sito 2 - loc. Canceddu**

*Frutteto interessato da fenomeni diffusi di salinizzazione dei suoli e delle acque, irrigato con acque di pozzo superficiale e sistema a goccia alternato a sommersione. Distanza dalla costa 3450 metri, area potenzialmente a basso rischio.*

#### **Aree entro i 2 km dalla costa:**

**Sito 3 - loc. Sa Sedda Is Pranas**



**TAB. 6 - CARATTERISTICHE E DATI AZIENDALI DEI SITI DI MONITORAGGIO**

|                                              | SITO 1             | SITO 2                      | SITO 3                | SITO 4                      |
|----------------------------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| <i>Profilo e ubicazione:</i>                 | P9/AII- 12         | P10/CII- 10                 | P4/PDII- 16           | P7/EII- 3                   |
| <i>Località</i>                              | Landiri de Orroli  | Canceddu                    | Sa Sedda is Pranas    | Muru e fossu                |
| <i>Quota (m):</i>                            | 4,60               | 3,50                        | 2,60                  | 1,50                        |
| <i>Profondità utile alle radici:</i>         | > 160 cm           | 140 cm                      | > 160 cm              | 100 cm                      |
| <i>Regime di umidità:</i>                    | dry xeric          | dry xeric                   | dry xeric             | dry xeric                   |
| <i>Classificazione WRB 2000:</i>             | Protic Arenosol    | Fluvisol hyposodic Cambisol | Fluvisol Cambisol     | Fluvisol hyposodic Cambisol |
| <i>Classificazione USDA 1998:</i>            | Typic Xeropsamment | Fluventic Haploxerept       | Fluventic Haploxerept | Fluventic Haploxerept       |
| <i>Distanza dalla costa (m)</i>              | 4.800              | 3.450                       | 1.950                 | 1.450                       |
| <i>Superficie monitorata (m<sup>2</sup>)</i> | 5.500              | 3.000                       | 4.500                 | 7.000                       |
| <i>N. piante</i>                             | 115                | 85                          | 249                   | 151                         |
| <i>Sesto di impianto (m)</i>                 | 7x7                | 6x6                         | 6x3                   | 5x5                         |
| <i>Anno d'impianto</i>                       | 1971               | 1969                        | 1979                  | 1989                        |
| <i>Tipo di cultivar</i>                      | Washington navel   | Washington navel            | Washington navel      | Washington navel            |
| <i>Fonte di approv. irriguo</i>              | pozzo trivellato   | pozzo scavato               | pozzo trivellato      | condotta consortile         |
| <i>Profondità del pozzo (m)</i>              | 21                 | 4,5                         | 30                    | -                           |
| <i>Tipo di irrigazione</i>                   | goccia             | goccia/sommersione          | goccia/sommersione    | microjet                    |

*Frutteto interessato da fenomeni superficiali di salinizzazione, irrigato con acque di pozzo artesiano e stessi sistemi del Sito 2. Distanza dalla costa 1.950 metri, area potenzialmente a medio rischio.*

*Sito 4 - loc. Muru e Fossu*

*Frutteto con presenza di fenomeni di sodicizzazione dei suoli, irrigato con acque provenienti da rete consortile e sistema microjet. Distanza dalla costa 1.450 metri, area ad elevato rischio.*

## Sistema di monitoraggio

Le elaborazioni e l'organizzazione dei dati raccolti nella fase conoscitiva hanno consentito di creare la base interpretativa per il riconoscimento dei complessi rapporti che legano l'ecosistema suolo-acqua-pianta in un ambiente altamente vulnerabile alla salinizzazione quale quello studiato. Il piano pluriennale di monitoraggio, iniziato nell'aprile 2002 e della durata prevista di quattro anni, prevede la raccolta di dati, tramite l'effettuazione di analisi di laboratorio sui campioni raccolti e con osservazioni *in situ* sui suoli, sulle acque e sulle piante.

### Impostazione metodologica

I principali dati aziendali di ciascun sito sono riportati sinteticamente nella Tabella 6.

Le attività di monitoraggio nei 4 siti individuati consistono nel campionamento e nell'esecuzione di analisi di laboratorio sui suoli, sulle acque di irrigazione, sulle piante e in osservazioni *in situ*, secondo la tempistica riportata in Tabella 7.

La frequenza dei campionamenti è trimestrale, in modo da poter disporre di dati riferibili a differenti periodi dell'anno in funzione sia del clima che delle fasi fenologiche delle colture.

Mensilmente, inoltre, sulle acque di irrigazione si effettuano misure *in situ* della Conducibilità Elettrica (ECw), del pH e del livello della falda con strumentazione portatile, mentre sulle piante vengono effettuate sia osservazioni sullo stato fitosanitario sia

misure di potenziale idrico delle foglie tramite camera a pressione manuale (*Pump-Up Pressure Chamber*, realizzata dal dott. Ken Shackel dell'Università di Davis-California).

Il campionamento dei suoli e delle piante all'interno di ogni azienda avviene secondo lo schema descritto in Figura 6 dove, a titolo di esempio, si riporta la mappa di uno dei siti di monitoraggio. Per ogni azienda sono state individuate 5 unità di prelievo, poste a formare un'ipotetica X all'interno di una superficie rappresentativa, e denominate con le lettere A B C D E, a partire dal punto più vicino al nord geografico.

A ciascun punto di campionamento dei suoli è stata associata la pianta più vicina per mettere in relazione le variabili pedologiche con l'aspetto e il comportamento della pianta stessa, escludendo quelle poste ai bordi del campo.

Tale metodo è stato reputato ottimale in quanto consente di elaborare i dati secondo due diverse procedure:

1 - confronto dei parametri nell'ambito della stessa azienda, considerando i dati puntuali, riferiti cioè alle singole unità di prelievo, e le loro variazioni nel tempo;

2 - confronto tra le diverse aziende, paragonando il dato medio derivato dai 5 punti di campionamento.

Mensilmente, inoltre, si raccolgono ed elaborano i dati termopluviometrici forniti dal Servizio Agrometeorologico Regionale, per verificare le relazioni esistenti tra i fattori climatici e la tendenza del fenomeno di salinizzazione.

Le determinazioni analitiche sui suoli e sulle acque sono state eseguite secondo i criteri riportati nei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo" e "Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso irriguo e zootecnico" pubblicati dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (AA.VV., 2001).

Per lo stato nutrizionale delle piante invece si è fatto riferimento alle metodiche indicate da Madeddu e Rivoldini (Madeddu *et al.*, 1993).



TAB. 7 - CALENDARIO DI MONITORAGGIO

| SUOLI                                                                                                                                      |                            |             |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------|---------|
|                                                                                                                                            | FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO |             |         |
| Parametri fisici                                                                                                                           | inizio/fine monitoraggio   | trimestrali | mensili |
| Tessitura                                                                                                                                  | x                          |             |         |
| Contenuto idrico                                                                                                                           |                            | x           |         |
| Densità apparente                                                                                                                          | x                          |             |         |
| Parametri chimici                                                                                                                          |                            |             |         |
| Set completo di analisi standard                                                                                                           | x                          |             |         |
| ECe (dS/m)                                                                                                                                 |                            | x           |         |
| pH                                                                                                                                         |                            | x           |         |
| ESP                                                                                                                                        |                            | x           |         |
| SAR                                                                                                                                        |                            | x           |         |
| Salinità (mg/l)                                                                                                                            |                            | x           |         |
| ACQUE DI IRRIGAZIONE                                                                                                                       |                            |             |         |
|                                                                                                                                            | FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO |             |         |
| Parametri fisico-chimici                                                                                                                   | inizio/fine monitoraggio   | trimestrali | mensili |
| Profondità falda                                                                                                                           |                            |             | x       |
| Temperatura                                                                                                                                |                            |             | x       |
| ECw                                                                                                                                        |                            |             | x       |
| pH                                                                                                                                         |                            |             | x       |
| Cationi (Ca <sup>++</sup> , Na <sup>+</sup> , Mg <sup>++</sup> , K <sup>+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , Mn <sup>++</sup> , Al <sup>3+</sup> ) |                            | x           |         |
| Durezza totale                                                                                                                             |                            | x           |         |
| SAR                                                                                                                                        |                            | x           |         |
| Salinità totale                                                                                                                            |                            | x           |         |
| Nitrati, Nitriti, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                                                                                             |                            | x           |         |
| Ossigeno disciolto                                                                                                                         |                            | x           |         |
| Cloruri, Solfati, Carbonati, Bicarbonati                                                                                                   |                            | x           |         |
| PIANTE                                                                                                                                     |                            |             |         |
|                                                                                                                                            | FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO |             |         |
| Tipo di analisi/osservazioni                                                                                                               | inizio/fine monitoraggio   | trimestrali | mensili |
| Esame diagnostico in situ:                                                                                                                 |                            |             | x       |
| stato di accrescimento                                                                                                                     |                            |             | x       |
| sintomi di fitotossicità                                                                                                                   |                            |             | x       |
| presenza di entomopatogeni                                                                                                                 |                            |             | x       |
| Potenziale idrico delle foglie                                                                                                             |                            |             | x       |
| Analisi fogliari (su circa 30 foglie/pianta)                                                                                               |                            | x           |         |
| Carbonio e Azoto totale                                                                                                                    | x                          |             |         |

## Conclusioni

La realizzazione dell'indagine conoscitiva dei suoli della piana di Muravera-Villaputzu e degli elaborati cartografici ottenuti dall'analisi geostatistica dei dati, hanno permesso di stabilire quanto segue:

1 - individuare un gradiente di intensità del fenomeno di salinizzazione, procedendo dalla costa verso l'interno;

2 - suddividere la piana in due grandi aree a differente grado di compromissione e di origine del fenomeno: entro i 2 km dalla costa si ha una "salinizzazione primaria" dei suoli per effetto dell'oscillazione stagionale della falda salmastra superficiale, fortemente contaminata dall'ingressione marina; oltre i 2 km dalla costa si ha una "salinizzazione secondaria" indotta dall'uso di acque irrigue non idonee provenienti da pozzi che servono il 90% dell'area agricola, influenzate in minor misura dall'ingressione del mare;

3 - riconoscere come molte superfici, una volta interessate da un uso agricolo specializzato ed intensivo, siano attualmente in stato di abbandono o mostrino segni di sofferenza delle piante e di degradazione del suolo;

4 - delimitare aree d'interesse per l'osservazione del fenomeno e individuare dei parametri per la valutazione delle interazioni che si instaurano tra suolo-acqua-pianta nell'ambito di una gestione agricola specializzata, al fine di un controllo dell'evoluzione spazio-temporale della salinizzazione (piano di monitoraggio).

## Autori

Rita Puddu è istruttore direttivo ricercatore in pedologia - Centro Regionale Agrario Sperimentale, Regione Sardegna; Stefania Fanni è istruttore direttivo ricercatore in pedologia - Centro Regionale Agrario Sperimentale, Regione Sardegna; Daniele Manca è istruttore tecnico perito agrario - Centro Regionale Agrario Sperimentale, Regione Sardegna.

## Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento va alla dott.ssa Annamaria Castrignanò, primo ricercatore dell'Istituto Sperimentale Agronomico di Bari che ha curato l'elaborazione geostatistica dei dati e la realizzazione delle Carte del SAR e dell'ECe.

## Bibliografia

- AA.VV. (2000) - Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo. Collana Metodi analitici per l'agricoltura, Edizione Franco Angeli.
- AA.VV. (2001) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 549-Muravera.
- AA.VV. (2001) - Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso irriguo e zootecnico. Collana Metodi analitici per l'agricoltura, Edizione Franco Angeli.
- Ardau F., Barbieri G., Barroccu G. (2001) - Gli acquiferi costieri della piana di Muravera. In Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000, Foglio 549-Muravera.
- Aringhieri R. (1999) - I sali nel terreno. Collana tecnico-scientifica INAPA, quaderno n. 7, 70 pp., CNR Pisa.
- Arrigoni P.V. (1968) - Fitoclimatologia della Sardegna. Estratto da Webbia 23:1-100.
- Aru A. (1963) - Nota illustrativa alla carta pedologica della bassa valle del Flumendosa, con particolare riferimento ai suoli salini. Muravera-Villaputzu (Cagliari). Pubblicazione del Centro Regionale Agrario Sperimentale, Cagliari, pp. 41.
- Atzori S. (1989) - Studio idrogeologico della piana di Muravera, alla foce del Flumendosa (Sardegna sud-orientale). Tesi di laurea inedita, Università di Cagliari A.A. 1988-1989.
- Deutsch C.V., Journel A.G. (1998) - GSLIB: Geostatistical software library and User's Guide. Oxford University Press.
- F.A.O. (1988) - Salt-Affected Soils And Their Management. Soils Bulletin, n. 39.
- F.A.O. (1998) - Bulletin d'irrigation et de drainage. n. 29, Rév. 1.
- Madeddu B., Rivoldini A. (1993) - Controllo dello stato nutrizionale delle piante mediante l'analisi fogliare in ICP-AES. In Applicazioni dell'ICP-AES nel laboratorio chimico e tossicologico, Morgan edizioni tecniche, Vol. II Ambiente e salute, pp. 747-763.
- Montaldo P. (1947) - I fattori geoidrologici nella Bonifica del Basso Flumendosa (Sarabus) e di Bidda Maiore (Sa Picocca) - Sardegna Sud orientale. L'Agricoltura Sarda. Bollettino mensile di propaganda agraria, Annata XXIV, N. 1, 195-233.
- Newhall F. (1972) - Calculation of Soil Moisture Regimes From Climatic Record. Rev. 4 Mimeographed, Soil Conservation Service, USDA, Washington, D.C.
- Rasio R., Vianello G. (1995) - Classificazione e cartografia del suolo. Ed. Clueb, Bologna.
- Soil Survey Staff (1998) - Keys to Soil Taxonomy. Eighth Edition, United States Department of Agriculture, Washington, D.C.
- U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) - Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook, 60, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- World Reference Base For Soil Resources (1999) - Versione italiana a cura di Costantini E. e Dazzi C., Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo.



## **GIORNALI E RIVISTE IL SOLE 24 ORE EDAGRICOLE**

AGRICOMMERCIO E GARDEN CENTER

AT - ALBERI E TERRITORIO

AV - RIVISTA DI AVICOLTURA

A.Z.BIO

CN - RIVISTA DI CONIGLICOLTURA

CP - COLTURE PROTETTE

ESTIMO E TERRITORIO

FRUTTICOLTURA

IF - INFORMATORE FITOPATOLOGICO

IL CONTOTERZISTA

IZ - INFORMATORE ZOOTECNICO

M&MA - MACCHINE E MOTORI AGRICOLI  
e Repertorio delle Macchine Agricole

O&DV - OBIETTIVI E DOCUMENTI VETERINARI

OLIVO & OLIO

SE - SEMENTI ELETTE

SN - RIVISTA DI SUINICOLTURA

TERRA E VITA

VV - VIGNEVINI

