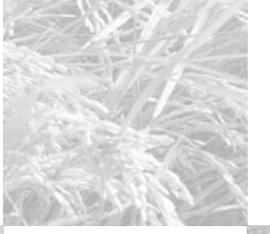
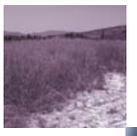
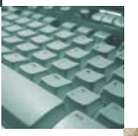


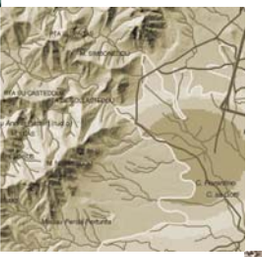


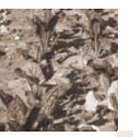


La salinizzazione dei suoli nelle piane agricole della Sardegna

DISTRIBUZIONE, INTENSITÀ E VALUTAZIONE DEL RISCHIO

a cura di R. Puddu, S. Fanni, S. Loddo, D. Manca





Agris

Agenzia Regionale per la ricerca scientifica
e l'innovazione in agricoltura

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Agris

Agenzia Regionale per la ricerca scientifica
e l'innovazione in agricoltura

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

DIPARTIMENTO PER LA RICERCA NELLE PRODUZIONI VEGETALI - *Direttore Dott. Mario Lendini*
Servizio Studi ambientali e qualità delle produzioni - Settore scientifico Agronomia e Pedologia

Responsabile tecnico-scientifico
Rita Puddu

Rilevamento e campionamento
Stefania Fanni, Stefano Loddo, Daniele Manca, Massimo Melis, Rita Puddu

Elaborazione dati, testi e immagini
Stefania Fanni, Stefano Loddo, Daniele Manca, Rita Puddu

Sistema Informativo Territoriale
Stefano Loddo

Analisi di Laboratorio
Nicoletta Fadda (responsabile Laboratorio), Massimo Melis (referente Laboratorio per il progetto), Massimo Corda, Piergiorgio Lai, Alessandra Sanna, Francesco Sanna.

Collaborazioni specifiche
Applicazione tecniche geostatistiche: Anna Maria Castrignanò (CRA-ISAGRO di Bari), Emanuele Barca (CNR Bari).

Contributi
Dati catastali forniti dall'Agenzia LAORE - Dipartimento Produzioni Vegetali, Settore Pedologia
Strati informativi C.T.R., DEM e CORINE LAND COVER forniti dall'Assessorato EE.LL, Finanza e Urbanistica, Servizio Informativo e Cartografico Regionale, Settore Cartografia Regionale
Strato informativo Carta dell'indice di aridità fornito dal Consorzio SAR Sardegna srl, Settore Agrometeorologia

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti i colleghi con i quali si è avuto un proficuo scambio di idee ed esperienze e per le utili conversazioni che hanno costituito un prezioso contributo per approfondire i temi trattati nel lavoro.

In particolare si ringraziano:

il Prof. Giorgio Ghiglieri del Dipartimento Ingegneria del Territorio dell'Università di Sassari e il Dr. Claudio Zucca del Nucleo Ricerca Desertificazione di Sassari per la disponibilità nel fornire le informazioni e i risultati degli studi effettuati in Nurra;

il Dr. Massimiliano Mameli del Dipartimento di Arboricoltura dell'AGRIS Sardegna, per gli scambi avuti su peculiari valutazioni di tipo agronomico;

la Dott.ssa Annamaria Repetto, coordinatrice del Settore Utilizzazione del Territorio dell'ex CRAS al momento dell'avvio di questo progetto, per la stima e la professionalità con cui ha sempre sostenuto il gruppo di lavoro durante lo svolgimento delle attività;

il Prof. Paolo Mattana della Facoltà di Economia dell'Università di Cagliari per il costante supporto offerto durante il trattamento dei dati statistici per il modello del rischio;

il Dr. For. Gianluca Serra del Servizio della sostenibilità Ambientale e Valutazione Impatti dell'Assessorato Difesa dell'Ambiente; grazie alle sue osservazioni qualunque "disquisizione pedologica" diventa sempre molto fruttuosa.

Un grazie sincero, infine, al Prof. Angelo Aru per la lettura critica del lavoro, i suggerimenti e la grande esperienza che immancabilmente mette a disposizione.

© 2008 AGRIS Sardegna - Tutti i diritti riservati

1 Presentazione

3 Introduzione

5 Il problema della salinizzazione

7 Obiettivi del progetto

9 Obiettivo 1 Carta della distribuzione dei suoli a differente grado di salinitˆ

11 1.1 Selezione delle aree di studio

13 1.2 Creazione della nuova banca dati delle analisi fisiche e chimiche dei suoli

20 1.3 Elaborazione geostatistica del parametro indicatore ECe

22 1.4 La Carta della distribuzione dei suoli a differente grado di salinitˆ

57 Obiettivo 2 Predisposizione di un modello di rischio di salinizzazione

59 2.1 Raccolta strati informativi a scala regionale

61 2.2 Costruzione e standardizzazione degli indici

72 2.3 Calcolo del rischio teorico

75 2.4 La Carta del rischio finale

78 Considerazioni conclusive

80 Bibliografia

Presentazione

é passato mezzo secolo dallÕinizio degli studi e ricerche sui suoli della Sardegna ad opera del Centro Regionale Agrario Sperimentale. Non • stato facile iniziare studi e ricerche sulla genesi dei suoli nŽ tanto meno sulla sistematica per poi passare alle varie applicazioni.

Sino ai primi anni Õ60 e anche dopo, sembrava che le sole analisi chimiche, anche di routine, potessero risolvere i problemi relativi alla conoscenza dei suoli, alla loro variabilitˆ spaziale e temporale e ai vari problemi di utilizzazione agricola o forestale.

Presso il Centro Regionale Agrario Sperimentale, oggi AGRIS, lÕEnte Autonomo del Flumendosa, oggi ENAS, e successivamente presso le Universitˆ di Cagliari e Sassari, furono iniziati e portati a termine diversi lavori sia nel campo della ricerca che in quello dellÕapplicazione agraria ed ingegneristica. LÕinsegnamento universitario iniziˆ qualche anno pi• tardi, prima nel corso di laurea in Scienze Geologiche della Facoltˆ di Scienze M.F.N. dellÕUniversitˆ di Cagliari, e successivamente nella Facoltˆ di Agraria dellÕUniversitˆ di Sassari. Cos“ cominciˆ una scuola di Pedologia in Sardegna con un modesto numero di allievi che • cresciuto nel tempo. Fra questi allievi tre sono gli autori di questo interessante lavoro: Rita Puddu, Stefano Loddo e Stefania Fanni.

LÕevoluzione scientifica e tecnologica impone nuove metodologie come quelle applicate nel loro lavoro per affrontare un grande problema italiano, mediterraneo e mondiale ossia quello della salinizzazione e della definizione di un modello del rischio di tale fenomeno.

Sin dagli anni Õ90, nellÕambito del progetto dellÕUnione Europea sulla desertificazione nel Mediterraneo, a cui hanno partecipato Rita Puddu e Stefano Loddo, il problema della salinizzazione ha avuto un ruolo importante sia nello studio dei processi che in quelli di lotta e tutela.

Dai risultati ottenuti non sembrerebbe che il problema sia di grande rilevanza in Sardegna, ma se si rapporta alle aree di interesse, ossia le superfici pianeggianti, il rischio assume unÕimportanza ben pi• elevata.

Il modello presentato in questa sede non solo costituisce un momento importante per la conoscenza, ma segna una tappa per la sua applicazione ad area vasta e in riferimento ad altri problemi ambientali della Sardegna e del Mediterraneo, in particolare per le risorse ambientali non facilmente rinnovabili, come i suoli e le acque.

Sono sicuro che lÕAGRIS, insieme allÕAgenzia LAORE e allÕENAS, con la collaborazione anche delle due Universitˆ sarde, potrˆ colmare quelle lacune sulla conoscenza dei processi pedologici e delle metodologie di studio per soddisfare le esigenze dellÕIsola e per diventare un esempio per tutto il Mediterraneo.

Angelo Aru
Professore Ordinario di Geopedologia
Universitˆ di Cagliari

Introduzione

Il progetto che presentiamo costituisce il compendio delle attivitˆ svolte nel biennio 2006-2007, come gruppo di lavoro di Pedologia e del Laboratorio di analisi fisico-chimiche dellÕAGRIS, sulla tematica della salinizzazione dei suoli in aree agricole e costiere.

Con alcuni progetti preliminari a scala locale, avviati nel 2000 e incentrati sulla verifica dellÕestensione e diffusione dei suoli salini nei territori agricoli di Muravera, Arborea e Decimoputzu, abbiamo iniziato ad affrontare il problema di come valutare, a fini cartografici, un fenomeno di cui non • mai stata quantificata in Sardegna lÕincidenza in termini areali e di intensitˆ, seppure notoriamente presente e ricorrente in molte pianure agricole irrigue.

La nutrita bibliografia consultata su questo argomento e i diversi esempi di modellizzazione del rischio proposti dalle varie comunitˆ scientifiche nazionali e internazionali a cui abbiamo fatto riferimento, ci hanno indotto a estendere i nostri studi e le informazioni acquisite con le precedenti esperienze a tutto il territorio regionale, partendo dalla constatazione che le conoscenze sulla salinizzazione dei suoli in Sardegna sono sempre state riferite a poche situazioni locali e conseguentemente molto frammentarie.

Oltre a ciˆ, la scarsitˆ di misure ben distribuite nellÕintero territorio regionale ha portato, in alcuni casi, a una eccessiva teorizzazione del fenomeno cosicchŽ le stime effettuate sullÕestensione dei suoli salini in Sardegna sono state sinora basate sulla somma delle superfici in cui • ÒprobabileÓ che si verifichino problemi di salinizzazione (per un riscontro oggettivo dei fattori potenziali di rischio) ma non necessariamente confortate da dati reali di salinitˆ misurati.

Il nostro primo obiettivo • stato perciˆ quello di realizzare una cartografia che quantificasse lÕestensione dei suoli salini e lÕintensitˆ della manifestazione nelle aree agricole pi• importanti, al fine di fornire un dato ufficiale sulle proporzioni del fenomeno a scala regionale.

La Carta della distribuzione dei suoli a differente grado di salinitˆ della Sardegna rappresenta, in tal senso, un documento inedito di cui la Regione Sardegna disporrˆ per unÕulteriore conoscenza del proprio territorio, soprattutto a fini pianificatori e di programmazione delle attivitˆ produttive, grazie anche alle ampie opportunitˆ di collegamento con le banche dati e i Sistemi Informativi Geografici predisposti dalle diverse amministrazioni per la stesura dei piani regionali (Piano Paesaggistico, Piano di Sviluppo Rurale, ecc.).

A completamento del lavoro, infine, abbiamo impostato un Modello di calcolo del rischio di salinizzazione utilizzando, in un primo momento, la Carta come documento di verifica del modello stesso e, successivamente, come livello informativo essenziale per il calcolo definitivo del rischio.

Sviluppato come obiettivo secondario in seno al progetto, e qui esposto nelle sue linee metodologiche principali, il Modello vuole rappresentare un utile strumento di analisi della problematica salinizzazione che potrˆ essere applicato, grazie alla possibilitˆ di essere arricchito con nuovi dati, a studi di maggior dettaglio in territori pi• circoscritti.

Rita Puddu

Il problema della salinizzazione

La salinizzazione • un processo di degrado dei suoli ampiamente studiato dalla comunitˆ scientifica internazionale per le importanti implicazioni riconosciute oramai non solo in campo agronomico ma a livello ambientale. (Monteleone, 2006)La salinizzazione • soprattutto un problema di desertificazione, che si realizza e acuisce in particolar modo nelle regioni a clima arido e semi-arido con manifestazioni e intensitˆ diversamente apprezzabili.

Il fenomeno consiste nel progressivo accumulo di sali solubili nel suolo. Pu˜ essere distinto in due tipi: salinitˆ primaria, di origine naturale, e salinitˆ secondaria, indotta dallÕuomo attraverso pratiche agricole non adeguate e un uso del territorio non sostenibile (irrigazione con acque non idonee, abuso di concimi minerali, eccessivi emungimenti dalle falde, cementificazione degli alvei, ecc.).

I processi di accumulo si manifestano in particolar modo nelle piane agricole costiere, che per loro natura risultano sensibili a fenomeni di ingressione marina, ma anche in molte pianure agricole irrigue interne dove il rischio di salinizzazione • di norma dovuto allÕutilizzo di acque di scarsa qualitˆ, spesso aggravato dalla presenza di suoli con propriet ˆ che limitano una buona lisciviazione dei sali, come la presenza di orizzonti impermeabili e la sfavorevole posizione fisiografica.

La salinizzazione si manifesta attraverso la riduzione della biodiversitˆ, lo sviluppo stentato delle coltivazioni e, pi• in generale, con la riduzione della fertilitˆ del suolo e delle produzioni agrarie.

Foto 1. Serdiana- Su Staini Saliu
Stagno interno alla fine della stagione estiva in cui i processi di salinizzazione primaria sono al culmine per la forte evaporazione in atto.

Foto 2. Villaputzu
Suoli agricoli in area costiera interessati da salinitˆ primaria. LÕaccumulo superficiale dei sali • dovuto alla risalita capillare favorita da una falda salmastra poco profonda.

Foto 3. Sestu

Foto 4. Villaputzu

Esempi di salinizzazione secondaria. Le pratiche agricole adottate, come lÕuso eccessivo di concimi minerali (Foto 3) e lÕirrigazione a goccia con acque saline (Foto 4) causano il progressivo accumulo di sali in superficie.

Foto 5 e 6. Muravera

Aree agricole in stato di abbandono per problemi di salinitˆ.

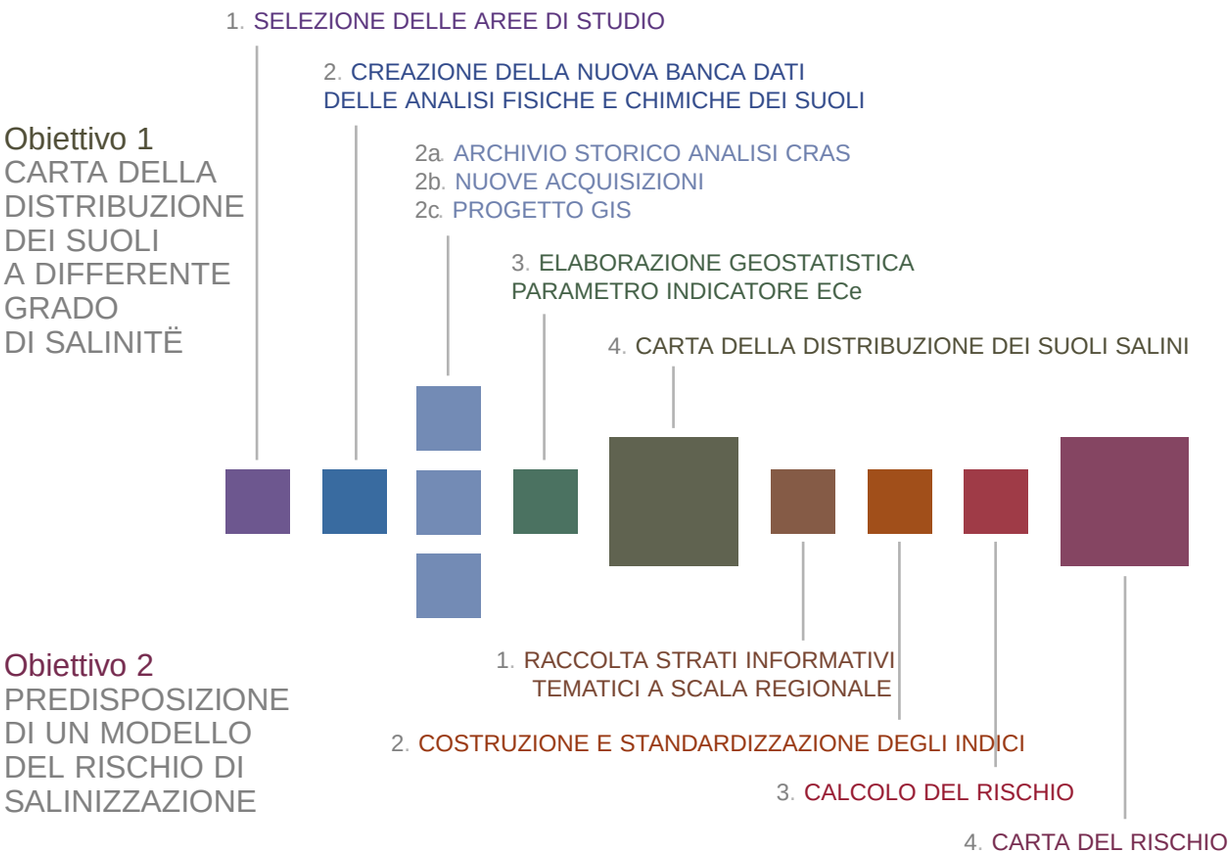
Obiettivi del progetto

1) REALIZZAZIONE DELLA CARTA DELLA DISTRIBUZIONE DEI SUOLI A DIFFERENTE GRADO DI SALINITË NELLE AREE AGRICOLE DELLA SARDEGNA

2) IMPOSTAZIONE DI UN MODELLO DI CALCOLO DEL RISCHIO DI SALINIZZAZIONE

La Carta della distribuzione dei suoli salini ha rappresentato il tematismo preminente dell'intero progetto ed è stata propedeutica alla procedura utilizzata nella predisposizione del modello del rischio di salinizzazione per il quale è stata impiantata una base logica di strati informativi da inserire in un GIS, di cui la carta stessa rappresenta il tematismo più importante.

Le fasi operative sono state articolate, e di seguito descritte, secondo questo schema:



OBIETTIVO 1

Carta della distribuzione dei suoli a differente grado di salinitˆ

1. Selezione delle aree di studio

Lo studio • stato condotto sulle porzioni del territorio regionale in cui lÕassetto orografico e ambientale costituiscono Òfattori predisponentiÓ allÕinsorgere dei processi di salinizzazione; le aree di indagine selezionate, pertanto, sono state circoscritte attraverso la combinazione di due vincoli morfologici ritenuti idonei a delimitare le superfici con maggior grado di esposizione al rischio di salinizzazione e a rappresentare, al tempo stesso, una sufficiente variabilitˆ pedologica e dÕuso agricolo del suolo. Tali vincoli sono una quota massima di 100 metri sul livello del mare e una classe di pendenza compresa tra lo 0 e il 2%.
Con questi criteri sono state delimitate le 20 aree di indagine riportate in figura 1. Su di esse sono stati pianificati ed eseguiti 431 nuovi campionamenti di suolo ed effettuate le analisi di laboratorio a integrazione di quelle giˆ esistenti. Complessivamente i dati analitici utilizzati sono stati 1547, distribuiti su una superficie di quasi 250.000 ettari (tabella 1).

Dato il carattere regionale dello studio, la definizione del numero dei nuovi punti di prelievo e della loro distribuzione nel territorio • stata basata sulla scala di riconoscimento, o generalizzata, 1:250.000.
In particolare si • tenuto conto:
1) delle indicazioni della FAO (FAO, 1985), che dettano il numero minimo di osservazioni alle diverse scale di rilevamento;
2) del posizionamento dei dati analitici giˆ disponibili;
3) dellÕestensione delle aree di indagine;
4) della necessitˆ di ottenere una distribuzione ottimale dei punti ai fini dellÕelaborazione geostatistica.

Tabella 1
Aree di studio, superfici indagate e numero di dati utilizzati. Le superfici si intendono al netto delle tare morfologiche e antropiche (specchi dÕacqua, piccoli rilievi isolati, insediamenti urbani e industriali, infrastrutture varie).

ID	AREE DI STUDIO	Superificie in ettari	Numero di campioni	
			nuovi prelievi	dati esistenti
1	S. Priamo	1.722	13	11
2	Muravera Ð Villaputzu Ð S. Vito	1.509		- 230
3	Quirra	1.265	15	9
4	Barisardo	2.239	12	92
5	Tortol“	3.350	15	60
6	Orosei	1.266	15	21
7	Posada	2.209	10	42
8	Budoni Ð San Teodoro	1.270	13	-
9	Olbia	2.325	13	1
10	Arzachena	1.282	9	2
11	Valledoria	2.866	15	1
12	Sorso	1.490	12	22
13	Porto Torres Ð Stintino	2.639	17	-
14	Nurra	18.623	72	-
15	Bosa	165	7	5
16	Isola di S. Antioco	2.121	13	8
17	Isola di S.Pietro	592	20	5
18	Basso Sulcis Ð P.ta de SÕAliga	12.212		38 21
19	Pula	3.468	10	5
20	Campidano Ð Cixerri Ð Marmilla	184.531	112	581
	TOTALE	247.144	431	1116

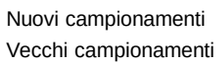


Figura 1 Aree di indagine e punti di campionamento

2. Creazione della nuova banca dati delle analisi fisiche e chimiche dei suoli

2a. ARCHIVIO STORICO ANALISI

Il laboratorio di analisi chimico-fisiche del Dipartimento Produzioni Vegetali dellÕAGRIS ha maturato, in oltre 30 anni di attivitˆ, una notevole esperienza nelle analisi dei suoli, delle acque e delle piante, fornendo una media di circa 4000 analisi allÕanno. Le analisi sono state prodotte soprattutto per conto di operatori dellÕassistenza tecnica agli agricoltori, di varie istituzioni universitarie e dei ricercatori della Agenzia stessa.

Nel corso degli anni i risultati analitici sono stati organizzati secondo differenti sistemi di archiviazione informatica, sempre associati a un certificato dÕuscita in formato cartaceo. Pi• precisamente una prima forma di archiviazione • avvenuta su server SUN¨ in ambiente UNIX¨ su database ORACLE¨, a cui • succeduta, a partire dallÕanno 2000, una semplice archiviazione su foglio elettronico Excel¨.
Per la costituzione di una nuova banca dati, funzionale al Sistema Geografico Informativo gestore della cartografia dei suoli salini, si • dovuto affrontare preliminarmente la verifica di tutte le determinazioni analitiche sui suoli prodotte per le pi• svariate richieste (analisi per piani di concimazione, analisi per studi pedologici in senso stretto, analisi di controllo e monitoraggio, ecc.) e successivamente lavorare sullÕarmonizzazione dei dati differentemente archiviati. é stata poi avviata la progettazione di un nuovo modello logico di database, da cui poter estrarre facilmente i parametri specifici utilizzabili per la carta.
Una prima organizzazione • stata fatta con lÕomologazione dei dati a uno stesso formato tabellare su foglio elettronico Excel¨, includendo tutti i tipi di analisi svolte, da quelle cosiddette Òdi routineÓ (granulometria, pH, basi di scambio, macroelementi, ecc.) a quelle derivate da specifiche richieste (pF, microelementi, metalli pesanti, ecc.).

Contemporaneamente si • verificata lÕattinenza delle metodiche analitiche in relazione agli standard ufficiali attualmente adottati, effettuando la necessaria conversione o trascrizione dellÕunitˆ di misura di talune determinazioni a un unico sistema di riferimento (es. da % a g/kg, mmhos/cm a dS/m e cos“ via).
I dati cos“ riuniti in unÕunica tabella sono stati poi selezionati, in funzione della loro esclusiva utilitˆ al progetto, secondo i seguenti criteri:

a) rintracciabilitˆ del campione nel territorio regionale: in mancanza di un riferimento alla localitˆ di prelievo (assenza di coordinate catastali e/o geografiche) il dato • stato automaticamente escluso dal database;

b) campionamenti effettuati in pieno campo: tutte le analisi sui suoli campionati in serra sono state riorganizzate in uno specifico database, ma non contemplate nelle valutazioni per questo progetto;

c) etˆ delle determinazioni analitiche: le analisi antecedenti al 1997 non sono state incluse nella banca dati in quanto non archiviate elettronicamente; la Carta pertanto • stata elaborata sui dati relativi al decennio 1997-2006.

2b. NUOVE ACQUISIZIONI

LÕindagine sul fenomeno, condotta con campionamenti eseguiti mediante trivella a mano di tipo Edelman, ha interessato esclusivamente lo spessore del top soil (profondit^ media di 40 cm), in quanto corrispondente allo strato arabile dei suoli agrari esplorato dalle radici della maggior parte delle piante.
I punti di prelievo sono stati georeferenziati con un GPS portatile in coordinate UTM-WGS84, poi convertite in UTM Gauss-Boaga tramite il software Traspunto.
Sebbene lÕubicazione dei punti sia stata individuata preliminarmente alla fase di campionamento per ottenere una distribuzione spaziale omogenea ai fini dellÕelaborazione geostatistica, si • talvolta reso necessario correggerne la posizione sul campo, in funzione dellÕaccessibilit^ ai campi e dellÕuso del suolo presente al momento del campionamento; quando • stato possibile si • comunque preferito operare sempre in presenza di usi agricoli.
Nelle piane costiere, al fine di stimare lÕinfluenza sul processo di salinizzazion della variabile Òdistanza dalla costa e dagli specchi dÕacqua saliniÓ, sono sta effettuati dei campionamenti lungo i bordi degli stagni o allÕinterno delle aree palustri, per la presenza di suoli a elevato contenuto naturale in sali, anche se privi di interesse agricolo.

I campioni infine sono stati consegnati in laboratorio per lÕesecuzione delle analis fisico-chimiche, eseguite in accordo con i ÒMetodi ufficiali di analisi chimica e fisica del suoloÓ del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (Pagliai, 2001).
Ad analisi concluse, i dati sono stati immessi nel database secondo le regole d armonizzazione e omologazione precedentemente predisposte per lÕarchivio storic del laboratorio.

Alcuni momenti
del campionamento

2c. PROGETTO GIS

Per sviluppare il progetto cartografico con il GIS • stato necessario convertire tutti i riferimenti catastali, contenuti nei certificati di analisi dellÕex CRAS, nelle loro corrispondenti coordinate geografiche puntuali (centroidi) secondo il datum ROMA40, ossia il sistema di riferimento con cui • georeferenziata la maggior parte della cartografia in Italia e, in particolare quella disponibile per la Sardegna.

La conversione delle informazioni geografiche dal formato Cassini-Soldner, tipico delle informazioni cartografiche catastali, al ROMA40 con coordinate Gauss-Boaga • un tema ampiamente dibattuto nellÕambito delle problematiche cartografiche[1].

Per la Sardegna le informazioni disponibili per la georeferenziazione dei centroidi dei mappali catastali nel datum ROMA40 sono piuttosto scarse. LÕunica indicazione • rappresentata dal catasto olivicolo e viticolo creato dallÕAIMA negli anni Õ90 e disponibile in Sardegna presso lÕente di sviluppo agricolo LAORE. Il lavoro dellÕAIMA contiene, in formato raster, tutti i fogli catastali della Sardegna e le informazioni numeriche sulle coordinate dei centroidi dei mappali in appositi file di testo.

Con lo scopo di ottenere uno shape file di punti a partire da queste informazioni, i file di testo sono stati processati e filtrati tramite un software originale appositamente progettato in Visual Basic¨ in occasione di questo lavoro. Le informazioni sulla localizzazione dei centroidi (coordinate X e Y), sul Comune di appartenenza (codice ISTAT) e sul foglio e mappale catastale sono state estratte con una procedura semiautomatica assistita dallÕoperatore e inserite allÕinterno di un database relazionale in formato .mdb di Access¨. In questo modo • stata ottenuta lÕinformazione della posizione geografica dei mappali, organizzata secondo una chiave univoca costituita dal Codice ISTAT del Comune, dal numero del foglio catastale e dal numero del mappale catastale.

Il database relativo ai centroidi • stato quindi convertito in uno shape file costituito da circa 2 milioni e 600 mila punti, ognuno rappresentativo di un mappale catastale della Sardegna (figura 2a).

Le difficoltˆ incontrate sono state notevoli, in primo luogo legate alla numerositˆ dei punti da generare e quindi alla dimensione e gestione dello shape file risultante e, in secondo luogo, legate al problema della numerazione dei fogli e dei mappali, che nel tempo • cambiata diverse volte in funzione dellÕevoluzione del frazionamento fondiario.

Allo stesso modo le analisi chimiche dei suoli estratte dal database ORACLE¨ sono state controllate e omologate. Anche per questo livello informativo • stata creata una chiave univoca di relazione uguale alla precedente (codice ISTAT Ð n. Foglio Ð n. Mappale).

Grazie alla presenza di questi campi comuni, la tabella delle analisi e quella dei dati catastali sono state collegate per generare una terza tabella dove compaiono le informazioni analitiche relative alle chiavi univoche comuni. Questa tabella • stata importata in ambiente GIS e, in funzione delle coordinate Gauss Boaga in essa contenute, • stato generato uno shape file di oltre 2300 certificati di analisi chimico-fisiche dei suoli (figura 2b).

[1] Si tratta di due modi differenti di rappresentazione di uno spazio curvo (porzioni di superficie della Terra) su un foglio di carta piano (la mappa vera e propria). Il Sistema Catastale Italiano si riferisce alla rappresentazione della Terra secondo un Ellissoide di riferimento (Ellissoide di Bessel) differente, come forma e misure, dallÕellissoide di riferimento utilizzato dal sistema Gauss-Boaga (Ellissoide Internazionale di Hayford).

Figura 2a
Stralcio dello shape file derivante dalla georeferenziazione in Gauss Boaga dei 2.600.000 centroidi del catasto AIMA

Figura 2b
Shape file delle 2300 analisi agganciate

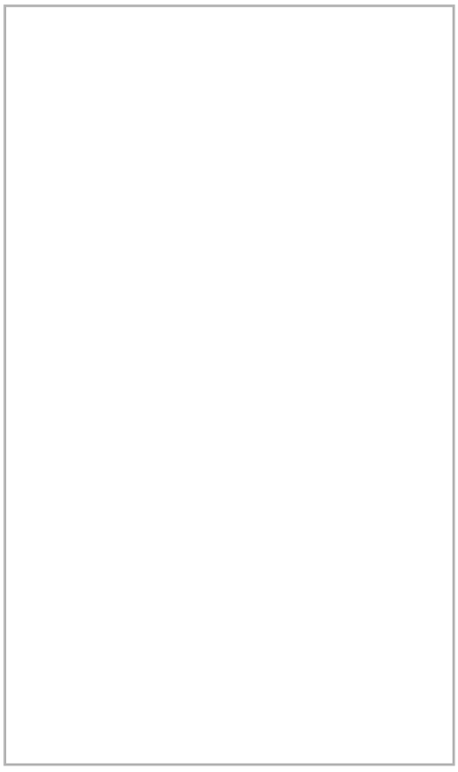


Figura 2a
Dettaglio della Nuovo database dopo il processing in Visual Basic¨ contenente i dati catastali associati ai relativi centroidi attraverso la chiave univoca

SCELTA DEL PARAMETRO INDICATORE

Comunemente viene definito salino un suolo che contiene lo 0.1 - 0.2% di sali solubili, criterio che risulta piuttosto impreciso poichŽ non dˆ indicazione sulla concentrazione della soluzione del suolo a diretto contatto con le radici, che • a sua volta funzione della quantitˆ dÕacqua presente. Le variazioni del contenuto idrico del suolo influenzano sensibilmente non solo la concentrazione, ma anche la composizione chimica della soluzione e gli equilibri fra gli ioni in soluzione e quelli legati in forma scambiabile alla fase solida. Si sceglie quindi di esprimere la salinitˆ non come percentuale in peso di sali solubili (TDS), ma come concentrazione della soluzione del suolo determinata dalla misura della sua conducibilitˆ elettrica dellÕestratto in pasta satura (Electrical Conductivity Estract, o ECe), espressa in dS/m a 25¡C. Questo parametro risulta ben correlato sia alla concentrazione salina che alla pressione osmotica della soluzione circolante del suolo. AllÕaumento della concentrazione delle soluzioni corrisponde, infatti, un aumento della pressione osmotica per cui, oltre un certo valore, le piante non sono pi• capaci di assorbire acqua e si comportano come se fossero in condizioni di aridit ˆ. In aggiunta allÕeffetto osmotico le piante, di fronte ad elevate concentrazioni di particolari specie ioniche, sono soggette a squilibri nutrizionali, che comportano conseguentemente uno sviluppo stentato, manifestazioni di tossicitˆ, diminuzione delle produzioni e in casi estremi alla morte delle piante (Aringhieri, 1999).

Secondo lÕU.S. Laboratory Staff, e in senso strettamente pedologico, un suolo • classificato come salino quando la sua conducibilitˆ elettrica • superiore a 4 dS/m, il pH • minore di 8 e la percentuale di Sodio di scambio (ESP) • minore di 15.

Il limite di 4 dS/m per la conducibilitˆ elettrica assume un significato agronomico importante in quanto rappresenta il livello di salinitˆ a cui la crescita e lo sviluppo di un gran numero di colture, tra le pi• comuni, comincia ad essere influenzato negativamente.

La tabella 2 riporta i limiti di tolleranza delle principali colture agrarie in condizioni di massima produzione potenziale; per incrementi di poche unitˆ di conducibilitˆ si registrano, per quasi tutte le colture indicate, riduzioni della produzione anche del 25% (FAO, 1988).

Alla luce di quanto esposto, la rappresentazione della variabilitˆ spaziale della salinitˆ nelle aree indagate • stata espressa come variazione di Conducibilitˆ Elettrica dellÕestratto in pasta satura, da ora in poi citata come ECe.

COLTURE DA PIENO CAMPO	ECe (dS/m)
orzo	8.0
barbabietola	7.0
sorgo	6.8
grano duro	5.7
riso	3.0
mais	1.7
fava	1.5
fagiolo	1.0
COLTURE ORTICOLE	**ECe (dS/m)**
zucchino	4.7
bietola da orto	4.0
pomodoro	2.5
cetriolo	2.5
sedano	1.8
cavolo	1.8
patata	1.7
peperone	1.5
lattuga	1.3
cipolla	1.2
fragola	1.0
carota	1.0
COLTURE FORAGGERE	**ECe (dS/m)**
orzo da foraggio	6.0
loietto	5.6
festuca	3.9
veccia	3.0
medica	2.0
mais da foraggio	1.8
trifoglio alessandrino	1.5
trifoglio pratense	1.5
COLTURE ARBOREE	**ECe (dS/m)**
olivo	2.7
pompelmo	1.8
arancio	1.7
limone	1.7
pesco	1.7
pero	1.7
melo	1.7
noce	1.7
albicocco	1.6
mandorlo	1.5
susino	1.5
vite	1.5

Tabella 2
Soglia di tolleranza alla salinitˆ del suolo
di alcune specie di interesse agrario per la Sardegna
in condizioni di massima produzione potenziale

3. Elaborazione geostatistica del parametro indicatore ECe

PRINCIPI GENERALI DELLA GEOSTATISTICA

Le metodologie della statistica spaziale, o geostatistica, si rivelano in genere molto efficaci per la stima di variabili la cui natura • intrinsecamente territoriale, consentendo la creazione di mappe di stima in punti non monitorati. Infatti, mentre lÕanalisi statistica tradizionale esplora i dati svincolandoli dalla loro localizzazione nello spazio, con la geostatistica si attua una rappresentazione cartografica di dati rilevati, da cui emergono raggruppamenti geografici spontanei indicanti aree con differenti valori della variabile considerata.
Il contributo principale della geostatistica • quello di aver messo a punto una procedura basata sul concetto classico della regressione lineare e di averla adattata alla trattazione di problemi in cui il fattore chiave • rappresentato dalla dipendenza spaziale fra i dati; lÕassunto di base • che i valori dellÕattributo oggetto dello studio non sono distribuiti casualmente nello spazio, ma variano con continuit^ e sono tra loro dipendenti (o autocorrelati), altrimenti espresso, secondo la prima legge della geografia di Tobler, dove cose pi• vicine sono pi• simili rispetto alle cose pi• lontane. La continuit^ spaziale •, in tal senso, un riflesso di tutti i processi che avvengono nellÕambiente.
NellÕapplicare la geostatistica agli studi ambientali, quale nel caso specifico la rappresentazione della variabilit^ dei suoli salini nel territorio, si deve necessariamente affrontare il problema di come massimizzare la verosimiglianza del campo spaziale indagato, e ricostruito in carta, rispetto alla realt^. é necessario, in pratica, trovare il metodo pi• idoneo per ottimizzare la stima nei punti non campionati partendo dalle caratteristiche di unicit^ e non-ripetitivit^ dei dati misurati.
La stima avviene attraverso lÕutilizzo di opportuni interpolatori che permettono di ottenere restituzioni grafiche a vario grado di accuratezza in funzione del numero e della distribuzione dei punti misurati.
Le tecniche tradizionali di interpolazione spaziale offerte dalla geostatistica sono diverse (spline, inverso del quadrato della distanza, natural neighbor, ecc.) e tutte possono rappresentare un buon strumento interpretativo della variabilit^ di un fenomeno. Queste per~ non permettono di verificare lÕerrore della predizione nei punti non campionati, e il grado di incertezza sui valori stimati • pesantemente condizionato dalla quantit^ di dati sperimentali disponibili e dalla diversit^ dei valori assoluti associati.
Solo la tecnica del kriging permette di valutare la varianza di stima (error kriging), o in altri termini lÕaffidabilit^ della carta, ma la possibilit^ del suo utilizzo • necessariamente subordinata al possesso di unÕelevata quantit^ di dati misurati.

ELABORAZIONE GEOSTATISTICA DELLA VARIABILE ÒECeÓ

In funzione della scala di rilevamento, della superficie indagata e della diversa numerosit^ di punti misurati a disposizione per ciascuna delle 20 aree, sono state applicate due differenti tecniche geostatistiche: il kriging e lÕInverso del Quadrato della Distanza (IDW).
PoichŽ lÕabbassamento dellÕerrore di stima presuppone una numerosit^ di dati misurati molto alta, il kriging• stato utilizzato solo nelle aree in cui questo requisito era garantito:

1) nella piana di Muravera-Villaputzu-S. Vito perchŽ si disponeva di una elevata quantitˆ di dati derivati dagli studi pregressi;
2) nella Nurra perchŽ la sua estensione, in rapporto alla scala utilizzata, ha consentito di raggiungere un numero adeguato di campioni;
3) nel Campidano-Cixerri-Marmilla perchŽ si disponeva giˆ di un elevato numero di analisi dÕarchivio e lÕampliamento del data-set con i nuovi prelievi ha permesso di ottenere unÕottimale distribuzione dei campioni sul territorio.
LÕestensione delle altre aree non ha permesso di utilizzare la stessa tecnica a causa di un insufficiente numero di dati imposto dalla scala di rilevamento 1:250.000; lÕelaborazione spaziale • stata in questi casi ottenuta attraverso lÕIDW.
In sintesi, tutte le aree trattate con la tecnica del kriging rappresentano una ÒmediaÓ del fenomeno e nella mappatura i punti caposaldo (realmente misurati) sono anchÕessi mediati. Il grado di precisione della stima nei punti non misurati • risultato cos“ molto elevato ma, al tempo stesso, si • persa lÕinformazione del valore campionato.
Con lÕIDW, al contrario, si • mantenuto il valore ÒveroÓ nei punti campionati ma la stima dellÕinterpolazione nei punti ignoti soffre di un maggior grado di errore.
In ogni caso, entrambe le tecniche hanno permesso di valutare con buona approssimazione la variabilitˆ territoriale della salinizzazione e sono risultate soddisfacenti, in relazione alla scala adottata, per delineare aree omogenee per espressione del fenomeno[2]

[2] Le elaborazioni geostatistiche col kriging sono state condotte con lÕausilio dellsoftware Isatis¨ della Geovariances, in collaborazione con i ricercatori del CRA-ISAGRO di Bari; le elaborazioni geostatistiche con lÕIDW delle restanti aree e il pre-processing di tutti i dati georeferenziati sono state invece elaborate dal gruppo di Pedologia dellÕAGRIS tramite lo Geostatistical Analyst di ARCMap¨ di ESRI.

4. La Carta della distribuzione dei suoli a differente grado di salinitˆ

La variabilitˆ spaziale del fenomeno ÒsalinizzazioneÓ nelle aree agricole della Sardegna • stata formulata come variabilitˆ del parametro Conducibilitˆ Elettrica dellÕestratto in pasta satura (ECe) nello strato superficiale del suolo. Il territorio indagato • stato discretizzato in 10 classi di ECe, con intervalli variabili in funzione della risposta produttiva alle variazioni di conducibilitˆ delle colture agrarie pi• diffuse in Sardegna.

PoichŽ la maggior parte delle colture pu˜ subire sensibili riduzioni di produzione anche per variazioni minime di ECe, si • scelto di istituire le prime otto classi sulla base di incrementi molto piccoli, ossia di 0,5 dS/m. Tali incrementi sono stati applicati sino a 4 dS/m, valore soglia per la definizione dei suoli salini. Oltre questo valore solo poche colture risultano tolleranti (per lo pi• seminativi e foraggiere), conseguentemente il range per la definizione della nona classe • stato fissato tra 4 e 8 dS/m (valore limite per lÕorzo, la colture pi• tollerante). Dato lÕinteresse agronomico pressochŽ nullo delle aree in cui questo valore viene superato, nellÕultima classe sono stati accorpati tutti i valori di salinitˆ > di 8 dS/m. Questa classe in realtˆ include uno spettro di valori molto diversi, arrivando a picchi di ECe assai elevati (valore massimo misurato = 127 dS/m nellÕarea di Budoni) che si rinvengono soprattutto in corrispondenza delle aree peristagnali e lagunari.

La Carta presente in allegato, che per motivi tipografici • stata restituita alla scala approssimativa di 1:300.000, costituisce la sintesi delle elaborazioni effettuate nelle 20 aree di studio (con il dettaglio del 250.000), esposte singolarmente in relazione.

Per tutte le 20 piane agricole sono state inserite le seguenti informazioni:

- una tabella con la ripartizione, in ettari e in percentuale, delle superfici corrispondenti ad ognuna delle 10 classi di ECe;
- un diagramma con le percentuali delle superfici suddivise in sole quattro classi di ECe per una lettura pi• sintetica della distribuzione dei suoli: poco salini (0-2 dS/m), mediamente salini (2-4 dS/m), salini (4-8 dS/m) e molto salini (>8 dS/m).

Nella tabella 3 si riporta lo stesso dato di sintesi per tutta la Sardegna, esprimendo la ripartizione delle aree in relazione:

1) allÕintera superficie regionale;
2) alla Superficie Agricola Utilizzabile (SAU);
3) alla superficie effettivamente indagata.

DallÕesame della Carta e dallÕelaborazione dei dati analitici in possesso • emerso che il fenomeno di salinizzazione dei suoli, nonostante i segnali allarmanti espressi dalla comunitˆ agricola che hanno indotto ad affrontare questo studio, • risultato complessivamente di modesta entitˆ, prevalentemente diffuso nelle piane costiere entro una fascia di due chilometri dal mare e in buona parte circoscritto ad aree seminaturali di retrospiaggia o prossime agli stagni.

Nelle pi• estese piane agricole della Nurra e del Campidano-Cixerri-Marmilla sono stati riscontrati valori elevati di salinit^ solamente a livello locale. I pi• rilevanti si concentrano intorno allÕarea di Arborea, specialmente nelle aree della bonifica di Sassu, dove lÕECe comunque non supera i 10 dS/m (risultante dallÕinterpolazione di valori anche superiori a 23 dS/m), grazie allÕeffetto combinato delle opere di bonifica idraulica e dellÕuso diffuso di acque irrigue consortili di buona qualit^.

Tabella 3
Estensione e ripartizione percentuale dei suoli rilevati per classi di Conducibilit^ Elettrica dellÕestratto in pasta satura

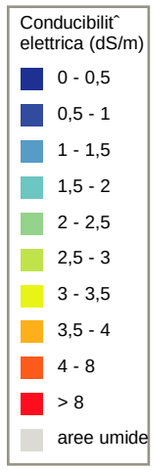
	Ettari	% rispetto alla Sardegna	% rispetto alla SAU regionale	
superficie Sardegna	2.409.000			
superficie SAU	1.020.411	42,4		
superficie indagata	247.143	10,3	24,2	
CLASSI DI ECe (dS/m)	Ettari	% rispetto alla Sardegna	% rispetto alla SAU regionale	% rispetto alla superficie indagata
0 - 2 suoli poco salini	224.029	9,3	22,0	90,6
2 - 4 suoli mediamente salini	13.453	0,6	1,3	5,4
4 Ð 8 suoli salini	4.652	0,2	0,5	1,9
> 8 suoli molto salini	5.008	0,2	0,5	2,0

Dai dati di sintesi riportati in tabella 3 si evidenzia che i suoli compresi nelle classi da mediamente salini a molto salini non superano il 9,3% dellÕarea indagata, mentre rappresentano appena il 2,3% della SAU regionale.
Il risultato, apparentemente confortante, pu˜ portare a sottovalutare le gravi ripercussioni che la salinizzazione dei suoli, seppure localizzata, induce nel territorio interessato da tale problema. Non deve essere trascurato, infatti, quanto la natura altamente variabile del fenomeno, sia in termini di diffusione che di intensit^, dipenda da fattori a loro volta molto dinamici nel tempo e nello spazio, come ad esempio il clima e la gestione antropica. Pertanto, la tendenza allÕincremento o alla regressione dei processi di salinizzazione pu˜ essere valutata solo a partire dalla conoscenza dello stato del fenomeno nel territorio in un dato momento, e solo attraverso un monitoraggio di medio e lungo periodo.
In tal senso la Carta della distribuzione dei suoli a differente grado di salinizzazione ha il duplice scopo di fornire la base di conoscenze allo stato attuale sul grado di salinit^ dei suoli nel territorio regionale ed evidenziare, al contempo, le situazioni locali su cui sarebbe opportuno approfondire le indagini o comunque intraprendere azioni di controllo continue e durature.

Regione

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	14414	5,83
0,5 - 1	170660	69,05
1 - 1,5	29101	11,78
1,5 - 2	9853	3,99
2 - 2,5	5966	2,41
2,5 - 3	3444	1,39
3 - 3,5	2420	0,98
3,5 - 4	1624	0,66
4 - 8	4652	1,88
>8	5008	2,03
totale	247143	100,00

Ripartizione % dei suoli per classi di ECe rispetto alla superficie totale indagata


Conducibilit`
elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide

1
San Priamo

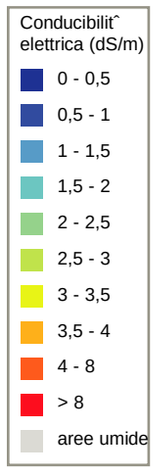
classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	46	2,67
0,5 - 1	170	9,85
1 - 1,5	316	18,33
1,5 - 2	152	8,82
2 - 2,5	201	11,68
2,5 - 3	149	8,66
3 - 3,5	71	4,10
3,5 - 4	69	4,00
4 - 8	362	21,00
>8	188	10,89
totale	1722	100,00

Ripartizione % dei suoli per classi di ECe

2
Muravera - Villaputzu - San Vito

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	62	4,09
0,5 - 1	304	20,13
1 - 1,5	117	7,73
1,5 - 2	85	5,62
2 - 2,5	77	5,09
2,5 - 3	39	2,60
3 - 3,5	31	2,03
3,5 - 4	31	2,04
4 - 8	245	16,23
>8	520	34,45
totale	1509	100,00

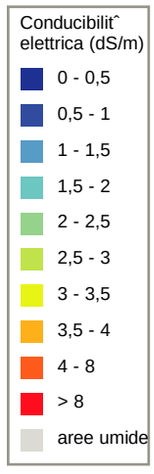
Ripartizione % dei suoli per classi di ECe


Conducibilit`
elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide

3
Quirra

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	104	8,20
0,5 - 1	444	35,09
1 - 1,5	249	19,71
1,5 - 2	168	13,24
2 - 2,5	63	4,95
2,5 - 3	40	3,15
3 - 3,5	21	1,66
3,5 - 4	12	0,97
4 - 8	79	6,25
>8	86	6,79
totale	1265	100,00

Ripartizione % dei suoli per classi di ECe

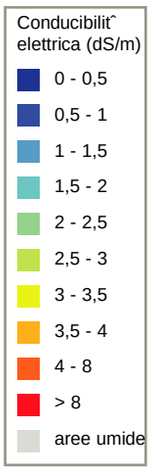

Conducibilitˆ
elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide

4

Barisardo

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	534	23,84
0,5 - 1	1216	54,31
1 - 1,5	240	10,73
1,5 - 2	59	2,64
2 - 2,5	35	1,57
2,5 - 3	30	1,32
3 - 3,5	29	1,28
3,5 - 4	22	0,96
4 - 8	40	1,81
>8	35	1,54
totale	2239	100,00

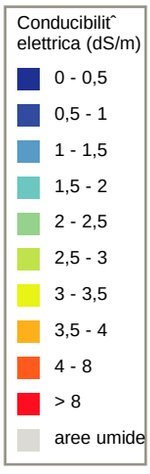
Ripartizione % dei suoli per classi di ECe


Conducibilit^
elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide

5
Tortol“

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	2315	69,11
0,5 - 1	923	27,54
1 - 1,5	96	2,86
1,5 - 2	11	0,34
2 - 2,5	5	0,15
2,5 - 3	0	0,00
3 - 3,5	0	0,00
3,5 - 4	0	0,00
4 - 8	0	0,00
>8	0	0,00
totale	3350	100,00

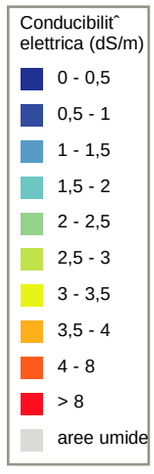
Ripartizione % dei suoli per classi di ECe


Conducibilitˆ elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide

6
Orosei

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	8	0,63
0,5 - 1	210	16,57
1 - 1,5	311	24,54
1,5 - 2	172	13,55
2 - 2,5	209	16,54
2,5 - 3	78	6,15
3 - 3,5	53	4,21
3,5 - 4	52	4,13
4 - 8	134	10,56
>8	40	3,12
totale	1266	100,00

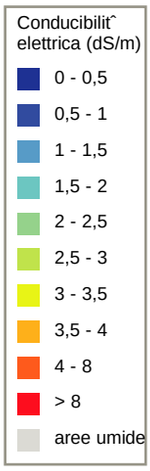
Ripartizione % dei suoli per classi di ECe


Conducibilitˆ elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide

7
Posada

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	185	8,37
0,5 - 1	701	31,72
1 - 1,5	298	13,47
1,5 - 2	251	11,34
2 - 2,5	190	8,59
2,5 - 3	132	5,99
3 - 3,5	110	4,99
3,5 - 4	75	3,39
4 - 8	178	8,05
>8	90	4,09
totale	2209	100,00

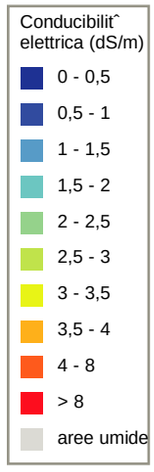
Ripartizione % dei suoli per classi di ECe


Conducibilitˆ elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide

8
Budoni - San Teodoro

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	7	0,54
0,5 - 1	145	11,41
1 - 1,5	113	8,88
1,5 - 2	155	12,19
2 - 2,5	51	4,03
2,5 - 3	38	2,96
3 - 3,5	26	2,08
3,5 - 4	22	1,75
4 - 8	95	7,46
>8	619	48,70
totale	1270	100,00

Ripartizione % dei suoli per classi di ECe


Conducibilit`
elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide

9
Olbia

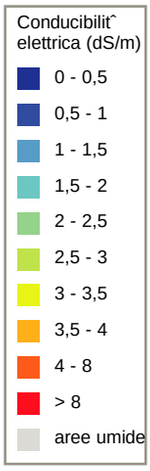
classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	11	0,47
0,5 - 1	344	14,79
1 - 1,5	468	20,15
1,5 - 2	378	16,25
2 - 2,5	219	9,42
2,5 - 3	125	5,40
3 - 3,5	115	4,93
3,5 - 4	28	1,20
4 - 8	119	5,10
>8	518	22,30
totale	2325	100,00

Ripartizione % dei suoli per classi di ECe

10
Arzachena

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	4	0,27
0,5 - 1	51	3,94
1 - 1,5	100	7,79
1,5 - 2	155	12,07
2 - 2,5	165	12,84
2,5 - 3	191	14,88
3 - 3,5	175	13,67
3,5 - 4	127	9,87
4 - 8	217	16,90
>8	100	7,76
totale	1282	100,00

Ripartizione % dei suoli per classi di ECe


Conducibilitˆ elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide

11
Valledoria

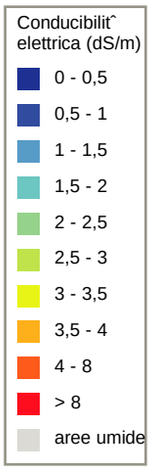
classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	0	0,00
0,5 - 1	59	2,07
1 - 1,5	131	4,57
1,5 - 2	937	32,69
2 - 2,5	977	34,09
2,5 - 3	527	18,38
3 - 3,5	121	4,23
3,5 - 4	49	1,71
4 - 8	65	2,26
>8	0	0,00
totale	2866	100,00

Ripartizione % dei suoli per classi di ECe

12
Sorso

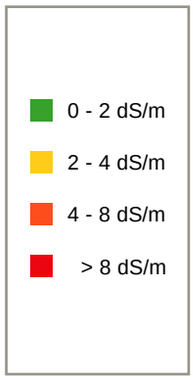
classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	6	0,41
0,5 - 1	682	45,77
1 - 1,5	448	30,04
1,5 - 2	88	5,91
2 - 2,5	131	8,80
2,5 - 3	53	3,56
3 - 3,5	14	0,96
3,5 - 4	26	1,72
4 - 8	42	2,83
>8	0	0,00
totale	1490	100,00

Ripartizione % dei suoli per classi di ECe


Conducibilit`
elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide

13
Porto Torres - Stintino

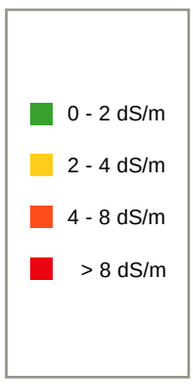
classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	0	0,00
0,5 - 1	148	5,63
1 - 1,5	530	20,08
1,5 - 2	126	4,77
2 - 2,5	93	3,53
2,5 - 3	83	3,14
3 - 3,5	94	3,57
3,5 - 4	69	2,61
4 - 8	767	29,07
>8	729	27,61
totale	2639	100,00



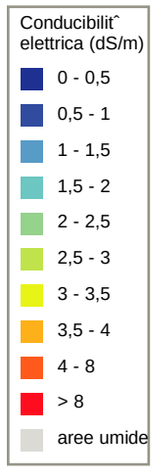
Ripartizione % dei suoli per classi di ECe

14
Nurra

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	6306	33,86
0,5 - 1	11822	63,48
1 - 1,5	472	2,54
1,5 - 2	10	0,05
2 - 2,5	3	0,02
2,5 - 3	2	0,01
3 - 3,5	2	0,01
3,5 - 4	2	0,01
4 - 8	4	0,02
>8	0	0,00
totale	18623	100,00



Ripartizione % dei suoli per classi di ECe


Conducibilitˆ elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide

15
Bosa

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	0	0,00
0,5 - 1	54	32,46
1 - 1,5	47	28,29
1,5 - 2	19	11,34
2 - 2,5	32	19,57
2,5 - 3	5	2,91
3 - 3,5	1	0,68
3,5 - 4	1	0,39
4 - 8	3	1,84
>8	4	2,52
totale	165	100,00

Ripartizione % dei suoli per classi di ECe

16
SantÕAntioco

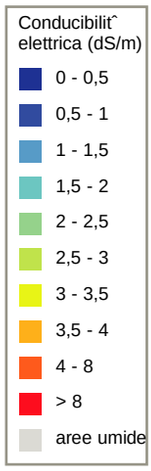
classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	2	0,11
0,5 - 1	24	1,12
1 - 1,5	94	4,41
1,5 - 2	128	6,03
2 - 2,5	116	5,47
2,5 - 3	114	5,38
3 - 3,5	85	3,99
3,5 - 4	80	3,78
4 - 8	515	24,26
>8	964	45,46
totale	2121	100,00

Ripartizione % dei suoli per classi di ECe

17
Isola di San Pietro

classi di ECe	area in ettari	%
0 - 0,5	0	0,00
0,5 - 1	0	0,00
1 - 1,5	0	0,00
1,5 - 2	0	0,00
2 - 2,5	0	0,00
2,5 - 3	0	0,00
3 - 3,5	0	0,03
3,5 - 4	1	0,19
4 - 8	103	17,42
>8	487	82,36
totale	592	100,00

Ripartizione % dei suoli per classi di ECe


Conducibilit^
elettrica (dS/m)
0 - 0,5
0,5 - 1
1 - 1,5
1,5 - 2
2 - 2,5
2,5 - 3
3 - 3,5
3,5 - 4
4 - 8
> 8
aree umide