



A.D. MDLXII

Università di Sassari
Scuola Di Dottorato In Scienze della Natura e delle Sue Risorse

XXVIII Ciclo

Tra Conoscenza Locale e Scientifica:
Indagine Etnopedologica e Geostatistica
Applicata allo Studio dei Suoli
nel Contesto Territoriale del Golfo di Oristano

Dott. Antonio Ganga

ANNO ACCADEMICO 2014 - 2015

Direttore della Scuola: *Prof. Marco Curini-Galletti*

Tutori: *Dott. Gian Franco Capra*

La presente tesi è stata prodotta nell'ambito della Scuola Di Dottorato In Scienze Della Natura e Delle Sue Risorse dell'Università degli Studi di Sassari, a.a. 2012/2013 – XXVIII ciclo, con il supporto di una borsa di studio finanziata con le risorse del P.O.R. SARDEGNA F.S.E. 2007-2013 - Obiettivo competitività regionale e occupazione, Asse IV Capitale umano, Linea di Attività I.3.1.

Abstract

This research aims to increase the environmental knowledge of a complex area (the Gulf of Oristano) investigating the following aspects:

- The distribution and behaviour of some key potentially toxic elements (PTE).
- To integrate, through an innovative ethnopedological approach (EA), local and scientific knowledge in order to improve our understanding of the whole environmental and socio-economic aspects that have historically characterized such area.

The realization and implementation of provisional geostatistical models related to the presence of some PTE, by applying the Ordinary Kriging (OK), have shown a spatial distribution that, except for some specific area, is mainly linked with the natural geological and/or pedological conditions.

The results coming from the integrated EA shows that toponymy (TP) cannot be intended merely as a contextual geographic practice aiming to attribute a specific place name to a predefined space. It rather represents a really complex and articulated dynamic objectivation of a geographic entity. This process is the consequence of a strong, deep, and often conflicting interaction among humans, culture, and the surrounding environment. During the Anthropocene period, the influence of human activities on TP has been so intensive that many place names are now coined to mainly indicate the “artificial” man-made features of an intensively anthropized environment. Such “technogenic TPs” could represent the “written witness” of the Anthropocene during subsequent eras.

Indice

Introduzione	5
Parte 1. Inquadramento Territoriale	8
Introduzione.....	8
1.1 Struttura e Assetto Geografico. Il Sistema del Golfo di Oristano	10
1.2 Aspetti Climatici e fitoclimatici	17
1.3 Aspetti geologici.....	19
1.4 Aspetti morfologici.....	26
1.5 Aspetti pedologici.....	30
1.6 Uso del suolo	31
1.7 Corpi idrici superficiali e aree umide.	35
1.8 Aspetti Vegetazionali	38
Conclusioni.....	40
Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano	45
Introduzione.....	45
2.1 L'approccio geostatistico nella caratterizzazione spaziale dei fenomeni ambientali.....	47
2.2 Geostatistica e scienza del suolo.	50
2.3 Analisi geostatistica. Creazione di mappe di predizione relative alla distribuzione di PTE	54
2.4 Materiali e metodi.....	55
2.4.1 Modelli di interpolazione.	68
2.4.2 Principal Factor Analysis	72
2.5 Risultati e discussione	73
Parte 3. L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.	117
Introduzione.....	117
3.1 Indigenous Knowledge	119
3.2 L'etnopedologia come sintesi di Indigenous e Scientific Knowledge	120
3.3 Materiali e Metodi	127
3.4 Risultati/Discussione	145
3.5 Analisi tramite CCA.	158
Conclusioni.....	167
Conclusioni	180

Introduzione

Il presente lavoro di ricerca parte dalla necessità di definire e validare strumenti necessari all'analisi territoriale di sistemi ambientali di tipo complesso. A partire da un caso studio paradigmatico della Regione Sardegna, il lavoro è stato quindi sviluppato allo scopo di approfondire alcuni degli aspetti di rilevanza ai fini della dotazione di strumenti previsionali e di lettura delle tematiche in un'ottica di supporto alle decisioni. Nello specifico, si è proceduto nell'affrontare due distinti canali di indagine, il cui *trait d'union* è consistito nel quadro geografico di analisi. L'area oggetto di studio è infatti stata individuata nella superficie del territorio della Regione Sardegna indicata geograficamente col nome di Golfo di Oristano. Essa occupa approssimativamente il settore centro-orientale dell'isola, in corrispondenza della superficie delineata come Ambito di Paesaggio "Golfo di Oristano" per l'appunto, definito all'interno del Piano Paesaggistico della Regione Sardegna.

Le due attività di ricerca hanno avuto come obiettivi:

1. La costruzione, l'implementazione e la verifica di modelli previsionali geostatistici sulla presenza e distribuzione di *Potentially Toxic Elements* (PTE) al suolo nell'area di studio. A partire dai dati acquisiti in sede di campionamento, si è studiata con l'ausilio di software specifici la distribuzione dei PTE a partire da uno dei modelli previsionali di natura geostatistica più comuni, l'Ordinary Kriging (OK). Allo scopo di riprodurre una cartografia indicativa della loro distribuzione.
2. La realizzazione di un'indagine di tipo etnopedologico, basata su un approccio integrato, sui toponimi dell'area. Tale indagine è stata condotta al fine di apportare conoscenze tradizionali (indigene) e, confrontandole con quelle tipo scientifico, apportare nuova conoscenza nel più complesso quadro delle conoscenze attinenti al contesto ambientale oggetto di studio.

L'obiettivo della prima ricerca, è stato quello di valutare e testare strumenti in grado di offrire una descrizione di fenomeni di distribuzione di alcuni PTE (acronimo inglese per *potentially toxic elements*) nei suoli. In dettaglio, gli elementi indagati sono stati il Ni, Zn, Cu e As. Si è dunque proposto un approccio di tipo geostatistico avente come obiettivo la produzione di una serie di mappe di predizione della distribuzione delle concentrazioni di tali elementi. La base dei dati di riferimento è stata quella dei valori relativi alla concentrazione dei metalli studiati

Introduzione

in un determinato numero (114) di campioni prelevati a livello di top soil (orizzonti di superficie A o A_p) durante una campagna di indagine volta al monitoraggio delle caratteristiche pedogeochemiche dell'area dell'oristanese. A seguito di ciò, si è sviluppato un processo di analisi in *steps* differenti, che ha condotto alla modellazione dei dati ambientali su differenti fasi:

1. Una prima fase di analisi esplorativa dei dati, basata sulle elaborazioni statistiche descrittive, la mappatura dei valori e alcune interpolazioni preliminari ottenute attraverso l'impiego di metodi deterministici (IDW, Inverse Distance Weight)
2. Una fase di analisi variografica, che ha consentito di studiare la distribuzione della variabilità dei dati nello spazio e quindi di individuare il modello matematico che più di altri consentisse di spiegarne la correlazione spaziale.
3. Interpolazione attraverso l'Ordinary Kriging, e produzione di risultati attraverso la costruzione delle mappe di predizione.
4. Convalida dei dati e realizzazione di analisi di statistica multivaria (PFA) a supporto e completamento del quadro analitico conoscitivo.

In questo frangente, l'approccio, pur mostrandosi ulteriormente perfezionabile, è stato utile al fine di fornire un quadro sulle dinamiche riguardanti i fenomeni ambientali oggetto di studio. Inoltre ha permesso l'emergere di aspetti che sono meritevoli di ulteriori approfondimenti dal punto di vista del dettaglio. Essi tuttavia hanno assunto una rilevanza nel quadro di un'indagine orientata a definire un quadro conoscitivo su scala regionale e di “cornice ambientale”, quale è quella definita dai limiti topografici dell'area di studio.

La seconda attività di ricerca è stata sviluppata al fine di implementare ulteriormente il quadro conoscitivo sull'area, cercando di integrare al meglio conoscenza locale e scientifica. A tal fine è stata effettuata una indagine di tipo etnopedologico, basata su un approccio integrato, sui toponimi dell'area di studio.

Questo strumento conoscitivo, sviluppatosi in maniera particolare negli ultimi decenni, consente di apportare un significativo margine informativo, non solo in termini quanti-qualitativi, ma anche in termini di incidenza dell'informazione nei processi di gestione e progettazione del territorio.

I nomi di luogo (toponimi) possono essere considerati un importante specchio della conoscenza locale e di come le popolazioni indigene percepiscono l'ambiente circostante. Lo scopo di questo aspetto della ricerca si è infatti concentrato, attraverso un approccio

Introduzione

etnopedologico di tipo integrato, sul significato e la distribuzione dei toponimi, con particolare (ma non esclusivo) riferimento ai pedonimi (toponimi legati alle risorse del suolo) utilizzati in special modo nella cartografia tradizionale e recente della Sardegna. Per fare un confronto adeguato tra conoscenza locale e scientifica, la ricerca è stata condotta attraverso una serie preordinata di fasi

1. Indagine sul patrimonio toponomastico dell'area, effettuata attraverso la raccolta dei toponimi, attingendo da diverse fonti (cartografiche e non).
2. Creazione di un database dei toponimi, con relativa traduzione in lingua italiana, ed implementazione in ambiente GIS;
3. Categorizzazione dei toponimi sulla base del loro significato prevalente;
4. Ricognizione e riordino dei dati pedologici e ambientali ottenuti tramite l'indagine sul campo e le analisi dei parametri fisico-chimici;
5. Elaborazione dei dati, attraverso l'impiego di strumenti di statistica multivariati (CCA), attraverso i quali si proceduto ad un confronto tra le conoscenze scientifiche, rappresentate dai parametri fisico-chimici e morfologici, e la conoscenza locale, rappresentata dal patrimonio toponomastico. A seguire è stata prodotta la rappresentazione grafica e cartografica dei risultati.

In generale, questo aspetto della ricerca ha mostrato come la toponomastica non possa essere intesa esclusivamente come un semplice processo di attribuzione di nomi a contesti geografici predefiniti. Esso rappresenta piuttosto un processo estremamente complesso ed articolato di oggettivazione dinamica (nel senso di conversione di un concetto astratto in un oggetto concreto). Questo processo è spesso conseguenza di una forte e profonda (spesso conflittuale) interazione tra essere umani (e popoli), culture e l'ambiente circostante. Uno degli aspetti più interessanti ed innovativi della ricerca è stato quello di rilevare come durante l'attuale Antropocene, l'influenza dell'attività umana su questi processi è stata ed è così intensa rispetto ai fenomeni naturali, che molti nomi di luogo conati in questa era indicano in prevalenza caratteristiche artificiali di un ambiente altamente antropizzato. L'importanza di questo aspetto è tale che il patrimonio di questi "toponimi tecnogenici" potrebbe rappresentare, nel prossimo futuro, una importante "testimonianza scritta" dell'Antropocene.

Parte 1. Inquadramento Territoriale

Introduzione

Il lavoro nella sua strutturazione e sviluppo generale, prevede una ripartizione in corrispondenza dei due livelli di indagine portati avanti. Tuttavia, pur differenziandosi nelle linee di ricerca, tali indagini condividono tra loro l'area oggetto di studio e il corpus di dati raccolti in esso. È pertanto doveroso fornire, attraverso il seguente capitolo, un riferimento puntuale sugli aspetti rilevanti dell'area attraverso una descrizione delle caratteristiche ambientali, che, oltre a fornire le necessarie indicazioni ai fini di un'esauritiva trattazione, restituisce ulteriori chiavi di lettura per una maggiore comprensione delle ricerche portate avanti.

L'approccio seguito cerca di discostarsi, almeno parzialmente, dalla semplice indagine conoscitiva finalizzata alla stesura di un rapporto di inquadramento territoriale, approfondendo, secondo uno schema puramente riduzionista, le caratteristiche ambientali sulla base dell'apporto delle varie discipline. Questo tuttavia, senza raggiungere gli scopi di un approccio antitetico (sistemico, quindi) ma piuttosto cercando laddove possibile, di creare una solida interazione tra le due modalità (Stella, 2015); puntuali e precise disamine settoriali interagiscono nella stesura del quadro complessivo, in un'ottica di definizione delle interazioni viste come unitarie in un sistema, nei limiti delle possibilità analitiche, ben definito. Tutto ciò inoltre, in linea con quanto già portato avanti in diversi settori, che come in questo caso, presentano alto grado di interdisciplinarietà (Schuster, 2007; Edmonds, 1999; Weber, 1995;)

Lo spazio geografico sede delle ricerche è inquadrabile geograficamente con il Golfo di Oristano, nel settore della Sardegna centro-occidentale (Fig.1), in una superficie individuata e definita dagli strumenti di Pianificazione Regionale (PPR), per un'estensione di circa 400 kmq. Per le sue caratteristiche, specialmente per quelle ascrivibili all'interazione uomo – natura, tale spazio si configura come un perfetto ambito di indagine, in particolar modo nel quadro delle possibilità di ridefinizione delle attività di gestione del territorio a più livelli d'azione.

In definitiva, la logica di definizione e descrizione dell'area studio, che, più che un'analisi territoriale “tout-court” si propone di essere uno strumento conoscitivo finalizzato a testare e

validare una serie di metodologie aderenti alla pedologia applicata sul campo dell'area di studio, contemplando e soddisfacendo al contempo la necessità di affrontare il problema secondo un approccio con solide basi epistemologiche.

Definizione dell'area di indagine e presupposti metodologici.

Il bisogno di fornire un quadro esaustivo dell'area di studio passa necessariamente per la definizione di un modello per la descrizione del contesto territoriale.

Come già accennato, i contributi delle discipline scientifiche, ma più in particolare i contributi di quel corpus di conoscenze connesse alla geografia nella sua accezione più ampia, si sono voluti qua esporre ed elevare nel quadro di un approccio accostabile a quello di tipo sistemico. Al fine di procedere con l'analisi e l'applicazione degli strumenti di seguito descritti, il primo passaggio è stato definire la cornice territoriale all'interno della quale operare. Tale operazione è mirata a disegnare uno spazio che entro i limiti di una trattazione di questa natura, rispettasse determinati requisiti, legati prevalentemente all'integrità della struttura del sistema ambientale, tenendo allo stesso tempo in considerazione aspetti legati alla storia dei luoghi, alla presenza e attività antropica, sia di tipo “materiale”, quali la presenza di centri urbani, manufatti e attività produttiva (comprese le modifiche territoriali semi-permanenti dovute alle attività agricole), sia di tipo “immateriale”, in questo specifico caso costituito dagli strumenti di pianificazione che disciplinano nei modi, nel tempo e nello spazio le azioni umane.

Nella pratica, questa fase è stata portata avanti con la definizione topografica dell'area di indagine attraverso un'operazione di intersezione¹ di due strutture che presentano delle caratteristiche funzionali ben precise. Essa infatti è ottenuta attraverso la sovrapposizione di due superfici:

- L'area compresa all'interno dell'Ambito n. 9 del Piano Paesaggistico Regionale della Sardegna;
- La Fascia Costiera della Sardegna.

La definizione dell'area di studio come sistema, comporta a questo punto un'indagine maggiormente dettagliata su alcuni aspetti. Si tratta principalmente di una ricognizione e

1 Con questo termine ci si riferisce all'operazione, in ambito spaziale, facente parte delle tecniche di Overlay analysis (Lucchesi 2005) che porta all'interazione di due poligoni (o polinee) al fine produrre un terzo, costituito dagli elementi comuni ai primi due. Le basi logiche di questa applicazione, integrata in tutti i sistemi GIS, si fonda sui presupposti teorici della geometria descrittiva.

riordino delle conoscenze sulle caratteristiche geografiche, geologiche, pedologiche, biotiche e antropiche, di seguito affrontate.

1.1 Struttura e Assetto Geografico. Il Sistema del Golfo di Oristano

L'area oggetto di indagine è definita dall'intersezione di due superfici, rispettivamente:

- Superficie dell'Ambito 9, “*Golfo di Oristano*”, così come definito dal PPR Sardegna approvato nel 2006 (RAS – 2006). In termini generali, la struttura degli Ambiti è definita sulla base delle caratteristiche qualitative del territorio, nonché dalle interrelazioni degli assetti ambientale, storico-culturale e insediativo. Il concetto di ambito è un concetto geografico che costituisce una declinazione del concetto di regione, appartenente al dominio della geografia tradizionale. Nel caso del PPR, l'ambito di paesaggio può essere considerato il dispositivo spaziale di pianificazione del paesaggio attraverso il quale s'intende indirizzare, sull'idea di un progetto specifico, le azioni di conservazione, ricostruzione o trasformazione (RAS, 2006). Gli ambiti di paesaggio sono individuati principalmente attraverso caratteristiche che ne definiscono la "forma". Quest'ultima si esplicita in una certa coerenza interna, con una struttura che ne rende la prima riconoscibilità; la suddivisione nasce quindi dalla necessità di esprimere le differenze qualitative paesaggistiche del territorio. All'interno del PPR gli ambiti individuati sono 27, allo stato attuale limitati al paesaggio costiero, ma che aprono alle relazioni con gli ambiti di paesaggio interni in una prospettiva unitaria di conservazione attiva del paesaggio ambiente regionale (RAS, 2006).
- *Fascia Costiera*. Tale spazio è definito come elemento lineare rappresentante il "bene paesaggistico d'insieme" (RAS, 2006) caratterizzato dai territori costieri maggiormente ricchi in biodiversità, in habitat ed ecosistemi. Si tratta di una costruzione topografica in cui il fitoclima e gli aspetti morfologici sono stati i criteri utilizzati per la definizione della fascia costiera in quanto bene paesaggistico di insieme. Le aree ricadenti tra la fascia costiera e la linea di costa sono un bene paesaggistico (Art. 17 comma 3 lettera a delle N.T.A. PPR). I territori della fascia costiera sono caratterizzati da un contesto territoriale i cui elementi costitutivi:

“sono inscindibilmente interrelati e la preminenza dei valori ambientali è

esposta a fattori di rischio che possono compromettere l'equilibrio dei rapporti tra habitat naturale e presenza antropica. (RAS 2006)”

L'intersezione tra queste due strutture, ha rafforzato l'unitarietà e la sistematicità dell'oggetto territoriale prodotto che va a costituire l'area di indagine (Fig. 1).

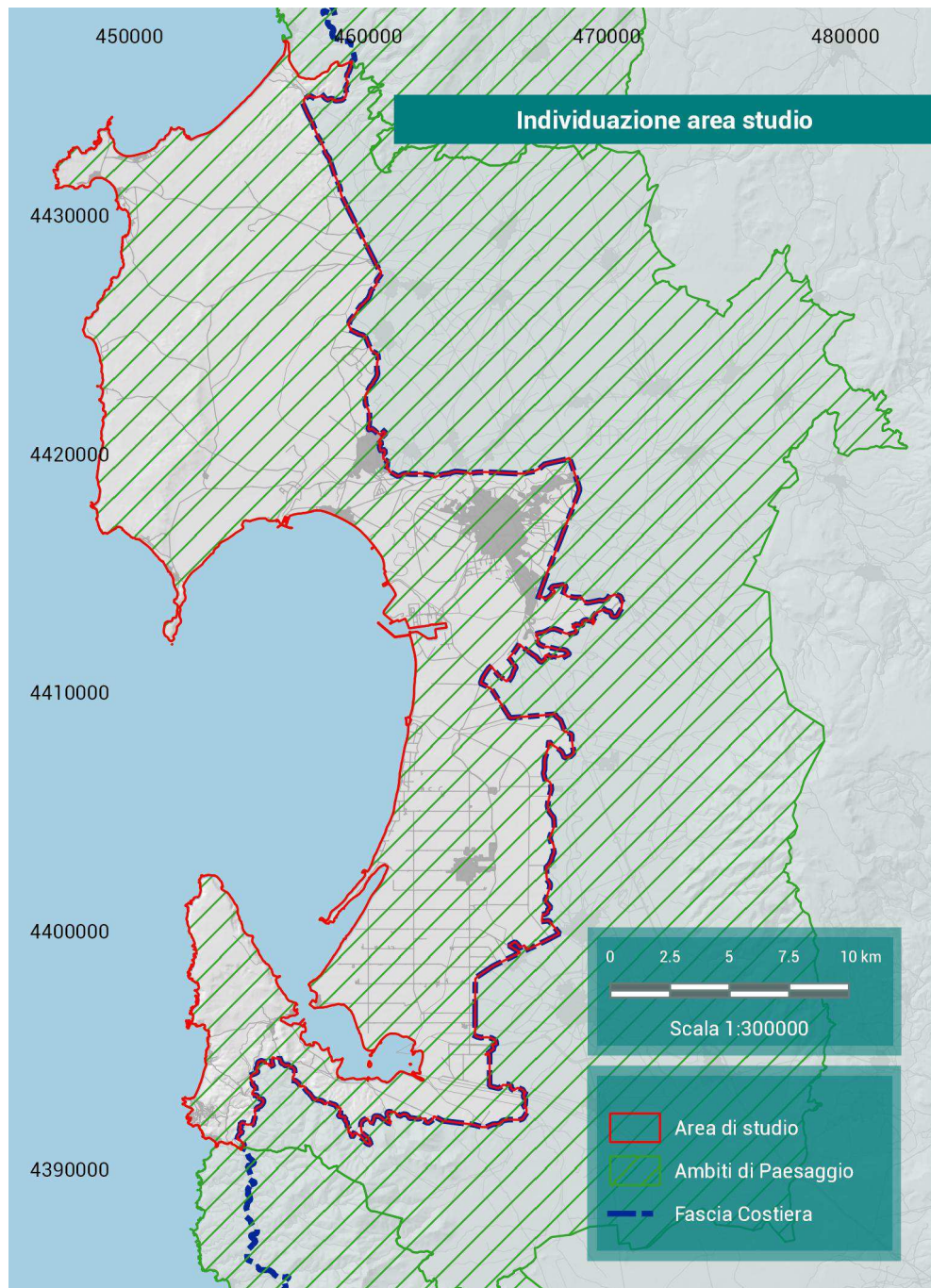


Fig. 1 – Area Studio

Parte 1 – Inquadramento Territoriale

Da un punto di vista squisitamente geografico, all'interno dell'isola tale spazio è inquadrabile nel settore centro occidentale, in una cornice avente per baricentro ambientale il Golfo di Oristano.

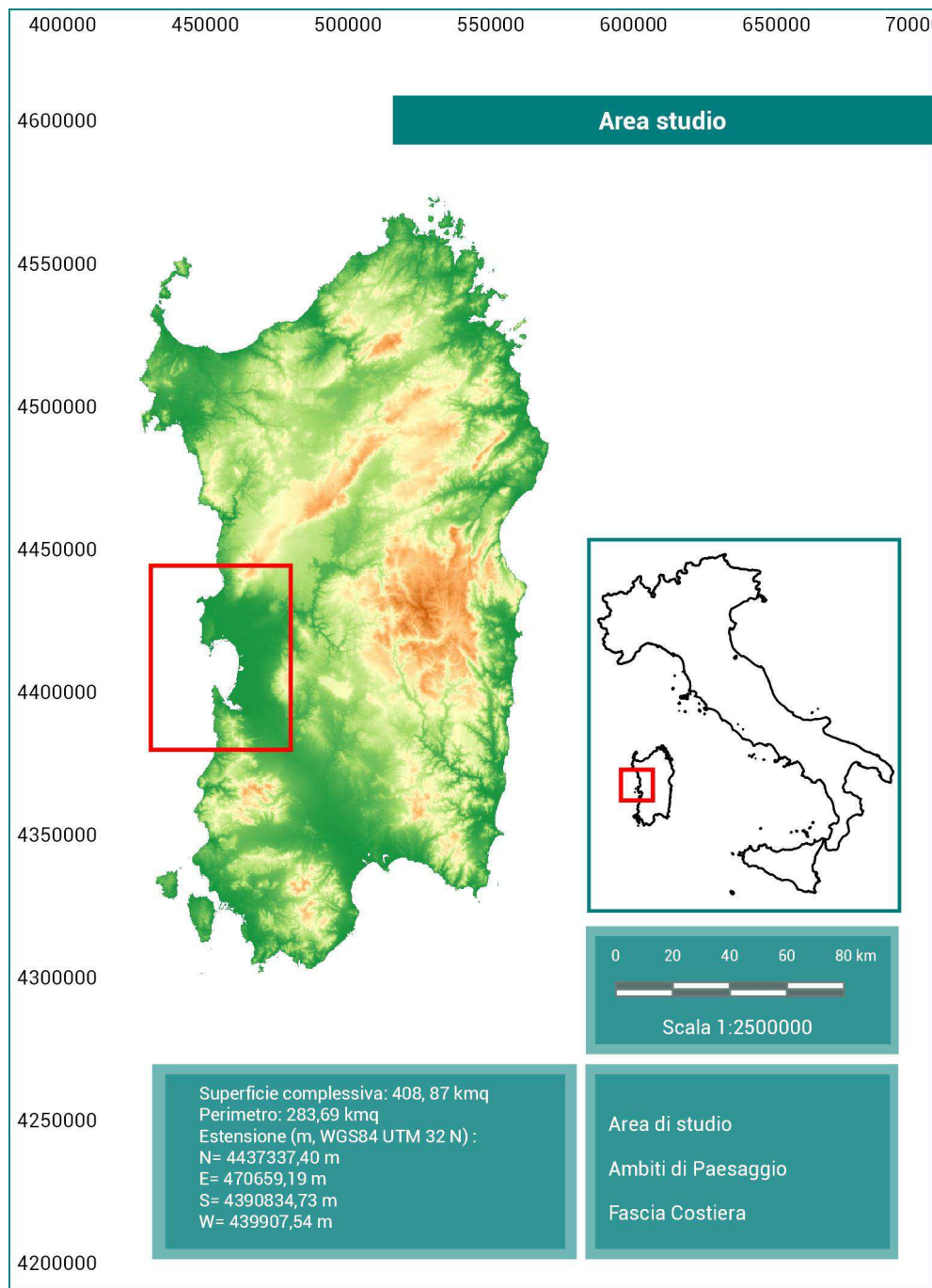


Fig. 2 – Inquadramento dell'area nel contesto regionale.

Parte 1 – Inquadramento Territoriale

Un ulteriore contributo alla definizione della complessità del sistema su scala regionale è dato da una prima analisi delle caratteristiche fisiche del territorio. L'inquadramento di tali aspetti è determinante al fine di confrontare i dati in possesso con i risultati ottenuti dalle interpolazioni spaziali. Pertanto vengono riassunti di seguito alcuni importanti riferimenti, frutto di elaborazioni spaziali GIS.(Fig. 2).

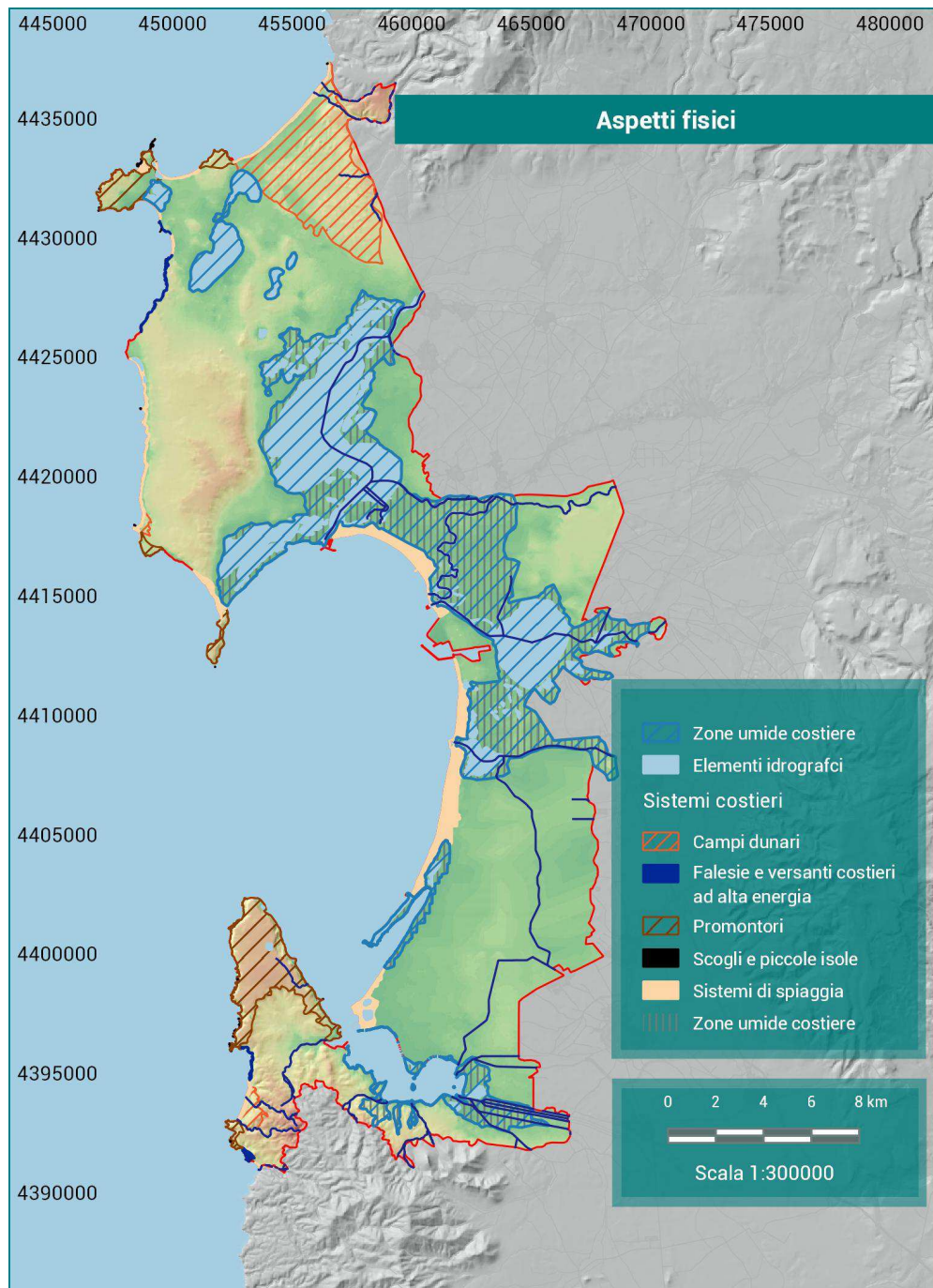


Fig. 3 – Aspetti fisici.

L'analisi delle caratteristiche del modello digitale del terreno² ha consentito di estrapolare delle informazioni riguardo alcune delle caratteristiche fisiche. Tali analisi, nello specifico, hanno consentito di evidenziare che:

- dal punto di vista squisitamente altimetrico, l'area si può classificare come pianeggiante (ISTAT, 2005), con un'altezza minima che si colloca di poco al di sotto del livello del mare (-4, -5 m in alcune aree litoranee) e una massima, in corrispondenza della P.ta su Trisioi, di circa 135 m;
- l'analisi delle pendenze mostra un'area a giacitura prevalentemente piana, con le pendenze maggiori concentrate in aree ridotte in termini assoluti e collocate nelle estremità meridionali e settentrionali dell'area. La tabella 1 riassume la distribuzione delle pendenza, suddivise per classi, secondo lo schema proposto dal Corine project (UE Commission, 1992).

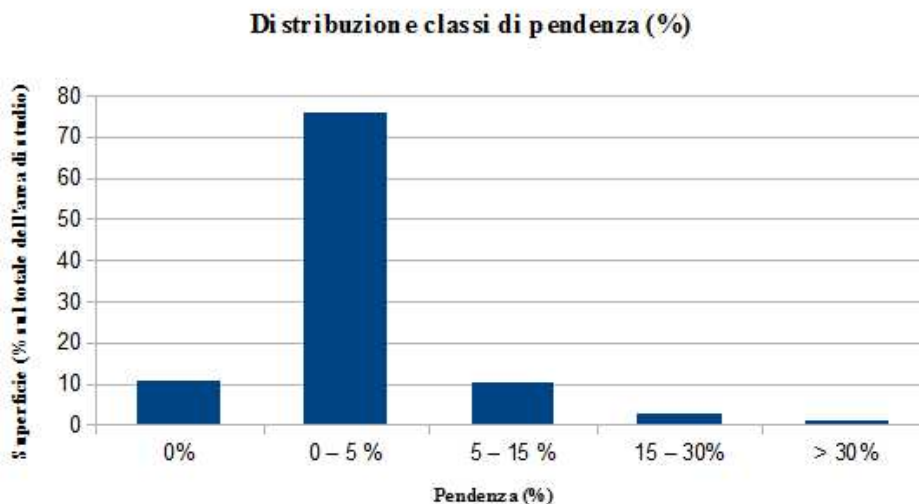


Grafico. 1 – Distribuzione delle classi di pendenza

Come sopra riportato in tabella, la stragrande maggioranza della superficie ha una pendenza compresa nell'intervallo tra lo 0 e il 5 %.

La superficie indicata con giacitura completamente piana (pendenza = 0%) si riferisce a quella occupata dai corpi d'acqua. La superficie in questione è decisamente significativa (10%) e ciò contribuisce ad enfatizzare il ruolo che il sistema delle aree umide gioca, sia in

2 Ottenuto per elaborazione del materiale disponibile all'URL:
<http://www.sardegnaeoportale.it/index.php?xsl=1594&s=40&v=9&c=8936&na=1&n=100>

termini qualitativi che quantitativi. La carta seguente riporta la distribuzione delle pendenze, calcolato attraverso software GIS³.

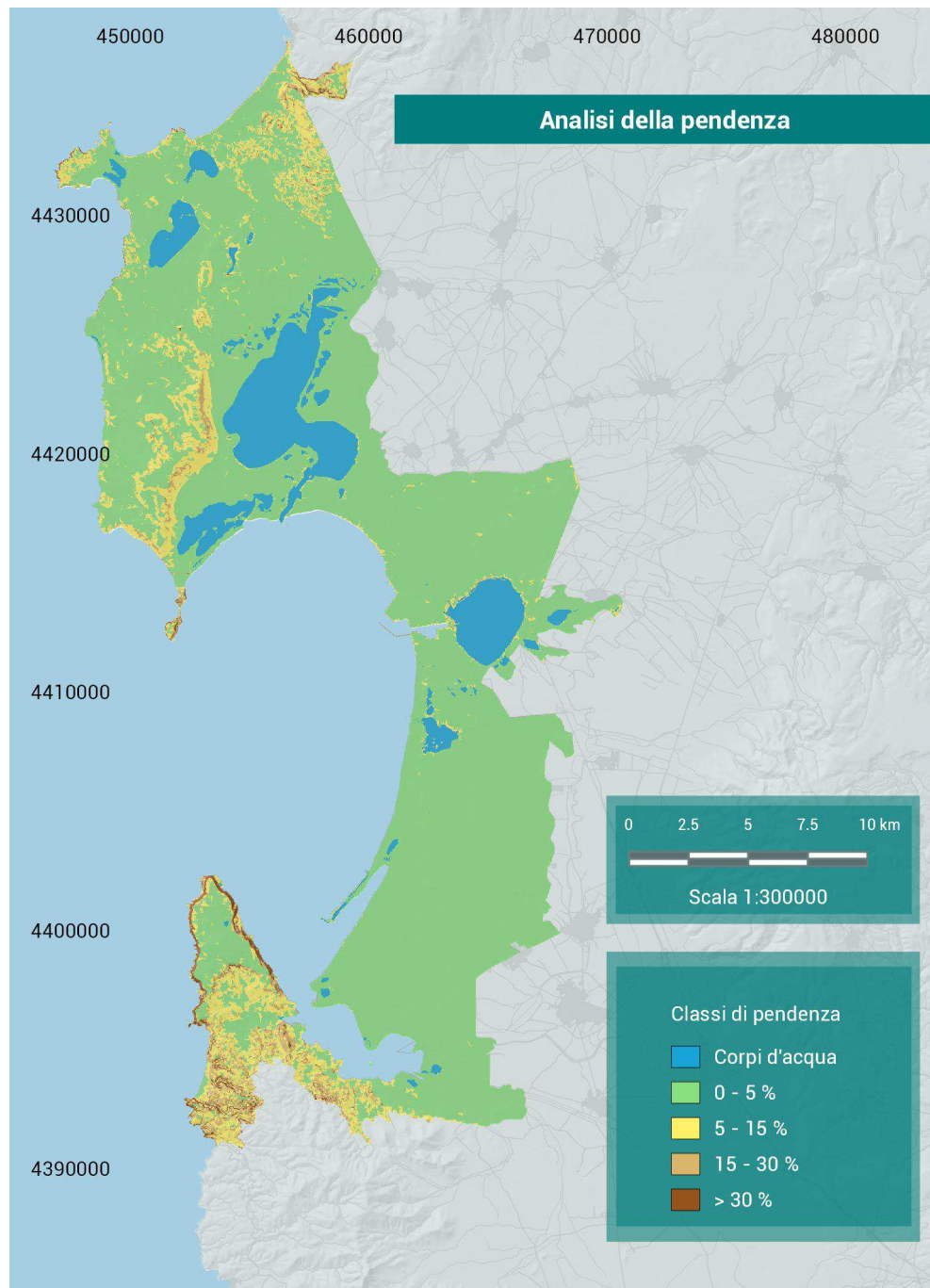


Fig. 4 – Carta delle pendenze.

Tra le strutture significative, emerge a Sud il promontorio che fa riferimento a Capo Frasca-Piana di Santadi, con l'immediato entroterra, caratterizzato da una maggiore asperità e

3 L'applicazione impiegata è l'estensione Spatial Analyst™ del software ESRI ArcGis™, rilasciata nella versione 10.0 del 2010

dall'andamento maggiormente tormentato. A Nord invece la penisola del Sinis interrompe la piana; se l'area appare accidentata, essa tuttavia è dal punto di vista altimetrico poco significativo.

Dal punto di vista strutturale, la completa sovrapposizione con l'Ambito paesaggistico di riferimento consente di inquadrarne le caratteristiche attraverso le informazioni ad esso correlate (RAS, 2006)⁴.

Coerentemente con quanto disposto per l'individuazione degli Ambiti, esso è difatti strettamente legato all'integrazione fra la struttura insediativa e quella ambientale. Nello specifico, la struttura ambientale si fonda sul sistema delle zone umide costiere che si estendono dal centro del Golfo di Oristano alla penisola del Sinis, fino a comprendere il compendio sabbioso di Is Arenas. Esso è delimitato a nord dalla regione del Montiferru; il confine occidentale è rappresentato esternamente dal sistema orografico del Monte Arci-Grighine. Occupano invece la porzione interna i Campidani centrali. Nel settore meridionale la struttura dell'arco costiero del sistema Arcuentu-Capo Frasca, è la componente più rilevante nonché margine inferiore del Golfo di Oristano.

Il "core" di tale sistema è articolata sui tre Campidani di Oristano e sul sistema idrografico del Tirso: il Campidano di Milis si sviluppa settentrionalmente rispetto agli altri due, con il Tirso come spartiacque fra il Campidano di Milis e il Campidano Maggiore, con il Campidano di Simaxis che si estende dall'arco costiero alle pendici del Monte Arci.

Il sistema ambientale e insediativo è strutturato, nella parte settentrionale dagli stagni e dal relativo bacino di alimentazione dello stagno di Cabras e nella parte centrale dalla rete idrografica e dal bacino fluviale del Medio e Basso Tirso. Sulla base della natura dei corpi idrici, l'area comprende degli scenari differenti (RAS 2006): quello dei bacini naturali, artificiali, permanenti o temporanei.

La particolare importanza di queste zone risiede non solo nel fatto che rappresentano una risorsa ecologica di rilevante interesse in termini di conservazione della biodiversità in ambito mediterraneo (RAS, 2006). Difatti, assumono un ruolo di rilievo i sistemi stagnali e lagunari costieri in quanto rappresentano ambienti di primario interesse ecologico, habitat di straordinaria rilevanza per l'avifauna acquatica e per le numerose specie ittiche e bentoniche; per tali motivi attorno ad essi si è sviluppata una filiera produttiva basata sullo sfruttamento

4 Il materiale è accessibile all'URL:
<http://www.sardegнатerritorio.it/j/v/1123?&s=6&v=9&c=2817&na=1&n=10>

delle risorse ittiche. Nello specifico ci si riferisce agli ambienti lagunari e stagnali che si sviluppano lungo la fascia costiera compresa tra Capo Mannu e Capo Frasca (Is Benas, Mistras, Cabras, Santa Giusta, Pauli Maiori, S'Ena Arrubia, Corru s'Ittiri e Corru Mannu San Giovanni e Marceddì).

La particolarità e la rilevanza del territorio del Golfo di Oristano, quindi risiede soprattutto nell'importante interazione tra i “luoghi dell'acqua”, identificabili con le aree umide, in quest'area estese per una superficie pari a quasi il 50% delle zone umide della Sardegna (Gaviano, 2015), i paesaggi fluviali (con la foce del più importante sistema idrografico della Sardegna, quello che fa riferimento al Tirso) e le strutture territoriali configurate dall'agire umano. Per quanto concerne questo ultimo aspetto, è importante notare come una superficie non trascurabile dell'area studio sia di fatto il risultato di una profonda riconfigurazione spaziale, conseguenza dei lavori di bonifica idraulica ed agraria realizzati nel corso della storia, nonché degli insediamenti urbani ed industriali degli ultimi decenni (Gaviano, 2015).

La piana costiera del Campidano settentrionale è infatti, l'area che ha subito le maggiori trasformazioni ad opera dei lavori di bonifica idraulica ed agraria realizzati agli inizi del XX secolo (Asole, 1984; Bitti et al., 1998). Tale trasformazioni, che per intensità e risorse impiegate hanno costituito uno delle più rilevanti sul quadro regionale, sono avvenute in tempi piuttosto rapidi; hanno di fatto consentito che tali contesti diventassero, anche grazie alle sue felici condizioni naturali, una delle zone più produttive dell'Isola (Asole, 1984; Mameli et al., 2010), ancora oggi uno dei distretti agricoli più importanti del panorama regionale.

Da questa prima disamina delle caratteristiche dell'area emerge innanzitutto un alto grado di complessità, in cui le differenti componenti interagiscono in un quadro di estrema variabilità in termini spaziali e non secondariamente temporali.

1.2 Aspetti Climatici e fitoclimatici

Volendo dare una definizione in termini generali del clima dell'area, lo si potrebbe ascrivere a quello di tipo mediterraneo sub-arido, caratterizzato da inverni miti ed estati non troppo calda; il massimo di precipitazioni si ha nella stagione invernale e il relativo minimo in estate. La

ventosità risulta essere intensa; tutto ciò in linea con le caratteristiche predominanti nelle aree a pari quota della Sardegna, dalle poco significative escursioni termiche diurne stagionali e con il picco di piovosità nei mesi invernali (Arrigoni, 1968).

L'analisi delle serie storiche (Gaviano, 2015), condotta sulla base dei dati disponibili e accessibili attraverso i canali di pubblicazione regionali⁵ del Servizio Tutela e Gestione delle Risorse Idriche, Vigilanza sui Servizi Idrici e Gestione della siccità della Regione Autonoma della Sardegna, nonché facendo riferimento ai contenuti tecnici e metodologici dello Studio sull'Idrologia Superficiale della Sardegna, elaborato dalla Regione Autonoma della Sardegna (1998).

Dall'elaborazione dei dati rilevati nelle stazioni termometriche disponibili (Riola Sardo, Oristano, Santa Giusta, Idrovora 14-Arborea), si evince che per il periodo 1988-2002 la temperatura media annua è di 17,3°C. Se si considera la sola stazione di Santa Giusta, per la quale si ha a disposizione la serie storica più lunga (1924-2002), la temperatura media annua è di 16,9°C.

Le escursioni termiche annue variano tra i 14,7°C di Santa Giusta ed i 17,5°C di Oristano, mentre Arborea (Idrovora14) e Riola Sardo mostrano la stessa escursione termica annua pari a 15,3°C.

Il mese più freddo è Gennaio con temperatura media di 9,9°C, anche se le temperature assolute più basse (attorno a 0°C) si possono registrare anche nei mesi di Dicembre e Febbraio; il mese più caldo (in sintonia con la stragrande maggioranza delle stazioni di rilevamento regionali) è Agosto, in cui si registra un temperatura media di 25,5°C.

Nel quadro descrittivo degli aspetti pluviometrici e in generale legati alle precipitazioni, i valori di riferimento sono quelli rilevati dal 1922 al 2009 nelle stazioni meteorologiche di Riola Sardo, Oristano e Santa Giusta e dal 1933 al 2009 nella stazione di Arborea (Gaviano, 2015). Nelle stazioni considerate, le misure delle precipitazioni medie annue hanno valori medi compresi tra i 560 e i 660 mm/anno.

Nell'arco di tempo coperto da osservazioni le precipitazioni sono generalmente concentrate nel periodo autunnale ed il maggior quantitativo di pioggia cade nel mese di Novembre. Il periodo estivo è caratterizzato per tutte le stazioni da una accentuata aridità. Si notano, inoltre, alcune serie di anni particolarmente siccitosi e altri in cui il totale delle precipitazioni raddoppia.

5 URL : <https://www.regione.sardegna.it/j/v/72?s=1&v=9&c=5653&na=1&n=10>

Non sono rari eventi pluviometrici di portata straordinaria. Si tratta in genere di piogge con elevata intensità oraria (oltre 20 mm/h), fatto questo che ha grande importanza nei riguardi dei fenomeni erosivi e di esondazione dei corsi d'acqua.

Come prevedibile, l'umidità dell'aria mostra generalmente un andamento decrescente dalla costa verso l'interno. I valori di umidità relativa registrati nella stazione di Oristano sono dell'ordine dell'84% in Gennaio, dell'82% in Aprile, del 77% in Luglio e dell'80% in Ottobre.

Caratteristica rilevante è la ventosità. In generale essa è elevata, con i venti dominanti afferenti al IV quadrante (maestrale e ponente), e quelli provenienti dal II e III quadrante (scirocco e libeccio).

Da un punto di vista fitoclimatico, la classificazione di Pavari (1916) consente di ascrivere l'area di Studio (ma più in generale di tutto l'oristanese) nella fascia climatico-forestale del *Lauretum*, sottozona calda con siccità estiva.

1.3 Aspetti geologici⁶

L'area di studio si inserisce in un contesto geologico molto ampio e complesso. In questa fase, al fine di rendere più semplice ed organica la lettura dei caratteri geologici del territorio, in accordo con la fonte si è scelto di dare una descrizione separata delle seguenti macro aree, in perfetta aderenza con la fonte primaria, il lavoro di Gaviano (2015):

- Penisola del Sinis
- Campidano
- Penisola di Capo Frasca

Penisola del Sinis

Il territorio del Sinis, compreso tra l'horst granitico dell'isolotto di Mal di Ventre ad ovest e la fossa del Campidano di Oristano ad est, dal quale è separata da una serie di faglie quaternarie di notevole rigetto verticale con andamento N-S, è costituito interamente da terreni vulcanici e

6 Da Gaviano, 2015, Analisi diacronica, pedogeochimica ed etnopedologica per lo studio dell'evoluzione storico-territoriale e delle condizioni attuali dei suoli e del paesaggio. La fascia costiera dell'Ambito di Paesaggio "Golfo di Oristano" (Sardegna centro-occidentale), Tesi di Dottorato.

sedimentari che si sono formati nel lasso di tempo che va dall'Oligocene all'Attuale (Cherchi, 1978).

Le formazioni geologiche possono essere raggruppate in quattro unità principali per significato paleogeografico e strutturale:

1. Basamento oligo-miocenico;
2. Miocene superiore;
3. Pliocene marino e continentale;
4. Vulcaniti e terreni di copertura quaternari.

Il basamento oligo-miocenico rappresenta il termine più antico della sequenza stratigrafica del Sinis, ed è costituito da prodotti vulcanici di natura andesitica e da depositi calcarei e conglomeratici del Miocene medio. Le vulcaniti (rappresentate da lave e brecce piroclastiche andesitiche) appartengono al ciclo calc-alcalino pre-serravalliano (così come proposto anche sulla base dell'interpretazione di dati sismo stratigrafici e aeromagnetici (Carboni et al., 2002). Esse affiorano nel Montiferru meridionale, nel margine meridionale di Is Arenas, a Costa Atzori e Perda Martigiana (Cherchi et al., 1978; Di Battistini et al., 1974). I termini sedimentari sono rappresentati da conglomerati poligenici trasgressivi, ricoperti da calcari organogeni ad Ostree.

Dal punto di vista geologico-stratigrafico, il Sinis è l'unica area in Sardegna dove si rinvengono con continuità i depositi del Miocene superiore, formati da sedimenti marini del Tortoniano terminale e del Messiniano inferiore e da sedimenti in facies lagunare e continentali sempre del Messiniano.

La serie messiniana è stata suddivisa da Cherchi et al. (1978) in tre unità litostratigrafiche:

- Formazione di Capo San Marco;
- Calcari laminati del Sinis;
- Formazione dei Calcari di Torre del Sevo.

La fase marina pliocenica è seguita da un periodo continentale (Pliocene medio continentale) testimoniato da paleosuoli fortemente arrossati e da un complesso di depositi alluvionali, potente localmente anche una decina di metri, costituiti da depositi sabbiosi fini con spessori metrici, sabbie grosse e ghiaie in matrice sabbiosa fine, con elevato grado di elaborazione, rilevabili nel settore centrale del Sinis. Questi depositi possono essere ricollegati ad una paleoidrografia del Sinis, fossilizzata poi dall'espansione basaltica sovrastante (Carboni e

Lecca, 1995).

Al passaggio Zancleano-Piacenziano (Pliocene medio) appartengono i Calcari marini pliocenici di Mandriola (Carboni e Lecca, 1995), che affiorano nel settore costiero del Sinis nord-occidentale, nella località di Mandriola. Essi rappresentano una sequenza che ricopre, presumibilmente tramite una disconformità di carattere erosionale, i termini della successione messiniana e sono costituiti da calcareniti di shoreface (spiaggia sommersa prossimale) ricoperte in continuità da un deposito calcarenitico in facies eolica di alta spiaggia, nella cui parte bassa e intercalato il deposito a Vertebrati di Mandriola (Mammiferi Artiodattili, Lagomorfi e Roditori, Anfibi, Rettili) (Pecorini et al., 1973; Angelone e Kotsakis, 2000).

Sui depositi in facies eolica della sequenza dei Calcari di Mandriola poggia una successione anch'essa eolica che costituisce la Formazione di Capo Mannu. Questa rappresenta un "carbonate sand body" dello spessore massimo affiorante di 50 m, costituito dalla sovrapposizione di quattro principali unità dunari lateralmente continue e di altre tre unità discontinue, separate da più sottili depositi eolici, dallo sviluppo lentiforme, talora contenenti dei resti di Mammiferi. Si tratta della più potente formazione di dune fossili consolidate esistente in Italia.

Sulla base di confronti con altre situazioni stratigrafiche nel contesto regionale e sulla base interpretativa di stratigrafia ciclica climatica, nonché del contenuto faunistico, questa Formazione è stata attribuita al Pliocene superiore, non escludendo per la sua parte più alta l'appartenenza al Pleistocene inferiore.

Nella successione stratigrafica seguono le vulcaniti plio-pleistoceniche, risultato di un diffuso vulcanismo alcalino prevalentemente basaltico (Beccaluva et al., 1983). Nella fattispecie, prodotti di attività effusiva appartenenti al ciclo alcalino plio-quadernario sono presenti nella porzione meridionale del Sinis, ove configurano un altopiano basaltico (il "plateau" del Sinis) messo in evidenza per inversione del rilievo. I basalti costituiscono, inoltre, anche la copertura sommitale del promontorio di Capo San Marco.

Non esistono per quest'ultimi datazioni assolute ma, se si correlano con quelli rinvenuti nel sottosuolo campidanese, che ricoprono la successione di Samassi (Pliocene medio), i basalti del Sinis possono essere collocati alla fine del Pliocene-inizio Pleistocene o, come ipotizzato da Pomesano Cherchi (1971), possono essere riferiti al Villafranchiano.

La sequenza stratigrafica è completata dall'insieme delle formazioni quaternarie, molto diffuse nella penisola e rappresentate da facies continentali alternate a facies marine o di ambienti di

transizione del Pleistocene medio superiore e dell'Olocene.

Durante il Quaternario, caratterizzato da frequenti variazioni climatiche, accompagnate da oscillazioni del livello del mare, nella penisola si alternano periodi di avanzamento delle acque marine sulla terra ferma e periodi di regressione marina, tali da provocare un'importante azione di modellamento delle terre emerse. Testimonianze di questo succedersi di eventi sono le coperture sedimentarie quaternarie, costituite da depositi alluvionali, conglomerati trasgressivi, arenarie marine e di spiaggia, depositi palustri, arenarie eoliche, colluvi, paleosuoli, limi e depositi argillosi di ambiente palustre, sabbie eoliche e di spiaggia e suoli, che si rinvenivano diffusi nella penisola, spesso separati da nette superfici di erosione.

Campidano

Il Campidano⁷, dal punto di vista geomorfologico, è costituito da una vasta superficie sub-pianeggiante o debolmente ondulata, modellata sui potenti depositi detritici plio-quaternari di varia origine, che si estende per circa 100 km, con direzione NO-SE dal Golfo di Cagliari al Golfo di Oristano, con una larghezza di circa 40 km.

La pianura oristanese costituisce l'estremità nord-occidentale della vasta fossa tettonica plio-quaternaria nota come "graben campidanese", risultato del ringiovanimento, lungo i bordi paleozoici, delle direttrici tettoniche, responsabili della parte mediana e meridionale della struttura oligo-miocenica, che si sviluppava dal Golfo di Cagliari a quello dell'Asinara, nota come "Fossa Sarda".

L'ossatura profonda del Campidano è costituita dal basamento paleozoico. Esso forma un'infrastruttura potente varie migliaia di metri e giacente ad una profondità di circa 3 km nel sottosuolo del Campidano di Oristano, da dove risale gradualmente verso est e verso ovest, fino ad affiorare nel Monte Grighini, nelle zone montuose del bordo orientale del territorio nei bacini del Tirso, del Taloro e dell'Araxisi, oltre che con l'isola granitica di Mal di Ventre e nel Monreale nei pressi di Sardara. Al di fuori di tali aree la struttura granitico-metamorfica del paleozoico è ricoperta da rocce eruttive del terziario e da sedimenti (spesso conchigliari) del Miocene, sui quali nel Campidano si stendono potenti accumuli di sabbie, ciottolami e argille, fluviali o torrentizi, subordinatamente marini, del Pliocene e del Quaternario.

⁷ Alcuni studiosi spiegano il toponimo Campidano, scomponendolo in *campu* + *anu* e traducibile come "pianura". Il settore centro-settentrionale del Campidano comprende tre regioni storico-geografiche risalenti al periodo giudicale: Campidano Maggiore o di Cabras, Campidano di Milis, Campidano di Simaxis o di Oristano (Gaviano, 2015).

Gli eventi geologici responsabili dell'attuale assetto geostrutturale del Campidano iniziano nel Terziario, durante l'Oligocene medio quando, per la collisione della placca africana con quella europea, si ha la rototraslazione del blocco sardo-corso e l'apertura della "Fossa Sarda". La rototraslazione del blocco sardo-corso si completa nell'Oligocene superiore-Miocene inferiore/medio.

L'area compresa tra la valle del Tirso, il litorale sabbioso di Arborea ed i contrafforti del Monte Arci è costituita:

- dalle formazioni delle "alluvioni antiche terrazzate" plio-pleistoceniche, prevalentemente ciottolose e cementate in una matrice argillo-limosa ferrettizzata, che orlano le colline paleozoiche e tutt'intorno la fascia orientale del Golfo di Oristano, fino ad appoggiare, con debole inclinazione, sul complesso vulcanico del Monte Arci.
- dalle "alluvioni antiche terrazzate rimaneggiate", derivate dal rimaneggiamento delle precedenti, rappresentate da livelli ciottoloso-ghiaiosi, ma con una maggiore frazione sabbiosa, formatesi nel Pleistocene medio e superiore, dall'erosione e successiva sedimentazione di parte dei depositi alluvionali antichi, ad opera dei fiumi presenti.
- dalle "alluvioni recenti e attuali" prevalentemente ciottoloso-sabbiose, sciolte, del fiume Tirso e del Rio Mogoro. Questi depositi mostrano una maggiore granulometria decisamente più minuta dei depositi alluvionali medi, con prevalenza delle frazioni argillo-limose e sabbiose. Essi derivano in parte dal rimaneggiamento dei depositi più antichi, ma è consistente anche il materiale derivante dalla deposizione del carico solido delle piene.

In prossimità della costa (soprattutto nella zona di Arborea e nell'area circostante lo stagno di Cabras), ai depositi alluvionali si sovrappongono le sabbie eoliche e fossili del Quaternario antico.

Fino agli anni '60 i geologi non avevano conoscenze dirette sul sottosuolo della pianura oristanese, se non per i suoi primi 200 m, essendo questa la maggiore profondità raggiunta dai pozzi trivellati per ricerche d'acqua (Pecorini, 1989).

Penisola di Capo Frasca

Capo Frasca è un ampio promontorio basaltico che chiude a sud il Golfo di Oristano.

La più antica formazione appartenente all'Unità dell'Arburese è una successione terrigena del Paleozoico (Cambriano medio-Ordoviciano inferiore), *Formazione delle Arenarie di S.Vito*,

potente successione silicoclastica caratterizzata da frequenti alternanze di metarenarie quarzoso-micacee, metasiltiti e metargilliti (Annino et al., 2000).

I terreni cenozoici affiorano nella penisola di Capo Frasca sono terreni sedimentari marnosi, calcarei e calcareo-detritici-organogeni riferiti al Miocene. Nel settore compreso fra Sant'Antonio di Santadi e Capo Frasca la successione miocenica è costituita da arenarie, conglomerati, tufiti e calcari litorali del primo ciclo sedimentario miocenico, seguiti in disconformità da una successione di età miocenica superiore (Messiniano) costituita dalla Formazione di Capo San Marco, dai Calcari laminati del Sinis e dai Calcari di Torre del Sevo (Annino et al., 2000); tale successione, potente circa 50 m, poggia sul basamento paleozoico ed è limitata superiormente dalla copertura basaltica tabulare di età plio-quadernaria.

Al di sopra della successione carbonatico-evaporitica messiniana poggia infatti, con contatto netto, l'estesa coltre basaltica di Capo Frasca e i basalti affioranti ad est di S. Antonio di Santadi, di forma tabulare e dello spessore di una decina di metri, ascritta al ciclo vulcanico alcalino del Plio-Pleistocene.

I depositi quadernari si rinvengono sulle pendici delle colline a SE di S. Antonio di Santadi e sulla scarpata circostante la prominenza di Capo Frasca con deboli coperture detritiche. Immediatamente a sud del promontorio di Capo Frasca, si spinge verso l'interno il complesso delle dune di Pistis, costituito da depositi eolici di età olocenica. Sono infine da ricordare, posti fra Guspini e S. Antonio di Santadi, lungo il bordo della piana campidanese che limita ad oriente il massiccio arburese, spessori non trascurabili di depositi da pleistocenici ad olocenici, costituiti da alluvioni pedemontane (*glacis* terrazzati) e seguiti da detriti di versante; inoltre, in prossimità degli stagni di S. Giovanni e di Marceddì affiorano limitati lembi di depositi lagunari salmastri dovuti al progressivo interrimento delle lagune (Annino et al., 2000).

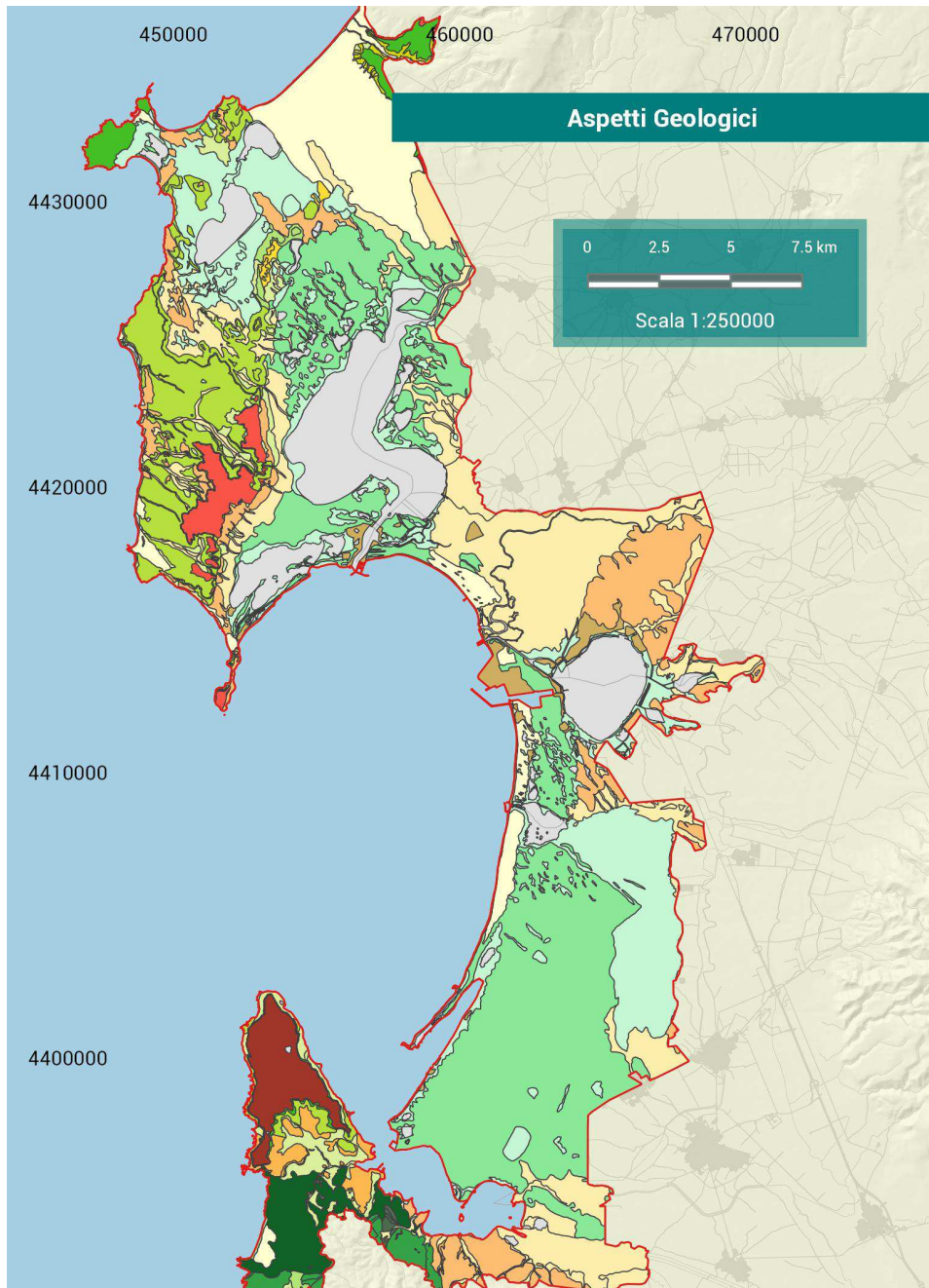


Fig. 5 – Carta delle Unità Geologiche

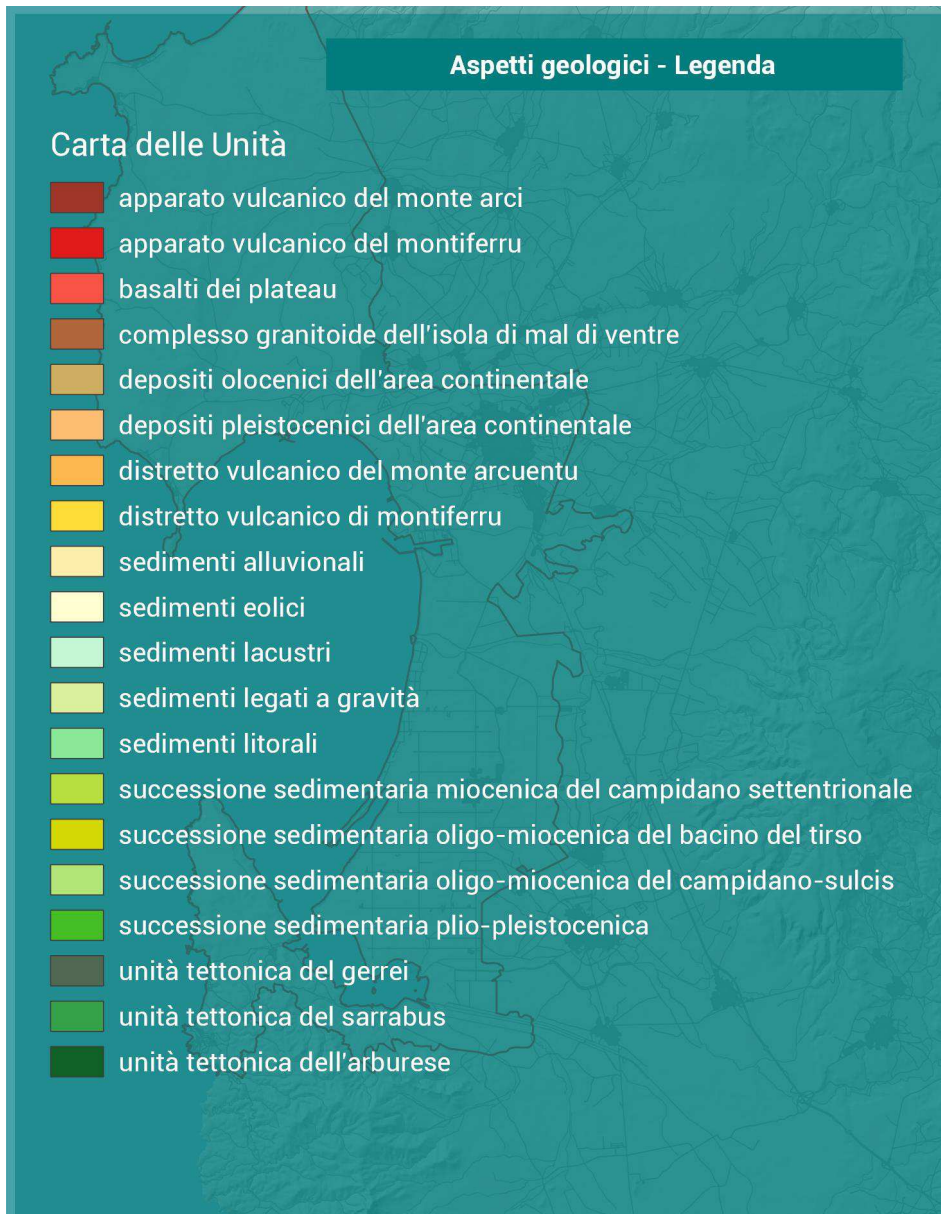


Fig. 6 – Legenda alla Carta delle unità geologiche

1.4 Aspetti morfologici⁸

L'assetto geomorfologico dell'area è frutto dell'interazione tra le condizioni geostrutturali del territorio e dei processi morfogenetici. Assumono rilevanza anche le condizioni climatiche, la copertura vegetale e l'attività antropica. Data la prevalenza dal punto di vista geologico di una

8 Da Gaviano, 2015, Analisi diacronica, pedogeochimica ed etnopedologica per lo studio dell'evoluzione storico-territoriale e delle condizioni attuali dei suoli e del paesaggio. La fascia costiera dell'Ambito di Paesaggio "Golfo di Oristano" (Sardegna centro-occidentale), Tesi di Dottorato.

copertura sedimentaria facilmente alterabile si presenta con una morfologia semplice, piana e molto morbida.

Queste strutture sono state condizionate principalmente dall'intersezione delle direttrici tettoniche regionali che la interessano, e in particolare quella campidanese NNW-SSE e quella E-W delle fosse più meridionali del Cixerri e di Funtanazza.

Sulla base del lavoro condotto da Di Gregorio (1976), l'assetto geomorfologico del territorio del Golfo di Oristano è schematicamente scomposto in 4 settori:

Settore del Sinis

È caratterizzato da differenti tipi morfologici variabili in relazione alla natura litologica e alla giacitura delle formazioni geologiche presenti. La penisola del Sinis è caratterizzata da una morfologia prevalentemente tabulare e sub-pianeggiante nella quale spiccano la colata basaltica, smembrata in piccoli pianori, ed i modesti rilievi isolati, modellati nelle rocce oligomioceniche.

L'assenza di una rete idrografica ben sviluppata, costituisce una delle peculiarità della penisola. Nell'area sono presenti solo solchi di ruscellamento a regime occasionale. Le piccole incisioni, in periodi del passato caratterizzati da condizioni climatiche differenti, hanno avuto un ruolo importante, unitamente ai movimenti tettonici e alle variazioni del livello del mare, nel modellamento della regione e nel trasporto del materiale eroso.

La conseguenza più evidente dell'azione erosiva, nel lungo periodo, è l'inversione di rilievo dell'espandimento basaltico plio-quadernario. Le lingue di lava effuse entro una paleovalle modellata nei sedimenti neo-genici ora costituiscono la parte più elevata del Sinis, con quota media intorno ai 50 m slm.

I rilievi miocenici, che circondano il tavolato, essendo molto più erodibili dei basalti, sono stati smantellati in maniera quasi totale. Tale processo ha portato a giorno le testate delle colate basaltiche, che formano un bordo netto ed aggettante, con conseguenza di risaltare sensibilmente in un paesaggio d'insieme che invece è caratterizzato da forme dolci e poco pronunciate.

I fronti direttamente adiacenti il mare e lo stagno di Cabras sono spesso depresse, caratterizzate da successioni di stagni e paludi e aree idromorfe, periodicamente sommerse.

Lungo la costa, i campi dunari sub-attuali ed attuali sono gli elementi distintivi in particolare nel settore settentrionale della penisola, dove si estende il sistema di dune di Is Arenas. Le

dune, di forma complessiva longitudinale, sono disposte con asse parallelo alla direzione del vento dominante, il maestrale. Nel corso degli anni '50, al fine di limitare il fenomeno dello spostamento delle sabbie eoliche nell'entroterra, è stata impiantata ad Is Arenas una pineta artificiale, che attualmente è di fatto la principale superficie occupata da alberi d'alto fusto dell'intero Sinis.

Numerosi nella regione sono gli stagni, alcuni dei quali occupano superfici molto ampie (Is Benas, Sale 'e Porcus, Pauli Murtas, Pauli Trottas); altri sono di dimensioni inferiori (Pauli Crecchi, Pauli Civas, Pauli Acqua Urchi). Quasi tutti, anche quelli non direttamente collegati al mare, sono salsi o salmastri e spesso asciutti nel periodo estivo.

Settore Centrale

Questo settore è costituito da forme tendenzialmente piatte. In generale, la morfologia si presenta percettibilmente ondulata e alterata dalle incisioni delle alluvioni terrazzate che dalla zona dello sbocco in pianura del Tirso e da quella del Monte Arci degradano dolcemente verso le aree di bonifica. Segno distintivo di questo settore è la presenza dei campi dunari, importanti anche dal punto di vista dell'estensione, che si sviluppano tra la foce del Tirso e lo stagno di S'Ena Arrubia. Tra le forme geomorfologiche più distintive risaltano le grandi conoidi e le alluvioni antiche terrazzate, emergenti rispetto alla piana circostante, in alcuni casi con sviluppo ondulato, mostrando un'inclinazione accentuata in corrispondenza dei rilievi. Da sottolineare le alluvioni recenti, quasi perfettamente pianeggianti e il fondo degli stagni bonificati (Sassu) evolutosi in corrispondenza dell'aumentare delle attività agricole in un paesaggio agrario. Tra le aree interessate dalla bonifica vi sono le dune fossili dell'entroterra (Arborea e Palmas Arborea).

Nell'insieme l'intera piana presenta una debole pendenza secondo un orientamento Est-Ovest, passando dalle quote dei terrazzi più alti, mai superiori ai 100 metri slm, a quote prossime allo zero nelle depressioni della fascia costiera.

Sicuramente l'elemento più rilevante della pianura è la diffusa presenza di zone umide (lagune, stagni e paludi). Questi corpi idrici, insieme a relitti di bracci fluviali e meandri abbandonati del Tirso e dei suoi affluenti, oggi oggetto di importanti arginature e sistemazioni idrauliche, ed ai terrazzi fluviali, testimoniano le modificazioni evolutive dei corsi d'acqua e della linea di costa legate a periodi di sedimentazione alternati a periodi di erosione.

Specialmente nell'ultimo secolo, l'uomo è intervenuto profondamente al fine di modificare

l'ambiente naturale. Di questa azione, i canali e la viabilità ortogonale, tipici delle aree di bonifica, ne sono i segni più evidenti.

Capo Frasca

È costituito da una prominenza tabulare, all'incirca triangolare, che si eleva di circa 80 m slm, a formare il promontorio che chiude a sud il Golfo di Oristano. Si tratta di un tipico plateau basaltico che copre i terreni sedimentari calcarei miocenici. Lo spessore della colata è variabile da 5 a 15 m e i suoi bordi costituiscono una tipica cornice rocciosa periodicamente soggetta a crolli, specie sulla costa occidentale, laddove l'azione battente del mare è più intensa. Per questo i versanti del promontorio sono spesso coperti da una debole coltre detritica, dove l'azione dei processi litorali e di versante è più intensa e ha posto in rilievo il livello a Lithotamnium intercalato alle calcareniti del Miocene medio-inferiore.

Settore a Sud-Sud-Est di S. Antonio di Santadi

In questo settore, sono presenti rilievi modellati in rocce metamorfiche del basamento paleozoico (scisti, scisti arenacei ed argilloscisti). Anche in questo caso ci si trova di fronte a strutture caratterizzate da altitudine ridotta e dalle forme tendenzialmente morbide, con interruzioni dovute alla presenza di modeste creste rocciose emergenti in corrispondenza dei livelli a quarziti. Immediatamente a est di S. Antonio di Santadi, le rocce arenaceo-scistose sono ricoperte da una colata di breccie basaltiche terziarie, a loro volta attraversate da un filone basaltico orientato NO-SE e da un neck basaltico, situato ai confini di essa nei pressi dello stagno di Marceddì. Questa estrema parte di origine paleozoica è collegata alla base con la zona di pianura, mediante una serie di conoidi coalescenti di alluvioni antiche, caratterizzate da incisioni allungate frutto dell'azione dei corsi d'acqua che le attraversano, i quali vi hanno depositato nel fondo materiale alluvionale, recenti ed attuale, di debole spessore.

1.5 Aspetti pedologici

In termini di complessità e articolazione, per gli aspetti pedologici vale il discorso fatto per la componente geologica e geomorfologica. In questo caso la base dati di riferimento è il lavoro condotto su scala regionale e restituito cartograficamente nella Carta dei Suoli della Sardegna e relative note descrittive⁹ (Aru, 1991).

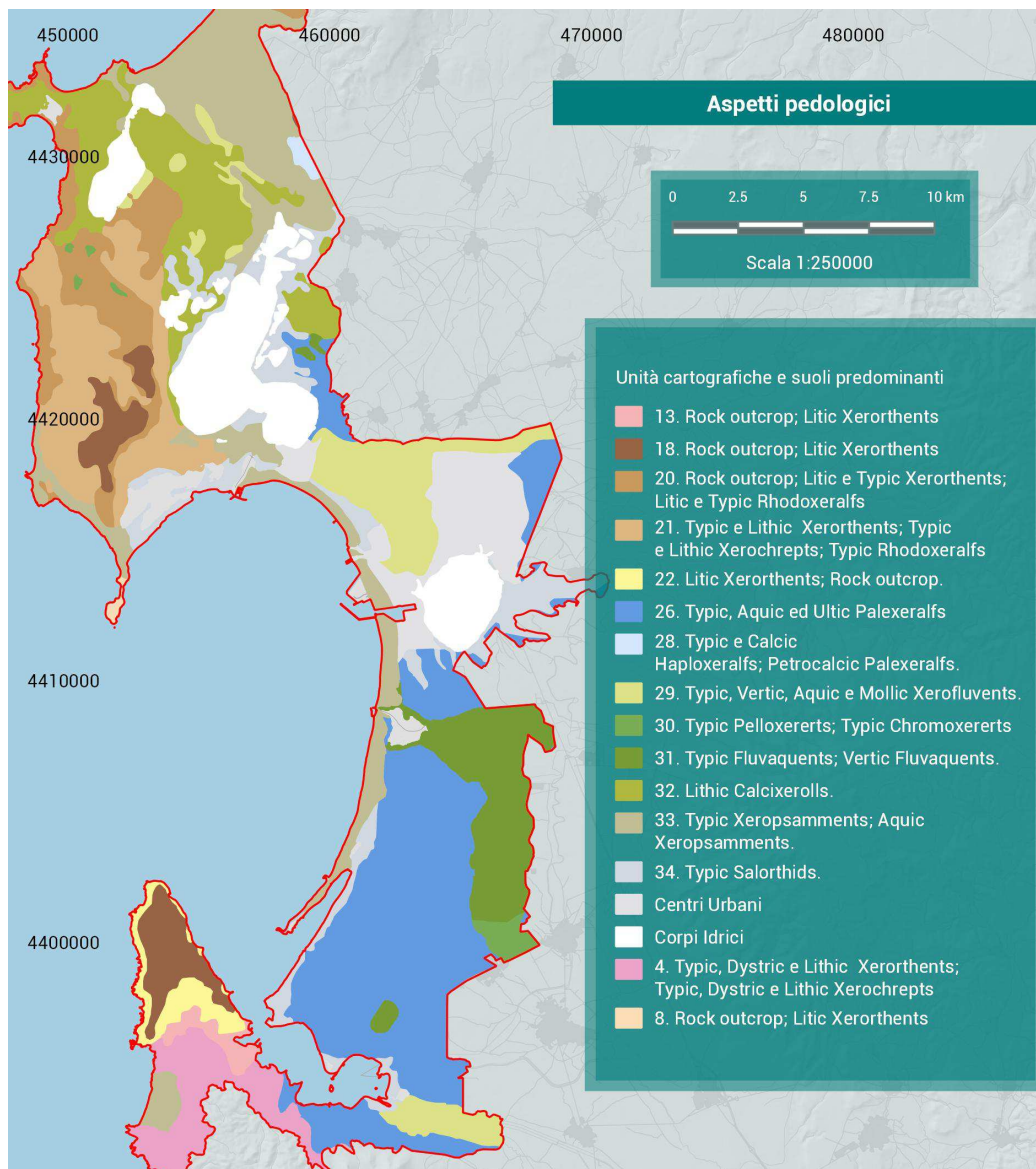


Fig. 7 – Carta delle Unità cartografiche.

9 La carta di seguito riportata è un'elaborazione a partire da elementi vettoriali ottenuti per digitalizzazione dell'originale Carta dei Suoli della Sardegna, realizzata in scala 1:250000

La tabella riporta la distribuzione delle superfici ricadenti in ciascuna delle unità cartografiche presenti.

UPC	Area (km ²)
4 - Palexeralfs e Haploxeralfs; Rock outcrop; Xerofluvents	14,77
8 - Rock outcrop; Lithic Xerorthents	0,58
13 - Rock outcrop; Lithic Xerorthents	3,31
18 - Rock outcrop; Lithic Xerorthents	14,82
20 - Rock outcrop; Lithic e Typic Xerorthents; Lithic e Typic Rhodoxeralfs	25,50
21 - Typic e Lithic Xerorthents; Typic e Lithic Xerochrepts; Typic Rhodoxeralfs	29,12
22 - Lithic Xerorthents; Rock outcrop	5,62
26 - Typic, Aquic ed Ultic Palexeralfs	82,65
28 - Typic e Calcic Haploxeralfs; Petrocalcic Palexeralfs	1,09
29 - Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents	27,01
30 - Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents	3,23
31 - Typic Fluvaquents; Vertic Fluvaquents	23,45
32 - Lithic Calcixerolls	33,89
33 - Typic Xeropsamments; Aquic Xeropsamments	49,32
34 - Typic Salorthids	27,07
35 - Paesaggi urbanizzati	21,53
36 - Acque	36,42

Complessivamente, nell'area di studio sono state individuate 17 Unità cartografiche. Di queste, le più rappresentative in termini di superficie sono la 26 (Typic, Aquic ed Ultic Palexeralfs) e la 33 (Typic Xeropsamments; Aquic Xeropsamments) che occupano rispettivamente 82,65 km² e 49,32 km² (Gaviano, 2015).

1.6 Uso del suolo

Importante livello informativo per quello che concerne l'interazione attività umana – ambiente è data dalla Carta dell'Uso del Suolo. Quest'ultima è la materializzazione del progetto di definizione degli usi del suolo del territorio regionale individuati e classificati sulla base del progetto europeo CORINE LAND COVER con dettaglio al 4° livello. L'applicazione spaziale

delle informazioni in essa contenute è resa possibile grazie ai dati acquisiti, organizzati e spazializzati su scala regionale attraverso il progetto Regionale¹⁰ la cui materializzazione rende disponibile la carta nel formato ESRI shapefile per gli anni 2003 e 2008¹¹.

Il grafico (Gaviano, 2015) mostra la distribuzione in termini di superficie delle categorie CORINE Land Cover appartenenti al primo livello, che discrimina in 5 classi: Superfici artificiali, corrispondenti alle aree a differente grado di urbanizzazione, le superfici agricole, le aree ad alto grado di naturalità, le aree umide e i corpi idrici. Per circa due terzi l'area è occupata da superfici destinate alle differenti attività agricole; la restante quota è ripartita tra le altre classi. Da sottolineare come una quota significativa (15% circa) è occupata da corpi idrici superficiali e aree umide.

La restituzione sottoforma di cartografia statica riprodotta (Fig.8) consente fare alcune considerazioni sulle modalità di gestione del territorio.

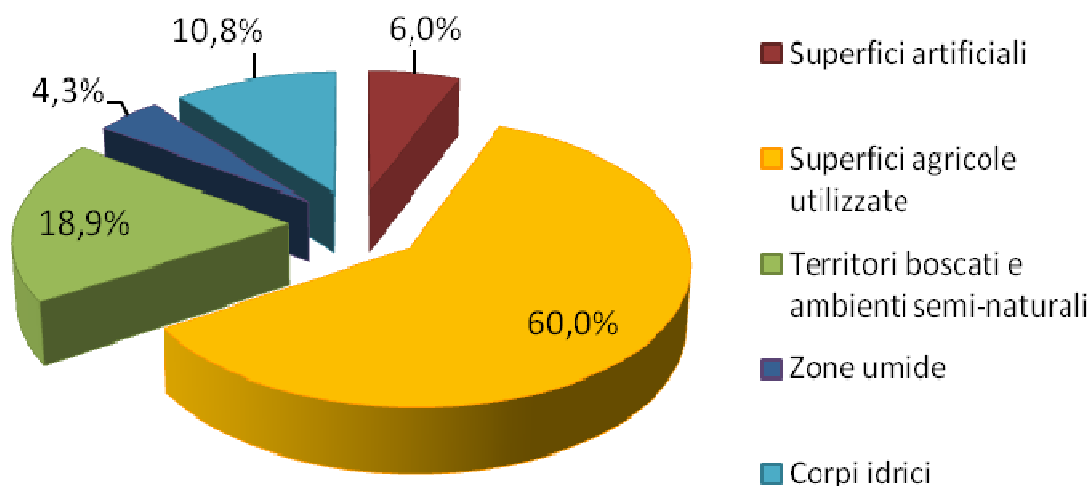


Grafico. 2– Ripartizione delle superfici tra le classi Corine.

10 Accessibile all'URL <http://www.sardegnaeoportale.it/index.php?xsl=1598&s=291548&v=2&c=8831&t=1>

11 Per quest'ultimo anno si forniscono due tematismi: uno lineare e uno puntuale. Per la realizzazione dell'aggiornamento attraverso la fotointerpretazione sono state utilizzate le ortofoto AGEA 2003, le ortofoto 2004, le immagini Ikonos 2005-06, le immagini Landsat 2003, le immagini Aster 2004, oltre a materiali ausiliari come la CTRN10k, il DBPrior 10k e altri, con sopralluoghi su 4000 punti distribuiti sul territorio. La scala di riferimento è 1:25.000, l'unità minima cartografata è pari a 0,5 ettari all'interno dell'area urbana e a 0,75 ettari nell'area extra urbana. La carta è corredata da documentazione costituita da una legenda (formato doc e xls), chiavi d'interpretazione (pdf) e una banca dati (mdb) contenente informazioni contenute nelle schede relative alle fasi di lavoro ed ai rilievi sul campo (RAS, 2008).

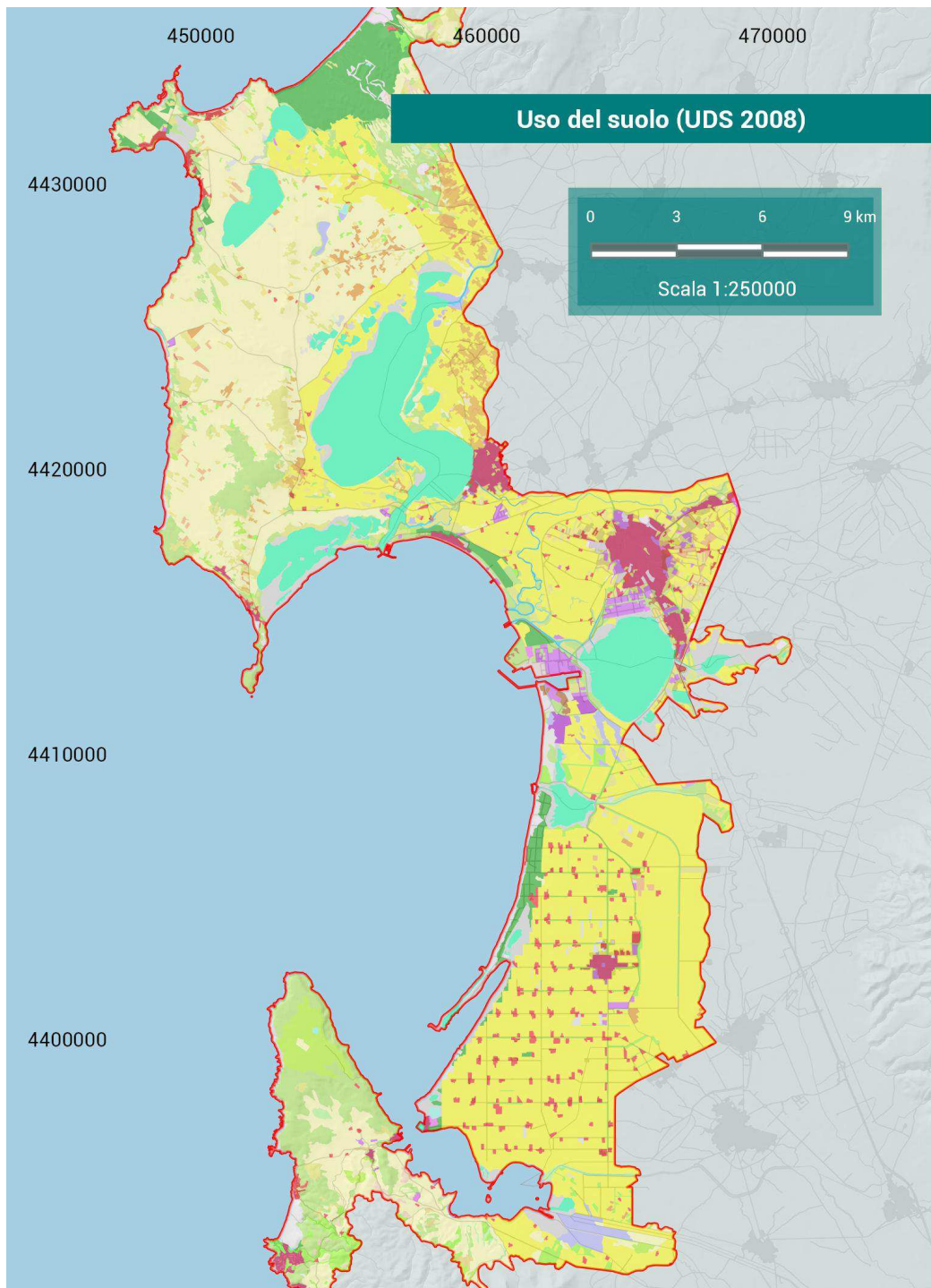


Fig. 8a – Carta dell'uso del suolo.



Fig. 8b – Legenda alla carta dell'uso del suolo.

Se confrontata con le rappresentazioni fisiche dell'area (Fig. 2 e 3) emerge con chiarezza il rapporto tra le strutture artificiali e quelle naturali. Le aree di margine dei contesti umidi sono

anche quelle maggiormente interessate da centri urbani di maggior densità. In questo Ambito l'insediamento stabilisce rapporti diversificati con le matrici ambientali su cui si è strutturato. Si riconoscono, in particolare, alcuni sistemi insediativi lungo le direttrici fluviali (Rio di Mare Foghe e del Riu Mannu, del Rio Tanui, del Tirso, nel Campidano di Milis, Campidano Maggiore e Campidano di Simaxis), sistemi insediativi tendenzialmente compatti che si rapportano morfologicamente alla direzione prevalente dei corsi d'acqua. Al contrario, le aree di bonifica, in corrispondenza del settore centrale, mostrano una struttura urbana rada, intersecante un tessuto agricolo di tipo razionale e dominato dai seminativi. In particolare, il sistema della bonifica di Arborea è caratterizzato da un principio di organizzazione del territorio decisamente estraneo al contesto storico, ai metodi tradizionali di produzione agricola ed alle forme insediative tradizionali (RAS, 2006). In questo scenario infatti lo spazio ha subito una totale riconfigurazione: ad eccezione di Arborea infatti, che rappresenta il centro urbano di riferimento, l'intera piana è suddivisa in poderi e diversi centri di servizio. Laddove le condizioni topografiche e pedologiche non consentono tale sfruttamento razionale ai fini agricoli, ovvero nella parte settentrionale (che risulta altresì periferica anche rispetto alla rete idrografica che innerva l'area di studio) attività agricole marginali sono quelle maggiormente rilevanti. Ancora più estremo in questo senso il settore meridionale, quello afferente approssimativamente all'area di Capo Frasca. In questo caso le aree semi-naturali sono predominanti, sia per una questione di suscettibilità all'utilizzo che per un'effettiva accessibilità, essendo un'area preclusa in quanto adibita a poligono militare.

1.7 Corpi idrici superficiali e aree umide.

In generale, l'idrografia della Sardegna si presenta con i caratteri tipici delle regioni mediterranee, con corsi d'acqua principali caratterizzati da un regime torrentizio (Gaviano, 2015).

Il sistema idrografico dell'area studio è caratterizzato dalla presenza del principale corso d'acqua isolano; il fiume Tirso, come è noto, è il corso d'acqua più lungo della Sardegna ed il suo bacino alimentatore, che occupa una gran parte del settore centrale dell'isola, è quello più vasto (3365,8 km²). Il Tirso nasce dall'altopiano di Buddusò e sfocia nel Golfo di Oristano. Il

sistema idraulico del Tirso rende disponibili, con l'infrastrutturazione irrigua, le risorse eventualmente necessarie per le irrigazioni. Si tratta del sistema idraulico più importante della Sardegna, basato sul trasporto delle risorse attraverso il grande canale ripartitore, approvvigionato, immediatamente a valle della diga sul Tirso, dalla traversa di Pranu Antoni.

Il Rio Mare Foghe, il cui bacino idrografico è di 286,3 km², sfocia nello Stagno di Cabras.

I lavori di sistemazione idraulica degli anni '60 comportarono lo spostamento della foce, che in precedenza si immetteva nello Stagno di Mare Foghe, allora situato al limite nord degli abitati di Riola e Baratili San Pietro ed ora prosciugato. Il Mare Foghe si presenta oggi come un vasto canale.

Il Rio Pischinappiu è l'unico corso d'acqua di una certa importanza che sfocia nella costa del Sinis, Nasce in località Codinazza, a oltre 700 m di altitudine e sfocia in mare in corrispondenza della Località di Is Arenas.

Nell'area meridionale del Golfo, il Rio Flumini Mannu di Pabillonis ed il Rio Sitzzerri sono due importanti corsi d'acqua, aventi il bacino idrografico nei rilievi del Monte Linas e dell'Arcuentu e sfociando entrambi nello Stagno di Marceddì. Anche il Rio Mogoro oggi sfocia nello Stagno di Marceddì ma prima degli interventi di bonifica e di regimazione idraulica trovava sbocco poco più a nord nello Stagno di Sassu.

Il Rio Mogoro, il cui bacino idrografico si spinge all'interno del massiccio vulcanico del Monte Arci, è originato dalla confluenza del Rio Flumineddu e del Rio Mannu. A partire da questo tratto si allunga verso il Campidano, secondo una direzione SE-NW, incanalandosi nelle vicinanze del paese Uras. Da questo punto è fatto defluire nello Stagno di Marceddì. La superficie dell'intero bacino idrografico del Rio Mogoro è di 398,8 km², il maggiore tra i numerosi altri corsi d'acqua minori che prendono origine dalle pendici occidentali del Monte Arci.

Fra la penisola del Sinis ed il Campidano si sviluppa con forma allungata nord-sud, perpendicolare alla costa, lo Stagno di Cabras (impropriamente detto stagno, sarebbe più corretto chiamarlo laguna¹²). È il più esteso fra i bacini salmastri dell'isola (2228 ha) e costituisce una delle zone umide più importanti del Mediterraneo. Viene alimentato dal Rio Mare Foghe, a sua volta originato dalla confluenza presso Zeddiani del Mannu di Milis e del Cispiri, che drenano il settore meridionale del Montiferru.

12 La distinzione tra laguna e stagno si basa sulla rilevanza della circolazione e dello scambio idrico da e verso il mare. Le lagune possiedono dei rapporti costanti con il mare aperto, mentre gli stagni, al contrario, ricevono l'acqua del mare solo in eventi eccezionali.

Lo Stagno di Santa Giusta è il secondo stagno per estensione del Campidano centro-settentrionale (790 ha). Ha una forma pressoché circolare, è separato dal mare da un largo cordone litorale mentre è collegato ad esso da un canale artificiale. Ad est dello Stagno sono presenti altri due piccoli bacini: Pauli Maiori e Pauli Figu, collegati con lo Stagno di Santa Giusta da canali. Lo stagno non ha immissari diretti; riceve le acque dolci provenienti dai canali di bonifica e dal Rio Merd'e Cani che confluiscono nello Stagno di Pauli Maiori.

Tuttavia, la costruzione di un canale ha permesso la comunicazione diretta tra lo stagno di Santa Giusta e il mare, garantendo un costante ricambio delle acque (Massoli-Novelli e Mocci Demartis, 1989).

Nel settore meridionale del Golfo di Oristano si distinguono due ambienti umidi: Corru S'Ittiri e il sistema degli stagni di Marceddì e S. Giovanni.

La laguna di Corru S'Ittiri presenta una forma allungata parallela al mare ed è caratterizzata da una fascia propriamente costiera in corrispondenza della freccia litorale che separa la laguna dal mare. In essa è possibile riconoscere un'ampia zona occupata da una spiaggia interna, caratterizzata da un sistema di dune litorali e una depressione palustre retrodunare che costeggia la laguna. Nella costa opposta la riva è occupata da affioramenti rocciosi riconducibili a depositi della "panchina tirreniana". Alle spalle dell'area lagunare si estende l'ampia zona bonificata di Arborea che ne delimita il perimetro verso terra. La laguna non presenta immissari naturali, ma riceve le acque che provengono dalla bonifica della piana di Arborea. In realtà la laguna è semiartificiale in quanto è stato creato uno sbarramento che unisce l'estremità della freccia litorale con la terra ferma. Essa possiede, inoltre, buone possibilità di ricambio idrico dal mare, presentando due comunicazioni dirette con il mare.

Gli stagni di S. Giovanni e Marceddì sono situati in successione secondo la perpendicolare della linea di costa in corrispondenza della valle fluviale su cui confluiscono il Rio Mogoro e il Rio Mannu. Il sistema costituito da questi due stagni presenta uno sbarramento mediano ubicato a circa 2/3 del complesso. La parte più interna (Stagno di S. Giovanni) presenta acque più dolci per gli apporti dei corsi del Mogoro e Mannu, quella più esterna (Marceddì) è direttamente collegata col mare, confina settentrionalmente con una pineta mentre a sud è delimitata dal sistema di Capo Frasca.

Lo Stagno di S'Ena Arrubia si estende per 190 ettari e di fatto costituisce parte del complesso stagno del Golfo di Oristano. È caratterizzata e pesantemente influenzata dall'ampia zona di bonifica idraulica circostante. Le stesse strutture realizzate in occasione della bonifica sono gli

unici input che alimentano lo stagno, attraverso il sistema di canali che realizzano il drenaggio della piana. Sempre artificiale è il canale di collegamento con il mare, realizzato negli anni '70.

1.8 Aspetti Vegetazionali

A completamento del quadro conoscitivo e un ulteriore contributo alla definizione degli aspetti legati alla copertura dei suoli perviene dalla Carta delle Serie di Vegetazione (Bacchetta, 2009), realizzata sulla Carta delle Serie di Vegetazione d'Italia. Tale carta rappresenta gli ambiti territoriali aventi stessa tipologia di serie, in quanto vocati alla stessa vegetazione naturale potenziale, cioè la vegetazione che un dato sito può ospitare, nelle attuali condizioni climatiche e pedologiche, in assenza di disturbo (Tuexen, 1956)¹³.

Sulla base di questa classificazione si possono distinguere all'interno dell'area oggetto di alcune serie principali:

Serie n.1 Geosigmeto psammofilo sardo. È caratterizzato dalla presenza di potenziali cenosi pre-forestali costituite boscaglie a *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*, che può differenziare la subassociazione *juniperetosum turbinatae* nei settori retrodunali a sabbie più compatte e suoli relativamente più evoluti, meno esposti all'aerosol marino. Questa serie è distribuita nei sistemi dunali litoranei, associati alle dune di Is Arenas oltre che all'area compresa tra Su Pallosu e Mandriola nonché nel litorale di Arborea,

Serie n.4 Serie sarda occidentale, calcicola, termomediterranea del ginepro turbinato. Questa serie è costituita nello stadio maturo da microboschi edafoxerofili composti prevalentemente da fanerofite cespitose e nanofanerofite termofile, come *Juniperus phoenicea* subsp. *Turbinata*.

Per quanto concerne l'area studio, essa è rappresentata nei contesti costieri del Sinis, compresa l'Isola di Mal di Ventre.

Serie 12. Serie sarda termomediterranea del leccio. Essa costituisce la vegetazione potenziale della parte centro settentrionale, comprendente l'Alto Campidano e il Sinis,

¹³ Accessibile all'URL: <http://www.va.minambiente.it/it-IT/DatiEStrumenti/MetadatoStrato/3f975f15-2d89-7c43-9b00-e305120670f5>

caratterizzata da uno strato arbustivo con caducifoglie come *Pyrus spinosa*, *Prunus spinosa* e *Crataegus monogyna*, oltre ad entità termofile come *Myrtus communis* subsp. *communis*, *Pistacia lentiscus* e *Rhamnus alaternus*.

Serie 13. Serie sarda termo-mesomediterranea del leccio. Potenzialmente questa tipologia vegetazionale è costituita da boschi climatofili a *Quercus ilex*, con *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, *J. phoenicea* subsp. *Turbinata* e *Olea europaea* var. *sylvestris*. Nello strato arbustivo sono presenti *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alaternus*, *Phillyrea latifolia*, *Erica arborea* e *Arbutus unedo*, ma gli aspetti più acidofili sono dati dalla presenza di *Phillyrea angustifolia*, *Myrtus communis* subsp. *communis* e *Quercus suber*. È distribuito nel settore meridionale dell'area.

Serie 26 Geosigmeto mediterraneo occidentale edafoigrofilo e/o planiziale eutrofico. Occupa gli ambiti ripariali e planiziali, con riferimento soprattutto ai bacini del Tirso, del Rio Mogoro e del Flumini Mannu, sono caratterizzati dalla presenza di mesoboschi edafoigrofilo caducifogli costituiti da *Populus alba*, *Ulmus minor* e *Salix* sp. Pl.

Serie 28 La dal geosigmeto mediterraneo, edafoigrofilo, subalofilo dei tamerici. È la serie tipica di

tutta la piana di Arborea, oggetto delle bonifiche del secolo scorso, ma anche nei settori planiziali prossimi alle foci dei principali fiumi. Presenta microboschi parzialmente caducifogli, caratterizzati da uno strato arbustivo denso ed uno strato erbaceo assai limitato, costituito prevalentemente da specie rizofitiche e giunchiformi. Tali tipologie vegetazionali appaiono dominate da specie del genere *Tamarix*.

Serie 29. Geosigmeto alofilo sardo delle aree salmastre, degli stagni e delle lagune costiere. Caratterizzata dalla presenza di comunità vegetali specializzate su suoli generalmente limoso-argillosi, scarsamente drenanti, allagati per periodi più o meno lunghi da acque salate, è presente nelle zone umide costiere (stagni di S. Giusta e S'Ena Arrubia, stagno di Cabras, stagni di Sale 'e Porcus e Is Benas).

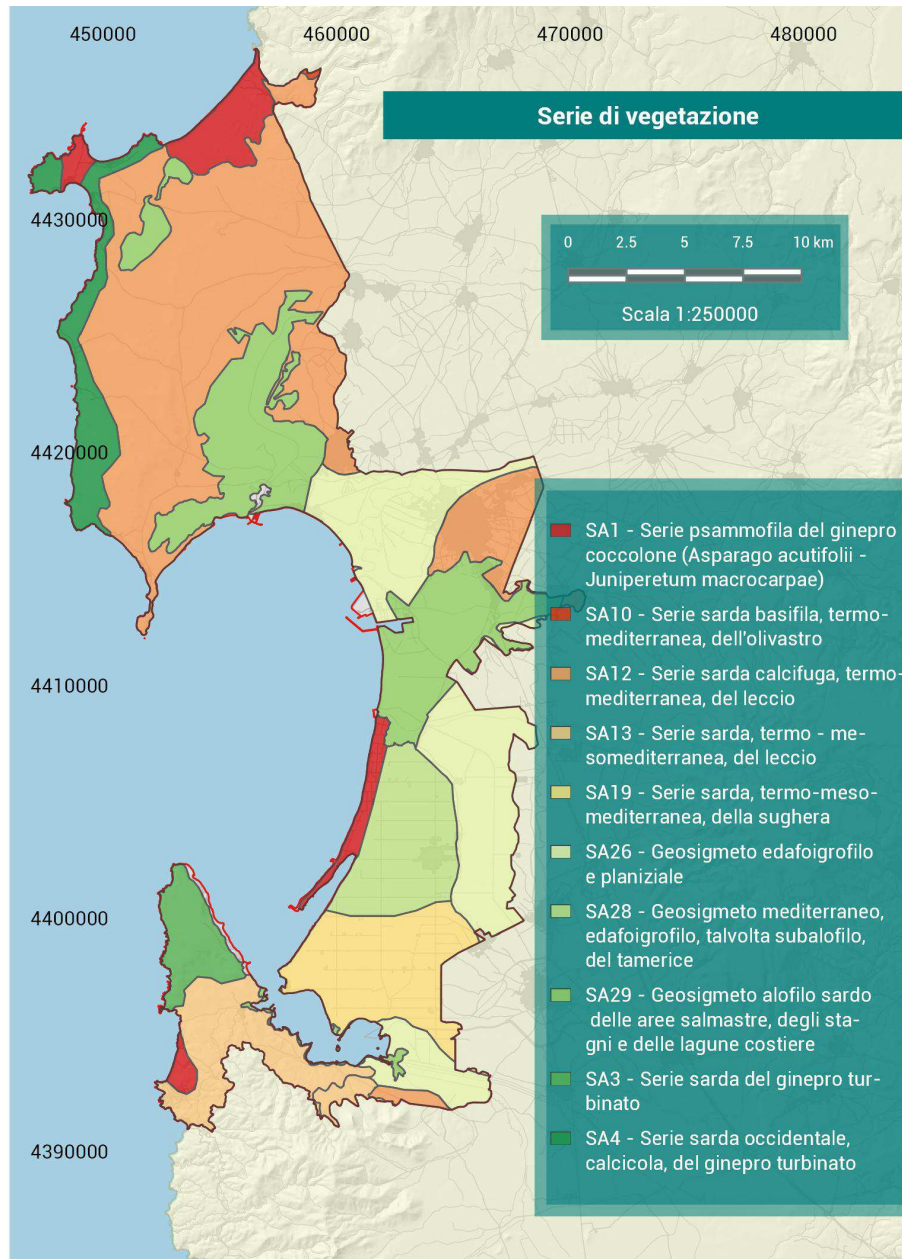


Fig.9 – Carta delle Serie di Vegetazione.

Conclusioni.

Alcune semplici, approssimative conclusioni sono in questa fase già state avanzate. A margine di questo primo studio, si può infatti concludere che dal punto di vista degli elementi individuati si può definire l'area oggetto di studio come caratterizzata da una estrema variabilità. Tale aspetto è emerso dall'analisi, che, a partire dall'individuazione della struttura

generale dell'area, è proseguita attraverso una descrizione particolare degli elementi che più di altri hanno contribuito alla comprensione dei fenomeni che divengono oggetto di studio. L'accezione di alta variabilità che emerge dai succitati approfondimenti assume un valore che va al di là della semplice constatazione, pur circostanziata dal supporto dei dati. Tale variabilità è diventata infatti podromica a ulteriori analisi di seguito esplorate, portate avanti con strumenti votati allo studio e alla quantificazione della variabilità. Le indicazioni dal punto di vista storico portano a prendere in considerazione che sotto il profilo delle caratteristiche ambientali in primis, l'area è frutto di una stratificazione di azioni succedute nel tempo con differenti velocità. Aspetto, quest'ultimo che emergerà in maniera sensibile a seguito dell'analisi delle tracce immateriali dell'attività umana nell'area studio, ovvero attraverso lo studio del patrimonio toponimico.

Bibliografia

Angelone C., Kotsakis T., 2000. Rodents and lagomorphs from the Pliocene of Mandriola (Sinis Peninsula, Western Sardinia) and their bearing on the paleogeography of Sardinia. Abstr. XI Congr. R.C.M.N.S., 82, Fes.

European Environment Agency, 1990, Corine Programme, accessibile all'URL:
<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

Annino E., Barca S., Costamagna L.G., 2000. Lineamenti stratigrafico-strutturali dell'Arburese (Sardegna Sud-Occidentale). Rendiconti della Facoltà di Scienze dell'Università di Cagliari 70, 403-426.

Arrigoni P.V., 1968. Fitoclimatologia della Sardegna. *Webbia* 23, 1-100.

Aru A., Baldaccini P., Vacca A., 1991. Carta dei suoli della Sardegna alla scala 1:250.000 e Nota Illustrativa. Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato della Programmazione, Bilancio e Assetto del territorio. Centro Regionale di Programmazione; Università degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Scienze della Terra. Cagliari.

Bacchetta, G.; Bagella, S. Biondi E., Farris, E. Filigheddu, R.S., Mossa L., 2009. Vegetazione forestale e serie di vegetazione della Sardegna (conrappresentazione cartografica alla scala 1:350.000). Pavia, Società italiana di fitosociologia. *Fitosociologia*, 46 (1) - Suppl. 1, 82.

Beccaluva L., Campredon R., Feraud G., Macciotta G., 1983. Etude des relations entre volcanisme Plio-quadernaire et tectonique en Sardaigne à l'aide de l'analyse structurale des dykes. *Bull. Volcanol.* 46, pp. 365-379.

Carboni S., Lecca L., 1995. Le Pliocène de Capo Mannu (Sardaigne occidentale): transitino marine littorale-continentale dunaire. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 320, série II a, pp.1203-1210.

Parte 1 – Inquadramento Territoriale

Carboni S., Nicolò C., Pala A., Pili S.L., 2002. Studio idrogeologico degli acquiferi profondi del Sinis (Sardegna Centro-Occidentale), Rendiconti Seminario Facoltà Scienze Università Cagliari Vol. 72 Fasc. 1.

Carmignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Salvadori I., Etrudis A., Funedda A., Pasci S., 2001. Geologia della Sardegna (Note illustrative della Carta Geologica della Sardegna in Scala 1:200.000). Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, Vol.60, ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, Roma (Italia).

Cherchi A., Marini A., Murru M., Robba E., 1978. Stratigrafia e paleoecologia del Miocene superiore della penisola del Sinis (Sardegna occidentale). Rivista Italiana di Paleontologia 84, pp. 973-1036.

Di Battistini G., Mezzadri M., Zerbi M., 1974. Su un affioramento della formazione andesitoide superiore nei sedimenti quaternari del Sinis (Sardegna centro-occidentale). Ateneo Parmense, Acta Nat. 10(1), pp. 59-81.

Di Gregorio F., 1976. Studio geomorfologico del Golfo di Oristano. In “Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali”, anno 10, vol. 16, Gallizzi, Sassari, pp. 114-122.

Edmonds B. Pragmatic holism (or pragmatic reductionism). Foundations of Science. 1999;4(1):57–82. Weber M, Schmid B.,1995 Reductionism, holism, and integrated approaches in biodiversity research. Interdisciplinary Science Reviews.20(1): pp 49–60.

Ente Autonomo del Flumendosa, 1998. Nuovo studio dell'idrologia superficiale della Sardegna. Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato della Programmazione, Bilancio ed Assetto del Territorio, Centro Regionale di Programmazione, Cagliari, CD-rom.

Gaviano, C., 2015. Analisi Diacronica, Pedogeochimica ed Etnopedologica per lo Studio dell'Evoluzione Storico-Territoriale e delle Condizioni Attuali dei Suoli e del Paesaggio. La Fascia Costiera dell'Ambito di Paesaggio “Golfo di Oristano” (Sardegna Centro-Occidentale). Università degli Studi di Cagliari, Cagliari Ph.D. Thesis.

Lucchesi, F., 2005, Overlay Analisi vettoriale, Università di Pisa, accessibile all'URL:
http://www.di.unipi.it/~andrea/Didattica/IG09/02_12_overlay_analysis_vettoriale.pdf

Pavari A., 1916, “Studio preliminare sulla coltura di specie forestali esotiche in Italia”, in
Annali del R. Istituto Superiore Forestale Nazionale I, pp. 7-221.

Pecorini G., 1972. La trasgressione pliocenica nel Capo San Marco (Oristano, Sardegna
occidentale). Boll. Soc. Geol. It. 91,pp. 365-372.

Pecorini G., 1989. La conformazione geologica. In “La provincia di Oristano: il territorio, la
natura, l'uomo” (a cura di) Asole A., Amilcare Pizzi, Milano,pp. 19-37.

PFAR, 2007. Piano Forestale Ambientale Regionale, redatto ai sensi del D.Lgs. 227/2001,
approvato con Delibera 53/9 del 27.12.2007. Distretto n. 15 “Sinis-Arborea” e Distretto n. 19
“Linis-Marganai”.

Pomesano Cherchi A., 1971. Studio stratigrafico e micropaleontologico del Pozzo Oristano
(Sardegna). Memorie della Societa Geologica Italiana 10(01),pp. 1-16.

Regione Autonoma della Sardegna, 2006. Piano Paesaggistico Regionale.
www.sardegna.territorio.it/pianificazione/pianopaesaggistico/

Stella A. 2015 Modello riduzionistico o modello sistemico? Spunti per una riflessione.
Epistemologia. Accessibile all'URL:
http://www.francoangeli.it/riviste/Scheda_rivista.aspx?IDArticolo=55050

Tüxen R, 1956 Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der
Vegetationskartierung. Angew Pflanzensoziol 13: pp 5–42

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Introduzione

Molti dei fenomeni naturali studiati sono variabili sia nel tempo che nello spazio e possono essere descritti mediante modelli deterministici, ma la maggior parte di essi è caratterizzata dalla presenza di variabili che interagiscono in maniera molto complessa e inducono a pensare che certi comportamenti siano casuali. Le condizioni in cui avvengono questi processi non sono sempre totalmente conosciuti e non è quindi possibile descriverli esaustivamente? attraverso leggi fisiche e chimiche. Diventa necessario introdurre metodi e modelli probabilistici e statistici, per studiare parametri naturali campionati o conosciuti solo in parte. La teoria dei processi stocastici riconosce la componente di incertezza e l'approccio probabilistico è in grado, non solo di affrontare il problema della previsione dei valori incogniti, ma anche di determinare l'accuratezza di tale previsione.

La Geostatistica è una branca della Matematica evolutasi durante gli anni '50 specialmente nel campo dell'ingegneria mineraria. Il successo di tale disciplina nasce dal fatto che gli strumenti geostatistici prevedono di utilizzare le informazioni spaziali contenute nei dati rilevati per modellare l'incertezza dei valori associati ad un fenomeno ambientale (ma non solo) nelle aree in cui il dato non è disponibile.

Questi strumenti si sono rivelati determinanti per lo studio e la ricostruzione di fenomeni ambientali ma in generale qualsiasi processo che ha un'articolazione multi dimensionale e spaziale. Assume ad esempio una estrema importanza in quei processi volti alla stima di fenomeni legati all'impatto delle attività umane e in particolare i processi legati alla distribuzione e la diffusione di inquinanti nei sistemi ambientali.

Lo scopo della presente ricerca, nasce per l'appunto dalla volontà di valutare e testare strumenti in grado di offrire una descrizione di fenomeni di distribuzione di PTE (acronimo inglese per *potential toxic elements*) nei suoli dell'area oggetto di studio. Si è quindi tentato di proporre un approccio di tipo geostatistico avente come obiettivo la produzione di una serie di mappe di predizione di alcuni PTE sul territorio, a seguito

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

dell'acquisizione di un set di dati relativi alla concentrazione di tali metalli in un limitato numero di campioni di top soil prelevati durante una campagna di indagine volta al monitoraggio delle caratteristiche pedogeochemiche dell'area dell'oristanese che costituisce l'oggetto di studio. Nello specifico, si è portato avanti un processo di analisi in *steps* differenti, che ha condotto alla modellazione dei dati ambientali articolandola su differenti fasi: ad una prima fase di analisi descrittiva, basata sulle prime elaborazioni statistiche e spaziali è seguita l'analisi variografica, che, previa la scelta di un adeguato metodo di stima, (con conseguente validazione) ha consentito la creazione di un modello di descrizione dei processi studiati, la cui rappresentazione e manifestazione “materiale” è stata cristallizzata nelle mappe di predizione. In questo frangente, l'approccio, pur mostrandosi ulteriormente perfezionabile, è stato utile al fine di fornire un quadro sulle dinamiche riguardanti i fenomeni ambientali oggetto di studio, oltre a portare all'attenzione aspetti che, se piuttosto deficitari dal punto di vista locale e a grande scala, assumono una rilevanza nel quadro di un'indagine orientata a fornire contributi alla definizione di un quadro conoscitivo su scala regionale e di “cornice ambientale”, quale è quella definita dai limiti topografici dell'area di studio. Questa indagine pur non avendo ciò come scopo principale, si è altresì posto l'obbiettivo, a partire da un approccio geostatistico, di identificare un gruppo di tecniche utili per convalidare la bontà di una eventuale rete di monitoraggio e le analisi dei campioni. Questo approccio analitico permette, specialmente in prospettiva, di studiare la dipendenza dei dati spaziali e di valutare i dati che caratterizzano il fenomeno studiato e l'errore associato, per capirne l'affidabilità e la qualità dei risultati analitici. Questo studio propone un processo di validazione dei dati ambientali e modellazione che segue un flusso logico per valutare l'affidabilità della rete di monitoraggio, che caratterizza i dati di esempio e la coerenza dei dati interpolati nella zona di indagine. Non secondariamente, lo studio degli strumenti geostatistici ha consentito, dal lato più pratico, di portare l'accento, specialmente in ottica futura, su temi quali la definizione e la risoluzione degli aspetti legati all'ottimizzazione e la strutturazione razionale delle reti di monitoraggio, finalizzata, dal punto di vista geostatistico al fine di controllare l'errore di stima dei dati nei punti non campionati, ma che nel quadro delle attività di corretta gestione del territorio riveste un'importanza rilevante nelle scelte di ordine pianificatorio.

2.1 L'approccio geostatistico nella caratterizzazione spaziale dei fenomeni ambientali.

La geostatistica è nata nell'ambito delle scienze legate al suolo come la pedologia e l'agronomia sebbene negli anni '60 del secolo scorso sia stata portata alla ribalta come metodologia applicata all'industria mineraria (Guastaldi, 2010). Le applicazioni geostatistiche in campo ambientale e territoriale sono oggi molto comuni. Strettamente connesso con il GIS, la geostatistica ambientale fornisce le basi per capire ed utilizzare le varie tecniche per la stima del valore di una variabile spaziale nelle aree dove tale variabile non è stata misurata, ovvero è uno strumento necessario alla formulazione di ipotesi il più possibile corrette sul continuo spaziale, e che, nei casi pratici si deve affidare in maniera pressoché esclusiva ad una collezione di dimensione estremamente variabile di dati sparsi, raccolti durante campagne di campionamento. Tale approccio ovviamente si riflette su una vasta gamma di discipline scientifiche, tanto che, dal punto di vista metodologico, poco influisce la natura del campione, sia esso costituito da elettori, individui appartenenti a specie animali o vegetali oppure parametri ambientali (Guastaldi, 2010). Dal punto di vista statistico ci si confronta con un sottoinsieme della popolazione per poter fare delle ipotesi più o meno fondate sull'intera popolazione. Perciò, noi "conosciamo" solo alcune zone dello spazio occupato dalla nostra popolazione, perché, altrove, la cosa migliore che possiamo fare è quella di stimare (estimate, in inglese), ovvero predire, in senso spaziale (Guastaldi, 2010). Questa è la ragione principale per la quale esiste la geostatistica, intesa come quella scienza che consente di quantificare il continuo spaziale tramite un dataset discontinuo ubicato nello stesso spazio. La geostatistica ci permette di far questo in maniera corretta, riducendo al minimo gli errori. Inoltre, ci permette di trattare proprietà di una variabile che variano in modo non sistematico ed in tutte le scale d'osservazione. Quindi la geostatistica è la base per l'interpolazione corretta e migliore (nel senso della minimizzazione degli errori) di superfici continue o volumi continui a partire da campionamenti posizionati in determinati punti dello spazio. Un campione è una misura di un determinato fenomeno per lo più puntuale in una precisa localizzazione spaziale. La geostatistica non potrà mai dare un'informazione completa sullo spazio, ma, visti i dati, dà la possibilità di stimare le probabilità con cui i valori reali eccedano particolari soglie. Ci sono molte analogie nei vari campi di studio. In alcuni di questi, la stima della probabilità

di eccedere delle soglie è tanto importante quanto le stime stesse, data la presenza di limiti imposti dalla legge da rispettare.

La caratterizzazione di un fenomeno spaziale o temporale o spazio-temporale costituisce il primo e più importante passo di uno studio geostatistico (Raspa, 2000). Essa consiste essenzialmente nell'evidenziare, in forma qualitativa e quantitativa, la variabilità del fenomeno in esame, specificandone la tipologia, in relazione alla presenza di eventuali anisotropie ed alla esistenza di diverse scale di variabilità, spaziali o temporali. Per esempio in campo temporale si possono mettere in evidenza scale di variabilità stagionali di fenomeni di inquinamento o scale di variabilità stagionali e climatiche di fenomeni idrogeologici e meteorologici, descritti da variabili quali piezometrie, precipitazioni, temperature, etc. Il comportamento mutuo delle variabili può essere diverso per le diverse scale temporali, così come diverso può apparire, rispetto alla variabilità temporale, il comportamento dei siti delle stazioni di misura, in ragione dei loro aspetti fisici, quali quota, morfologia, esposizione, distanza dal crinale, distanza dal mare nel caso dei fenomeni meteorologici, e porosità e trasmissività del mezzo nel caso dei fenomeni idrogeologici.

In campo spaziale si possono mettere in evidenza componenti locali e regionali della variabilità, per esempio del contenuto in metalli pesanti dei suoli o di altri inquinanti; mostrando come e quanto, in ogni componente, la struttura spaziale della variabilità sia legata alle fonti di inquinamento e alle caratteristiche ambientali, quali la morfologia, la litologia, la meteorologia, etc. Analogamente si può mostrare per le caratteristiche fisico-chimiche o idrauliche dei suoli, o per le caratteristiche geochimiche delle acque e delle sostanze inquinanti in esse disciolte.

Quando sono state riconosciute diverse scale di variabilità, spaziali o temporali, e si è in presenza di molte variabili, può essere estremamente utile operare sulle relative componenti delle statistiche di sintesi multivariate. In questo modo si possono mettere in evidenza particolari comportamenti, che interessano gruppi di variabili o di individui, che generalmente sono riconducibili a fenomenologie che hanno agito a scale spaziali differenti; comportamenti che le stesse statistiche, se basate sulla variabilità complessiva, non mostrano, o mostrano in maniera non chiara. Questi elementi costituiscono un contributo alla conoscenza del fenomeno, tale da consentire, per esempio, di confermare o no certe ipotesi di lavoro o, da suggerirne delle altre. Inoltre la caratterizzazione della

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

variabilità del fenomeno, espressa con un modello, è alla base di tutte le operazioni geostatistiche a valle, quali la ricostruzione tramite stima o simulazione di una variabile, l'ottimizzazione degli schemi di campionatura, la definizione del numero di stazioni di una rete di monitoraggio e delle loro ubicazioni (Raspa, 2000).

La modellazione dei dati ambientali rappresenta un passo rilevante per analizzare e interpretare i fenomeni ambientali (Gorelli, 2009); l'interpolazione spaziale ha un importante ruolo per modellare la distribuzione continua di variabili che caratterizza i fenomeni ambientali (Gorelli, 2009).

Per variabile ambientale si intendono misure quantitative o descrittive delle diverse caratteristiche ambientali (Hengl, 2007). Tali variabili possono appartenere a domini diversi, che vanno dalla biologia (la distribuzione delle specie e biodiversità), scienza del suolo (proprietà del suolo e tipi), la scienza della vegetazione (specie vegetali e comunità, tipi di copertura del suolo), la climatologia, l'idrologia. Le informazioni su tali variabili sono comunemente raccolte attraverso l'indagine di campo e la raccolta di campioni, supportati talvolta da operazioni di telerilevamento. I dati ottenuti in conseguenza delle analisi relative a tali attività, possono avere come riverbero analitico la produzione di rappresentazioni cartografiche allo scopo di mostrare la loro distribuzione in una cornice spaziale ben definita. Pertanto la produzione di accurate e aggiornate mappe di caratteristiche ambientali rappresentano una risorsa fondamentale per la pianificazione territoriale, a supporto dei processi decisionali e la valutazione della qualità dell'ambiente (Hengl, 2007).

La necessità di spazializzare tali informazioni ha portato, specialmente a partire dalla seconda metà degli anni ottanta, alla diffusione dei metodi geostatistici in settori diversi da quelli più tradizionali dell'ingegneria mineraria e del petrolio, nel cui ambito erano stati messi a punto (Kriging, 1951). Tra le ragioni della diffusione della disciplina se ne possono citare due: l'aspetto pratico e la sua efficacia. Il primo è dovuto al fatto che i metodi geostatistici sono stati messi a punto su problemi specifici, la seconda si basa sul successo che tali metodi hanno avuto nei settori di origine, dove ormai vengono comunemente impiegati nella gestione economica della produzione (Raspa, 2000). A seguito di ciò, i metodi citati hanno sostenuto all'atto pratico una validazione che ha permesso di renderli disponibili per lo studio delle tematiche ambientali (Raspa, 2000). La contaminazione degli

ecosistemi con metalli in tracce pone grandi problemi ambientali in tutto il mondo con sostanziali conseguenze economiche.

Nei problemi di difesa idraulica del territorio e di progettazione di opere idrauliche ad esempio, si pone come necessaria la valutazione della portata di piena temibile con assegnato livello di rischio (o tempo di ritorno), in una determinata sezione fluviale (Pugliese, 2012). Tuttavia la ricerca di un valore di portata di progetto è ostacolata dalla mancanza di informazioni idrologiche su scala locale, circostanza che introduce problematiche legate alla stima, argomento verso il quale la comunità scientifica ha riposto un'attenzione crescente (Pugliese, 2012). La regionalizzazione statistica del regime di frequenza degli estremi idrologici è ad oggi tra le tecniche comunemente usate per la stima dei deflussi fluviali in siti per i quali non sono disponibili o reperibili dati (Pugliese, 2012). L'interdisciplinarietà e la trasversalità di tali strumenti ben si sposa con discipline diverse; è importante sottolineare, specialmente ai fini della ricerca in oggetto come, tra le linee di ricerca più innovative in cui la geostatistica viene assunta come strumento di indagine, vi è la geologia medica o epidemiologia spaziale, ambito scientifico interessato allo studio di modelli spaziali di incidenza e mortalità malattia e l'identificazione di potenziali cause della malattia, tra cui l'esposizione ambientale o fattori socio-demografici (Goovaerts, 2010). Tra questi l'indagine sulla distribuzione spaziale di elementi potenzialmente tossici (PTE), noti per essere tra gli agenti che in maniera più o meno diretta influenzano una vasta gamma di malattie umane (McKinley, 2013).

2.2 Geostatistica e scienza del suolo.

La variabilità spaziale è un fenomeno ben noto nei sistemi connessi al suolo e questa sua accezione costituisce una caratteristica di fatto riconosciuta già da diversi anni (Burrough, 1993). Tutto ciò acquisisce ulteriore rilevanza se si pensa che il rapido sviluppo negli ultimi dieci anni delle risorse di calcolo ha stimolato l'applicazione di metodi numerici all'analisi di ingenti quantità di dati di suolo raccolti in diverse parti del mondo (Castrignanò, 2000). Una caratteristica fondamentale dell'informazione sui suoli (e che è comune a tutte le discipline legate ai sistemi ambientali) è che ogni osservazione viene riferita ad una particolare locazione nello spazio e ad un determinato periodo (Castrignanò, 2000). La conoscenza di un qualsiasi attributo di un suolo, quale la sua composizione

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

granulometrica o la concentrazione di un particolare inquinante, ha scarso interesse a meno che non siano noti anche la localizzazione nello spazio e l'istante di tempo della sua misura e non se ne tengano conto nell'analisi. A tal riguardo la geostatistica risulta particolarmente utile, in quanto fornisce una ampia varietà di procedure statistiche in grado di incorporare nel processo elaborativo le coordinate spazio-temporali delle singole osservazioni.

Negli ultimi 20-30 anni si sono avuti notevoli sviluppi nella teoria della variabilità spaziale e nella tecnologia per l'analisi dei dati, il che ha contribuito ad una migliore comprensione del concetto di variazione dei suoli (Webster e Oliver, 1990 ; Burrough, 1991). E' ormai evidente la necessità di tener conto della variabilità spaziale quando, per esempio, si vogliono simulare i processi ambientali o di formazione dei suoli (Castrignanò, 2000) . Il problema è stato affrontato con tecniche diverse: classificazione numerica, statistica multivariata, classificazione continua (fuzzy), geostatistica, geometria frattale, morfologia matematica e teoria del caos (Burrough, 1993). La teoria della geostatistica, in particolare, dapprima elaborata da Matheron (1965) e quindi divulgata da Isaaks e Srivastava (1989), Webster e Oliver (1990), Goovaerts (1997), ha il notevole pregio di aver fornito un sistema teorico di base per lo studio della variabilità del suolo, l'interpolazione spaziale e la scelta dello schema ottimale di campionamento. E' ormai chiaro che nell'analisi dei dati spaziali la semplice stima della media globale e della varianza di una proprietà del suolo ha poco significato, a meno che la variabilità non sia riferita a unità spaziali georeferenziate. Fino alla fine degli anni '80, tuttavia, la geostatistica era considerata essenzialmente come un mezzo per descrivere le strutture di correlazione spaziale utilizzando i semivariogrammi o per interpolare qualche attributo del suolo in punti non campionati mediante il kriging (Castrignanò et al., 1988). Ultimamente, però, si sono sviluppate moderne procedure, che consentono di affrontare problemi più complessi, quali la stima dell'incertezza nella previsione di qualche attributo o inquinante del suolo e la sua influenza nei processi di gestione del territorio o più in generale dei problemi legati alla pianificazione.

Allo stato attuale, la geostatistica (Goovaerts, 1997; Webster e Oliver, 2001) è ormai ampiamente utilizzata per quantificare la distribuzione spaziale delle variabili ambientali e pedologiche. Il Kriging è stato usato per molti decenni come sinonimo di interpolazione geostatistica ed è stato dimostrato come sufficientemente robusto per la stima dei valori in posizioni non campionate in base ai dati campionati (Adhikari, 2009). Negli ultimi anni diversi pedologi hanno focalizzato la propria attività di indagine sull'utilizzo della

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

geostatistica e in generale sui diversi metodi per prevedere le proprietà dei suoli in luoghi non campionati e per comprendere meglio il loro modello di variabilità spaziale sia sulla piccola che larga scala spaziale (Lark, 2002). Proprio il succitato Kriging, strumento impiegato nella ricerca oggetto di disamina, nel corso degli ultimi due decenni è stato ampiamente utilizzato in vari sotto-campi della scienza del suolo, come la bonifica del terreno, classificazione del suolo e gli studi di inquinamento del suolo (Adhikari, 2009).

La variabilità del suolo è il risultato sia di processi naturali che di attività umane che agiscono a diverse scale spaziali e temporali. Alcuni dei diversi possibili fattori che regolano il suolo possono avere un'azione a corto raggio, mentre altri operano a lunghe distanze. Di conseguenza, le variabili del suolo dovrebbero essere correlate in un modo che è dipendente dalla scala (Castrignanò, 2000).

L'obiettivo principale dell'analisi geostatistica si potrebbe configurare quindi come quello di studiare la variabilità spaziale di fenomeni, proprietà e caratteristiche, cercando plausibili spiegazioni delle loro distribuzioni alla luce di prove statistiche. Ogni fenomeno ha una propria distribuzione più o meno caratteristica ed è difficile discernere modelli comuni e cercare cause comuni per loro. Alla luce di questa considerazione, appare evidente come la geostatistica contribuisca in maniera determinante in settori delicati, come la valutazione della contaminazione del suolo e la posizione delle fonti di inquinamento, che rappresentano una questione cruciale in tema di bonifiche del suolo (Sollitto, 2010). Tali indagini, ad esempio si possono orientare al fine di individuare diverse fonti della contaminazione di origine antropica, oppure evidenziare come alcuni fenomeni hanno origine prevalentemente naturali (ad esempio, correlato al litologia e la composizione del materiale parentale). La metodologia geostatistica si rivela utile strumento per separare quindi cause geologiche e antropiche di variazione nel suolo del contenuto di particolari elementi, quali i metalli pesanti e di identificare comuni fonti di inquinamento (Sollitto, 2010). Tale pratica si è orientata anche attraverso il monitoraggio di elementi strettamente connessi alla fertilità dei suoli in un'ottica di corretta gestione e tutela della risorsa suolo. È certamente il caso, ad esempio, della Sostanza organica del suolo (SOM) principale indicatore della fertilità del suolo e qualità, ed è strettamente legato alla sua produttività. La gestione del suolo può migliorare produttività e qualità ambientale, e può ridurre la gravità e costi dei disastri naturali, come la siccità, inondazione e la malattia. Al fine di utilizzare suoli e proteggere l'ambiente in modo

sostenibile, è richiesta una migliore comprensione dei contenuti SOM e la sua variabilità spaziale. È di fondamentale importanza pratica per il processo di gestione ambientale la distribuzione spaziale della SOM. Tuttavia, i metodi di indagine del suolo convenzionali per la valutazione della SOM sono evidentemente onerosi (Qi-yong, 2014), recentemente, gli studi utilizzano come strumento ausiliario informazioni spazialmente correlate per migliorare la precisione nella predizione di proprietà del suolo (Qi-yong, 2014).

L'indagine conoscitiva in questa direzione ha, tra i suoi riverberi più espliciti, oltre che il supporto alla pianificazione anche il miglioramento e l'ottimizzazione dei processi colturali e agricoli in generale. Senza voler scendere nei dettagli di una lunga quanto articolata produzione bibliografica, si può certamente citare il settore strategico sia dal punto di vista scientifico che produttivo dell'agricoltura di precisione. In questi casi l'analisi geostatistica si mostra essere uno strumento efficace, se non determinante. Infatti, metodi efficienti per misurare con precisione variazioni all'interno del campo delle proprietà e caratteristiche del suolo sono cruciali per la viticoltura di precisione. Il campionamento in tali contesti è solitamente portato avanti con mezzi tradizionali allo scopo di ottenere le informazioni relative al terreno, ma essendo le indagini del suolo generalmente onerose in termini di tempo e costose economiche e per intensità di lavoro, soprattutto nei suoli (non di rado caratterizzati dall'alta percentuale di scheletro) che caratterizzano alcuni dei *terroir* più importanti nel mondo (Morari, 2009) la geostatistica si mostra un utile strumento. Questo anche alla luce del fatto che solitamente è elevato il numero di campioni necessari al fine di raggiungere una buona rappresentazione delle proprietà del suolo.

La variabilità del suolo all'interno dei campi è ormai ampiamente; tuttavia, la maggior parte degli agricoltori preferiscono utilizzare il suolo e gestire le colture allo stesso modo per l'intero campo, come se si trattasse di aree omogenee. Tale gestione crea inefficienze da un eccesso di trattamento o sotto-trattamento di porzioni di un campo, aumenta i costi di gestione, diminuisce rendimenti netti e contribuisce all'inquinamento delle acque sotterranee. Benefici ottimali sulla redditività e la protezione dell'ambiente dipendono dal modo in cui pratiche agronomiche sono ben calate sulle suolo. È quindi essenziale caratterizzare il suolo con precisione, sia in termini quantitativi che spazialmente (Castrignanò, 2000). La geostatistica è ora accettata tra i scienziati come una tecnica appropriata per stimare i valori delle proprietà del suolo in siti non campionati e aree estese. È quindi possibile interpolare le proprietà del suolo e mappare i valori stimati. Per

le proprietà quali la concentrazione dei nutrienti (Castrignanò, 2000), le mappe possono essere utilizzate per determinare la quantità di fertilizzante o calce da aggiungere al terreno per una particolare coltura o regime colturale. Scopo di tali indagini è spesso quello di conoscere la variazione spaziale delle proprietà del suolo, ma anche di individuare le fonti di variazione.

È indubbio che la variazione spaziale e temporale delle proprietà del suolo unitamente alle condizioni meteorologiche possono influenzare la crescita delle colture, la quantità resa e la qualità della resa (De Benedetto, 2013). Al fine di aumentare la redditività degli agricoltori e la tutela dell'ambiente, le pratiche gestionali quindi devono essere adattate alla variabilità delle condizioni *in situ*. Recentemente, la ricerca si è concentrata sulla delimitazione delle zone di gestione in agricoltura di precisione che sono definite come regioni *sub-campo* in cui gli effetti sulla produzione delle condizioni stagionali, il suolo, la gestione, ecc sono valutati in maniera più o meno uniforme (Lark, 1998). In questi frangenti, l'obiettivo finale è la produzione di 'mappe di prescrizione' per l'applicazione di input come l'acqua e/o fertilizzanti (De Benedetto, 2013). È dunque evidente come, per produrre una valutazione precisa e conveniente di variazione spaziale, alla scala necessaria per agricoltura di precisione, vi è una crescente domanda di acquisizione rapida, relativamente economica e non invasiva informazioni a grande scala sul suolo e delle piante (De Benedetto, 2013).

2.3 Analisi geostatistica. Creazione di mappe di predizione relative alla distribuzione di PTE

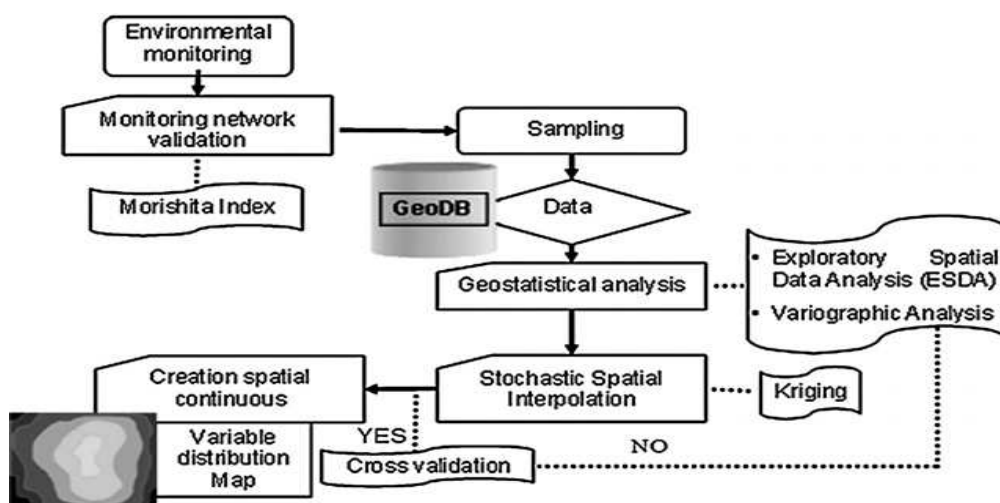
Il lavoro si è sviluppato attorno all'esigenza di produrre delle *prediction maps* relative alla distribuzione di alcuni PTE (*potentially toxic elements*). A tal proposito, si è proceduto seguendo uno schema basato su alcuni passaggi principali che, a partire dall'acquisizione dei dati tramite campionamento, ha portato, attraverso la creazione di un modello interpretativo del fenomeno, alla sua materializzazione attraverso le mappe corredate in definitiva di un ulteriore mappatura necessaria a stimare l'errore.

Le fasi sono essenzialmente :

- Campionamento e analisi;

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

- Creazione del dataset;
- Analisi esplorativa dei dati (Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA);
- Analisi del variogramma;
- Interpolazione spaziale, tramite Ordinary Kriging, e creazione delle mappe di distribuzione.



Tratto da Gorelli et al, 2009 - Validation of air pollution biomonitoring networks and related data modelling: a geostatistical approach.,

2.4 Materiali e metodi

Area studio e campionamento.

Per la caratterizzazione fisico-chimica e pedogeochimica dei suoli si è scelto di condurre un campionamento impostato su un pattern geometrico predeterminato rappresentato da una griglia di campionamento (sampling grid) costituita da celle di forma quadrata.

È stata pertanto creata una griglia di campionamento a maglia quadrata costituita con passo di 1600 m. Ciò allo scopo di ottenere una distribuzione omogenea di 144 punti equidistanti. In campo geostatistico la scelta del modello di campionamento è di particolare importanza. Infatti i pesi nel sistema di kriging variano unicamente in funzione della configurazione geometrica dei punti di campionamento e del modello di semivariogramma scelto. Non dipendono, tuttavia, dai valori assoluti delle osservazioni e lo stesso vale anche per la varianza di kriging. Questa proprietà torna particolarmente utile in fase di

definizione dello schema di campionamento, in quanto consente di stimarne l'errore prima che le misure vengano effettivamente eseguite (Raspa, 2000). A sottolineare l'importanza di tenere conto della dipendenza spaziale nella definizione delle modalità di campionamento, contribuisce il fatto che l'errore associato è indipendente dallo schema scelto solo nel caso di variazione spaziale puramente casuale. Sintetizzando, quindi, l'approccio di ottimizzazione della strategia di campionamento consiste in generale nella minimizzazione della varianza di stima, assunta come funzione obiettivo (Raspa, 2000). Tale minimizzazione, sebbene auspicabile, di fatto non rappresenta però sempre un obiettivo realistico nella pratica del campionamento. Non trascurabile anche il fatto che, anche nel campo delle applicazioni geostatistiche finalizzate alle attività di bonifica, le operazioni, benché coerenti alle norme regolamentarie dei processi di disinquinamento, vengono valutate anche sulla base di considerazioni di natura economica (Christakos e Killiam 1993, Goovaerts et al. 1996). Da un punto di vista geostatistico, il campionamento effettuato si rivela efficace in quanto solo le strategie di campionamento regolari sono considerate come quelle capaci di fornire informazioni più affidabili nelle diverse classi di distanza al fine di calcolare il variogramma sperimentale (Jeanne, 2008), benché gli approcci statistici classici in generale raccomandino un campionamento casuale.

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Nel caso di studio in oggetto, inoltre diventa necessario impiegare modelli in grado di valutare la continuità spaziale di fenomeni più o meno legati alla salute umana; tale approccio consente quindi di creare una strategia di campionamento che garantisce almeno

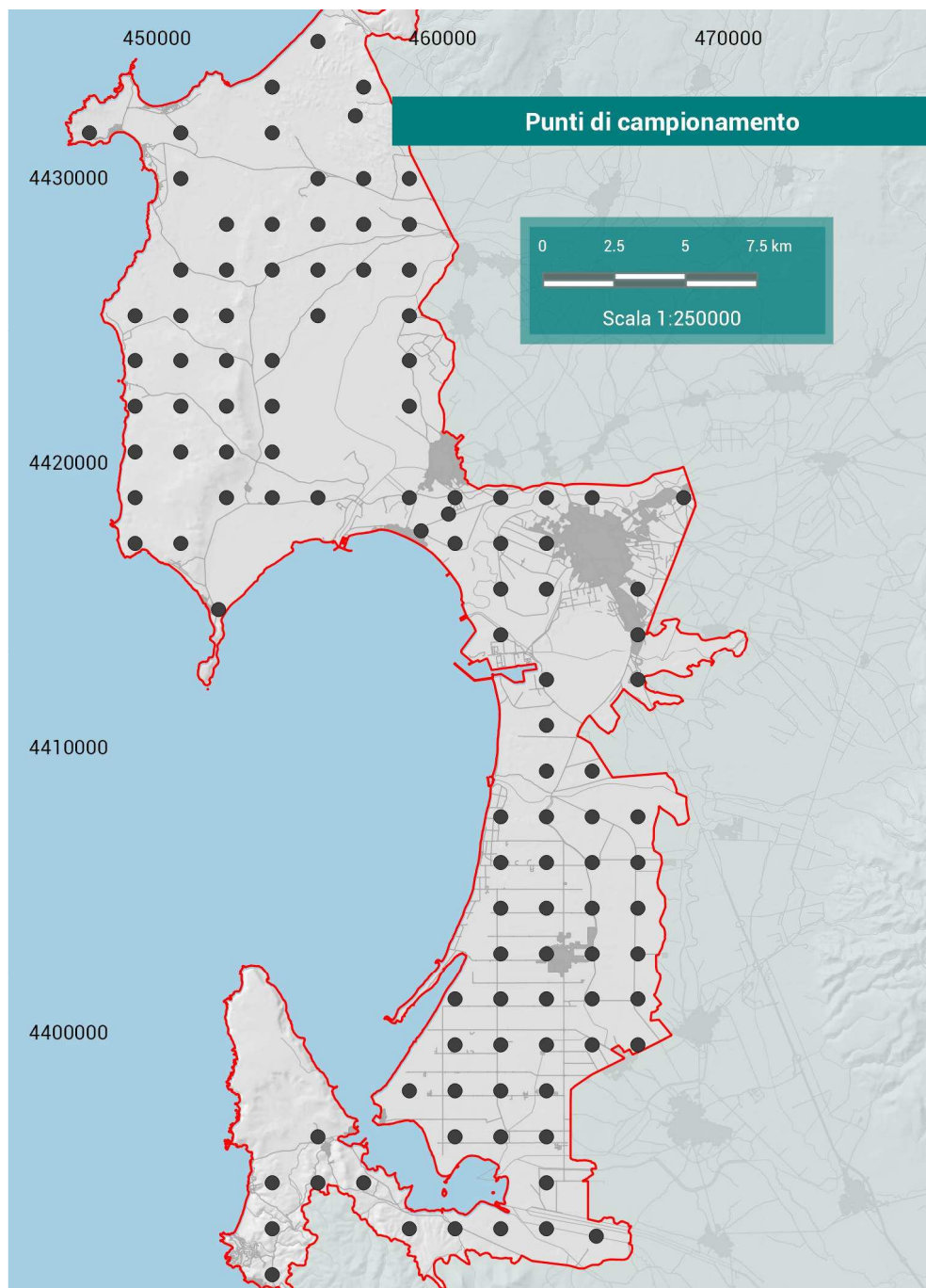


Fig. 10 - Distribuzione spaziale dei campioni all'interno dell'area di studio
il rilevamento di una percentuale accettabile di "punti caldi". Tuttavia, queste tecniche presuppongono che la contaminazione sia distribuita in modo casuale all'interno dell'area studio. Questo è lo scenario che si verifica spesso dopo il processo di decontaminazione,

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

ma non è frequente prima, ovvero durante la contaminazione iniziale. All'atto pratico, a partire da questo primo campionamento, è possibile individuare aree pulite, aree sensibili e aree incerte che richiedono ulteriore campionamento. Nel caso in oggetto, dalla maglia sono stati scartati i punti non accessibili (per esempio quelli ricadenti all'interno degli stagni o in aree militari¹⁴); dai 144 punti previsti si sono ottenuti 114 punti di campionamento.

Analisi

Su ogni campione di suolo prelevato in campo (per un totale di 114 campioni) sono state condotte le principali analisi chimico-fisiche e pedogeochimiche presso i laboratori di Scienze del Suolo e Pedotecnologie del Dipartimento di Architettura, Design ed Urbanistica dell'Università degli Studi di Sassari con sede a Nuoro (Gaviano, 2015). L'indagine fisico-chimica e pedogeochimica complessiva ha permesso di determinare, secondo i “Metodi ufficiali di analisi chimica e fisica del suolo” del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (D. M. del 13/09/1999) i seguenti parametri: Umidità, Densità apparente, frazioni granulometriche (sabbia, limo e argilla), pH, Conducibilità Elettrica, Carbonati totali, Carbonio Organico e Sostanza Organica, Azoto totale, Fosforo totale, Capacità di Scambio Cationico, metalli pesanti (Ni, Zn, Cu, Pb, Cd, As, Al, Fe, Mn).

PTE (Potentially Toxic Elements)

Con il termine “metalli pesanti” si indicano tutti quegli elementi che presentano determinate caratteristiche (Leita e Petruzzelli, 2000): densità superiore a 5 g/cm³ e generalmente un numero atomico superiore a 20; presentano diversi stati di ossidazione a seconda delle condizioni di pH e potenziale redox; mostrano una grande attitudine a formare complessi metallorganici; presentano bassa solubilità dei loro idrati; hanno una elevata affinità per i solfuri nei quali tendono a concentrarsi.

Possono essere definiti metalli pesanti, da un punto di vista chimico e/o in base a

¹⁴ Capo Frasca, che chiude a sud il Golfo di Oristano, è interamente compreso all'interno di un poligono militare (Gaviano, 2015).

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

conoscenze bio-ecologiche, elementi come Pb, Cd, Hg, Cr, Ni, Fe, Mn, Cu, Zn, Co; anche non-metalli o semimetalli quali Al, Mo, Se, Bo, V e As sono considerati metalli pesanti per origine e meccanismo di azione (Adriano, 1992; Alloway, 1995).

I metalli pesanti vengono spesso definiti, in riferimento al loro potenziale tossico, come Potentially Toxic Elements (Alloway, 1995), cioè elementi potenzialmente tossici, e sono correlati in maniera altamente significativa allo stato di salute dell'uomo e dell'ambiente.

Essi entrano a far parte di tutte le rocce che costituiscono la crosta terrestre (Bowen, 1979).

Si trovano normalmente come “elementi in traccia” nell'ambiente (ad eccezione di Fe, Al e Mn), in concentrazioni molto basse (0,1%), dell'ordine dei ppm o ppb.

I metalli si possono trovare nel suolo nella fase liquida (soluzione circolante) sotto forma di ioni liberi, di coppie ioniche o complessati da in? composti organici o inorganici; nella fase solida, occlusi nei reticoli cristallini dei minerali (fase residuale), associati ai carbonati, ai fosfati, ai solfati, agli ossidi e idrossidi di Fe, Mn e Al, alle argille, alla sostanza organica (Kidd et al., 2009).

I metalli pesanti si accumulano preferenzialmente nello strato arabile del suolo, saldamente legati alla sostanza organica, concreti in ossidi di ferro, alluminio e manganese (Canepa et al., 1994).

In particolare, i materiali che costituiscono l'humus hanno notevole affinità per i cationi dei metalli, che estraggono dall'acqua circolante. Il legame avviene in seguito alla formazione di complessi con gli ioni del metallo stesso mediante gruppi -COOH presenti negli acidi umici e fulvici del suolo, tramite processi di chelazione.

Una caratteristica che rende i metalli particolarmente pericolosi è la loro persistenza. Tali elementi presenti nel suolo non vengono in alcun modo degradati, sono difficilmente dilavabili e non vengono distrutti nel metabolismo degli organismi viventi, ma permangono fino a che non vengono trasportati da qualche meccanismo chimico, fisico o biologico in un altro comparto ambientale.

Alcuni elementi in traccia sono indispensabili per la vita degli organismi autotrofi ed eterotrofi, seppur richiesti in concentrazioni molto basse e per tale motivo definiti “micronutrienti”. Ma in concentrazioni superiori al fabbisogno nutrizionale, tali elementi possono rivelarsi tossici e in alcuni casi cancerogeni. Altri metalli sono estranei ai cicli metabolici e risultano tossici anche in minime dosi. Ad esempio, alcuni elementi quali Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Zn sono essenziali in piccole concentrazioni per la vita di piante e/o

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

animali, sebbene tutti siano tossici ad elevate concentrazioni. Tra gli elementi che destano maggiori preoccupazioni per la salute umana vi sono As, Cd, Hg, Pb, Ag e Be (Abrahams, 2002).

Il suolo, convenzionalmente definito a bassa vulnerabilità, perché dotato della capacità di tamponare elevate quantità di inquinanti in forme non tossiche (Suthersan, 1999; Goldberg e Zaccheo, 2003), presenta un'elevata vulnerabilità in termini di rilascio di sostanze tossiche in forme solubili. L'improvviso rilascio di un metallo pesante si verifica quando:

- l'immissione del metallo pesante supera la capacità di ritenzione del suolo;
- la capacità d'immagazzinamento di un suolo diminuisce in seguito alla variazione delle condizioni ambientali.

I parametri fondamentali che regolano la capacità del suolo di immagazzinare i metalli pesanti sono: il pH, il potenziale redox, il contenuto di sostanza organica, la capacità di scambio cationico (Kabata-Pendias, 2011).

La presenza dei metalli pesanti nel suolo è riconducibile sia a fonti naturali (o geogeniche), quali il substrato pedogenetico (Palumbo et al., 2000; Rawlins et al., 2003) sia antropiche, quali le attività industriali, civili e agricole (Zhao et al., 2007). I suoli hanno infatti una dotazione "naturale" di metalli, la cui presenza è riconducibile a naturali processi di degradazione dei substrati geologici che li contengono in piccole quantità, da cui i suoli stessi traggono origine; l'ammontare dei metalli quindi dipende dal tipo di roccia madre e dai processi pedogenetici. Si può parlare di contaminazione di un suolo quando si accerta una deviazione dalla composizione "normale", ed è generalmente collegata a sostanze immesse nel suolo a seguito dell'intervento dell'uomo.

L'attività antropica rappresenta quindi la fonte primaria di arricchimento del preesistente contenuto naturale. Tra le attività umane che contribuiscono all'immissione di elevate concentrazioni di metalli nell'ambiente possiamo menzionare: attività di miniera e metallurgiche, attività industriali (industrie galvaniche, chimiche, siderurgiche, concerie, cementifici, etc.), uso di combustibili fossili, traffico autoveicolare, smaltimento dei rifiuti, attività agricole.

I fertilizzanti e i pesticidi contengono infatti metalli pesanti sotto forma di impurità. Nella presente ricerca è stata determinata la concentrazione dei principali metalli pesanti (Zn, Pb, Ni, Cu, Cd, As) che si rinvenivano più comunemente nei suoli agricoli. Il rischio dato dalla presenza di metalli pesanti nel suolo è legato all'accumulo di quantità tali da costituire,

oltre una perdita di qualità del suolo, un pericolo potenziale per gli altri comparti di rilascio di inquinanti quando questi superano la capacità di ritenzione o a seguito di variazioni delle condizioni ambientali (Giandon e Bortolami, 2007).

Ai fini della trattazione sono presi in considerazione i risultati delle analisi relative alle concentrazioni di Zn, As, Cu e Ni. I dati relativi alle concentrazioni di questi elementi, espressi in ppm, sono stati infine georeferiti con l'impiego di software GIS; in questo modo si è ottenuto un strumento di tipo vettoriale che associando al dato la posizione spaziale si presenta completo per la rappresentazione cartografica dei valori ottenuti e costituisce di fatto la base di partenza per le successive elaborazioni geostatistiche.

Analisi esplorativa dei dati.

Il primo fondamentale passaggio, preliminare a qualsiasi tipo di trattamento geostatistico dei dati, è consistito in una ragionata analisi esplorativa dei dati. Questo consente una prima familiarizzazione sia con la natura fisica del fenomeno che con i dati osservati (Ciotoli, 2005). Questo è un momento comunque determinante, in quanto ogni modello geostatistico viene costruito sulla base delle informazioni disponibili e pertanto qualsiasi errore sistematico sulle osservazioni si rifletterà in ogni fase successiva delle analisi (Tukey, 1977).

Si può dunque sintetizzare l'obiettivo dell' EDA (acronimo derivato dall'inglese Exploratory Data Analysis) nei seguenti punti (Ciotoli, 2005):

- migliorare lo studio del dataset;
- scoprire strutture nascoste;
- estrarre le variabili più importanti
- individuare gli outliers e le anomalie;
- testare principi di base;
- determinare i fattori principali che dipendono dal modello.

La prima fase dello studio spaziale è pertanto l'analisi univariata (e se necessario, multivariata) dei dati non elaborati, indispensabile per fornire le conoscenze di base sulle variabili in gioco ed un sommario statistico dei dati stessi (Guastaldi, 2010). Tutto, infatti,

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

deve partire dai dati originali per capire come poi analizzare spazialmente le variabili ambientali.

L'analisi esplorativa dei dati è accompagnata dall'analisi esplorativa *Spaziale* dei dati ESDA, che può comprendere (Ciotoli, 2005):

- La statistica a finestre mobili (MWS) e l'analisi dell'effetto proporzionale.
- La visualizzazione dei dati in 1D e 2D, attraverso la produzione di mappe a bolle e a classi di valori. In questa trattazione tali informazioni verranno integrate con interpolazioni preliminari attraverso metodi deterministici, nello specifico IDW e Spline.
- Elementi di variografia, passo fondamentale per la modellizzazione geostatistica.

Variogramma

Quando si affronta uno studio geostatistico, la prima fase di esso, dopo la già citata e necessaria analisi preliminare, che come descritto si pone l'obiettivo di elaborare delle statistiche elementari (e non) finalizzata a prendere conoscenza dei dati ed alla loro verifica, è dedicata al calcolo ed alla interpretazione dei variogrammi sperimentali.

Nel caso specifico del Kriging, lo studio del variogramma usa il semi-variogramma (la metà del variogramma) per determinare i pesi dell'equazione da impiegare nella stima. Uno dei risultati dell'interpretazione è la identificazione del modello di Funzione Aleatoria (FA): se stazionario, quasi-stazionario, intrinseco. Spesso l'identificazione del modello, come sarà, avviene in maniera molto chiara e inequivocabile (Raspa, 2009). La stima della funzione variogramma viene effettuata sulla base dei dati provenienti dal campionamento del fenomeno oggetto di studio (Raspa, 2009).

Il variogramma è la funzione più comune della geostatistica, usata nelle applicazioni principalmente per caratterizzare la variabilità spaziale di un fenomeno regionalizzato.

Sia S il dominio in cui è definita la FA $Z(x)$ e siano x_0 e x_0+h una coppia di punti appartenenti ad S e distanti h (fig.3.4) La differenza tra $Z(x_0)$ e $Z(x_0+h)$ definisce una nuova VA detta *accrescimento* o *incremento*:

$$[Z(x_0+\mathbf{h}) - Z(x_0)].$$

La sua semi-varianza, è per definizione il variogramma:

$$\gamma(x_0, \mathbf{h}) = \frac{1}{2} \text{Var}\{[Z(x_0 + \mathbf{h}) - Z(x_0)]\}.$$

In geostatistica si lavora più praticamente con un'altra funzione, il variogramma $g(h)$. Esso è definito come la semi-varianza dell'incremento della variabile tra due punti:

$$\gamma(x_0, h) = \frac{1}{2} \text{var}\{Z(x_0) - Z(x_0 + h)\}$$

Il variogramma è anch'essa una funzione pari ed è una misura della variabilità del parametro di studio in funzione della distanza. Il suo valore in generale cresce con la distanza.

Nel caso in cui vi è stazionarietà il variogramma, funzione solo di h , è dato da:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(x_0) - Z(x_0 + h)]^2\}$$

ed è legato alla covarianza dalla seguente relazione:

$$g(h) = C(0) - C(h) \quad (1)$$

Poiché $C(h)$ è sempre minore o uguale di $C(0)$, si ha che, nel caso di stazionarietà, il variogramma è sempre limitato, e il limite è costituito da $C(0)$, cioè dal sill.

Una Funzione Aleatoria è descritta da un variogramma stazionario, che costituisce operativamente il modello più semplice per interpretare in senso probabilistico una variabile regionale.

La funzione variogramma viene stimata coi dati di campionatura attraverso il calcolo, nelle diverse direzioni dello spazio, dei variogrammi sperimentali. Se i variogrammi sperimentali mostrano l'esistenza di un valore di soglia vuol dire che una FA stazionaria interpreta appropriatamente, quanto alla variabilità spaziale, il fenomeno di studio.

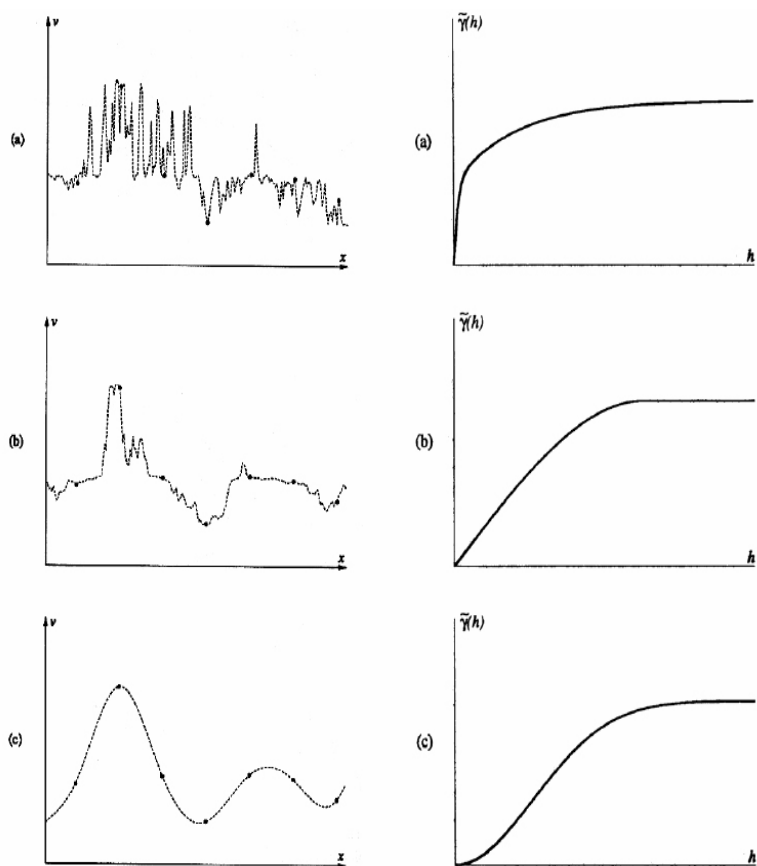


Fig. 9a: Comportamento delle Funzioni Aleatorie stazionarie

La continuità e la regolarità spaziale di una variabile sono responsabili del comportamento del variogramma nell'origine. Nell'esaminare questa proprietà facciamo riferimento a variogrammi sperimentali riconducibili a FA stazionarie, quasi stazionarie e strettamente intrinseche. Si possono individuare tre forme di comportamento: parabolico, lineare, discontinuo (Raspa, 2009).

Oltre al comportamento all'origine del variogramma è importante sottolineare come con l'aumentare di h il variogramma aumenta di valore ed evolve sostanzialmente secondo due forme (Raspa, 2009):

- raggiunge un valore di soglia;

· aumenta indefinitamente.

Il valore di soglia e la distanza alla quale esso è raggiunto vengono chiamati nella letteratura geostatistica rispettivamente: *paliér* e *portée* secondo la terminologia francese e *sill* e *range*; il relativo variogramma è perciò detto *con paliér* o *con sill*.

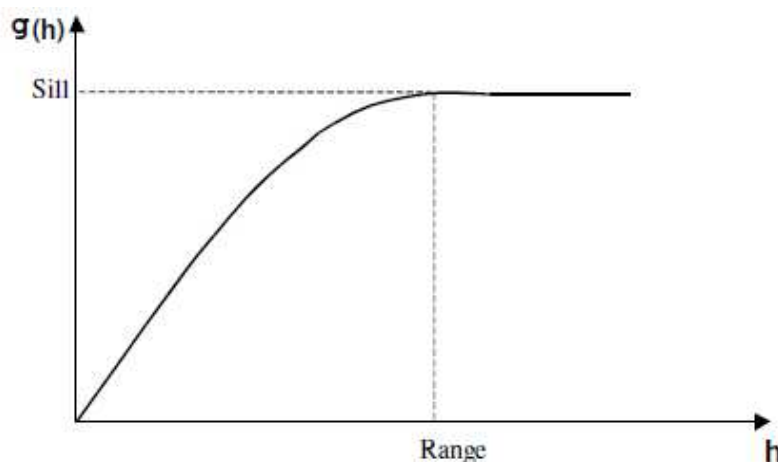


Fig. 10: Variogramma in evidenza sill e range

A questo livello delle disamina il punto centrale si sposta sulla necessità di scegliere il modello, tenendo conto di quattro aspetti principali: criterio di scelta, dati di partenza, tecniche e conseguenze a livello di previsione.

Di estrema importanza è la definizione della dicotomia fenomeno/modello. Per Raspa, (2009) "*Le proprietà che definiscono un modello sono delle proprietà matematiche e sono da attribuire unicamente alla Funzioni Aleatorie. Per essere precisi bisognerebbe dire tale variabile regionalizzata, per un dominio dato e per una data scala di lavoro, può ragionevolmente essere (o non essere) modellizzata da una Funzione Aleatoria stazionaria. E si sottolinea ancora una volta che l'avverbio ragionevolmente, che può scandalizzare gli statistici, potrebbe essere presa come la pietra angolare del procedimento del geostatistico. Così nel caso preciso che ci interessa, non c'è vera risposta alla questione stazionario o non stazionario, ma piuttosto una assunzione di responsabilità da parte del geostatistico, fatta con cognizione di causa, nel migliore accordo possibile coi dati, seguendo sempre il principio dell'economia, e cosciente che comunque alla fine ci sarà sempre un rischio*".

Tra le funzioni matematiche che hanno le proprietà sopra enunciate la letteratura geostatistica ne propone alcune che sin qui si sono rivelate adatte a descrivere l'andamento dei variogrammi sperimentali. Sulla base delle loro espressioni analitiche è possibile classificarle in funzioni con e senza Sill. Queste funzioni di variogramma sono anche chiamate modelli di variogramma o schemi di variogramma.

Sono stati presi in considerazione ai fini della trattazione, solo i seguenti variogrammi sperimentali con sill (Raspa, 2009)

Modello pepitico

$$\gamma(h) = c[1 - \delta(r)] \quad r = |h| \geq 0$$

$\delta(r)$ è una funzione che vale 1, quando $r = 0$, per ogni altro valore di r . Il parametro c è il *sill* del variogramma, che è caratterizzato dall'averne un *range* nullo. Questo modello esprime una discontinuità nell'origine.

Modello sferico

$$\gamma(h) = \begin{cases} c[1.5 \cdot r/a - 0.5 \cdot r^3/a^3] & r = |h| \leq a \\ c & r = |h| \geq a \end{cases}$$

a e c sono i parametri del modello e rappresentano rispettivamente il *range* ed il *sill*. Il comportamento nell'origine è lineare con una pendenza pari a $1.5 c/a$.

Modello esponenziale

$$\gamma(h) = c[1 - \exp(-r/a)] \quad r = |h| \geq 0$$

Il parametro c rappresenta il *sill*, che è per questo modello raggiunto asintoticamente. Il modello in questione è pertanto a *range* infinito. Comunque, per avere una misura della

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

distanza entro cui si manifesta la correlazione ed anche per confronto con altri modelli è stato introdotto un *range pratico* a' , definito come la distanza alla quale viene raggiunto il 95% del *sill*. Esso risulta essere: $a' = 3a$. Il comportamento nell'origine è lineare con una pendenza pari a c/a .

Modello gaussiano

$$\gamma(h) = c \left[1 - \exp(-r^2/a^2) \right] \quad r = |h| \geq 0$$

Il parametro c rappresenta il *sill*, che anche per questo modello è raggiunto asintoticamente con range infinito. Anche per il modello gaussiano è stato introdotto un range pratico a'

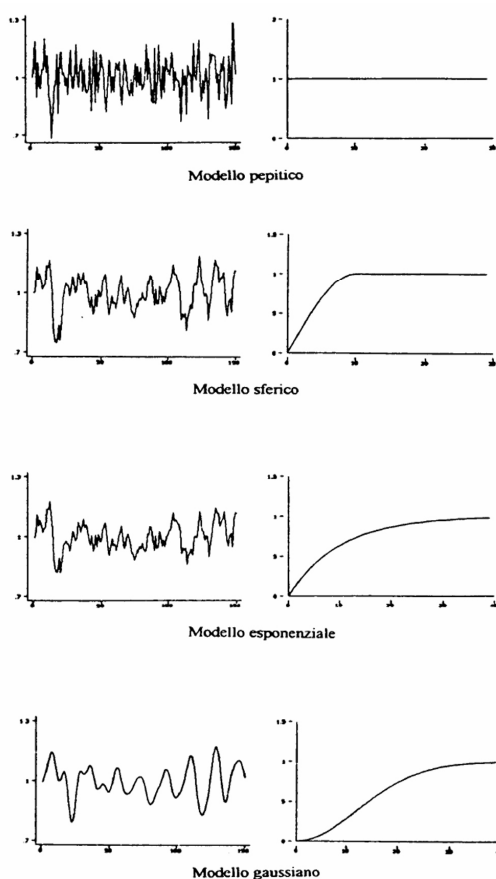


Fig. 12– principali modelli di variogramma

avente lo stesso significato di quello esponenziale, cioè la distanza alla quale viene

raggiunto il 95% del sill. Il comportamento nell'origine è parabolico, quindi con tangente orizzontale.

2.4.1 Modelli di interpolazione.

L'IDW

Nella fase di esplorazione spaziale dei dati si è scelto di effettuare una prima interpolazione di natura “preventiva” allo scopo di acquisire una prima indicazione sulla distribuzione spaziale del fenomeno. Tra i differenti strumenti di interpolazione si è optato per l'IDW, o inverso pesato della distanza. L'IDW è un algoritmo di natura deterministica, termine con la quale si indicano quegli strumenti che esprimono il legame fra punti vicini attraverso una legge esplicita i cui parametri hanno significato fisico¹⁵. Nel caso dell'IDW, i valori sono stimati utilizzando i punti di osservazione circostanti, mediati attraverso una pesatura del valore osservato, con pesi assegnati in funzione della distanza (pesi più vicini avranno pesi maggiori di quelli più distanti). Dato estremamente rilevante, rispetto ad altri metodi, in particolare il Kriging, il metodo IDW è più semplice e non richiede pre-modellazione o assunzioni soggettive nella scelta di un modello del semi-variogramma (Tomczak, 1998, Henley, 1981). Inoltre, aspetto che all'interno della ricerca in corso ha svolto un ruolo non secondario, può essere l'IDW, applicabile a set di dati di piccole dimensioni per i quali il modello dei semi-variogrammi sono molto difficili da applicare (Tomczak, 1998, Rasmussen-Rhodes e Mayers, 1993). Uno dei principali difetti di questo interpolatore è che la scelta dei pesi è di fatto arbitraria (Guastaldi, 2010). Inoltre non esiste misura dell'errore compiuto durante l'interpolazione, e non si tiene conto della configurazione e distribuzione spaziale dei campioni. Si crea pertanto la situazione in cui, avendo due o più dati alla stessa distanza e direzione dal punto da stimare, questi avranno lo stesso peso, ma soprattutto uguale a quello di un punto isolato che semplicemente è posto alla stessa distanza dal punto di stima dei primi due. Altro dato fondamentale, con l'interpolatore IDW, come con gli altri interpolatori basati sulla media pesata, si ottengono valori previsti che non sono più grandi del valore più grande campionato, e non più piccoli del più

¹⁵ Si contrappongono per definizione agli strumenti di natura stocastica, in cui il legame fra punti vicini è espresso da un legame statistico (covarianza) che può non avere significato fisico (Zatelli, 2009).

piccolo valore campionato; questo aspetto gioca un ruolo fondamentale come limite nell'analisi di quei fenomeni che coinvolgono aspetti legati alla salute umana. Nella trattazione, l'IDW costituisce di fatto una fase di Analisi Esplorativa calata sul contesto spaziale oggetto di studio, preliminare quindi all'analisi geostatistica vera e propria.

La formula dell' IDW, nella sua accezione generale (Ambrosiani, 2013), è:

$$Z(x, y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i, y_i)$$

Dove $Z(x,y)$ è il valore stimato, $Z(x_i, y_i)$ il valore del punto campionato nelle coordinate (x_i, y_i) e λ_i il valore della funzione peso λ .

Nel caso del IDW, i parametri di controllo della stima sono 3 (Ciotoli, 2005):

- L'esponente assegnato all'inverso della distanza pesato, all'interno della funzione peso. . Benché sia un'operazione di fatto arbitraria, è opportuno conoscere gli effetti della scelta degli esponenti, che quando bassi (0 – 2) migliorano la percezione delle anomalie locali mentre con esponenti maggiori (3 – 5) tali anomalie vengono appiattite. Nell'elaborazione dell'IDW nel caso studio, si è optato per un esponente al limite, 3.
- Dimensione dell'area di ricerca e il numero di punti. All'aumentare dell'area di ricerca aumenta il numero di punti osservazione presi in considerazione, producendo un appiattimento delle anomalie.

Kriging

Una delle operazioni più comuni che vengono effettuate nell'ambito del trattamento dei dati spaziali, è la costruzione di carte tematiche, ovvero relative a porzioni di aree geografiche, in cui è riportato, sulla base di un adeguato metodo di rappresentazione, l'andamento di una variabile di studio. La carta è normalmente costruita a partire dai valori della variabile misurati all'interno dell'area. (Raspa, 2000).

Il kriging è lo strumento che offre una soluzione al problema della stima basato su un modello continuo di variazione spaziale stocastica (Guastaldi, 2010). Esso infatti fa il miglior uso della conoscenza sulla variabile, prendendo in considerazione il modo in cui

una proprietà varia nello spazio attraverso il modello del variogramma.

Il Kriging è un “metodo lineare” per la stima ottimale di una grandezza naturale distribuita nello spazio. Il nome deriva da quello dell'ingegnere minerario sudafricano D.G. Krige, che, intorno agli anni '50, ha sviluppato una serie di metodi statistici empirici per determinare la distribuzione spaziale dei giacimenti minerari, a partire dai sondaggi. È stato successivamente il francese Matheron che ha formalizzato questo approccio utilizzando le correlazioni tra i sondaggi per stimare la distribuzione spaziale ed è lui che ha chiamato il metodo “Krigage” utilizzando quindi il termine di “geostatistica” per designare la modellazione statistica di dati spaziali. Lo stesso approccio è stato sviluppato anche in URSS da L.S.Gandin che ha chiamato il suo metodo “interpolazione ottimale” e ha introdotto il termine di “analisi oggettiva” per descrivere questo approccio basato sulla correlazione.

Il presupposto che sta alla base del Kriging è che le proprietà osservabili sulla superficie terrestre sembrano avere da un punto all'altro una variabilità irregolare tale che nessuna funzione matematica semplice sembra in grado di descriverle. Tuttavia nella maggior parte dei casi esiste una struttura e una tendenza spaziale. La teoria delle variabili regionalizzate considera questa struttura spaziale nei calcoli di interpolazione del fenomeno da descrivere. Nella sua formulazione originale, una stima tramite kriging in una localizzazione obiettivo era semplicemente una somma lineare, o media pesata dei dati nelle vicinanze del target. Da allora, il kriging è stato elaborato per affrontare i crescenti problemi nelle applicazioni minerarie, petrolifere, di controllo dell'inquinamento, sanitarie (Guastaldi, 2010). Il termine kriging assume attualmente un'accezione generica, in quanto si riferisce ad applicazioni di natura differente. In questo studio si utilizza essenzialmente il kriging lineare. Nel kriging lineare le stime sono combinazioni lineari dei dati. I pesi sono assegnati ai campioni all'interno delle vicinanze del punto o del blocco da stimare, in modo tale da minimizzare la varianza della stima o varianza del kriging (*estimation variance o kriging variance*), e le stime sono corrette (Guastaldi, 2010).

Il Kriging ordinario.

Uno dei metodi geostatistici per la stima del valore di una variabile riferita a qualsiasi entità geometrica, puntuale o areale, è il kriging ordinario (KO) (Matheron, 1970), e si

riferisce ad uno stimatore lineare, che per l'appunto è una combinazione lineare dei valori della variabile noti in prossimità dell'entità da stimare (Raspa, 2009). Nel caso del Kriging Ordinario la formula è:

$$z^*(\mathbf{x}_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(\mathbf{x}_i)$$

Dove il in cui \mathbf{x}_0 è il target point, il punto bersaglio, ovvero il punto per il quale si stima il valore della variabile Z ; $z(\mathbf{x}_i)$ per $i = 1, 2, \dots, n$ nei punti \mathbf{x}_i sono i dati misurati, ovvero i valori campionati della variabile Z ; λ_i sono i pesi assegnati a tali campioni. La stima (o predizione) di un valore z della variabile Z è indicata con z^* .

Tale formula di fatto è una media pesata dei dati, in cui λ_i rappresenta il peso i -esimo da assegnare al valore della variabile Z nel punto campionato \mathbf{x}_i . Per assicurare che la stima sia corretta (unbiased estimates), e quindi non affetta da errori sistematici, la somma di tali pesi deve essere uguale a 1 (Guastaldi, 2010):

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

e l'errore atteso sia uguale a zero:

$$E \left[\{Z^*(\mathbf{x}_0) - Z(\mathbf{x}_0)\}^2 \right] = 0$$

Le condizioni per l'applicazione del Kriging ordinario sono, così come per il kriging semplice, le seguenti (Ciotoli, 2005):

- Le osservazioni sono una realizzazione parziale di una Funzione Aleatoria $Z(x)$, dove x indica la localizzazione nello spazio;
- La funzione è stazionaria, ovvero la media, la covarianza spaziale e la semivarianza non dipendono da x ;
- A differenza del Kriging semplice, la media delle variabili regionali è costante ma non è necessariamente nota.

Per tutte le elaborazioni effettuate si è optato per l'impiego del Kriging Ordinario.

2.4.2 Principal Factor Analysis

La Principal Factor Analysis - PFA è una metodica di analisi multivariata volta a spiegare le correlazioni fra un insieme di p variabili osservate attraverso un insieme di m variabili non osservate (latenti) cui si dà il nome di “fattori” (Reimann et al., 2002). Per facilitare l'interpretazione dei risultati, è stata utilizzata la rotazione *varimax* che consiste in una rotazione ortogonale che ha lo scopo di modificare i pesi fattoriali in modo da massimizzare la varianza fra i pesi fattoriali relativi ad ogni fattore e semplificarne l'interpretazione. Questo tipo di rotazione opera una trasformazione degli assi in modo che, per ogni fattore, esistano poche variabili con pesi fattoriali elevati e più variabili possibile con pesi fattoriali vicino allo zero o trascurabili.

Prima di effettuare le matrici di correlazione (Pearson) su cui è stata condotta la PFA, è stato verificato che le variabili avessero o meno una distribuzione normale. Infatti, poiché i dati pedogeochimici raramente mostrano una distribuzione normale (Reimann e Filzmoser, 2000), è consigliabile che, prima di qualsiasi analisi statistica, i dati vengano trasformati in una distribuzione più simmetrica per migliorare la robustezza statistica dei risultati (Reimann e Filzmoser, 2000; Templ et al., 2008). Anche nel nostro caso, come mostrato dal test di Kolmogorov-Smirnov (K-S test) per la normalità, vari parametri (argilla, carbonati totali, pH, CE, CO, Al, Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, Pb, Cd, As) non sono distribuiti normalmente.

Benché sia nota l'efficacia del metodo Box Cox (Box e Cox, 1964) nella trasformazione dei dati ambientali di tipo pedogeochimico (Filzmoser, 2009), in questo caso, a seguito di differenti prove con varie trasformazioni (la cui normalità è stata testata tramite K-S test), si è rilevata come più potente (ovvero in grado di normalizzare il più elevato numero di dati) la trasformazione log-normale.

Riassumendo dunque, la PFA è stata costruita utilizzando il seguente approccio (Reimann et al., 2002):

- a) il data set di dati grezzi è stato sottoposto a trasformazione logaritmica per l'avvicinamento ad una distribuzione normale;
- b) dai dati log-trasformati è stata ricavata la matrice di correlazione di Pearson;

c) l'analisi dei fattori principali (PFA) è stata effettuata sulla matrice di correlazione precedentemente elaborata.

2.5 Risultati e discussione

Principali tipologie di suoli indagati e andamento parametri fisico-chimici

I campioni (orizzonti di superficie A o A^p) sono stati prelevati su differenti tipologie di suolo. Prevalentemente il campionamento ha riguardato **Typic, Aquic ed Ultic Palexeralfs** (30 campioni) caratterizzanti le aree della bonifica di Arborea. Questi Alfisuoli costituiscono la tipologia di suolo più rappresentativa dell'area di studio (occupano circa il 20% pari a 83 km² pari a circa il 20% dell'area indagata). Buona parte della Piana di Arborea è infatti caratterizzata da substrati prevalentemente costituiti da sabbie di origine eolica (Wurmiano, Pleistocene) che ricoprono le alluvioni antiche terrazzate e medie.

Circa una ventina di campioni (55 km² pari a circa il 13% dell'area indagata) sono stati raccolti da suoli che si sono evoluti su calcari organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene del Sinis (Typic e Lithic Xerorthents; Typic e Lithic Xerocrepts; Typic Rhodoxeralfs che Litic e Typic Xerorthents; Litic e Typic Rhodoxeralfs). Una ventina di campioni (50 km² pari a circa il 12% dell'area indagata) sono stati prelevati anche sui suoli dei depositi alluvionali Olocenici nell'area dell'ex stagno del Sassu, negli stagni bonificati (Typic e Vertic Fluvaquents) e nella Piana del Tirso (Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents). Una decina di campioni (40 km² pari a circa il 12% dell'area indagata) appartengono poi ai **Typic ed Aquic Xeropsamments** (Is Arenas, cordoni litoranei). Anche i Mollisuoli su conglomerati, arenarie eoliche e crostoni calcarei dell'Olocene (**Lithic Calcixerolls**), localizzati soprattutto nel circondario Riola-Cabras e in alcune zone del Sinis settentrionale, sono rappresentati da una decina di campioni. Infine, i **Typic Salorthids** nelle aree pianeggianti o depresse prossime agli stagni retrocostieri e i **Lithic Xerorthent** sui basalti pliocenici sono rappresentati invece da pochi campioni.

In tabella 1 si riassumono i risultati delle principali analisi statistiche descrittive per le proprietà fisico-chimiche ed i metalli indagati (n=114). I parametri analizzati presentano ampia variabilità a causa sia della notevole estensione dell'area indagata sia per l'esistenza di diverse cause di differenziazione dei suoli (differenti processi pedogenetici), dei diversi

substrati litologici, della variabilità nei caratteri fisiografici ed antropici.

Come precedentemente riportato il K-S test per la normalità ha evidenziato come buona parte dei parametri indagati non risultino distribuiti normalmente. In queste condizioni è dunque consigliabile utilizzare la mediana $\pm 2MAD$, quali indicatori della distribuzione statistica dei dati grezzi non normalizzati. Infatti la mediana è un indice di gran lunga più robusto rispetto alla media (Reimann e Filzmoser, 2000) e la deviazione assoluta dalla mediana (*Median Absolute Deviation* - MAD) è statisticamente molto robusta contro la presenza di valori anomali ed estremi (Reimann et al., 2005; Díez et al., 2009).

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

	Densità Apparente (g cm ⁻³)	S (%)	L (%)	A (%)	Carbonati Totali (g kg ⁻¹)	pH	CE (μS cm ⁻¹)	CO (g kg ⁻¹)	N tot (g kg ⁻¹)	P tot (g kg ⁻¹)	CSC (meq 100g ⁻¹)	Al (g kg ⁻¹)	Fe (g kg ⁻¹)	Mn (g kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)
MEDIA	1.2	71	19	11	129	7.3	554	17.5	0.8	0.53	14.6	8.3	14.2	0.31	9.1	33.8	13.3	25.0	1.1	4.6
MEDIANA	1.2	74	16	9	5	7.5	317	15.3	0.8	0.46	14.3	6.9	10.4	0.23	7.5	21.3	10.0	7.5	0.5	2.9
DEV.STAND.	0.2	21	15	8	177	0.8	880	11.8	0.5	0.40	9.8	6.8	13.0	0.28	7.0	54.0	16.5	134.4	3.5	3.0
ERR.STAND.	0.02	2	1	1	17	0.1	82	1.1	0.0	0.04	0.9	0.6	1.2	0.03	0.7	5.1	1.6	12.6	0.3	0.3
MAD	0.2	17	12	4	4	0.6	129	5.9	0.3	0.26	7.3	4.5	7.0	0.16	5.0	10.0	5.0	5.0	0.0	0.4
CV%	17.3	30	82	73	138	11	159	67	59	75	67	82	91	90	77	160	125	538	309	65
ASIMMETRIA	-0.401	-0.637	0.755	1.408	1.116	-0.630	5.878	1.627	2.200	2.240	0.947	1.096	2.018	1.826	1.460	5.993	4.785	7.981	7.698	1.623
CURTOSI	0.516	-0.623	-0.311	1.847	-0.165	-0.637	43.586	3.353	10.721	8.245	1.326	0.873	6.211	5.042	2.763	39.907	28.039	65.356	60.100	2.191
p(k-s)	0.960	0.120	0.084	0.022	< 0.0001	0.008	< 0.0001	0.021	0.468	0.118	0.298	0.048	0.007	0.001	0.002	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Tabella 1. Principali proprietà fisico-chimiche contenuto di metalli pesanti nei topsoil indagati (114 campioni). ND = non disponibile* Tessitura: S = sabbiosa; FS = franco-sabbiosa; F= franca; SF= sabbioso-franca; FAS = franco-argilloso-sabbiosa; FL = franco-limosa; FA = franco-argillosa

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

La tessitura dei campioni indagati varia considerevolmente, passando da quella sabbiosa, sabbioso-franca, franco-sabbiosa a quella franca e franco-argilloso-sabbiosa e a quella franco-limosa e franco-argillosa. Le classi di tessitura più rappresentate sono la franco-sabbiosa (40) e la sabbiosa (31). La maggior parte dei campioni (90%) proviene infatti da depositi quaternari.

La densità apparente varia da 0.9 a 1.5 g cm⁻³, con i valori più alti rilevati nei suoli caratterizzati da lavorazioni agronomiche e quelli più alti nei suoli in condizioni di maggiore naturalità e minore pressione antropica.

I valori di pH variano in un intervallo relativamente ampio (6.4-8.6 con mediana di 7.5, da debolmente acidi ad alcalini) coerentemente con la variabilità della natura del substrato pedogenetico. Si passa infatti dai valori di pH più bassi delle alluvioni della Piana di Arborea (Palexeralfs, a prevalente componente quarzosa) ai valori più alti di pH dei suoli calcari miocenici del Sinis e ai sedimenti alluvionali recenti dell'ex Stagno di Sassu.

Il contenuto di **carbonati totali** è in genere abbastanza modesto (0-13 g kg⁻¹ con mediana di 5 g kg⁻¹), con valori più alti nei suoli calcarei del Sinis e nei depositi eolici (sabbie di duna ben classate dell'Olocene) della parte settentrionale della penisola del Sinis. In particolare il valore massimo pari a 595 g kg⁻¹, è stato trovato nella formazione carbonatica miocenica (Calcari di Torre del Sevo) affiorante nel Sinis occidentale. I valori più bassi (<1 g kg⁻¹) si rilevano invece nei campioni ricadenti nei depositi alluvionali quaternari dell'area di studio e nelle Arenarie di S.Vito (alternanze irregolari di metarenarie micacee, quarziti, metasiltiti e metargilliti) nella parte meridionale dell'area.

Il range della conducibilità elettrica (CE) è pari a 59-574 μS cm⁻¹ con mediana di 317 μS cm⁻¹. Nell'area indagata vi è un solo campione che individua un suolo salino, avendo una CE pari a 7870 μS cm⁻¹; questo campione è stato prelevato nei pressi della palude temporanea di Pauli Trottas (in territorio di Riola Sardo). In generale i valori di CE più alti (superiori a 1000 μS cm⁻¹) si trovano nei suoli che sono stati campionati nelle vicinanze di paludi o stagni (Salorthids). Nelle aree dell'ex Stagno di Sassu la CE raggiunge anche i 3050 μS cm⁻¹. Tale valore non definisce comunque i suoli dell'ex Sassu come prettamente salini. Si mette in evidenza inoltre che alti valori di CE (1300-2400 μS cm⁻¹) si trovano in alcuni campi coltivati sia dell'Oristanese che del guspinese/arburese e che due campioni del litorale della Piana di Arborea mostrano valori di CE di 1954 e 1035 μS cm⁻¹. Da questo punto di vista un aumento dei sali nel suolo potrebbe essere stato causato da fattori antropici come l'eccessivo uso di fertilizzanti e l'irrigazione. Le risorse idriche utilizzate a scopi irrigui nell'area di studio sono,

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

oltre che le acque fornite dal Consorzio di Bonifica dell'Oristanese e provenienti dalla diga sul Tirso, anche le acque sotterranee (emunte soprattutto dall'acquifero multistrato profondo). Nel contesto geografico esaminato dalla presente ricerca la salinizzazione indotta dall'utilizzo di acque irrigue considerate saline (contenenti sali in quantità eccedente i 480 mg l⁻¹), in particolare nella Piana di Oristano, è un fenomeno già oggetto di alcuni studi (INEA, 2011). Il carbonio organico (CO) varia da scarso a buono (da 3.6 a 27.0 g kg⁻¹, con valore mediano di 15.3 g kg⁻¹). In alcuni campioni prelevati nella penisola del Sinis, in aree attualmente non coltivate (Xerorthents; Xerochrepts; Rhodoxeralfs) si registrano valori abbastanza alti di SO (6-10%). In questi suoli si rilevano solitamente anche i maggiori contenuti in azoto (1.1-2.2 g kg⁻¹) e fosforo totale (1.3-2.1 g kg⁻¹). Nell'area dell'ex Sassu, quindi sui Fluvaquents limoso-argillosi, si registrano valori di CO attorno ai 20 g kg⁻¹ ma possono raggiungere anche i 60 g kg⁻¹. Il valore in assoluto più alto (> 60 g kg⁻¹) appartiene ad un campione prelevato sotto macchia mediterranea in territorio di Arbus. Campioni molto poveri in SO (<1%), si rilevano sui Xeropsamments delle sabbie eoliche oloceniche del Sinis settentrionale.

Nei suoli dell'area oggetto di studio non si rilevano valori particolarmente elevati nei contenuti dei macronutrienti (azoto e fosforo). I valori di azoto totale (N) variano tra 0.2 e 1.4 g kg⁻¹ con mediana di 0.8 g kg⁻¹. Solo 25 campioni sui 114 totali hanno una dotazione di N > 1 g kg⁻¹ e di sostanza organica tra 20 e 30 g/kg rientrando quindi nella categoria dei "mediamente forniti" ma rimanendo comunque in linea con i valori generalmente misurati nei suoli coltivati (0.8-2 g kg⁻¹) (Benedetti et al., 2000). I valori di fosforo totale (P) mostrano un range di 0.1-1 g kg⁻¹ con mediana di 0.5 g kg⁻¹ e sono in linea con i valori tipici dei suoli (0.2-5 g/kg) (Arduino e Barberis, 2000). Il valore massimo è pari a 2.7 g kg⁻¹ ed è stato misurato in un campo di carciofi in territorio di Cabras, a causa, probabilmente, di somministrazioni elevate di fertilizzanti fosfatici.

La capacità di scambio cationico (CSC) varia da 0.1 a 28.9 meq 100g⁻¹ con valore mediano di 14.3 meq 100g⁻¹. La CSC è elevata (> 20 meq 100g⁻¹, Gessa e Ciavatta, 2000) in 28 campioni su 114, coerentemente con l'elevato contenuto di argilla e con il contenuto relativamente buono di sostanza organica. Non stupisce quindi che la CSC raggiunga i valori più alti (con un valore massimo di 52.8 meq 100g⁻¹) nell'area dell'ex Stagno di Sassu, cioè in suoli argillosi ben dotati di colloidali ad alta capacità di scambio; in particolare questi suoli sono dotati di argille del tipo 2:1 (smectiti) caratterizzate da una elevata capacità di scambio (Coulombe et al., 1996). Valori di CSC compresi tra 20-30 meq 100g⁻¹ sono stati determinati nei Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents della piana alluvionale del Tirso. Le alluvioni

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

limose e sabbiose recenti ed attuali seguono l'andamento dell'attuale letto del Tirso (estendendosi maggiormente lungo la sponda destra). Le caratteristiche granulometriche di questi sedimenti, costituite da elementi prevalentemente argillosi, sono in accordo con le modalità di deposizione dei materiali alluvionali; le ghiaie e le sabbie che predominano nell'alto e medio corso del fiume passano, in modo più o meno rapido, ai limi della bassa pianura. Le frazioni argillose appartengono in questa zona a due diverse associazioni minerali: l'associazione di illite e caolinite e l'associazione montmorillonite-vermiculite-illite (Carboni et. al., 2006). Anche nei suoli nei pressi dello Stagno di Cabras e della palude di Mar'e Foghe, occupati da zone paludose ricoperte da uno strato di materiali limoso-argillosi, la CSC raggiunge valori compresi nel range 20-30 meq 100g⁻¹. Le argille lacustri occupano le zone depresse e le aree degli stagni bonificati agli inizi del secolo, queste sono prevalentemente costituite da argille a carattere espandibile, montmorillonitiche di colore dal grigio chiaro (Carmignani et al., 2001). Le montmorilloniti (gruppo delle smectiti) sono in genere presenti in suoli fertili (con alta CSC) e sono tipiche dei Vertisuoli. La CSC più bassa, compresa tra 1.5 e 4.0 meq 100g⁻¹ si ha nei Xeropsammets (sabbie eoliche dell'Olocene); nei Palaxerals (Piana di Arborea) è compresa tra 4 e 10 meq 100g⁻¹.

Il Fe mostra un range di 0.1-24.4 g kg⁻¹ (mediana 10.4 g kg⁻¹) e il Mn di 0.1-0.5 g kg⁻¹ (mediana 0.23 g kg⁻¹). Pertanto, i suoli indagati presentano contenuti di Fe e Mn compatibili con quelli riportati in letteratura (media italiana di Fe e Mn rispettivamente di 37 g kg⁻¹ e 9 g kg⁻¹, Angelone e Bini, 1992) e sono quindi probabilmente legati alla natura del substrato. I valori più alti di Fe (superiori a 30 g kg⁻¹, con un valore massimo 79.8 g kg⁻¹) sono stati trovati nei depositi alluvionali del Tirso (Xerofluvents), infatti tali alluvioni contengono materiali eterogenei, spesso ricchi di ossidi di ferro e alluminio, provenienti dallo smantellamento delle rocce del bacino. Inoltre in due campioni in prossimità della foce del Rio Sitzerri i valori di Fe sono di 34.5 e 42.8 g kg⁻¹. Anche i valori più alti di Mn si trovano in questi due campioni (1.7 e 1.3 g kg⁻¹). In questo caso particolare, l'origine di questi elementi è presumibilmente di tipo antropico; il Sitzerri infatti drena le acque dell'area mineraria dismessa di Montevecchio depositando poi i residui minerari finì lungo il reticolo idrografico. Dallo studio di Da Pelo et al. (1996) emerge che i *flotation tailings* di Piccalinna (principale fonte di contaminanti del bacino del Sitzerri) presentano il 5.6-8.7 % di Fe e lo 0.2-0.6 % di Mn. Inoltre, i solfati solubili, in particolare quelli di ferro, sono il prodotto finale stabile dell'alterazione dei solfuri e sono di conseguenza spesso presenti in grandi quantità nelle acque sotterranee e superficiali che hanno interagito con la mineralizzazione e con i materiali

presenti nelle discariche della miniera.

Il contenuto complessivo di Al mostra un range di 0.1-16.0 g kg⁻¹ (mediana 6.9) ed è presumibilmente ereditato dal substrato pedogenetico. Nei due campioni in prossimità del Sitzerri l'Al è pari a 5.5 e 7.4 g kg⁻¹, quindi non è particolarmente elevato considerato che il valore massimo è di 29.4 g kg⁻¹ e si trova nei depositi alluvionali del Tirso. L'alluminio è infatti un componente dei minerali argillosi (silicati idrati di alluminio) presenti in questa zona. L'Al, come nel caso del Mn, è presente nei feldspati delle sabbie quarzoso-feldspatiche e nella fase di alterazione della roccia madre, viene poi facilmente adsorbito sulla superficie dei minerali argillosi. I suoli che presentano maggiori contenuti di frazione granulometrica fine, come quelli del Sassu, presentano un contenuto di Al compreso nel range 10-18 g kg⁻¹. Infatti nella frazione più fine sono abbondanti gli ossidi e idrossidi di Al (e Fe). Nei suoli calcarei del Sinis in genere l'Al si trova in concentrazioni comprese tra 10 e 20 g kg⁻¹. Si tratta di suoli ricchi di SO in cui, come già detto, si vengono a formare complessi organo-metallici (esiste una correlazione significativa tra Al, Fe e Mn e CO). In questi suoli, inoltre, l'Al è sovente presente nel CaCO₃ come impurità.

2.5.1 Mappe di predizione

Di seguito i risultati delle analisi condotte. Per ciascuno degli elementi presi in considerazione sono riportate le statistiche descrittive principali, l'istogramma della frequenza, le mappe a bolle e l'interpolazione tramite IDW eseguita in fase di analisi esplorativa spaziale. Per quanto riguarda l'analisi geostatistica vera e propria, sono riportati il variogramma impiegato e la mappa di predizione di ciascun elemento con la relativa mappa degli errori.

Tutte le analisi sono state eseguite impiegando il software ESRI ArcGis, nella versione 10.2 con l'estensione Geostatistical Analyst. Gli Istogrammi raffigurati sono realizzati sulla base dei dati non normalizzati. Le mappe a bolle sono realizzate impiegando una classificazione a "natural break". Nel caso dello Zn, i dati statistici sono riferiti al dataset sia privo di due valori che in fase di analisi preliminare sono stati individuati come outliers, che incorporandoli.

Da una prima disamina generale degli indici statistici è emersa innanzitutto la necessità di trasformare i dati in modo da avvicinarli ad una distribuzione di tipo normale. Anche in questo caso, così come precedentemente specificato per la PFA, benché sia nota l'efficacia del metodo Box Cox (Box e Cox, 1964) nella trasformazione dei dati ambientali (Filzmoser, 2009), in questo caso, a seguito di differenti prove con varie trasformazioni, si è rilevata come

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

più adeguata la trasformazione log-normale. Tutte le elaborazioni attraverso il Kriging sono state eseguite mediante il fittaggio con un modello di variogramma Sferico, che si è rivelato lo strumento più adeguato per la totalità dei casi affrontati.

I livelli degli elementi indagati sono al di sotto dei limiti di legge imposti dalla normativa italiana (D. Lgs. 152/2006) se si eccettua lo Zn per il quale sono presenti due valori anomali, all'interno delle elaborazioni trattati come *outliers*, in quanto abbondantemente al di sopra della media dell'area studio (e la cui motivazione è illustrata successivamente). Le mappe così realizzate pertanto consentono di mettere in evidenza eventuali sub sistemi e comprendere le dinamiche dei contesti spaziali così individuati, integrando in questo modo l'informazione puntuale acquisita e in altri lavori (Gaviano, 2015).

PTE	Limiti D.Lgs. 152/2006		Bibliografia (Gaviano, 2014)
	A	B	Media mondiale
Pb	100	100	27 3-90
Zn	150	1500	70 31-100
Cu	120	600	38,9 3-140
Cd	2	15	0,41 0,01-2,5
Ni	120	500	29 4-92
As	20	50	6,83 <0,1-67

Tabella 2: Elaborazione da Gaviano, 2015. A=siti a verde pubblico, privato e residenziale. B= siti ad uso commerciale e industriale.

Infatti, da un'osservazione delle mappe è piuttosto esplicita la presenza, all'interno dell'area di studio, di aree di particolare concentrazione. È il caso nello specifico del settore meridionale, in corrispondenza del tratto terminale del Rio Sitzzerri. Tale struttura spaziale inquadrata nell'omonima piana è in effetti un contesto ex minerario il cui livello di inquinamento è già stato monitorato in passato (Di Gregorio, 1972; Aru et al., 1995; Cidu, 2011). Le operazioni correlate all'attività mineraria hanno fatto sì che il fenomeno di contaminazione, che quando legato alla semplice coltivazione mineraria (a questa scala) può essere considerato puntiforme, nella realtà, vista la complessità ambientale e la struttura idrografica che funge da fattore moltiplicatore dei fenomeni di trasporto solido, assume connotati che potrebbero

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

essere interpretati come di tipo strutturale.

A seguire, i risultati relativi a ciascuno degli elementi indagati.

Nichel

Scendendo nel caso particolare degli elementi esaminati, emerge nel caso del Nichel le concentrazioni manifestano una localizzazione ben precisa che fa orientare le valutazioni legate principalmente alla conoscenza dei substrati su cui si sono sviluppati i suoli oggetto di campionamento. L'area a più alta concentrazione presenta un substrato di natura basaltica, quindi l'arricchimento di questo elemento nel suolo è riconducibile alla presenza di minerali femici ed idrossidi di ferro della roccia madre in cui il Ni è presente (Néel et al., 2007). Si tratta, in particolare dei basalti dei plateau del Sinis localizzati nel settore nord- occidentale dell'area di studio. L'intera area circostante del Sinis presenta livelli leggermente più apprezzabili di Ni, sebbene inferiori.

Valori compresi tra 10 e 25 mg/kg si trovano nei suoli sui calcari miocenici del Sinis, ben forniti di sostanza organica; ciò è probabilmente spiegabile dal fatto che il Ni, è spesso associato ai carbonati (Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007).

Ulteriore contesto significativo è quello legato all'area del Tirso, caratterizzata da depositi alluvionali mentre i contesti agricoli, potenzialmente interessati da un apprezzabile livello di

N. Campioni	minimo	massimo	media	std dev	mediana	skewness	kurtosis
114	2.5	37.5	9.06	6.96	9.05	1.45	2.76

concentrazione legato all'utilizzo di pesticidi, mostrano livelli generalmente trascurabili.

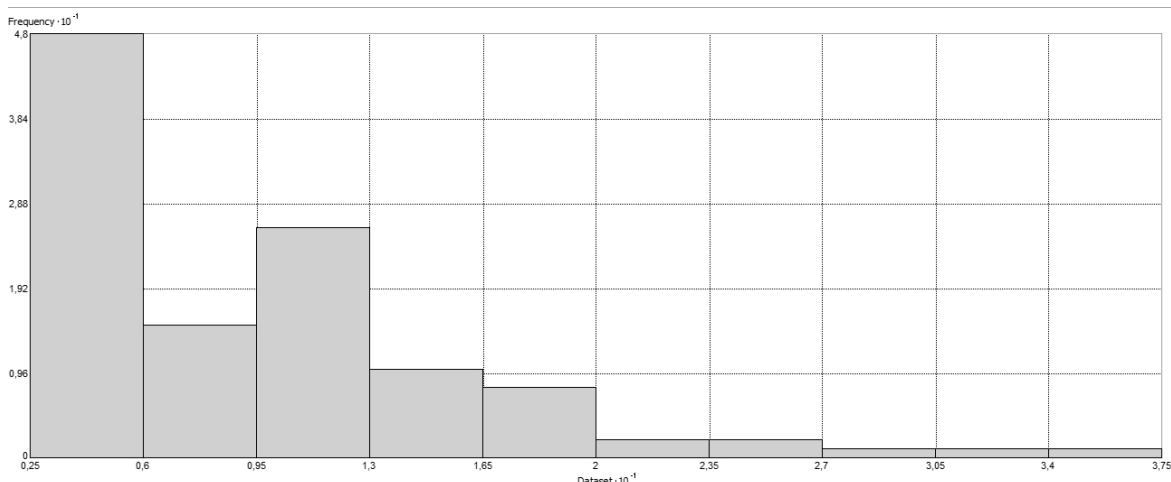


Fig. 113 – Istogramma Ni.

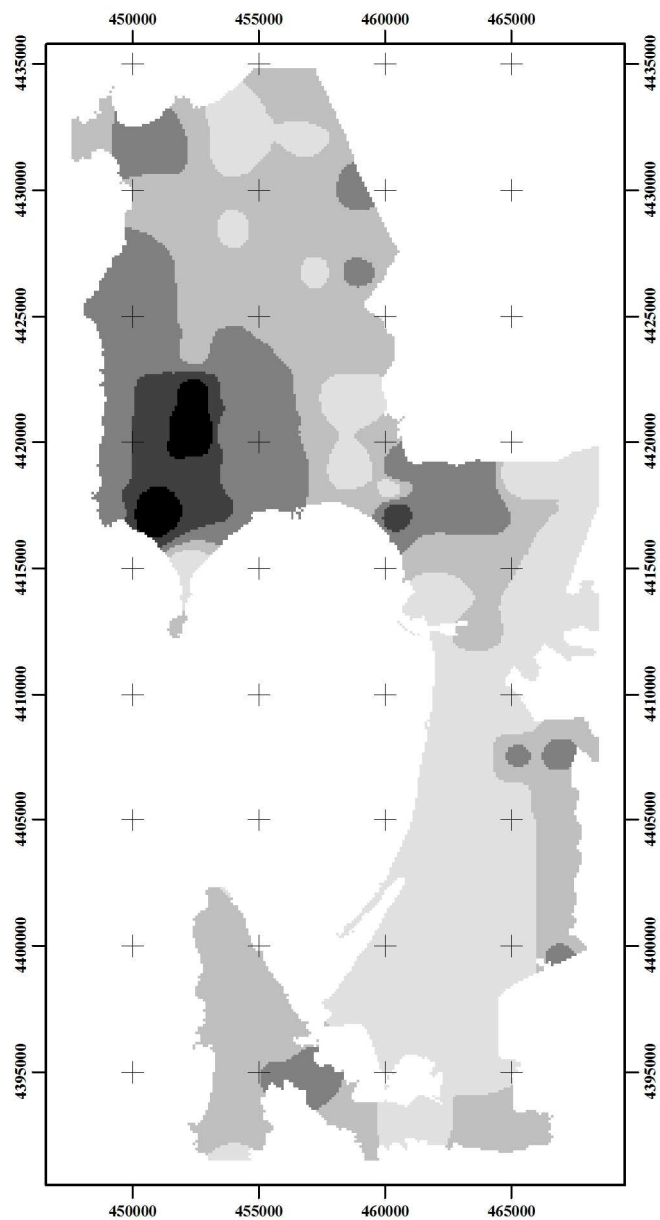


Fig. 14 - IDW per i valori del Ni

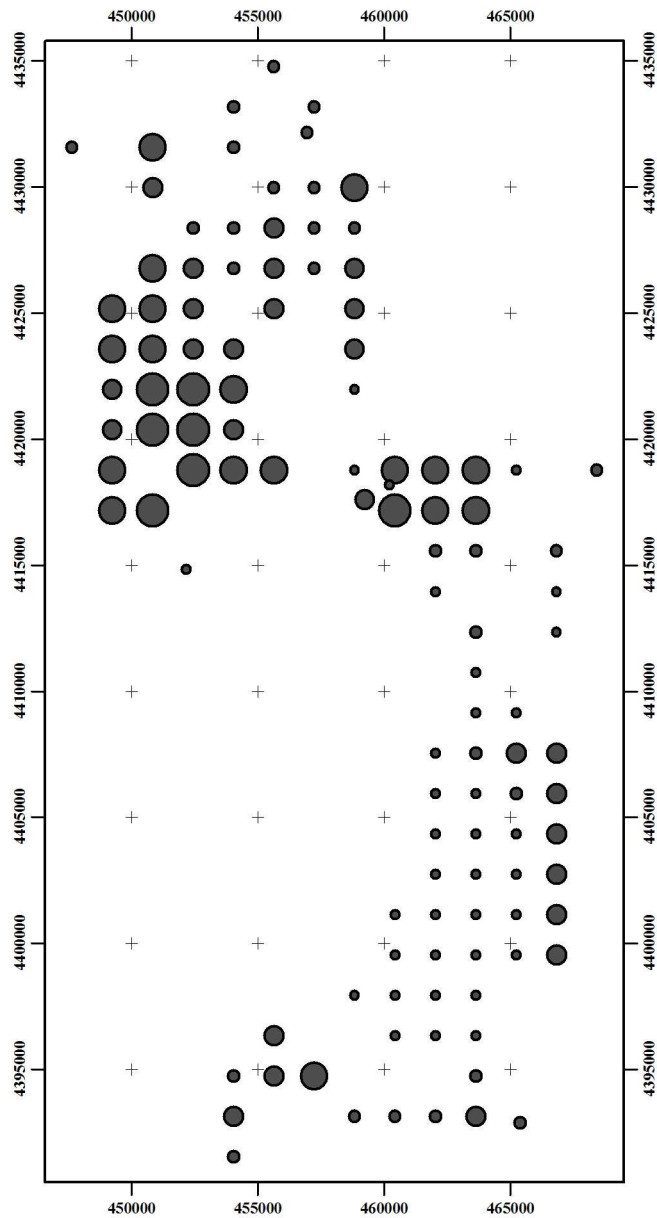


Fig. 15 – Mapa a Bolle del Ni.

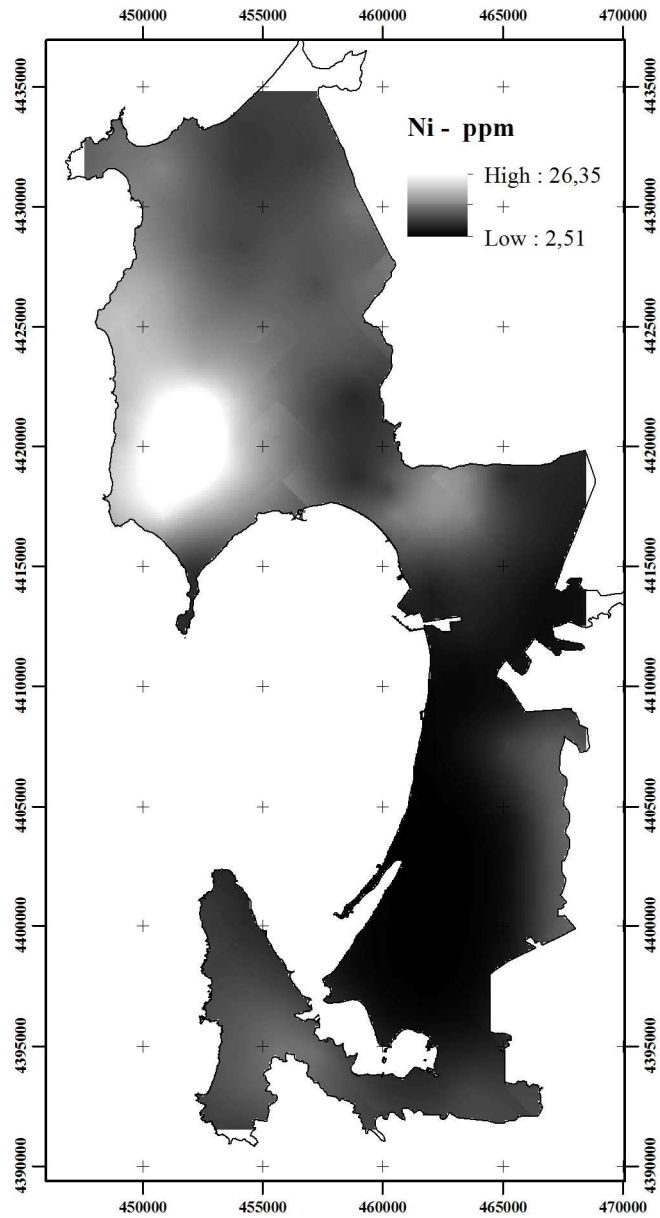


Fig. 16 Kriging Ni

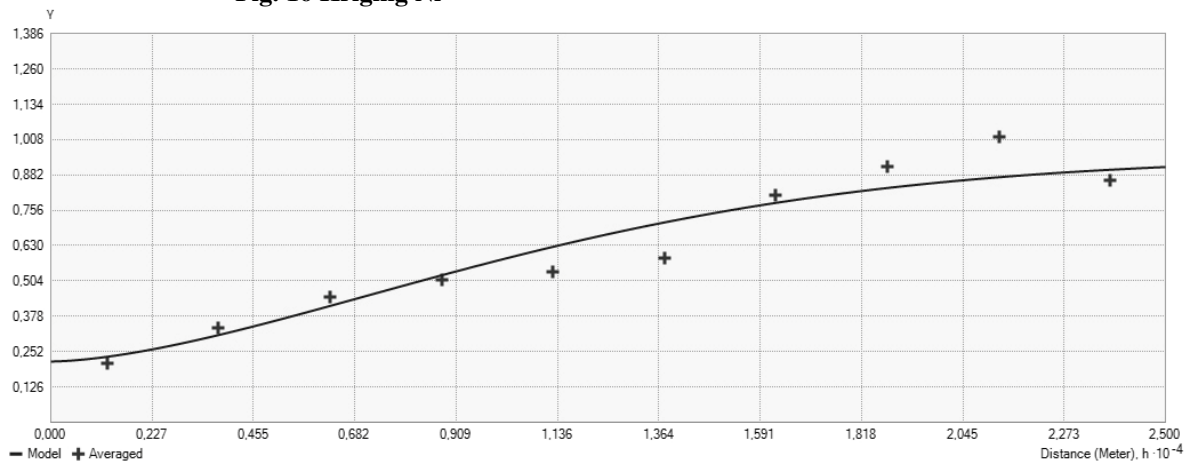


Fig. 12 – Variogramma Ni.

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Modello	Spherical
Lunghezza Lag	2500
N. Lag	10
Sill	0,75
Nugget	0,147
Range	25000

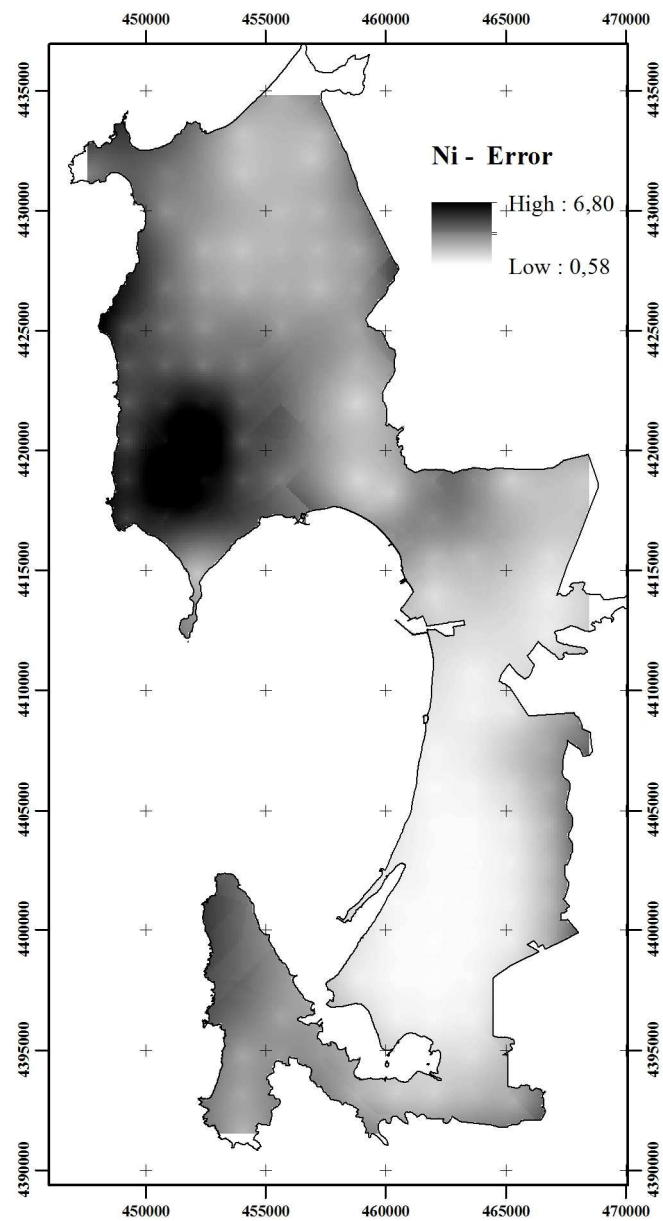


Fig. 18 Error Map Ni

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Zinco

Per quanto concerne lo Zn, l'elaborazione ha tenuto conto dei valori anomali acquisiti tramite il campionamento in corrispondenza dell'area mineraria; di fatto, essendo considerati outliers, non sono stati impiegati nell'elaborazione. Ciò ha consentito di ricostruire in maniera più corretta la distribuzione spaziale del fenomeno, che comunque individua nel settore ex minerario un'area con le concentrazioni maggiori, pur se distanti dai valori "allarmanti" e ben al di sotto dei limiti di legge. Pertanto la concentrazione di Zn nell'area è principalmente riconducibile a processi di degradazione dei substrati geologici. Un'altra area di maggiore concentrazione è quella relativa al tratto finale del fiume Tirso. In questo caso la presenza di una concentrazione relativamente maggiore è dovuta principalmente al fatto che quest'area coincide con il settore più densamente abitato e con la maggiore concentrazione di attività umane. In quest'area sussiste il centro abitato di maggiore dimensioni e alcuni degli snodi di linee di traffico veicolare principale dell'area, nonché tra i maggiori di tutta la Sardegna. In questo caso l'area si potrebbe prestare a una mappatura di maggior dettaglio, a partire da un campionamento realizzato sulla base dell'infittimento della maglia di campionamento impiegata nel presente lavoro.

L'area di maggior sfruttamento agricolo tramite sistemi razionali pare rientri tra quelle interessate in maniera piuttosto marginale, se non nel settore più orientale, con concentrazioni comunque non elevatissime. In questo frangente la fonte potrebbe essere anche l'utilizzo di pesticidi o fertilizzanti. Trattandosi di un'area orientata anche alle produzioni zootecniche, le problematiche di contaminazione potrebbero essere conseguenza dell'elevato contenuto di Zn nelle deiezioni zootecniche, dovuto all'aggiunta nei mangimi animali, di integratori e additivi alimentari che contengono questo elemento (Gaviano, 2015).

N. Campioni	Minimo	Massimo	Media	Std Dev	Mediana	Skewness	Kurtosis
112 (Senza Outliers)	3,25	94,75	27,13	20,11	20,87	1,28	1,10
114	3,25	412,5	33,81	53,98	21,25	21,25	39,90

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

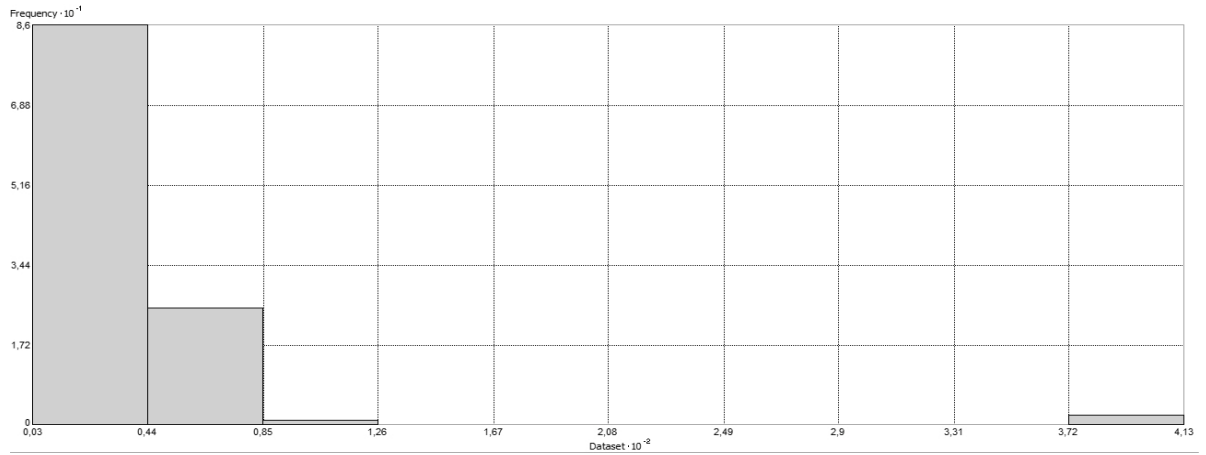


Fig. 19 Istogramma Zn

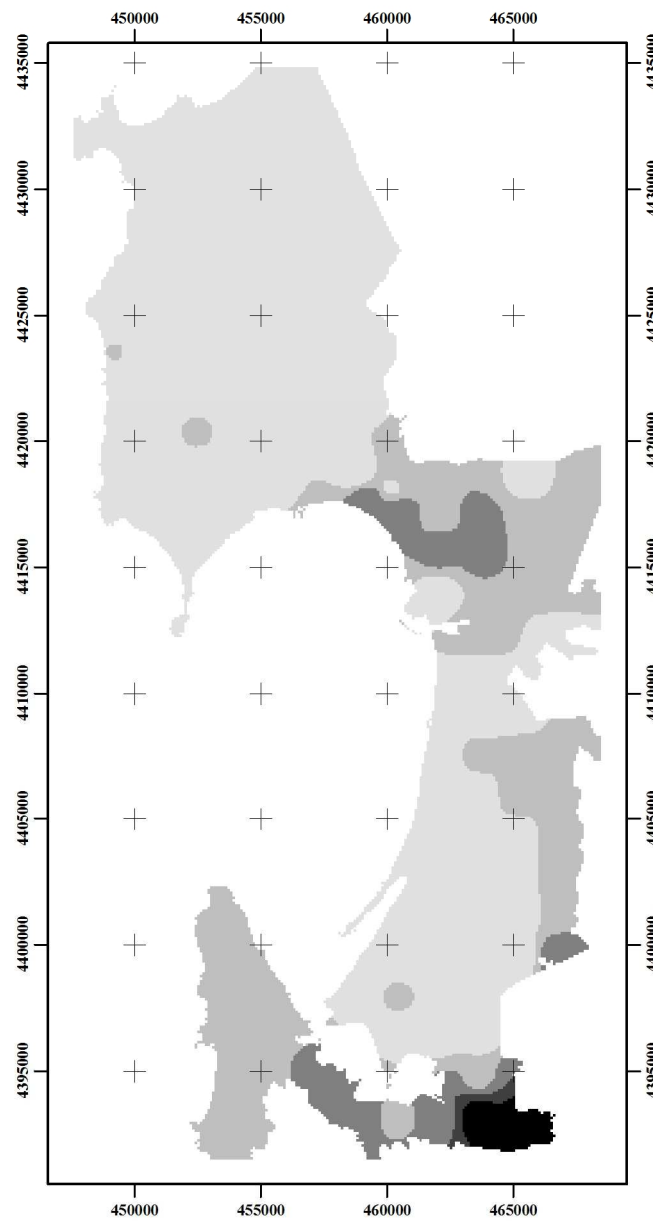


Fig. 20 - IDW Zn

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

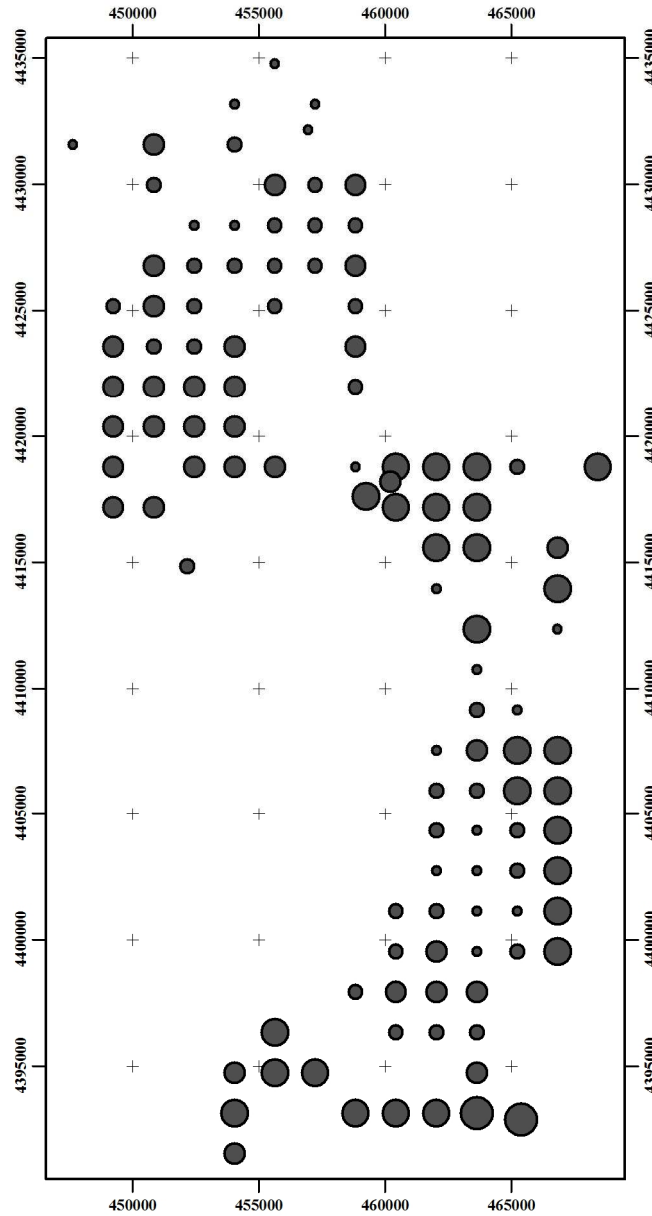


Fig. 21 Mappa a Bolle Zn

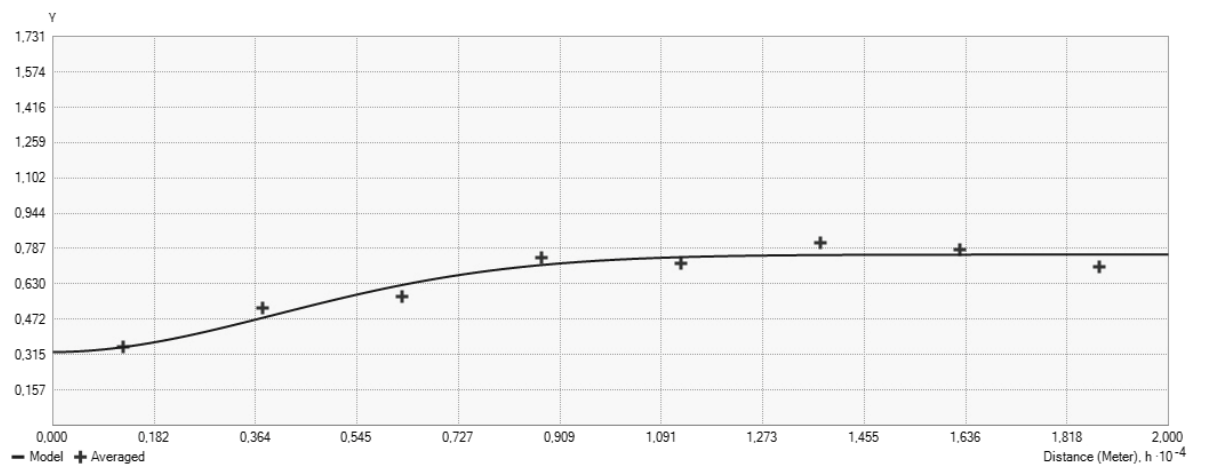


Fig. 22 Variogramma Zn

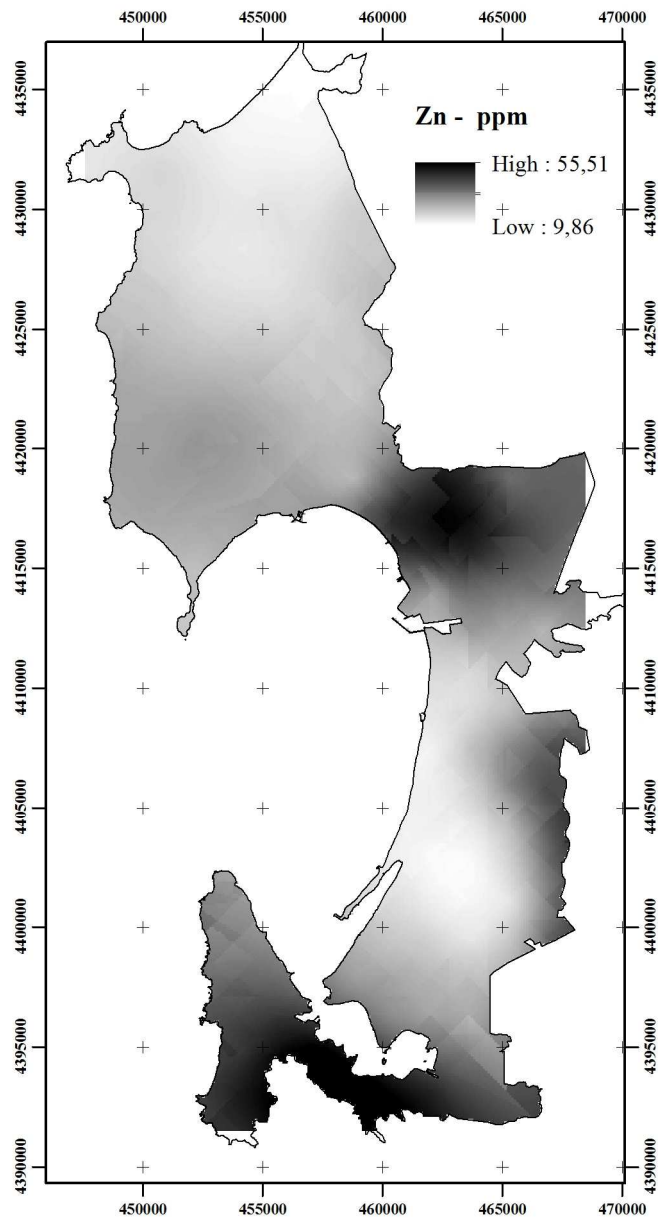


Fig. 23 Kriging Zn

Modello	Spherical
Lunghezza Lag	2500
N. Lag	8
Sill	0,399
Nugget	0,286
Range	16373

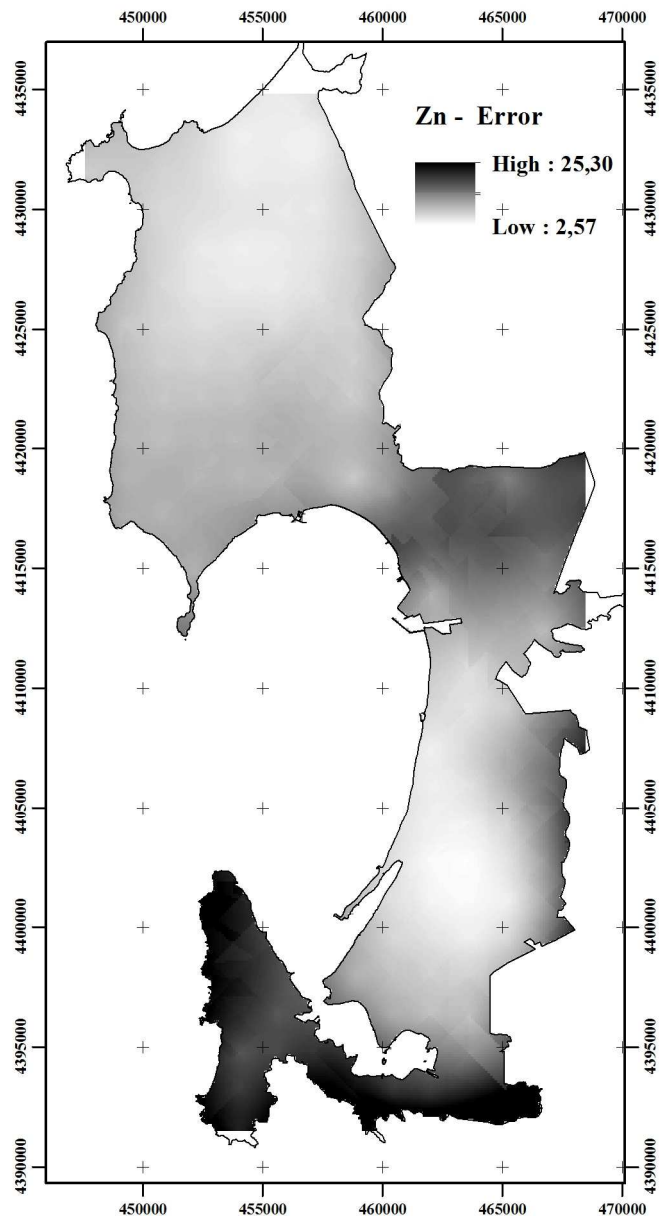


Fig. 24 Error map Zn

Rame

Tra gli elementi mappati, il Cu è probabilmente quello che pare più strettamente correlato, dal punto di vista spaziale, con le attività antropiche. In alcune delle aree agricole dell'area di studio infatti sono evidenti valori che benché restino sotto la soglia di legge, sono maggiori dei livelli geochimici sardi (Gaviano, 2015). Ciò è principalmente legato al fatto che è contenuto in molti fertilizzanti; è presente in quantità apprezzabili nei reflui zootecnici e in molti pesticidi, il cui impiego (in alcuni casi) è consentito senza una disciplina d'uso

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

particolare. Comunissimo il solfato di Cu ($255 \cdot 10^3$ mg/kg di Cu, Gimeno-García, 1996), che viene impiegato come efficace fungicida, anche in agricoltura biologica (con dosaggi spesso bassi) in quanto considerato non eccessivamente tossico. Anche l'area circostante il tratto terminale del Tirso presenta livelli sensibilmente apprezzabili, pur restando al di sotto dei livelli di legge. Ciò potrebbe essere dovuto a cause esterne al sistema studiato e pertanto legato al trasporto solido, oppure all'intensa attività antropica che caratterizza l'area. La presenza di Cu nel suolo è infatti legata all'intensità dell'attività umana; tra i vari fattori, l'accumulo è legato all'utilizzo e al deterioramento delle parti meccaniche dei veicoli (Guo, 2011) oltre che per le attività di tipo industriale.

Anche la già citata area del Sitzzerri presenta moderati livelli di Cu; tale fenomeno, come per gli altri elementi, è strettamente legato all'attività mineraria che ha storicamente interessato l'area.

N. Campioni	minimo	massimo	media	std dev	mediana	skewness	kurtosis
114	2,5	125	13,25	16,51	10	4,7	28,04

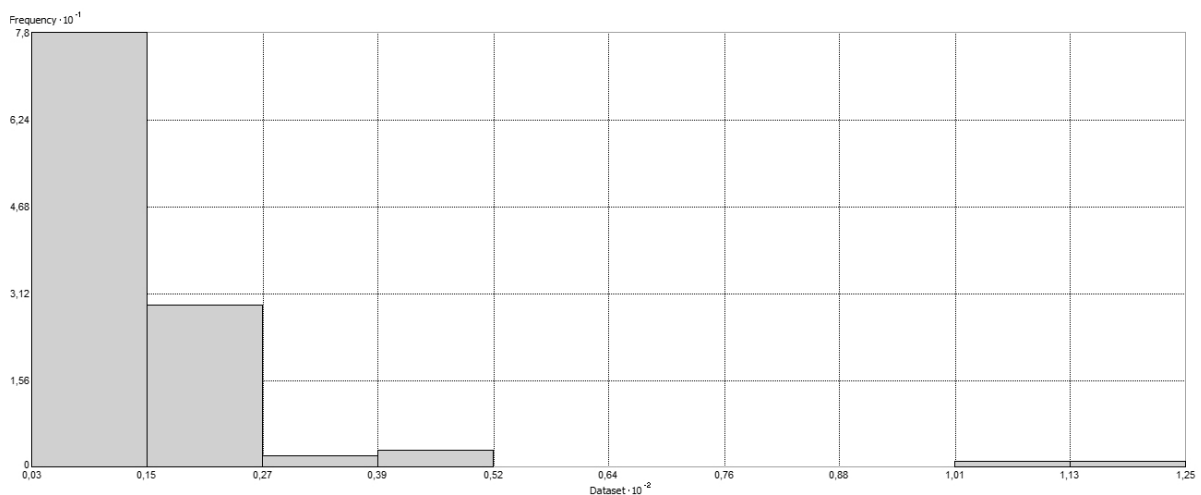


Fig. 25 Istogramma Cu

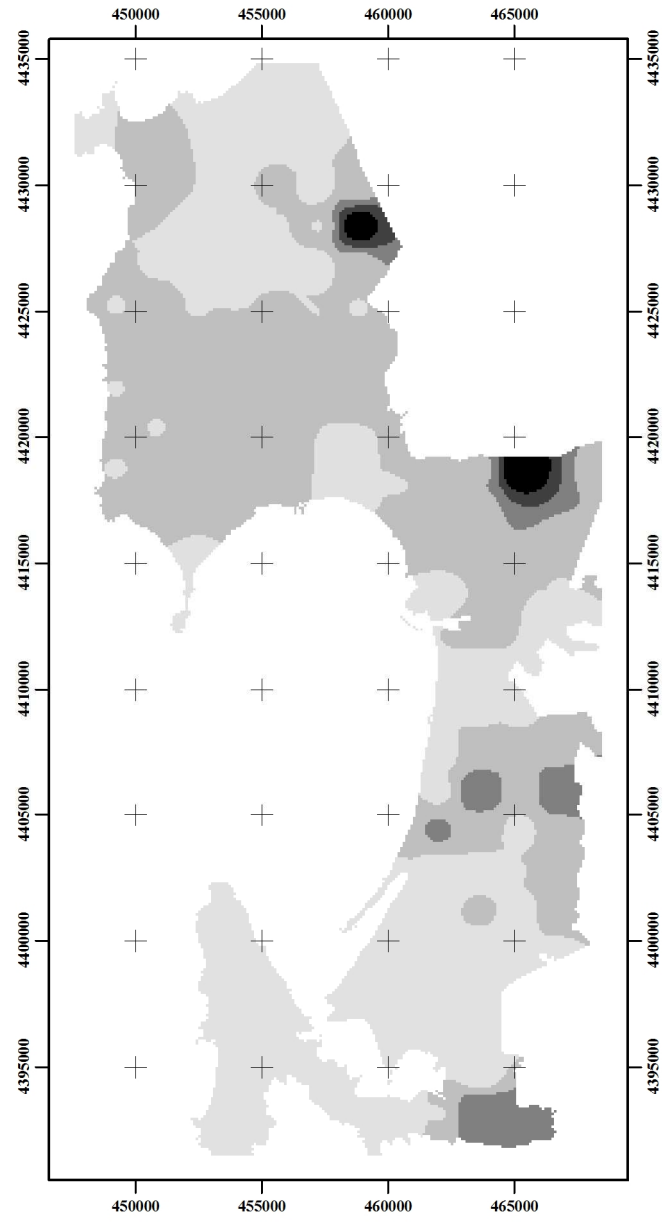


Fig. 13 IDW Cu

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

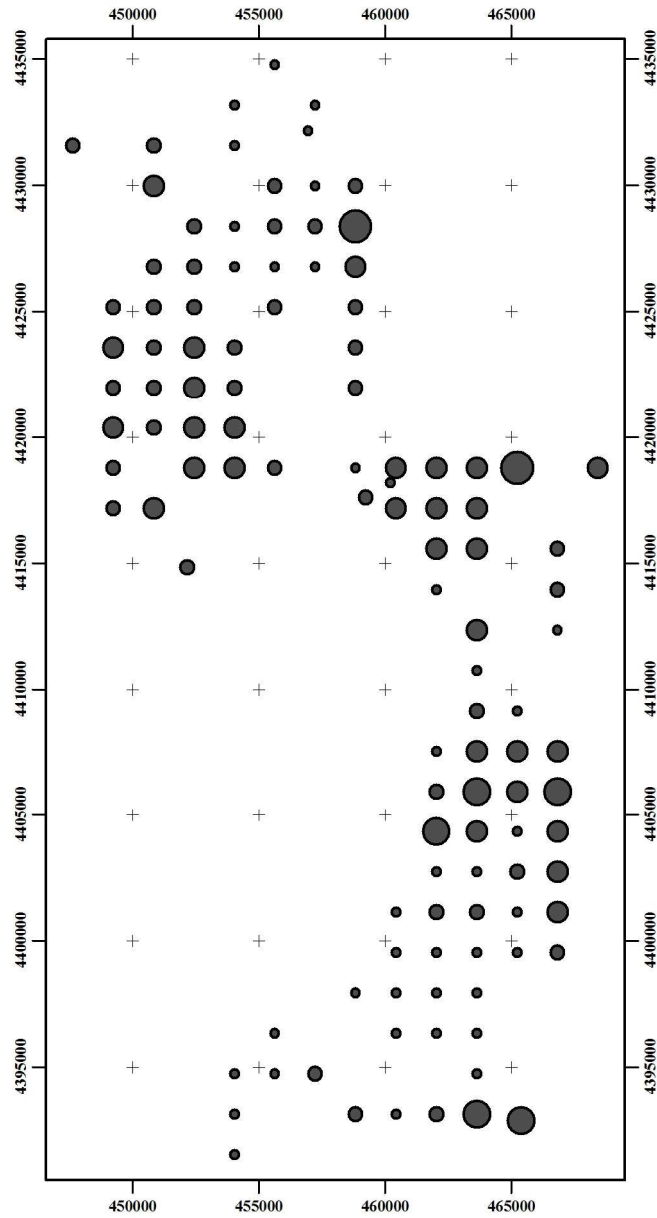


Fig. 14 Mappa a bolle Cu

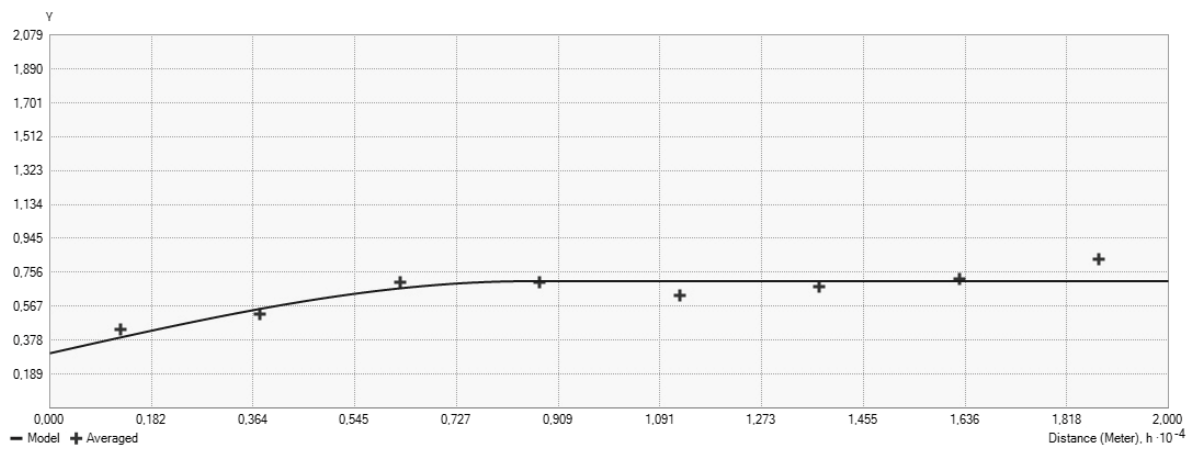


Fig. 28 Variogramma Cu

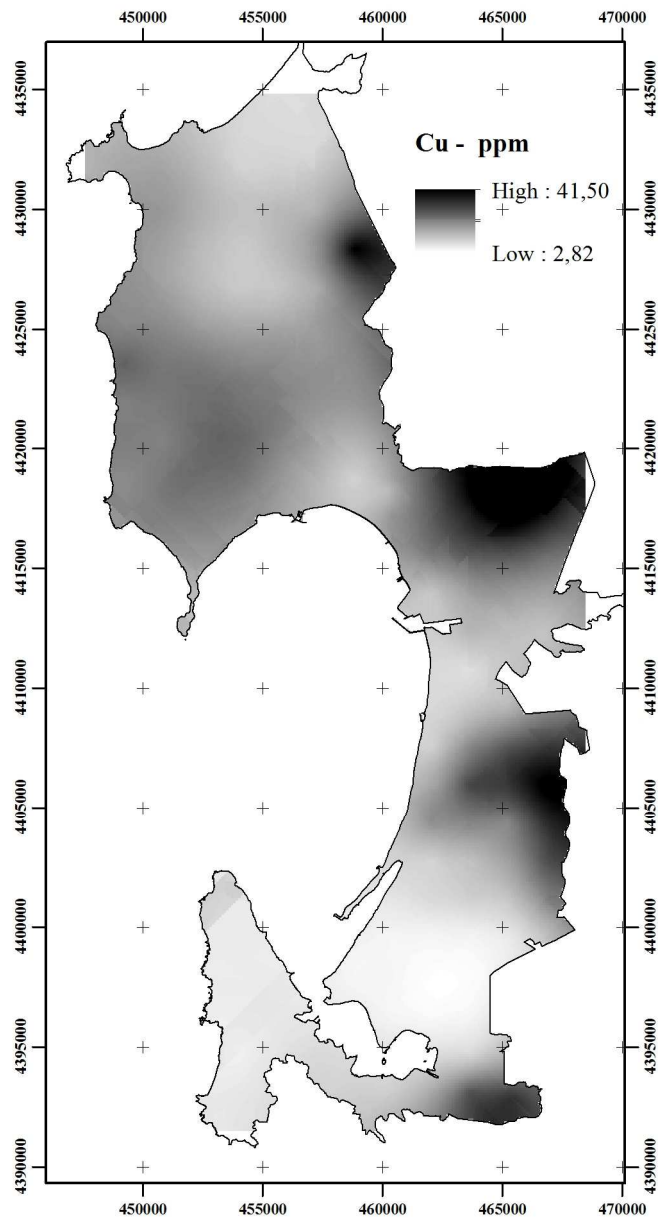


Fig. 15 Kriging Cu

Modello	Spherical
Lunghezza Lag	2500
N. Lag	8
Sill	0,401
Nugget	0,305
Range	8573,05

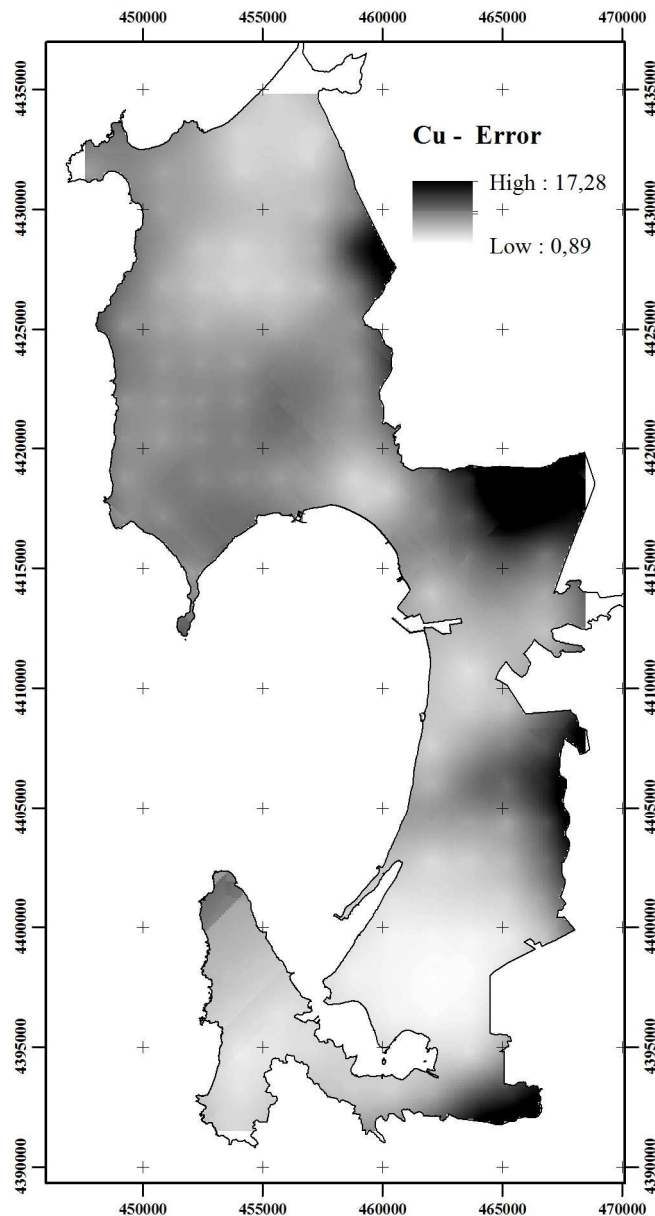


Fig. 30 Error map Cu

Arsenico

Per quanto riguarda l'As, esso registra moderati livelli (dal punto di vista relativo, visto che è abbondantemente al di sotto dei livelli di legge) nella già descritta area mineraria del Sitzzerri; tuttavia l'area caratterizzata da livelli maggiori è quella dell'estremità settentrionale, nell'area di Is Arenas. La difficoltà nel dimostrare questa concentrazione potrebbe risiedere nel fatto che in questo contesto ci si potrebbe trovare di fronte a una contaminazione localizzata, con

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

delle fonti particolari di inquinamento legate alla presenza di attività umane. Nell'area sussiste un campo da golf, che richiede una serie di input agronomici e fitofarmaci in quantità spesso superiori alle normali attività agricole. È comunque difficile valutare la distribuzione dell'As in questa specifica area anche perché, confrontando la mappa di predizione con quella degli errori si può notare come in quella zona il modello presente una scarsa accuratezza nel prevedere la concentrazione del metallo.

N. Campioni	minimo	massimo	media	std dev	mediana	skewness	kurtosis
114	2,5	15,5	4,58	2,99	2,87	1,6	2,1

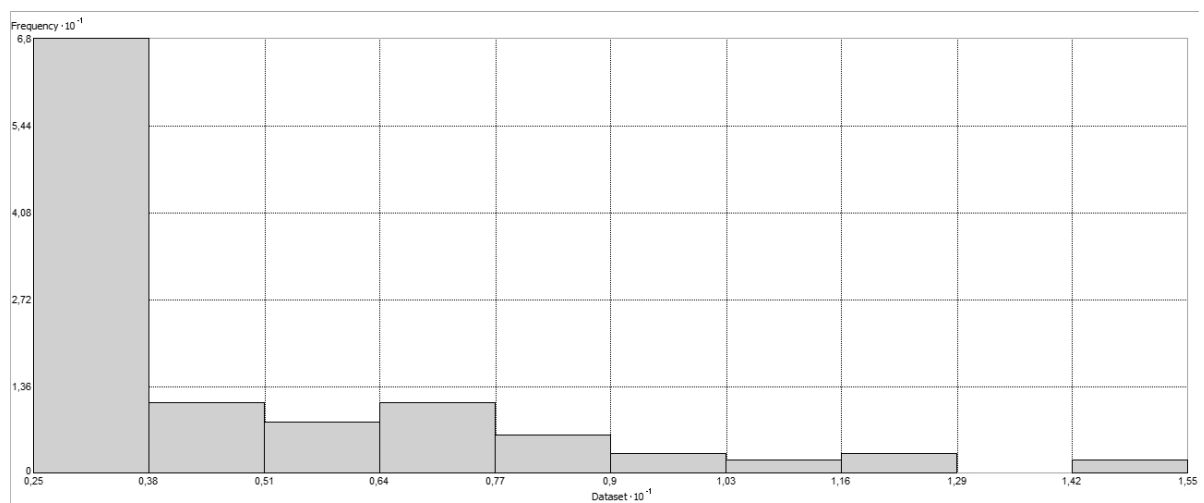


Fig. 16 Istogramma As.

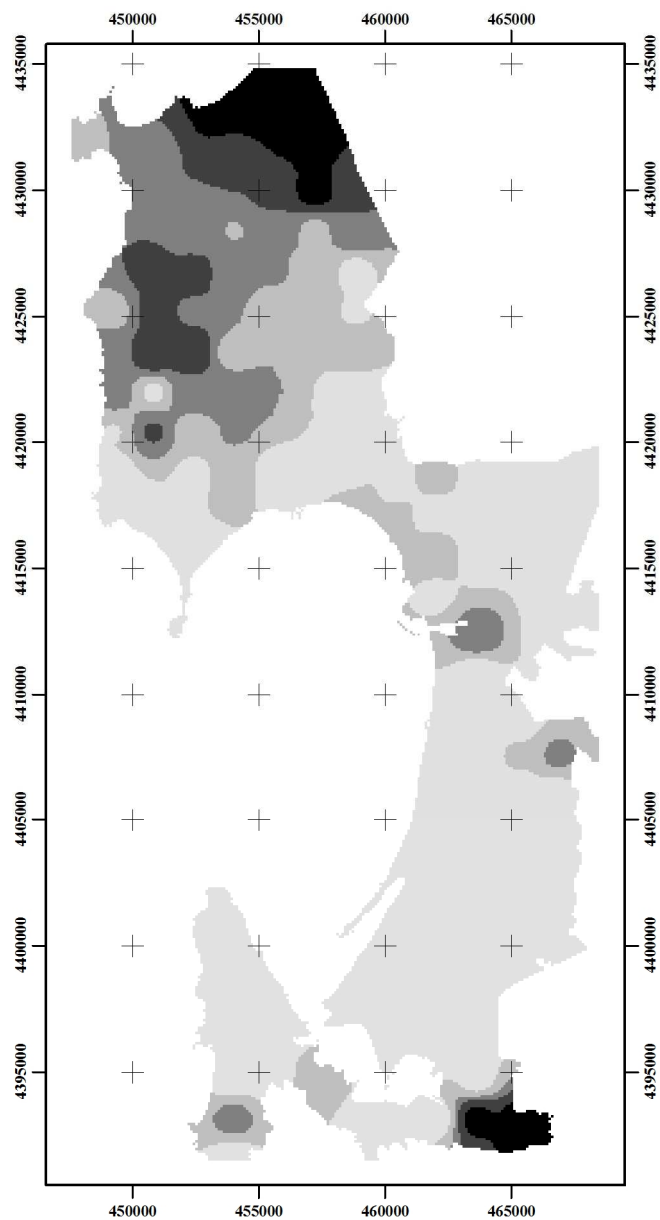


Fig. 32 - IDW As.

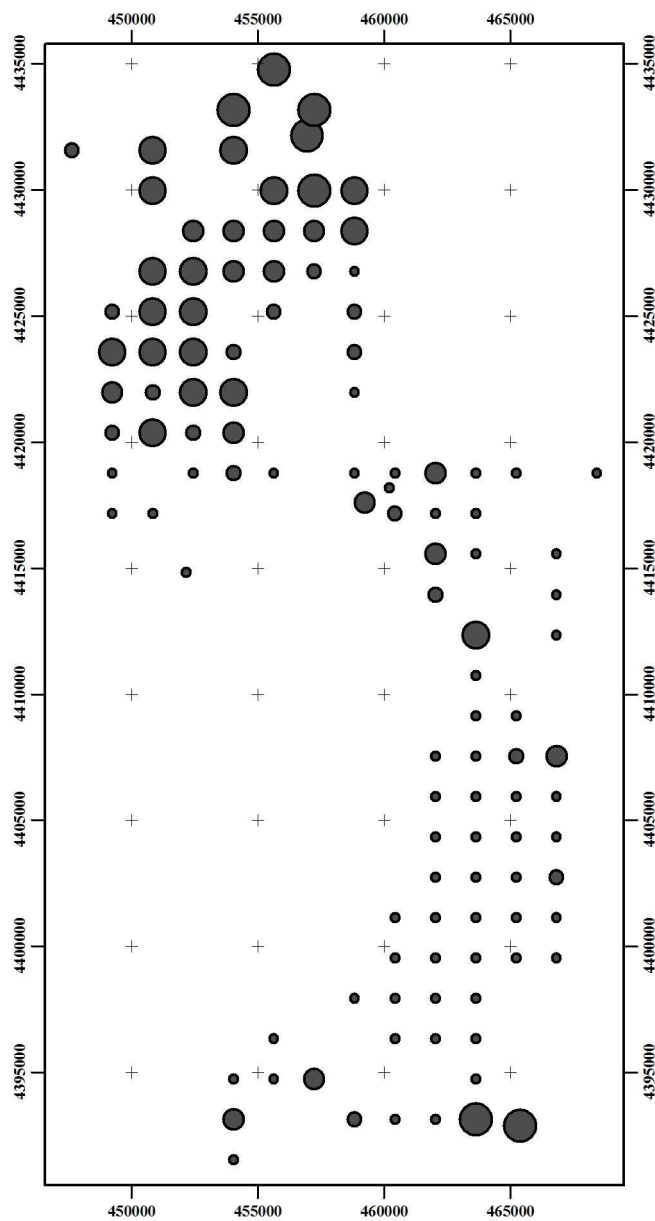


Fig. 33 – Mapa a Bolle As.

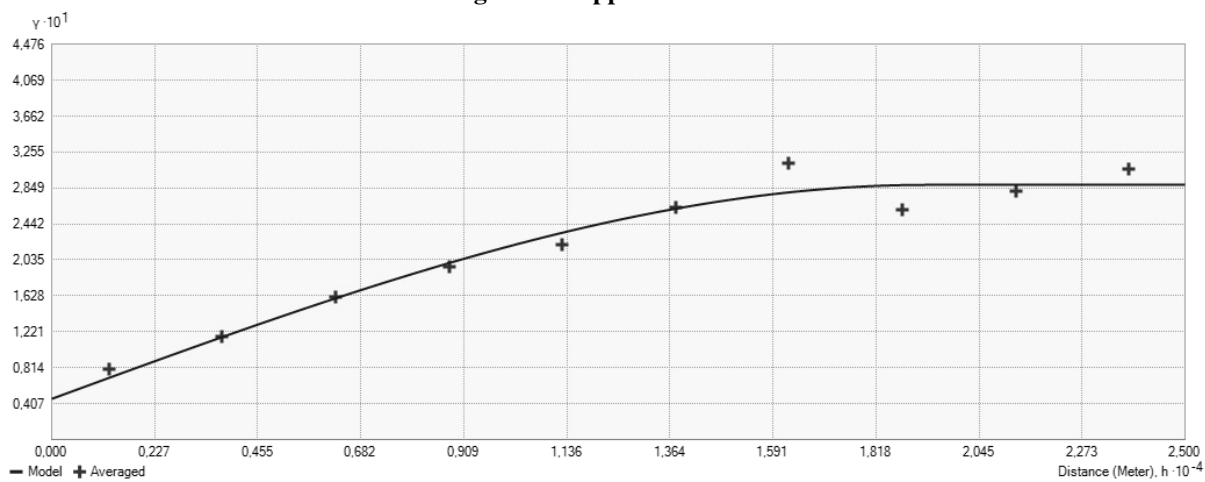


Fig. 34 – Variogramma As.

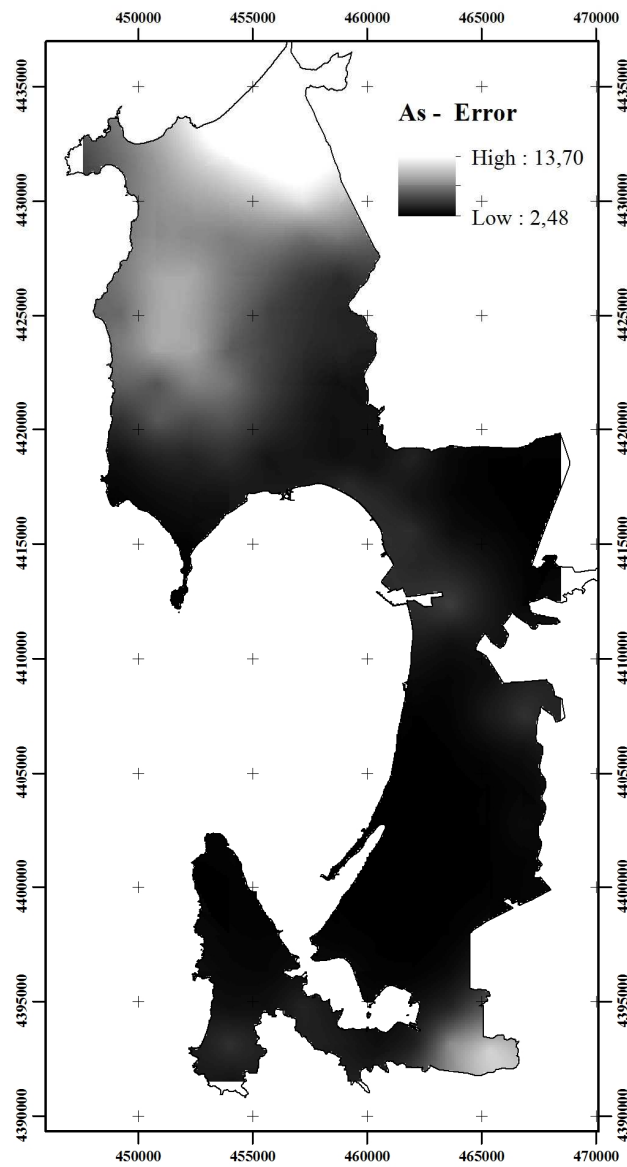


Fig. 35 - Kriging As.

Modello	Spherical
Lunghezza Lag	2500
N. Lag	10
Sill	0,242
Nugget	0,046
Range	19287

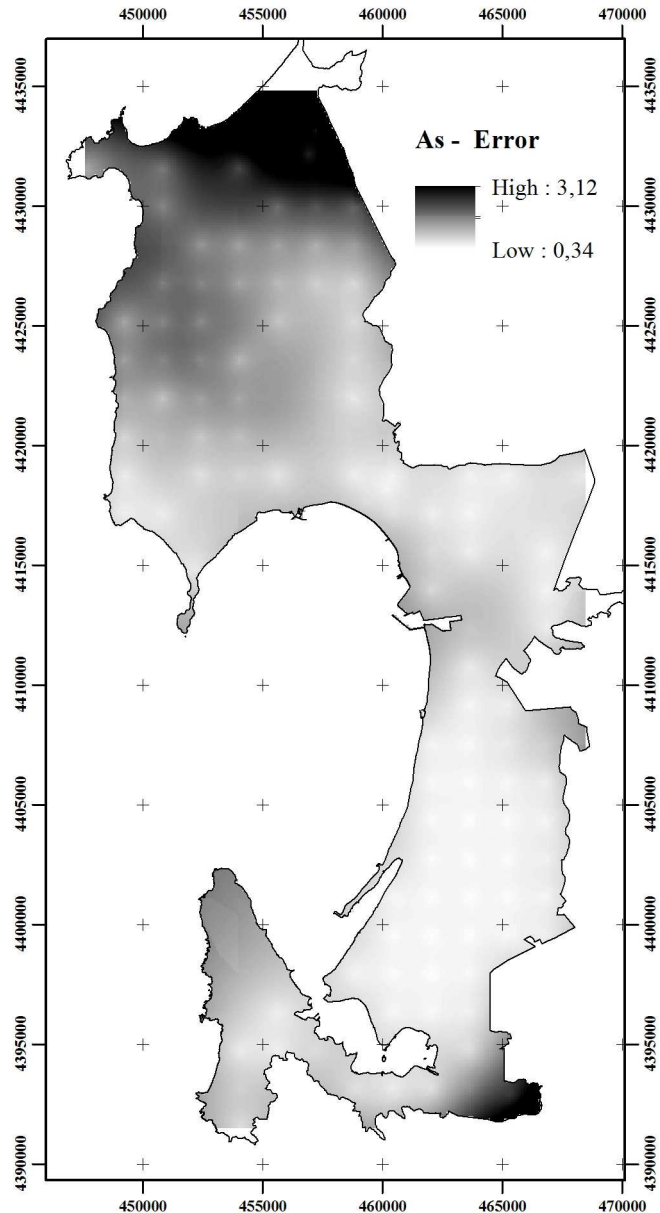


Fig. 36 – Error map As.

In conclusione, i modelli di previsione di distribuzione fatti non consentono di mettere in evidenza fenomeni di contaminazione su larga scala, ma riescono a modellare in maniera sufficientemente chiara fenomeni di pressione antropica rilevanti sul piano temporale e spaziale. Soprattutto, confermano e si pongono su un piano di coerenza con strati informativi già acquisiti e di fonti differenti (ad esempio, da fotointerpretazione). Ulteriore significativo aspetto, per altro già citato, riguarda le criticità emerse con queste mappature che consentono di evidenziare nello spazio specifici casi particolari per i quali si dimostra necessario un lavoro di campionamento e mappatura su scala decisamente più grande, anche se non necessariamente a livello di indagine conoscitiva preliminare a un intervento di bonifica.

2.5.2 Analisi statistica multivariata mediante Principal Factor Analysis (PFA)

L'analisi statistica multivariata è uno strumento utile per valutare, in maniera integrata, le informazioni che si hanno a disposizione, in modo da fornire un'interpretazione più completa del fenomeno che si vuole indagare e poter quindi eventualmente confermare le ipotesi formulate in precedenza mediante altre tipologie di elaborazione dei dati (Boruvka et al., 2005).

L'analisi fattoriale, con particolare riferimento alla PFA (*Principal Factor Analysis*), viene comunemente utilizzata in statistica multivariata applicata alla pedogeochimica. Infatti, risulta uno strumento molto utile per comprendere meglio i principali processi ed i fenomeni che influenzano la distribuzione dei PTE al suolo (Reimann et al., 2002). Contemporaneamente permette di discriminare tra fonti naturali e antropogeniche.

L'analisi fattoriale applicata ai 114 campioni di suolo, attraverso il confronto tra il contenuto dei PTEs e le proprietà fisico-chimiche dei suoli, ha portato all'estrazione, con metodo *varimax normalizzato*, di 3 fattori principali, che spiegano, complessivamente, il 70.5% della varianza totale.

Il fattore 1, in grado di spiegare il 48.1% della varianza totale, correla positivamente tra loro C, P, N, CSC e CE. Questo fattore mostra dunque che i parametri più importanti in grado di spiegare una parte consistente della variabilità statistica osservata, sono quelli prevalentemente connessi con la fertilità dei suoli indagati. Questo fattore può dunque essere definito come “fattore di fertilità dei suoli”. La fertilità dei suoli nel Golfo di Oristano, così come mostrato anche dallo studio etnopedologico, risulta dunque di fondamentale importanza nel determinare la variabilità statistica osservata. È interessante rilevare come questo dato venga desunto non solo da una analisi strettamente quantitativa, come quella derivante dalla analisi multivariata, ma anche da quella qualitativa (condotta sui toponimi) e quali-quantitativa (condotta sia sui toponimi che sui dati fisico-chimici).

Il fattore 2, in grado di spiegare il 12.7% della varianza totale, lega i carbonati totali (CaCO_3) e il pH con l'As. Questo fattore può essere definito come “fattore di alcalinità dei suoli”. L'As può essere presente nei carbonati sia come specie adsorbita che come impurità (Goldberg e Glaubig, 1988; Mehmood et al., 2009). Inoltre, l'adsorbimento delle forme inorganiche dell'As è pH dipendente. In particolare il massimo adsorbimento di As(III) si ha attorno a pH 7-8.5 mentre quello di As(V) intorno a pH 4 (Masscheleyn et al., 1991; Fitz e Wenzel, 2002;

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Mahimairaja et al., 2005). Dunque la concentrazione dell'As(III) aumenta con l'incremento del pH, in quanto non favorendo la sua mobilità concorre probabilmente al suo accumulo superficiale (Manning e Goldberg, 1997; Smith et al., 1999; Raven et al., 1998). Poiché nei suoli indagati è stato determinato il contenuto di As totale e non le sue specie ioniche, si può solo ipotizzare che più il pH è alto maggiormente l'As viene trattenuto e più difficilmente subisce il processo di lisciviazione e, quindi, maggiore è la sua concentrazione nel suolo. Ciò confermerebbe quanto detto in precedenza circa l'abbondanza dell'As proprio in suoli alcalini e ricchi di carbonato di calcio (dune eoliche di Is Arenas).

Il fattore 3, in grado di spiegare il 9.7% della varianza totale, mostra che Pb, Zn e Ni sono strettamente legati tra di loro e si correlano anche con Al, Fe, Mn e con la frazione fine del suolo (limo e argilla). Si ha una correlazione negativa invece con la frazione sabbia. Simili correlazioni, contraddistinte da differenti affinità geochimiche, potrebbero implicare l'esistenza di diversi fattori di natura pedogenetica in grado di influenzare la concentrazione degli elementi e la distribuzione degli stessi nei suoli indagati. La PFA mostra chiaramente che uno di questi aspetti pedogenetici è legato alle frazione fine del suolo (limo e argilla). Pertanto, il fattore 3 potrebbe essere interpretato come "source-sink dei PTE nel suolo", per cui la variabilità degli elementi sembra essere fortemente controllata dal contenuto di limo e argilla. Dunque la concentrazione di PTEs nei suoli indagati parrebbe dipendere prevalentemente dall'interazione/adsorbimento con la frazione granulometrica fine. Il fattore suggerisce quindi che la distribuzione di alcuni PTEs (Ni, Zn, Pb) nei suoli indagati ha un prevalente controllo pedogenetico. Questo risultato è in accordo con Kabata-Pendias e Mukherjee, (2007) e Kabata-Pendias (2011) che mostrano come il materiale parentale e i successivi processi pedogenetici siano i fattori più importanti nel determinare la concentrazione e la distribuzione geogenica dei metalli. In particolare essi dimostrano che i PTEs possono essere facilmente legati da ossidi ed idrossidi di Fe e Mn e la loro variabilità è fortemente dipendente oltre che da tali minerali anche dal contenuto e dal tipo di argilla.

In definitiva la PFA conferma che nei suoli indagati, con la parziale esclusione delle aree per cui è evidente una contaminazione di origine antropica (area del Sitzzerri e aree localmente contaminate da Cu), i principali fattori che controllano la distribuzione e la concentrazione dei PTEs sono legati alle naturali condizioni geologiche e pedologiche. In particolare, i PTEs indagati sono generalmente concentrati nei suoli che presentano una tessitura fine (alti contenuti di limo e argilla).

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

	F1	F2	F3
Sabbia	-0,510	-0,118	-0,766
Limo	0,516	0,150	0,777
Argilla	0,548	0,012	0,606
Carbonati totali	0,171	0,920	0,039
pH	0,190	0,843	0,022
Conducibilità elettrica	0,731	-0,062	0,177
C	0,790	0,008	0,297
N	0,813	0,168	0,136
P	0,632	0,240	0,229
CSC	0,686	0,191	0,585
Al	0,324	0,322	0,758
Fe	0,204	0,056	0,922
Mn	0,130	0,041	0,855
Ni	0,151	0,479	0,731
Zn	0,357	-0,243	0,708
Cu	0,123	0,051	0,611
Pb	0,263	0,192	0,354
Cd	-0,035	0,175	0,055
As	-0,271	0,623	0,345
Varianza proporzionale (%)	48,1	12,7	9,7
Varianza cumulativa (%)	48,1	60,8	70,5
Autovalori	9,141	2,409	1,851

Tabella 3 Pesì fattoriali (n=19);Metodo di estrazione: analisi dei fattori principali (PFA); Metodo di rotazione: Varimax; pesì marcati > 0,6

Bibliografia

Abrahams P.W., 2002. Soils: Their implications to human health. *The Science of the Total Environ.* 291,pp. 1-32.

Adhikari K, Guadagnini A, Toth G, Hermann T., 2009. Geostatistical analysis of surface soil texture from Zala County in western Hungary in *Proceedings of the international symposium on environment, energy and water in Nepal: recent researches and direction for future.* pp. 219–224. Accessibile all'URL:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.397.2195&rep=rep1&type=pdf>

Adriano D.C, 1992. *Biogeochemistry of Trace Metals.* Lewis Publisher.

Alloway B.J., 1995. *Heavy Metals in Soils,* Blackie Academic and Professional, Glasgow.

Ambrosiani F., 2013. Interpolazione di mappe DEM mediante algoritmi di distanza inversa pesata e funzioni a base radiale. Tesi di Laurea Corso di laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica, Scuola di Ingegneria Industriale dell'informazione, Politecnico di Milano.

Angelone M., Bini C., 1992. Trace elements concentrations in soils and plants of Western Europe. In Adriano D.C., *Biogeochemistry of trace metals,* Lewis Publishers. Boca Raton, pp. 19-60.

Anselin L., 1999. *Interactive techniques and exploratory spatial data analysis in Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications,* Accessibile all'URL: http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/ch17.pdf

Arduino E., Barberis E., 2000. Fosforo. In M.I.P.A.F. - *Metodi di analisi chimica dei suoli.* Milano. Ed. Franco Angeli.

ARPAS, 2008. *Programma d'azione per la zona vulnerabile da nitrati di origine agricola di Arborea - Piano di monitoraggio e controllo.*

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Aru A., Baldaccini P., Vacca A., 1991. Carta dei suoli della Sardegna alla scala 1:250.000 e Nota Illustrativa. Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato Programmazione, Bilancio e Assetto del Territorio, Dip. Scienze della Terra Univ. Cagliari, Cagliari.

Aru A., Madeddu B., Kahnamoiei A., 1995. Soil contamination by heavy metals from mines. In Aru A., Enne G., Pulina G., Land use and soil degradation – MEDALUS in Sardinia. La Celere Editrice, Alghero, pp. 265-283.

Baccouch S., Chaoui A., El Ferjani E., 1998. Nickel toxicity: effects on growth and metabolism of maize. *Journal of Plant Nutrition* 21, pp. 577-588.

Benedetti A., Trinchera A., Falchini L., Vittori Antisari L., 2000. Azoto. In M.I.P.A.F. - Metodi di analisi chimica dei suoli. Ed. Franco Angeli, Milano.

Bocchi S, Castrignanò A., 2007. Identification of different potential production areas for corn in Italy through multitemporal yield map analysis. *Field Crops Research*, 102(3), pp. 185–197.

Bocchi S, Castrignano A, Fornaro F, Maggiore T., 2000. Application of factorial kriging for mapping soil variation at field scale. *European Journal of Agronomy*, 13(4), pp. 295–308.

Bondi G., Peruzzi E., Macci C., Doni S., Masciandaro G., Pistoia A., 2012. Assessment of overgrazing on degradation of sloping soil. *Analele Universitatii Bioterra Bucuresti*. Vol 10, pp.1-6.

Boruvka L, Drabek O., 2004. Heavy metal distribution between fractions of humic substances in heavily polluted soils. *Plant Soil Environ* 50, pp. 339-45.

Boruvka L., Vacek O., Jehlička J., 2005. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma* 128, pp. 289-300.

Bowen H.J.M., 1979. *Environmental Chemistry of elements*. Academic Press, London.

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Box G.E.P., Cox D.R., 1964. An analysis of transformations. *J. Royal Stat. Soc. B* 26, pp. 211-252.

Boyle R.W., Jonasson I.R., 1973. The geochemistry of As and its use as an indicator element in geochemical prospecting. *J Geochem Explor* 2, pp. 251-296.

Burrough, P.A., 1991. Sampling designs for quantifying map unit composition. In : *Spatial Variabilities of Soils and Landforms*. SSSA Spec. Publ., 28, pp. 89-125.

Burrough, P.A., 1993. Soil variability revisited. *Soils Fert.*, 56 (5), pp. 529-562.

Buttafuoco G, Castrignanò A, Busoni E, Dimase AC., 2005. Studying the spatial structure evolution of soil water content using multivariate geostatistics. *Journal of Hydrology*, 311(1-4), pp. 202-218.

Cadell W., 2005. Notes on: Report on Geostatistics for Spatial Interpolation and Sampling Efficiency in Site Characterisation. Accessibile all'URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.733.1202&rep=rep1&type=pdf>

Canepa D., Izza G., Facco S., 1994. Metalli pesanti. In *Metodi Ufficiali di Analisi Chimica del Suolo*, Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, pp. 87-93.

Carboni S., Pala A., Guaita S., 1998. Geologia e Idrologia di Is Arenas (Narbolia-San VeroMilis, Sardegna centro-occidentale). *Rend Sem Fac Sci Univ Cagliari* 68, pp. 177-220.

Carboni S., Palomba M., Vacca A., Carboni G., 2006. Paleosols provide sedimentation, relative age, and climatic information about the alluvial fan of the River Tirso (Central-Western Sardinia, Italy). *Quaternary International* 156-157, pp. 79-96

Carmignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Salvadori I., Eltrudis A., Funedda A., Pasci S., 2001. Geologia della Sardegna. Note illustrative della Carta Geologica della Sardegna in Scala 1:200.000. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, Vol. 60, ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, Roma.

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Carmignani L., Oggiano G., Funedda A., Conti P., Pasci S., Barca S., 2008. Carta geologica della Sardegna, scala 1:250.000. Litografia Artistica Cartografica: Firenze, Italy.

Casa R., Castrignanò A., 2008. Analysis of spatial relationships between soil and crop variables in a durum wheat field using a multivariate geostatistical approach. *European Journal of Agronomy* 28(3), pp.331–42.

Castrignanò A., Lopez N., 2000. La geostatistica nella scienza del suolo: stato dell'arte e prospettive future. *Proceeding geostatistica per lo studio e la gestione della variabilità Applicazioni nelle scienze fisiche, ambientali e agronomiche*, University of Milan, pp. 61–86.

Castrignanò, A., D' Agostino V. e Lopez, G., 1988. "Analisi geostatistica di alcune caratteristiche di un suolo del Metapontino." *Atti del Convegno della S.I.S.S. su "Giornate di Studio sull' Analisi di suolo"*. Verona, pp. 778-797.

Castrignanò A., Maiorana M, Fornaro F, Lopez N., 2002. 3D spatial variability of soil strength and its change over time in a durum wheat field in Southern Italy. *Soil and Tillage Research* 65(1), pp. 95–108.

Castrignanò A, Costantini EAC, Barbetti R, Sollitto D., 2009. Accounting for extensive topographic and pedologic secondary information to improve soil mapping. *CATENA*. 77(1), pp. 28–38.

Castrignanò A, Giugliarini L, Risaliti R, Martinelli N., 2009. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma*, 97(1), pp. 39–60.

Christakos, G. e Killam, B.R., 1993. Sampling Design for Classifying contaminant Level Using Annealing Search Algorithms. *Water Resour. Res.*, 29 (12), pp. 4063-4076.

Cidu R., 2011. Mobility of aqueous contaminants at abandoned mining sites: Insights from case studies in Sardinia with implications for remediation. *Environmental Earth Sciences* 64, pp. 503-512.

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Ciotoli G., 2005. Dalla Statistica alla Geostatistica: Introduzione all'analisi dei dati geologici e ambientali. Aracne editrice, Roma.

Colombo C, Palumbo G, Sellitto VM, Di Iorio E, Castrignanò A, Stelluti M., 2015. The effects of land use and landscape on soil nitrate availability in Southern Italy (Molise region). *Geoderma*, 239–240, pp.1-12.

Conforti M, Castrignanò A, Robustelli G, Scarciglia F, Stelluti M, Buttafuoco G., 2015. Laboratory-based Vis–NIR spectroscopy and partial least square regression with spatially correlated errors for predicting spatial variation of soil organic matter content. *CATENA* 124, pp. 60–67.

Coulombe C.E., Dixon J.B., Wilding L.P., 1996. Mineralogy and chemistry of Vertisols. In Ahmad N., Mermut A., Vertisols and technologies for their management. *Development in Soil Science*, No 24. Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands, pp. 115-200.

Da Pelo S., Corsini F., Lattanzi P., Parrini P., Zuddas P., 1996. Mineralogia e geochimica degli sterili di flottazione nell'area mineraria di Montevecchio, Sardegna: dati preliminari. MURST 1° Incontro Scientifico Nazionale: “Le proprietà dei minerali e le loro applicazioni alle problematiche ambientali, culturali ed industriali”. Modena, 22 febbraio 1996, pp. 33-35.

De Benedetto D, Castrignanò A, Rinaldi M, Ruggieri S, Santoro F, Figorito B, et al., 2013. An approach for delineating homogeneous zones by using multi-sensor data. *Geoderma* 199, pp.117–127.

De Benedetto D, Castrignanò A, Quarto R., 2013. A Geostatistical Approach to Estimate Soil Moisture as a Function of Geophysical Data and Soil Attributes. *Procedia Environmental Sciences* 19, pp. 436–445.

Diacono M, De Benedetto D, Castrignanò A, Rubino P, Vitti C, Abdelrahman HM, et al., 2013. A combined approach of geostatistics and geographical clustering for delineating homogeneous zones in a durum wheat field in organic farming. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 64–65, pp. 47–57.

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Díez M., Simón M., Martín F., Dorronsoro C., García I., Van Gestel C.A.M., 2009. Ambient trace element background concentrations in soils and their use in risk assessment. *The Science of the Total Environment* 407, pp. 4622-4632.

Di Gregorio, 1972. Aspetti della degradazione del suolo in Sardegna. Tesi di laurea. Dip. Di Scienze della Terra. Università degli Studi di Cagliari.

Di Gregorio F., Mascia W., 1988. Problemi di geologia ambientale nelle regioni minerarie della Sardegna: il caso di Montevecchio. Atti Conv. "Ricerche Geologiche correlate all'ambiente", Boll. Serv. Geol. It., Roma.

Eddine MD, Abdelkader D, Ibrahim Y., 2012. Geomatics Use in the Evaluation of Surface Qualities Degradation in Saline Area (The case of the lower Cheliff plain). *Energy Procedia* 18, pp. 1557-1572.

Filzmoser P., Hron K., Reimann C., 2009. Univariate statistical analysis of environmental (compositional) data: Problems and possibilities. *Sci. Total Environ.* 407, pp. 6100-6108.

Fitz W.J., Wenzel W.W., 2002. Arsenic transformations in the soil-rhizosphere-plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. *Biotechnology* 99, pp. 259-278.

Gessa C., Ciavatta C., 2000. Complesso di scambio. In M.I.P.A.F. - Metodi di analisi chimica dei suoli. Ed. Franco Angeli, Milano.

Giandon P., Bortolami P., 2007. L'interpretazione delle analisi del terreno. Strumento per la sostenibilità ambientale. Verdenauta. Arpav, Veneto Agricoltura.

Gimeno-García E., Andreu V., Boluda R., 1996. Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environmental Pollution* 92, pp. 19-25.

Giordano A., 1999. *Pedologia*. UTET, Torino.

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Goldberg S., Glaubig R.A., 1988. Anion Sorption on a Calcareous, Montmorillonitic Soil - Arsenic. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, pp. 1297-1300.

Goldberg S., 2002. Competitive Adsorption of Arsenate and Arsenite on Oxides and Clay Minerals. *Soil Sci. Am. J.* 66, pp. 413-421.

Goldberg L., Zaccheo F., 2003. Inquinamento del suolo. In Provini A., Galassi S., Marchetti R., *Ecologia applicata*. Città studi edizioni.

Gorelli S., Santucci A, Lorenzini G, Nali C., 2009. Validation of air pollution biomonitoring networks and related data modelling: a geostatistical approach. *Journal of Environmental Monitoring*.11(4), pp. 793.

Gomes P.C., Fontes M.P.F., da Costa L.M., de Mendonça E.S., 1997. Fractional extraction of heavy metals from red-yellow Latosol (in Portuguese). *Rev. Bras. Cienc. Solo* 21,pp. 543-551.

Goovaerts, P., Webster, R. e Dubois, P., 1996. Assessing the risk of soil contamination in the Swiss Jura using indicator geostatistics. *Environmental and ecological Statistics*, 3.

Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford Univ. Press, New York, pp. 512.

Goovaerts, P., 2010. How do multiple testing correction and spatial autocorrelation impact areal boundary analysis? *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology* 1 (4), pp. 219–229

Guastaldi E., *Geostatistica Ambientale*. CGT Centro di GeoTecnologie, Università degli Studi di Siena.

Guo G, Wu F, Xie F, Zhang R., 2011. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China. *Journal of Environmental Sciences* 24(3), pp.410–418.

Hengl T, 2007. *A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables*. European commission, Joint research centre, Institute for environment and sustainability Ispra I. Luxembourg: Publications Office.

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Henley, S., 1981. *Nonparametric Geostatistics*. London: Applied Science Publishers, Ltd.

INEA, 2011. *Valutazione del rischio di salinizzazione dei suoli e di intrusione marina nelle aree costiere delle regioni meridionali in relazione agli usi irrigui*. (a cura di) Napoli R., Vanino S.

Isaaks, E.H., e Srivastava, R.M., 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, New York.

Jardim E, Ribeiro PJ., 2007. Geostatistical assessment of sampling designs for Portuguese bottom trawl surveys. *Fisheries Research* 85(3), pp. 239–247.

Jeanne N, Desnoyers Y, Lamadie F, IOOSS B., 2008. Geostatistical sampling optimization of contaminated premises. *Analysis* 6, pp.1.

Kabata-Pendias A., Mukherjee A. B., 2007. *Trace Elements from Soil to Human*. Springer, Berlin.

Kabata-Pendias A., 2011. *Trace elements in soils and plants*. 4 th edition. CRC Press, Boca Raton.

Kidd P., Barceló J., Bernal M.P., Navarri-Izzo F., Poschenrieder C., Shilev S., Clemente R., Monterosso C., 2009. Element behavior at the root-soil interface: Implications in phytoremediation. *Environmental and Experimental Botany* 67, pp. 243-259.

Krige, Danie G., 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *J. of the Chem., Metal. and Mining Soc. of South Africa* 52 (6), pp.119–139.

Langella G., 2008. *Spatial Analysis of Pedological and Environmental Features by means of Digital Soil Mapping*. Università degli Studi di Napoli Federico II; Accessibile all'URL: http://www.fedoa.unina.it/3052/1/Langella_Giuliano.pdf

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Lark R.M., 2012. Towards soil geostatistics. *Spatial Statistics* 1, pp 92–99.

Leita L., Petruzzelli P., 2000. Metalli pesanti. In M.I.P.A.F. - Metodi di analisi chimica dei suoli. Ed. Franco Angeli, Milano.

Lombardozi V, Castrignanò T, D'Antonio M, Casanova Municchia A, Caneva G., 2012. An interactive database for an ecological analysis of stone biopitting. *International Biodeterioration & Biodegradation* 73, pp. 8–15.

Li HY, Webster R, Shi Z., 2015. Mapping soil salinity in the Yangtze delta: REML and universal kriging (E-BLUP) revisited. *Geoderma* 237–238, pp. 71–77.

Mahimairaja S., Bolan N.S., Adriano D.C., Robinson B., 2005. Arsenic contamination and its risk management in complex environmental settings. *Adv Agron* 86, pp. 1-82.

Manning B.A., Goldberg, S., 1997. Arsenic (III) and Arsenic (V) Adsorption on Three California Soils. *Soil Science*, vol. 162, n. 12.

Masscheleyn P.H., DeLaune R.D., Patrick W.H., 1991. Effect of redox potential and pH on arsenic speciation and solubility in a contaminated soil. *Environ. Sci. Technol.* 25, pp.1414-1419.

Matheron G., 1965. *Les Variables Régionalisées et leur estimation*. (These). Masson et Cie, Paris.

Matheron G., 1970. *Course de Géostatistique*, Les cahiers du centre de Morphologie Mathématique, École des mines de Paris.

McKinley JM, Ofterdinger U, Young M, Barsby A, Gavin A., 2013 Investigating local relationships between trace elements in soils and cancer data. *Spatial Statistics* 5, pp. 25–41.

Mehmood A., Hayat R., Wasim M. Akhtar M.S.J., 2009. Mechanisms of arsenic adsorption in calcareous soils. *Journal of Agriculture and Biological Sciences* 1, pp. 59-65

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Morari F, Castrignanò A, Pagliarin C., 2009. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* 68(1), pp. 97–107.

Néel C., Sourbrand-Colin M., Piquet-Pissaloux A., Bril H., 2007. Mobility and bioavailability of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in a basaltic grassland: comparison of selective extractions with quantitative approaches at different scales. *Applied Geochemistry* 22, pp. 724-735.

Palumbo B., Angelone M., Bellanca A., Dazzi C., Hauser S., Neri R., Wilson J., 2000. Influence of inheritance and pedogenesis on heavy metal distribution in soils of Sicily, Italy. *Geoderma* 95, pp. 247-266.

Pugliese A, Castellarin A, Montanari A, Archfield S., 2012. Tecniche Di Interpolazione Geostatistica Per La Stima Della Piena Di Progetto In Bacini Non Strumentati. Accessibile all'URL: <http://core.ac.uk/download/pdf/11807651.pdf>

Qi-yong Y, Zhong-cheng J, Wen-jun L, Hui L., 2014. Prediction of soil organic matter in peak-cluster depression region using kriging and terrain indices. *Soil and Tillage Research* 144, pp. 126–32.

Rasmussen-Rhodes H., Mayers D., 1993 GRASS used in the Geostatistical Analysis of Lakewater Data from the Eastern Lake Survey, Phase I. In *Environmental modeling with GIS*, New York-Oxford University Press, pp. 438 – 446.

Raspa G., 2000. Il ruolo della geostatistica nella modellistica ambientale. *Atti del Convegno Geostatistica per lo studio e la gestione della variabilità* Milano.

Raspa G, 2009, *Dispense di Geostatistica Applicata*. Università degli studi La Sapienza.

Raspa G, Bruno R., 1994. *Dispense di geostatistica applicata*. Università degli studi La Sapienza Dipartimento di Georisorse.

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Raven, K., Jain, A., Loppert, R.H., 1998. Arsenite and arsenate adsorption on ferrihydrite: Kinetics, equilibrium, and adsorption envelopes. *Environ. Sci. Technol.* 32, pp. 344-349.

Rawlins B.G., Webster R., Lister T.R., 2003. The influence of parent material on topsoil geochemistry in eastern England. *Earth Surf. Process. Land.* 28, pp. 1389-1409.

Reimann C., Filzmoser P., 2000. Normal and lognormal data distribution in geochemistry: Death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. *Environ. Geol.* 39, pp. 1001-1014.

Reimann C, Filzmoser P, Garrett R.G., 2002. Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. *Applied Geochemistry* 17(3), pp. 185–206.

Reimann C., Filzmoser P., Garrett R.G., 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *The Science of the Total Environment* 346, pp.1-16.

Salminen R., Gregorauskiene V., 2000. Considerations regarding the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology. *Applied Geochemistry* 15, pp. 647-653.

Salminen R. et al., 2005. Geochemical atlas of Europe. Part 1. Background information, methodology and maps. Accessibile all'URL: <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/>.

Sartori G., Corradini F., Bini C., Gemignani S., Mancabelli A., 2004. Contenuto di metalli pesanti nei suoli del Trentino Studi Trentini di Scienze Naturali. *Acta Geologica* 79, pp. 75-117.

Soil Survey Staff., 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

Smith E., Naidu R., Alston A.M., 1999. Chemistry of arsenic in soils: Sorption of arsenate and arsenite by four Australian soils. *J. Environ. Qual.* 28, pp. 1719-1726.

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Sollitto D, Romić M, Castrignanò A, Romić D, Bakic H., 2010. Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate geostatistics. *CATENA* 80(3), pp. 182–194.

Sun B, Zhou S, Zhao Q., 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma* 115(1–2), pp. 85–99.

Suthersan S.S., 1999. In situ bioremediation. *Remediation engineering: design concepts*. Boca Raton: CRC Press.

Tavares MT, Sousa AJ, Abreu MM., 2008. Ordinary kriging and indicator kriging in the cartography of trace elements contamination in São Domingos mining site (Alentejo, Portugal). *Journal of Geochemical Exploration* 98(1–2), pp. 43–56.

Templ M., Filzmoser P., Reimann C., 2008. Cluster analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities. *Appl. Geochem.* 23, pp. 2198-2213.

Tomczak M., 1998. Spatial interpolation and its uncertainty using automated anisotropic inverse distance weighting (IDW)-cross-validation/jackknife approach. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* 2(2), pp.18–30.

Tukey, J. W., 1977. *Exploratory data analysis*. Reading, PA: Addison-Wesley

Vacca A., Bianco M.R., Murolo M., Violante P., 2012. Heavy metals in contaminated soils of the Rio Sitzzerri floodplain (Sardinia, Italy): characterization and impact on pedodiversity. *Land Degradation & Development* 23, pp. 350-364.

Vega F.A., Covelo E.F., Vázquez J.J., Andrade L., 2007. Influence of mineral and organic components on copper, lead, and zinc sorption by acid soils. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 42(14), pp. 2167-2173.

Webster, R. e Oliver, M.A., 1990. *Statistical Methods in Soil and Land Resources Survey*. Oxford Univ. Press.

Parte 2 - Analisi Geostatistica della Distribuzione dei PTE all'interno dell'ambito del Golfo di Oristano

Webster J.G., 1999. Arsenic. In Marshall C.P., Fairbridge R.W. (eds) *Encyclopaedia of Geochemistry*. Chapman Hall, London, pp. 21-22.

Zamani-Ahmadmahmoodi R, Bakhtiari AR, Rodríguez Martín JA., 2014. Spatial relations of mercury contents in Pike (*Esox lucius*) and sediments concentration of the Anzali wetland, along the southern shores of the Caspian Sea, Iran. *Marine Pollution Bulletin* 84(1-2), pp. 97-103.

Zhao F.J., McGrath S.P., Merrington G., 2007. Estimates of ambient background concentrations of trace metals in soils for risk assessment. *Environ. Pollut.* 148(1), pp. 221-229.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Parte 3. L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Introduzione

Per quanto la conoscenza acquisita con i modi e i tempi della ricerca scientifica sia di per sé quella su cui si basa la società moderna, essa si confronta, specialmente a seguito di quella che può essere vista come la fine del paradigma eurocentrico, anche con modelli di conoscenza strutturati secondo logiche differenti. È il caso significativo della "conoscenza locale" o "indigena" (Indigenous Knowledge, IK), intesa come insieme di abilità e filosofie sviluppate dalle popolazioni locali come conseguenza della loro lunga storia di interazioni con l'ambiente circostante (UNESCO, 2008). Essa, di fatto si configura come parte integrante di un complesso culturale che comprende il linguaggio, i sistemi di classificazione, l'uso delle risorse naturali, le interazioni sociali, i rituali e la spiritualità (UNESCO, 2008). Al di là del valore intrinseco di tale corpus di conoscenze, che motiva la necessità di tutelarne e conservarne secondo specifici dispositivi tecnici e metodologici l'esistenza, essi costituiscono un importante strumento per la definizione e l'attuazione di *Best Practice*, in un'ottica di sviluppo sostenibile e consapevole (UNESCO/MOST, 2002). I nomi di luogo o toponimi, rappresentano una fondamentale deriva del IK, in quanto riflesso della vasta conoscenza geografica delle antiche popolazioni indigene, accumulato da generazioni di interazioni con l'ambiente (Kadmon, 2000).

Nell'ambito di questo contesto, l'etnopedologia (Barrera-Bassols e Zinck, 1998) si propone di documentare e aumentare la comprensione degli approcci locali alla percezione del suolo, la classificazione, la valutazione, l'uso e la gestione (Barrera-Bassols e Zinck, 2003).

In questa parte del lavoro di tesi si è dunque voluto indagare, mediante approccio etnopedologico di tipo integrato, sul significato e distribuzione dei toponimi, con particolare riferimento (ma non esclusivamente) ai pedonimi (toponimi legati alla risorsa suolo), utilizzati nella cartografia antica e recente della Sardegna.

Basandoci su una metodologia "ibrida", ci siamo trovati di fronte all'arduo compito di dover coniugare la ricerca classica d'archivio con metodi volti all'acquisizione ed elaborazione di dati pedologici sia qualitativi che quantitativi (analisi fisico-chimiche). Tali dati hanno

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

costituito la base conoscitiva per successive e complesse analisi di statistica multivariata.

Un patrimonio di potenziale conoscenza indigena legate al suolo può a tutti gli effetti essere messo in relazione con conoscenze scientifiche sul suolo e lo schema metodologico in grado di operare una sintesi tra queste forme di sapere può essere mutuato con efficacia dalla Etnopedologia nella sua variante applicativa di tipo integrato. Nel caso specifico di questa trattazione le risultanze della ricerca di archivio, di tipo "classico" sono combinate con i parametri quantitativi fisico-chimici del suolo e la statistica multivariata è stata utilizzata per questo scopo. Nel complesso, lo studio propone di indagare i seguenti aspetti:

- significato e distribuzione dei toponimi utilizzati nella cartografia tradizionale e recente della Sardegna con particolare ma non esclusiva enfasi su quelli legati al suolo (*pedonimi*);
- I legami delle differenti forme di conoscenza, come contributo all'aumento della consapevolezza globale sulle risorse pedo-ambientali e sul patrimonio culturale in via di estinzione.

Per il primo obiettivo, distribuzione e diversità dei toponimi sono stati valutati creando apposito database, accoppiato con un sistema di informazione geografica (GIS). Per il secondo obiettivo, i dati di tipo qualitativo (toponimi) e quantitativo (parametri fisico-chimici del suolo), sono stati confrontati attraverso analisi statistica multivariata.

3.1 Indigenous Knowledge

Benché la definizione di Indigenous (o Local) Knowledge si trovi al centro di amplissime disamine quanto di vivaci discussioni (Pierotti, 2011; Ellen, 2005), cosa si intende per “conoscenza indigena” non è affatto chiaro, anche perché, oltre alla difficoltà legata al fornire una precisa definizione circa la sua natura, esiste a oggi una estrema varietà di terminologie (Ellen, 2005), di definizioni e concetti affini che si declinano e riverberano su scale geografiche, storiche e disciplinare differenti. Termini come “sapere indigeno” (IK, *Indigenous Knowledge*), “Conoscenza Indigena Tecnica”(ITK, *Indigenous Technical Knowledge*), “Conoscenza Locale”, “Conoscenza Popolare”, “Conoscenze Tradizionali” sono spesso usati come sinonimi e, malgrado ci sia indiscutibilmente una sufficiente sovrapposizione tra i loro significati, che consente di riconoscere l'esistenza di una condivisa comprensione intersoggettiva (Ellen 2005), è altresì evidente una certa difficoltà nell'ignorare una tendenza a sviluppare differenti sfumature.

Un'utile analisi della definizione di Conoscenza Locale (CL), fondamentale anche per l'uso pratico che se ne fa attualmente, essendo in qualche modo codificato e formalizzato in sedi istituzionali, è quella fornita nel volume “Best Practices using Indigenous Knowledge” (Boven, Morohashi, 2005), che si avvicina al problema da differenti punti di vista. Così la conoscenza locale si può definire come la conoscenza appartenente ad uno specifico gruppo etnico, costituente la base per decisioni a livello locale. In maniera altrettanto esplicativa può essere definita come informazione di base per una società, che facilita la comunicazione e il processo decisionale, caratterizzata dal fatto che il processo informativo risulta essere dinamico, continuamente influenzato dalla creatività interna e dalla sperimentazione, oltre che per contatto con realtà esterne. È la conoscenza che le persone in una data comunità hanno sviluppato nel corso del tempo, e continuano a sviluppare. È in base all'esperienza, spesso testata in secoli di uso, adattata alla cultura e all'ambiente locale, dinamico e mutevole (Boven, Morohashi, 2005).

Ai fini della trattazione, e non volendo entrare nel merito di un dibattito che come detto si concentra su differenti sfere disciplinari, diventa utile una schematizzazione di tali concetti, tanto che si potrebbe definire la CL sulla base del seguente elenco di caratteristiche (Boven, Morohashi, 2005):

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

- Si pone a livello locale, intimamente legata ad un'area specifica.
- È un tipo di conoscenza non formale.
- È trasmessa oralmente, e generalmente non documentata.
- È di tipo dinamico, adattiva e di natura olistica.
- È strettamente legata alla sopravvivenza e sussistenza di società e gruppi di persone in tutto il pianeta.

3.2 L'etnopedologia come sintesi di Indigenous e Scientific Knowledge

Una volta definito, seppur con robuste e circostanziate riserve, l'oggetto della CL, ai fini di un suo adeguato impiego nell'ambito della ricerca in oggetto, resta da delineare, nei limiti di una trattazione di questo genere, il suo rapporto con la conoscenza scientifica "occidentale". Tale dicotomia è stata sin dall'inizio interpretata come una netta contrapposizione tra due differenti modi di interpretare la conoscenza.

Benché da questa rapidissima disamina possa emergere la dicotomia come esclusivamente conflittuale, a livello epistemologico essa si configura come un rapporto che negli ultimi tempi si sviluppa sempre più nell'ottica di interazione. Questo orientamento ha avuto, in alcuni ambiti scientifici, come conseguenza, la definizione, anche dal punto di vista formale, di vere e proprie discipline. Paradigmatico e indispensabile ai fini della trattazione è il caso dell'etnopedologia, formalizzata e concettualizzata nelle sue forme e ambiti d'indagine alla fine del XIX secolo (Barrera-Bassols, WinklerPrins, 2003). L'etnopedologia si può definire come la disciplina che ha lo scopo di documentare e comprendere gli approcci locali alla percezione del suolo, la classificazione, la valutazione, l'uso e la gestione (Barrera-Bassols, 2003).

Tra gli ambiti di indagine principali si possono citare i seguenti (Barrera-Bassols, 2003) :

- le nomenclature locali, tassonomie del suolo e del territorio;
- la percezione risorse del territorio, e la spiegazione della struttura, la distribuzione, le proprietà, i processi e le dinamiche del suolo;
- la conoscenza locale del suolo e le relazioni con altri fattori biofisici;
- credenze, miti, riti e altri significati simbolici, valori e pratiche legate alla gestione del territorio e la valutazione della qualità del suolo;
- l'uso locale e pratiche di gestione del suolo;

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

- l'adattamento locale, di rinnovamento e di trasformazione delle strategie di proprietà del suolo e qualità del territorio;
- la co-validazione di conoscenze, abilità e competenze etnopedologiche attraverso la moderna indagine geopedologica;
- le strategie agro-ecologiche e agricole;
- le pratiche rurali, per promuovere la partecipazione di valutazione del territorio e pianificazione del territorio;
- le procedure per lo sviluppo sostenibile endogeno.

La multidisciplinarietà, la complessità degli scenari figurati, sono frutto di un crescente interesse per l'etnopedologia originatosi e sviluppatosi in virtù di alcune importanti considerazioni sulla necessità di tale tipo di studi.

Una sintesi efficace degli scopi dell'etnopedologia è quella del diagramma seguente (Barrera-Bassols, 2003):

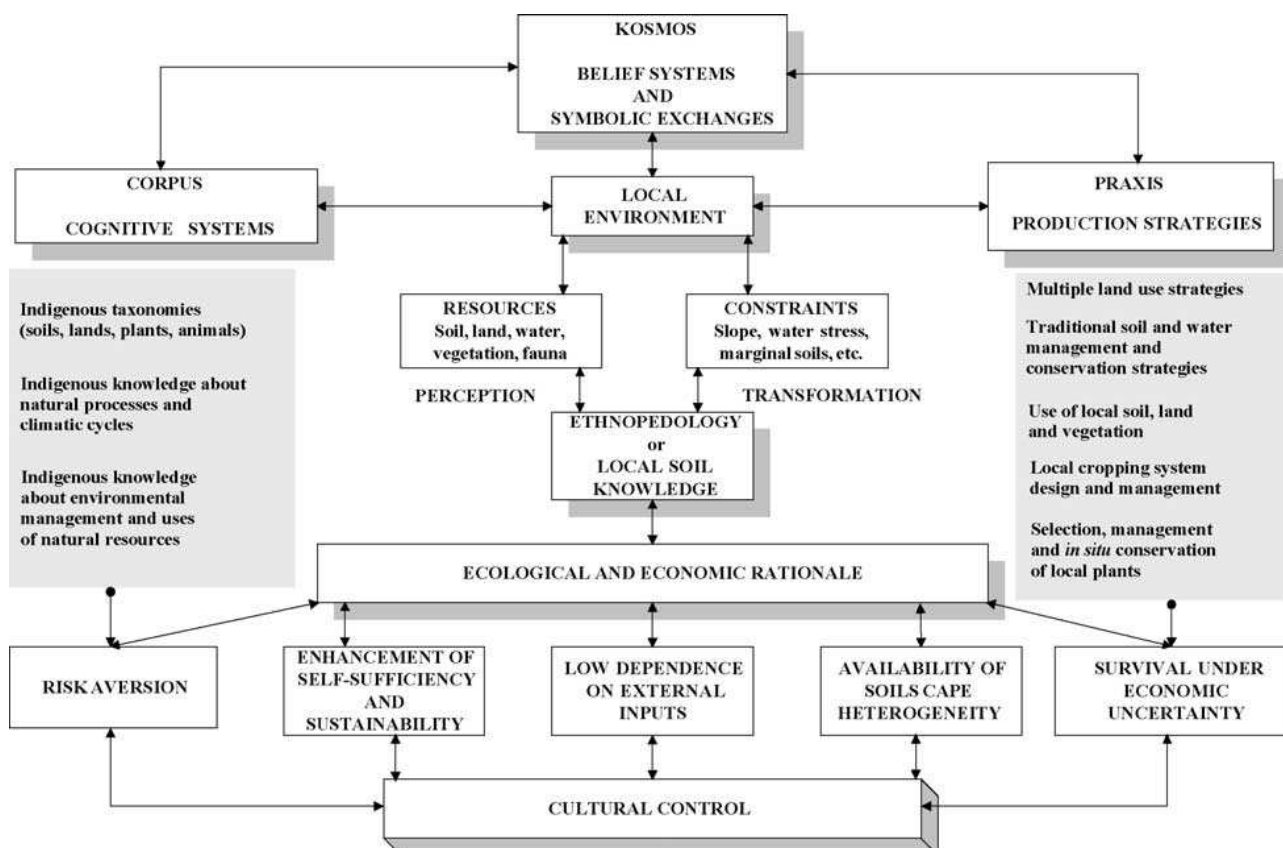


Fig. 37 – obiettivi e metodi dell'etnopedologia (Barrera-Bassols, 2003)

L'approccio impiegato nell'indagine etnopedologica, si può classificare in tipologie,

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

caratterizzate dal livello di profondità delle interazioni tra le diverse modalità operative. Se infatti i primi studi etnopedologici furono prevalentemente condotti da etnografi e, in misura minore, da geografi, che utilizzavano metodologie etnografiche e etnoscientifiche per studiare la classificazione locale del suolo (Gaviano, 2015), negli ultimi anni il quadro pare completamente mutato. Grazie infatti ad un crescente interesse sulla risorsa suolo, ritenuta oramai fondamentale nella definizione di un uso sostenibile del territorio specie se di fronte a grandi sfide ambientali come la sicurezza alimentare, i cambiamenti climatici, la scarsità di acque dolci e la perdita di biodiversità (Bouma, 2012), numerosi ricercatori, afferenti a svariati settori, si stanno sempre più interessando di all'etnopedologia. Sulla base delle ricerche portate avanti nel corso dell'ultimo secolo, si possono in effetti esplicitare tre principali modalità di approccio (Barrera-Bassols, 2003).

1. Approccio etnografico.

Nell'approccio etnografico, l'analisi dei dati sul campo e acquisizione di conoscenze etnopedologiche sono i principali obiettivi. In questo tipo di studio, le informazioni etnopedologiche non vengono portate sul piano del confronto con i dati scientifici. Nella maggior parte dei casi, essi costituiscono delle informazioni sul suolo di natura empirica e sostanzialmente le ricerche sono di natura etnografica di stampo classico, contenenti alcune sezioni descrittive dedicate all'etnopedologia. I criteri linguistici che si riferiscono agli attributi del suolo e le strategie di gestione del territorio sono in questo caso quasi sempre semplicemente elencati. Precedenti tentativi di approccio etnopedologico erano basati sull'analisi linguistica della nomenclatura dei sistemi di suolo e di classificazione del suolo, secondo uno schema paragonabile a quello applicato agli studi sull'Etnobiologia¹⁶ (Talawar e Rhoades, 1998).

2. Approccio comparativo.

L'approccio comparativo ha lo scopo di stabilire le somiglianze e le differenze tra le conoscenze locali e quelle scientifiche. Obiettivo principale di questa modalità di indagine è quella di individuare, ad esempio, le possibili correlazioni tra diverse tipologie di classificazione del suolo o i sistemi di gestione del territorio. L'analisi non tiene in considerazione i contesti socio-culturali da cui la percezione, le credenze, la cognizione e le

¹⁶Per etnobiologia si intende la disciplina che studia le tassonomie vernacolari nelle varie culture umane.

Oggetto dell'indagine etnobiologica sono quindi tutte quelle classificazioni di organismi naturali che si trovano "spontaneamente" in ogni cultura umana (Guasparri, 2007)

Antonio Ganga

Tra Conoscenza Locale e Scientifica

Tesi di Dottorato in Pedologia Applicata, Università di Sassari, 2010, XXVIII Ciclo

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

pratiche sono derivati. Due principali tendenze di ricerca hanno influenzato questi studi. Un approccio, relativo alla 'Scuola universalistico cognitiva', è stato formalizzato sulla teoria dei principi universali dei sistemi di classificazione biologici 'popolari'. Gran parte di questo tipo di ricerca si propone di mettere in relazione i sistemi di classificazione del suolo locali con la classificazione biologica o con tassonomie scientifiche del suolo come la tassonomia USDA (Soil Survey Staff, 1998), o la leggenda FAO (FAO / UNESCO, 1988). L'altro approccio è radicato nella moderna scienza del suolo e si concentra principalmente sullo sviluppo "naturale" o "oggettivo" (Queiroz Neto, 1998). Fondamentale sottolineare che, anche se alcuni studi dimostrano la validità scientifica della conoscenza locale del suolo, nella maggior parte dei casi si presume che la scienza *tout-court* è a prescindere una superiore fonte di informazione, col vincolo di essere provata e formalizzata al fine di essere applicata sotto il profilo scientifico (Sillitoe, 1998).

3. Approccio Integrato.

L'approccio integrato consente di fare un ulteriore passo avanti rispetto agli approcci precedenti: esso infatti si pone, come primo obiettivo, la mobilitazione e l'attivazione del rapporto tra cultura e informazioni scientifiche, col fine ultimo di elaborare sistemi di gestione delle risorse naturali secondo contesti sociali, culturali, economici ed ecologici locali. In collaborazione con i portatori di sapere scientifico e tecnico (ad esempio gli scienziati del suolo, agronomi, sociologi, progettisti, tra gli altri), gli agricoltori, ma in generale tutti coloro che interpretano un ruolo nelle modalità di gestione di risorse territoriali locali, partecipano alla convalida e all'integrazione delle informazioni locali in chiave decisionale, creando e implementando procedure di pianificazione e promuovendo modelli di gestione sostenibile delle risorse naturali .

Questo approccio è di fatto ancora recente (WinklerPrins, 2003); tuttavia sta acquisendo maggior peso, sia per il maggior coinvolgimento di attori locali sia per la possibilità di validare i risultati ottenuti; malgrado ciò alcune questioni rilevanti ostacolano ancora di raggiungere l'integrazione metodologica. Si tratta ad esempio:

- Vi è la necessità in primis di andare oltre l'approccio classificatorio come il principale o unico scopo della ricerca etnopedologica. Maggior rilievo dovrebbe assumere la gestione del suolo e delle risorse territoriali.
- È prioritario lo stimolo ad accelerare le iniziative di integrazione interdisciplinare con

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

le scienze naturali e sociali, prendendo ovviamente atto di come la conoscenza indigena non possa essere valutata e impiegata astraendola dal proprio contesto culturale.

- È strettamente legato al concetto precedente il tentativo di comprendere appieno il contesto locale come un complesso dinamico e aperto in cui il suolo e la sua conoscenza viene applicata in diversi modi sulla base della realtà individuale e sociale.

L'approccio impiegato nella presente ricerca ricade in quest'ultima categoria metodologica. L'impiego dell'analisi spaziale nel campo dell'etnopedologia è già stato affrontato (Barrera-Bassols 2006); in accordo con le principali tendenze (Oudwater, 2003; Payton, 2003; Barrera-Bassols, 2006) nell'ambito dell'indagine sulle interazioni tra conoscenza locale e indigena, in perfetta coerenza con quanto sopra descritto, il lavoro sfrutta le potenzialità dell'analisi spaziale su piattaforma GIS. Anche in questo caso sono evidenti le ricadute operative di tale approccio; paradigmatico è il caso del progetto, finanziato dalla Commissione europea¹⁷ e coordinato dal Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Newcastle “*Combining systematic and participatory approaches for developing and promoting strategies for sustainable land and water management*”, il cui obiettivo è stato quello di sviluppare e implementare una metodologia finalizzata a combinare le conoscenze scientifiche e indigene delle risorse del territorio impiegando in quest'ottica le funzionalità dei sistemi GIS come strumento di sintesi e integrazione. Tale progetto ha avuto come quadro d'azione le aree semi desertiche della Tanzania, si poneva come obiettivo nel lungo periodo quello di costruire strumenti e metodologie consolidate nello sfruttamento delle conoscenze relative alla gestione del territorio e nello specifico delle risorse idriche e del suolo, secondo un approccio replicabile in contesti simili. Altrettanto rilevante è l'impiego delle architetture GIS per l'acquisizione di dati ambientali (e tra questi quelli pedologici) attraverso l'analisi di fonti geografiche “immateriali”, quali il patrimonio Toponomastico (Luo, 2010).

La toponomastica come “riserva” di conoscenza locale.

Il patrimonio toponimico costituisce pertanto un eccellente ambito di indagine a livello di interfaccia tra le conoscenze locali e scientifiche, in quanto contiene molti elementi raccolti dalla dimensione fisica, sociale e interiore del paesaggio (Elerie e Spek, 2010). Esso infatti si configura come ideale base in quanto:

¹⁷Accessibile all'URL: http://cordis.europa.eu/project/rcn/34231_en.html

Antonio Ganga

Tra Conoscenza Locale e Scientifica

Tesi di Dottorato in Pedologia Applicata, Università di Sassari, 2010, XXVIII Ciclo

Place names and physical aspects of place are closely connected and provide unique understanding of patterns of commemoration and cultural heritage. However, toponymic and materialistic research have generally existed in parallel and await coherent integration (Fuchs, 2015)

In questo contesto, l'etnopedologia (Barrera-Bassols e Zinck, 1998) si propone di documentare e aumentare la comprensione degli approcci locali alla percezione del suolo, la classificazione, la valutazione, l'uso e la gestione (Barrera-Bassols e Zinck, 2003). Come dimostrato da studi precedenti (Siderius e de Bakker, 2003; Luo, 2009; Capra et al, 2015), mutuando questo approccio si cerca di comprendere meglio il collegamento tra nomi di luogo (che rappresentano la conoscenza locale) e le risorse del suolo (esplicitato come conoscenza scientifica), il che significa anche migliorare la nostra comprensione delle possibili connessioni esistenti tra conoscenze locali e scientifiche. Da questo punto di vista, un particolare tipo di toponimi collegato alle risorse del suolo, i cosiddetti pedonimi (dal Greco *pedon* che significa "suolo" e *onoma* per "nome"), possono essere particolarmente interessanti in termini di combinazione di tali conoscenze. Nonostante la drammatica perdita di toponimi indigeni che si registra a livello mondiale, in parallelo col declino delle lingue indigene in cui oltre il 50% delle 6700 lingue oggi parlate al mondo a rischio di estinzione (Brozović, 2008), ci sono ancora alcuni luoghi al mondo (pochissimi) dove i toponimi sono riportati, utilizzati e conosciuti ancora nella loro forma originale o pseudo-originale differente. Questo, cosa da non sottovalutare, nonostante il contesto linguistico e culturale risulti spesso parzialmente o completamente mutato. Questi ambiti rappresentano di fatto una grande opportunità per indagare il legame tra le "antiche" conoscenze locali (rappresentate dai toponimi) e le "recenti" conoscenze scientifiche (dati pedologici) sulla risorsa suolo.

La Sardegna è una delle zone più interessanti in questo senso, per varie ragioni storiche, geografiche, e linguistiche. In confronto con altre aree, caratterizzate da lingue neolatine, il patrimonio toponomastico sardo è notevolmente più conservativo. Infatti, mentre la media europea di toponimi di origine pre-romanica è di circa il 2%, in alcune sub-regioni sarde tali toponimi preistorici possono rappresentare più del 50% sul totale dei toponimi (Viridis, 2009). Tali toponimi indigeni rappresentano un esempio della cosiddetta "Sa Limba Sarda", vale a dire, "la lingua sarda", una lingua neo-latina arcaica (Wagner, 1950). Tra le lingue di origine

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

latina, la lingua sarda è considerata la più caratteristica perché meglio conserva tratti e parole dalla lingua madre, compresi i fattori lessicali e fonetici, nonché aspetti morfologici (Wagner, 1950). Rivela anche molte altre influenze (fenicio, catalano, spagnolo e italiano), a testimonianza della ricca storia dell'isola e delle numerose dominazioni a cui la Sardegna è stata sottoposta (Wagner, 1950). Infatti, gli abitanti della Sardegna hanno vissuto l'avvicinarsi di numerosi invasori stranieri (van Dommelen, 1998). In virtù di questa serie di peculiarità, e della tendenza all'inutilizzo sempre più generalizzato, l'UNESCO considera la lingua sarda una lingua in via di estinzione (Salminen, 1993). In uno studio precedente (Capra et al., 2015) i toponimi appartenenti ad una importante sub-regione della Sardegna (Ogliastra, centro-orientale della Sardegna) sono stati studiati al fine di comprendere il significato e la distribuzione in relazione con le caratteristiche qualitative del suolo (pedodiversità) e ambientali (morfologia). In questo caso il patrimonio toponomastico è impiegato con un approccio simile ma cercando di superare le applicazioni precedentemente adoperato attraverso l'uso di differenti strumenti analitici (di natura statistica, prevalentemente).

Se l'etnopedologia vive una fase di riformulazione delle basi epistemologiche, anche nell'ambito della toponomastica si assiste ad una stagione di sostanziali modifiche nell'approccio conoscitivo; esso infatti ha recentemente subito una riformulazione critica (Rose-Redwood et al., 2010) come dimostrato anche dallo sviluppo di una nuova disciplina, chiamato etnofisiografia (Mark e Turk, 2003), che è stata sviluppata con l'obiettivo di comprendere come il paesaggio e i suoi elementi sono concepiti ed espressi attraverso linguaggi che appartengono a culture diverse (Derungs et al., 2011). Grazie a questo nuovo ed innovativo punto di vista, è stato scoperto come di sovente i toponimi siano conati o utilizzati dai popoli o dalle persone come meri "riferimenti geografici" senza alcun specifico significato semantico (Derungs et al., 2011). Tuttavia, altri studi (Levinson 2011) hanno invece evidenziato come alcuni toponimi (specialmente quelli legati al paesaggio) possono caratterizzarsi per componenti semanticamente-significative. In realtà entrambe gli aspetti risultano verosimili, poiché il senso (sia esso semanticamente significativo o puramente utilizzato come riferimento geografico) che viene dato al toponimo risulta fortemente influenzato dal contesto sociale ed antropologico (Coates, 2006).

L'analisi della conoscenza e dei saperi contenuti nel patrimonio toponomastico, è quindi uno strumento importante per l'acquisizione di informazioni spaziali, o spazializzate.

3.3 Materiali e Metodi.

3.3.1 I toponimi della Sardegna. Materializzazione di conoscenza, uso del territorio

In Sardegna i primi testi con riferimento alla toponomastica risalgono ai primi del XVI secolo, con il *Chorographia Sardiniae* di Fara (Gaviano, 2015).

A partire dall'Ottocento, ma soprattutto nella prima metà del secolo successivo gli studi di carattere toponomastico e (in parallelo con quelli di natura etnografica) assumono maggior rigore scientifico. Le prime documentazioni toponomastiche di carattere scientifico si ritrovano nelle voci sui paesi della Sardegna realizzati da Vittorio Angius e pubblicate a partire del 1834 e che trovano forma e sintesi nel *Dizionario Geografico Storico-Statistico-Commerciale degli Stati di S. M. il Re di Sardegna* curato da Goffredo Casalis, in cui vengo avanzate ipotesi etimologiche di numerosi toponimi. Sono citati, a causa della loro fertilità, i suoli della zona di Oristano, noti localmente col termine di *bennaxi* (Aru et al., 1961; Vacca et al., 2015). Originati da depositi alluvionali recenti, granulometricamente fini e talvolta finissimi (sabbie quarzose fini e ghiaie e ciottoli eteromorfi e poligenici), sono particolarmente fertili e adatti per l'uso agricolo:

“si dicono Benagi o Venagi dalle vene apertevi d'acqua sotterranea tutte le terre che il fiume nelle ridondanze suol coprire delle sue acque limacciose (...) è in tal regione che son frequenti i pantani e le paludi, dalle quali si occupa complessivamente tant'area, che potrebbe esser utile a non pochi dove fosse coltivata” (Casalis, 1846).

È tuttavia alla fine dell'Ottocento che si procede con la vera prima sistematica e omogenea ricognizione dei toponimi sulla cartografia riguardante tutto il Paese, attraverso i lavori che hanno portato alla Carta Topografica d'Italia e ai suoi successivi aggiornamenti. La Carta topografica costituisce in assoluto la più grande raccolta di toponimi, anche se è caratterizzata da una quota significativa, specialmente per il caso sardo, di una serie di errori di trascrizione dei termini appartenenti alle lingue locali (Scanu e Podda, 2007). Processo che, durante l'epoca fascista, è diventato una prassi prevista e collaudata nel quadro del processo di "Italianizzazione" voluto dal Partito al potere (David Atkinson, 1995). Gli inizi del secolo successivo vede in Sardegna la prima pubblicazione di studi e ricerche assolutamente

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

significative nel campo della toponomastica. Tra questi, assume rilevanza scientifica il lavoro di ricerca relativo alla toponomastica sarda che si riscontra nei lavori di Giulio Paulis, con il raggiungimento nel 1987, di una tappa fondamentale in questo processo di conoscenza con la pubblicazione di fatto del primo inventario dei toponimi sardi; *I nomi di luogo della Sardegna*, dove sono censiti e raccolti, organizzandoli su base comunale, più di 100.000 toponimi presenti nelle tavolette della carta topografica d'Italia dell'Istituto Geografico Militare (I.G.M., scala 1:25.000) e nei Quadri d'Unione delle mappe catastali e nelle Tavole Censuarie. Tale ponderosa indagine prevede inoltre un glossario etimologico degli termini sardi presenti nella toponomastica sarda; ciò ha costituito parte della base strumentale del lavoro di traduzione della presente ricerca.

E' solo di recente che i nomi di luogo entrano così a far parte di quel campo di attenzioni rivolte da alcuni geografi alle prospettive con cui le relazioni tra uomo e natura nascono e si evolvono all'interno di quei processi noti con il nome di *territorializzazione* (Scanu e Podda, 2007), che sono state oggetto di approfondite disamine da parte di Raffestin (1977, 1986) e Turco (1988, 2000), Tale concetto si riferisce alle modalità secondo cui un gruppo umano si appropria della superficie terrestre e trasforma alcuni elementi naturali in base alle sue specifiche esigenze e in relazione allo stadio di civiltà raggiunto riconoscendo, in questo processo, una precisa sequenza. Delle tre forme di controllo con cui avviene la territorializzazione (Turco, 2002), la prima, di tipo immateriale, prevede l'individuazione, da parte uno specifico gruppo, di quei luoghi che possono essere inquadrati nel novero delle proprie dimensioni esistenziali, quindi dell'abitare e dello sfruttamento delle risorse naturali, attribuendogli di fatto senso e valore, denominandolo e includendolo così nel proprio dominio spaziale e sociale.

È proprio la denominazione che dà luogo al processo di *simbolizzazione*, cioè dell'attribuzione di segni che ne arricchiscono ed evolvono il senso, conducendo ai significati generati dalla cultura (Vallega, 2004). Il toponimo diviene così l'elemento principe della rappresentazione cartografica in quanto testimone di appropriazione culturale del territorio (Scanu e Podda, 2007).

La Sardegna costituisce una realtà ambientale e socio-culturale fortemente connotata da peculiarità identitarie per quanto concerne la lingua e la cultura. L'analisi dei toponimi può essere utile per cogliere la costante costruzione e riconversione dell'identità spazio-temporale e delle relative realtà sociali dalle quali tale identità è stata elaborata (Satta, 2009).

Il patrimonio toponimico sardo, rispetto a quello delle altre regioni d'Italia e di altre aree

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

romanze, è molto più conservativo, cioè sopravvive più a lungo nel tempo anche col mutare delle condizioni linguistiche, storiche e culturali. La Sardegna è infatti ricchissima di toponimi di sicura ascendenza prepunica e prelatina. Per Pittau (2013), l'82,65% dei toponimi sardi sono di origine latina, il 12,08% sono prelatini, il 3,23% italiani, lo 0,84% spagnoli, lo 0,59% catalani, lo 0,57% bizantini.

Il contesto regionale in cui la percentuale di toponimi indigeni risulta essere più alta è la Barbagia di Ollolai, dove arriva a sfiorare una misura del 50% nel comune di Olzai, contro una media europea del 1% o 2% di toponomastica preistorica (Viridis, 2009). La penetrazione romana in questi luoghi, cominciata nel 238 a. C., incontrò notevoli resistenze nell'interno dell'Isola, nel Logudoro ed in particolare nella Barbagia (Capra et al., 2015).

I toponimi più antichi, tramandati attraverso i secoli e quindi quelli che si sono conservati meglio, sono i macrotoponimi. I microtoponimi, cioè i toponimi che fanno riferimento a oggetti geologici minori (per esempio il nome di un monte o di una sorgente), sono in genere recenti e formate da parole del lessico comune di significato trasparente (Paulis, 2009) e facilmente tramandabili perché facilmente memorizzabili. In Sardegna la microtoponomastica si conserva in percentuali elevatissime soprattutto nei territori della Barbagia, che più di altre parti della Sardegna ha perpetuato sino ai nostri giorni l'eredità genetica nuragica e ha conservato maggiormente le peculiarità linguistiche ed etniche (Fraumene et al., 2006, 2003; Pugliatti, 2007).

E' evidente infatti che la continuità dei microtoponimi attraverso i secoli è stata garantita dalla presenza di un gruppo umano che ha conferito il nome ad un luogo e ha continuato a chiamarlo allo stesso modo col passare del tempo, trasmettendolo di generazione in generazione (Paulis, 2009).

Toponimi e storia del territorio sardo

L'immutabilità e la grande conservatività della toponomastica sarda è stata favorita probabilmente dalla gestione comunitaria dello spazio agrario che per secoli ha caratterizzato l'organizzazione della vita economica e sociale dell'Isola. La memoria collettiva dei nomi dei luoghi e la loro trasmissione orale in questo tipo di società fungeva da Catasto (Gaviano, 2015).

Il territorio era basato su unità territoriali minime che avevano nelle comunità rurali, costituite dal villaggio (*bidda*) il perno principali. Attorno prosperavano aree coltivate, appezzamenti recintati o meno di colture arboree ortive (*sartu de bidda*) alternati a incolti e dal bosco

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

dedicato al pascolo nomade (*saltus*).

Ciascun villaggio possedeva superfici in cui si praticava, almeno fino alla seconda metà dell'800, il sistema collettivo della rotazione biennale dell'agricoltura asciutta alternando seminativo e maggese o leguminose (*vidazzone* e *paberile*). Il termine *vidazzone* indica nello specifico quella parte delle terre dedicata alla produzione cerealicola, lasciata a riposo (*a pasiu*) per l'anno successivo e aperta al pascolo del bestiame domestico e pertanto chiamata *paberile* (da *pabulum*, pascolo).

Accanto al *vidazzone* non di rado si estendevano i beni del demanio feudale, delle comunità, delle chiese e dei privati caratterizzata dalla presenza, distribuita con una densità piuttosto bassa, della popolazione di pastori col bestiame allevato allo stato brado nei *saltus* montuosi o comunque marginali (più dal punto di vista produttivo che geografico), posti tutto intorno a formare un'ampia fascia di pascoli permanenti (Mori, 1972).

Tale configurazione spaziale ha conservato la propria trama almeno fino alla seconda metà del XIX secolo, quando nella terra coltivata veniva ancora praticato il sistema collettivo della rotazione biennale dell'agricoltura, alternando seminativo (*vidazzone*) e maggese (*paberile*), al fine di conciliare il perenne rapporto conflittuale tra la coltivazione dei cereali e la pastorizia nomade.

Malgrado i mutamenti socio-politico-economici abbiano alterato orientamenti produttivi, distribuzioni nello spazio delle attività e delle persone, l'originaria suddivisione del territorio è ancora parzialmente riconoscibile in alcuni ambiti territoriali. La zonizzazione in fasce irregolarmente concentriche si è impressa profondamente nelle campagne, che ancora oggi ne conservano tracce risultanti sia sulle carte topografiche che sulle foto aeree.

Molti degli antichi toponimi sono tutt'ora utilizzati (Senes, 1984). *Su saltu* o *su sartu*, per esempio, è un termine che esiste anche oggi ed è d'uso comune soprattutto nei paesi di montagna. Accanto a *sartu* e quasi con lo stesso significato vi è *serra*, che ha soppiantato il primo in molti paesi. Anche *padru* o *pradu* indica pressappoco quello che indicava anticamente: una vasta estensione di terreno, vicina all'abitato, di proprietà comunale (*su padru comunale*), destinata al pascolo e soggetta ad altri usi civici, come legnatico o ghiandatico.

Nelle zone meno interne e in quelle costiere, si è affermata un'organizzazione territoriale differente. Il territorio tipico sulcitano non presenta grossi villaggi rurali compatti ma piuttosto piccoli nuclei (*furriadroxius*) essenzialmente agricoli e dei *medaus* pastorali (allevamento prevalentemente di ovini). Il territorio tipico gallurese è di tipo agro-silvo

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

pastorale, è infatti marcato dalle radure del bosco di querce cui corrispondono uno o più *stazzi*, aziende agricole isolate o contigue di media estensione, circondate da parcelle recintate coltivate a cereali con qualche vigna e con allevamento brado. Il territorio tipico tradizionale della Nurra presenta modeste case elementari, i *cuili*, sparse in grandi aziende a campi aperti e vasti pascoli.

Il secolare sistema di gestione comunitaria delle terre, e quindi l'immutabilità della toponomastica sarda, venne messo in crisi a causa dei provvedimenti di riforma fondiaria dell'amministrazione piemontese a partire dall'Editto delle chiudende (emanato nel 1820 da Vittorio Emanuele I) che diede la facoltà a chi ne avesse i mezzi di recintare con muretti o siepi i terreni pubblici, adibiti agli usi comunitari.

In tal modo si ponevano le basi per una prima diffusione della proprietà privata della terra, fattore principale di un'agricoltura moderna e più produttiva, che causò modificazioni profonde nel territorio agrario di gran parte della Sardegna. Fu appunto in quel periodo che si formarono su vaste estensioni le unità poderali dette *tanca*s, campi chiusi con fitti recinti in muri a secco o a siepi di fichi d'India (il termine *tanca* è generato dall'analogo catalano: *tancat*, «chiuso», da cui proviene).

L'effetto concreto fu che chi aveva i mezzi (aristocratici e grande borghesia) si impossessò di larghe porzioni del territorio, sottraendolo all'utilizzo della popolazione.

La fine del particolare rapporto tra comunità e toponimi venne segnata poi dalla costituzione a metà del XIX secolo del Catasto (Vlam, 1951). Il modo di nominare le terre, infatti, diminuì radicalmente da quando fu introdotto il registro catastale delle terre con una classificazione numerica piuttosto che in nomi.

Così, la conoscenza del patrimonio toponomastico è andata negli anni rapidamente decadendo.

A partire dagli anni sessanta il dilagare delle industrie e la conseguente richiesta di manodopera hanno contribuito all'abbandono delle campagne e allo spopolamento dei centri storici minori, modificando ancora una volta in maniera significativa l'aspetto del territorio. Nell'epoca attuale, l'intensa umanizzazione del territorio ha prodotto anche una progressiva perdita dei toponimi relativi al territorio e in particolare al suolo. Infatti, l'espansione degli insediamenti umani a scapito dei centri rurali, soprattutto a partire dal secondo dopoguerra, ha fatto sì che le persone che conoscevano la campagna e i toponimi che ne denominavano i siti andassero via via scomparendo (Paulis, 2009).

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Toponimi legati alla risorsa suolo (pedonimi)

Come riportato da Siderius e de Bakker (2003), l'approccio etnopedologico può aiutare a comprendere la connessione esistente tra i nomi di luogo e la risorsa suolo.

Nonostante la crescente perdita di toponimi che si registra in Italia, in Sardegna sono ancora tantissimi i toponimi legati al territorio e in particolare alle proprietà e caratteristiche della risorsa suolo. Questi particolari toponimi possono essere classificati come *pedonimi*.

Per secoli i nomi di luogo sono stati utilizzati per identificare terreni ed appezzamenti e la maggior parte di questi nomi si rinviene sulle vecchie e nuove carte topografiche (Vlam, 1948).

La denominazione delle terre era in alcuni casi simile a quella del bestiame. Il contadino conosceva con grande precisione i suoi appezzamenti proprio come l'allevatore conosceva i propri capi di bestiame (Siderius e Bakker, 2003).

La toponomastica che più direttamente esprime il livello percettivo è quella che nasce dalla visione del territorio del percettore nel suo rapporto d'uso, come contadino o pastore, con il suolo (Turri, 1980). Ecco che, ad esempio, il toponimo *terra bona*, molto frequente in tutta la Sardegna, è stato coniato dalla "percezione funzionale" degli agricoltori o dei pastori per identificare dei suoli particolarmente fertili oppure adatti al pascolo (Gaviano, 2015).

Anche l'ubicazione degli insediamenti umani è stata da sempre legata alla fertilità dei suoli. Fatte salve le esigenze fondamentali di difesa e di approvvigionamento idrico, in origine gli insediamenti sono sempre stati realizzati in prossimità di aree particolarmente fertili. Concetto che non era estraneo alle popolazioni nuragiche e prenuragiche, che determinarono i loro insediamenti sulla base di tre criteri fondamentali: la difendibilità, la presenza d'acqua, la presenza di suoli fertili e ad alta suscettività per i pascoli (Vacca et al., 1998).

La toponimia sarda descrive minuziosamente la pedologia, connessa con le attività agropastorali, per le esigenze del popolo di contadini e di pastori. A titolo esemplificativo si possono citare alcuni dei toponimi con cui gli agricoltori identificavano la qualità del suolo (Tetti, 2001): *luzzana*, *alvinu*, *alvinattu*, *terra manna*, *terra seu*, *terra padedda*, *lassinzu*, *(a)rena*, *(a)renzarzu*, *(a)renozu* etc. riferiti all' "impasto"; *abbàdiga*, *ludu*, *ludosa-u*, *ludràu*, *ludrinzu*, *iscra*, *tònchinu*, etc. in riferimento alla permeabilità o umidità; *aspru*, *meuddinu*, *tèneru*, *tinzosu*, *pabeddosu*, *avrìnu*, *àvrinu*, etc. in riferimento alla produttività e salubrità; *calda*, *primadìa-u*, *soliana-u*, *umbrinu*, *umbrosa-u*. *cul'a sole*, *pal'a sole*, *(b)entosa-u*, in riferimento all'esposizione e al microclima.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Alcuni toponimi sardi che fanno riferimento al suolo si ritrovano anche nel patrimonio toponimico del resto d'Italia. Per esempio, il toponimo sardo *isca* o *iscra* si ritrova anche in diversi ambienti di fondovalle del territorio italiano (con i suoi derivati *ischia* o *ischitella*) per identificare terreni coltivati e/o alberati, posti spesso nei tratti prossimi all'alveo fluviale oppure terreni paludosi situati tra due meandri (Arena, 2004).

Un altro termine, presente in molte lingue, legato alla fertilità dei suoli, o spesso più approssimativamente alle condizioni ambientali generali è *bad lands*, che ha il suo corrispondente nel toponimo sardo *terra mala* (Gaviano, 2015).

Anche la geologia (indirettamente collegata alla pedologia) presenta tantissimi toponimi legati alle rocce e ai terreni rocciosi (Tetti, 2001): *pedra*, *crastu*, *code*, *codina*, *corona*, *rocca*, *sassu* etc. e i derivati *pedraja*, *pedredu*, *pedrosa-u*, *pedrighina*, *pedrighinosa-u*, *codinattu*, *codinalzu*, *corongiu*, *crastialzu*, *marralzu*, *roccalzu*, *roccarìa*, *roccarja-u*, *roccaglia.u*, *sassedu* etc. In genere il toponimo in questione prevede che il termine che descrive il tipo di roccia venga accompagnato da termini caratterizzanti con esplicito riferimento a qualità differenti come il colore, le dimensioni, la forma o posizione, la consistenza. Sono paradigmatici termini quali *ruja* (rossa) per la trachite, *alva*, *alba* (bianca) per il calcare, *niedda* (nera) per il basalto; *alta*, *manna* (grande); *longa*, *lada* (piatta); *fitta* (conficcata); *lobada* (accoppiata).

3.3.2 Area di studio

L'area di studio si presenta coerente con la trattazione complessiva¹⁸; ai fini della ricerca specifica questa area risulta essere particolarmente paradigmatica, in quanto, come precedentemente accennato, è il risultato di complesse interazioni tra uomo ed ambiente. In termini generali, si può affermare che il territorio sardo risulti assai complesso ed articolato; volendo tuttavia generalizzare, tre paesaggi principali caratterizzano fortemente l'isola (van Dommelen, 1998): le colline e le montagne (che rappresentano l'86% del territorio); le pianure (generalmente di dimensioni limitate); le zone costiere di pianura. A causa della loro posizione particolare, le zone costiere basse costituiscono una zona critica che permette all'interno dell'isola di comunicare con altre parti del Mediterraneo, e Braudel (1972) le concettualizza geograficamente come "finestre" di incomparabile valore socio-culturale ed ambientale. Una delle "finestre braudeliane della Sardegna" (van Dommelen, 1998) è

¹⁸Si rimanda alla parte generale sull'inquadramento.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

indubbiamente rappresentato dal Golfo di Oristano (Sardegna centro-occidentale), che è comunque geomorfologicamente definita in maniera tale che anche gli altri due grandi paesaggi della Sardegna siano ben rappresentati. Per tutte queste ragioni e grazie alla sua storia, al patrimonio culturale, alle caratteristiche ambientali, agli usi agronomici, ed alle condizioni del paesaggio questa zona rappresenta un caso di studio paradigmatico della Sardegna. Nel complesso, l'intero territorio è stato storicamente modellato dalla forte interazione tra i domini propri dell'"acqua" in contrapposizione ai "luoghi della terra". I primi consistono in quanto segue: i) le zone umide, prevalentemente localizzate lungo la parte centro-settentrionale e rappresentanti, per estensione, il 50% delle zone umide della Sardegna (Regione Autonoma della Sardegna, 2007a); ii) gli ecosistemi fluviali (aree centro-settentrionali), localizzati lungo il limite meridionale della piana del Campidano (la più estesa area di pianura della Sardegna), e rappresentati dagli ecosistemi a delta fluviale del più importante fiume della Sardegna (il Tirso) e da altri due fiumi provenienti da NW (Riu Mannu e Riu Mògoro). Questi ultimi, tramite i loro tributari, drenano le aree collinari e montuose delle sub-regioni circostanti. I "luoghi della terra" consistono invece di quanto segue: i) aree interessate da massicci interventi di bonifica e in genere dalla presenza di opere idrauliche; ii) attività agricole intensive; e iii) aree urbane ed industriali.

3.3.3 Il dataset toponomastico.

Al fine di poter effettuare un confronto efficace tra il patrimonio toponomastico e il corpus delle conoscenze scientifiche, si è reso necessario "materializzare" i toponimi. È assunta quindi l'esigenza di associare a ciascun nome di luogo una posizione nello spazio, definita da (almeno) una coppia di coordinate che ne consenta la localizzazione in maniera univoca. Il primo passo è dunque consistito nella fase di raccolta e archiviazione iniziale basato in prima istanza sull'acquisizione delle collezioni toponimiche e della loro armonizzazione (Gaviano, 2015). La fonte di dati principale, che ha fornito anche i presupposti operativi per la definizione della struttura finale dei dati, è costituita dal database toponomastico della Regione Autonoma della Sardegna (RAS). Il Portale Regionale ad esso dedicato¹⁹ è composto da un archivio di toponimi derivati prevalentemente dal patrimonio cartografico regionale e nazionale²⁰. A questa prima banca dati se ne sono aggiunti ulteriori, rilevati tramite ricerche

¹⁹Accessibile all'URL <http://www.sardegnageoportale.it/strumenti/ricercatoponimi.html>

²⁰Sono state impiegate: "la Carta tecnica regionale alla scala 1:10.000 (CTR10k); le carte IGM alle scale 25.000, 50.000

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

negli archivi storici pubblici, in alcuni casi validati da interviste informali realizzate con la collaborazione di residenti e proprietari dell'area di studio (Gaviano, 2015). Nel complesso, sono state realizzate più di cento interviste. Agli intervistati, dopo una breve spiegazione della ricerca in corso, sono state poste seguenti tre semplici domande;

- Quale/i era/erano i toponimo/i utilizzati dall'intervistato per indicare un'area specifica;
- Se fossero a conoscenza circa il reale/ originale significato del toponimo utilizzato;
- Se conoscessero qualche altro toponimo in alternativa a quello utilizzato per indicare la stessa area.

Alla fase di archiviazione è seguita quella di riorganizzazione logica attraverso la costruzione di un dataset che potesse diventare la base delle elaborazioni statistiche successive. La struttura iniziale del dataset prevede dunque che a ciascun toponimo vengano associate informazioni codificate in un record comprendente le seguenti informazioni:

- Codice numerico identificativo, di natura univoca, per ciascun toponimo;
- Nome, così come individuato nella cartografia di riferimento;
- Il comune in cui ricade il toponimo.
- Coordinate geografiche rappresentate secondo il sistema di riferimento UTM WGS84;
- Traduzione nella lingua italiana del toponimo, con indicazione della fonte bibliografica impiegata a supporto della traduzione. Per ciascuna di essa sono indicati gli autori, il testo e l'anno di pubblicazione;
- Categoria di significato prevalente.

3.3.4 Categorizzazione.

Si è proceduto ad un processo di traduzione e categorizzazione complesso e articolato basato sui più importanti testi e glossari di etimologia del lessico sardo e di toponomastica, scritti dai principali studiosi di linguistica sarda (Wagner, 1964; Miglior, 1987; Paulis, 1987; Pittau, 2013). Successivamente, tutti i toponimi con un significato prevalente simile sono stati raggruppati in sei principali categorie di riferimento.

Categoria suolo (S): è rappresentato da tutti i toponimi con significato collegato alle risorse del suolo. Comprende pertanto i toponimi il cui significato riflette chiaramente alcune

e 100.000; le carte Touringclub Italia ed il DBPrior10k. Nello specifico, la CTR fornisce i toponimi di dettaglio, mentre il Touringclub Italia i toponimi delle macroregioni (Campidano, Gallura ecc.) non presenti alle scale maggiori" (<http://www.sardegnaoportale.it/strumenti/ricercatoponimi.html>).

Antonio Ganga

Tra Conoscenza Locale e Scientifica

Tesi di Dottorato in Pedologia Applicata, Università di Sassari, 2010, XXVIII Ciclo

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

caratteristiche della risorsa suolo, come la tessitura, la fertilità, il colore, la permeabilità, oltre che manifestano legami con le caratteristiche pedo-morfologiche del territorio.

Copertura del suolo / uso del suolo (SU): rappresenta tutti i toponimi che descrivono una connessione con la copertura del suolo, la vegetazione, e usi del suolo.

Categoria morfologia (M): raggruppa tutti toponimi che descrivono una caratteristica morfologica del territorio. Ricadono in questa categoria toponimi con significato relativo ad elementi morfologici, come monti, fiumi e altre forme del territorio.

Categoria geologia (G) raccoglie tutti i toponimi con un collegamento diretto con gli aspetti geologici.

Categoria vegetazione (V) comprende tutti i toponimi con un significato chiaramente collegato alla vegetazione o alcune specie vegetali specifiche.

Categoria fauna (F) rappresenta tutti toponimi con significato riferito ad una specie animale o a una sua parte anatomica e aspetto peculiare.

Dal momento che molti altri toponimi non appartengono a nessuna di queste categorie, sono stati semplicemente identificati come appartenenti ad altri toponimi in lingua sarda non altrimenti classificati (ATLS, altri toponimi in lingua sarda) o come toponimi in lingua italiana (TLI). Toponimi che sono ancora di significato sconosciuto o incerto sono stati classificati come "intraducibili" (TI).

Per quanto concerne i toponimi legati specificatamente al suolo, si è proceduto ad un ulteriore classificazione. Si è ottenuto così un ulteriore dataset, necessario alle elaborazioni statistiche. I pedonimi individuati sono così stati classificati tra le seguenti categorie e sottocategorie (tra parentesi):

- Tessitura (ghiaiosa, sabbiosa, argillosa)

Tessitura e colore (argille rosse)

Fertilità (alta o bassa)

Salinità (alta)

Gestione (coltivazione o pascolo)

Permeabilità (bassa)

I due dataset realizzati hanno costituito la base dati relativa alla conoscenza locale acquisita.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Comuni	Toponimi in lingua sarda								Toponimi in italiano	Toponimi per Comune	Area (km ²)
	Categorie Ambientali						Altri				
	S ^a	SL ^b	M ^c	G ^d	V ^e	F ^f	ATLS ^g	TI			
Arborea	16	1	9	3	4	0	30	8	309	380	93,5
Arbus	40	53	343	14	52	12	319	57	301	1191	269,3
Cabras	35	11	52	3	25	12	127	32	97	394	101,8
Cuglieri	6	14	67	6	29	7	201	30	68	428	120,9
Guspini	28	29	139	4	28	8	133	31	351	751	174,7
Marrubiu	7	3	30	1	11	8	37	11	102	210	61,4
Narbolia	4	2	24	3	10	5	43	8	24	123	40,5
Nurachi	15	3	10	1	1	4	15	9	17	75	16,0
Oristano	25	31	19	3	11	2	41	20	293	445	85,7
Palmas Arborea	7	5	27	0	7	2	28	4	61	141	39,1
Riola Sardo	19	6	25	2	11	4	34	17	26	144	48,2
San Vero Milis	24	15	34	5	7	1	53	13	53	205	72,6
Santa Giusta	19	14	34	3	9	0	22	12	111	224	69,1
Terralba	25	1	24	1	7	1	11	3	73	146	40,3
Toponimi per categoria	270	188	837	49	212	66	1094	255	1886	4857	1233,0

Tabella 4. ^aS = Suolo, ^bSL = Copertura/Usò del suolo, ^cM = Morfologia, ^dG = Geologia, ^eV = Vegetazione, ^fF = Fauna, ^gOTSL = Altri toponimi in lingua sarda, ^hTI = Toponimi intraducibili, ⁱATI = Altri toponimi in italiano.

Parametri fisici e chimici del suolo.

I dati relativi ai parametri fisico-chimici del suolo sono quelli acquisiti con l'attività di campionamento e analisi precedentemente descritta²¹. Come già indicato, il prelievo è stato fatto basandosi su uno schema di campionamento su griglia regolare (1,6 km × 1,6 km). Su tale schema è stato effettuato il campionamento degli orizzonti di superficie (A o A_p). Nello specifico, le analisi effettuate hanno riguardato:

- Densità apparente;
- Frazioni granulometriche;
- pH;
- Conducibilità Elettrica;

²¹Si veda la parte 1.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

- Carbonati totali;
- Carbonio organico;
- N totale;
- P totale;
- Capacità di scambio cationico,
- Ni, Zn, Cu, Pb, Cd, As, Al, Fe, Mn.

Tutte le analisi sono state eseguite sul campione setacciato a 2 mm, previo essiccamento, in coerenza con le procedure ufficiali italiane (Colombo e Miano, 2015) e in conformità con gli standard internazionali.

A completamento dei parametri elencati, sono stati calcolati ulteriori parametri morfologici.

A partire dal Modello Digitale del Terreno²², con passo a 10m, per ogni subarea sono stati calcolati l'elevazione media, espressa in metri sul livello del mare, e la pendenza media, espresso in gradi. La Mappa della pendenza è stata creata utilizzando Arcgis Software (ESRI, 2012), versione 10.1, integrato con l'estensione *Spatial Analyst*.

Tutti i dati così raccolti sono stati strutturati in un geodatabase. Tutti i dati raccolti dalla categorizzazione dei toponimi, così come tutte le elaborazioni cartografiche e dei parametri fisico-chimici, sono stati gestiti utilizzando il database compilato accoppiato con un sistema di informazione geografica (GIS). Al fine di venire incontro all'esigenza prioritaria di dover trattare in maniera adeguata dati spaziali, il database è stato ridotto secondo standard tali da renderlo convertibile in dato geografico graficamente rappresentabile e utilizzabile per elaborazioni spaziali tramite l'impiego di un qualsiasi software GIS. Per una maggiore semplicità d'uso, si è scelto pertanto di convertire i dataset dei toponimi anche in formato ESRI shapefile. Il formato shapefile, benché proprietario, è ancora oggi considerato uno dei formati standard di scambio per le informazioni di tipo vettoriale nel contesto dei software GIS. Il database è stato implementato con l'aggiunta della carta dei suoli della sub-regione indagata per effettuare il confronto tra la conoscenza del suolo locale (deducibili dal significato dei toponimi) e le informazioni scientifiche fornite dalla mappa dei suoli e dai parametri fisico-chimici.

Per realizzare un'analisi statistica più affidabile si è proceduto con la suddivisione dell'area di studio in un numero soddisfacente di sotto-zone. In questo modo è possibile ricorrere a strumenti statistici multivariati. I set di dati toponomastici ed i parametri fisico-chimici

²²Ottenuto per mosaicatura dei dati accessibili all'URL:

<http://www.sardegnaegeoportale.it/index.php?xsl=1598&s=161741&v=2&c=8936&t=1>

Antonio Ganga

Tra Conoscenza Locale e Scientifica

Tesi di Dottorato in Pedologia Applicata, Università di Sassari, 2010, XXVIII Ciclo

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

spazialmente definiti e organizzati nel database sono stati accorpati su base spaziale secondo aggregazioni definite e differenti da quella amministrativa che si è valutata nel nostro caso inadeguata poiché non garantiva una distribuzione corretta dei dati e del numero di osservazioni (record nel database).

La nuova suddivisione è stata invece strutturata in sub-aree il più possibile omogenee ed identificate a partire dalle seguenti caratteristiche:

- Essere sufficientemente numerose; infatti grazie a preliminari analisi statistiche (qui non riportate per ragioni di sintesi) abbiamo rilevato la necessità di ricorrere ad un numero di aree (quelle che poi andranno a costituire i “site score” dell'analisi CCA), non inferiori a 25 o comunque non meno numerose delle possibili variabili delle elaborazioni statistiche (rappresentate dai parametri fisico-chimici), e in numero non superiore a quello dei campioni di suolo (114);
- Essere il più possibile omogenee sotto il profilo ambientale. Per questo motivo, si è cercato di creare sotto-aree omogenee principalmente dal punto di vista pedologico, geomorfologico e di uso del suolo, ricorrendo a *overlay* con gli strati informativi disponibili riferiti alle caratteristiche ambientali indicate.

Il processo di identificazione è stato svolto in una prima fase con la suddivisione dell'intero spazio di osservazione attraverso un sistema composto da griglie realizzate a partire da differenti passi (le prove sono state eseguite a partire da griglie a passo = 4 km) creando quindi i confini delle sub-aree sulla base delle informazioni ambientali acquisite attraverso operazioni parzialmente automatizzate di *overlay*, che hanno subito un processo di validazione. La totalità di queste operazioni è stata realizzata attraverso l'impiego di software GIS (ESRI ArcMap 10.1, 2012).

In conclusione di questa fase l'area di studio è stata suddivisa in 30 sub-aree (fig. 1); la superficie totale è di 503,90 km², con le caratteristiche dimensionali principali descritte dalla seguente tabella:

N. di sub - aree	30
Superficie minima (km²)	9.5
Superficie massima(km²)	33.3
Superficie media (km²)	16.5
Superficie totale (km²)	503.9
Deviazione standard	5.99

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

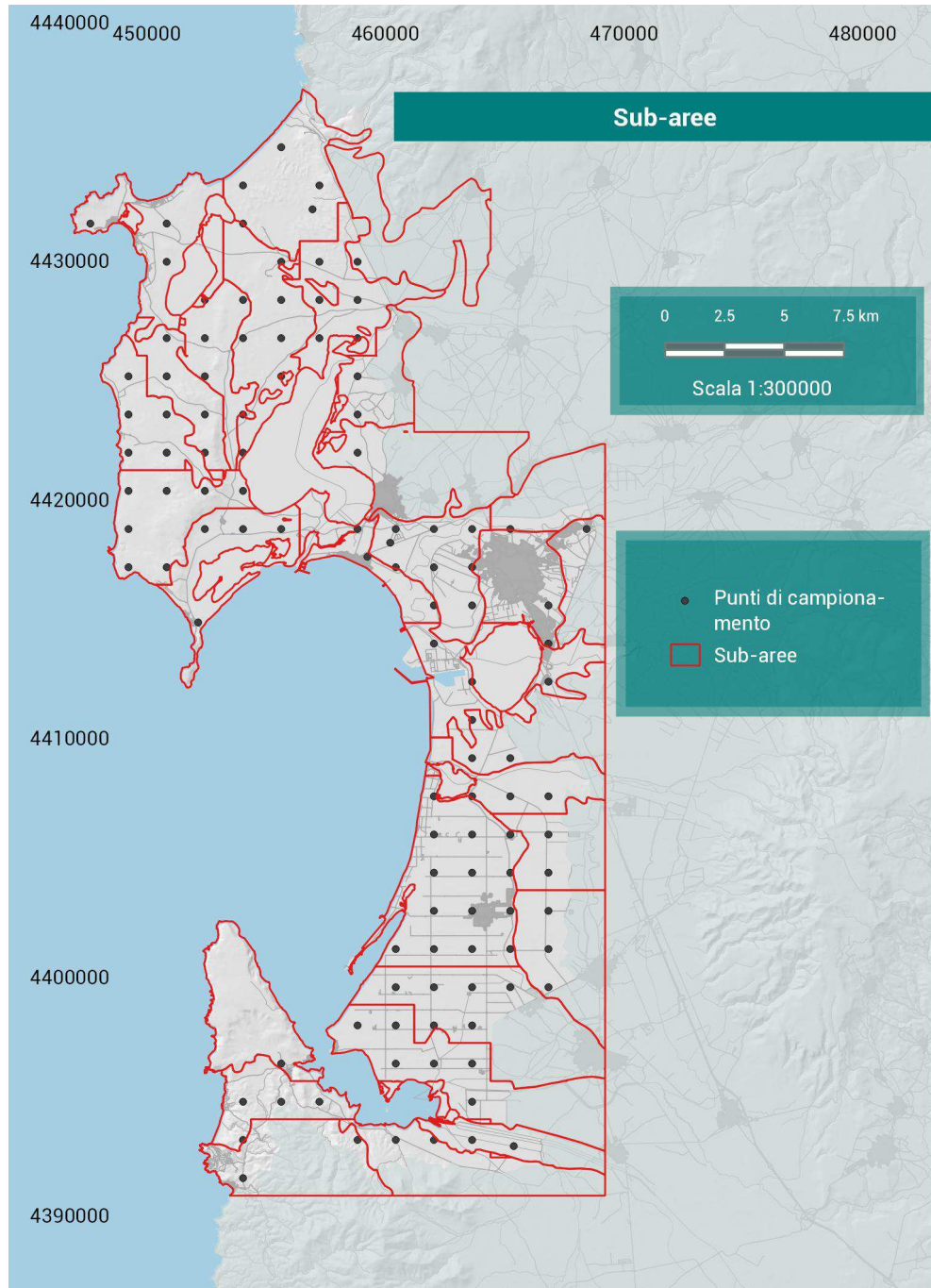


Fig. 38 - Suddivisione in Sub-aree.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

3.3.4 Strumenti di analisi statistica

Al fine di effettuare un ulteriore confronto tra conoscenze locali (deducibile dal significato dei toponimi) e quelle scientifiche (emerse dallo studio dei parametri fisico-chimici), sono stati impiegati strumenti di analisi statistica multivariata. Tali elaborazioni sono state condotte utilizzando il programma software R (R Development Core Team, 2015), secondo un approccio generale descritto di seguito.

Trasformazione dei dati

Poiché alcuni dei dati (come la tessitura) trattati durante l'analisi sono di natura compositiva (dati in cui la somma delle variabili è pari ad 1 o ad un valore prefissato per tutti i campioni), si è reso necessario procedere alla valutazione di uno strumento statistico adatto alla loro corretta trasformazione. In questo caso, si è scelto l'approccio di Aitchison (1981, 1982), portato avanti sull'assunto che uno spazio campionario possiede una geometria naturale, con regole coerenti con il concetto intuitivo di differenza associata al particolare tipo di dato che in essa si trova. Si consideri, ad esempio (Buccianti, 2009) la differenza tra il 5 e il 10% e tra il 45 e il 50%. La differenza in uno spazio euclideo è la stessa, e come tale viene considerata; nel semplice, invece, la variazione relativa dal 5 al 10% è associata ad un raddoppio mentre quella necessaria per passare dal 45 al 50% è relativa ad un incremento di 0.9 (Buccianti, 2009). Se la statistica è una disciplina mediante la quale dare un senso alla variabilità dei dati (basta pensare che già il calcolo della varianza è legato al concetto di differenza), la scala naturale in cui i dati presentano i loro valori non può non essere considerata in modo consona (Aitchison et al., 2000). Tale metodo (Aitchison 1981) quindi, si basa sull'uso di Log-rapporti tra i componenti della composizione. In tal modo, si presume che l'importanza nei dati risiede nella variazione relativa piuttosto che nel valore assoluto. Tra le diverse modalità (Aitchinson 1986, Egozcue, 2003), si è scelto di utilizzare la trasformazione basata sul Rapporto Log-Centrato (*centred log ratio transform*, Aitchinson, 1986). Per una composizione di D - parti $x = (x_1, \dots, x_D)$:

$$clr(x) = \left(\ln \frac{x_1}{g}, \dots, \ln \frac{x_D}{g} \right)$$

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

con media geometrica definita come segue:

$$g = \sqrt[D]{\prod_{i=1}^D x_i}$$

L'analisi delle corrispondenze canoniche (CCA)

Al fine di descrivere, esprimere e rappresentare nella maniera più "robusta" possibile le relazioni tra i dati a disposizione, ci si è avvalsi di strumenti di statistica multivariati.

Al fine di produrre un confronto statistico adeguato, si è proceduto con la prova di un set di strumenti statistici, cercando di individuare quello più efficace. In definitiva, l'analisi delle corrispondenze canoniche (CCA) è lo strumento che si è rivelato maggiormente adeguato. Infatti, la CCA rappresenta uno degli strumenti statistici più affidabili per confrontare diversi insiemi di variabili (Sherry e Henson, 2005).

La CCA è il metodo che estrae le migliori tendenze da dati di campo sulle comunità biologiche e caratteristiche ambientali (Liang, 2015). Producendo una combinazione lineare di variabili (prevalentemente ambientali) ha la tendenza a massimizzare la differenza tra caratteristiche di "specie" (Klami et al., 2013). La chiarezza con cui aiuta a definire il rapporto tra le specie e le loro variabili ambientali, ha fatto sì che venisse ampiamente utilizzato nella valutazione della qualità biologica degli ecosistemi (Ter Braak, 1987); è stato quindi ampiamente utilizzato dagli ecologisti per studiare come le diverse specie rispondono ai cambiamenti delle condizioni ambientali (Zhu et al., 2005). Questa tecnica è stata applicata in molti studi ecologici che coinvolgono relazioni vegetazione-ambiente (Hejcmanova Nezerkova e Hejcman, 2006), gli ecosistemi acquatici (Nasrollahzadeh et al, 2008) e l'ecologia forestale (Hamberg et al, 2009; Malik e Husain, 2006; Pyke et al, 2001), ma tuttavia, ad oggi, pochi studi hanno applicato questa analisi per le relazioni tra le proprietà del suolo e della vegetazione e/o dell'ambiente (Bagheri, 2011). È considerata una generalizzazione della regressione multipla, che permette di ridurre a un numero limitato di parametri l'analisi delle interdipendenze tra due insiemi di variabili. Nel caso dell'Analisi delle Corrispondenze Canoniche la matrice dei dati può essere vista come l'insieme delle n osservazioni relative a due sottoinsiemi composti rispettivamente da p e da q variabili, con $p \leq q$. In altre parole, la i-esima osservazione può essere rappresentata da due vettori riga x ed y

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

(Scardi, 2009)

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ip} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} y_{i1} & y_{i2} & \cdots & y_{iq} \end{pmatrix}$$

in cui \mathbf{x} sono le misure del sottoinsieme di variabili meno numeroso e \mathbf{y} le rimanenti. La matrice di covarianza \mathbf{S} di rango $p+q$ dell'insieme completo dei dati sarà quindi ripartibile in blocchi:

$$\mathbf{S} = \frac{1}{n} \begin{pmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{y} \end{pmatrix} (\mathbf{x}' \quad \mathbf{y}') = \begin{pmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} \end{pmatrix}$$

In particolare, \mathbf{S}_{11} è la matrice di rango p di covarianza delle variabili del sottoinsieme \mathbf{x} , così come \mathbf{S}_{22} di rango q lo è del sottoinsieme \mathbf{y} . La \mathbf{S}_{12} è una matrice $p \times q$ che contiene le covarianze fra i due sottoinsiemi di variabili. Poiché \mathbf{S} è una matrice simmetrica, \mathbf{S}_{21} è la trasposta di \mathbf{S}_{12} .

Lo scopo dell'Analisi delle Correlazioni Canoniche è trovare, partendo dalla matrice \mathbf{S} , le p combinazioni lineari delle variabili \mathbf{x} e le p combinazioni lineari delle variabili \mathbf{y} (Scardi, 2009)

$$u_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \cdots + a_{ip}x_p$$

$$v_i = b_{i1}y_1 + b_{i2}y_2 + \cdots + b_{iq}y_q \quad i = 1, 2, \dots, p$$

tali da soddisfare le seguenti condizioni:

- 1) tutte le u_i devono essere indipendenti fra loro;
- 2) tutte le v_i devono essere indipendenti fra loro;
- 3) le p coppie di combinazioni lineari devono essere tali da rendere massime le p correlazioni r_i fra le u_i e le v_i .

Le variabili u e v sono perciò dette variabili canoniche e le loro correlazioni r sono dette correlazioni canoniche (Scardi, 2009).

In questa ricerca, è utile per classificare le componenti ambientali sulla base della loro importanza per le comunità umane, stimandola attraverso la correlazione con il patrimonio toponomastico locale.

Nel nostro caso specifico nell'elaborazione della CCA, sono stati utilizzati due

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

principali matrici di dati. La prima è organizzata con le righe contenenti le sub-aree e le colonne le categorie dei toponimi ambientali. Queste categorie sono coerenti con le sei principali categorie sopra riportate, con l'aggiunta, per motivi legati alle esigenze di significatività e di omogeneità statistica e distribuzione spaziale, di una ulteriore categoria chiamata biomorfologia (indicato come B) che rappresenta i toponimi che indicano un chiaro riferimento sia alla morfologia che alla fauna. La seconda matrice contiene le stesse righe, ma le colonne sono associate ai parametri fisico-chimici, morfologici e del suolo (pedonimi). Entrambe le matrici sono state suddivise in diversi sotto-matrici per eseguire diversi confronti tra conoscenze locali e scientifiche e, infine, individuare l'elaborazione adatta da un punto di vista statistico.

Nel caso specifico la prima matrice è organizzata in modo tale da far coincidere a ciascuna riga una sub area e alle colonne le categorie di toponimi; la seconda matrice contiene le stesse righe, ma le colonne sono associate alle variabili, generalmente meno numerose delle righe della matrice (Scardi, 2009). In questo caso le variabili sono i parametri fisico-chimici.

Il modello di ricerca sviluppato prevede una serie di elaborazioni in diversi passaggi. In ogni passaggio, il dataset dei toponimi generale e il dataset dei pedonimi sono combinati con 5 matrici composte da diversi parametri ambientali.

Nel dettaglio le matrici dei parametri sono:

- Una matrice con la totalità dei parametri fisici.
- Una matrice con la totalità dei parametri chimici.
- Una matrice contenente i parametri fisici e chimici, ad eccezione dei valori di concentrazione dei metalli.
- Una matrice composta dal valore di concentrazione dei metalli.
- Una matrice generale con i parametri totali fisico-chimici compresi i metalli.

3.4 Risultati/Discussione

3.4.1. Natura e dinamiche del patrimonio toponimico sardo

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di oltre 4800 toponimi (Tabella 1), con un rapporto quindi di 4 toponimi/km². Questi dati rappresentano una densità molto bassa, esattamente la metà, rispetto ai valori riportati da Dedola (2012) per l'intero territorio sardo (8 toponimi/km²). Dei 4857 toponimi studiati, il 61% sono in lingua sarda, mentre il 39% sono in lingua italiana (IL). Questo punto è molto interessante soprattutto se confrontato con le densità riportate per altre sub-regioni sarde caratterizzate da una capacità più conservativa dei toponimi di origine indigena (79%), come nel caso della sub-regione dell'Ogliastra. Quest'ultima, grazie a peculiari condizioni morfologiche e vicissitudini storiche (Capra et al., 2015), è stata influenzata dalle attività umane in maniera meno decisiva rispetto ad altri contesti sardi, ivi compreso quello oggetto della presente ricerca. Il Golfo di Oristano, differentemente dall'Ogliastra, è stata infatti storicamente influenzato da numerose ed intense attività umane, così come da diverse ondate di invasione straniera che ne hanno rimodellato il patrimonio toponimico, oltre che storico, sociale ed ambientale. Tali eventi possono essere identificati come tra i principali motivi della perdita e "corruzione" di toponimi indigeni, nonché di fenomeni di nuova coniazione e, in alcuni casi, dell'intraducibilità degli stessi. Di seguito si approfondiranno tali tre distinti aspetti.

Perdita e corruzione dei toponimi

Tra i processi di evoluzione del patrimonio toponomastico la "perdita del toponimo" rappresenta una diretta conseguenza di una serie di fenomeni combinati, direttamente o indirettamente associati, che sono responsabili di una vera e propria "erosione" dell'enorme patrimonio culturale locale. L'indagine condotta sul territorio ha dimostrato che, in un processo lungo diversi decenni (e il materiale cartografico consultato supporta questo punto di vista) una quota di toponimi sono stati persi a causa dei seguenti fenomeni (che possono agire come forze singole o associate):

- una radicale "riconfigurazione spaziale" della zona a causa di cambiamenti antropici

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

nelle caratteristiche ambientali;

- un processo di "abbandono" come conseguenza del fatto che, per decenni, molti toponimi possono cadere in disuso a causa di mutate condizioni sociali, economiche ed ambientali.

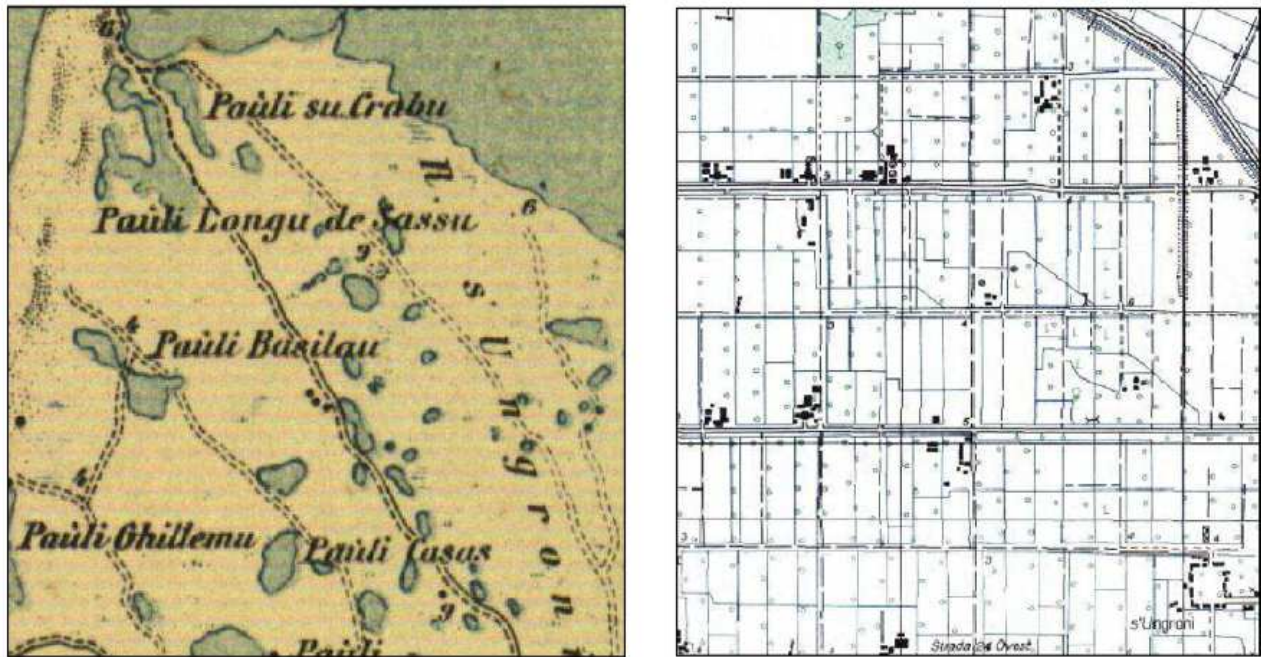


Fig. 39 – Estratti cartografici della Piana di Arborea risalenti a prima e dopo le bonifiche.

La Fig. 39 presenta il confronto tra due rappresentazioni cartografiche della stessa area in due differenti momenti storici, dove appare chiaro che molti toponimi presenti nell'estratto di sinistra (primi del 1900) sono scomparsi in quella di destra, più recente. Questi fenomeni rappresentano la diretta conseguenza delle opere massicce ed estese di bonifica idraulica (per una superficie che interessò oltre 20.000 ha) realizzati durante l'inizio del XX secolo, al fine di recuperare nuove terre per l'agricoltura. La carta più antica mostra le condizioni della zona più di 100 anni fa, riportando sei diversi toponimi tutti associati alla stessa parola tipica sarda, cioè, *Pauli*, che significa palude (Paulis, 1987). Dopo la bonifica e la realizzazione di opere idrauliche (Figura a destra), tali toponimi sono stati completamente persi a causa delle mutate condizioni ambientali. Altri esempi, su scala differente, riguardano, ad esempio, il comune di Cabras, che, nelle mappe della fine del XIX secolo, è stata caratterizzato da diversi toponimi riportanti il termine sardo *Su Livariu* (*l'oliveto*), immediatamente definendo l'uso di quelle aree, evidentemente destinate alla coltivazione dell'ulivo (*Olea europea* L.). Infatti, durante il XIX secolo, la coltivazione dell'ulivo era così fiorente che nel 1836 vennero censiti più di 40.000 alberi (Gaviano, 2015). Dopo questo periodo, a causa delle mutate condizioni sociali

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

ed economiche, la coltivazione degli ulivi venne abbandonata o ridotta drasticamente a favore di un'economia più orientata verso nuove e differenti attività produttive (come la pesca). Di conseguenza, buona parte dei toponimi che indicavano tale uso del suolo caddero in disuso, e di conseguenza anche la loro trascrizione nella cartografia venne (spesso drasticamente) interrotta. Nel complesso, i casi citati dimostrano chiaramente come una "riconfigurazione spaziale" estesa possa indurre un processo di "perdita di toponimi" a causa delle mutate condizioni ambientali o socio-economiche. Un altro processo interessante, che è stato spesso osservato durante l'indagine sui toponimi, è relativo a specifici errori umani commessi durante le diverse fasi del processo di produzione cartografica. Nel complesso, tali errori umani sono responsabili della presenza dei cosiddetti "toponimi corrotti", cioè, toponimi il cui significato originale è stato cambiato a causa di errori accidentali o volontari durante la trascrizione da una mappa all'altra (Scanu e Podda 2007). Errori accidentali possono diventare in realtà "sistemiche" a causa della non semplice (e per certi versi ancora oscura) grammatica e/o pronuncia della lingua sarda; in effetti il processo di produzione cartografica, in particolare nella fase di rilievo, può spesso essere responsabile di tali fenomeni di corruzione. Tutto ciò al netto delle trasfigurazioni dei toponimi prodotte come conseguenza diretta del processo di imposizione, da parte dei dominatori, della propria lingua. Durante le indagini, è stato infatti accertato che nell'area di studio, almeno il 10% dei toponimi in lingua sarda sono stati corrotti a vario livello. Sebbene, quantitativamente parlando, questi errori non sono responsabili di una diminuzione del numero totale di toponimi, sono la causa di una importante modifica qualitativa che ha definitivamente prodotto una drammatica perdita delle conoscenze originali indigene. Emblematico in questo senso è il caso della piccola isola di Mal di Ventre, situata nella parte nord-occidentale della zona indagata. Il toponimo attuale, riportato in tutta la cartografia, così come utilizzato sia dalla popolazione locale e non, è Isola di Mal di Ventre, ma in realtà il toponimo originale era di Isola di Malu Entu, il che significa *Isola dal vento malvagio, malevolo*, dunque con chiaro riferimento al maestrale che soffia intensamente lungo tali zone costiere. Da una prospettiva linguistica, questo cambiamento è un chiaro esempio di ciò che è stato definito come un processo di "italianizzazione", cioè, quando una parola sarda è convertita, forzatamente, in una italiana che si caratterizza per simile fonetica ma con un significato totalmente diverso (Scanu e Podda, 2007). Malgrado la forma sbagliata di questo toponimo fosse già presente in una mappa storica della Sardegna risalente al 1580-1589 (Fara, 1838), questo errore è probabilmente da imputare fatto a Pisani e Genovesi (1215 dc -1326 dc), che furono probabilmente i primi fautori di una intensa campagna di "italianizzazione" (la

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

parola sarda originale Entu, che significa vento, venne dunque forzatamente italianizzata nella parola italiana ventre) responsabile della corruzione del toponimo. Nel complesso, questo esempio dimostra in modo emblematico quanto il significato originale, attribuito dalla popolazione locale, possa essere influenzato da fenomeni di corruzione, comportando la perdita completa delle conoscenze indigene antiche. Il nuovo toponimo corrotto invece non solo non dice nulla circa la reale natura dell'area ma addirittura fornisce informazioni del tutto errate.

Tutti gli esempi precedentemente riportati, dimostrano però una cosa fondamentale. Infatti, benché spesso lo si sottovaluti o ignori del tutto, la toponomastica si evolve rapidamente caratterizzandosi spesso per una un'alta capacità di registrare repentinamente le mutate condizioni ambientali e socio-economico. Dunque la toponomastica non è di per se statica né immutabile (come spesso riportato dai linguisti), anzi in condizioni di forti e repentini mutamenti economici, sociali ed ambientali è spesso in grado di registrarne i cambiamenti principali.

Toponimi non presenti in cartografia

Rientrano in questa categoria i toponimi attualmente utilizzati dalle popolazioni locali per indicare aree specifiche, benché gli stessi non siano ancora attualmente riportati in cartografia. Infatti durante la fase di investigazione in campo (specificatamente quella condotta mediante la realizzazione di interviste di tipo informale con le persone del luogo) è stato rilevato come alcuni toponimi, principalmente utilizzati dagli abitanti durante le conservazioni orali, non siano presenti nella cartografia della zona (né in quella passata né tanto meno recente). Attraverso una accurata ricerca storica, bibliografica, cartografica e di campo si è potuto verificare come tali toponimi non rientrino in quella vasta categoria di toponimi perduti ma potrebbero in realtà essere toponimi di recente (in termini di decenni) coniazione. Questo aspetto è estremamente importante poiché documenterebbe come nasce un nuovo toponimo e testimonierebbe quanto dinamica e mutevole possa essere la toponomastica dei luoghi.

Ad esempio, diverse aree della Sardegna sono oralmente note come *Terras Malas* (terre cattive) per indicare chiaramente aree caratterizzate da suoli infertili. Però tali toponimi risultano spesso non riportati nella cartografia né antica né recente dei luoghi. Per capire come tutto ciò sia possibile, abbiamo dunque sovrapposto e cercato di correlare le informazioni provenienti dalla cartografia pedologica con quelle più prettamente storiche. Si evidenzia

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

allora come in queste aree fossero, almeno fino alla fine del XVIII secolo, caratterizzate da una fitta vegetazione boschiva. Dal 1718 fino al 1861 la Sardegna divenne parte del Regno di Savoia (Mastino, 1999) e nel 1820 buona parte delle foreste sarde vennero completamente rase al suolo per ottenere legnatico da destinare alla costruzione di traversine ferroviarie, a supporto delle nascenti attività minerarie e per la produzione di carbone (Beccu, 2000; Caterini, 2013). Questa devastante deforestazione colpì circa l'80% dell'originaria copertura forestale dell'isola (Caterini, 2013) e causò intensi processi di erosione e degradazione del suolo (Aru et al., 1991). In conseguenza a tali processi si innescarono frequentemente e soprattutto lungo le aree a maggior pendenza, dei fenomeni di troncamento superficiale (perdita degli orizzonti di superficie) dei suoli. Interessante è rilevare come dal punto di vista tassonomico questi processi portarono spesso ad una sorta di shift tassonomico da tipologie più evolute (tipo Mollisuoli ed Inceptisuoli) a tipologie assai meno evolute (Entisuoli). Di fatto si innescarono processi di entisolizzazione spinta.

Come diretta conseguenza sulla toponomastica di questo processo prettamente pedologico, i suoli di queste aree risultavano scarsamente fertili e non adatti ad alcuna utilizzazione di tipo agricolo o produttivo. Gli abitanti di quei luoghi cominciarono così a definire, probabilmente tra la fine del XIX ed inizio del XX secolo, tali aree come *Terras Malas* così da identificarne immediatamente le scarse attitudini agli usi di tipo produttivo.

Questo dimostra come la toponomastica possa essere estremamente dinamica e caratterizzarsi per una marcata capacità nel registrare (spesso in tempi relativamente brevi) i cambiamenti sia ambientali che socio-economici circostanti.

Toponimi intraducibili

Tra i toponimi in lingua sarda, l'89% è caratterizzato da un significato etimologico ben chiaro, mentre per il restante 11%, il significato rimane oscuro. Anche se le ragioni di tali toponimi "intraducibili" possono essere diverse e non sempre chiaramente identificabili, durante le indagini di campo è stato accertato che (almeno) due fenomeni potrebbero essere i principali responsabili. Il primo è un processo di corruzione che potrebbe essere stato causato dalla presenza di mutate condizioni linguistiche. Infatti in presenza di nuovi dominatori la lingua dei dominati subisce spesso un processo di "adattamento forzato". Questo fenomeno si è verificato non solo a causa degli arrivi di popoli di lingua italiana provenienti dalla penisola (come riportato in precedenza per l'Isola di Mal di Ventre), ma anche per l'arrivo di altre

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

civiltà, come, per citare solo i conquistatori più influenti, i Romani (455-534 d.C.) e gli Spagnoli (1323-1720 d.C.). Il processo di "adattamento forzato" degli antichi toponimi in lingua Sardo o Paleosarda al nuovo linguaggio del conquistatore, rappresenta una forma storicamente ben nota di sottomissione culturale imposta alla popolazione conquistata (Herman, 1999; Withers, 2000; Grounds, 2001). Nel complesso, tali processi socio-linguistici potrebbero essere responsabili della coniazione di nuovi toponimi di natura ibrida che potrebbero aver subito l'influenza di diverse lingue e vicissitudini storiche che, inevitabilmente, li renderebbero intraducibili. Questi toponimi vengono spesso volgarmente, ma efficacemente, chiamati "toponimi bastardi".

Un secondo processo, responsabile di alcuni dei toponimi non traducibili, potrebbe essere correlato al fatto che alcuni di questi nomi di luogo rappresentano un relitto linguistico del Paleo-sardo (le cui vere origini sono ancora avvolte nel mistero); vale a dire, la lingua sarda parlata prima della dominazione romana e la relativa latinizzazione (238 A.C.), e che rappresenta una delle più antiche testimonianze storiche (se non la più antica) dell'antica lingua sarda. Tale congettura può essere avanzata in quanto simili ragioni sono state già adottate per giustificare l'intraducibilità dei toponimi in altre sub-regioni della Sardegna (Wagner, 1950, 1964).

Toponimi ambientali

Per quello che concerne i toponimi ambientali, tra quelli con un significato etimologico riconosciuto, la percentuale più elevata (58%) è caratterizzata da un significato direttamente o indirettamente collegato a caratteristiche ambientali molto specifiche (Tabella 1). Nel dettaglio, le categorie ambientali con la più alta quantità di toponimi sono la morfologia (M) ed il suolo (S). Come brevemente spiegato prima, nell'area indagata tutti e tre i principali paesaggi geomorfologici della Sardegna sono ben rappresentati, fattore questo che crea una serie di ambienti altamente contrastanti caratterizzati da diverse condizioni pedogenetiche. A causa di questa morfologia articolata e complessa, la popolazione locale ha storicamente adottato, a partire dai tempi antichi (anche prima di latinizzazione), morfonimi o geonimi (dal greco *gê* che significa "terra", *morfé* per "forma" e *ònoma* per "nome") per definire alcune delle principali caratteristiche del territorio. Tali termini possono ancora essere individuati nella cartografia e nelle tradizioni orali delle popolazioni locali. È il caso delle forme collinari e montane, rappresentati da alti *Cúccuros* e *Brùncos* (due nomi di luogo comunemente usati per indicare le cime di colline e montagne) e ripide *Serras* (crinale della montagna) che

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

delimitano i confini sud-occidentali dell'area, mentre i margini settentrionale e orientale sono dominati da *Coróngios* (creste dei monti, ma anche utilizzato per indicare dorsali di colline e pietre di grandi dimensioni), *Gútturos Gútturos* (gole), *Giare* (altopiani basaltici). Una posizione centrale prominente nella sub-regione è dominata da una vasta pianura, che costituisce la parte centrale di un *Campidano* (termine impiegato per descrivere una pianura, ma anche comunemente usato per indicare gli abitanti della pianura) assai più vasto. Qui, tra la metà settentrionale del Campidano centrale e la costa, si trova l'ormai bonificata area dei *Paulis* (stagni temporanei/permanenti e paludi), compresi per la maggior parte nel comune di Arborea. Così come tutte le zone umide, quest'area abbraccia un territorio altamente dinamico, che allo stato attuale può differire notevolmente dalle sue condizioni preistoriche. Tuttavia, le maggiori modifiche risalgono agli inizi di questo secolo, quando estese bonifiche hanno permanentemente alterato l'area (van Dommelen, 1998). Inoltre, dopo queste attività di bonifica, la zona è stata completamente rimodellata da attività agricole di tipo sia intensivo che estensivo, rilevanti sul contesto regionale, al punto tale che al giorno d'oggi sono responsabili del 90% della produzione di latte vaccino in Sardegna, rendendo questa zona l'hub principale del settore lattiero-caseario sardo. Nel complesso, queste attività umane di portata storica si sono rese responsabili di una massiccia scomparsa di toponimi autoctoni, certamente con una magnitudo ben più vasta (sia quantitativamente che qualitativamente) rispetto ad altre zone dell'area di studio. La testimonianza delle antiche conoscenze a livello locale è stata spesso sostituita da nuovi toponimi, in lingua italiana, che indicando soprattutto la presenza di nuovi manufatti agricoli (diversi neo-toponimi semplicemente indicano la presenza di nuovi canali di irrigazione, canali di distribuzione d'acqua, e altri impianti per usi agricoli) e attività industriali, nonché l'infrastruttura sviluppata per regimare le acque superficiali dell'area (quali pompe dell'acqua ed idrovore). La parte più occidentale del Campidano è caratterizzata da una frangia di costa di importante sviluppo lineare (zona costiera, costa), mentre il nord è dominato da una serie di *Paulis* naturali relitti e piccoli *Rios* (fiumi).

Pedonimi

Tali nomi di luogo sono molto comuni (395 pedonimi, che rappresentano il 13.3% dei toponimi in lingua sarda) in tutto il territorio indagato (Fig. 3, Tabella 2). Tuttavia, considerando le vicende storiche, e come registrato durante l'indagine bibliografica e sul

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

campo (interviste agli abitanti), questo numero sembra rappresentare solo una parte ridotta di un patrimonio pedonimico più rilevante. Considerando solo quelli scoperti da questa ricerca, si può ragionevolmente ipotizzare che questo numero di pedonimi rappresenta non più del 50-60% di quelli che originariamente caratterizzavano l'area indagata. Questa stima è confermata anche guardando la distribuzione spaziale (Fig. 3). In realtà, i pedonimi sono meno concentrati in quelle aree in cui le attività umane in generale, e quelle di bonifica, in particolare, sono o sono state più intense (zone centrali).

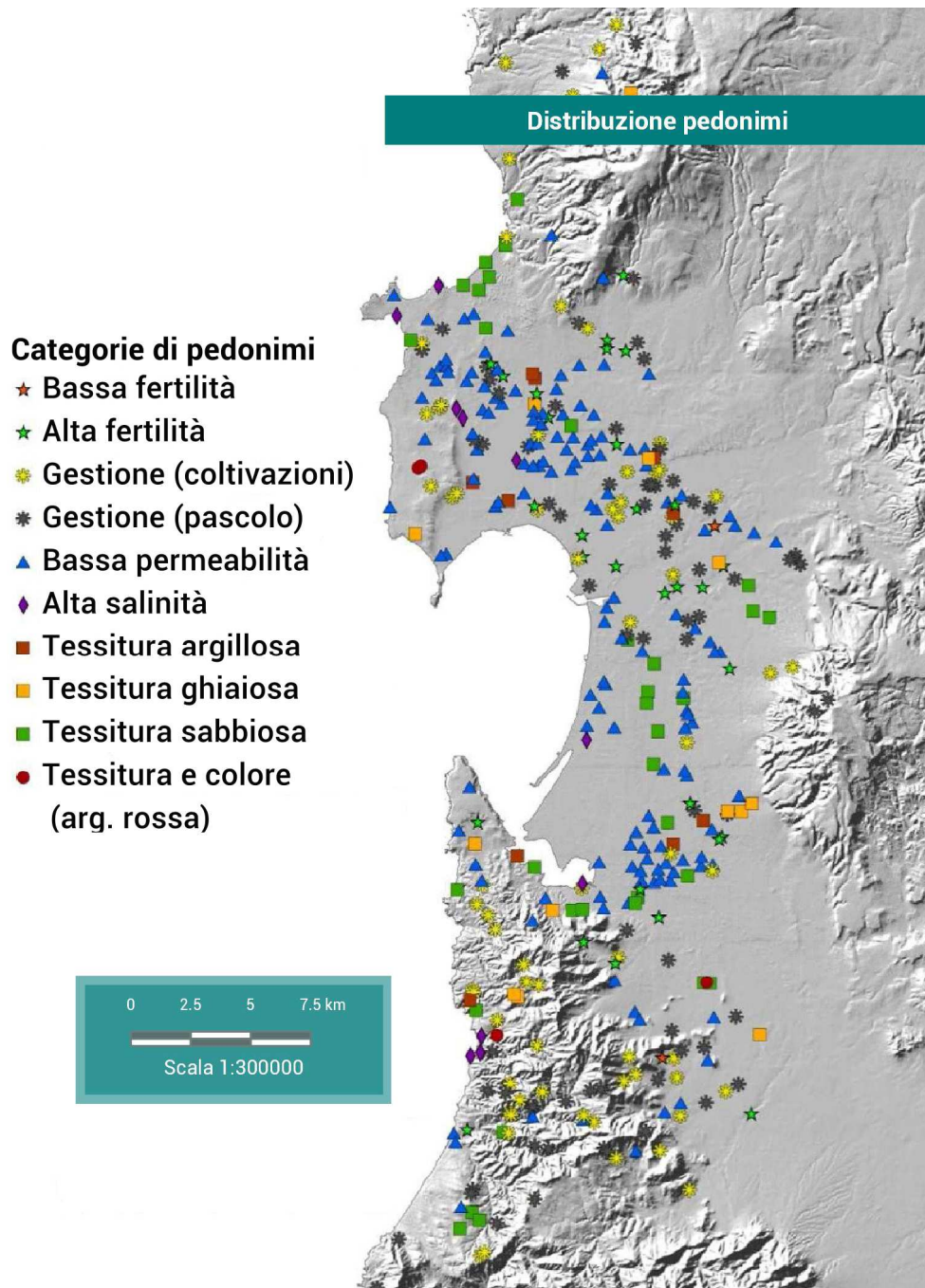


Fig. 40 - Distribuzione dei pedonimi.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

In generale, il 38% dei pedonimi individuati si riferisce chiaramente (dal punto di vista delle categorie precedentemente riportate) alla bassa permeabilità del suolo, il 36% sono collegati alla gestione del suolo (sia coltivazioni che pascolo), il 12% descrive gli attributi per quanto riguarda la tessitura del suolo, l'8% sono toponimi con un riferimento più o meno rigoroso alla fertilità del suolo, il 3% si riferiscono a suoli caratterizzati da elevata salinità, mentre solo l'1% attengono sia alla tessitura del suolo che al colore (tabelle 2 e 3). La maggior parte dei pedonimi indagati si riferiscono a suoli caratterizzati da bassa permeabilità (Tabella 2, Fig. 3). Come mostrato in Fig. 3, molti di questi pedonimi (più dell'85%) si trovano lungo la piana dove le condizioni morfologiche sono favorevoli allo sviluppo di suoli caratterizzati da un orizzonte argillico (B_t) di profondità ben sviluppato.

Suoli prevalenti	Tessitura ^a			Tessitura e colore ^b	Fertilità ^c		Salinità ^d	Gestione ^e		Permeabilità ^f	Totale per suoli prevalenti	
	G	S	C	RC	H	L	H	CU	PA	L		
Typic, Aquic, Arenic, and Ultic Palexeralfs	9	18	3	1	6	2	2	16	31	62	150	
Typic, Dystric, and Lithic Xerorthents; Typic and Lithic Haploxerepts	3	8	3	1	5	0	3	36	23	17	99	
Typic, Vertic, Aquic, and Mollic Xerofluvents	0	3	1	0	11	0	0	5	11	22	53	
Lithic and Typic Calcixerolls	0	1	1	0	3	0	1	2	9	15	32	
Typic Haplosalids	1	0	2	0	5	0	2	2	1	17	30	
Lithic and Typic Xerorthents; Lithic and Typic Rhodoxeralfs; Typic and Lithic Haploxerepts	1	2	0	2	0	0	2	5	0	10	22	
Typic and Vertic Fluvaquents	0	2	0	0	0	0	0	1	0	6	9	
Totale di pedonimi per sub-categoria	n°	14	34	10	4	30	2	10	67	75	149	395
	%	3.5	8.6	2.5	1.0	7.6	0.5	2.5	17.0	19.0	37.7	

Tabella 5. Categorie e sub categorie di pedonimi e corrispondenza con i suoli prevalenti.

^a Tessitura: G = gravelly, S = sabbiosa, C = argillosa, ^b Tessitura e colore: RC = argilla rossa, ^c Fertilità: H = alta, L = bassa, ^d Salinità: H = alta, ^e Gestione agricola: CU = coltivazioni, PA = pascoli, ^f Permeabilità: L = bassa.

Pedonimi	Categorie e sottocategorie	Comune	Traduzione	Suoli prevalenti
Ludosu	Tessitura argillosa	Riola Sardo	fangoso (Paulis, 1987)	Typic Salorthids
Su fangarazzu	Tessitura argillosa	Cabras	la fangaia (Paulis, 1987)	Typic, Dystric e Lithic Xerorthents; Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts
Sa lugiana	Tessitura argillosa	Oristano	l'argilla, il limo (Dedola, 2012)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Pedonimi	Categorie e sottocategorie	Comune	Traduzione	Suoli prevalenti
S'arenighedda	Tessitura sabbiosa	S.Vero Milis	la sabbia (diminutivo) (Paulis,1987)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs
Cuccuru s'arena	Tessitura sabbiosa	Terralba	cima di montagna della sabbia (Paulis,1987)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs
Serr'e arena	Tessitura sabbiosa	Palmas Arborea	crinale della sabbia (Paulis,1987)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs
Perda bogada	Tessitura ghiaiosa	Palmas Arborea	terreno spietrato (Miglior, 1987)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs
Pedrosu	Tessitura ghiaiosa	Marrubiu	pietoso (Paulis,1987)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs
Margongiada	Tessitura ghiaiosa	Guspini	sito pieno di cumuli di sassi (Miglior, 1987)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs
Piscina arrubia	Tessitura e colore (argilla rossa)	Cabras	piscina, pozzanghera rossa (Dedola,2012)	Lithic e Typic Xerorthents; Lithic e Typic Rhodoxeralfs; Lithic e Typic Xerochrepts
Terra arrubia	Tessitura e colore (argilla rossa)	Arbus	terra rossa (Dedola, 2012)	Typic, Dystric e Lithic Xerorthents; Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts
S'isca	Fertilità elevata	S.Vero Milis	sito acquitrinoso, terreno paludoso e fertile (Paulis, 1987)	Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents
S'isca piccia	Fertilità elevata	Oristano	sito acquitrinoso, terreno paludoso e fertile di piccole dimensioni (Paulis, 1987)	Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents
Gregori	Fertilità bassa	Oristano	terra rossiccia, sabbiosa e debole (Paulis, 1987)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs
Narboni malus	Fertilità bassa	Guspini	terreno cattivo totalmente dissodato per la prima volta (Dedola, 2012)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs
Sa salinedda	Salinità alta	Guspini	la piccola salina (Paulis, 1987)	Typic Salorthids
Campu 'e sali	Salinità alta	Arbus	campo del sale (Dedola, 2012)	Typic, Dystric e Lithic Xerorthents; Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts
Matta su sai	Salinità alta	Riola Sardo	pianta, albero, cespuglio del sale	Typic Salorthids
Bingia manna	Gestione – attività agricola	Oristano	vigna grande (Paulis, 1987)	Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents
Ortu de is abis	Gestione – attività agricola	Guspini	orto della api (degli alveari) (Miglior, 1987)	Typic, Dystric e Lithic Xerorthents; Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts
Prana de ulias	Gestione – attività agricola	Guspini	altopiano degli olivi (Miglior, 1987)	Typic, Dystric e Lithic Xerorthents; Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts
Is pasturas	Gestione – attività pastorale	Oristano	i pascoli (Paulis, 1987)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Pedonimi	Categorie e sottocategorie	Comune	Traduzione	Suoli prevalenti
Su meriagu	Gestione – attività pastorale	Narbolia	sito ombroso dove si ripara il gregge dal sole di mezzogiorno (Paulis, 1987)	Typic, Dystric e Lithic Xerorthents; Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts
Sos pabariles	Gestione – attività pastorale	Cuglieri	i terreni a pascolo (Miglior, 1987)	Typic, Dystric e Lithic Xerorthents; Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts
Pauli benatzu	Permeabilità bassa	S.Vero Milis	palude, vena d'acqua (Paulis, 1987)	Lithic e Typic Xerorthents; Lithic e Typic Rhodoxeralfs; Lithic e Typic Xerochrepts
Bennaxi	Permeabilità bassa	Oristano	luogo basso e acquitrinoso (Paulis, 1987)	Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents
Benazili	Permeabilità bassa	Guspini	palude (Paulis, 1987)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palaxeralfs
Bene de ide	Permeabilità bassa	Cabras	tratto di terreno basso acquitrinoso d'inverno e verde d'estate della vite (Paulis, 1987)	Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palaxeralfs
Sos pischinales	Permeabilità bassa	Cuglieri	gli acquitrini (Miglior, 1987)	Typic, Dystric e Lithic Xerorthents; Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts

Tabella 6. Alcuni esempi di pedonimi

Di conseguenza, tali condizioni pedologiche sono responsabili della bassa permeabilità, osservata dagli antichi abitanti in aree paludose (*Paulis*), stagni temporanei, pozze (*Pischina*, *Piscina*), e tutti i termini (Tabella 3) che indicano una morfologia pianeggiante con condizioni paludose (*Benazili*, *Benatzu*, *Bennaxi*). Storicamente parlando, l'enorme numero di pedonimi legati alla gestione del suolo (Tabella 2) è giustificabile dalle attività umane intensive iniziate nella zona indagata almeno nel neolitico (6.000-2.900 aC), con le pratiche pastorali antecedenti l'agricoltura (Aru et al., 1991). Mentre la maggior parte di questi nomi di luogo si trovano lungo la pianura, dove tali attività erano e sono storicamente più concentrati, molti di questi pedonimi (soprattutto per quelli legati all'agricoltura) sono situati nelle zone collinari e montane del sud-ovest (fig. 3). Il significato di tali pedonimi spiega il motivo di questa distribuzione. Ci sono infatti pedonimi coniati allo scopo di indicare prioritariamente ambienti con caratteristiche molto importanti per le attività agricole in aree caratterizzate da ridotte dimensioni spaziali o dalle condizioni ambientali più difficili. Ad esempio, ci sono pedonimi che fanno riferimento alla presenza di suoli caratterizzati dalla presenza di solchi per contenere le acque (*Gora*), canali d'acqua per le attività agricole in piccole aree (*Roia de S'Ortu*), a passate attività agricole (in quota) ora scomparse (*Cuccuru S'Ortu*), orti per la trebbiatura del frumento (*Argiolas*), o aree in cui covoni di grano possono essere sparsi per la

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

trebbiatura (*Spainadróxiu*). Tali pedonimi erano importanti per gli antichi abitanti delle zone montane, perché rappresentavano una forma primordiale di valutazione dell'idoneità del suolo alle attività agricole. Inoltre, quando la conoscenza locale (pedonimi) è confrontata (Tabella 2) con quella più prettamente scientifica deducibile dalla carta dei suoli, è immediatamente chiaro come le attività agricole in tutta l'area indagata siano state storicamente condotte principalmente in suoli caratterizzati da una relativa mancanza di fertilità (come Xerorthents e Xerochrepts), malgrado nel territorio indagato ci siano aree caratterizzate da suoli assai più fertili (come Xerofluvents e Calcixerolls). Tale apparente contraddizione non si è spiega dalla mancanza di consapevolezza della fertilità del suolo degli antichi abitanti dei luoghi. Anzi, come è evidente dalla tabella 2 i pedonimi con un significato esplicitamente collegato ad alta e bassa fertilità del suolo si trovano esattamente in aree con suoli caratterizzati da tali specifiche caratteristiche (pedologiche e fisico-chimiche) di fertilità. Pertanto, in tempi passati, gli agricoltori erano ben consapevoli di quali aree erano più o meno fertili. Questa consapevolezza è dimostrata dalla presenza di pedonimi quali *Iscas* che fa specifico riferimento ad aree depresse e paludose caratterizzate da suoli fertili (Paulis, 1987). Ed infatti (a dimostrazione di quale fosse la consapevolezza sulle caratteristiche pedologiche dei suoli), tali aree ricadono spesso, dal punto di vista pedologico, su fertili Mollisuoli (Tabella 3). Inoltre, esistono anche numerosi pedonimi che indicano una chiara conoscenza dei suoli scarsamente fertili, come ad esempio termini quali *Narboni malus* o *Gregori*, che descrivono rispettivamente le aree con suoli non fertili (che sono stati completamente lasciati a riposo) e per i suoli sabbiosi non strutturati. Tutto ciò per dimostrare che le ragioni per la localizzazione delle attività agricole e pastorali devono essere trovate indagando in tutt'altra direzione, a cominciare dalle caratteristiche ambientali complessive del territorio. Infatti, le attività agricole e pastorali sono state storicamente situate nei territori con condizioni favorevoli sia dal punto di vista morfologico (principalmente lungo la pianura), caratterizzate da una maggiore estensione spaziale, che da condizioni *ambientali* considerate sicure sia per quanto atteneva ai potenziali nemici (sufficientemente lontano dalle coste) che allo sviluppo di malattie (adeguatamente distanti da zone con condizioni ambientali favorevoli alla malaria, come le aree paludose). Le aree in grado di soddisfare tutti questi requisiti, anche se caratterizzate da suoli potenzialmente meno fertili, erano dunque da preferirsi alle altre. L'impatto di questi aspetti sulle antiche popolazioni potrebbe apparire come esagerato se comparato alla loro presenza pratica sul territorio, ma consente di focalizzare l'attenzione sulla grande influenza che l'ambiente fisico poteva avere sugli aspetti socio-economici.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Sembrerebbe dunque che in questa sorta di "forma primordiale" di Land Evaluation, gli antichi popoli dell'area considerassero la fertilità del suolo in maniera molto meno significativa rispetto alla suscettibilità allo sfruttamento agricolo complessivo del territorio, tra cui appunto la morfologia, l'estensione, e un ambiente sicuro in grado di garantire adeguate condizioni di salute. Da questo punto di vista, l'ambiente fisico fissa in modo efficace i limiti delle possibilità di uso del suolo, influenzando in tal modo tutte le forme di organizzazione socio-economica. Tuttavia, i pedonimi indagati rivelano un'impressionante capacità di adattamento degli antichi popoli al loro ambiente circostante, grazie anche alle elevate competenze nella gestione adeguata delle risorse del suolo. I pedonimi relativi alla struttura del suolo si riferiscono prevalentemente alla presenza di suoli sabbiosi. Questa prevalenza è del tutto coerente con le caratteristiche pedologiche della zona, dove il suolo deriva principalmente da sedimenti fluviali e eolici quaternari (Carmignani et al., 2001). È di rilevante interesse il fatto che il vero significato di alcuni pedonimi, oggetto spesso di accesi dibattuti tra etimologisti, possa essere "rivelato" definitivamente grazie ad un approccio etnopedologico di tipo integrato. Caso emblematico quello del pedonimo *Sassu*, interpretato da alcuni studiosi come roccioso (dal L. *saxum*) o suolo sabbioso (Paulis, 1987; Pittau, 2013), mentre altri (Dedola 2012) hanno avanzato l'ipotesi che tali toponimi possano indicare un luogo caratterizzato da elevata salinità (dal L. *salsum*). Il confronto tra le informazioni pedologiche con pedonimi georeferenziati, ha consentito di validare la prima ipotesi, ritenuta più aderente alla realtà. Infatti, tutte le aree in cui è segnalata la presenza di pedonimi associati al termine *Sassu* ricadono all'interno dei sottogruppi Typic e Vertic Fluvaquents, prevalentemente caratterizzati da suoli sabbiosi profondi senza alcun problema né antico né tanto meno recente di accumulo di sali. I pedonimi legati alla struttura e colore sono estremamente sporadici ma assumono un'importante valenza, in quanto mostrano in maniera ulteriore quanto potesse essere elevata la competenza dei popoli antichi nel riconoscere talune caratteristiche peculiari del suolo. I pedonimi *Piscina Arrubia* e *Terra Arrubia* indicano stagni temporanei (*piscina*, riveste un significato simile a quello assunto nella lingua italiana), o semplicemente un suolo (*Terra*), caratterizzati dalla presenza di un orizzonte argillico (B_t) fortemente arrossato (Arrubia) (tabella 3). Le caratteristiche pedologiche di queste zone indicano esattamente la presenza di Lithic e Typic Rhodoxeralfs, le cosiddette "Terre Rosse Mediterranee".

3.5 Analisi tramite CCA.

3.5.1 CCA relative ai toponimi ambientali

Attraverso la CCA si è voluto effettuare un confronto tra conoscenze locali e scientifiche. Per raggiungere questo scopo, le diverse elaborazioni sono state eseguite attraverso l'impiego di diversi set di dati (rappresentate da diverse sotto-matrici). Le elaborazioni conseguenti sono state rappresentate attraverso i cosiddetti triplots (figg. 41 - 45).

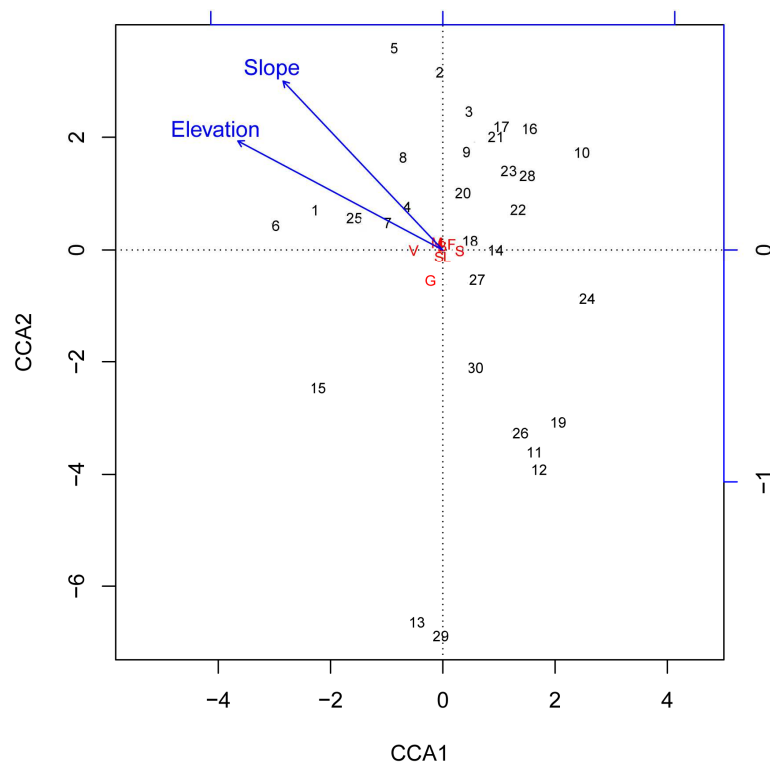


Fig. 41

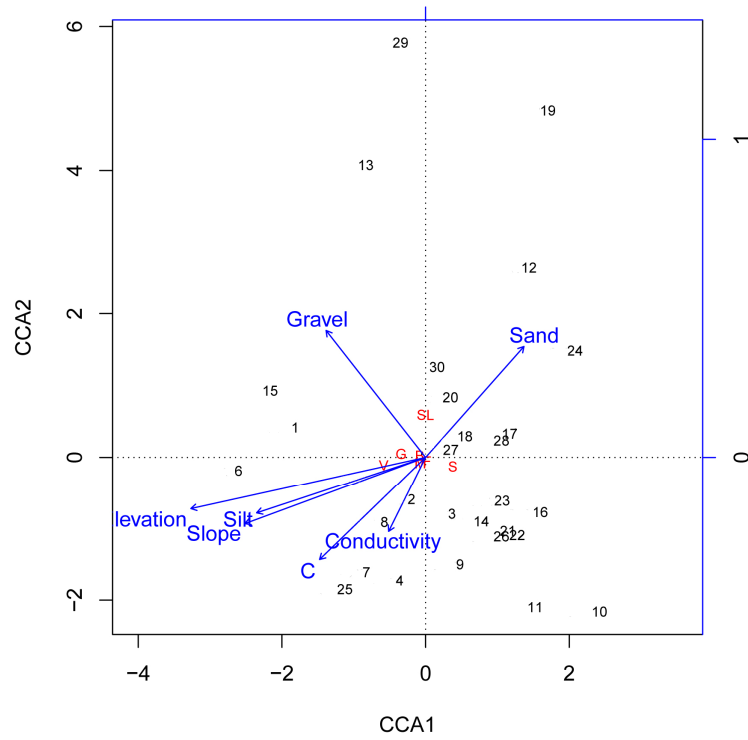


Fig. 42

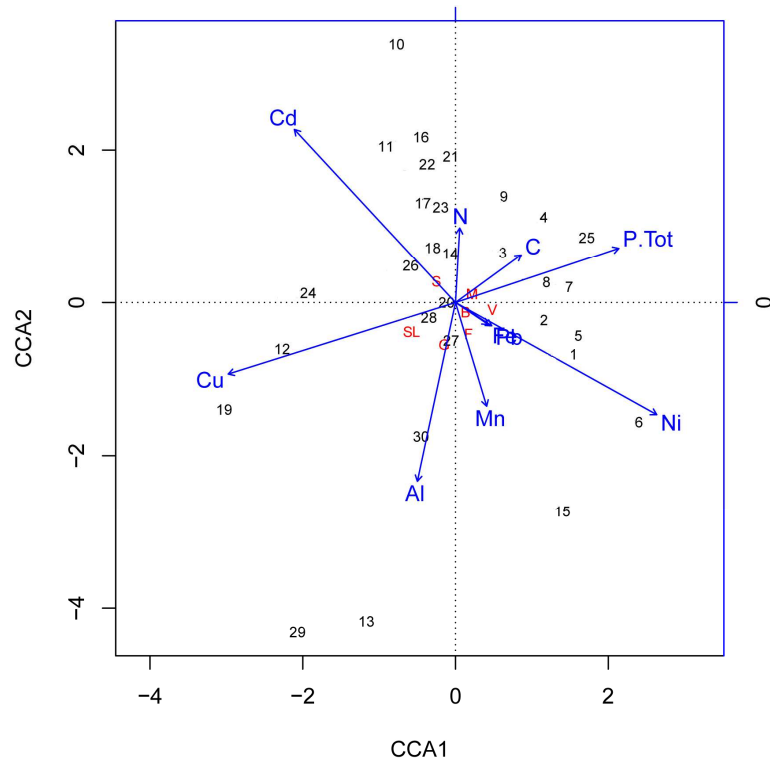


Fig. 43

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

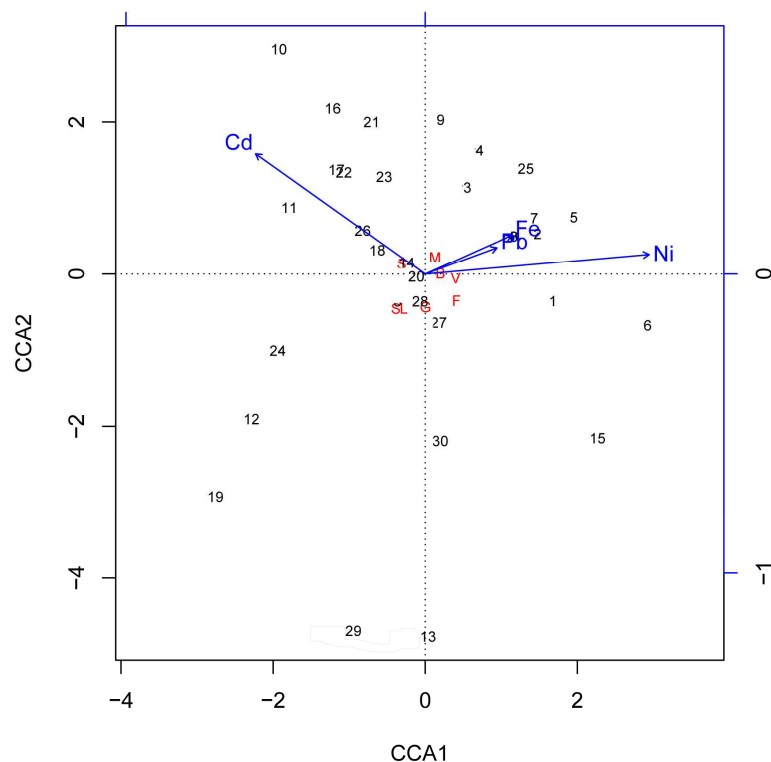


Fig. 44

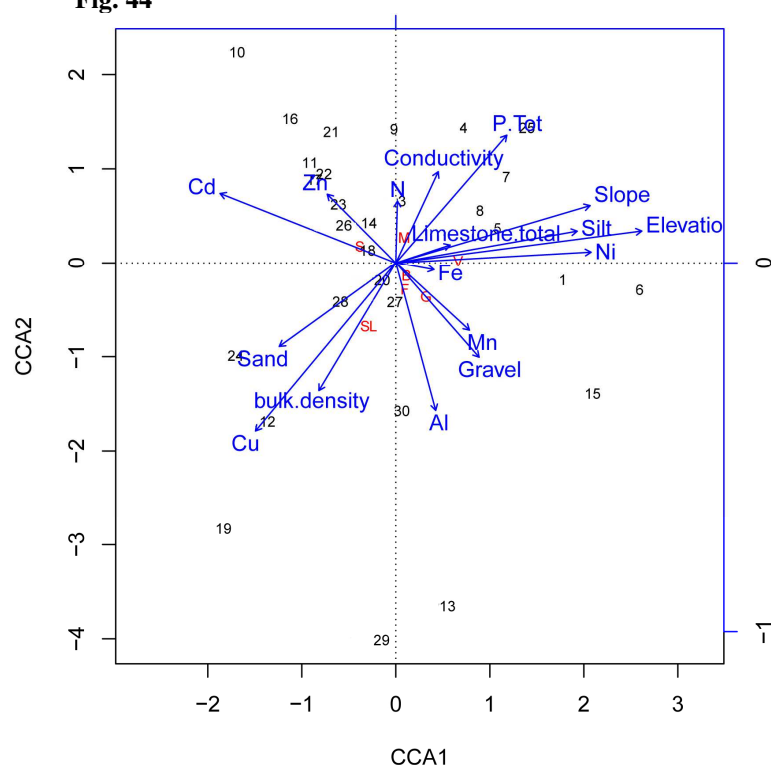


Fig. 45

Figure. 41 - 45. Plots delle Componenti Principali dell'analisi delle corrispondenze canoniche (CCA) per toponimi totali (lettere maiuscole in rosso: S = terreno, SL = copertura del suolo / usi del suolo, M = morfologia, G = geologia, V = vegetazione, F = fauna, B = Biomorfologia) e le variabili morfologiche (frecche blu) quali i parametri morfologici e quelli fisici del suolo (Fig. 4), i parametri fisico-chimici del suolo (ad esclusione dei metalli pesanti, Fig. 5), i parametri chimici del suolo (metalli pesanti inclusi, Fig. 6), solo i metalli pesanti (Fig. 7), e tutti i parametri morfologici e fisico-chimici del suolo studiati, metalli pesanti inclusi (Fig. 8). I numeri in nero indicano le sottozone in cui la zona indagata è stato suddivisa (Fig. 1).

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Le componenti principali di una CCA sono ottenute confrontando tutti i toponimi con i parametri morfologici e quelli fisici del suolo (Fig. 41), i parametri fisico-chimici del suolo (ad esclusione dei metalli pesanti, Fig. 42), i parametri chimici del suolo (metalli pesanti inclusi, Fig. 43), solo i metalli pesanti (Fig. 44), e tutti i parametri morfologici e fisico-chimici del suolo studiati, metalli pesanti inclusi (Fig. 45).

Tutti i plots presentati mostrano la proiezione sui primi due assi della CCA, che descrivono le più importanti relazioni spiegate dalle variabili (parametri morfologici e parametri fisico-chimici del suolo), legate ai toponimi. Le correlazioni tra le variabili e i primi due assi sono proiettati nei plots come vettori, che indicano la direzione della variazione. Solitamente, la lunghezza di un vettore nel diagramma indica l'importanza qualitativa delle variabili (Arandjelovic, 2014; Yuan et al 2014). All'interno dei plots, le categorie dei toponimi ambientali, indicati con le loro abbreviazioni, sono rappresentati come punteggi (*scores*), mentre i numeri arabi rappresentano i punteggi relativi alle sotto-sub-aree indagate. La proiezione ortogonale dei punteggi sui vettori indica la grandezza e segno delle correlazioni.

In generale, tutti i punteggi relativi ai toponimi risultano bassi, indicano dunque una debole correlazione tra toponimi e parametri morfologici e fisico-chimici indagati. Tuttavia, in ciascuno dei triplots analizzati, le categorie indagate tendono a disporsi in uno spazio definito, approssimativamente ellissoidale, attorno all'asse di origine. Inoltre, i valori relativi alle sub-aree mostrano una struttura più o meno definita che può indicare la presenza di alcuni gradienti data la loro forma parabolica prevalente. Per tali ragioni, alcune "tendenze" osservate meritano (di seguito) un'ulteriore descrizione e analisi.

Il primo triplot (Fig. 41) mostra la relazione tra i toponimi appartenenti alle principali categorie ambientali ed i parametri fisici morfologici generali e fisici del suolo. Il primo e secondo asse spiegano rispettivamente, il 50% e il 30% della varianza totale (inerzia totale = 0.487). In questo caso, solo i parametri morfologici mostrano significatività statistica. Pendenza ed elevazione (parametri morfologici) mostrano generalmente una correlazione negativa con tutte le categorie, con l'eccezione dei toponimi legati alla vegetazione. Anche se appare una tendenza piuttosto debole, è registrabile un aumento di tali toponimi con la quota. Per quanto riguarda la disposizione delle sub-aree, è chiaro che quelle caratterizzate da una morfologia più complessa e articolata (ad esempio 1, 2, 4, e 6) sono positivamente correlate ai parametri morfologici, mentre una correlazione negativa è stata osservata per quelli caratterizzati da una più semplice morfologia del tipo pianeggiante o sub-pianeggiante.

Il secondo triplot (Fig. 42) mostra la relazione tra tutti i toponimi relativi alle categorie

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

ambientali ed i parametri fisico-chimici del suolo (ad esclusione dei metalli pesanti). Gli Assi 1 e 2 spiegano rispettivamente l'11.9% e il 6.4% della varianza totale (inerzia totale = 0,487). Si osserva una relazione negativa tra parametri morfologici (pendenza ed elevazione) e toponimi ambientali relativi alla copertura del suolo/usi del suolo (US) che è giustificata dal fatto che molti di questi toponimi sono prevalentemente situati lungo la pianura, mentre la loro presenza diminuisce fortemente nelle zone collinari e montane. Il contenuto di sabbia è negativamente correlato con i toponimi legati alla vegetazione. Questa correlazione potrebbe essere spiegata considerando che molte delle specie riportate in questi toponimi richiedono, dal punto di vista ecologico, suoli caratterizzati da una tessitura fine (da argillosa a argilloso-limoso). Questa congettura è confermata anche dalla correlazione positiva tra gli stessi toponimi e il contenuto in frazioni fini (specialmente limo). Osservando la distribuzione delle sub-aree all'interno del triplot, è interessante notare che le sub-aree 13, 19, e 29, corrispondenti alle aree più urbanizzate, ascrivibili alla città di Oristano e alle relative aree sub-urbane, mostrano un comportamento completamente diverso dalle altre aree meno urbanizzate. Questo comportamento è riconoscibile anche in tutti gli altri triplots elaborati, fatto questo che dimostra come sia mediante i parametri del suolo che i toponimi ambientali si rilevino immediatamente (e statisticamente) delle forti differenze tra aree in cui l'influenza umana è più intensa e quelle più marcatamente naturali. Questa osservazione di tipo statistico è del tutto coerente con le precedenti disamine relative all'influenza esercitata dalle attività antropiche sull'area indagata, in tutte le epoche storiche, che sono state in grado di incidere profondamente sulla dinamica ed evoluzione toponomastica della zona indagata. Di fatto questa attività ne hanno determinato una vera e propria riconfigurazione toponimica.

Il terzo triplot (Fig. 43) mostra la relazione tra tutti i toponimi relativi alle categorie ambientali e i parametri chimici, metalli pesanti inclusi. Gli assi 1 e 2 spiegano il 32.7% ed il 27.6% della varianza totale (inerzia totale = 0,487). Di tutti i parametri chimici del suolo riportati in questo triplot, solo il Ni è significativo ($p = 0.002 *$). Questo elemento mostra una debole correlazione positiva con i toponimi legati alla vegetazione. L'analisi geochemica dell'area rivela il perché di una tale correlazione. Come riportato in precedenza, tali toponimi descrivono principalmente le specie che crescono in suoli con una tessitura prevalentemente fine che, per l'area indagata, sono in maggioranza situati su rocce basaltiche (Gaviano, 2015). In questo tipo di substrato, il Ni rappresenta un elemento molto comune legato ai minerali femici e agli idrossidi di ferro che comunemente caratterizzano le rocce basaltiche dell'area investigata (Carmignani et al., 2001). Questa osservazione è confermata anche dal quarto

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

triplot (Fig. 44), che mostra le relazioni tra tutti i toponimi ambientali ed i metalli pesanti nel suolo.

Il triplot finale (Fig. 45) mostra la relazione tra i toponimi ambientali e tutti i parametri chimico-fisici e morfologici del suolo indagati, metalli pesanti inclusi. Gli assi 1 e 2 spiegano, rispettivamente il 26.0% ed il 19.7%, del totale della varianza (inerzia totale = 0.4868). Tra le correlazioni rappresentate, molte delle quali prive di significatività statistica, o già descritte nei triplots precedenti, vi è da sottolineare una chiara correlazione positiva tra densità apparente e toponimi legati alla copertura del suolo/usi del suolo (US). Come spiegato in precedenza, tali toponimi si trovano principalmente lungo le zone costiere e pianeggianti, laddove le utilizzazioni del suolo sono principalmente dedicati all'agricoltura intensiva e pascoli. Tali aree sono prevalentemente caratterizzate da suoli profondi e ben sviluppati, spesso caratterizzati da un orizzonte argillico (Alfisols e Ultisols), che può essere responsabile di problemi di drenaggio. Ovviamente, tali suoli sono generalmente caratterizzati da una elevata densità apparente generalmente a causa della prevalenza della frazione argillosa.

3.5.2. CCA relative ai pedonimi

I successivi triplots riportano le risultanze della CCA ottenute confrontando pedonimi con parametri morfologici e fisici del suolo (Fig. 46), parametri fisico-chimici senza metalli pesanti (Fig. 47), solo parametri chimici (metalli pesanti inclusi) (Fig. 48), solo metalli pesanti (Fig. 49), e tutti parametri morfologici fisico-chimici studiati, metalli pesanti inclusi (Fig. 50).

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

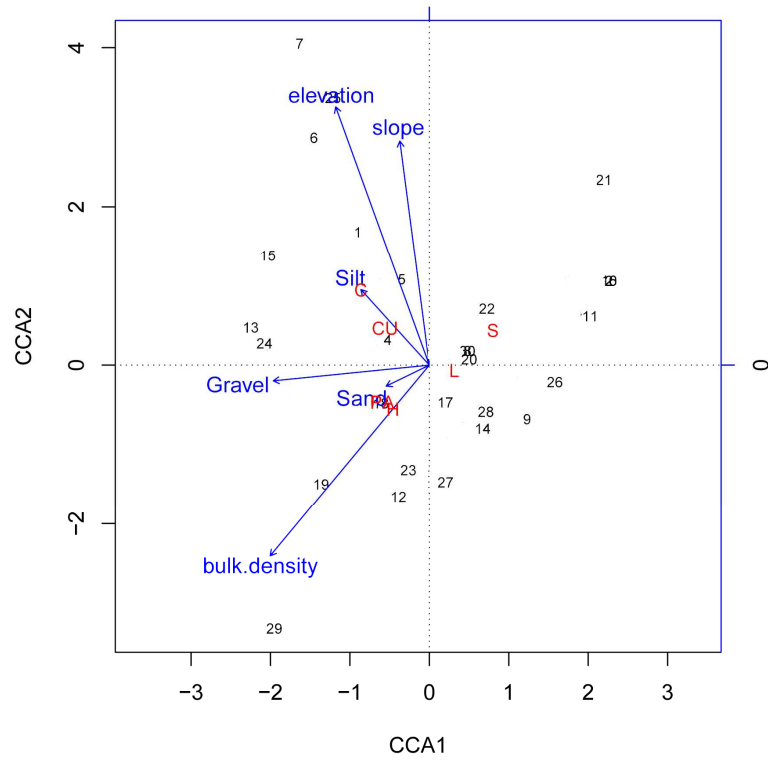


Fig. 46

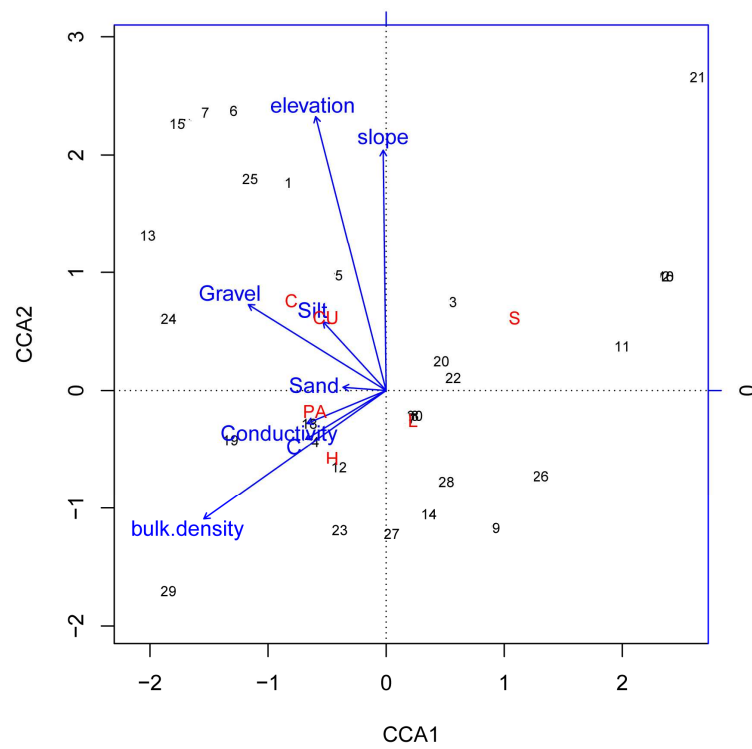


Fig. 47

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

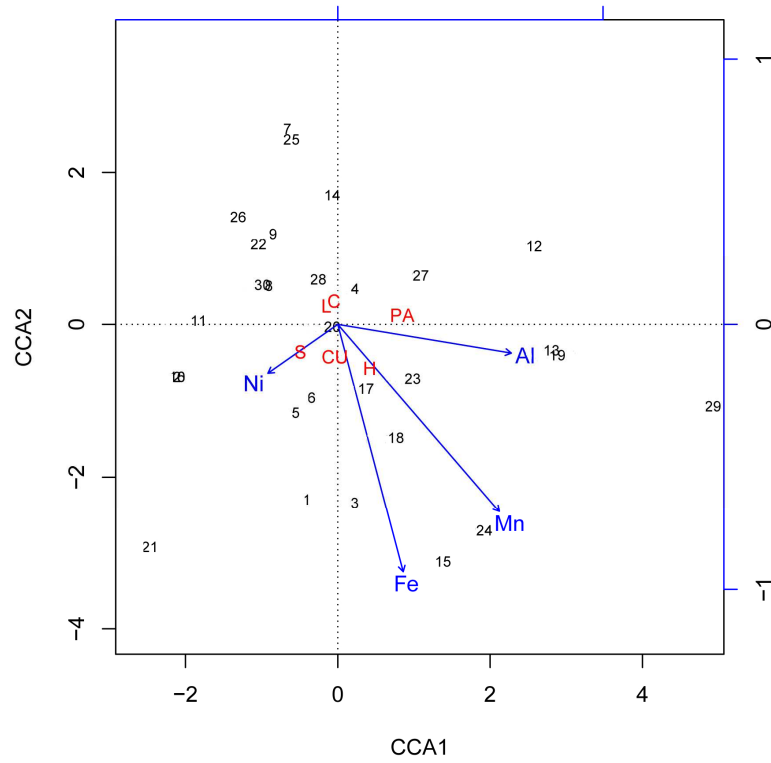


Fig. 48

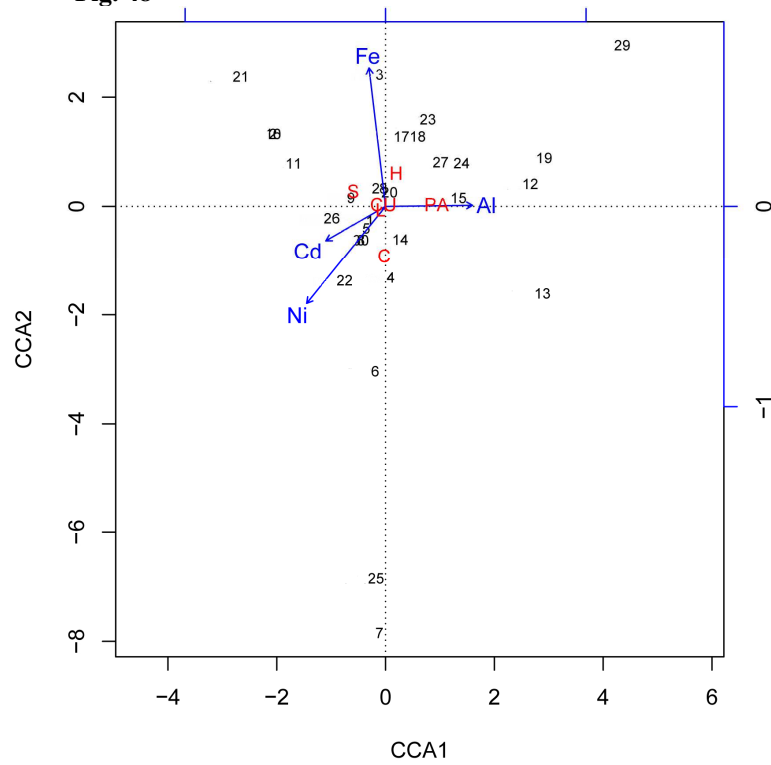


Fig. 49

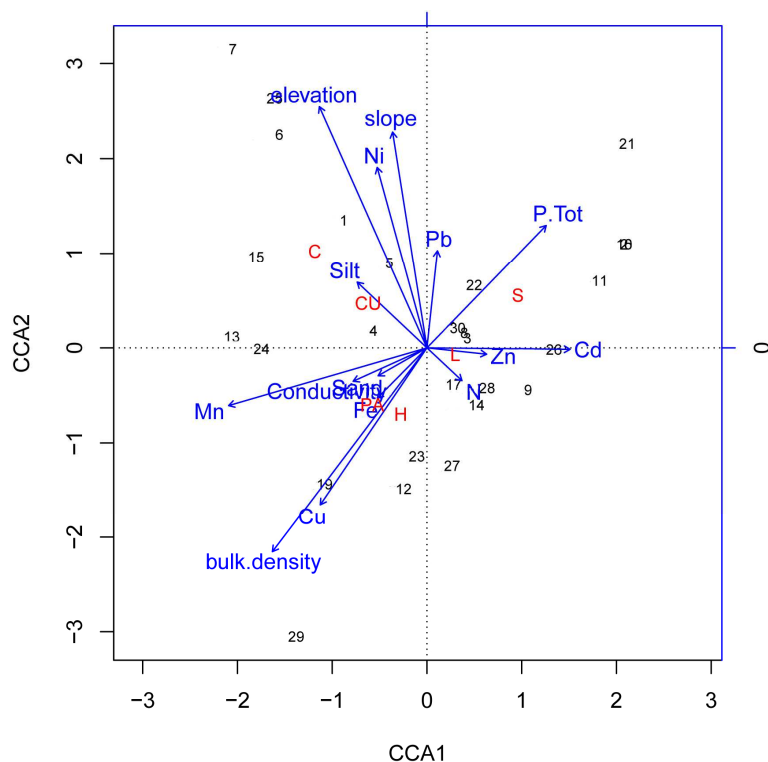


Fig. 50

Figure 46-50. Plots delle componenti principali dell'Analisi delle Corrispondenze canoniche (CCA) per i pedonimi (lettere maiuscole rosse: C = tessitura argillosa, S = tessitura sabbia, L = bassa fertilità, H = elevata fertilità, PA = gestione a pascolo, CU = gestione a colture).

Come prevedibile, quando si mettono a confronto le conoscenze scientifiche sul suolo (rappresentate da dati quantitativi sulle caratteristiche morfologiche e sulle proprietà fisico-chimiche dei suoli), e con le sole conoscenze locali sul suolo (considerando dunque solo i toponimi strettamente connessi alla risorsa suolo, i pedonimi), i rapporti statistici risultano più intensi. In generale, molti triplots (Figg. 47-50) mostrano una chiara relazione tra le frazioni più fini del suolo (come il limo) ed i pedonimi con un significato chiaramente riferibile alla natura argillosa degli stessi e/o ad una loro propensione verso una utilizzazione di tipo agricola (in particolare per la coltivazione). Inoltre, vi è anche una chiara tendenza nei triplots elaborati a mostrare una relazione tra densità apparente e pedonimi con significato legato alla gestione delle aree verso una prevalente utilizzazione a pascolo e/o zone caratterizzate da suoli con elevata fertilità.

Tutte le correlazioni precedentemente osservate e descritte, confermano in generale (come del resto anche discusso in precedenza) quanto le conoscenze locali delle antiche popolazioni sulle caratteristiche del suolo, e la loro stessa gestione, fossero assolutamente profonde, articolate ed intense. Infatti, le antiche popolazioni dell'area non solo riconoscevano chiaramente le differenze in termini di tessitura del suolo, ma erano anche in grado di

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

comprendere che i suoli caratterizzati da tessitura fine (come quelli limosi) erano in grado di ospitare specifiche e peculiari attività agricole. Infatti, sebbene tali suoli, per le loro proprietà fisiche intrinseche (come la presenza di un orizzonte argillico), presentavano alcune limitazioni (scarso drenaggio o tendenza a creare condizioni ambientali idonee alla presenza di stagni temporanei), si caratterizzavano per una elevata fertilità e conseguentemente per una maggiore capacità di ospitare diversificate attività agricole, rilevanti ai fini produttivi. Per tali ragioni, numerosi sono i pedonimi coniat per descrivere immediatamente e puntualmente tali importanti caratteristiche. Nel complesso, questo fenomeno dimostra come una delle questioni più importanti nel processo di creazione dei pedonimi fosse la fertilità ed i problemi ad essa correlati. Questa capacità di associare particolare pedonimi ad una ben specifica è stato certamente un processo che ha richiesto lunghissime ed estese interazioni con l'ambiente circostante. Durante questo lunghissimo periodo di interazioni, inevitabilmente caratterizzato da numerosi fallimenti, le antiche popolazioni locali hanno compreso quali aree fossero più adatte rispetto a determinate attività rispetto ad altre. Anche senza alcuna specifica conoscenza scientifica, ma grazie all'acquisizione di un vastissimo patrimonio culturale, derivato dall'esperienza e dalla pratica quotidiana, le popolazioni antiche furono infine in grado di circoscrivere meticolosamente e puntualmente tutte le aree caratterizzate dai suoli più fertili. I pedonimi rappresentano dunque tra le prime vere forme di Land Evaluation e classificazione dei suoli.

Conclusioni

Nel complesso, lo studio dimostra come, nel processo del "dare il nome ad un luogo", gli abitanti dell'area indagata siano sempre stati (storicamente) fortemente influenzati dal territorio circostante. Se tale influenza potrebbe di fatto ritenersi un processo abbastanza ovvio, tuttavia ci sono alcuni aspetti interessanti nella dinamica temporale in cui tale processo è avvenuto, con particolare riferimento all'intensità ed alle modalità con cui tale influenza si è evoluta nei tempi più recenti. Infatti, mentre durante il passato, l'influenza dell'ambiente circostante era così intensa e genuina che tutti i toponimi legati al territorio venivano coniat in maniera tale da spiegare le principali caratteristiche "naturali" del territorio, in tempi più recenti, i toponimi sono stati prevalentemente coniat per indicare alcune caratteristiche artificiali di un ambiente altamente antropizzato. Durante le attività di indagine sul campo è

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

stato infatti chiaramente accertato che queste caratteristiche "artificiali" possono essere attualmente considerate come veri e propri toponimi, piuttosto che come semplici "etichette" poste per indicare un oggetto cartografico. In effetti, la maggior parte degli abitanti del territorio si riferiscono in via definitiva a queste aree utilizzando questi toponimi relativamente recenti. Inoltre, anche se la maggior parte dei frequentatori e/o proprietari delle aree indagate conoscono gli antichi toponimi (come Paùli) si riferiscono attualmente a queste aree utilizzando sempre e solo questi nuovi "toponimi tecnogenici". Esempi clamorosi sono le idrovore, i canali di irrigazione e di distribuzione dell'acqua, così come gli sfioratori. In altri termini, questo risultato può probabilmente essere riassunto come un processo di evoluzione della toponomastica che, da processi di costruzione di marcata impostazione "ambientale" si è trasferita verso una tendenza prettamente tecnogenica. Questo sviluppo è assolutamente radicale, inaspettato per alcuni versi e indubbiamente sottovalutato sia in termini qualitativi che quantitativi. Un cambiamento che, come per gli antichi toponimi nelle epoche passate, potrebbe rappresentare una importantissima "testimonianza scritta" della nostra epoca, ovvero l'Antropocene. Anche se, come chiaramente dimostrato da diversi antichi toponimi, la storia delle interazioni tra uomo e ambiente può essere ricondotta a tempi antichi (comprendendo alcuni milioni di anni), non si è mai comunque arrivati alla completa trasformazione o distruzione di interi ecosistemi. Solo durante l'Antropocene (il 1800 d.C., con l'avvento della rivoluzione industriale, viene solitamente indicato, anche se non all'unanimità, come l'inizio di questa era) le attività umane hanno acquisito una capacità di impattare sugli ecosistemi naturali tale da rivaleggiare con alcune tra le più imponenti forze naturali alla base dello stesso funzionamento del sistema terrestre (Steffen et al., 2011). I toponimi tecnogenici, che a causa della loro stessa natura possono essere ricondotti a questa cornice temporale, sono una manifestazione di queste tremende forze e dei relativi impatti, come dimostrano i termini indagati nella presente ricerca. Anche se i cambiamenti biologici, fisici e chimici lasciati dagli esseri umani durante l'Antropocene possono dare un segnale più profondo di questa sorta di "rivoluzione toponimica", questo cambiamento rappresenta comunque un'importante testimonianza delle attività umane. In effetti, come mostrato clamorosamente dalla riconfigurazione toponomastica del Golfo di Oristano, la ridenominazione di un punto di riferimento geografico rappresenta spesso una conseguenza inevitabile dell'interazione, o meglio dei conflitti, tra le esigenze umane e i sistemi naturali. I nomi di luogo non sono né statici né immutabili, ma si possono caratterizzare per estrema mutevolezza e si possono originare da una combinazione tra forze naturali e umane che interagiscono tra loro, durante le

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

varie epoche storiche, con risultati talora imprevedibili. I toponimi sono un ricettacolo di tutti questi processi e complesse interazioni, con un valore storico, filosofico e scientifico che molto probabilmente deve ancora essere riconosciuto e compreso appieno e per la sua reale importanza.

Visto in un'ottica più ampia, la rivalutazione della toponomastica, ma in generale di tutto il patrimonio materiale e immateriale ascrivibile ai processi legati alle varie forme di conoscenza locale, è una tappa fondamentale per la sostenibilità dello sviluppo (specialmente delle aree rurali). Infatti esso può portare a nuovi percorsi di valorizzazione di talune specifiche risorse, alla conservazione della diversità culturale e biologica, al coinvolgimento delle persone che ne sono portatrici e del loro capitale umano (Fonte, 2009). Allo stesso tempo, alla sostenibilità di un percorso di sviluppo rurale, può contribuire non tanto una ricostruzione artificiale o una estrema codificazione della conoscenza locale, quanto il restituire ad essa capacità evolutiva e di adattamento, rimettendola in movimento, ricostruendola e ponendola in condizione di dialogare, incorporare e confutare le altre forme di conoscenza scientifica. Tra gli obiettivi finali si pongono quelli di provvedere alla costruzione, l'aggiornamento e l'implementazione di una nuova cultura della conoscenza meno gerarchica, ma sicuramente più rispettosa della varietà del capitale umano, delle comunità e dei sistemi ambientali in quei contesti in cui, sotto diverse forme, è ancora attivo il processo di creazione e uso della conoscenza locale. L'etnopedologia, configurandosi come disciplina ibrida al confine tra conoscenze prettamente scientifiche e conoscenze locali, può contribuire al raggiungimento di tali obiettivi.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Bibliografia

Agrawal A., 1995. Indigenous and scientific knowledge: some critical comments. *Development and change*; 26(3), pp 413–439.

Aitchinson, J., 1986. *The Statistical Analysis of Compositional Data*. Chapman & Hall, London.

Aru, A., Baldaccini, P., Vacca, A., Delogu, G., Dessena, M.A., Madrau, S., Vacca, S., 1991. Nota Illustrativa Alla Carta Dei Suoli Della Sardegna, Dipartimento Di Scienze Della Terra Università Degli Studi Di Cagliari. Assessorato alla Programmazione Bilancio ed Assetto del Territorio, Cagliari.

Bagheri Bodaghabadi M, Salehi MH, Martínez-Casasnovas JA, Mohammadi J, Toomanian N, Esfandiarpour Borujeni, 2011. I. Using Canonical Correspondence Analysis (CCA) to identify the most important DEM attributes for digital soil mapping applications. *CATENA*.;86(1), pp 66–74.

Barrera-Bassols, N., Zinck, J.A., 1998. The Other Pedology: Empirical Wisdom of Local People, in: *Proceedings 16th International Congress of Soil Science Montpellier*. ISSS/ AFES (<http://natres.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp45/1636-t.pdf>. Accessed 2015 October 13).

Barrera-Bassols, N., Zinck, J.A., 2003. Ethnopedology: a worldwide view on the soil knowledge of local people. *Geoderma* 111, pp 171–195.

Barrera-Bassols N, Zinck J.A., Van Ranst E., 2006. Symbolism, knowledge and management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional and local scales. *CATENA*. 65, pp 118–37.

Boven K, Morohashi J., 2002. *Best practices using indigenous knowledge*. The Hague; Paris: Nuffic ; UNESCO/MOST;.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Bouma J, Broll G, Crane TA, Dewitte O, Gardi C, Schulte RP, et al., 2012. Soil information in support of policy making and awareness raising. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 4(5), pp 552–8.

Brandl M, Hauzenberger C, Postl W, Martinez MM, Filzmoser P, Trnka G., 2014. Radiolarite studies at Krems-Wachtberg (Lower Austria): Northern Alpine versus Carpathian lithic resources. *Quaternary International*; 351, pp 146–62.

Berg, L., Vuolteenaho, J.B. (Eds.), 2009. *Critical Toponymies: Contested Politics of Place Naming*. Ashgate, Aldershot.

Braudel, F., 1972. *The Mediterranean and the Mediterranean World in the Age of Philip II*. Harper & Row, New York.

Berg, L., Vuolteenaho, J.B. (Eds.), 2009. *Critical Toponymies: Contested Politics of Place Naming*. Ashgate, Aldershot.

Braudel, F., 1972. *The Mediterranean and the Mediterranean World in the Age of Philip II*. Harper & Row, New York.

Buccianti A., Tassi F., Vaselli O., Nisi B., Cantucci B., Montegrossi G. Modellizzazione delle variazioni composizionali delle specie dell'azoto (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻) nelle acque di falda del Comune di Arezzo (Toscana). In: 8° Giornata Mondiale dell'Acqua - Acque Interne in Italia: uomo e natura. 2008; Atti, pp. 185 - 196. (Atti dei Convegni Lincei, vol. 250). Accademia Nazionale dei Lincei.

Capra, G.F., Ganga, A., Duras, M.G., Buondonno, A., Grilli, E., Gaviano, C., Vacca, S., 2015. Ethnopedology in the study of toponyms connected to the indigenous knowledge on soil resource. *PLoS ONE* 10 (3), e0120240.

Capra GF, Ganga A, Filzmoser P, Gaviano C, Vacca S., 2016. Combining place names and scientific knowledge on soil resources through an integrated ethnopedological approach. *CATENA*; 142, pp 89–101.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Carmignani, L., Oggiano, G., Barca, S., Conti, P., Salvadori, I., Eltrudis, A., Funedda, A., Pasci, S., 2001. Memorie Descrittive Della Carta Geologica d'Italia, Istituto Poligrafico e Zecca Dello Stato, Roma.

Casalis G., 1846. Dizionario Geografico Storico-Statistico-Commerciale degli Stati di S. M. il Re di Sardegna. Ed. Anastatica, Torino. Estratto delle voci riguardanti i paesi del Campidano.
Caterini, F., 2013. Colpi Di Scure e Sensi Di Colpa. Storia del Disboscamento Della Sardegna Dalle Origini a Ogg. Carlo Delfino editore, Sassari.

Colombo, C., Miano, T. (Eds.), 2015. Metodi Di Analisi Chimica del Suolo, Ministero Delle Politiche Agricole Alimentari E Forestali, Società Italiana Della Scienza del Suolo. Associazione Italiana dei Laboratori di Agrochimica, Modugno.

Coates, R.A., 2006. Properhood. *Language* 82 (2), 356–382.

Conklin H.C., 1957. Hanunnó Agriculture: A Report on an Integrated System of Shifting Cultivation in the Philippines. FAO, Rome.

Metodi Di Analisi Chimica del Suolo, Ministero Delle Politiche Agricole Alimentari E Forestali, Società Italiana Della Scienza del Suolo. Associazione Italiana dei Laboratori di Agrochimica, Modugno.

Dedola S., 2012. La toponomastica in Sardegna. Grafica del Parteolla, Dolianova.

Derungs, C., Wartmann, F., Purves, R.S., Mark, D.M., 2011. The meanings of the generic parts of toponyms: use and limitations of gazetteers in studies of landscape terms. In: Tenbrink, T., Stell, J., Galton, A., Wood, Z. (Eds.), *Spatial Information Theory Lecture Notes in Computer Science* Vol. 8116. Springer, Berlin, pp. 261–28.

De Queiroz J.S., Norton B.E., 1992. An assessment of an indigenous soil classification used in the Caatinga region of Ceara state, Northeast Brazil. *Agricultural Systems* 39, 289-305.

Egozcue, J.J., Pawlowsky-Glahn, V., Mateu-Figueras, G. et al., 2003. Isometric Logratio Transformations for Compositional Data Analysis- *Mathematical Geology* 35: 279

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Elerie, H., Spek, T., 2010. The cultural biography of landscape as a tool for action research in the Drentsche Aa National Landscape (Northern Netherlands). In: Bloemers, J.H.F Kars, H., van der Valk, A., Wijnen, M. (Eds.), *The Cultural Landscape Heritage Paradox. Protection and Development of the Dutch Archaeological-Historical Landscape and its European Dimension*. Amsterdam University Press, Amsterdam, pp. 83–113.

Ellen RF, Parkes P, Bicker A., 2000. Indigenous environmental knowledge and its transformations: critical anthropological perspectives. Accessibile all'URL: <http://site.ebrary.com/id/10165973>

Fara, G., 1838. *De Chorographia Sardiniae Libri Duo - 2: Continens Lib. I. et II. de Rebus Sardois*, Monteverde, Cagliari.

Fonte, M., 2009. La conoscenza locale, una componente negletta del capitale umano nelle aree rurali. *Agriregionieuropa* anno 5 n°16, accessibile all'URL:

<file:///C:/Users/Antonio/Documents/uniss/Tesi/Dati/References/3/La%20conoscenza%20locale,%20una%20componente%20negletta%20del%20capitale%20umano%20nelle%20aree%20rurali%20%20Agriregionieuropa.html>

Fraumene C., Petretto E., Angius A., Pirastu, M., 2003. Striking differentiation of sub-populations within a genetically homogenous isolate (Ogliastra) in Sardinia as revealed by mtDNA analysis. *Human Genetics* 114, 1-10.

Fuchs, R., Herold, M., Verburg, P.H., Clevers, J.G.P.W. & Eberle, J. 2015. Gross changes in reconstructions of historic land cover/use for Europe between 1900-2010. *Global Change Biology*, 21(1), 299–313. doi: 10.1111/gcb.12714

Gaviano, C., 2015. *Analisi Diacronica, Pedogeochemica ed Etnopedologica per lo Studio dell'Evoluzione Storico-Territoriale e delle Condizioni Attuali dei Suoli e del Paesaggio. La Fascia Costiera dell'Ambito di Paesaggio “Golfo di Oristano” (Sardegna Centro-Occidentale)*. Università degli Studi di Cagliari, Cagliari Ph.D. Thesis.

Grounds, R., 2001. Tallahassee, Osceola, and the hermeneutics of American place names. *J.*

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Am. Acad. Relig. 69,pp 287–322.

Herman, R., 1999. The aloha state: place names and the anti-conquest of Hawai'i. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 89, 76–102. Hollis, J., Valentine, T., 2001. Proper-name processing: are proper names pure referencing expressions? *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 27 (1),pp 99–116.

Hejzmanová-Nežerková, P., Hejzman, M. A canonical correspondence analysis (CCA) of the vegetation–environment relationships in Sudanese savannah, Senegal. *South African Journal of Botany*, Volume 72 Issue 2. 2006; Pages 256-262, ISSN 0254-6299.

Houde N., 2007. The six faces of traditional ecological knowledge: challenges and opportunities for Canadian co-management arrangements. *Ecology and Society*.12(2), pp 34.

Kadmon, N., 2000. *Toponymy: The Lore, Laws and Language of Geographical Names*. Vantage Press, New York. Levinson, S.C., 2011. Foreword. In: Mark, D.M., Turk, A.G., Burenhult, N., Stea, D. (Eds.), *Landscape in Language: Transdisciplinary Perspectives*. John Benjamins, Amsterdam, p. ix.

Klami et al., 2013, Bayesian Canonical Correlation Analysis. *Journal of Machine Learning Research* 14, pp 965-1003

Krasilnikov PV, Tabor JA., 2003. Perspectives on utilitarian ethnopedology. *Geoderma*.;111(3), pp 197–215.

Liang J, Hua S, Zeng G, Yuan Y, Lai X, Li X, et al., 2015. Application of weight method based on canonical correspondence analysis for assessment of Anatidae habitat suitability: A case study in East Dongting Lake, Middle China. *Ecological Engineering*;77, pp 119–26.

Levinson, S.C., 2011. Foreword. In: Mark, D.M., Turk, A.G., Burenhult, N., Stea, D. (Eds.), *Landscape in Language: Transdisciplinary Perspectives*. John Benjamins, Amsterdam, p. ix.

LuoW., Hartmann J.F., Wang F., 2010. Terrain characteristics and Tai toponyms: a GIS analysis of Muang, Chiang and Viang. *GeoJournal*, Vol. 75, No. 1, pp. 93-104

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Mark, D.M., Turk, A.G., 2003. Landscape categories in Yindjibarndi: ontology, environment, and language. In: Kuhn, W., Worboys, M.F., Timpf, S. (Eds.), *Spatial Information Theory: Foundations of Geographic Information Science* Lecture Notes in Computer Science Vol. 2825. Springer, Berlin, pp. 28–45.

Mercer J, Domineyhowes D, Kelman I, Lloyd K., 2007. The potential for combining indigenous and western knowledge in reducing vulnerability to environmental hazards in small island developing states. *Environmental Hazards*.7(4), pp 245–56.

Miglior, I., 1987. *I Comuni Della Sardegna: Origine e Significato Dei Nomi Di Città, Paesi, Villaggi e Contrade Di Campagna*. Pisano, Cagliari.

Mori A., 1972. *Memoria illustrativa della carta della utilizzazione del suolo della Sardegna*. Consiglio nazionale delle ricerche, Roma.

Nasrollahzadeh HS, Din ZB, Makhloogh A. 2008. Variations in nutrient concentration and phytoplankton composition at the euphotic and aphotic layers in the Iranian Coastal Waters of the southern Caspian Sea. *Pak J Biol Sci* 11(9), pp 1179-1193.

Oudwater N, Martin A., 2003. Methods and issues in exploring local knowledge of soils. *Geoderma*;111(3): pp 387–401.

Payton RW, Barr JJE, Martin A, Sillitoe P, Deckers JF, Gowing JW, et al., 2003 Contrasting approaches to integrating indigenous knowledge about soils and scientific soil survey in East Africa and Bangladesh. *Geoderma*.;111(3): pp 355–386.

Paulis, G., 1987. *I Nomi Di Luogo Della Sardegna*. Carlo Delfino editore, Sassari.

Paulis G., 2009. Elementi di conservatività, dinamiche di cambiamento e decadenza dei toponimi sardi. In “Numenes de logu. I nomi di luogo in Sardegna tra toponomastica storica e politica linguistica”, Primo Seminario regionale di studi sulla toponomastica nell'ambito del progetto “Atlante Toponomastico Sardo”, Orosei (Nuoro), Club Hotel Marina Beac 11-12 luglio 2009. <http://www.sardegna.digitalibrary.it/index.php?xsl=626&id=298352>

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Pierotti R. J., 2010. *Indigenous knowledge, ecology, and evolutionary biology*. New York: Routledge.

Pittau, M., 2013. *Toponimi della Sardegna Meridionale*. (http://www.pittau.it/Sardo/top_sard_meridionale.html. Accessed 2015 October 13).

Raffestin C., 1977. *Paysage et territorialité*. *Cahiers de Géographie de Quebec* 21, 123-134.

Regione Autonoma della Sardegna, 2007. *Piano Regionale Forestale*. All. 1 Schede Descrittive di Distretto. Distretto 15—Sinis-Arborea. Assessorato della Difesa dell'Ambiente, Cagliari.

Rose-Redwood, R., Alderman, D., Azaryahu, M., 2010. *Geographies of toponymic inscription: new directions in critical place-name studies*. *Prog. Hum. Geogr.* 34 (4), pp 453–470.

Salminen, T., 1993. *UNESCO Red Book on Endangered Languages: Europe*. Helsingin Yliopisto, Helsinki.

Satta M., 2009. *Il progetto dell'Atlante Toponomastico Sardo*. In “*Numenes de logu. I nomi di luogo in Sardegna tra toponomastica storica e politica linguistica*”, Primo Seminario regionale di studi sulla toponomastica nell'ambito del progetto “*Atlante Toponomastico Sardo*”, Orosei (Nuoro), Club Hotel Marina Beac 11-12 luglio 2009. Accessibile all'Url : <http://www.sardegna.digitallibrary.it/index.php?xsl=626&id=298352>

Scanu, G., Podda, C., 2007. *Interazione tra nomi di luogo e Web Gis nel caso dell'Atlante toponomastico sardo*. 11th ASITA National Conference. Centro Congressi Lingotto, Torino.

Senes A., 1984. *Curiosità del vocabolario sardo*. Edizioni Gallizzi, Sassari.

Scardi M., 2009. *Tecniche Di Analisi dei Dati in Ecologia*, Dipartimento di Biologia, Università di Roma “Tor Vergata”.

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Sherry, A., Henson, R.K., 2005. Conducting and interpreting canonical correlation analysis in personality research: a user-friendly primer. *J. Pers. Assess.* 84 (1), pp 37–48.

Siderius, W., de Bakker, H., 2003. Toponymy and soil nomenclature in the Netherlands. *Geoderma* 111, pp 521–536.

Sillitoe P., 1998a. What, know natives? Local knowledge in development. *Social Anthropology* 6, 203-220.

Sillitoe P., 1998b. Knowing the land: soil and land resource evaluation and indigenous knowledge. *Soil Use and Management* 14, 188-193.

SITRAS-Sistema Informativo Territoriale della Regione Autonoma della Sardegna, 2012n. Sardegna Geoportale. Ricerca Toponimi. Regione Autonoma della Sardegna, Cagliari <http://webgis.regione.sardegna.it/ricercatoponimi/http://webgis.regione.sardegna.it/ricercatoponimi>.

Soil Survey Staff, 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P., McNeill, J., 2011. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A* 369 (1938), pp 842–867.

Talawar S., Rhoades R.E., 1998. Scientific and local classification of soils. *Agriculture and Human Values* 15, 3-14.

The R Development Core Team, 2015. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.R-project.org/>.

Ter Braak C. J. F., 1986, Canonical Correspondence Analysis: A New Eigenvector Technique for Multivariate Direct Gradient Analysis. *Ecology*. 1986; No 5, 1167 - 1179

Ter Braak C. J. F., 1987, The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence Analysis. *Vegetatio* 1987; 69: 69-77

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

Ter Braak, C.J., Verdonschot, P.F. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences*. 1995; 57 (3), pp. 255-289.

Turco A., 1988. Verso una teoria geografica della complessità. Unicopli, Milano.

Turco A., 2000. Pragmatiche della territorialità: competenza, scienza, filosofia. *Boll. Soc. Geogr. Ital.* 5(1-2), 11-22.

Turco A., 2002. Paesaggio: pratiche, linguaggi, mondi. In "Paesaggio: pratiche, linguaggi, mondi" (a cura di) Turco A. Diabasis, Reggio Emilia, 7-52.

UNESCO, 2003. Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage. UNESCO, Paris.

UNESCO, 2008. Strong Roots for Sustainable Development. Local and Indigenous Knowledge Systems, LINKS Programme. National Cultural Centre, Vanuatu (http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/pub_LINKS_roots.jpg. Accessed 2015 October 13).

Vallega A., 2003. Geografia culturale. Luoghi, spazi, simboli, Torino, UTET.

van Dommelen, P., 1998. On Colonial Grounds. A Comparative Study of Colonialism and Rural Settlement in First Millennium BC West Central Sardinia Ph.D. Thesis Archaeological Studies Leiden University, Leiden University.

Vlam A.W., 1948. Historische geografie en bodemkunde (Historical geography and soil science). *Boor en Spade I*, 68-70.

Vlam A.W., 1951. De kadastrale archieven en hun betekenis voor de bodemkunde (The cadastral archives and their significance to the pedologist). *Boor en Spade IV*, 326-335.

Virdis, M., 2009. Gli studi di toponomastica sarda: riflessioni e prospettive. *Proceedings "Numenes de logu. I nomi di luogo in Sardegna tra toponomastica storica e politica"*

Parte 3 - L'indagine etnopedologica integrata: i toponimi dell'oristanese e la conoscenza del suolo.

linguistica”, Primo seminario Regionale di Studi sulla Toponomastica nell'Ambito del Progetto “Atlante Toponomastico Sardo”, Orosei.

Wagner, M.L., 1950. *La Lingua Sarda. Storia, Spirito e Forma*, A. Francke, Bern.

Wagner, M.L., 1964. *Dizionario Etimologico Sardo. Volume 1–3*. Carl Winter, Heidelberg.

Wang F, Hartmann J, Luo W, Huang P., 2006 GIS-based spatial analysis of Tai place names in southern China: an exploratory study of methodology. *Geographic Information Sciences*;12(1), pp 1–9.

Warbuton, H., Martin, A., 1999. Local peoples' knowledge: its contribution to natural resource research and development. In: Grant, I.F., Sear, C. (Eds.), *Decision Tools for Sustainable Development*. Natural Resources Institute, Chatham, pp. 66–96.

WinklerPrins AM, Sandor JA., 2003. Local soil knowledge: insights, applications, and challenges. *Geoderma*;111(3): pp 165–170.

Withers, C., 2000. Authorizing landscape: ‘authority’, naming and the ordnance Survey's mapping of the Scottish highlands in the nineteenth century. *J. Hist. Geogr.* 26, pp 532–554.

Conclusioni

Le indagini portate avanti hanno consentito di aggiungere ulteriori informazioni al quadro conoscitivo dell'area oggetto di studio, all'interno di una cornice caratterizzata da una notevole complessità ambientale. Malgrado il grande volume di dati, di analisi e di materiale cartografico disponibile per l'ambito territoriale trattato, in fase di valutazione e studio preliminare è emersa la necessità di procedere attraverso l'impiego di strumenti di indagine che consentissero di approfondire determinati settori conoscitivi. Nello specifico, si sono condotte due attività principali:

- Ricostruire spazialmente, su scala regionale (o meglio sub-regionale) fenomeni ambientali la cui conoscenza è al momento frammentaria, incompleta e spazialmente non distribuita, come nel caso dei Elementi potenzialmente tossici (Potentially Toxic Elements, . La distribuzione dei PTE nell'area studio è infatti indagata in maniera puntiforme, legata quindi alle attività di campionamento tradizionali, o nel migliore dei casi in dettaglio solo per alcune aree maggiormente sensibili. L'analisi geostatistica si configura in questo ambito come uno degli strumenti più adatti a rispondere a questo tipo di esigenza;
- Acquisire nuove informazioni, attraverso il confronto, l'analisi e l'integrazione del "comune" sapere scientifico con forme di conoscenza locale. All'atto pratico, costruendo di fatto una forma di conoscenza dei suoli (in particolare, ma non solo). Benché all'apparenza meno scrupoloso e aderente alla realtà osservabile, il risultato di questo tipo di approccio è stato particolarmente significativo. Infatti, oltre a ricostruire dinamiche di gestione del territorio passate o evolutesi "sottotraccia" accanto a modelli più leggibili nel territorio, ha fornito un quadro conoscitivo della risorsa suolo potenzialmente più efficace e consapevole.

Muovendo da queste considerazioni, che hanno fornito lo spunto per ulteriori elementi di indagine e approcci, si è proceduto con lo studio di un modello che fosse il più possibile adeguato a confrontarsi con la realtà manifestata dall'area di studio. Questo ha ovviamente comportato una ricognizione ordinata delle conoscenze generali e specifiche esistenti, nonché delle indagini sul campo. Le attività di campionamento dei suoli, coadiuvate dalle analisi laboratorio, hanno permesso una prima efficace ricostruzione pedo-geo-chimica dell'area indagata. Questa prima acquisizione è stata la base per le successive indagini e i risultati delle

Conclusioni

analisi di laboratorio sui parametri chimici e fisici hanno costituito il dataset di base per le elaborazioni.

In primo luogo i dati relativi al campionamento delle concentrazioni di PTE sono stati infatti impiegati per ottenere una mappatura della loro distribuzione. Quest'ultima è realizzata attraverso elaborazioni geostatistiche organizzate e formalizzate secondo uno schema di procedure ottimizzato per le esigenze di questa ricerca. Il processo di implementazione, passaggio obbligato per tutte le tipologie di analisi geostatistiche, è stato di fatto il primo risultato ottenuto. Oltre all'efficacia valutabile nel contesto in cui si è operato, esso costituisce uno strumento che mostra alcuni caratteri di replicabilità per fenomeni e contesti spaziali simili a quelli affrontati. L'area studiata è in un certo senso paradigmatica, perché, dal punto di vista geografico si configura come unità spaziale ben definita e quindi come un sistema in qualche modo "compiuto" che si presta a valutazioni di continuità spaziale di fenomeni ambientali. Lo strumento geostatistico impiegato è stato sviluppato in una serie di fasi, che sono andate dall'analisi esplorativa dei dati a quella variografica, fino alla modellazione finale attraverso l'uso del Kriging Ordinario. La restituzione cartografica attraverso le mappe di predizione è stato il risultato principale di questa fase e ha riguardato la distribuzione spaziale delle concentrazioni di quattro PTE (Ni, Zn, Cu, As). I risultati ottenuti, validati anche dalla PFA, hanno consentito di evidenziare da un lato, il forte legame della concentrazione di determinati elementi con le condizioni pedologiche e geologiche dell'area, e dall'altro l'emergere di alcuni contesti spaziali spesso ben definiti. È il caso ad esempio dell'ex sito minerario afferente alla Piana del Sitzzerri, che costituisce anche l'unica zona che registra valori di concentrazione di alcuni elementi ben sopra i limiti di legge. Una sorgente non trascurabile di alte concentrazioni è anche il sistema urbano-agricolo che domina la parte centrale dell'area. Se per alcuni di questi la fonte di contaminazione è stata piuttosto semplice da identificare (attività estrattiva), in altri casi, quali ad esempio la localizzazione della concentrazione di As nel settore settentrionale dell'area di studio, le sorgenti di questo fenomeno si possono ricercare in diverse direzioni. Per questo motivo il modello di distribuzione spaziale ha consentito di identificare le emergenze più significative, subordinando ad analisi di dettaglio, da effettuare a scala differente, la ricerca di maggiori informazioni. Anche confrontando i risultati ottenuti dalle elaborazioni statistiche con le cartografie tematiche relative agli usi del suolo si è potuto evidenziare una certa correlazione tra concentrazioni di PTE e attività agricole e presenza di centri urbani. Anche in questi casi, l'individuazione di questi scenari deve essere seguita da una successiva attività di rilievo

Conclusioni

maggiormente dettagliato. I risultati ottenuti consentono anche di fare una prima valutazione del metodo di campionamento scelto per l'indagine pedo-geo-chimica. La numerosità dei campioni è influenzata pesantemente da fattori esterni alla scelta del piano campionario (tempi e costi in primis) ma la scelta di una maglia regolare ha consentito un monitoraggio più efficiente e diminuito la variabilità spaziale. Un infittimento della maglia in alcune aree (selezionate ad esempio sulla base delle mappe degli errori, o su i contesti più critici) potrebbe costituire un'importante deriva della ricerca sin qui portata avanti.

L'indagine etnopedologica ha prodotto una serie di risultati estremamente interessanti. L'approccio integrato si è dimostrato efficace perché ha fornito la chiave metodologica più potente per incrociare gli elementi della conoscenza locale con quelli scientifici. Ciò è stato possibile anche grazie all'estrema praticità della base dati costituita dal patrimonio toponomastico georiferito che si è riusciti a costruire a partire dal lavoro di archiviazione. Le successive operazioni di traduzione, categorizzazione georeferenziazione del patrimonio toponomastico hanno consentito dei primi risultati. Ad esempio confronto tra alcuni pedonimi e le attuali carte dei suoli hanno mostrato significative corrispondenze, così come sono emersi importanti evidenze sul rapporto con le altre caratteristiche ambientali, specialmente quelle legate alle forme del territorio. La CCA, strumento statistico la cui validità in campo ecologico è da mezzo secolo nota, ha consentito in questa ricerca di validare e supportare con evidenza statistica la corrispondenza tra le conoscenze locali, "nascoste" tra i toponimi (e tra questi i pedonimi), e quelle più rivelate della ricerca scientifica. La ricerca in questa direzione ha mostrato con sufficiente chiarezza importanti processi di studio, riconoscimento e classificazione *ante-litteram* della risorsa suolo (ma non solo) da parte delle comunità ancestrali.

In definitiva, relazione tra alcune caratteristiche fisiche e chimiche dei suoli studiati e i pedonimi impiegati per descrivere le località, mostrano l'estrema capacità di procedere ad una valutazione dell'attitudine dei luoghi ad ospitare attività agricole da parte degli abitanti indigeni. Tutto ciò in effetti, operando una lettura del territorio che sopravvive ancora oggi, anche se in alcuni limitati ambiti spaziali.

Infatti lo studio più in generale dell'evoluzione della toponomastica ha permesso di evidenziare come la riconfigurazione spaziale dei luoghi a seguito di importanti opere artificiali abbiano influenzato (e influenzino ancora oggi) in maniera determinante il processo di riconoscimento dei luoghi attraverso i toponimi e quindi anche l'evoluzione della

Conclusioni

conoscenza locale. Questi processi di avvicendamento tra toponimi ambientali e tecnogenici (legati alla presenza di manufatti e opere umane in generale) sono visibili con chiarezza nell'area studio e potrebbero costituire un interessante fonte di conoscenza (per buona parte ancora inesplorata), nonché inequivocabile testimonianza dell'attività umana nell'antropocene.