



Università degli Studi di Cagliari

DOTTORATO DI RICERCA

Difesa e Conservazione del Suolo, Vulnerabilità Ambientale e Protezione Idrogeologica
Ciclo XXVII

**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)**

Settori scientifico disciplinari di afferenza

GEO/04
AGR/14

Presentata da:	Dott.ssa Carla Gaviano
Coordinatore Dottorato	Prof. Felice Di Gregorio Prof. Giorgio Ghiglieri
Tutor	Prof. Felice Di Gregorio Prof. Sergio Vacca Dott. Gian Franco Capra

Esame finale anno accademico 2013 – 2014





Carla Gaviano

gratefully acknowledges Sardinia Regional Government for the financial support of her PhD scholarship (P.O.R. Sardegna F.S.E. Operational Programme of the Autonomous Region of Sardinia, European Social Fund 2007-2013 - Axis IV Human Resources, Objective 1.3, Line of Activity 1.3.1.)

Abstract

Diachronic, pedo-geochemical, and ethno-pedologic analysis for the study of the historical-territorial evolution and of the current soils and landscape conditions. The coastal zone of the Landscape Area "Gulf of Oristano" (central-western Sardinia).

This research aims to show a possible integrated approach to the study of the coastal zone of the Gulf of Oristano, characterized by a complex and delicate environmental system and a production context historically significant in terms of agriculture. The purpose is to propose a tool for knowledge of the area through the analysis of the existing relationship between:

- the landscape and its transformations, mostly related to the use and land cover;
- the soil, which is one of the fundamental components of the landscape;
- local knowledge expressed with toponyms (place names), which are often originated by the characteristics of the landscape to which they relate and contribute to the formation of the social representation of a territory.

The starting point of the study has been the consciousness that in the last century the study area has undergone an intense transformation. A careful analysis of the evolutionary processes of land use and landscape has been performed, based on comparison of historical and geographical information of maps and orthophotos available for the study area, in order to understand the historical matrix of the landscape and recognize the stays and the changes imposed on the territory as a result of the man-environment interaction.

Specifically, the study area has undergone a deep reconfiguration mainly due to the activities of land reclamation and to important changes towards the artificial land use of previously agricultural or natural/semi-natural areas. The soil consumption has been defined, as well as on a quantitative basis, also on the basis of the quality of the soils affected by the process of consumption. Soils mostly consumed in the period considered (1954-2008) belong to the intermediate classes of land capability.

Bearing in mind that the soil functions can be defined in terms of chemical, physical and biological properties and related processes, the present study (carried out in collaboration with national and foreign research institutions) has determined in first analysis the parameters that give a general idea of the specific environmental system under study (physico-chemical analysis) and then has proceed with more specific surveys (biochemical analysis and analysis on PTEs - *Potentially Toxic Elements*), in order to perform a screening of the "state of health" and define the quality of soil in relation to different uses.

The physico-chemical and pedo-geochemical survey has allowed to determine the quality level of the investigated soils and to differentiate the anthropic or geogenic/pedogenic origin of potential contaminants (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni and As).

It has been found that in the investigated area there is a form of punctual contamination quite limited and certainly not widespread. The data processing has showed that, with the exception of areas in which the contamination is clearly anthropic (River Sitzzerri valley) or where the contamination is supposed (areas locally contaminated by Cu), the main factors that control the distribution and the concentration of PTEs in the study area are related to natural geological and pedological conditions.

The evaluation of the effects of land use on soil quality has been based on the determination of biochemical parameters used as indicators of soil quality in response to land use representative of the study area (agricultural fields, Mediterranean scrub, garrigue, eucalyptus plantations, stands of pine, uncultivated).

The biochemical analysis have examined the determination of enzymatic activities related to four soil enzymes (*dehydrogenase*, indicative of overall metabolic activities of microorganisms in soil and *beta-glucosidase*, *phosphatase* and *protease*, hydrolytic enzymes connected to the carbon, nitrogen and phosphorus cycle) and the determination of *glomalin* (glycoprotein produced by arbuscular mycorrhizal fungi).

It has been found that the variations in the measured enzymic activities and glomalin are related to the diversity of land uses. These parameters indeed increase mainly as a function of the input of organic matter and of the availability of substrates, and decrease in function of anthropic interference, showing always medium-low values in soils under stands of pine and agricultural fields, while high values are always related to the Mediterranean scrub and the eucalyptus plantations.

Moreover in the research, in the light of the fact that the landscape (of which the soil is an integral part) can be considered as a mirror of all the local knowledge and perceptions of the lived space, it has been investigated through an ethno-pedologic integrated approach on the meaning and distribution of toponyms, with particular reference to those related to the soil resources (*pedonyms*) of the 14 municipalities bordering the coastal zone of the Gulf of Oristano.

This approach has helped to identify the correspondence between local knowledge (deduced from the meaning of toponyms) and the scientific one (analytical parameters and information related to soil classification). The most important result of the research provides statistical evidence of the fact that the inhabitants of the study area, although not possessing the appropriate scientific expertise (at least in the past), have tried over time to distinguish the various types of soil and give them a name according to the characteristics of the soil especially related to fertility, the knowledge of which allowed to make the best use of the soils for agricultural purposes.

INDICE

CAPITOLO 1. INTRODUZIONE	1
1.1 Analisi diacronica delle dinamiche evolutive del territorio	1
1.2 Caratterizzazione fisico-chimica, biochimica e pedogeochimica dei suoli	5
1.3 L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo	8
1.4 Bibliografia	9
CAPITOLO 2. OBIETTIVI DELLA RICERCA	12
CAPITOLO 3. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	15
3.1 Localizzazione geografica	16
3.2 Inquadramento climatico	19
3.3 Inquadramento geologico e geomorfologico	23
3.3.1 Caratteri geologici	23
3.3.2 Caratteri geomorfologici	38
3.4 Unità Pedologiche Cartografiche	43
3.5 Uso e copertura del suolo	61
3.6 Idrografia superficiale	67
3.6.1 Principali corsi d'acqua	67
3.6.2 Zone umide	69
3.6.3 Genesi ed evoluzione di corsi d'acqua e zone umide	72
3.7 Lineamenti del paesaggio	76
3.7.1 Unità di paesaggio	79
3.8 Aspetti vegetazionali	81
3.8.1 Piano Forestale Ambientale Regionale	81
3.8.2 Carta della Natura	90
3.9 Aree di rilevante interesse naturalistico e geoambientale soggette a tutela	91
3.10 Bibliografia	98
CAPITOLO 4. ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'ASSETTO TERRITORIALE	102
4.1 Premessa	103

4.2	Materiali e metodi	103
4.3	Risultati	105
4.3.1	Il paesaggio della bonifica	105
4.3.2	Le riforme agrarie in Sardegna	117
4.3.3	Analisi dei processi di trasformazione	121
4.3.4	Dinamiche dell'uso e copertura del suolo	123
4.4	Conclusioni	130
4.5	Allegato	131
4.6	Bibliografia	137
 CAPITOLO 5. CARATTERIZZAZIONE FISICO-CHIMICA, BIOCHIMICA E PEDOGEOCHIMICA DEI SUOLI		 141
5.1	Materiali e metodi	142
5.1.1	Scelta dei punti di campionamento e analisi di laboratorio	142
5.1.1.1	<i>Usi del suolo studiati</i>	148
5.1.1.2	<i>Analisi chimico-fisiche</i>	163
	Umidità	164
	Densità Apparente	164
	Analisi granulometriche	164
	pH	167
	Conducibilità elettrica	169
	Carbonati totali	170
	Carbonio organico e sostanza organica	172
	Azoto totale	173
	Fosforo totale	175
	Capacità di Scambio Cationico	176
5.1.1.3	<i>Analisi dei metalli pesanti - Potentially Toxic Elements (PTEs)</i>	178
	Determinazione del contenuto dei metalli	181
5.1.1.4	<i>Analisi biochimiche</i>	183
	Attività enzimatiche	183
	Determinazione delle attività enzimatiche	184
	β-Glucosidasi	185
	Fosfatasi	186
	Proteasi	187

Deidrogenasi	188
<i>Glomalina</i>	189
Determinazione della glomalina totale (BRSP)	192
Determinazione del carbonio dell'estratto della glomalina	193
<i>5.1.1.5 Elaborazioni statistiche</i>	195
<i>5.1.1.6 Indici di contaminazione del suolo</i>	196
I PARTE	199
5.2. Indagine fisico-chimica e pedogeochimica complessiva	199
5.2.1 Risultati e discussione	199
<i>5.2.1.1 Tabella dei risultati</i>	202
<i>5.2.1.2 Descrizione dei suoli prevalenti</i>	207
<i>5.2.1.3 Principali caratteristiche chimico-fisiche dei suoli</i>	208
<i>5.2.1.4 Potentially Toxic Elements (PTEs)</i>	216
<i>5.2.1.5 Indici di contaminazione del suolo</i>	243
<i>5.2.1.6 Analisi statistica multivariata (PFA)</i>	245
5.2.2 Conclusioni	249
5.2.3 Allegato	253
II PARTE	254
5.3 Valutazione degli effetti del <i>land use</i> sulla qualità del suolo	254
5.3.1 Risultati e discussione	254
<i>5.3.1.1 Parametri chimico-fisici e pedogeochimici</i>	254
Tabelle dei risultati	275
<i>5.3.1.2 Parametri biochimici</i>	284
Tabelle dei risultati	299
<i>5.3.1.3 Analisi statistica multivariata (PFA)</i>	302
5.3.2 Conclusioni	305
5.3.3 Allegati	313
5.4 Bibliografia	315
CAPITOLO 6. L'ETNOPEDOLOGIA NELLO STUDIO DEI TOPONIMI LEGATI ALLE CONOSCENZE LOCALI SUL SUOLO	347
6.1 Premessa	348
6.1.1 Conoscenza locale	348
6.1.2 Etnopedologia	348

6.1.2.1	<i>Distribuzione degli studi etnopedologici a livello mondiale</i>	350
6.1.2.2	<i>Sviluppo dell'etnopedologia</i>	351
6.1.3	Toponimi e toponomastica	352
6.1.3.1	<i>Toponimi e storia del paesaggio agrario sardo</i>	357
6.1.3.2	<i>Toponimi legati alla risorsa suolo (pedonimi)</i>	360
6.1.4	Lingua sarda	362
6.2	Area di studio	364
6.3	Materiali e metodi	365
6.3.1	Approccio metodologico adottato	365
6.3.2	Fasi della ricerca	366
6.4	Risultati	374
6.4.1	Traduzione dei toponimi	374
6.4.2	Categorizzazione dei toponimi	376
6.4.3	Pedonimi	380
6.4.4	Rappresentazioni cartografiche	382
6.4.5	Conoscenze scientifiche e indigene sulla risorsa suolo	383
6.4.5.1	<i>Descrizione delle categorie di pedonimi</i>	389
6.4.6	Pedodiversità, diversità paesistica e topodiversità	397
6.4.6.1	<i>Indici di diversità e di equiripartizione</i>	397
6.4.7	Analisi statistica multivariata (PFA)	400
6.5	Discussione	406
6.6	Conclusioni	415
6.7	Bibliografia	417
CAPITOLO 7.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	429
RINGRAZIAMENTI		433

CAPITOLO 1.
INTRODUZIONE

1. Introduzione

La presente tesi è stata prodotta durante la frequenza del corso di dottorato in Difesa e Conservazione del Suolo, Vulnerabilità Ambientale e Protezione Idrogeologica dell'Università degli Studi di Cagliari, a.a. 2013/2014 - XXVII 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 1.3.1 "Finanziamento di corsi di dottorato finalizzati alla formazione di capitale umano altamente specializzato, in particolare per i settori dell'ICT, delle nanotecnologie e delle biotecnologie, dell'energia e dello sviluppo sostenibile, dell'agroalimentare e dei materiali tradizionali".

La ricerca si compone di tre piani di indagine, tra loro interconnessi, che vengono sinteticamente descritti nei seguenti paragrafi.

1.1 Analisi diacronica delle dinamiche evolutive del territorio

La consapevolezza che nell'arco del ventesimo secolo la fascia costiera del Golfo di Oristano, e più in generale tutto il territorio sardo e italiano, abbia subito un'intensa trasformazione legata all'evolversi delle situazioni ambientali e alla modificazione delle condizioni socio-economiche (Vianello et al., 2009), ha costituito il punto di partenza per un'attenta analisi dei processi evolutivi del paesaggio e dell'uso e copertura del suolo di questo territorio.

Nella ricerca sono stati descritti, in primo luogo, i **processi storici** che hanno delineato i caratteri del paesaggio del Golfo di Oristano. È stato perciò messo in evidenza il ruolo fondamentale della modernizzazione agricola nel Novecento che ha visto protagonista la grande bonifica e la Riforma Agraria (Capitolo 4, par. 4.3.1 e 4.3.2). In seconda istanza, sono state analizzate **le dinamiche e le tendenze evolutive** dei caratteri ambientali ed antropici del territorio indagato (Capitolo 4, par. 4.3.3 e 4.3.4).

Ambito di Paesaggio "Golfo di Oristano"

Il paesaggio viene definito dall'art. 1 della Convenzione Europea del Paesaggio (adottata dal Comitato dei Ministri della Cultura e dell'Ambiente del Consiglio d'Europa nel 2000 e ratificata dal Parlamento italiano nel 2006) come *una determinata parte di territorio, così*

come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni. Secondo l'approccio contemporaneo delle discipline paesaggistiche, quindi, il paesaggio è il risultato dell'interazione tra fattori biotici e fattori abiotici, con i quali interferisce la pressione antropica, in un processo in continua trasformazione, tendente a ricercare equilibri sempre nuovi e diversi.

La presenza del fattore umano influenza fortemente le dinamiche degli altri due fattori; basti pensare alle modifiche d'uso del suolo agricolo, all'urbanizzazione, alla pressione industriale, che operano profonde variazioni dei caratteri paesaggistici dei luoghi. Questo concetto è ben espresso nel "Preambolo" della Convenzione Europea del Paesaggio: *le evoluzioni delle tecniche di produzione agricola, forestale, industriale (...) e delle prassi in materia di pianificazione territoriale, urbanistica, trasporti, reti, turismo e svaghi e, più generalmente, i cambiamenti economici mondiali continuano, in molti casi, ad accelerare le trasformazioni dei paesaggi.*

Il contesto paesistico in esame è compreso all'interno dell'Ambito di Paesaggio n. 9 – "Golfo di Oristano", così come delimitata dal Piano Paesaggistico Regionale della Sardegna (PPR – L.R. n. 8/2004, approvato nel 2006).

Tale Piano è il primo redatto in Italia in conformità con il "Codice Urbani", che contiene l'analisi delle caratteristiche ambientali, storico-culturali e insediative dell'intero territorio regionale e l'analisi delle dinamiche di trasformazione del territorio.

Il PPR, attraverso la suddivisione del territorio costiero in ventisette "Ambiti di paesaggio omogenei", propone di tutelare il paesaggio sardo con la duplice finalità di conservarne gli elementi di qualità e di testimonianza, mettendone in evidenza il valore sostanziale e promuoverne il miglioramento in una prospettiva di recupero, riqualificazione e di salvaguardia attiva. L'Ambito di paesaggio è assunto, dunque, come un *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.*

Gli Ambiti sono caratterizzati dalla presenza di specifici beni paesaggistici, individuali e d'insieme, costituiti da elementi territoriali, areali o puntuali, di valore ambientale, storico culturale ed insediativo che hanno carattere permanente e sono connotati da specifica identità, la cui tutela e salvaguardia risulta indispensabile per il mantenimento dei valori fondamentali e delle risorse essenziali del territorio, da preservare per le generazioni future.

L'Ambito di paesaggio individuato dal PPR che interessa l'area di studio della presente ricerca è il n. 9, relativo al Golfo di Oristano (figura 1). La struttura dell'Ambito 9 è articolata sui tre Campidani di Oristano e sul sistema idrografico del Tirso: il Campidano di Milis a nord, il Tirso come spartiacque fra il Campidano di Milis e il Campidano Maggiore, e il Campidano di Simaxis, che si estende dall'arco costiero alle pendici del Monte Arci.

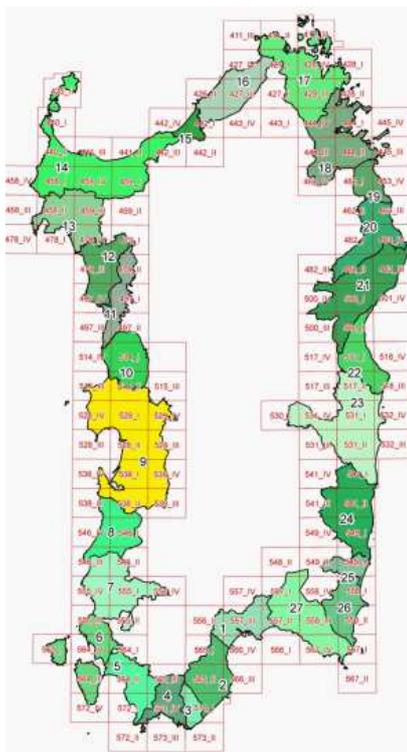


Figura 1. Quadro di unione degli Ambiti di Paesaggio del PPR.
In giallo l'Ambito n. 9 - "Golfo di Oristano".

All'interno degli Ambiti, la fascia costiera è classificata come bene paesaggistico d'insieme. Essa è considerata risorsa strategica fondamentale per lo sviluppo sostenibile del territorio sardo, che necessita di pianificazione e gestione integrata delle risorse, assicurando un equilibrio sostenibile tra la pressione dei fattori insediativi e produttivi e la conservazione dell'habitat naturale, seguendo le indicazioni della Raccomandazione del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2002 relativa all'attuazione della "Gestione integrata delle zone costiere" (GIZC) in Europa (2002/413/CE) e del "Mediterranean Action Plan" (MAP), elaborato nell'ambito della Convenzione di Barcellona.

Uso e copertura del suolo

I cambiamenti di uso e copertura del suolo (*land-use and land-cover changes*, LUCC) sono strettamente legati alle trasformazioni del paesaggio e sono le alterazioni più importanti della superficie terrestre causate dall'uomo (Lambin et al., 2001; Pelorosso, 2008).

La copertura del suolo e l'uso del suolo sono due concetti collegati ma distinti.

Per copertura del suolo si intende, infatti, la copertura biofisica della superficie terrestre (Di Gregorio e Jansen, 2000) e viene definita dalla direttiva 2007/2/CE¹ come *la copertura fisica e biologica della superficie terrestre comprese le superfici artificiali, le zone agricole, i boschi e le foreste, le aree seminaturali, le zone umide, i corpi idrici*.

L'uso del suolo è, invece, un riflesso delle interazioni tra l'uomo e la copertura del suolo e costituisce quindi una descrizione di come il suolo venga impiegato in attività antropiche (Cihlar e Jansen, 2001). La direttiva 2007/2/CE lo definisce come *una classificazione del territorio in base alla dimensione funzionale o alla destinazione socioeconomica presenti e programmate per il futuro (ad esempio ad uso residenziale, industriale, commerciale, agricolo, silvicolo, ricreativo)*.

È quindi possibile che un certo uso possa modificare, o mantenere, gli attributi osservabili delle terre e quindi la copertura delle stesse (Turner et al., 1993).

1.2 Caratterizzazione fisico-chimica, biochimica e pedogeochimica dei suoli

Nel presente studio al fine di effettuare uno screening dello “stato di salute” dei suoli della fascia costiera del Golfo di Oristano e definirne la qualità in relazione ai diversi usi (Capitolo 5), in prima analisi sono stati determinati i parametri che danno un'idea generale dello specifico sistema ambientale che si sta studiando (analisi fisico-chimiche di routine) per poi procedere con indagini più specifiche (analisi biochimiche e analisi sui metalli pesanti-PTEs). Si è scelto quindi di suddividere la Caratterizzazione in due parti: nella I parte (par. 5.2) viene riportata l'**Indagine fisico-chimica e pedogeochimica complessiva** e nella II parte (par. 5.3) la **Valutazione degli effetti del *land use* sulla qualità del suolo**.

¹ Direttiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 14 marzo 2007 che istituisce un'Infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (Inspire).
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:108:0001:0014:it:PDF>

Il suolo come patrimonio ambientale e culturale

Il suolo è una risorsa naturale fondamentale difficilmente rinnovabile (se non in tempi molto lunghi), supporto per le produzioni primarie e sede delle attività umane. Esso caratterizza i paesaggi che noi osserviamo ed in cui viviamo, sostiene le piante, filtra l'acqua, ospita reazioni chimiche e organismi ed esercita un ruolo chiave nell'equilibrio degli ecosistemi a livello planetario.

Allo stesso tempo è anche una risorsa fragile ad elevato rischio degradazione delle proprie qualità, la cui disponibilità è sempre più limitata; gravi processi degradativi possono essere originati da pratiche agricole scorrette, dalle dinamiche insediative, dalle variazioni d'uso e dagli effetti locali dei cambiamenti ambientali globali (Johnson e Lewis, 2007).

Pertanto, non si può prescindere dall'evidenziare che alla base delle politiche per il suolo ci deve essere la consapevolezza che è importante tutelare e conservare il suolo, non solo per le sue funzioni ecologiche (produzione di biomassa, filtraggio di sostanze nocive, conservazione della biodiversità, stoccaggio di carbonio, protezione e mitigazione dei fenomeni idrologici estremi etc.) e socio-economiche (supporto di insediamenti umani, fonte di materie prime etc.) ma anche in quanto rappresenta un patrimonio culturale per l'umanità. I suoli, infatti, conservando memoria del proprio percorso evolutivo e delle interazioni con le altre componenti ambientali (incluso l'uomo), possiedono un importante valore culturale, naturalistico e paesaggistico che necessita di essere valorizzato e tutelato.

Valutazione della qualità del suolo

Definire la qualità del suolo significa innanzitutto individuare i caratteri che permettono una sufficiente descrizione del suolo stesso e della sua funzionalità, avendo sempre presente le possibili utilizzazioni. Nella letteratura scientifica internazionale sono riportate diverse proposte sulle procedure da adottare per la valutazione della qualità del suolo e sono indicati alcuni parametri fisici, chimici e biologici come indicatori base per determinare i livelli di qualità del suolo (Sparling et al., 2006).

Il concetto di qualità del suolo si è sviluppato alla fine degli anni '70 quando Warkentin e Fletcher (1977), oltre a sottolineare che le diverse tipologie di uso del suolo influenzano gli aspetti decisionali legati alla gestione, stabilirono che non può esistere una singola misura in grado di valutarne la qualità.

Nel 1991 la qualità del suolo fu definita da Larson e Pierce come la *capacità di un suolo di*

funzionare e di interagire positivamente con l'ecosistema circostante.

Negli anni '90 iniziò a prendere piede la visione di questo concetto come possibilità dinamica e sensibile di verificare le condizioni del suolo in risposta alla gestione o allo stress dovuto a cause naturali e/o antropiche.

Probabilmente la definizione più completa di qualità del suolo fu pubblicata dalla Soil Science Society of America's Ad Hoc Committee on Soil Quality come *capacità di uno specifico tipo di suolo di funzionare, all'interno dei confini di un ecosistema naturale o antropizzato, di sostenere la produttività animale e vegetale, di mantenere o accrescere la qualità dell'acqua e dell'aria, e di sostenere la salute e gli insediamenti umani* (Karlen et al., 1997).

Altre definizioni sono riportate nel libro "Defining Soil Quality for a Sustainable Environment" (Doran et al., 1994).

Ancora oggi risulta molto complesso dare una definizione esaustiva di qualità del suolo ed emerge che a seconda dell'uso cui il suolo è destinato il concetto di qualità può essere diverso.

Per questo motivo l'uso del suolo e i suoi cambiamenti e il mantenimento e il ripristino della fertilità sono argomenti di studio particolarmente rilevanti per l'impatto che hanno sulla qualità del suolo.

Elementi Potenzialmente Tossici (PTEs)

Nell'ambito della definizione della qualità di un suolo lo studio dei PTEs, a cui la presente ricerca rivolge una particolare attenzione, è di grande interesse perché, oltre che potenziali contaminanti, sono costituenti naturali dei suoli e possono subire processi di traslocazione o accumulo di natura geogenica/pedogenica. Infatti, la possibilità per i suoli di risultare arricchiti rispetto ad un elemento o ad un gruppo di elementi dipende essenzialmente dalla natura delle rocce madri da cui si sviluppano e dai processi pedogenetici (Buondonno e Coppola, 2002). Durante la pedogenesi le sostanze che si formano in seguito all'alterazione chimica dei minerali originariamente componenti la roccia, tra i quali i metalli pesanti, possono venire allontanati dall'acqua circolante nel suolo oppure entrare in contatto fra di loro o con altre componenti del sistema formando nuovi composti oppure essere adsorbiti nei reticoli cristallini dei minerali di neoformazione.

L'antropizzazione, inoltre, può notevolmente incrementare l'apporto dei PTEs al suolo in

quanto le varie fasi di produzione, distribuzione, uso e smaltimento dei prodotti chimici comunemente impiegati nelle diverse attività umane inevitabilmente comportano un'immissione nell'ambiente di elementi metallici potenzialmente tossici per la salute umana

I PTEs non sono degradabili, né facilmente lisciviabili, ma tendono ad accumularsi nel suolo. Se presenti in concentrazione superiore a determinate soglie perturbano gli equilibri del suolo stesso, condizionandone negativamente la fertilità; attraverso catene alimentari e cicli biogeochimici complessi, pervengono poi ai biota superiori e all'uomo anche a notevoli distanze spazio-temporali dalle fonti primarie di contaminazione (Buondonno e Coppola, 2002).

1.3 L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

Alla luce del fatto che il paesaggio, di cui il suolo costituisce parte integrante, può essere considerato come uno specchio dell'insieme delle conoscenze locali e delle percezioni dello spazio vissuto (Farinelli 1981; Gambi 1981; Castelnovi 1998; Milani e Morpurgo, 2003; Panizza e Piacente, 2003; Milani, 2005; Raffestin, 2005; Farina 2006; Turri 2006), spesso dovute alle esperienze legate alle pratiche tradizionali, è stata condotta un'**analisi toponimica**, con particolare riferimento ai toponimi legati al suolo (*pedonimi*), **integrata all'analisi delle proprietà chimico-fisiche e pedogeochemiche dei suoli indagati e alla classificazione pedologica** (Capitolo 6).

Si può quindi parlare di "etnopedogeochemica" per identificare tale studio comparativo.

Toponimi e risorsa suolo

I toponimi (nomi di luoghi) sono importanti elementi che concorrono alla formazione della rappresentazione sociale di un territorio. Poiché essi traggono spesso origine dalle caratteristiche del paesaggio cui si riferiscono (natura del suolo, idrografia, orografia, vegetazione etc.), possono costituire, con il loro etimo, un importante strumento di riconoscimento di alcune proprietà naturali dei luoghi.

La toponomastica che più direttamente esprime il livello percettivo è quella che nasce dalla visione del paesaggio da parte del percettore nel suo rapporto d'uso, come contadino o pastore, con il suolo (Turri, 1980). Accade spesso, infatti, che il tipo di suolo venga identificato con un toponimo nella maggior parte dei casi appartenente al patrimonio

culturale agro-silvo-pastorale, risultato della trasmissione orale (e raramente scritta) in lingua sarda delle conoscenze tradizionali legate al territorio.

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 del suolo. Infatti nel contesto sardo, il paesaggio e il contatto diretto con la “terra” sono le espressioni storicamente più rappresentative dell’identità culturale dell’Isola, vista la netta prevalenza della civiltà rurale nella sua storia.

Il paesaggio e i toponimi ad esso associato possono però essere minacciati dalla rapidità e dall’ampiezza delle trasformazioni tecnologiche, culturali ed economiche avvenute negli ultimi decenni. Ciò può comportare l’interruzione della trasmissione delle conoscenze legate al paesaggio rurale e mettere a serio rischio la sua conservazione (Agnoletti, 2011).

È evidente, dunque, che il patrimonio paesaggistico e l’accumulo di conoscenze ed esperienze legate alle pratiche tradizionali sono risorse fondamentali che devono essere necessariamente tutelate.

1.4 Bibliografia

- Agnoletti M., 2011. Paesaggi rurali storici. Per un Catalogo nazionale, Laterza, Roma.
- Buondonno A., Coppola E., 2002. Contaminazione del suolo da elementi potenzialmente tossici: problematiche di valutazione e recupero. In “Suoli, Ambiente, Uomo” (coord. Bini C.). Edifir, Firenze, 137-152.
- Castelnovi P., 1998. Il senso del paesaggio. Relazione introduttiva. In Atti “Il senso del paesaggio. Seminario internazionale”. Politecnico di Torino, Torino, 1-22.
- Cihlar J., Jansen L.J.M., 2001. From Land Cover to Land Use: A Methodology for Efficient Land Use Mapping over Large Areas. *Professional Geographer* 53(2), 275-289.
- Consiglio d’Europa, 2000. Convenzione Europea sul Paesaggio. Firenze, 20 ottobre 2000, Decreto Legislativo n. 42/2004.
- Di Gregorio A., Jansen L.J.M., 2000. Land-cover classification system (LCCS): classification concepts and user manual. FAO/UNEP/Cooperazione italiana, Rome.

CAPITOLO 1. Introduzione

Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart. B.A., 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Spec. Publ. No. 35, Soil Sci. Soc. Am., Inc. and Am. Soc. Agron., Inc., Madison, WI.

Farina A., 2006. Il paesaggio cognitivo. Una nuova entità ecologica. Angeli, Milano.

Farinelli F., 1981. Storia del concetto geografico di paesaggio. In “Paesaggio. Immagine e realtà”. Electa. Milano, 151-158.

Gambi L., 1981. Riflessioni sui concetti di paesaggio nella cultura italiana degli ultimi trent'anni. In Martinelli R., Nuti L. (eds) Fonti per lo studio del paesaggio agrario., CISCU, Lucca, 3-9.

Johnson D.L., Lewis L.A., 2007. Land degradation – Creation and destruction. Rowman & Little field, Lanham.

Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., Schuman G.E., 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society of American Journal 61, 4-10.

Lambin E.F., Geist H. J., 2001. Global LU/land-cover changes d What have we learned so far? IGBP Global Change Newsletter 46, 27-30.

Larson W.E., Pierce F.J., 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In Dumanski J., Pushparajah E., Latham M., Myers R. (eds) Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World. Vol. 2: Technical Papers. Proc. Int. Workshop., Chiang Rai, Thailand. 15-21 Sept. 1991. Int. Board for Soil Res. and Management, Bangkok, Thailand.

Milani R., 2005. Cultura del paesaggio ed estetica del paesaggio in Italia. In Colantonio Venturelli & Tobias (a cura di) (2005) La cultura del paesaggio, 93-107.

Milani R., Morpurgo A., 2003. Mutazioni del paesaggio. Parametro, 245 (n. monografico).

Panizza M., Piacente S., 2003. Geomorfologia culturale. Pitagora, Bologna.

Pelorosso R., 2008. Land cover e land use change di medio-lungo periodo in Provincia di

Rieti: Analisi e modellizzazione delle dinamiche territoriali. PhD thesis. University of Tuscia, Viterbo, Italy.

Raffestin C., 2005. Dalla nostalgia del territorio al desiderio di paesaggio. Elementi per una teoria del paesaggio. Alinea, Firenze.

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

Sparling G.P., Wheeler D., Vesely E.T., Schipper L.A., 2006. What is soil organic worth? Technical Reports: Ecological Risk Assessment. J. Environ. Qual. 35, 548-557.

Turner B.L., Moss R.H., Skole D.L., 1993. Relating land use and global land-cover change: A proposal for an IGBP-HDP core project, Report from the IGBP-HDP Working Group on Land-Use/Land-Cover Change, Joint publication of the International Geosphere-Biosphere Programme (Report No. 24) and the Human Dimensions of Global Environmental Change Programme (Report No. 5), Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences.

Turri E., 1980. Toponomastica e percezione ambientale nelle Prealpi veronesi. In “Ricerca geografica e percezione dell’ambiente” (a cura di) Geipel R., Milano, 257-274.

Turri E., 2006. Il paesaggio come teatro. Dal territorio vissuto al territorio rappresentato. Marsilio, Venezia, 5° ed.

Vacca S., Aru A., Baldaccini P., 1998. Rapporti tra suoli e insediamenti nuragici nella regione del Marghine Planargia (Sardegna centro-occidentale). In “Il Sistema uomo-ambiente tra passato e presente” (a cura di) Albore-Livadie e Ortolani. Edipuglia, Bari.

Vianello G., Vittori Antisari L., 2009. Dinamiche pedo-ambientali e trasformazioni del paesaggio agrario. Ital. J. Agron. 3 Suppl., 5-12.

Warkentin B.P., Fletcher H.F., 1977. Soil quality for intensive agriculture. Proc. Int. Sem. on Soil Environ. and Fert. Manage. in Intensive Agric. Soc. Sci. Soil and Manure, Natl. Inst. of Agric. Sci., Tokyo.

CAPITOLO 2.

OBIETTIVI DELLA RICERCA

2. Obiettivi della ricerca

La presente ricerca intende proporre uno strumento di conoscenza del territorio della fascia costiera del Golfo di Oristano, caratterizzato da un articolato e delicato sistema ambientale e da un contesto produttivo storicamente rilevante dal punto di vista agricolo e zootecnico, attraverso l'analisi del legame esistente tra:

1. il **paesaggio** e le sue trasformazioni relative soprattutto all'uso e copertura del suolo;
2. il **suolo**, cioè una delle componenti fondamentali del paesaggio stesso;
3. le **conoscenze locali** espresse con i toponimi, i quali traggono spesso origine dalle caratteristiche del paesaggio cui si riferiscono e concorrono alla formazione della rappresentazione sociale di un territorio.

Gli obiettivi principali dello studio possono essere così schematizzati:

- analisi dei processi evolutivi dell'uso del suolo e del paesaggio della fascia costiera del Golfo di Oristano, di grande pregio agronomico, naturalistico e paesaggistico;
- caratterizzazione degli orizzonti pedologici di superficie (toposol) per indagare i suoli dal punto di vista delle loro proprietà intrinseche (indagine fisico-chimica e pedogeochemica) e ottenere così una dettagliata valutazione dello stato attuale della loro qualità e discriminare tra origine naturale o antropica di determinati elementi (PTEs).
- valutazione degli effetti dell'uso del territorio sulla qualità dei suoli con l'ausilio di parametri non convenzionali (analisi biochimiche), considerati opportuni indicatori del livello di fertilità e di qualità del suolo;
- indagine, mediante approccio etnopedologico, sul significato e la distribuzione dei toponimi rinvenibili nella cartografia antica e recente della Regione Sardegna, con particolare riferimento a quelli legati alla risorsa suolo, dei Comuni che si affacciano nella fascia costiera del Golfo di Oristano.

L'obiettivo finale è quello di indagare le correlazioni esistenti tra le conoscenze scientifiche (dati sperimentali ottenuti dalle analisi dei suoli e classificazione pedologica) e

CAPITOLO 2. Obiettivi della ricerca

quelle locali (indagine etnopedologica) al fine di integrarle fra loro mediante una prospettiva interdisciplinare.

Ciò consente di leggere il fenomeno complesso di trasformazione del paesaggio attraverso il processo di denominazione dei luoghi, che coincide con le esperienze, le tecniche e i saperi locali per mezzo dei quali la comunità rurale locale ha identificato nel corso del tempo le varie componenti dello spazio circostante, tra cui il suolo.

CAPITOLO 3.
INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

3. Inquadramento dell'area di studio

3.1 Localizzazione geografica

L'area di studio ha una superficie di circa 400 km² e corrisponde al territorio della fascia costiera del Golfo di Oristano (figure 3.1 e 3.2) compresa all'interno dell'Ambito di paesaggio n. 9 – “Golfo di Oristano”, così come delimitata dal Piano Paesaggistico Regionale della Sardegna (L.R. n. 8/2004).

Il territorio del Golfo di Oristano, di particolare rilevanza naturalistica, agronomica e paesaggistica, è caratterizzato da una significativa interazione tra i “*luoghi dell'acqua*” (paesaggi delle aree umide che in quest'area toccano quasi il 50% delle zone umide della Sardegna e paesaggi fluviali con la foce del più importante corso d'acqua della Sardegna, il Tirso) e i “*luoghi della terra*”, prevalentemente territori di pianura (paesaggi agricoli, paesaggi urbani e periurbani) (Ercolini, 2009).

Il contesto paesistico attuale è il risultato di una profonda riconfigurazione spaziale in conseguenza dei lavori di bonifica idraulica ed agraria realizzati nel corso del XX secolo e degli insediamenti urbani ed industriali degli ultimi decenni.

L'area di studio comprende:

- il territorio del Golfo di Oristano che si estende con un ampio arco costiero ellittico, delimitato dai promontori basaltici di Capo San Marco a nord e Capo Frasca a sud. Nella parte centro-settentrionale è attraversato dal Tirso, che nasce dall'Altopiano di Budduso' e sfocia poco a sud-ovest di Oristano dopo un tracciato che segue prevalentemente la direzione nord-sud/sud-ovest, con uno sviluppo dell'asta fluviale di circa 150 km.
- la penisola del Sinis, delimitata dal promontorio di Capo Mannu e Capo San Marco con il sistema di spiaggia e dei campi dunari di Is Arenas che connettono la penisola del Sinis con i versanti occidentali del complesso vulcanico del Montiferru.

Nell'area ricadono zone umide di grande rilevanza paesaggistica ed ecologica in termini di conservazione della biodiversità in ambito mediterraneo (e per tale motivo molte di queste sono state inserite negli obiettivi di protezione di numerose direttive comunitarie). Si tratta degli ambienti lagunari e stagnali di Is Benas, Sale 'e Porcus, Mistras, Cabras, Santa Giusta, Pauli Maiori, S'Ena Arrubia, Corru s'Ittiri, San Giovanni e Marceddì.

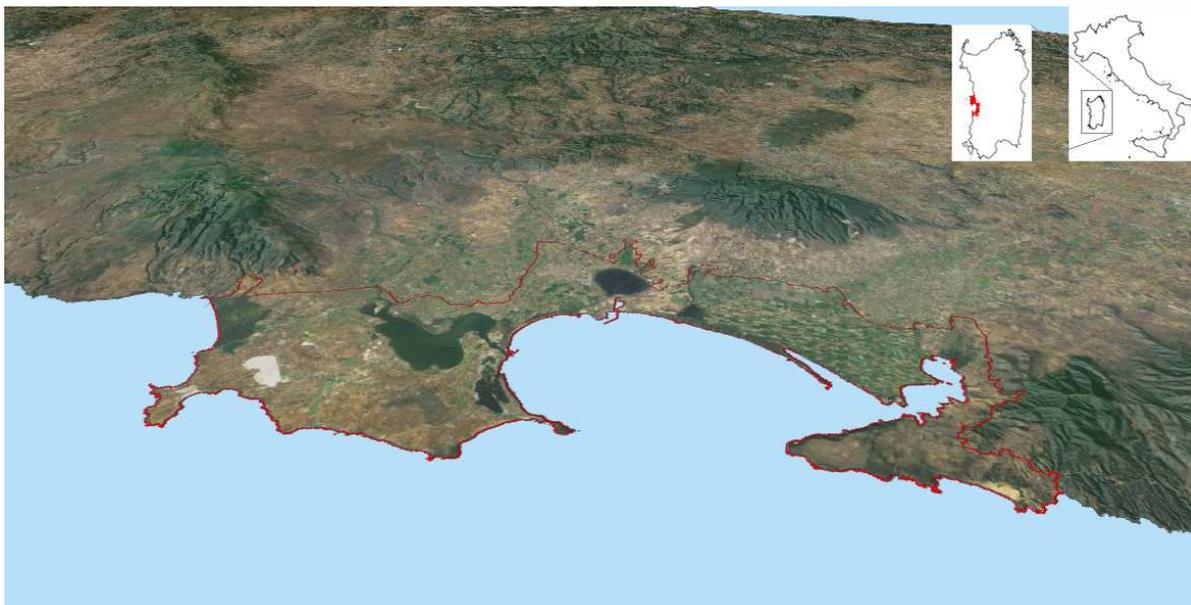


Figura 3.1. Vista prospettica del Golfo di Oristano e dell'area di studio.

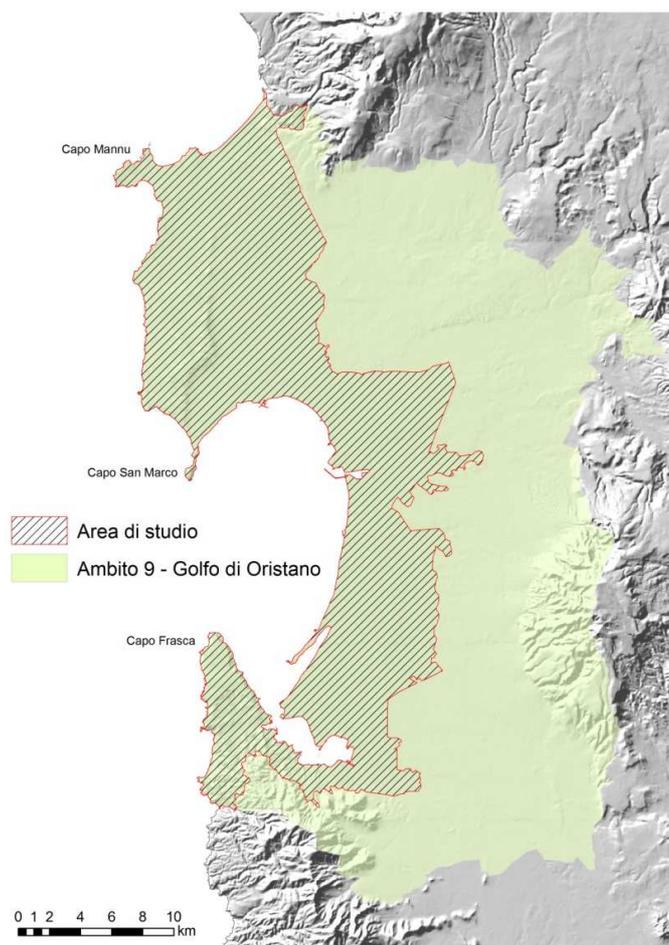


Figura 3.2. Inquadramento territoriale dell'area di studio.

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

Dal punto di vista amministrativo il territorio in esame ricade in 14 comuni: Arborea, Arbus, Cabras, Cuglieri, Guspini, Marrubiu, Narbolia, Nurachi, Oristano, Palmas Arborea, Riola Sardo, S.Vero Milis, S.Giusta e Terralba.

La percentuale della superficie di ciascun comune ricadente nell'area di studio è mostrata in tabella 3.1.

Comune	Superficie km ²	Superficie %
Arborea	85,4	91,4
Arbus	34,7	12,9
Cabras	93,4	91,8
Cuglieri	3,0	2,5
Guspini	11,9	6,8
Marrubiu	1,8	3,0
Narbolia	8,7	21,5
Nurachi	4,6	29,0
Oristano	36,1	42,1
Palmas Arborea	2,0	5,2
Riola Sardo	40,8	84,7
San Vero Milis	44,4	61,2
Santa Giusta	30,4	44,0
Terralba	10,4	25,8
TOTALE	407,8	

Tabella 3.1. Superfici dei territori comunali ricadenti nell'area di studio (in km² e %).



Il territorio è compreso:

- nella Carta Topografica d'Italia I.G.M., scala 1:25.000, nelle tavolette n° 514 sezioni I-III, n° 528 e 538 sezioni I-II-III-IV;
- nella Carta Tecnica della Sardegna, scala 1:10.000, nei fogli n° 514, 528 e 538.

3.2 Inquadramento climatico

Il clima dominante nell'intero settore oggetto della ricerca è di tipo mediterraneo sub-arido, con inverno mite ed estate non troppo calda, con massimo di precipitazioni invernale e minimo estivo, ventosità intensa e frequente e umidità atmosferica relativamente elevata. Da un punto di vista generale, quindi, il clima di questa zona non si discosta dal tipo predominante in Sardegna, con modeste escursioni termiche diurne stagionali e con piovosità concentrata nei mesi invernali (Arrigoni, 1968; Pinna, 1977).

In particolare, la posizione geografica, la vicinanza al mare e la morfologia pianeggiante dell'area rivestono un ruolo fondamentale nel determinare le condizioni climatiche.

Per delineare i caratteri climatici dell'area di studio sono state acquisite ed analizzate le serie storiche dei dati termo-pluviometrici rilevati nelle stazioni meteorologiche ricadenti nel territorio indagato. L'analisi delle serie storiche è stata condotta con l'ausilio dei dati forniti dal Servizio tutela e gestione delle risorse idriche, vigilanza sui servizi idrici e gestione della siccità della Regione Autonoma della Sardegna e con l'ausilio dei dati contenuti nello 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 è agosto con temperatura media di 25,5°C. A luglio ed agosto si registrano valori medi di temperatura massima intorno ai 30°C. In questi mesi le temperature massime assolute possono raggiungere i 38-40°C. Anche nei mesi di settembre e giugno si possono registrare temperature abbastanza alte, con valori massimi generalmente intorno ai 35°C.

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

Per quanto riguarda le precipitazioni sono stati analizzati i dati rilevati dal 1922 al 2009 nelle stazioni meteorologiche di Riola Sardo, Oristano e Santa Giusta e dal 1933 al 2009 nella stazione di Arborea. Nelle stazioni considerate le misure delle precipitazioni medie annue mostrano valori relativamente bassi; i valori medi sono compresi all'incirca 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.

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.

Per la stazione di Riola Sardo (9 m slm) il valore medio delle precipitazioni è di 619,2 mm/a. Il mese più piovoso, con valori medi di 99,4 mm/m, è novembre, quello più asciutto è luglio con 3,1 mm/m.

Nella Stazione di Oristano (12 m slm) il valore medio annuo delle precipitazioni è di 561,4 mm/a. Il mese più piovoso è novembre, con valori medi di 90,0 mm/m, mentre quello più secco è luglio con valori medi di 3,0 mm/m.

A Santa Giusta (10 m slm) si registrano valori medi annui di precipitazioni di 562,0 mm/a. Il mese più piovoso con 89,0 mm/m è dicembre, quello più asciutto, con 3,4 mm/m, è luglio.

Ad Arborea (7 m slm) il valore delle precipitazioni medie annue è di 643,0 mm/a. Anche per questa stazione il mese più piovoso è quello di novembre, con media mensile di 99,1 mm/m e quello più secco è luglio, con 3,1 mm/m di precipitazioni.

L'umidità dell'aria mostra generalmente un andamento decrescente dalla costa verso l'interno, per la forte influenza giocata dalle brezze di mare che caricano di umidità l'aria. 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.

L'area di studio è inoltre caratterizzata da un'elevata ventosità. I venti dominanti sono quelli provenienti dal IV quadrante (maestrale e ponente), che spesso raggiungono e superano la velocità di 25 m/s, e quelli provenienti dal II e III quadrante (scirocco e

libeccio).

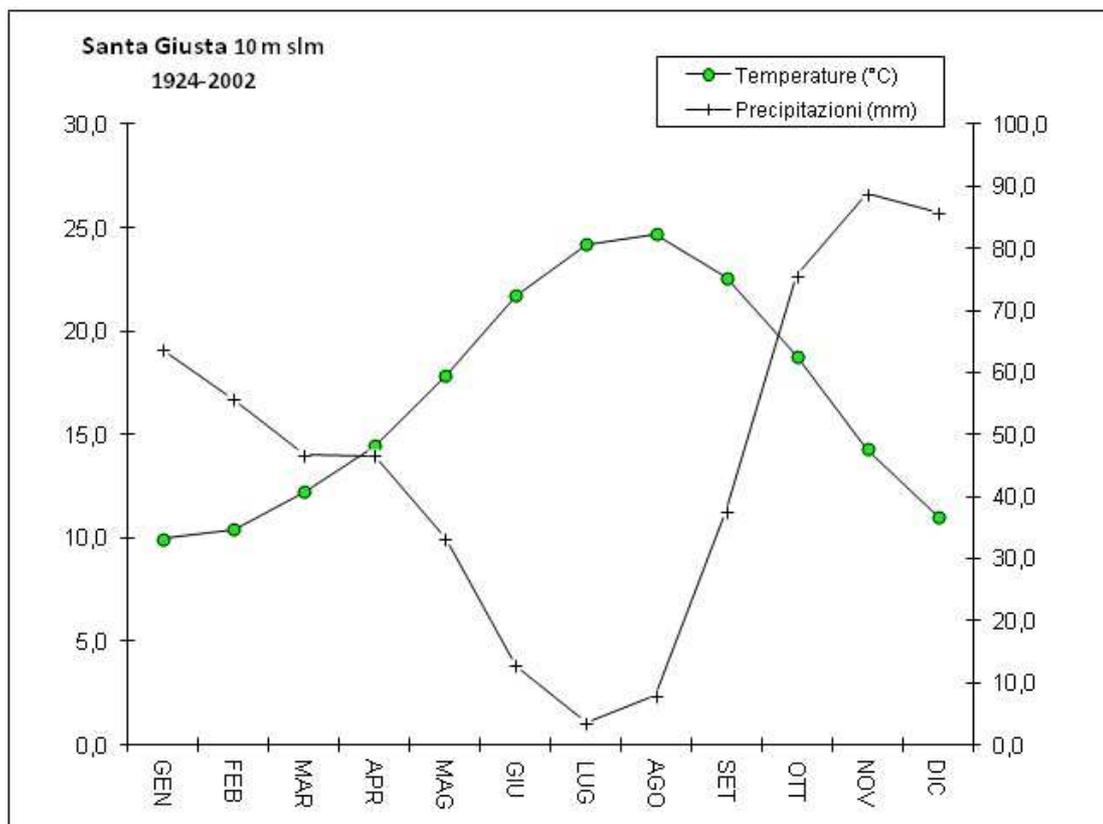
In conclusione, si può affermare che il clima dell'area rispecchia nei suoi caratteri fondamentali il tipico clima temperato caldo influenzato dalla presenza del mare. L'associazione di estati secche con inverni piovosi e miti rappresenta un carattere peculiare del clima mediterraneo.

La classificazione fitoclimatica del Pavari (1916) permette la suddivisione del territorio in fasce climatiche, utilizzando i valori termici annuali quali temperatura media, temperatura media del mese più freddo, temperatura media dei minimi. In base a tale classificazione, i valori termici rilevati nelle stazioni prese in considerazione permettono di collocare il territorio costiero dell'Oristanese nella fascia climatico-forestale del Lauretum, sottozona calda con siccità estiva.

Dall'elaborazione dei dati termo-pluviometrici della stazione meteorologica di Santa Giusta è stato poi possibile ricavare il Diagramma di "Walter e Lieth" (1960) integrato dalle rappresentazioni grafiche dei regimi termici e pluviometrici adottate da Bagnolus e Gaussen (1953, 1957) (figura 3.3).

L'interpretazione del diagramma ombrotermico permette di delineare un confronto grafico fra il regime termico annuale e quello pluviometrico. Quando la curva delle precipitazioni scende sotto quella delle temperature ($P < 2T$) il periodo interessato è da considerare secco. Come si può osservare nel diagramma, nell'area in esame il periodo arido ha una lunga durata, inizia ai primi di maggio e si protrae per tutto settembre, comprendendo cinque mesi. Il mese più freddo risulta essere gennaio (con una media annua di $10,0^{\circ}\text{C}$) mentre quello più caldo è il mese di agosto (con una media annua di $24,7^{\circ}\text{C}$).

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio



	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperature medie (°C)	10,0	10,4	12,3	14,5	17,8	21,7	24,2	24,7	22,6	18,8	14,3	11,0
Precipitazioni medie (mm)	63,6	55,6	46,7	46,6	33,2	12,8	3,5	7,9	37,7	75,6	88,8	85,7

Figura 3.3. Il diagramma di Walter e Lieth ricavato con i dati della stazione termo-pluviometrica di Santa Giusta.

3.3 Inquadramento geologico e geomorfologico

3.3.1 Caratteri geologici

L'area di studio si inserisce in un contesto geologico molto ampio e complesso. Per rendere più semplice ed organica la lettura dei caratteri geologici del territorio si è scelto di dare una descrizione separata delle seguenti macro aree:

- 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 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**¹ 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 breccie piroclastiche andesitiche) appartengono al ciclo calc-alcantino 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**², formati da sedimenti marini del Tortoniano terminale e del Messiniano inferiore e da sedimenti in *facies* lagunare e continentali sempre del Messiniano.

¹ Durante l'Oligocene si ebbe la rototraslazione del massiccio sardo-corso. Tale rotazione fece sì che la microplacca si smembrasse in vari *Horst e Graben*, secondo il meccanismo della tettonica distensiva, e che tra questi si originasse un esteso *Rift* (la "Fossa Sarda" di Vardabasso, 1962), che fu successivamente colmato dai sedimenti del mare oligo-miocenico, in alternanza con vulcaniti calco-alcantine, per uno spessore complessivo di 600-800 metri (Pala et al., 1982a).

La Fossa Sarda si sviluppava dal Golfo di Cagliari al Golfo dell'Asinara, per una lunghezza totale di circa 200 chilometri, occupando la fascia mediana dell'Isola. Entro questa depressione, il cui fondo granitico-scistoso sempre più si abbassava e si fratturava, si attivava un intenso vulcanismo e incominciavano ad accumularsi lave, breccie eruttive, tufi e ignimbriti, insieme con limitati sedimenti detritici di apporto fluviale e torrentizio, come i conglomerati delle falde del Monte Grighini (Pala et al., 1982a).

Nel corso del Miocene la sedimentazione marina, principalmente con carattere pelagico, continuò soprattutto lungo il tratto assiale del *Rift* sardo. Depositi in prevalenza detritici di piattaforma si svilupparono sugli alti strutturali sottomarini situati in genere sulla porzione orientale della Fossa e su rilievi di natura vulcanica, con una sedimentazione prevalentemente di carattere conglomeratico e carbonatico bioermale, con frequenti scogliere a coralli (Cherchi, 1985).

² In alcuni settori del *Rift Sardo*, dopo una breve emersione, si manifestò una fase trasgressiva a partire dal Serravalliano superiore – Tortoniano, che perdurò fino al Messiniano inferiore (Cherchi, 1985): durante tale trasgressione si depositarono successioni marnoso-calcaree di piattaforma nel Sinis, nell'area di Cagliari e nel Sassarese. Una volta terminati i movimenti traslativi e rotativi della microplacca, la sedimentazione miocenica, marina fino al Messiniano inferiore divenne, nel Sinis, lagunare e continentale sino alla fine del Miocene. L'invasione marina cessò infatti nel Miocene superiore, in coincidenza con un evento geologico di notevole importanza: l'evaporazione praticamente completa delle acque del Mar Mediterraneo, per una ipotetica chiusura dello Stretto di Gibilterra e della zona di Suez ad opera di movimenti orogenetici di età alpina, circa 8 milioni di anni fa. Il Mediterraneo si trasformò così in un'immensa salina.

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

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 *Formazione di Capo San Marco*, potente una ventina di metri, costituisce la parte basale della successione messiniana, caratterizzata da una sequenza di argille siltoso-marnose e marne grigio-giallastre con intercalati banchi di calcari organogeni che definiscono, in successione verticale, il passaggio da un ambiente marino sublitorale eualino, alla base, ad un ambiente lagunare mixoalino alla sommità. Tale formazione costituisce l'ossatura di Capo San Marco, dove è bene rappresentata in tutte le sue diverse *facies* e dal quale prende il nome.

Il tratto sommitale della formazione è caratterizzato dalla presenza di depositi di ambiente continentale rappresentati da paleosuoli montmorillonitici e sabbie fluviali.

La presenza di questo periodo di continentalità è evidenziata anche da una netta superficie di erosione, che sovrasta questi depositi continentali e che separa la formazione di Capo San Marco, termine basale del Messiniano, dalla soprastante *Formazione dei Calcari Laminati del Sinis*. La formazione dei calcari laminati del Sinis è costituita da calcari bianchi, microcristallini, molto sottilmente stratificati, quasi sterili, costituiti quasi totalmente da carbonati di deposito chimico per evaporazione da acque ipersaline poco profonde.

Questa Formazione rappresenta la prima unità di *facies* evaporitica del Miocene terminale.

La sequenza messiniana è chiusa da calcari e calcari dolomitici residuali, spesso intensamente brecciati, di colore bianco-grigiastro, con modelli interni di bivalvi, che costituiscono la *Formazione dei Calcari di Torre del Sevo*. Questi calcari sono costituiti da oospariti e microspatiti a noduli di anidrite, depositatisi in ambiente iperialino-sopratidale.

La formazione, di spessore fortemente variabile (fino ad un massimo di 8-10 m), poggia trasgressiva sui Calcari laminati del Sinis e termina con una superficie di erosione che la separa dai terreni di copertura quaternari.

In seguito, i sedimenti del Tortoniano e del Messiniano furono interessati da intensa erosione in epoca plio-quadernaria³.

Questa fase erosiva, conseguente al generale sollevamento areale di tutta l'Isola e con acme nel Pliocene superiore, favorì di sicuro lo smantellamento delle unità mioceniche più recenti (Marini e Murru, 1983).

I sedimenti arenaceo-argillosi attribuiti al **Pliocene inferiore marino** sulla base della microfauna planctonica (Pecorini, 1972) e del Nannoplancton calcareo (Cherchi e Martini, 1981), potenti una trentina di metri, coprono con discordanza angolare i depositi stratificati appartenenti alla Formazione di Capo San Marco.

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,

³ Agli inizi del Pliocene, riaprendosi Gibilterra, il mare riuscì ad irrompere nuovamente dall'Atlantico, circondando la Sardegna; si ebbe così la trasgressione pliocenica, i cui prodotti sono ancoravvisibili nel Sinis a Capo S. Marco, Mandriola e tutta la penisola di Capo Mannu.

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 quadernarie**, 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 Quadernario, 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 quadernarie, 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 rinvengono diffusi nella penisola, spesso separati da nette superfici di erosione.

L'affioramento più significativo della sequenza stratigrafica quadernaria si rinviene nel tratto di costa compreso tra San Giovanni-Funtana Meiga-Turr'e Seu, dove si rinviene la successione più completa. In questo tratto di costa, la falesia retrostante la spiaggia attuale ed i tratti di costa rocciosa sono modellati nei depositi quadernari.

A San Giovanni di Sinis la sequenza stratigrafica quaternaria inizia con un livello marino costituito da depositi di spiaggia che, con giacitura debolmente inclinata verso SE, poggia discordante sul basamento pre-quaternario, rappresentato dalle argille-siltose della formazione di Capo San Marco. La successione è troncata da una netta superficie di erosione, sulla quale poggia, in giacitura debolmente inclinata verso E-SE, un complesso continentale costituito da una sequenza di arenarie e colluvi con sabbie e paleosuoli intercalati, chiuso superiormente da crostoni carbonatici. Questo deposito, per il quale è stata proposta la denominazione di *Formazione di San Giovanni* (Ulzega e Ozer, 1982), indica un lungo permanere delle condizioni regressive. In esso è stata segnalata la presenza di molari di Elefante nano (Maxia e Pecorini, 1968) e frammenti ossei di Mammiferi (cervidi).

Questo complesso continentale si rinviene anche nella punta sud-orientale di Capo San Marco, dove è costituito da un potente banco di arenarie, talora microconglomeratiche a resti di *Helix* e frammenti ossei di mammiferi, a stratificazione regolare alla base e giacitura massiva nella parte sommitale.

Una netta superficie di erosione, evidenziata da un crostone carbonatico, separa questo complesso da un successivo deposito marino trasgressivo attribuito al Neotirreniano, la cosiddetta “panchina tirreniana” auct.

Le arenarie eoliche che chiudono il deposito indicano l'inizio della regressione wurmiana.

Segue un ultimo complesso continentale, attribuito al Wurm, costituito da una sequenza di colluvi, talvolta conglomeratici, paleosuoli ed arenarie eoliche.

I **depositi olocenici** sono costituiti da sedimenti di spiaggia, in prevalenza sabbioso-ghiaiosi, quasi esclusivamente quarzosi nel settore costiero meridionale e centrale, altamente bioclastici in quello settentrionale e da ampi cordoni di retro-spiaggia.

A completezza della descrizione dei caratteri geologici della penisola del Sinis si riporta la Sezione geologica schematica contenuta nello studio di Lecca et al. (1986) (figura 3.4), volto ad illustrare lo schema strutturale della piattaforma continentale occidentale della Sardegna sulla base dell'interpretazione sismostratigrafica e di campionature. Da tale studio risulta che il settore di piattaforma antistante l'area del Sinis fino al Golfo di Oristano è caratterizzato dalla presenza dell'alto strutturale di Malu Entu ad andamento circa N-S, che a nord emerge con i graniti paleozoici dell'isola di Mal di Ventre e che a sud è ricoperto e iniettato da vulcaniti basiche plio-quaternarie dello Scoglio del Catalano. La

depressione tettonica situata tra l'alto di Malu Entu, la penisola del Sinis e il Golfo di Oristano risulta colmata da una potente coltre sedimentaria attribuita al Miocene e al Pliocene inferiore.

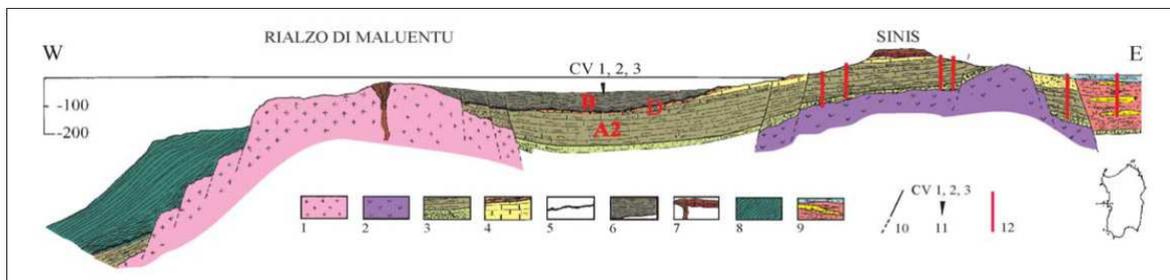


Figura 3.4. Sezione geologica schematica: rapporti stratigrafici e strutturali tra le unità sedimentarie mioceniche nel Sinis e nella piattaforma continentale antistante, da interpretazione di profili sismici e nuovi dati stratigrafici nel Sinis (Lecca et al., 1986, modificata da Carboni et al, 2002).

Legenda: 1) Graniti paleozoici; 2) Andesiti oligo-mioceniche; 3) Unità sedimentarie del Miocene medio-superiore; 4) Successione messiniana del Sinis-A2; 5) Riflettore acusticamente «sordo» - D (litotipi competenti della superficie di discordanza messiniana); 6) Sedimenti pelitici del Pliocene inferiore - B; 7) Depositi continentali ciottoloso-ghiaiosi e vulcaniti alcaline del Pliocene medio-superiore; 8) Unità progradante plioquaternaria; 9) Complesso continentale plio-quadernario in facies alluvionale e deltizia; 10) Faglie; 11) Carotaggi nella piattaforma continentale.

Campidano

Il Campidano⁴, dal punto di vista geomorfologico, è costituito da una vasta superficie sub-pianeggiante o debolmente ondulata, modellata sui potenti depositi detritici plio-quadernari 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-quadernaria 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

⁴ Alcuni studiosi spiegano il toponimo Campidano, diffusosi dopo il feudalesimo, scomponendolo in *campu* + *anu* e lo traducono quindi 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.

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

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.

Durante il Mesozoico la Sardegna è emersa, tale continentalità iniziò nel Carbonifero (Orogenesi Hercinica) e continuò fino al **Triassico**, durante questo lungo periodo fu quasi completamente spianata per l'erosione diventando un penepiano. I testimoni della copertura triassica sono però quasi del tutto smantellati nell'Oristanese. Non è da escludere una loro eventuale presenza sul fondo del Campidano sepolti dai depositi terziari a causa della tettonica subsidente terziaria e quaternaria.

Il Terziario è caratterizzato da un regime tettonico prevalentemente distensivo, a cui si intercalano almeno due fasi compressive, nel primo caso favorendo i processi sedimentari in bacini, nel secondo favorendo lacune e discordanze angolari.

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.

La fossa oligo-miocenica è stata colmata da oltre 1500 m di sedimenti marini quali marne, calcari, calcareniti spesso fossiliferi, alternati ad episodi vulcanici del ciclo calcoalcalino, che spesso affiorano lungo i bordi della fossa (Cherchi e Montardet, 1981).

L'ingressione marina cessa nel **Miocene superiore** (Messiniano) a seguito della quasi totale evaporazione del Mediterraneo dovuta alla chiusura dello stretto di Gibilterra e dell'istmo di Suez.

Dopo l'ingressione marina miocenica le aree precedentemente sommerse diventano sede di un'intensa attività erosiva, come evidenziato da una netta superficie di erosione che tronca la sequenza stratigrafica miocenica.

Durante il **Plio-Quaternario** la ripresa dell'attività tettonica è testimoniata dal

ringiovanimento, lungo i bordi paleozoici, di una serie di faglie parallele con direzione NNO-SSE, che determinano la formazione del *graben campidanese* che si sovrappone al settore centro-meridionale del rift sardo.

A questa fase tettonica è legato il ciclo vulcanico, a carattere alcalino, che ha depositato sopra gli strati sedimentari delle colate laviche, dando luogo ai grossi edifici vulcanici della Sardegna (Montiferru e Monte Arci) ed agli espandimenti basaltici.

La successiva ripresa dell'attività erosiva, guidata dalle discontinuità tettoniche, ha agito con maggior intensità sulle litologie più erodibili. La serie sedimentaria plio-quadernaria della fossa del Campidano, di spessore variabile fra qualche decina e qualche centinaia di metri, è il risultato della colmata operata da parte del fiume Tirso e dei suoi affluenti nel Pleistocene ed Olocene.

Questa successione è costituita da sedimenti continentali, per lo più appartenenti alla *Formazione di Samassi*, sui quali poggiano potenti depositi alluvionali, lacustri e lagunari pleistocenici, seguiti da depositi marini e lagunari flandriani-versiliani con intercalate le lave basaltiche.

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).

La sequenza stratigrafica del Campidano di Oristano è stata ricostruita sulla base dei risultati di due perforazioni profonde eseguite tra il 1961 e il 1964 per una ricerca di idrocarburi promossa dalla Regione Autonoma della Sardegna e per conto della SAIS (Società per Azioni Idrocarburi Sardegna).

Il primo sondaggio eseguito presso Case Sassu (tra lo Stagno di S'Ena Arrubia e l'ex stagno di Sassu), raggiunse la profondità di 1802 m ed attraversò i seguenti terreni:

- Sabbie limi argillosi, con livelli di conchiglie marine e di stagno (Quaternario) da 0 a 33 m;
- Argille, limi e scarse sabbie ciottolose in *facies* alluvionale e palustre (Quaternario) da 33 a 94 m;
- Argille grigiastre, limi e rare sabbie in *facies* prevalentemente alluvionale, con resti di gasteropodi d'acqua dolce e di piante palustri (Pliocene sup.) da 94 a 304 m;
- Basalto, grigio scuro, compatto, in colate, da 304 a 310 m;
- "Formazione di Samassi", costituita da alternanze di limi marnoso-calcarei, talora sabbiosi, conglomerati a ciottoli di marne mioceniche prevalenti, argille e marne ad abbondanti foraminiferi miocenici e pliocenici rimaneggiati, in *facies* fluvio-torrentizia e subordinatamente lacustre (Pliocene medio-superiore) da 310 a 730 m;
- Marne arenacee a foraminiferi e resti di molluschi marini (Pliocene inf.) da 730 a 820 m;
- Complesso sabbioso-ciottoloso, argillo-marnoso e sabbioso-marnoso sterile (Messiniano?) da 820 a 870 m;
- Alternanze di marne ed arenarie fini di ambiente di mare aperto, a foraminiferi e lamellibranchi (Tortoniano-Burdigaliano) da 870 a 1430 m;
- Marne prevalentemente arenacee ed arenarie con intercalazioni tufacee, piroclastiche e probabilmente laviche, andesitico-basaltico, talora in giacitura

caotica (Burdigaliano- Aquitaniano) da 1430 a 1802 m.

La serie stratigrafica mette in rilievo il fatto che è caratterizzata da un forte spessore (oltre 800 m) di sedimenti quaternari e pliocenici, fra i quali si intercala un unico orizzonte basaltico piuttosto sottile e da un complesso miocenico quasi esclusivamente marino, con intercalari vulcanici alla base, di almeno 1000 m (Pala et al., 1982b).

Si scopriva così che il Campidano di Oristano era realmente un bacino subsidente (dovuto ad un progressivo abbassamento di un territorio, in particolare costiero, con conseguente crescita del livello delle acque), che nel Terziario e Quaternario si era riempito di sedimenti per uno spessore complessivo di 1800 m.

Il secondo sondaggio eseguito nella periferia sud-occidentale dell'abitato di Riola raggiunse il 1700 m di profondità e mise in luce la seguente serie stratigrafica:

- Sabbie dunari, sabbie e limi a conchiglie marine e di stagno, ricoprenti ghiaie alluvionali prevalentemente quarzose (Quaternario), da 0 a 20 m;
- Argille e limi sabbiosi con intercalazioni ghiaiose, in facies alluvionale prevalente e palustre (Quaternario – Pliocene Sup.?), da 20 a 218 m;
- Basalto grigio scuro, da compatto a boloso, in colate, da 218 a 243 m;
- “Formazione di Samassi”, costituita da alternanze di marne arenaceo-calcaree, conglomerati a ciottoli di marne e arenarie mioceniche prevalenti, sabbie, argille torbose, limi, ad abbondanti foraminiferi miocenici e pliocenici rimaneggiati, in facies fluvio-torrentizia e subordinatamente lacustre (Pliocene medio-superiore), da 243 a 671 m;
- Marne argillose ed arenacee, a foraminiferi e resti di lamellibranchi marini (Pliocene inf.), da 671 a 729 m;
- Marne e sabbie talora grossolane, in facies marina e dubitativamente continentali nella parte alta (Messiniano ? Miocene superiore-medio?), da 729 a 856 m;
- Ignimbriti, andesiti e tufi associati (Miocene inf.), da 856 a 1298 m;
- Tufiti con intercalati livelli marini ad ostree (Miocene inferiore), da 1298 a 1308 m;
- Andesiti, Ignimbriti e tufi associati, talora con filoni e vene di calcedonio (Miocene inferiore–Oligocene superiore), da 1308 a 1700 m.

Il pozzo ha attraversato la stessa successione sedimentaria terziaria e quaternaria già incontrata dal pozzo precedente presso l'Idrovora di Sassu, mettendo però in evidenza una serie miocenica piuttosto lacunosa, in confronto alla precedente perforazione con uno

spessore assai minore dei sedimenti marini del Miocene e la presenza, alla loro base, di un potente complesso di vulcaniti oligo-mioceniche, andesitiche e ignimbriche, identiche a quelle che formano il substrato dell'area del Montiferru e della valle del Tirso.

Da questi dati si può dedurre che il pozzo di Riola ha interessato la sponda settentrionale della depressione strutturale del Campidano di Oristano, dove, però, a giudicare dalla natura e dallo spessore della Formazione di Samassi, risulta confermata la maggiore subsidenza del Pliocene medio-superiore e del Quaternario rispetto a quella del Miocene (Pala et al., 1982b).

La fossa campidanese, pertanto, deve la sua origine alla ripresa ed accelerazione della tettonica di sprofondamento terziaria e si configura come l'erede della fossa sarda a sud del Montiferru. Essa nasce come un bacino chiuso continentale; nella Formazione di Samassi, infatti, non sembra esistano depositi marini, ma soltanto accumuli di materiali alluvionali o strati fluvio-lacustri, anche torbosi. Entro la fossa, se si escludono le colate basaltiche, i pozzi non hanno incontrato trachiti fonolitiche, come quelle del Montiferru, e neppure rioliti o altre lave acide, come quelle del Monte Arci sia come ciottoli o detriti vari; queste rocce vulcaniche sono rappresentate negli accumuli alluvionali del Pliocene superiore e del Quaternario.

Solo in epoca assai recente, a seguito dello scioglimento dei ghiacci quaternari, con fasi alterne d'ingressione e di regressione, il mare è penetrato ancora nel Campidano di Oristano, a 5 milioni di anni dal lontano Pliocene inferiore (trasgressione versiliana).

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 quaternari** si rinvencono 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 interramento delle lagune (Annino et al., 2000).

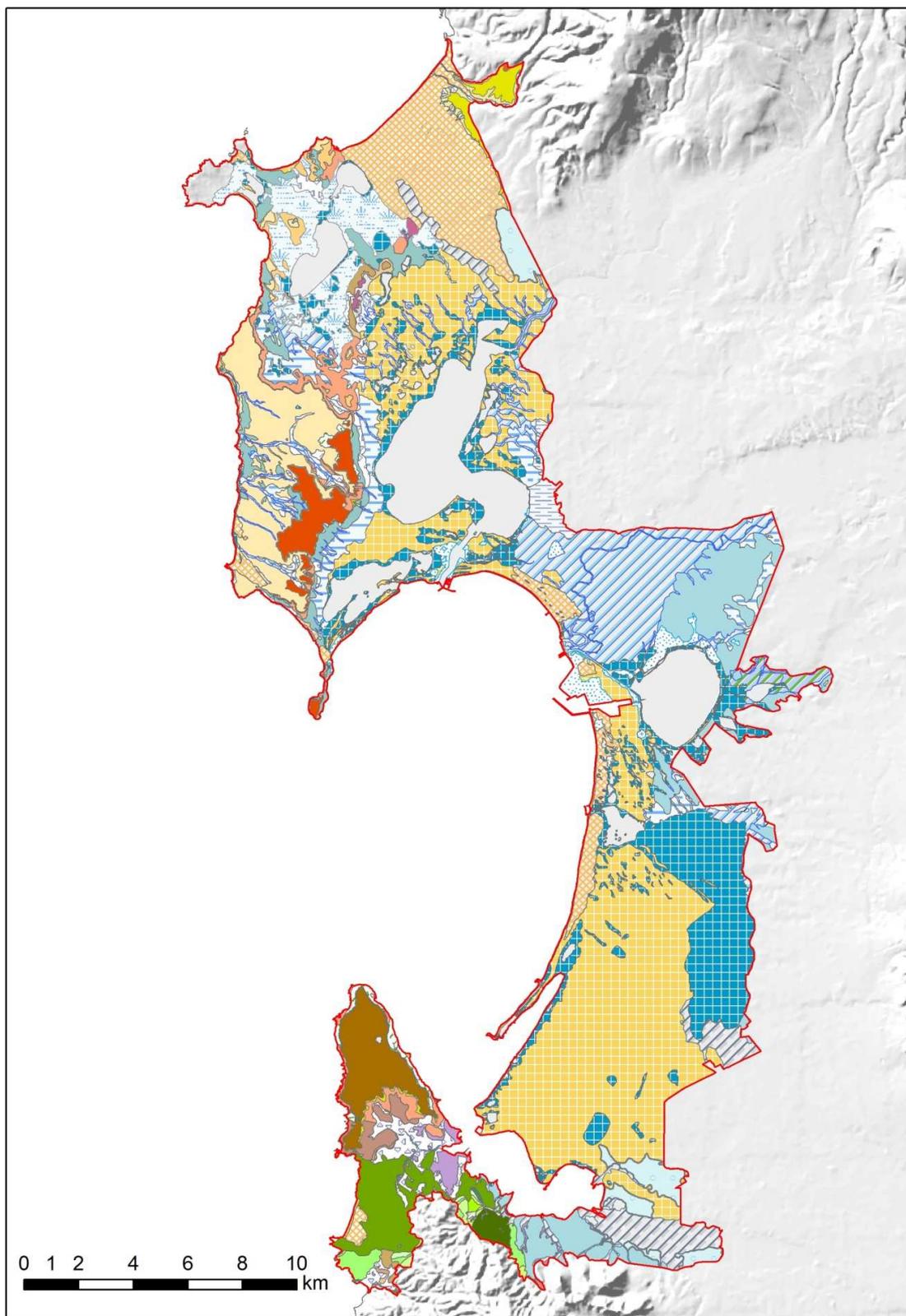


Figura 3.5. Carta geolitologica della fascia costiera del Golfo di Oristano (nostra elaborazione su fonte RAS – Sardegna Geoportale “Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000”).

OLOCENE

	Depositi antropici. Discariche per inerti
	Depositi antropici. Discariche per rifiuti solidi urbani
	Depositi antropici. Manufatti antropici
	Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate
	Coltri eluvio-colluviali
	Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi
	Depositi di frana. Corpi di frana
	Depositi di frana. Corpi di frana antichi
	Depositi alluvionali terrazzati indifferenziati
	Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie
	Depositi alluvionali terrazzati. Sabbie con subordinati limi ed argille
	Depositi alluvionali indifferenziati
	Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie
	Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille
	Depositi alluvionali. Limi ed argille
	Depositi palustri
	Depositi lacustri
	Depositi eolici
	Depositi di spiaggia
	Depositi di spiaggia antichi

PLEISTOCENE SUP.

	Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME) Ghiaie alluvionali terrazzate
	Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME) Sabbie e arenarie eoliche
	Subsistema di Calamosca ("Panchina Tirreniana" Auct.) (SINTEMA DI PORTOVESME)

PLIO-PLEISTOCENE

	UNITÀ DI CUCCURU ASPRU. Basalti subalcalini
	UNITÀ DI NURAGHE GENNA UDA. Andesiti basaltiche subalcaline

PLIOCENE

	Facies Conc'Ailloni (BASALTI DEL GOLFO DI ORISTANO) Andesiti basaltiche
	Facies Costa Randada (BASALTI DEL GOLFO DI ORISTANO) Andesiti basaltiche
	Subunità di Funtana di Pedru Oe (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA) Basalti debolmente alcalini e trachibasalti
	FORMAZIONE DI NURAGHE BABOE. Conglomerati e breccie
	FORMAZIONE DI NURAGHE CASTEDDU. Argilliti, siltiti, arenarie arcose, conglomerati

OLIGOCENE SUP. - MESSINIANO

	CALCARI DI TORRE DEL SEVO Calcari e calcari dolomitici residuali; calcareniti
	CALCARI LAMINATI DEL SINIS Calcari microcristallini e marmee calcaree
	FORMAZIONE DI CAPO SAN MARCO Siltiti argillose e arenacee, calcari bioermali
	FORMAZIONE DI S. CATERINA DI PITTINURI Calcari organogeni, calcari detritici
	Arenarie di Serra Longa (FORMAZIONE DI NURALLAO) Arenarie da grossolane a micro-conglomeratiche
	FORMAZIONE DI USSANA. Conglomerati e breccie
	CALCARI DI VILLAGRECA. Calcari bioclastici e biocostruiti
	UNITÀ DI CASE CILIRUS. Depositi di flusso piroclastico
	UNITÀ DI MONTE TOGORO. Basalti e andesiti
	UNITÀ DI PARDU ATZEI. Basalti ed andesiti basaltiche
	UNITÀ DI MONTE OLIA. Depositi di flusso piroclastico
	ANDESITI DI ATZORI. Andesiti

CAMBRIANO - ORDOVICIANO

	ARGILLOSCISTI DI RIO CANONI Metapeliti, metasiltiti carbonatiche fossilifere
	FORMAZIONE DI PUNTA SERPEDDI Metarose, metarenarie e metaconglomerati
	METACONGLOMERATI DI MURAVERA Metaconglomerati eterometrici poligenici
	PORFIDI GRIGI DEL SARRABUS Metarioliti e metariodaciti, metatufi e metaepiclastiti
	PORFIROIDI AUCT. Metarioliti e metariodaciti, metaepiclastiti
	ARENARIE DI SAN VITO Alternanze irregolari di metaquarzoareniti, metarenarie micacee e metapeliti
	ARENARIE DI SAN VITO Alternanze irregolari di metarenarie, metasiltiti e metasiltiti micacee
	ARENARIE DI SAN VITO Alternanze irregolari di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti

SILURIANO - CARBONIFERO

	Litofacies nella FORMAZIONE DI PALA MANNA Metaconglomerati poligenici eterometrici grossolani
	SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Argilloscisti
	SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Metapeliti carboniose e metasiltiti
	Litofacies negli SCISTI A GRAPTOLITI AUCT. Metacalcari scuri e metacalcari nodulari fossiliferi

Figura 3.6. Legenda della Carta geolitologica.

3.3.2 Caratteri geomorfologici

L'assetto geomorfologico dell'area di studio è dovuto all'interazione delle condizioni geostrutturali del territorio e dei processi morfogenetici in essa prevalenti. Giocano un ruolo attivo anche le condizioni climatiche, la presenza e lo stato della copertura vegetale e non ultima l'attività antropica. Come si è visto, l'area della ricerca è costituita per la maggior parte da una copertura sedimentaria facilmente alterabile e si presenta con una morfologia semplice, piana e molto morbida.

I lineamenti geomorfologici sono stati condizionati 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. Queste direttrici, legate a fasi tettoniche disgiuntive alpine e tardo alpine, hanno scomposto la regione dell'Oristanese in zolle, di cui quella identificabile con la parte interna del Golfo è la più subsidente, mentre ai margini di essa si ergono gli alti strutturali paleozoici delle colline a sud di S. Antonio di Santadi e dell'isolotto granitico del Mal di Ventre.

Seguendo l'impostazione del lavoro di Di Gregorio (1976), l'assetto geomorfologico del territorio del Golfo di Oristano è schematicamente caratterizzato dai seguenti quattro settori.

Settore del Sinis

In questo primo settore si riscontrano più tipi morfologici, in relazione alla natura litologica e alla giacitura delle formazioni geologiche presenti. La penisola del Sinis è caratterizzata da una morfologia prevalentemente tabulare e subpianeggiante 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 neogenici ora costituiscono la parte più elevata del

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

Sinis, con quota media intorno ai 50 m slm.

I rilievi miocenici, che contornavano il tavolato, molto più erodibili dei basalti, sono stati smantellati quasi completamente. Questo processo ha portato a giorno le testate delle colate basaltiche, che formano un bordo netto ed aggettante, che risalta nel paesaggio d'insieme dalle forme poco pronunciate.

Le zone prospicienti il mare e lo stagno di Cabras sono generalmente depresse, caratterizzate da successioni di stagni e paludi e aree idromorfe, frequentemente invase dalle acque.

Lungo la costa, i campi dunari subattuali ed attuali caratterizzano in particolare il settore settentrionale della penisola con la vasta distesa di dune di Is Arenas. Le dune, di forma complessiva longitudinale, sono disposte con asse parallelo alla direzione del vento dominante, il maestrale. Negli anni '50, per arginare il fenomeno dello spostamento delle sabbie eoliche nell'entroterra, è stata impiantata ad Is Arenas una pineta artificiale, che oggi costituisce uno dei pochi polmoni verdi ad alberi d'alto fusto del 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 della parte centrale del Golfo

Questo settore è costituito da forme tendenzialmente piatte e depresse. La morfologia è appena movimentata 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. Altro carattere distintivo è costituito dagli estesi campi dunari che si rinvengono tra la foce del Tirso e lo stagno di S'Ena Arrubia.

In questo ambito possono essere individuati alcuni aspetti significativi legati alla natura geomorfologica: le grandi conoidi e le alluvioni antiche terrazzate in risalto rispetto al resto della piana, talora ondulate, e spesso anche con inclinazione rimarchevole in corrispondenza dei rilievi; le alluvioni recenti, quasi perfettamente pianeggianti; il fondo degli stagni bonificati (Sassu) divenuto paesaggio agrario; le dune fossili dell'entroterra (Arborea e Palmas Arborea) per gran parte interessate dalla bonifica.

Nell'insieme l'intera piana presenta una debole pendenza nel senso est-ovest, passando

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

dalle quote dei terrazzi più alti, circa 70-80 m slm, a quote prossime allo zero o inferiori allo zero nelle depressioni della fascia costiera.

Ma il connotato più rilevante della pianura oristanese è la ricca 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.

In questa regione l'uomo, nel corso del secolo scorso, è intervenuto profondamente a modificare l'ambiente naturale. I canali e la viabilità ortogonale, tipici delle aree di bonifica, ne sono i segni più evidenti.

Settore di 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 calcarentici 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 a occidentale, ove 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 SSE di S. Antonio di Santadi

In questo settore, sono presenti rilievi modellati in rocce metamorfiche del basamento paleozoico (scisti, scisti arenacei ed argilloscisti), ad altitudine ridotta e dalle forme tendenzialmente morbide, interrotti a tratti da modeste creste rocciose emergenti in corrispondenza dei livelli a quarziti, notoriamente meno alterabili rispetto agli scisti argillosi e siltosi. 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 ancora basaltico, posto ai margini di essa nei pressi dello stagno di Marceddì. Questa estrema parte del Paleozoico è raccordata

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

alla base con la zona di pianura, mediante una serie di conoidi coalescenti di alluvioni antiche, interessate da incisioni allungate, successivamente operate da modesti corsi d'acqua che le attraversano, i quali, talora, vi hanno depresso nel fondo deboli coperture di alluvioni recenti ed attuali.

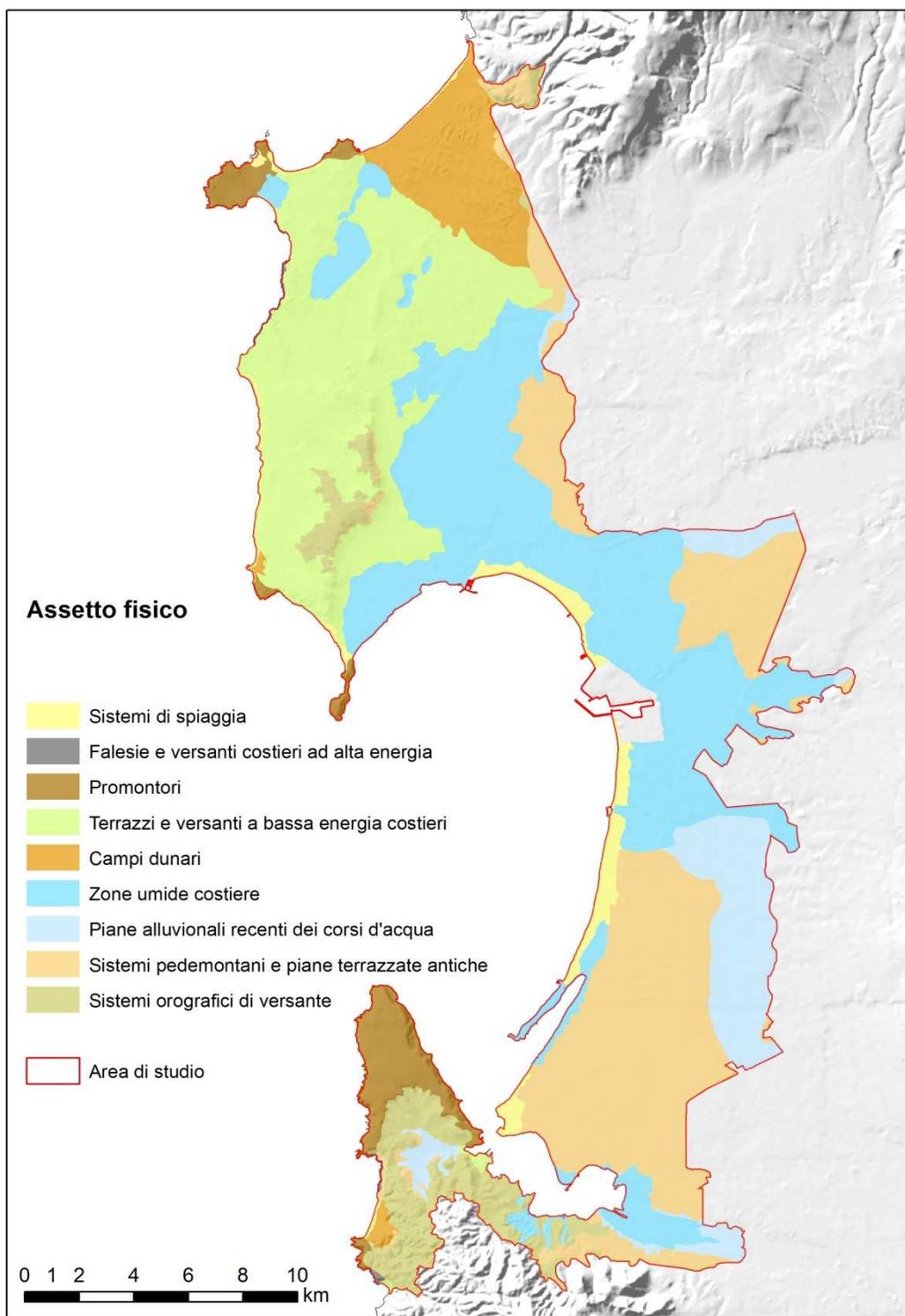


Figura 3.7. Carta dell'Assetto fisico dell'area del Golfo di Oristano (nostra elaborazione su fonte RAS – Sardegna Geoportale).

3.4 Unità Pedologiche Cartografiche

Dal punto di vista pedologico, in base allo studio delle Unità Cartografiche Pedologiche - UPC (Aru et al., 1991), nell'area di studio sono state individuate 17 distinte UPC (tabella 3.2 e figura 3.8). Le UPC più rappresentate 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.

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

Tabella 3.2. Unità Pedologiche Cartografiche e le rispettive superfici ricadenti nell'area di studio.

UNITA' 4		
SUBSTRATO	Paesaggi su metamorfiti (Scisti, scisti arenacei, argilloscisti, ecc.) del Paleozoico e relativi depositi di versante	
FORME	Da aspre a subpianeggianti	
QUOTE	m 0-800/1000 s.l.m.	
USO ATTUALE	Pascolo naturale, pascolo arborato con quercia da sughero e leccio, a tratti seminativi (erbai)	
SUOLI PREDOMINANTI	Typic, Dystric e Lithic Xerorthents; Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts	
SUOLI SUBORDINATI	Palexeralfs e Haploxeralfs; Rock outcrop; Xerofluvents	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	da poco a mediamente profondi
	tessitura	da franco-sabbiosa a franco-argillosa
	struttura	poliedrica subangolare e grumosa
	permeabilità	da permeabili a mediamente permeabili
	erodibilità	elevata
	reazione	subacida
	carbonati	assenti
	sostanza organica	media
	capacità di scambio cationico	da media a bassa
	saturazione in basi	parzialmente desaturati
LIMITAZIONI D'USO	A tratti: rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, forte pericolo di erosione	
ATTITUDINI	Conservazione e ripristino della vegetazione naturale; riduzione graduale del pascolamento; a tratti colture agrarie	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	VII-VI	

UNITA' 8		
SUBSTRATO	Paesaggi su rocce intrusive (graniti, granodioriti, leucograniti, ecc.) del Paleozoico e relativi depositi di versante	
FORME	aspre e con pendenze elevate	
QUOTE	m 0-1100 s.l.m.	
USO ATTUALE	Pascolo naturale	
SUOLI PREDOMINANTI	Rock outcrop; Lithic Xerorthents	
SUOLI SUBORDINATI	Xerochrepts	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	poco profondi
	tessitura	da sabbioso- franca a franco-sabbiosa
	struttura	poliedrica subangolare
	permeabilità	permeabili
	erodibilità	elevata
	reazione	acida
	carbonati	assenti
	sostanza organica	da media a scarsa
	capacità di scambio cationico	bassa
	saturatione in basi	parzialmente desaturati
LIMITAZIONI D'USO	Rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, forte pericolo di erosione	
ATTITUDINI	Conservazione e ripristino della vegetazione naturale; eliminazione del pascolamento	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	VIII	

UNITA' 13		
SUBSTRATO	Paesaggi su rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riolaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante, colluvi	
FORME	Generalmente aspre	
QUOTE	m 0-700 s.l.m.	
USO ATTUALE	Pascolo naturale	
SUOLI PREDOMINANTI	Rock outcrop; Lithic Xerorthents	
SUOLI SUBORDINATI	Xerochrepts	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	poco profondi
	tessitura	da franco-argillosa ad argillosa
	struttura	poliedrica angolare e subangolare
	permeabilità	da mediamente a poco permeabili
	erodibilità	elevata
	reazione	neutra
	carbonati	assenti
	sostanza organica	scarsa
	capacità di scambio cationico	media
	saturazione in basi	saturo
LIMITAZIONI D'USO	Rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, forte pericolo di erosione	
ATTITUDINI	Ripristino della vegetazione naturale; riduzione od eliminazione del pascolamento	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	VIII	

UNITA' 18		
SUBSTRATO	Paesaggi su rocce effusive basiche (basalti) del Pliocene superiore e del Pleistocene e relativi depositi di versante e colluviali	
FORME	Da ondulate a sub pianeggianti e con pendenze elevate sull'orlo delle colate	
QUOTE	m 0-1000 s.l.m.	
USO ATTUALE	Pascolo naturale	
SUOLI PREDOMINANTI	Rock outcrop; Lithic Xerorthents	
SUOLI SUBORDINATI	Xerochrepts	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	poco profondi
	tessitura	franco argillosa
	struttura	poliedrica subangolare
	permeabilità	permeabili
	erodibilità	bassa
	reazione	neutra
	carbonati	assenti
	sostanza organica	da scarsa a media
	capacità di scambio cationico	media
	 saturazione in basi	saturi
LIMITAZIONI D'USO	Rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, idromorfia dovuta al substrato impermeabile	
ATTITUDINI	Ripristino e conservazione della vegetazione naturale; riduzione od eliminazione del pascolamento	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	VIII-VII	

UNITA' 20		
SUBSTRATO	Paesaggi su calcari organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene	
FORME	Da aspre a sub pianeggianti, a tratti fortemente incise	
QUOTE	m 0-700 s.l.m.	
USO ATTUALE	Pascolo naturale	
SUOLI PREDOMINANTI	Rock outcrop; Lithic e Typic Xerorthents; Lithic e Typic Rhodoxeralfs	
SUOLI SUBORDINATI	Xerofluvents	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	da poco a mediamente profondi
	tessitura	da franco-sabbioso-argillosa ad argillosa
	struttura	poliedrica subangolare e angolare
	permeabilità	permeabili
	erodibilità	elevata
	reazione	neutra
	carbonati	elevati
	sostanza organica	da scarsa a media
	capacità di scambio cationico	media
	saturazione in basi	saturo
LIMITAZIONI D'USO	Rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, a tratti eccesso di scheletro, forte pericolo d'erosione	
ATTITUDINI	Ripristino della vegetazione naturale	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	VII-VIII	

UNITA' 21		
SUBSTRATO	Paesaggi su calcari organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene	
FORME	Da dolci ad ondulate, più o meno incise	
QUOTE	m 0-500 s.l.m.	
USO ATTUALE	Pascolo naturale, prato pascolo e a tratti colture agrarie	
SUOLI PREDOMINANTI	Typic e Lithic Xerorthents; Typic e Lithic Xerochrepts; Typic Rhodoxeralfs	
SUOLI SUBORDINATI	Rock outcrop; Arents; Xerofluvents	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	da mediamente a poco profondi
	tessitura	da franco-sabbioso-argillosa ad argillosa
	struttura	poliedrica subangolare e angolare
	permeabilità	permeabili
	erodibilità	elevata
	reazione	neutra
	carbonati	elevati
	sostanza organica	da media ad elevata
	capacità di scambio cationico	media
	saturazione in basi	saturo
LIMITAZIONI D'USO	A tratti: rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro. Forte pericolo di erosione	
ATTITUDINI	Ripristino della vegetazione naturale nelle aree con maggiori limitazioni; colture erbacee ed arboree anche irrigue	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	VI-IV-III	

UNITA' 22		
SUBSTRATO	Paesaggi su marne, arenarie e calcari marnosi del Miocene e relativi depositi colluviali	
FORME	Ondulate, sulle sommità collinari e in corrispondenza dei litotipi più compatti	
QUOTE	m 0-600 s.l.m.	
USO ATTUALE	Pascolo naturale e seminativo	
SUOLI PREDOMINANTI	Lithic Xerorthents; Rock outcrop	
SUOLI SUBORDINATI	Xerochrepts	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	poco profondi
	tessitura	da franco-sabbiosa a franco-argillosa
	struttura	poliedrica subangolare
	permeabilità	permeabili
	erodibilità	elevata
	reazione	subalcalina
	carbonati	elevati
	sostanza organica	scarsa
	capacità di scambio cationico	media
	 saturazione in basi	saturi
LIMITAZIONI D'USO	rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro e di carbonati, forte pericolo di erosione	
ATTITUDINI	Pascoli migliorati con specie idonee ai suoli a reazione subalcalina; possibili impianti di specie arboree resistenti all'aridità	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	VI-VII	

UNITA' 26		
SUBSTRATO	Paesaggi su alluvioni e su arenarie eoliche cementate del Pleistocene	
FORME	Da subpianeggianti a pianeggianti	
QUOTE	m 0-300 s.l.m.	
USO ATTUALE	Prevalentemente agricolo	
SUOLI PREDOMINANTI	Typic, Aquic ed Ultic Palexeralfs	
SUOLI SUBORDINATI	Xerofluvents; Ochraqualfs	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	profondi
	tessitura	da franco-sabbiosa a franco-sabbiosa-argillosa in superficie, da franco-sabbioso-argillosa ad argillosa in profondità
	struttura	poliedrica angolare e subangolare
	permeabilità	da permeabili a poco permeabili
	erodibilità	moderata
	reazione	da subacida ad acida
	carbonati	assenti
	sostanza organica	scarsa
	capacità di scambio cationico	da bassa a media
	saturatione in basi	da saturi a desaturi
LIMITAZIONI D'USO	Eccesso di scheletro, drenaggio da lento a molto lento, moderato pericolo di erosione	
ATTITUDINI	Colture erbacee e, nelle aree più drenate, colture arboree anche irrigue	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	III-VI	

UNITA' 28		
SUBSTRATO	Paesaggi su alluvioni del Pleistocene	
FORME	pianeggianti	
QUOTE	m 0-150 s.l.m.	
USO ATTUALE	Prevalentemente agricolo	
SUOLI PREDOMINANTI	Typic e Calcic Haploxeralfs; Petrocalcic Palexeralfs	
SUOLI SUBORDINATI	Xerofluvents	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	profondi
	tessitura	da franco-sabbiosa a franco-argillosa in superficie, da franco-sabbioso-argillosa ad argilloso-sabbiosa in profondità
	struttura	poliedrica angolare e subangolare
	permeabilità	da permeabili a mediamente permeabili
	erodibilità	scarsa
	reazione	da neutra a subalcalina
	carbonati	da assenti ad elevati
	sostanza organica	da scarsa a media
	capacità di scambio cationico	da media ad elevata
	saturatione in basi	saturo
LIMITAZIONI D'USO	A tratti: eccesso di scheletro, eccesso di carbonati, drenaggio lento	
ATTITUDINI	Colture erbacee ed arboree anche irrigue	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	II-III	

UNITA' 29		
SUBSTRATO	Paesaggi su alluvioni dell'Olocene, a varia granulometria	
FORME	Pianeggianti o leggermente depresse	
QUOTE	m 0-400 s.l.m.	
USO ATTUALE	Prevalentemente agricolo, spesso intensivo, asciutto ed irriguo	
SUOLI PREDOMINANTI	Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents	
SUOLI SUBORDINATI	Xerochrepts	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	profondi
	tessitura	da sabbioso-franca a franco-argillosa, con contenuto in scheletro assai vario ma che, in alcuni casi, può essere anche molto abbondante
	struttura	poliedrica sub angolare e angolare
	permeabilità	da permeabili a poco permeabili, con idromorfia temporanea
	erodibilità	bassa
	reazione	neutra
	carbonati	da assenti ad medi
	sostanza organica	da scarsa a media
	capacità di scambio cationico	da media ad elevata
	saturatione in basi	saturi
LIMITAZIONI D'USO	A tratti: eccesso di scheletro, drenaggio lento, pericolo di inondazione	
ATTITUDINI	Colture erbacee ed arboree anche irrigue	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	I-II	

UNITA' 30		
SUBSTRATO	Paesaggi su alluvioni dell'Olocene, a varia granulometria	
FORME	Pianeggianti o leggermente depresse	
QUOTE	m 0-400 s.l.m.	
USO ATTUALE	Prevalentemente agricolo, spesso intensivo, asciutto ed irriguo	
SUOLI PREDOMINANTI	Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents	
SUOLI SUBORDINATI	Xerochrepts	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	profondi
	tessitura	da sabbioso-franca a franco-argillosa, con contenuto in scheletro assai vario ma che, in alcuni casi, può essere anche molto abbondante
	struttura	poliedrica sub angolare e angolare
	permeabilità	da permeabili a poco permeabili, con idromorfia temporanea
	erodibilità	bassa
	reazione	neutra
	carbonati	da assenti ad medi
	sostanza organica	da scarsa a media
	capacità di scambio cationico	da media ad elevata
	saturatione in basi	saturi
LIMITAZIONI D'USO	A tratti: eccesso di scheletro, drenaggio lento, pericolo di inondazione	
ATTITUDINI	Colture erbacee ed arboree anche irrigue	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	I-II	

UNITA' 31		
SUBSTRATO	Paesaggi su alluvioni dell'Olocene, a granulometria fine	
FORME	Pianeggianti o depresse	
QUOTE	m 0-200 s.l.m.	
USO ATTUALE	Prevalentemente agricolo	
SUOLI PREDOMINANTI	Typic Fluvaquents; Vertic Fluvaquents	
SUOLI SUBORDINATI	Xerofluvents; Haplaquepts	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	profondi
	tessitura	argillosa
	struttura	poliedrica angolare
	permeabilità	poco permeabili
	erodibilità	bassa
	reazione	subalcalina
	carbonati	da assenti ad elevati
	sostanza organica	scarsa
	capacità di scambio cationico	da media ad elevata
	saturatione in basi	saturo
LIMITAZIONI D'USO	Tessitura fine, drenaggio lento, pericolo d'inondazione, a tratti salinità	
ATTITUDINI	Colture erbacee, anche irrigue, previo drenaggio	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	III	

UNITA' 32		
SUBSTRATO	Paesaggi su conglomerati, arenarie eoliche e crostoni calcarei dell'Olocene	
FORME	Da pianeggianti a debolmente ondulate	
QUOTE	m 0-15 s.l.m.	
USO ATTUALE	Prevalentemente agricolo, promiscuo, anche irriguo	
SUOLI PREDOMINANTI	Lithic Calcixerolls	
SUOLI SUBORDINATI	Xerochrepts	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	da poco a mediamente profondi
	tessitura	da franco-argillosa a franco-sabbioso-argillosa
	struttura	poliedrica subangolare ed angolare, grumosa
	permeabilità	poco permeabili
	erodibilità	elevata
	reazione	da neutra a subalcalina
	carbonati	da assenti ad elevati
	sostanza organica	da media ad elevata
	capacità di scambio cationico	media
	 saturazione in basi	saturi
LIMITAZIONI D'USO	Scarsa profondità, eccesso di bicarbonati	
ATTITUDINI	Colture erbacee ed arboree anche irrigue	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	II	

UNITA' 32		
SUBSTRATO	Paesaggi su conglomerati, arenarie eoliche e crostoni calcarei dell'Olocene	
FORME	Da pianeggianti a debolmente ondulate	
QUOTE	m 0-15 s.l.m.	
USO ATTUALE	Prevalentemente agricolo, promiscuo, anche irriguo	
SUOLI PREDOMINANTI	Lithic Calcixerolls	
SUOLI SUBORDINATI	Xerochrepts	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	da poco a mediamente profondi
	tessitura	da franco-argillosa a franco-sabbioso-argillosa
	struttura	poliedrica subangolare ed angolare, grumosa
	permeabilità	poco permeabili
	erodibilità	elevata
	reazione	da neutra a subalcalina
	carbonati	da assenti ad elevati
	sostanza organica	da media ad elevata
	capacità di scambio cationico	media
	 saturazione in basi	saturi
LIMITAZIONI D'USO	Scarsa profondità, eccesso di bicarbonati	
ATTITUDINI	Colture erbacee ed arboree anche irrigue	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	II	

UNITA' 33		
SUBSTRATO	Paesaggi su sabbie eoliche dell'Olocene	
FORME	Da pianeggianti ad ondulate	
QUOTE	m 0-250 s.l.m.	
USO ATTUALE	Ampi tratti privi di copertura vegetale; vegetazione psammofila; rimboschimenti; coltivi	
SUOLI PREDOMINANTI	Typic Xeropsamments; Aquic Xeropsamments	
SUOLI SUBORDINATI	Xerochrepts; Quartzipsamment	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	profondi
	tessitura	da sabbiosa a sabbioso-franca
	struttura	poliedrica sub angolare, granuli sciolti
	permeabilità	da permeabili a molto permeabili
	erodibilità	elevata
	reazione	da neutra a subalcalina
	carbonati	da assenti ad elevati
	sostanza organica	scarsa
	capacità di scambio cationico	bassa
	saturatione in basi	saturo
LIMITAZIONI D'USO	Drenaggio eccessivo. A tratti drenaggio lento in profondità. Forte pericolo di erosione	
ATTITUDINI	Conservazione e ripristino della vegetazione naturale; a tratti colture erbacee ed arboree	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	II-III-VIII	

UNITA' 34		
SUBSTRATO	Paesaggi su sedimenti litoranei (paludi, lagune costiere, ecc.) dell'Olocene	
FORME	Pianeggianti o depresse	
QUOTE	m 0-5 s.l.m.	
USO ATTUALE	Vegetazione igrofila ed alofila	
SUOLI PREDOMINANTI	Typic Salorthids	
SUOLI SUBORDINATI	Fluvaquents	
CARATTERI DEI SUOLI	profondità	profondi
	tessitura	argillosa o argilloso-limosa
	struttura	massiva o colonnare
	permeabilità	poco permeabili
	erodibilità	scarsa
	reazione	da sub alcalina ad alcalina
	carbonati	da assenti ad elevati
	sostanza organica	scarsa
	capacità di scambio cationico	media
	saturatione in basi	saturi
LIMITAZIONI D'USO	Drenaggio lento, salinità elevata, pericolo di inondazione	
ATTITUDINI	Conservazione dell'ambiente naturale	
CLASSE DI CAPACITÀ D'USO	VIII	

UNITA' 35	
SUBSTRATO	Paesaggi urbanizzati

UNITA' 36	
SUBSTRATO	Acque

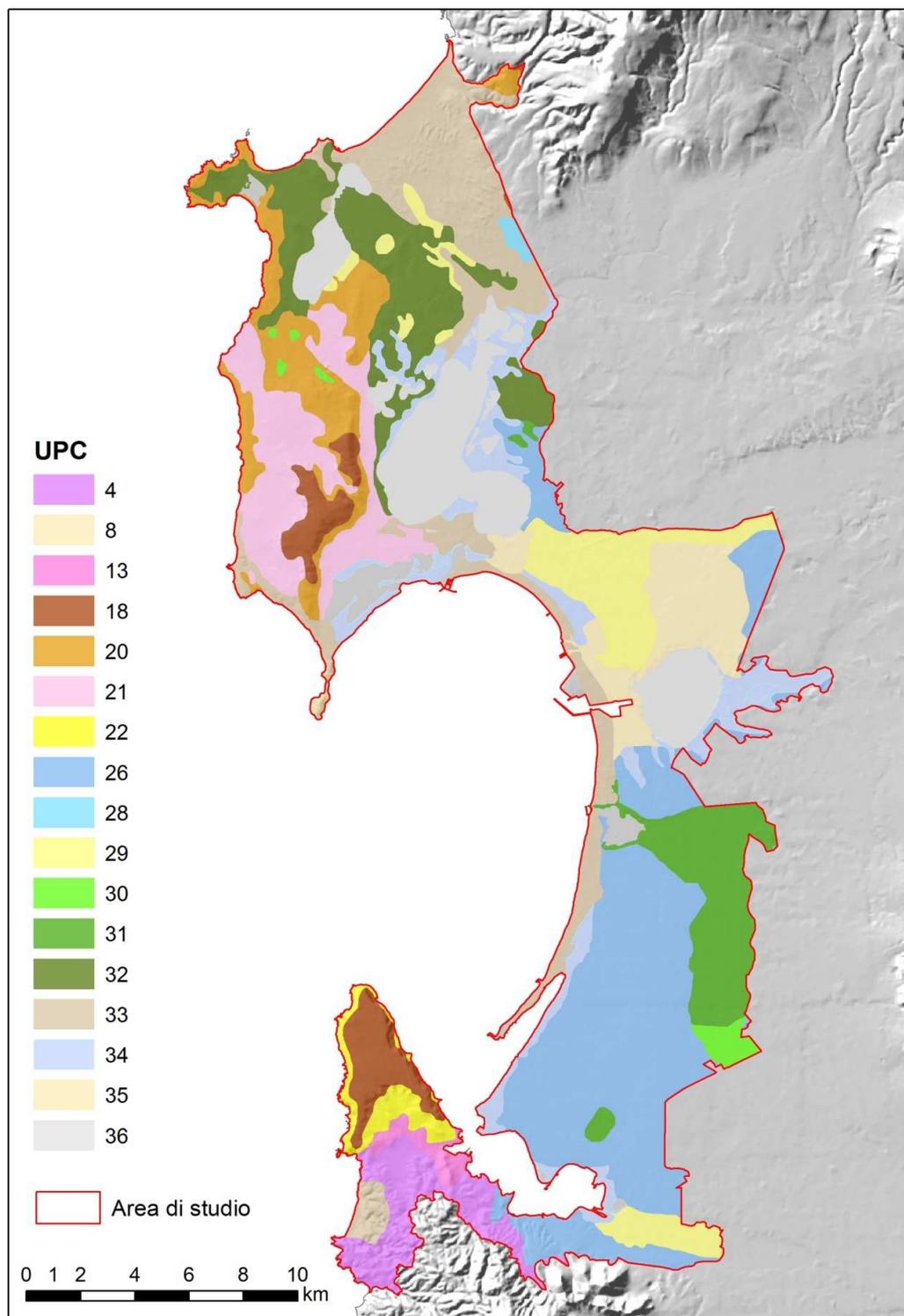


Figura 3.8. Carta delle Unità Pedologiche Cartografiche (nostra elaborazione su fonte Aru et al., 1991).

3.5 Uso e copertura del suolo

Per quanto riguarda l'analisi dell'uso e copertura del suolo dell'area in esame, è stata redatta la Carta dell'uso e copertura del suolo (figura 3.10), attenendosi alle classi *Corine Land Cover*, le stesse usate nel 2008 dalla Regione Sardegna per la definizione dell'uso del suolo regionale seguendo il progetto europeo CORINE (*COordination of INformation on the Environment*) LAND COVER con dettaglio al 4° livello e al 5° livello per la classe 3.1.1.2. Il progetto *Corine Land Cover* si prefigge di raccogliere informazioni sulla copertura del suolo degli Stati membri dell'Unione Europea con una metodologia comune. Nella Carta così predisposta vengono distinte 64 classi (Tabella 3.3). Dall'analisi dei dati prodotti attraverso l'elaborazione della Carta dell'uso e copertura del suolo, facendo riferimento al I livello della classificazione CORINE (figura 3.9), si evince che il territorio analizzato è relativamente poco antropizzato e gran parte delle superfici in essa ricomprese sono ad uso prevalentemente naturale ed agricolo.

La maggior parte del territorio, che si estende per 407,83 km², è caratterizzato da aree agricole (“Superfici agricole utilizzate”), con una percentuale del 60% (244,68 km²) dell'area considerata, testimonianza della notevole importanza che riveste l'attività primaria nel contesto socio-economica del territorio. Analizzando nel dettaglio le superfici delle singole voci della legenda relative alle aree agricole (figure 3.10 e 3.11) si può notare come la classe dei “Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo” (122,41 km²) e quella dei “Seminativi in aree non irrigue” (77,04 km²) costituiscano la percentuale di distribuzione maggiore in tutto il territorio, rispettivamente 30,01% e 18,89%. Altre percentuali elevate nell'ambito delle aree agricole sono quelle delle “Risaie” (2,69%), dei “Prati stabili” (2,46%), dei “Sistemi colturali e particellari complessi” (1,44%), dei “Prati artificiali” utilizzati per la zootecnia (1,38%) e degli “Oliveti” (1,17%).

I territori boscati e gli ambienti semi-naturali occupano circa il 20% (76,97 km²) dell'area, con il 4,88% di “Gariga”, 3,37% di “Bosco di conifere” e il 3,19% di “Macchia Mediterranea”.

Le zone umide e i corpi idrici occupano una parte considerevole del territorio, complessivamente circa il 15% (61,55 km²). È importante notare che le “Paludi salmastre” occupano circa il 3% dell'area esaminata e le “Lagune e stagni costieri” circa il 10% (42,61 km²).

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

Il paesaggio nell'area di studio è profondamente segnato da numerosi canali irrigui o canali di scolo, strutture create dall'uomo per migliorare le condizioni igieniche generali ed aumentare le superfici impiegabili per l'agricoltura.

La restante parte del territorio (6%) è occupata dalle "Superfici artificiali" (24,63 km²), corrispondenti alle aree utilizzate dall'uomo per fini produttivi, residenziali o di servizio. Le percentuali maggiori sono quelle relative alle classi "Fabbricati rurali" (1,34%) e "Tessuto residenziale rado" (1,05%). Queste percentuali, che possono apparire elevate, sono da contestualizzare con la vocazione e la storia agricola del territorio esaminato, che comprende parti del territorio in cui sono state eseguite le bonifiche per il miglioramento delle capacità idrauliche dei suoli. In tali aree sono state create le condizioni per l'insediamento dei coloni con la realizzazione dell'appoderamento e la possibilità di abitare all'interno del fondo assegnato.

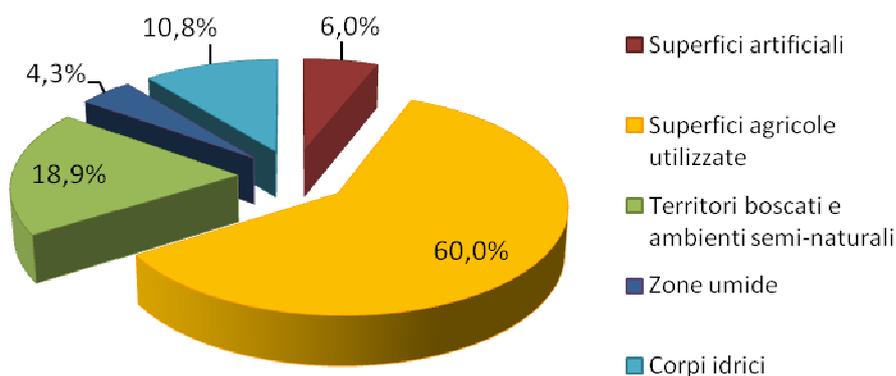


Figura 3.9. Distribuzione percentuale delle classi di uso del suolo del primo livello Corine Land Cover.

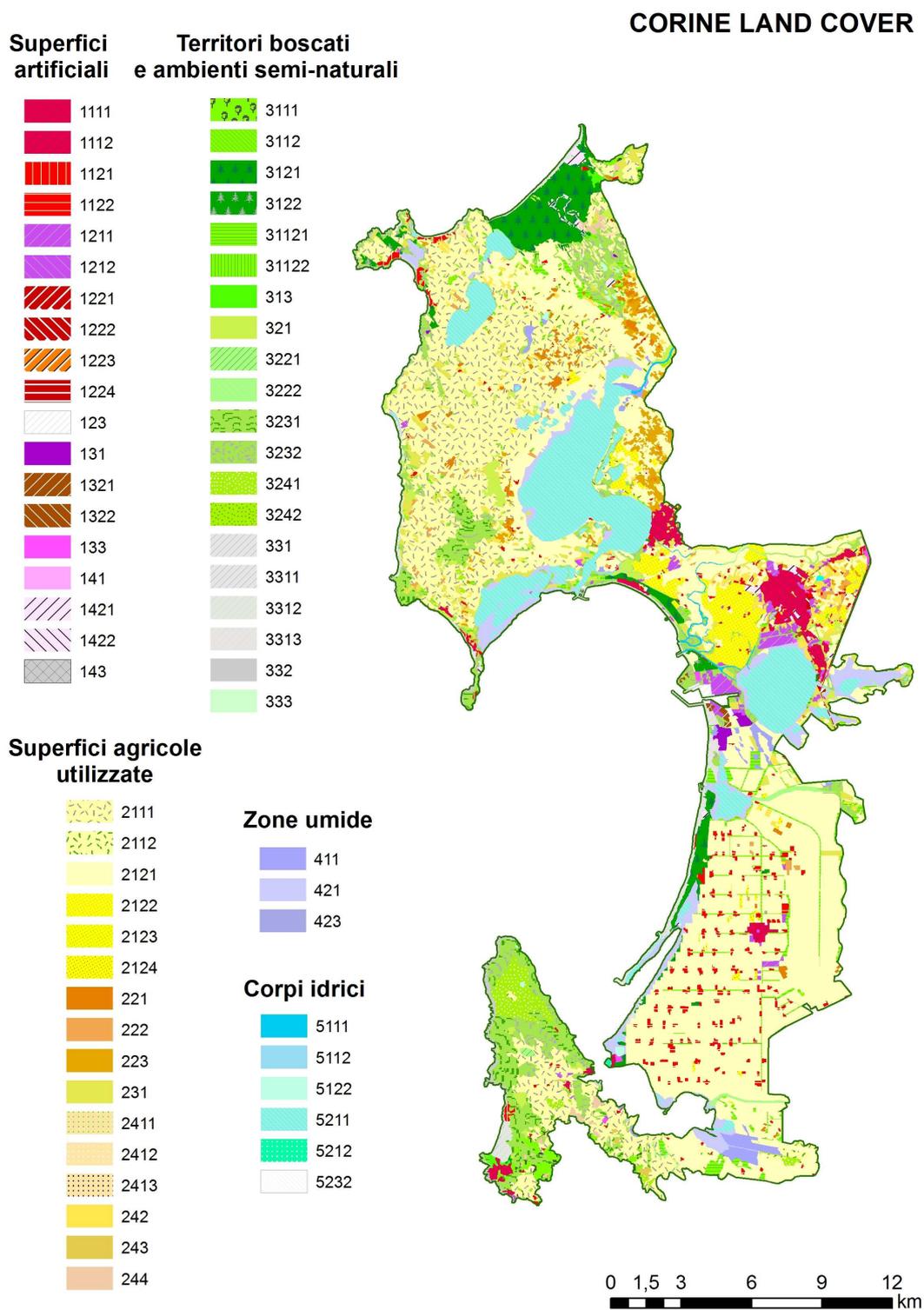


Figura 3.10. Carta dell'uso e della copertura del suolo (nostra elaborazione su fonte RAS – Sardegna Geoportale).

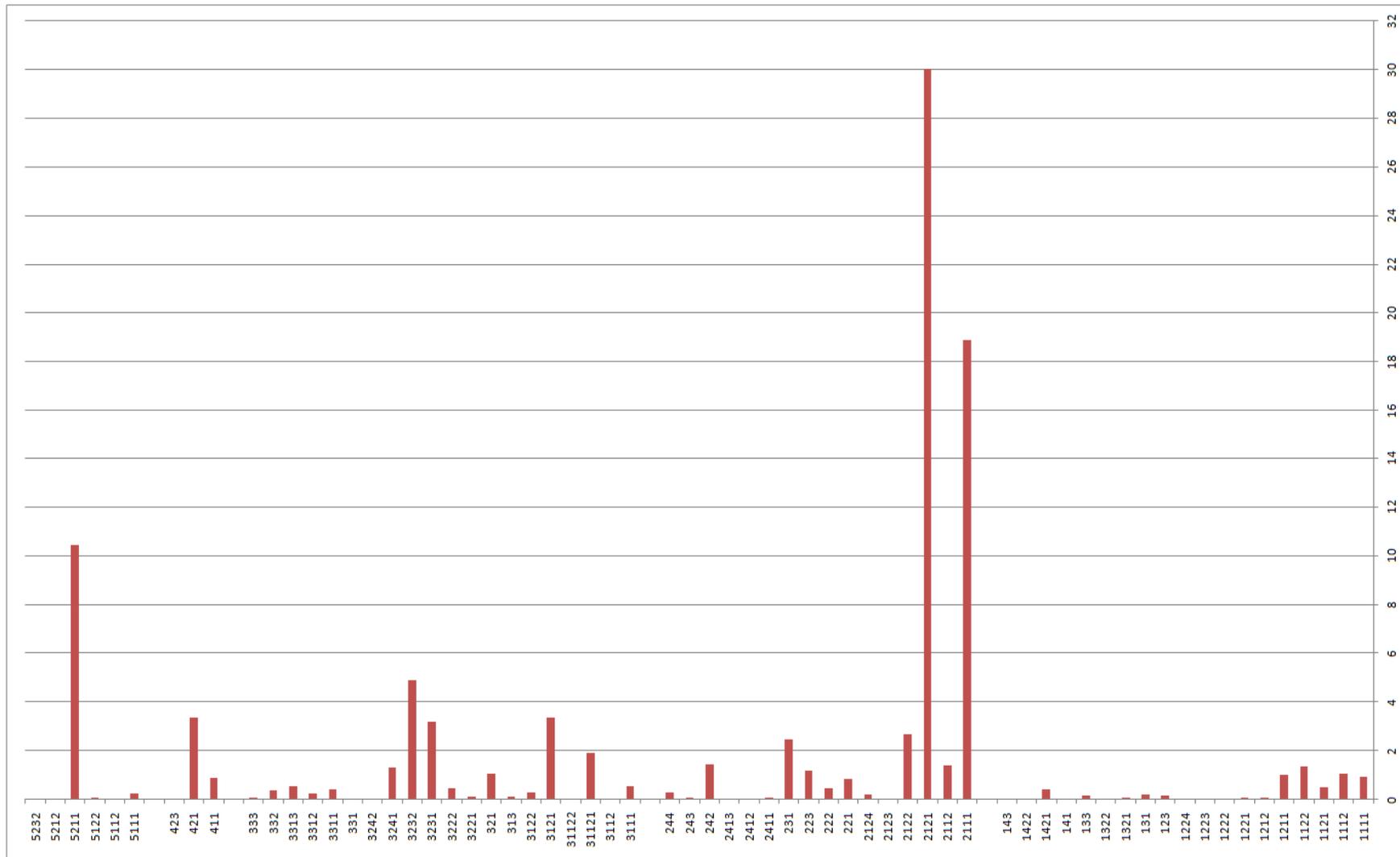


Figura 3.11. Distribuzione percentuale delle classi di uso del suolo all'interno del territorio studiato.

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

Descrizione Uso del suolo	Codice CORINE	Superficie (m ²)	Superficie (%)
SUPERFICI ARTIFICIALI			
Tessuto residenziale compatto e denso	1111	3791847,72	0,93
Tessuto residenziale rado	1112	4315553,33	1,06
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	1121	1965134,57	0,48
Fabbricati rurali	1122	5480666,34	1,34
Insedimenti industriali/artig. e comm. e spazi annessi	1211	4034752,24	0,99
Insedimento di grandi impianti di servizi	1212	339014,61	0,08
Reti stradali e spazi accessori	1221	281681,66	0,07
Reti ferroviarie e spazi annessi	1222	180525,79	0,04
Grandi impianti di concentrazione e smistamento merci	1223	38386,48	0,01
Impianti a servizio delle reti di distribuzione	1224	11637,49	0,00
Aree portuali	123	582198,83	0,14
Aree estrattive	131	803009,94	0,20
Discariche	1321	352346,74	0,09
Depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli	1322	16881,96	0,00
Cantieri	133	546520,30	0,13
Aree verdi urbane	141	9735,76	0,00
Aree ricreative e sportive	1421	1706030,35	0,42
Aree archeologiche	1422	56248,94	0,01
Cimiteri	143	116482,42	0,03
SUPERFICI AGRICOLE UTILIZZATE			
Seminativi in aree non irrigue	2111	77039550,20	18,89
Prati artificiali	2112	5616720,23	1,38
Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo	2121	122414038,69	30,02
Risaie	2122	10972056,83	2,69
Vivai	2123	60660,17	0,01
Coltura in serra	2124	710552,35	0,17
Vigneti	221	3384191,93	0,83
Frutteti e frutti minori	222	1866509,12	0,46
Oliveti	223	4811688,48	1,18
Prati stabili	231	10039069,24	2,46
Colture temporanee associate all'olivo	2411	343929,37	0,08
Colture temporanee associate al vigneto	2412	1606,11	0,00
Colture temporanee associate ad altre colture permanenti	2413	68627,70	0,02
Sistemi colturali e particellari complessi	242	5882980,93	1,44
Aree prev. occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali importanti	243	333303,81	0,08
Aree agroforestali	244	1137264,52	0,28
TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMI-NATURALI			
Bosco di latifoglie	3111	2129387,11	0,52
Boschi a prevalenza di querce caducifoglie	3112	155318,46	0,04
Pioppeti, saliceti, eucalitteti ecc. anche in formazioni miste	31121	7744697,60	1,90
Sugherete	31122	9815,66	0,00

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

Descrizione Uso del suolo	Codice CORINE	Superficie (m ²)	Superficie (%)
Bosco di conifere	3121	13741754,87	3,37
Arboricoltura con essenze forestali di conifere	3122	1056954,72	0,26
Boschi misti di conifere e latifoglie	313	434584,23	0,11
Aree a pascolo naturale	321	4358656,74	1,07
Cespuglieti ed arbusteti	3221	371709,13	0,09
Formazioni di ripa non arboree	3222	1839660,11	0,45
Macchia mediterranea	3231	12997774,88	3,19
Gariga	3232	19914510,04	4,88
Aree a ricolonizzazione naturale	3241	5382436,00	1,32
Aree a ricolonizzazione artificiale	3242	7419,04	0,00
Spiagge, dune e sabbie	331	43115,31	0,01
Spiagge di ampiezza superiore a 25m	3311	1738608,58	0,43
Aree dunali non coperte da vegetazione di ampiezza superiore a 25m	3312	922189,35	0,23
Aree dunali coperte da vegetazione di ampiezza superiore a 25m	3313	2256968,70	0,55
Pareti rocciose e falesie	332	1574316,18	0,39
Aree con vegetazione rada <5% e>40%	333	289534,96	0,07
ZONE UMIDE			
Paludi interne	411	3632229,79	0,89
Paludi salmastre	421	13696603,52	3,36
Zone intertidiali	423	50831,60	0,01
CORPI IDRICI			
Fiumi, torrenti e fossi	5111	1038553,15	0,25
Canali e idrovie	5112	155816,42	0,04
Bacini artificiali	5122	285408,78	0,07
Lagune, laghi e stagni costieri a produzione ittica naturale	5211	42610605,25	10,45
Acquacolture in lagune, laghi e stagni costieri	5212	55745,61	0,01
Acquacolture in mare libero	5232	22906,31	0,01
TOTALE		407829517,25	100,00

Tabella 3.3. Classi di uso del suolo con indicazione delle voci descrittive di legenda e delle superfici occupate in m² ed in % sul totale della superficie dell'area di studio.

3.6 Idrografia superficiale

3.6.1 Principali corsi d'acqua

L'idrografia della Sardegna si presenta con i caratteri tipici delle regioni mediterranee. I corsi d'acqua principali sono caratterizzati da un regime torrentizio.

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; dopo la confluenza del Rio Sant'Elena, compie gli ultimi 19 km con un alveo con debole pendenza, per gran parte arginato. Nel tratto finale l'andamento diventa meandriforme e lungo le sue sponde si possono riconoscere vecchi meandri abbandonati. La foce del Tirso, un tempo un piccolo delta, si presenta oggi ad estuario. Durante la stagione estiva, quando gli apporti sono minimi, spesso un cordone di sabbia chiude la foce, creando una zona di ristagno delle acque fluviali.

Morfologicamente il bacino si presenta suddiviso in due settori, quello orientale occupato da graniti e rocce metamorfiche del Paleozoico, quello occidentale prevalentemente interessato da litologie effusive e sedimentarie del Terziario e del Quaternario.

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. Attraverso un complesso sistema di captazioni ad acqua fluente, con la messa in pressione delle condotte di distribuzione, viene così alimentata una rete di utenze aziendali distribuita capillarmente in quasi tutta la zona.

Il **Rio Mare Foghe**, il cui bacino idrografico è di 286,3 km², trova sbocco 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 nel settore settentrionale della spiaggia di Is Arenas.

Alla foce di questo torrente si crea un fenomeno del tutto particolare e che non si verifica altrove in Sardegna. Le condizioni del mare e delle sue correnti conducono alla formazione di un cordone di sabbia che ostacola lo sbocco delle acque. Così il corso d'acqua per poter defluire in mare è costretto, prima di sfociare, a scorrere per oltre 200 metri nella sabbia parallelamente alla spiaggia (Fadda et al., 1993).

Nell'area meridionale del Golfo, il **Rio Flumini Mannu di Pabillonis** ed il **Rio Sitzerri** sono due importanti corsi d'acqua che estendono il proprio bacino idrografico nei rilievi del Monte Linas e dell'Arcuentu e sfociano 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, trae origine dalla confluenza del Rio Flumineddu e del Rio Mannu. A partire da questo punto il Rio Mogoro si dirige verso la Piana del Campidano, secondo la direzione SE-NW, per poi essere incanalato in prossimità dell'abitato di Uras e fatto defluire nello Stagno di Marceddì. La superficie dell'intero bacino idrografico del Rio Mogoro è di 398,8 km². Numerosi altri corsi d'acqua minori prendono origine dalle pendici occidentali del Monte Arci. Questi in origine alimentavano lo Stagno di Sassu, mentre in seguito agli interventi di bonifica vennero captati dal Canale delle Acque Alte.

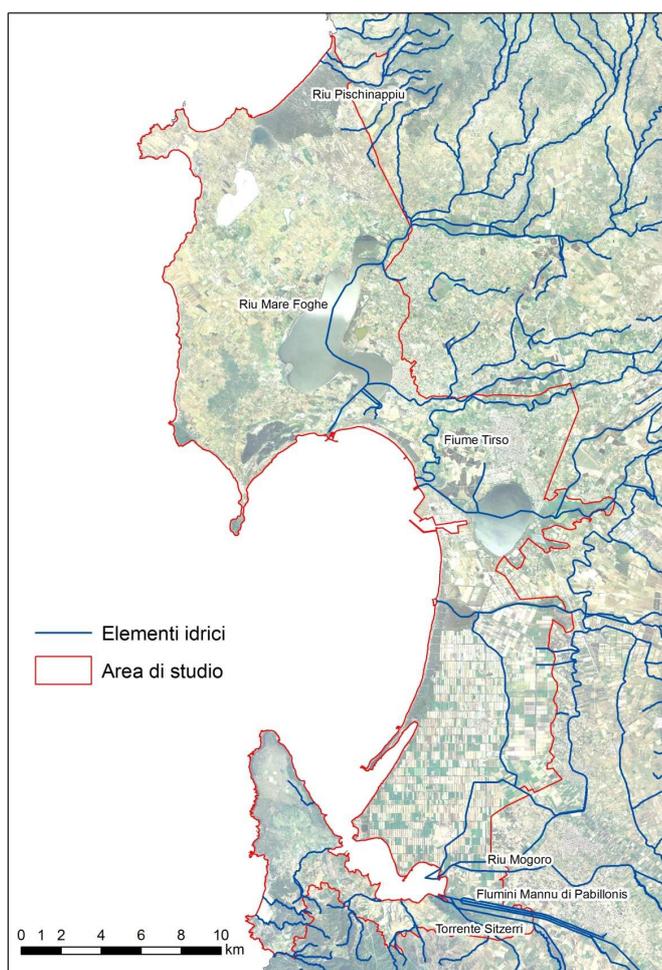


Figura 3.12. Principali corsi d'acqua della fascia costiera del Golfo di Oristano (nostra elaborazione su fonte RAS - Sardegna Geoportale).

3.6.2 Zone umide

La Convenzione sulle zone umide di importanza internazionale, soprattutto come habitat per l'avifauna acquatica, meglio conosciuta come “Convenzione di Ramsar” (firmata a Ramsar, in Iran, il 2 febbraio 1971), definisce le zone umide come “*aree palustri, acquitrinose o torbose o comunque specchi d'acqua, naturali o artificiali, permanenti o temporanei, con acqua stagnante o corrente, dolce, salmastra o salata, ivi comprese le distese di acqua marina la cui profondità, durante la bassa marea, non supera i sei metri*”.

Le zone umide Ramsar sono incluse nell'elenco previsto dal D.P.R. 13 marzo 1976, n. 448, definite come oggetto di tutela e valorizzazione dall'art. 142, comma 1, lettera i) del D.Lgs. 22 gennaio 2004 n. 42 (Codice Urbani). L'adesione dell'Italia alla Convenzione di Ramsar rappresenta, sotto il profilo legislativo, un cambiamento rispetto alle norme

precedenti, che erano ancora quelle dell'era delle bonifiche, dalla legge Baccharini del 1882 alla legge Serpieri del 1933, dove stagni, paludi ed acquitrini erano visti in modo negativo. Questa Convenzione, lo stato italiano e dopo numerose altre nazioni, introdussero per la prima volta il concetto di "zona umida" come risorsa da tutelare.

Le zone designate nel mondo furono 1060, di cui 46 in Italia e 8 in Sardegna.

Il PPR (art. 17 delle NTA - Assetto ambientale, Generalità ed individuazione dei beni paesaggistici) precisa che *"zone umide, laghi naturali ed invasi artificiali e territori contermini compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia, anche per i territori elevati sui laghi sono categorie di beni paesaggistici afferenti all'assetto territoriale"*.

Delle 8 zone umide sarde inserite nella Convenzione, 6 risultano presenti nel settore del Golfo di Oristano. Un aspetto significativo e peculiare dell'area di studio è infatti la presenza di numerosi stagni e aree idromorfe, situati in prossimità della costa. Oltre ai grandi sistemi stagnali di Cabras, Santa Giusta, Pauli Maiori, Mistras, S'Ena Arrubia, Corru e S'Ittiri, S.Giovanni-Marceddi, si hanno numerosi stagni, taluni temporanei, localizzati prevalentemente nel Sinis: Is Benas, Sale 'e Porcus, Pauli Murtas, Pauli Trottas, tra quelli di dimensioni medie e Pauli Crecchi, Pauli Civas, Pauli Acqua Urchi, tra i più piccoli.

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 laguna¹).

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.

Ad ovest, rispetto lo Stagno, si trovano formazioni dunari che creano vaste depressioni, nelle quali le piogge danno luogo a ristagni temporanei durante la stagione invernale (Pauli Trottas, Pauli Civas, Stagno Istai, Cuccuru Isperrau, Pischeredda); queste paludi semipermanenti, di enorme valore paesaggistico ed ambientale sono in parte bonificate per essere utilizzate come terreni agricoli.

¹ 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.

A nord si trova una zona paludosa (Pauli Ludosu); a nord-est una vasta zona bonificata, laddove si trovava lo Stagno di Mare Foghe, nella quale scorre il relativo canale (Rio Mare Foghe); ad est continua la zona di bonifica, attraversata da numerosi canali, nella quale si trovano i due piccoli stagni di Mar'e Pauli e Pauli È Sali. In origine lo stagno comunicava con il mare attraverso quattro canali che si riunivano per confluire nello Stagno di Sa Mardini. Attualmente il collegamento con il mare avviene con il Canale Scolmatore, lungo circa 4 km, costruito negli anni '70 per ovviare lo straripamento delle acque dello stagno nell'abitato durante i periodi di piena.

Lo **Stagno di Santa Giusta** è il secondo stagno per estensione del Campidano centro-settentrionale (790 ha). Ha una forma pressoché rotonda, è separato dal mare da un largo cordone litorale ed è collegato ad esso da un canale artificiale. Ad est dello Stagno di Santa Giusta sono presenti altri due piccoli bacini: Pauli Maiori e Pauli Figu; essi sono collegati con lo Stagno di Santa Giusta da due stretti 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.

Fino al 1952 non esisteva comunicazione diretta dello stagno con il mare, ma solo con il Tirso, attraverso il canale di Pesaria; quest'ultimo, lungo oltre 3 km e largo circa 60 metri, parte dal lato occidentale dello stagno e si innesta nel tratto finale della foce del Tirso. Poiché durante i periodi estivi la foce del Tirso si chiudeva completamente, in particolare dopo la costruzione della diga di Ollastra, per l'invaso delle acque irrigue del comprensorio di bonifica di Oristano, nello stagno si interrompeva il ricambio dell'acqua per lunghi periodi. Inoltre esso veniva invaso da una fittissima vegetazione che, diminuendo l'ossigenazione delle acque, provocava morie di pesci ed impediva la circolazione delle barche. A questa situazione si è ovviato, in seguito, con la costruzione di un canale che mette in comunicazione diretta lo stagno di Santa Giusta con il mare, consentendo 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.

Il sistema degli **stagni di S. Giovanni e Marceddì** è ubicato in successione e perpendicolarmente alla linea di costa lungo la valle fluviale su cui confluiscono il Rio Mogoro e il Rio Mannu. 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 rii Mogoro e Mannu, quella più esterna (Marceddì) è direttamente collegata col mare ed è delimitata a nord da una pineta e da coltivi su sabbie dunali e a sud da Capo Frasca.

Lo **Stagno di S'Ena Arrubia** (190 ha) fa parte del complesso stagnale del Golfo di Oristano, ed è una zona umida fortemente condizionata dalla presenza dall'ampia zona di bonifica idraulica circostante. Non possiede immissari naturali ma risulta alimentato dalle acque derivanti dalla bonifica della piana di Arborea cioè dal sistema di canali che realizzano il drenaggio della piana.. La comunicazione con il mare avviene attraverso un canale artificiale, realizzato negli anni '70, aperto nella duna costiera e regolato da una saracinesca che consente il deflusso delle acque interne.

3.6.3 Genesi ed evoluzione di corsi d'acqua e zone umide

I primi corsi d'acqua dell'area di studio si sono impostati a seguito del prosciugamento messiniano del mare miocenico che occupava gran parte del territorio. Questi corsi d'acqua potrebbero aver scavato delle valli tardo-messiniane, poi sommerse dalla trasgressione del pliocene inferiore, i cui depositi marini si trovano ancora oggi a Capo San Marco e a Capo Frasca. Attualmente non esiste traccia certa di tali valli in quanto l'antico paesaggio fu sconvolto dai primi movimenti tettonici e dai fenomeni erosivi che precedettero il vulcanismo.

Il fiume Tirso, da Ollastra Simaxis fino al Golfo, scorre su un paleo-alveo che in prossimità

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

della foce giace sepolto a circa 40 km sotto il livello del mare. Anche il Rio Mogoro presenta un paleo-alveo pre-versiliano sepolto sotto l'ex Stagno di Sassu, scavato in massima parte nei sedimenti marini o salmastri del Tirreniano (Pecorini, 1989). Il Rio Mare Foghe durante l'ultima glaciazione, quando il livello del mare si abbassò di circa 100 m, aveva un alveo profondo circa 25-50 m. Scorreva in un'ampia vallata che comprendeva tutta l'area dello Stagno di Cabras, a sud del quale si apriva un varco nel banco di arenarie formatosi in precedenza. Quando, con lo scioglimento dei ghiacci, il livello del mare risalì e le sue acque risommersero l'area (ingressione versiliana), riprese la fase di deposizione dei sedimenti e detriti e la valle fluviale venne ricoperta.

La tettonica di graben è all'origine delle lagune e paludi costiere che si rinvengono nel Sinis orientale. Qui una subsidenza più accentuata, dovuta ad un sistema di faglie a gradini rivolte verso il Golfo di Oristano, ha ribassato questa zona che poi è stata parzialmente ricolmata dai sedimenti quaternari. Sottili cordoni dunari e frecce di sabbia hanno successivamente suddiviso in diversi bracci, comunicanti e non, le aree depresse residue, invase dalle acque marine.

Le arenarie tirreniane sono assai diffuse lungo le coste del Sinis, dallo sbocco artificiale a mare dello Stagno Is Benas, a Su Pallosu, a Is Aruttas e a San Giovanni di Sinis e Tharros, nell'area del porto industriale di Oristano e a Marceddi. Esse fungono da sbarramento, insieme con le sabbie di spiaggia attuali, anche nei riguardi degli stagni di Is Benas e di Santa Giusta, rappresentando cordoni litoranei per così dire fossili, che hanno conservato ancora, almeno in parte, la loro originaria funzione di delimitazione degli stagni tirreniani verso il mare.

Lo stagno salato di Sale 'e Porcus presenta origine geologica diversa rispetto ai più piccoli stagni salati del Campidano; infatti Sale 'e Porcus risulta impostato su formazioni geologiche impermeabili di tipo marnoso argilloso del Messiniano, più recenti rispetto al substrato miocenico che caratterizza in generale gli stagni interni meridionali. L'origine dei sali che arricchiscono le acque stagnanti nei mesi invernali oppure che precipitano a formare i tipici crostoni biancastri nei mesi estivi, è con tutta probabilità dovuta al dilavamento, ripetuto per millenni, dei terreni circostanti (Massoli-Novelli e Mocci Demartis, 1989).

L'ingressione marina tirreniana non ha invaso soltanto valli o sporadiche bassure, come quella versiliana, ma ha interessato quasi tutto il Campidano di Oristano fino alla quota

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

attuale di circa 10 m slm, determinando una linea di costa sabbiosa, con stagni di retrospiaggia più vasti di quelli odierni.

L'abbassamento del livello del mare durante l'ultima glaciazione ha determinato lo svuotamento di tutti gli stagni tirreniani e la loro trasformazione in valli oggi colmate da sedimenti versiliani marini o salmastri e più a monte, da depositi alluvionali recenti. Una di queste valli, parzialmente colmata e non sbarrata a mare, è lo Stagno di Marceddi-San Giovanni.

Le piene del Rio Sitzerri e del Rio Mannu non hanno fino ad oggi permesso la formazione di un cordone litoraneo, che invece probabilmente esisteva in epoca tirreniana da San Antonio di Santadi all'abitato di Marceddi. La laguna attuale, come è stato evidenziato da numerosi sondaggi, nasconde il paleo-alveo pre-versiliano, profondo fino ad almeno 25 m sotto il livello del mare.

La laguna di Corru S'Ittiri deve la sua origine alla freccia litorale sabbiosa di Corru Mannu, la quale si è sviluppata parallelamente alla linea di costa, determinando così la formazione di una stretta insenatura occupata dalla laguna. Lo Stagno di S'Ena Arrubia rappresenta la porzione residuale di una vasta area stagnale di origine fluviale (Stagno di Sassu). Dal punto di vista genetico l'area occupata dall'ex Stagno di Sassu rappresenta la colmata alluvionale del paleoalveo inciso del Rio Mogoro.

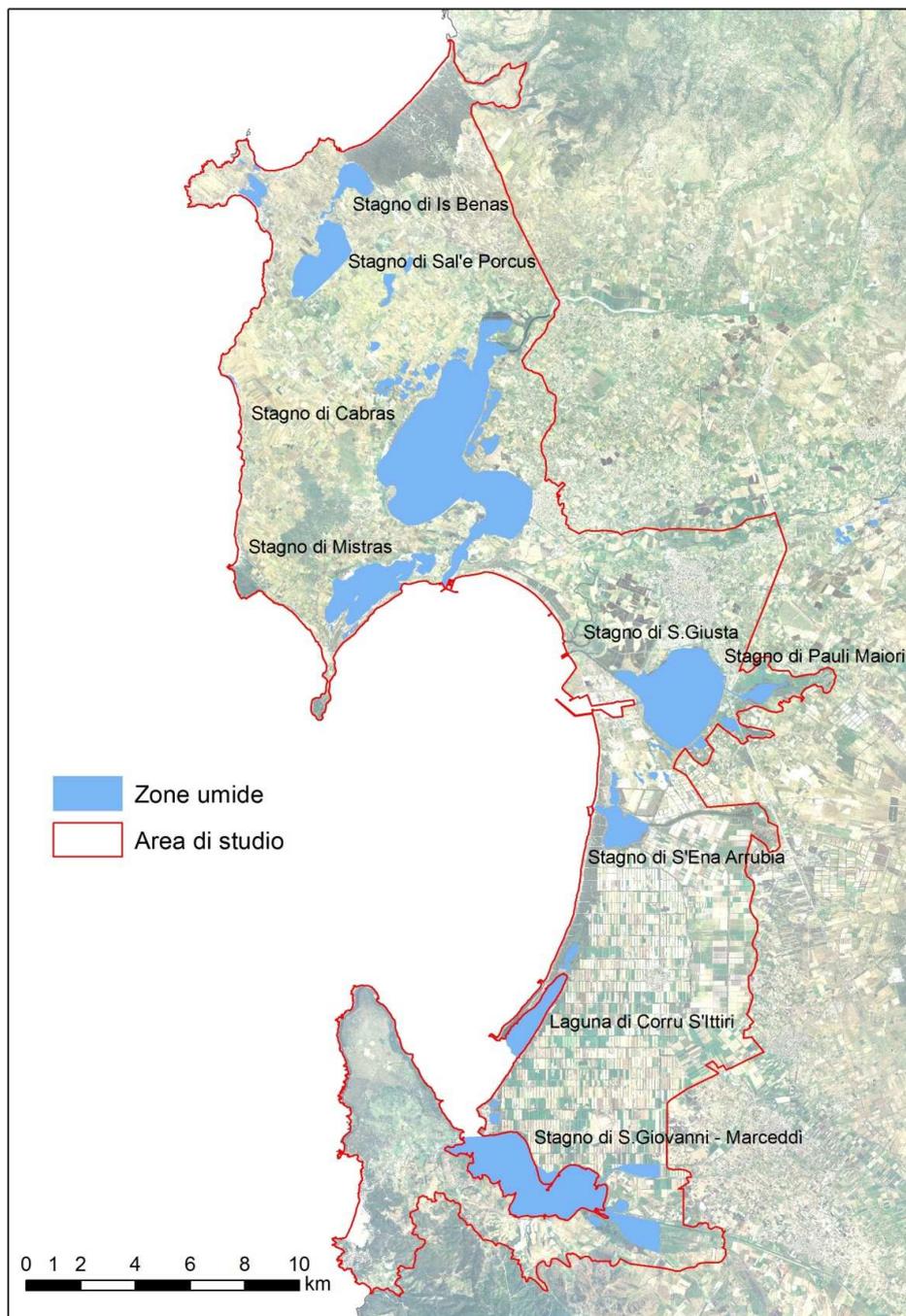


Figura 3.13. Principali zone umide della fascia costiera del Golfo di Oristano (nostra elaborazione su fonte RAS - Sardegna Geoportale).

3.7 Lineamenti del paesaggio

Il territorio dell'ambito costiero del Golfo di Oristano si caratterizza per la morfologia tipicamente sub-pianeggiante e basso collinare e comprende al suo interno i sistemi di zone umide e le pianure di colmata alluvionale. Il settore è interessato da un paesaggio agrario con colture estensive ed intensive (sia erbacee che legnose) e per le attività zootecniche. Il territorio della penisola del Sinis si presenta debolmente ondulato, con forme dolci molto regolari modellate sui sedimenti detritici quaternari che coprono con continuità i sedimenti calcarei e calcareo-evaporitici del Messiniano. Gli affioramenti basaltici plio-quaternari formano le ondulazioni più elevate del distretto con quote sempre inferiori agli 80 m slm. Lungo il perimetro costiero si ritrovano importanti formazioni dunali fossili di origine eolica, depositatesi durante l'Olocene. Ad est dell'area collinare si estende il dominio degli stagni di Cabras, Mistras, Sale 'e Porcus e di Is Benas, importanti aree umide che rappresentano importanti siti per l'avifauna.

L'inconfondibile assetto geometrico del territorio rurale legato alla bonifica caratterizza il settore meridionale del distretto, ad ovest dei depositi pedemontani che raccordano i versanti dell'Archi e del Grighini alla piana alluvionale sottostante. L'area agricola si spinge fino al limite costiero del Golfo di Oristano e circonda le zone umide lagunari e gli stagni di Santa Giusta, S'Ena Arrubia e Marceddì.

Il tavolato basaltico di Capo Frasca, a sud, attualmente sotto servitù militare, è traccia di un'antica paleovalle colmata da una colata e successivamente interessata da intensi processi di erosione dei fianchi vallivi che hanno indotto la totale inversione del rilievo.

Di seguito vengono indicati gli elementi che il PPR ritiene importanti ai fini della tutela paesaggistica dell'Ambito di Paesaggio n. 9 "Golfo di Oristano", suddivisi in tre categorie principali: ambiente naturale, territorio agricolo, paesaggio storico-culturale e insediamento.

L'ambiente naturale

Tra gli elementi ambientali del sistema paesaggistico dell'ambito, il PPR evidenzia il sistema dunale e litoraneo del golfo che si estende con un ampio arco ellittico dai promontori basaltici di Capo San Marco a Nord e Capo Frasca a Sud. Il litorale è caratterizzato con una costa bassa e prevalentemente sabbiosa nella quale si sviluppano le

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

spiagge di La Caletta, del Mare Morto, di Torre Grande, di Abba Rossa, del litorale di Arborea, di Corru Mannu e del litorale di Marceddi, il sistema di spiaggia e dei campi dunari di Is Arenas e la penisola del Sinis. La continuità del cordone litoraneo è interrotta dalla presenza di diverse foci fluviali, in gran parte canalizzate, del Fiume Tirso, del Rio Mogoro e del Rio Flumini Mannu, che si alternano ai numerosi canali lagunari attraverso cui le acque marine del golfo si connettono con i sistemi umidi di Mistras, di Cabras, di Santa Giusta, di S'Ena Arrubia, di Corru Mannu, di Corru S'Ittiri, di San Giovanni-Marceddi e sistemi minori. Oltre questi sistemi umidi attualmente presenti, se ne devono aggiungere altri trasformati dalle bonifiche storiche e dalle sistemazioni idrauliche, ed altri piccoli stagni facenti parte di compendi umidi principali. Il PPR indica la copertura vegetale delle aree non agricole, che è rappresentata da formazioni boschive, arbustive, a gariga, e in aree circoscritte, da biotopi naturali, riscontrabili anche negli ambienti acquatici dei rii, degli stagni, delle lagune che ospitano vegetazione riparia.

Infine, i siti di importanza comunitaria: Is Arenas S'Acqua e S'Ollastu, Stagno di Corru S' Ittiri, Stagno di S'ena Arrubia e territori limitrofi, Sassu-Cirras, Stagno di Santa Giusta, Stagno di Pauli Maiori di Oristano, Catalano, Isola di Mal di Ventre, Stagno di Mistras di Oristano, Stagno di Cabras, Stagno di Putzu Idu (Salina Manna e Pauli Marigosa), Stagno di Sale 'e Porcus, Is Arenas.

Il territorio agricolo

Gli elementi principali del sistema paesaggistico agricolo sono suddivisi nei seguenti ambiti omogenei: il sistema insediativo agricolo della bonifica integrale e città di fondazione di Arborea, che raggiunge elevati valori economici e di integrazione di filiera e costituisce uno sviluppo agricolo di eccellenza in ambito regionale; la rete di frangivento costituita da specie arboree dei territori oggetto di bonifica; l'estesa coltivazione di agrumi, viti, olivo e mandorlo e l'arboricoltura specializzata finalizzata alla produzione di legna da ardere (Eucalyptus).

Il paesaggio storico-culturale

Gli elementi principali del paesaggio storico-culturale del Golfo sono i seguenti:

- il sistema territoriale della portualità fenicia;
- il sistema storico insediativo unitario del centro storico murato ed i borghi extra moenia

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

di Oristano con le strutture, legate alla divisione fondiaria ed alle attività agricole, dei portali barocchi e delle mura perimetrali dell'agro;

- il sistema unitario l'insediamento religioso della chiesa di San Giovanni di Sinis e del villaggio cumbessias di San Salvatore di Cabras con le testimonianze archeologiche connesse quali l'ipogeo della chiesa di San Salvatore ed i resti di impianto termale situati nel perimetro del villaggio, compresi i percorsi che collegano i due poli e che costituiscono l'itinerario processionale della "Corsa degli Scalzi" che da Cabras conduce a San Salvatore di Cabras;

- il sistema le trame degli orti, dei perimetri murati e di irrigazione degli aranceti dell'agro di San Vero Milis;

- il paesaggio delle aree umide l'insieme di capanne, pontili, luoghi di lavorazione dei prodotti alimentari tipici, laboratori per la realizzazione delle imbarcazioni lagunari in giunco dette "Is Fassonis" e degli altri prodotti derivanti dalla lavorazione delle specie vegetali autoctone di ambito lagunare quali il falasco detto "su sessini" o "su cruccuri" e l'erba detta "s'anedda";

- il carattere paesaggistico dell'insieme della città di fondazione di Arborea, dei borghi ed il sistema delle case coloniche, nonché l'assetto territoriale della bonifica;

- il territorio perilagunare l'emergenza fisica e culturale della cattedrale di Santa Giusta.

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. Profondamente diverso il rapporto stabilito con la matrice ambientale dai sistemi insediativi nelle bonifiche integrali. Il sistema della bonifica di Arborea è caratterizzato da un principio di organizzazione del territorio sostanzialmente estraneo al contesto storico, ai metodi tradizionali di produzione agricola ed alle forme insediative tradizionali. I lavori grandiosi che sono stati condotti in aree umide integre hanno dato luogo ad esiti insediativi significativi che costituiscono il frutto di pochi decenni di attività. Il paesaggio naturale ha subito qui una totale riconfigurazione che ha conferito al paesaggio i suoi caratteri di ruralità e lo ha connotato come vasta zona di occupazione di ricche agricolture. Arborea rappresenta il principale centro urbano, ma l'intera piana è

urbanizzata e insediata a partire da piccoli nuclei produttivi, i poderi, e diversi centri di servizio e manufatti infrastrutturali.

3.7.1 Unità di paesaggio

In accordo con quanto previsto nella Carta dei Suoli della Sardegna (Aru et al., 1991), nell'area di studio sono state riconosciute 11 Unità di paesaggio (figura 3.14).

Per Unità di paesaggio si intende una porzione di territorio sufficientemente omogenea nelle sue caratteristiche geologiche, morfologiche, climatiche e quindi presumibilmente omogenea anche nei suoi aspetti pedologici.

1. Paesaggi su metamorfiti (scisti, scisti arenacei, argilloscisti, ecc.) del Paleozoico e relativi depositi di versante.
2. Paesaggi su rocce intrusive (graniti, granodioriti, leucograniti, ecc.) del Paleozoico e relativi depositi di versante.
3. Paesaggi su rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante, colluvi.
4. Paesaggi su rocce effusive basiche (basalti) del Pliocene superiore e del Pleistocene e relativi depositi di versante e colluviali.
5. Paesaggi su calcari organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene.
6. Paesaggi su marne, arenarie e calcari marnosi del Miocene e relativi depositi colluviali.
7. Paesaggi su alluvioni e su arenarie eoliche cementate del Pleistocene.
8. Paesaggi su alluvioni e su conglomerati, arenarie eoliche e crostoni calcarei dell'Olocene.
9. Paesaggi su sabbie eoliche dell'Olocene.
10. Paesaggi su sedimenti litoranei (paludi, lagune costiere, etc.) dell'Olocene.
11. Paesaggi urbanizzati.

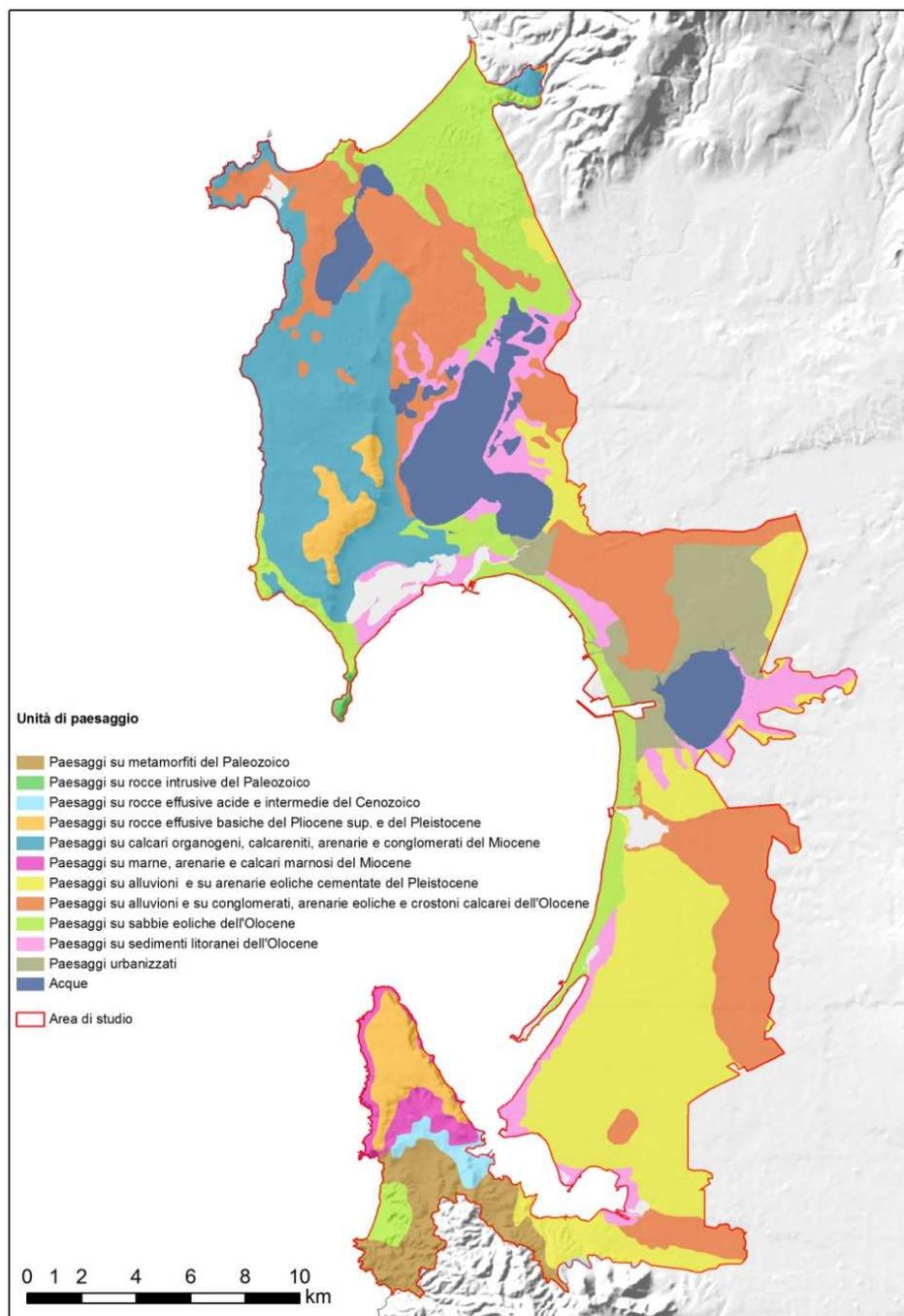


Figura 3.14. Carta delle Unità di paesaggio (nostra elaborazione su fonte Aru et al., 1991).

3.8 Aspetti vegetazionali

3.8.1 Piano Forestale Ambientale Regionale

Il territorio indagato fa parte del distretto n. 15 “Sinis-Arborea” e della parte settentrionale del distretto n. 19 “Linis-Marganai” (19a - Sub-distretto Centro Settentrionale) del Piano Forestale Ambientale Regionale (PFAR, 2007).

Nel **distretto “Sinis-Arborea”** la vegetazione forestale è praticamente assente e confinata nelle aree più marginali per morfologia e fertilità dei suoli. Le formazioni forestali, quando rilevabili, sono costituite prevalentemente da cenosi di degradazione delle formazioni climaciche e, localmente, da impianti artificiali.

La vegetazione potenziale del settore centro settentrionale (Alto Campidano e Sinis) è costituita dalla serie sarda termomediterranea del leccio (**serie n. 12** - *Pyro amygdaliformis-Quercetum ilicis*). La serie è presente su substrati argillosi a matrice mista calcicola-silicicola delle pianure alluvionali, sempre in bioclima Mediterraneo pluvistagionale oceanico, piano fitoclimatico termomediterraneo con ombrotipi da secco inferiore a subumido inferiore.

Nello strato arbustivo sono presenti alcune caducifoglie come *Pyrus spinosa*, *Prunus spinosa* e *Crataegus monogyna*, oltre ad entità termofile come *Myrtus communis* subsp. *communis*, *Pistacia lentiscus* e *Rhamnus alaternus*. Lo strato lianoso è abbondante con *Clematis cirrhosa*, *Tamus communis*, *Smilax aspera*, *Rubia peregrina*, *Lonicera implexa* e *Rosa sempervirens*. Nello strato erbaceo le specie più comuni sono *Arisarum vulgare*, *Arum italicum* e *Brachypodium retusum*. Le formazioni di sostituzione, frequenti nel distretto “Sinis-Arborea”, sono rappresentate da arbusteti densi, di taglia elevata, a *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alaternus*, *Pyrus spinosa*, *Crataegus monogyna*, *Myrtus communis* subsp. *communis* (associazione *Crataego monogynae-Pistacietum lentisci*) e da praterie emicriptofitiche e geofitiche, a fioritura autunnale, dell'associazione *Scillo obtusifoliae-Bellidetum sylvestris*.

Le zone alluvionali pleistoceniche della parte centro-orientale (verso le pendici del Monte Arci) e meridionale del distretto (territori di Arborea, Terralba e S. Nicolò Arcidano), presentano la potenzialità per la serie sarda, termo-mesomediterranea, della sughera (serie n. 19 - *Galio scabri-Quercetum suberis*). Queste formazioni, comprendenti la subassociazione tipica *quercetosum suberis* e la subassociazione *rhamnetosum alaterni*,

sono caratterizzate da mesoboschi a *Quercus suber* con *Q. ilex*, *Viburnum tinus*, *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Phillyrea latifolia*, *Myrtus communis* subsp. *communis* e *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*. Lo strato erbaceo è caratterizzato da *Galium scabrum*, *Cyclamen repandum* e *Ruscus aculeatus*. Poco presente a causa dell'elevata antropizzazione e utilizzazione agricola dei suoli, la serie si sviluppa sempre in ambito bioclimatico Mediterraneo pluvistagionale oceanico, con condizioni termo- ed ombrotipiche variabili dal termomediterraneo superiore subumido inferiore al mesomediterraneo inferiore subumido superiore. La vegetazione forestale è spesso sostituita da formazioni arbustive riferibili all'associazione *Erico arboreae-Arbutetum unedonis* e da garighe a *Cistus monspeliensis* e *Cistus salviifolius*, alle quali seguono prati stabili emicriptofitici della classe *Poetea bulbosae* e prati terofitici riferibili alla classe *Tuberarietea guttatae*.

Le aree costiere del Sinis, da Su Pallosu a Is Arutas e da Capo Mannu a S. Giovanni di Sinis, compresa l'Isola di Mal di Ventre, sono caratterizzate dalla presenza della serie sarda occidentale, calcicola, termomediterranea del ginepro turbinato (**serie n. 4 - *Chamaeropo humilis-Juniperetum turbinatae***). Lo stadio maturo è formato da microboschi edafoferofili costituiti prevalentemente da fanerofite cespitose e nanofanerofite termofile, come *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata*, *Chamaerops humilis*, *Phillyrea angustifolia*, *Pistacia lentiscus* e *Rhamnus alaternus*. Sono presenti anche entità lianose, geofite e camefite quali *Prasium majus*, *Rubia peregrina* e *Asparagus albus*. Nello strato erbaceo, molto rado, è costante la presenza di *Arisarum vulgare*. La serie è presente lungo la fascia costiera su substrati sedimentari vari (calcari mesozoici e miocenici, marne, arenarie), in condizioni di bioclima Mediterraneo pluvistagionale oceanico, piano fitoclimatico termomediterraneo inferiore-superiore, ombrotipo secco inferiore-superiore. La fase regressiva è rappresentata dall'associazione *Pistacio-Chamaeropetum humilis* alla quale si collega la macchia bassa a *Rosmarinus officinalis* e la gariga di sostituzione dell'associazione *Stachydi-Genistetum corsicae*. La prateria emicriptofitica è rappresentata dall'*Asphodelo africanae-Brachypodietum retusi*. La fase pioniera, terofitica, è data dall'associazione *Bupleuro fontanesii-Scorpiuretum muricati*.

I sistemi dunali litoranei, riferibili soprattutto alle dune di Is Arenas e, secondariamente, all'area tra Su Pallosu e Mandriola e quella del litorale di Arborea, sono caratterizzati dalla presenza del geosigmeto psammofilo sardo (*Cakiletea*, *Ammophiletea*, *Crucianellion*

maritimae, *Malcolmietalia*, *Juniperion turbinatae*) di cui l'associazione *Pistacio-Juniperetum macrocarpae* rappresenta la serie forestale di riferimento (**serie n. 1**). Potenzialmente le cenosi pre-forestali sono edificate da 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. La serie presenta una articolazione catenale, con diversi tipi di vegetazione (terofitica alo-nitrofila, geofitica ed emicriptofitica, camefitica, terofitica xerofila, fanerofitica) che tendono a distribuirsi parallelamente alla linea di battigia e corrispondono a diverse situazioni ecologiche in relazione alla distanza dal mare e alla diversa granulometria del substrato. Nell'area di Is Arenas e a Mogoro è presente *Quercus calliprinos*, elemento che porta a ipotizzare per tali aree la potenzialità per la serie psammofila sarda sud occidentale, termomediterranea, della quercia della Palestina (**serie n. 2** - *Rusco aculeati-Quercetum calliprini*), che in questi ambiti costituisce una serie minore non cartografata.

Gli ambiti ripariali e planiziali del distretto, con riferimento soprattutto ai bacini del Tirso, del Rio Mogoro e del Flumini Mannu, sono caratterizzati dalla presenza del geosigmeto mediterraneo occidentale edafoigrofilo e/o planiziale eutrofico (**serie n. 26** - *Populion albae*, *Fraxino angustifoliae-Ulmenion minoris*, *Salicion albae*), con mesoboschi edafoigrofilo caducifogli costituiti da *Populus alba*, *Ulmus minor* e *Salix* sp. pl. Queste formazioni hanno una struttura generalmente bistratificata, con strato erbaceo variabile in funzione del periodo di allagamento e strato arbustivo spesso assente o costituito da arbusti spinosi. Le condizioni bioclimatiche sono di tipo Mediterraneo pluvistagionale oceanico, con termotipi variabili dal termomediterraneo superiore al mesomediterraneo inferiore. I substrati sono caratterizzati da materiali sedimentari fini, prevalentemente limi e argille parzialmente in sospensione, con acque ricche in carbonati, nitrati e, spesso, in materia organica, con possibili fenomeni di eutrofizzazione. Gli stadi della serie sono disposti in maniera spaziale procedendo in direzione esterna rispetto ai corsi d'acqua. Generalmente si incontrano delle boscaglie costituite da *Salix* sp. pl., *Rubus ulmifolius*, *Tamarix* sp. pl. ed altre fanerofite cespitose quali *Vitex agnus-castus* e *Nerium oleander*. Più esternamente sono poi presenti popolamenti elofitici e/o elofito-rizofitici inquadrabili nella classe *Phragmito-Magnocaricetea*.

In tutta la piana di Arborea, oggetto delle bonifiche del secolo scorso, ma anche nei settori

planiziali prossimi alle foci dei principali fiumi, nonché in numerose depressioni salate presenti nella piana del Cirras e territori limitrofi (Zrugu Trottu), la tipologia di vegetazione potenziale è data dal geosigmeto mediterraneo, edafoigrofilo, subalofilo dei tamerici (**serie n. 28** - *Tamaricion africanae*) con 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*.

Le condizioni bioclimatiche e le caratteristiche delle acque correnti sono assimilabili a quelle del geosigmeto edafoigrofilo precedente. Gli stadi della serie sono disposti in maniera spaziale procedendo in direzione esterna rispetto ai corsi d'acqua. Generalmente si incontrano dei mantelli costituiti da popolamenti elofitici e/o elofito-rizofitici inquadrabili nell'ordine *Scirpetalia compacti* (classe *Phragmito-Magnocaricetea*) e nell'ordine *Juncetalia maritimi* (classe *Juncetea maritimi*). Gli aspetti erbacei in contatto con tali tipologie vegetazionali, quando presenti, sono riferibili alla classe *Saginetea maritimae*.

Rivestono notevole importanza le formazioni delle zone umide costiere (stagni di S. Giusta e S'Ena Arrubia, stagno di Cabras, stagni di Sale 'e Porcus e Is Benas), caratterizzate 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 una tipica articolazione catenale del geosigmeto alofilo sardo delle aree salmastre, degli stagni e delle lagune costiere (**serie n. 29**) con tipologie vegetazionali disposte secondo gradienti ecologici determinati prevalentemente dai periodi di inondazione e/o sommersione, dalla granulometria del substrato e dalla salinità delle acque (*Ruppietea*, *Thero-Suaedetetea*, *Saginetea maritimae*, *Salicornietea fruticosae*, *Juncetea maritimi*, *Phragmito-Magnocaricetea*).

Sono degne di nota anche le numerose comunità alorupicole costiere a *Limonium* sp. pl. endemici, dell'alleanza *Erodio corsici-Limonion articulati* (geosigmeto alo-rupicolo costiero).

Serie di vegetazione

Serie 1: serie psammofila del ginepro coccolone (<i>Pistacio-Juniperetum macrocarpae</i>)	X
Serie 2: serie psammofila sarda sud occidentale della quercia di Palestina (<i>Rusco aculeati-Quercetum calliprini</i>)	X
Serie 4: sarda occidentale, calcicola, termomediterranea del ginepro turbinato (<i>Chamaeropo humilis-Juniperetum turbinatae</i>)	§
Serie 10: serie sarda, termomediterranea dell'olivastro (<i>Asparago albi-Oleetum sylvestris</i>)	§
Serie 12: serie sarda, termomediterranea del leccio (<i>Pyro amygdaliformis-Quercetum ilicis</i>)	§
Serie 19: serie sarda, termo-mesomediterranea della sughera (<i>Galio scabri-Quercetum suberis</i>)	X
Serie 26: geosigmeto edafoigrofilo e planiziale (<i>Populenion albae, Fraxino angustifoliae-Ulmenion minoris, Salicion albae</i>)	§
Serie 28: geosigmeto mediterraneo, edafoigrofilo, subalofilo dei tamerici (<i>Tamaricion africanae</i>)	§
Serie 29: geosigmeto alofilo sardo delle aree salmastre, degli stagni e delle lagune costiere (<i>Ruppiaetea, Thero-Suaedetea, Saginetea maritimae, Salicornietea fruticosae, Juncetea maritimi, Phragmito-Magnocaricetea</i>)	§

Tabella 3.4. Serie di vegetazione (§ = prevalenti; X = minori).

Nelle seguenti tabelle vengono elencare le specie vegetali di interesse.

Specie inserite nell'All. II della direttiva 43/92/CEE
<i>Helianthemum caput-felis</i> Boiss.*, <i>Limonium pseudolaetu</i> Arrigoni et Diana, <i>Marsilea quadrifolia</i> L.

Tabella 3.5 (*specie prioritarie)

Altre specie di importanza conservazionistica
<i>Anchusa littorea</i> Moris*, <i>Armeria pungens</i> (Link) Hoffmanns. et Link*, <i>Coris monspeliensis</i> L.*, <i>Cynomorium coccineum</i> L., <i>Delphinium longipes</i> Moris*, <i>Ephedra distachya</i> L. subsp. <i>distachya</i> *, <i>Erica multiflora</i> L.*, <i>Halocnemum strobilaceum</i> Moris, <i>Ferula arrigonii</i> Bocchieri, <i>Limonium acutifolium</i> (Rchb.) Salmon subsp. <i>acutifolium</i> , <i>Limonium capitis-marci</i> Arrigoni et Diana, <i>Limonium glomeratum</i> (Tausch) Erben, <i>Limonium lausianum</i> Pignatti, <i>Limonium oristanum</i> Mayer, <i>Limonium tenuifolium</i> (Bertol.

ex Moris) Erben, *Limonium tharrosianum* Arrigoni et Diana, *Micromeria filiformis* (Aiton) Benth. subsp. *filiformis*, *Nananthea perpusilla* (Loisel.) DC., *Polygala sinisica* Arrigoni, *Ranunculus cordiger* Viv. subsp. *diffusus* (Moris) Arrigoni, *Scrophularia ramosissima* Loisel., *Silene arghireica* Vals., *Teucrium subspinosum* Pourr. Ex Willd.*, *Viola arborescens* L.

Tabella 3.6 (*endemiche e/o di interesse fitogeografico)

Specie arboree di interesse forestale

X *Alnus glutinosa* (L.) Gaertner, X *Ficus carica* L. var. *capri ficus* Risso, § *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *macrocarpa* (S. et S.) Ball, § *Juniperus phoenicea* L. subsp. *turbinate* (Guss.) Nyman, § *Olea europaea* L. var. *sylvestris* Brot., § *Populus alba* L., X *Pyrus spinosa* Forssk., X *Quercus calliprinos* Webb., X *Quercus ilex* L., X *Quercus suber* L., X *Quercus virgiliana* (Ten.) Ten., § *Salix alba* L., § *Salix atro cinerea* Brot., X *Salix purpurea* L. subsp. *purpurea*, § *Ulmus minor* Mill.

Tabella 3.7 (§ = prevalente; X = minore)

Specie arbustive di interesse forestale

X *Anagyris foetida* L., § *Arbutus unedo* L., X *Artemisia arborescens* L., § *Atriplex halimus* L., § *Calicotome villosa* (Poir.) Link in Schrader, § *Chamaerops humilis* L., X *Cistus creticus* L. subsp. *eriocephalus* (Viv.) Greuter et Burdet, X *Cistus monspeliensis* L., X *Cistus salviifolius* L., X *Cytisus villosus* Pourr., X *Daphne gnidium* L., X *Ephedra distachya* L. subsp. *distachya*, § *Erica arborea* L., § *Erica multiflora* L., X *Erica scoparia* L., X *Euphorbia dendroides* L., X *Genista corsica* (Loisel.) DC., X *Halimium halimifolium* (L.) Willk., X *Helichrysum microphyllum* (Willd.) Camb. subsp. *tyrrhenicum* Bacch., Brullo et Giusso, X *Lavandula stoechas* L., § *Myrtus communis* L. subsp. *communis*, § *Nerium oleander* L., X *Osyris alba* L., § *Phillyrea angustifolia* L., X *Phillyrea latifolia* L., § *Pistacia lentiscus* L., X *Polygonum scoparium* Requien ex Loisel., § *Rhamnus alaternus* L., X *Rosa sempervirens* L., § *Rosmarinus officinalis* L., X *Stachys glutinosa* L., X *Tamarix africana* Poir., § *Tamarix gallica* L., X *Teucrium capitatum* L., X *Teucrium marum* L., X *Thymbra capitata* (L.) Cav., § *Thymelaea hirsuta* (L.) Endl., § *Thymelaea tartonraira* (L.) All. subsp. *tartonraira*.

Tabella 3.8 (§ = prevalente; X = minore)

Il **sub-distretto Centro Settentrionale “Linis-Marganai”** interessa l'area di studio per una minima parte, che vede la presenza diffusa della serie sarda termo-mesomediterranea del leccio (**serie n. 13** - *Prasio majoris-Quercetum ilicis*).

Questa serie di vegetazione è presente in condizioni bioclimatiche di tipo termomediterraneo superiore e mesomediterraneo inferiore con ombrotipi variabili dal secco superiore al subumido inferiore. È diffusa ampiamente sulle litologie di tipo metamorfico presenti dall'Arburese al Villacidrese e sulle vulcaniti del ciclo calcoalcalino oligo-miocenico affioranti nei territori di Arbus e Guspini. 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*.

Sono abbondanti le lianose come *Clematis cirrhosa*, *Prasium majus*, *Smilax aspera*, *Rubia peregrina*, *Lonicera implexa* e *Tamus communis*.

Sono molto comuni le cenosi di sostituzione della lecceta, rappresentate dalla macchia alta dell'associazione *Erico arboreae-Arbutetum unedonis*.

Sui substrati acidi le comunità arbustive sono riferibili all'associazione *Pistacio lentisci-Calicotometum villosae*, mentre su substrati più alcalini all'associazione *Clematido cirrhosae-Pistacietum lentisci*. Un'ulteriore fase di degradazione ampiamente diffusa è data dalle garighe a *Cistus monspeliensis* (*Lavandulo stoechadis-Cistetum monspeliensis*), tipiche delle aree ripetutamente percorse da incendio, fino ai prati stabili emicriptofitici della classe *Poetea bulbosae* e le comunità terofitiche della classe *Tuberarietea guttatae*.

La serie sarda termomediterranea del leccio (**serie n. 12** - *Pyro amygdaliformis-Quercetum ilicis*) è invece osservabile nelle aree pedemontane nord orientali del sub-distretto da Guspini a Pardu Atzei. La serie compare come edafo-mesofila in corrispondenza di piane alluvionali, anche di modesta estensione, su substrati argillosi a matrice mista, spesso in contatto con le teucrietosum mari), da praterie perenni discontinue (*Asphodelo africana-Brachypodietum retusi*, *Melico ciliatae-Brachypodietum retusi*) e da formazioni terofitiche. I sistemi dunali litoranei del sub-distretto, soprattutto nelle aree costiere tra Pistis e Torre dei Corsari e sulla Costa Verde, sono caratterizzati dalla presenza del geosigmeto psammofilo sardo (*Cakiletea*, *Ammophiletea*, *Crucianellion maritimae*, *Malcolmietalia*, *Juniperion turbinatae*) di cui l'associazione *Pistacio-Juniperetum macrocarpae* rappresenta la testa della serie (**serie n. 1**).

A Capo Frasca in ambiente termo-xerofilo caratterizzato da suoli sottili ed abbondanti affioramenti rocciosi, si rinviene la serie sarda termomediterranea del ginepro turbinato (**serie n. 3**), di cui l'associazione *Oleo-Juniperetum turbinatae* rappresenta la testa della serie. Si tratta di microboschi o formazioni di macchia, costituite da arbusti prostrati e fortemente modellati dal vento a dominanza di *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata* e *Olea europaea* var. *sylvestris*. Lo strato arbustivo è caratterizzato da specie spiccatamente

termofile, come *Asparagus albus*, *Euphorbia dendroides*, *Pistacia lentiscus* e *Phillyrea angustifolia*. La specie più frequente nello strato erbaceo è *Brachypodium retusum*. Le formazioni di sostituzione sono rappresentate da arbusteti termofili dell'*Asparago albi-Euphorbietum dendroidis*, che localmente possono costituire delle formazioni stabili (stadi durevoli o comunità permanenti), da garighe pioniere e poco esigenti dal punto di vista edafico (*Stachydi glutinosae-Genistetum corsicae* subass. *teucrietosum mari*), da praterie perenni discontinue (*Asphodelo africanae-Brachypodietum retusi*, *Melico ciliatae-Brachypodietum retusi*) e da formazioni terofitiche.

A Capo Frasca si rinviene anche la serie sarda, calcicola, termomediterranea del leccio con palma nana (**serie n. 14** - *Prasio majoris-Quercetum ilicis chamaeropetosum humilis*).

Per quanto attiene il sistema idrografico, è possibile osservare il geosigmeto mediterraneo occidentale edafoigrofilo e/o planiziale, eutrofico (**serie n. 26** - *Populion albae, Fraxino angustifoliae-Ulmenion minoris, Salicion albae*) osservabile in condizioni bioclimatiche di tipo mediterraneo pluvistagionale oceanico, con termotipi variabili dal termomediterraneo superiore al mesomediterraneo inferiore, su substrati caratterizzati da materiali sedimentari fini, prevalentemente limi e argille, parte dei quali può trovarsi in sospensione.

Le acque presentano carbonati e nitrati e spesso si tratta di acque eutrofiche piuttosto ricche in materia organica. In generale sono formazioni localizzate e di estensione esigua, costituite da *Populus alba*, *P. nigra*, *Ulmus minor*, *Fraxinus angustifolia* subsp. *oxycarpa*, *Salix* sp. pl.

Presentano una struttura generalmente bistratificata, con strato erbaceo variabile in funzione del periodo di allagamento e strato arbustivo spesso assente o costituito da arbusti spinosi. Il geosigmeto è osservabile in varie località tra cui sono particolarmente significative quelle della parte terminale del Riu Sitzerri e del Flumini Mannu. Anche in questo caso gli stadi della serie sono disposti in maniera spaziale procedendo in direzione esterna rispetto ai corsi d'acqua.

Generalmente si incontrano delle boscaglie costituite da *Salix* sp. pl., *Rubus ulmifolius*, *Tamarix* sp. pl. ed altre fanerofite cespitose quali *Vitex agnus-castus*, *Nerium oleander* o *Sambucus nigra*. Più esternamente sono poi presenti popolamenti elofitici e/o elofitorizofitici inquadrabili nella classe *Phragmito-Magnocaricetea*.

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

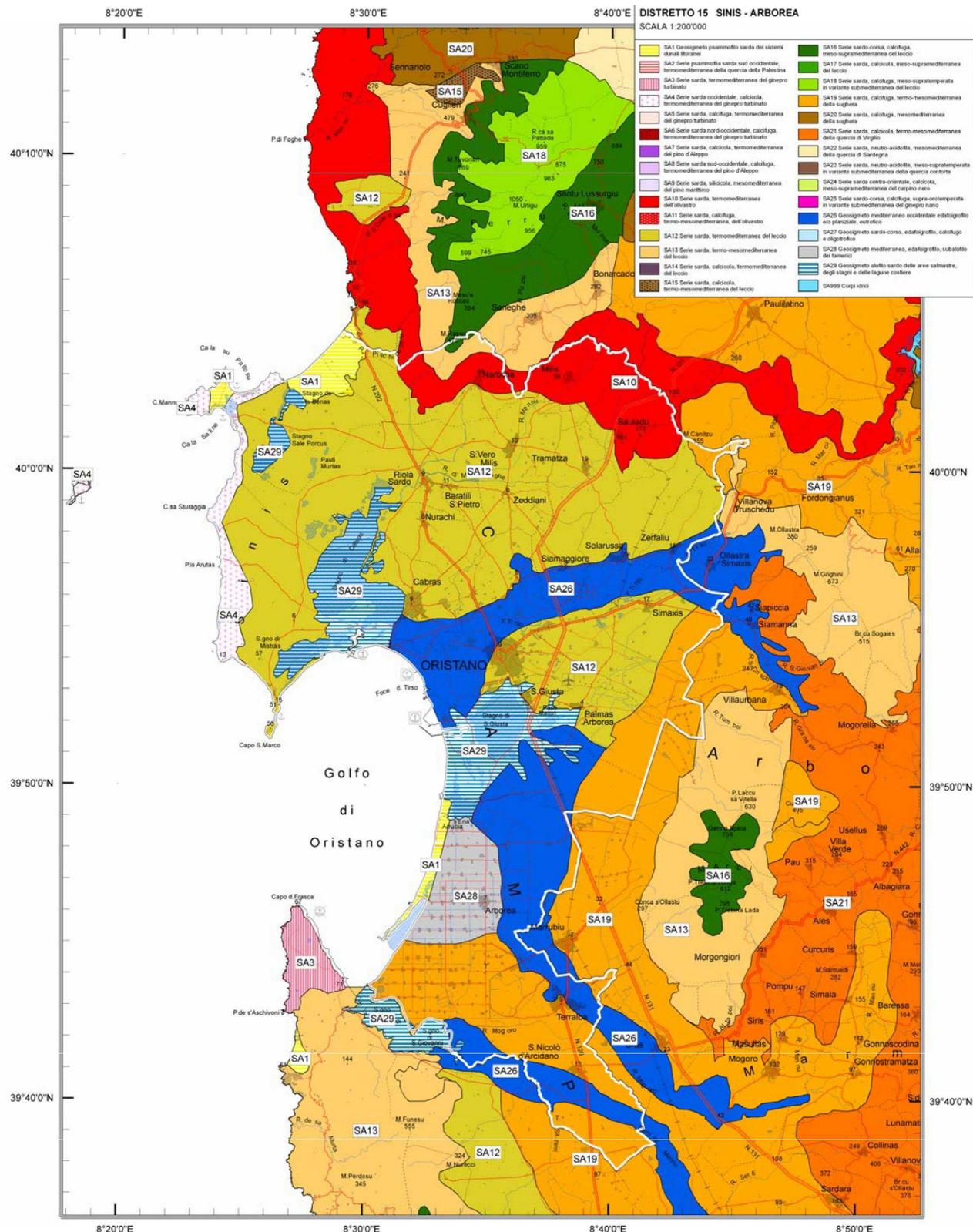


Figura 3.15. Carta delle serie di vegetazione (Fonte PFAR, 2007).

3.8.2 Carta della Natura

Si riporta di seguito la Carta della Natura (scala 1:50.000), realizzata nel 2010 dall'ISPRA (L. 394/91) sull'intero territorio regionale.

La legenda degli habitat della Carta della Natura si sviluppa secondo uno schema gerarchico.

Per quanto attiene l'area di studio la codifica degli habitat si divide in sei macro categorie che comprendono:

- Ambienti connessi al litorale marino (codici che iniziano con 1).
- Ambienti connessi alle acque dolci e salmastre (codici che iniziano con 2).
- Cespuglieti e prati (codici che iniziano con 3).
- Boschi (codici che iniziano con 4).
- Torbiere e paludi (codici che iniziano con 5).
- Ambienti antropizzati (codici che iniziano con 8).

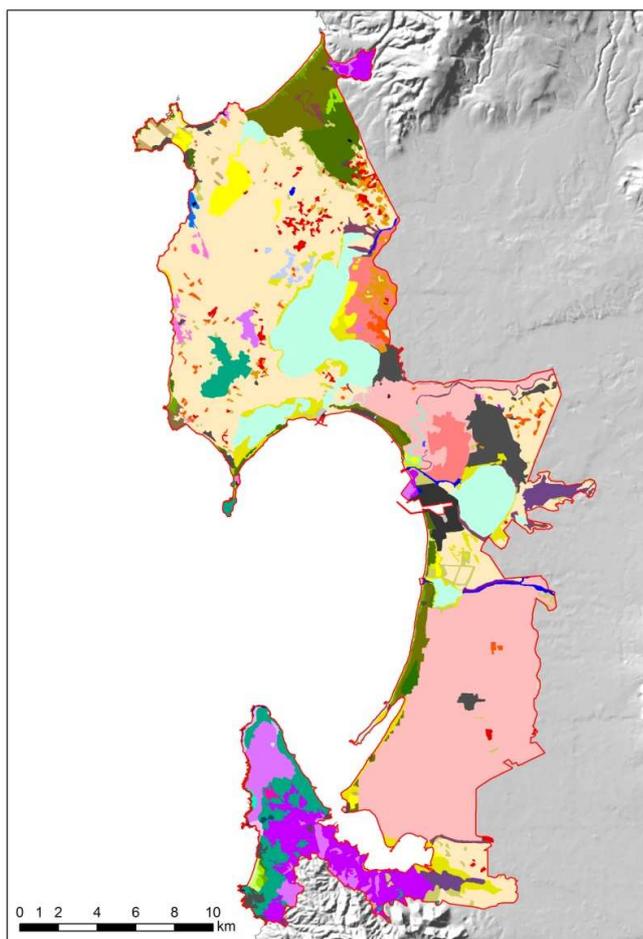


Figura 3.16. Carta della Natura (nostra elaborazione su fonte ISPRA, 2010).

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

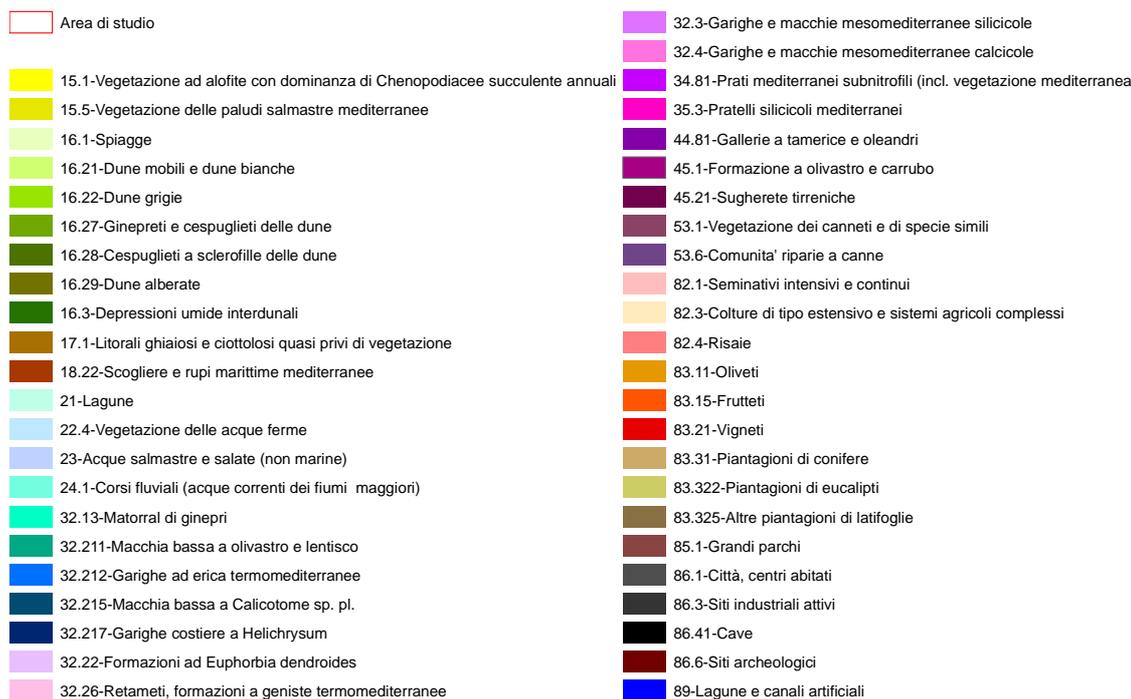


Figura 3.17. Legenda della Carta della Natura.

3.9 Aree di rilevante interesse naturalistico e geoambientale soggette a tutela

Di seguito si riassumono le principali tutele e i vincoli che interessano l'area oggetto di studio.

SIC (Siti di Importanza Comunitaria)

Le aree SIC (Siti di Importanza Comunitaria) sono aree istituite ai sensi del DPR n. 357 del 8 settembre 1997 e successive modifiche (che recepisce le direttive 92/43/CEE - Direttiva Habitat e 79/409/CEE - Direttiva Uccelli), per la salvaguardia delle biodiversità sul territorio europeo, attraverso la conservazione degli habitat naturali e seminaturali, della flora e della fauna selvatiche. La conservazione è assicurata mediante il mantenimento o il ripristino dei siti che ospitano habitat e specie che la Commissione Europea ha giudicato di "interesse comunitario" e quindi degne di tutela perché rare, endemiche o in pericolo di estinzione.

Nel territorio del Golfo di Oristano sono presenti 12 SIC (tabella 3.9).

Codice	Nome	Estensione (ha)	Comuni interessati
ITB032228	Is Arenas	1289,03	Narbolia, S.Vero Milis, Cuglieri
ITB030035	Stagno di Sale 'e Porcus	690,01	S.Vero Milis
ITB030038	Stagno di Putzu Idu (Salina Manna e Pauli Marigosa)	597,54	S.Vero Milis
ITB030036	Stagno di Cabras	4795,12	Cabras, Riola Sardo, Nurachi
ITB030034	Stagno di Mistras di Oristano	1621,44	Cabras, Oristano
ITB030080	Isola di Mal di Ventre e Catalano	26897,13	Cabras
ITB030037	Stagno di Santa Giusta	1147,22	S.Giusta, Oristano
ITB030033	Stagno di Pauli Maiori di Oristano	400,86	S.Giusta, Palmas Arborea
ITB032219	Sassu - Cirras	250,69	S.Giusta
ITB030016	Stagno di S'Ena Arrubia e territori limitrofi	278,87	S.Giusta, Arborea
ITB030032	Stagno di Corru S'Ittiri	5711,68	Arbus, Guspini, Arborea, Terralba
ITB032229	Is Arenas S'Acqua e S'Ollastu	326,29	Arbus

Tabella 3.9. Elenco dei SIC che ricadono nell'area di studio.

ZPS (Zone di Protezione Speciale)

Le ZPS (Zone di Protezione Speciale) sono siti dedicati alla conservazione di alcune specie di uccelli selvatici previsti dalla direttiva 79/409/CEE (Direttiva Uccelli, recentemente sostituita dalla direttiva 2009/147/CE).

Nell'area di interesse ricadono 6 ZPS, come si può osservare in tabella 3.10.

Codice	Nome	Estensione (ha)	Comuni interessati
ITB034007	Stagno di Sale 'e Porcus	473,07	S.Vero Milis
ITB034008	Stagno di Cabras	3616,82	Cabras, Riola Sardo, Nurachi
ITB034006	Stagno di Mistras	702,33	Cabras
ITB034005	Stagno di Pauli Majori	289,38	S.Giusta, Palmas Arborea
ITB034001	Stagno di S'Ena Arrubia	298,03	Arborea
ITB034004	Corru S'Ittiri, Stagno di S. Giovanni e Marceddi	2652,19	Guspini, Terralba, Arborea

Tabella 3.10. Elenco delle ZPS che ricadono nell'area di studio.

Oasi Permanenti di Protezione Faunistica

Le Oasi di protezione, previste dall'art. 10 comma 8 della L. 157/92 (Piani faunistico - venatori) e dall'art. 17 della L.R. 23/98, sono aree destinate al rifugio, alla sosta ed alla riproduzione della fauna selvatica. Per l'individuazione di queste aree è stata emanata dalla Regione Sardegna un apposita Direttiva, tramite Decreto Ass. Difesa Ambiente n° 27 del 27/08/2003, pubblicato sul B.U.R.A.S. n° 27 del 9/09/2003.

Le Oasi permanenti di protezione faunistica e di cattura attualmente istituite, che ricadono nell'area di studio, sono 10:

- Capo Mannu
- Stagni di Sale Porcus e Is Benas
- Isola di Mal di Ventre
- Mar'e Pauli
- Turre Seu
- Mistras
- Pauli Maiore
- S'Ena Arrubia
- Corru Mannu - Corru S'ittiri
- Stagno di Marceddi e S.Giovanni

Zone RAMSAR

Le zone umide presenti nel settore del Golfo di Oristano inserite nella Convenzione di Ramsar (1971) per la tutela e la conservazione delle zone umide soprattutto come habitat degli uccelli acquatici sono:

- Stagno di S'Ena Arrubia
- Stagno di Cabras
- Stagni di San Giovanni, Marceddì e Corru de S'Ittiri
- Stagno Pauli Maiori
- Stagno di Sale Porcus
- Stagno di Mistras

Sistema regionale dei parchi, delle riserve e dei monumenti naturali

Aree definite e delimitate ai sensi della L.R. 31/89 e pubblicata nel Supplemento Ordinario del BURAS n. 22 del 16 giugno 1989:

- Parco naturale regionale Sinis Montiferru
- Riserva naturale Pauli Maiori
- Riserva naturale S'Ena Arrubia
- Riserva naturale Marceddì (Stagni di Corru s'Ittiri e S. Giovanni)
- Area di rilevante interesse naturalistico Is Arenas S'Acqua 'e S'Ollastu

Area marina protetta

L'area marina protetta "Penisola del Sinis - Isola Mal di Ventre" è stata istituita il 12 dicembre 1997 con decreto del Ministero dell'Ambiente, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 45 del 24 febbraio 1998, decreto rettificato il 17 Luglio 2003 con un nuovo Decreto Ministeriale.

Il 20 luglio 2011 un nuovo Decreto Ministeriale, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 266 del 15 novembre 2011, interviene a modificare la perimetrazione, la zonazione e il regolamento di disciplina delle attività consentite all'interno dell'area protetta.

Aree gestione speciale Ente Foreste

Aree di gestione del patrimonio forestale operata dall'Ente Foreste della Regione Autonoma della Sardegna (Cantiere forestale di Gentilis - Guspini).

Parco geominerario ambientale e storico della Sardegna

Istituito con DM Ambiente 265/01. Rappresenta aree di insediamento produttivo di interesse storico-culturale caratterizzate da forte identità in relazione a fondamentali processi produttivi di rilevanza storica, costituite dal Parco geominerario ambientale e storico.

Beni paesaggistici

Rientrano nell'assetto territoriale ambientale dell'area indagata le seguenti categorie di beni paesaggistici, tipizzati e individuati nel PPR (art. 17 delle N.T.A.) e nel decreto legislativo 22 gennaio 2004, n.42 (art. 143), come modificato dal decreto legislativo 24 marzo 2006, n. 157.

I beni paesaggistici sono oggetto di conservazione e tutela finalizzati al mantenimento delle caratteristiche degli elementi costitutivi e delle relative morfologie in modo da preservarne l'integrità ovvero lo stato di equilibrio ottimale tra habitat naturale e attività antropiche (art. 18 comma 1).

Aree di notevole interesse faunistico

Aree le cui risorse naturali necessitano di particolare tutela, che concorrono alla qualità paesaggistica del territorio, differenti rispetto alle aree di interesse naturalistico già istituzionalmente tutelate di cui all'art. 33 del PPR, a quelle identificate ai sensi della L.R. n 31/1989, ai SIC e alle ZPS, di cui alla Direttiva Habitat 43/92 CEE.

Grotte e caverne

Grotte o cavità naturali sotterranee naturali di sviluppo superiore a 5 metri lineari (come definite all' art. 2, comma 1, lettera a della LR 7 agosto 2007, n. 4) in uno stato di conservazione naturale e non attrezzate per la fruizione turistica, e grotte attrezzate per la fruizione turistica.

Alberi monumentali

Alberi censiti dall'Ente Foreste, catalogati dal censimento dei grandi alberi della Sardegna. Il censimento è stato realizzato con lo scopo di individuare sul territorio alberi che abbiano un importante valore storico-ambientale, al fine di predisporre le misure necessarie alla

loro tutela. Appartengono a questa categoria alberi notevoli per le dimensioni (altezza, diametro, circonferenza), il portamento, la proiezione della chioma e l'età presunta in rapporto alle caratteristiche delle singole specie forestali. Concorrono a determinarne lo stato di albero monumentale anche la localizzazione indipendentemente da altri aspetti (alberi su roccia, su nuraghi) quando contribuiscono a caratterizzare paesaggisticamente e dare particolare suggestione ai luoghi.

Fascia costiera

La fascia costiera, come delimitata nella cartografia del PPR, è un'entità spaziale riconosciuta come "bene paesaggistico d'insieme". La fascia costiera rappresenta uno dei territori maggiormente ricchi in biodiversità e in habitat ed ecosistemi ed è stata individuata principalmente sulla base di criteri fisico-morfologici e fitoclimatici.

Campi dunari e sistemi di spiaggia

Complessi di origine eolica di natura essenzialmente sabbiosa, costituiti strutturalmente da sistemi articolati di differenti apparati dunari e aree di aspersione sabbiosa, mobili, semistabilizzati e stabilizzati principalmente in seguito allo sviluppo della copertura pedo-vegetativa. La spiaggia rappresenta un deposito sabbioso o ciottoloso originato dall'accumulo di materiale detritico ad opera del moto ondoso.

Sistemi a baie e promontori, falesie e piccole isole

Tipologie naturali di paesaggio individuate nella fascia costiera e nella zona di transizione. Rappresentano tratti del profilo costiero caratterizzati da una stretta alternanza di promontori rocciosi, fortemente esposti all'azione del moto ondoso e degli agenti meteo-marini, e di settori costieri protetti rispetto agli impulsi energetici marini, a costituire baie ed insenature spesso caratterizzate da un notevole sviluppo verso l'entroterra e, al cui interno, è possibile la formazione di spiagge di fondo baia e cale sabbiose.

Zone umide, laghi naturali ed invasi artificiali

Zone umide, laghi naturali ed invasi artificiali e territori contermini compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia, anche per i territori elevati sui laghi.

Fiumi, torrenti e corsi d'acqua

Fiumi, torrenti e corsi d'acqua e relative sponde o piedi degli argini, per una fascia di 150 metri ciascuna, e sistemi fluviali, ripariali, risorgive e cascate, ancorché temporanee.

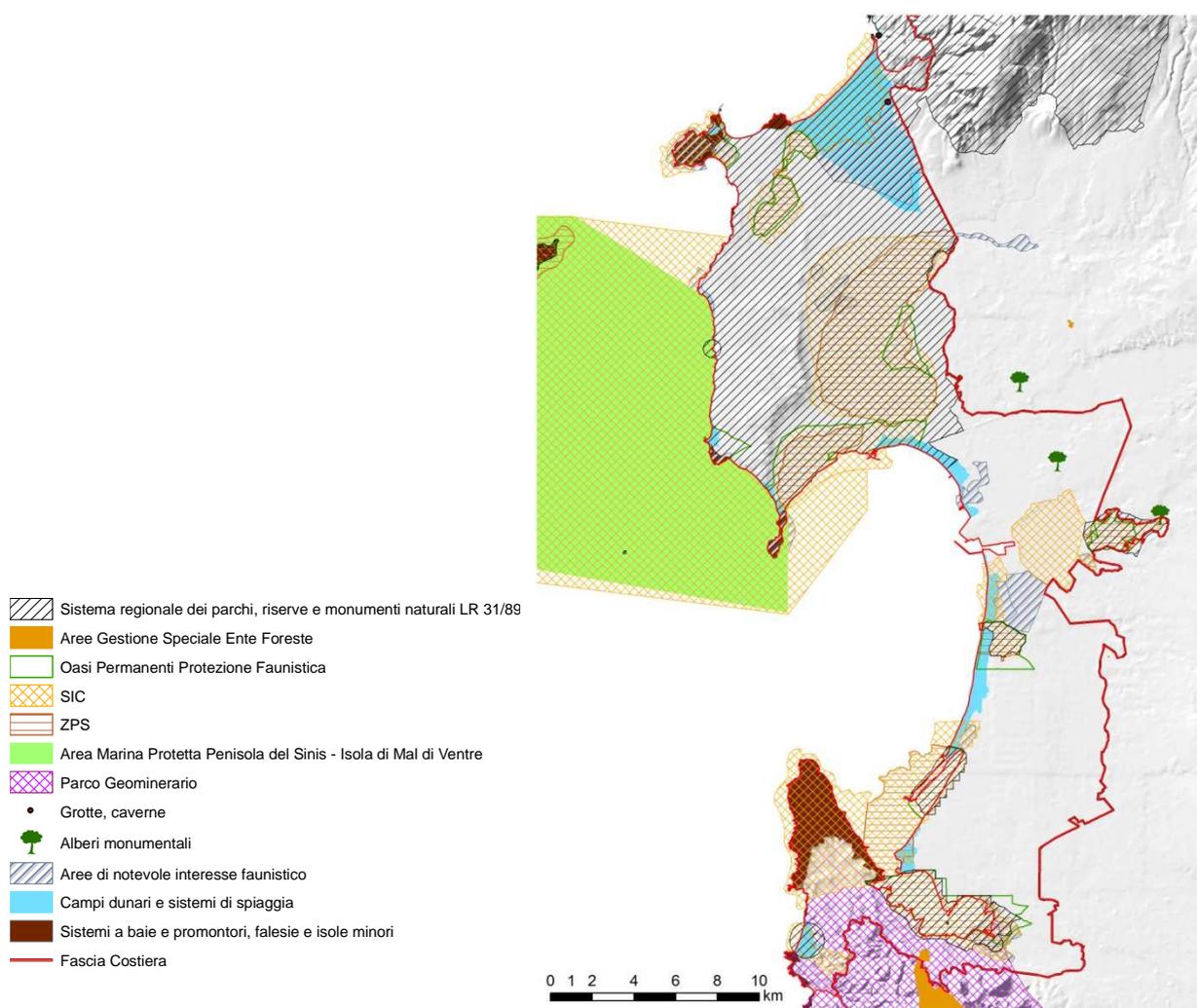


Figura 3.18. Carta dei beni paesaggistici (ex art. 143 D.Lgs.n°42/2004 e succ.mod.) e delle aree soggette a tutela (nostra elaborazione su fonte RAS - Sardegna Geoportale).

3.10 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.

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.

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, 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, 1203-1210.

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., 1985. Oligo-Miocene Basin. In 19th European Micropaleontological Colloquium (a cura di) Cherchi A., Cagliari, Sardinia, October 1-10 1985, 87-101.

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

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, 973-1036.

Cherchi A., Montadert L., 1981. Il sistema di rifting oligo-miocenico del Mediterraneo occidentale e sue conseguenze paleogeografiche sul Terziario sardo. *Mem. Soc. Geol. It.* 24, 387-400.

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), 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, 114-122.

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.

Ercolini M., 2009. Pianificazione, governance e valorizzazione dei corsi d'acqua: l'esperienza dell'Osservatorio del Paesaggio della Regione Sardegna. IV Tavolo Nazionale Contratti di fiume, Roma, Università degli Studi Roma Tre - 25 settembre 2009.

Fadda A.F., Murru R., Satta M.G., Dettori C., 1993. Sinis la penisola del Silenzio. Coedisar, Cagliari.

Lecca L., Carboni S., Scarteddu R., Pisano S., Sechi F., Tilocca G., 1986. Schema stratigrafico della piattaforma continentale occidentale e meridionale della Sardegna. *Mem. Soc. Geol.It.*, 36, 31-40.

Marini A., Murru M., 1983. Movimenti tettonici in Sardegna fra il Miocene superiore ed il Pleistocene. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 6, 39-42.

Massoli-Novelli R., Mocci Demartis A., 1989. Le zone umide della Sardegna. Olympia, Firenze.

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

Maxia C., Pecorini G., 1968. Il Quaternario della Sardegna. Atti X Congresso Intern. Studi Sardi, 59-69.

Nicolò C., 2002. Studio idrogeologico del Sinis (Sardegna centro-occidentale). Tesi di laurea. Università degli Studi di Cagliari.

Orrù G., 2007. Analisi della flora residua presente nel settore Centro-Settentrionale del Campidano. PhD thesis. Università degli Studi di Cagliari.

Pala A., Pecorini G., Porcu A., Serra S., 1982a. Schema geologico strutturale della Sardegna. In "Ricerche geotermiche in Sardegna con particolare riferimento al Graben del Campidano" CNR-PFE-SPEG-RF-10 – PISA, 7-24.

Pala A., Pecorini G., Porcu A., Serra S., 1982b. Geologia e idrogeologia del Campidano. In "Ricerche geotermiche in Sardegna con particolare riferimento al Graben del Campidano" CNR-PFE-SPEG-RF-10 – PISA, 87-103.

Pecorini G., 1972. La trasgressione pliocenica nel Capo San Marco (Oristano, Sardegna occidentale). Boll. Soc. Geol. It. 91, 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, 19-37.

Pecorini G., Rage J.C., Thaler L., 1973. La formation continentale de Capo Mannu, sa faune de vertébrés Pliocènes et la question du Messinien en Sardaigne. Rend. Sem. Fac. Sci. Univ. Cagliari 43 suppl., 305-319.

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 "Linas-Marganai".

Pinna M., 1954. Il clima della Sardegna. Libreria Goliardica, Pisa.

Pinna M., 1977. Climatologia. Manuali di Geografia n. 5. UTET, Torino.

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

CAPITOLO 3. Inquadramento dell'area di studio

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

Ulzega A., Ozer A., 1982. Etat de connaissances sur le Tyrrhénien en Sardaigne avant l'excursion table-ronde: Comptes-Rendus de l'Excursion-Table-Ronde sur le Tyrrhénien de Sardaigne. INQUA, 17-46.

Vardabasso S., 1962. Questioni paleogeografiche relative al Terziario antico in Sardegna. Mem. Soc. Geol. It. 3, 655-673.

Riferimenti cartografici

- Aru A., Baldaccini P., Vacca A., 1991. Carta dei suoli della Sardegna alla scala 1:250.000. Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato Programmazione, Bilancio e Assetto del Territorio, Dip. Scienze della Terra Univ. Cagliari, Cagliari.
- 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.
- ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2010. Carta della Natura della Regione Sardegna.
- ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2013. Carta Geologica d'Italia, scala 1:50.000, Foglio 528 - Oristano (in allestimento per la stampa, pubblicato sul web).
http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/528_ORISTANO/Foglio.html
- PFAR - Piano Forestale Ambientale Regionale, 2007. Carta delle serie di vegetazione Distretto n. 15 "Sinis-Arborea".
- RAS - Regione Autonoma della Sardegna, Sardegna Geoportale SITR-IDT (Sistema Informativo Territoriale Regionale - Infrastruttura Dati Territoriali).

CAPITOLO 4.

ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'ASSETTO TERRITORIALE

4. Analisi dell'evoluzione dell'assetto territoriale

4.1 Premessa

L'analisi storica dell'uso del suolo permette di valutare lo stato e la consistenza del patrimonio paesistico-ambientale e di verificare la trasformazione da un uso 'naturale' (quali le aree umide o le aree boscate) ad un uso 'semi-naturale' (quali le aree agricole) o 'artificiale' (aree del tutto antropizzate quali le aree afferenti al tessuto urbano, all'industria ed alle reti infrastrutturali). Tali transizioni determinano talora la perdita, nella maggior parte dei casi permanente e irreversibile, di suolo, che nell'area di studio è caratterizzato generalmente da una elevata capacità d'uso (Aru et al., 1991).

L'analisi diacronica della trasformazione del paesaggio nel Golfo di Oristano è stata effettuata attraverso la valutazione delle principali modificazioni intervenute negli ultimi cento anni. Per quantificare le trasformazioni dell'uso del territorio e del sistema fisico-naturale esistente sono state analizzate le informazioni storico-geografiche delle cartografie e delle ortofoto disponibili per l'area indagata. In particolare, le informazioni sulla copertura e sull'uso del suolo hanno costituito una base informativa fondamentale per effettuare l'analisi delle dinamiche evolutive del territorio e per la valutazione dei cambiamenti intercorsi col passare degli anni.

4.2 Materiali e metodi

Per giungere ad una corretta valutazione delle trasformazioni avvenute sul paesaggio nell'arco temporale considerato, è stata acquisita la seguente documentazione cartografica e ortofotografica, a differente scala di dettaglio:

1. Carte topografiche e catastali storiche De Candia 1840-1851, prima rilevazione geodetica dell'intero territorio regionale effettuata dal Real Corpo di Stato Maggiore sotto la guida del generale Carlo De Candia. Quadri comunali d'unione scala variabile tra 1:10.000 e 1:50.000 e Tavole 1:5.000¹.

¹ Regio Brevetto 28 aprile 1840 emanato con l'intento di favorire il progresso dell'agricoltura per mezzo della suddivisione della proprietà terriera in privata, comunale e demaniale, e di permettere la prima triangolazione dei lavori geodetici per dotare la Sardegna di una unica carta a grande scala che servisse di base per impiantare un catasto prediale simile a quello già in uso per il territorio piemontese (Archivio di Stato di Cagliari, 2012).

Per ciascun Comune si ebbe così una mappa (nota come "mappa del Real Corpo") costituita da un foglio d'unione e le rispettive tavolette numerate al 5.000. Ognuna delle tavolette fu del territorio: vennero rappresentati i punti trigonometrici, i perimetri dei terreni comunali, demaniali e privati, le strade

2. IGM prima edizione del 1907 (Compilata nel 1903 dai rilievi del 1900), scala 1:100.000, Foglio 217 "Oristano"².
3. IGM edizione 1956, scala 1:25.000.
4. Carta dell'uso del suolo della Regione Autonoma della Sardegna (RAS) del 2008, scala 1:25.000³.
5. Carta dei suoli della Sardegna, scala 1:250.000 (Aru et al., 1991).
6. Ortofoto del 1954 (scala 1:25.000, pixel 100 cm, in bianco e nero), che forniscono un'importante "istantanea" del paesaggio sardo dell'immediato dopoguerra; ortofoto del 1977 e del 2006 (scala 1:10.000, pixel 50 cm, a colori).

L'analisi dell'uso attuale del suolo e il confronto dello stesso per determinati periodi storici è utile per ricostruire l'assetto attuale del paesaggio ed identificare le trasformazioni subite in riferimento sia ai processi naturali sia alle trasformazioni di carattere socio-economico che possono aver interessato l'area di studio. È stata dunque redatta in ambiente GIS (Geographic Information System) la *Carta dell'uso e della copertura del suolo relativa agli anni '50* del Novecento tramite fotointerpretazione delle ortofoto digitali in bianco e nero del 1954 e avvalendosi anche delle tavolette IGM del 1956.

La digitalizzazione dell'uso del suolo in formato vettoriale è avvenuta utilizzando strumenti di visualizzazione e di editing del software ArcGIS 9.3. Ad ogni poligono dello strato vettoriale prodotto è stata associata la relativa classe di uso del suolo. La legenda è

principali, i centri abitati, i rilievi, i principali corsi d'acqua, le paludi, gli stagni.

Con la legge n. 1192 del 1851 venne istituito in Sardegna un sistema di imposizione prediale, basato su una contribuzione da ripartirsi indistintamente sulle proprietà fondiari in ragione del reddito netto imponibile, e nel giugno dello stesso anno venne affidato al De Candia il compito di attuare la riforma tributaria, tramite la direzione del Nuovo Catasto. Per far ciò il De Candia utilizzò le carte e le misurazioni sino ad allora effettuate e nell'ambito dei limiti già tracciati delle proprietà comunali, demaniali e private, procedette col sistema di rilevamento speditivo a vista per l'individuazione delle particelle fondiari in cui la proprietà era divisa. Per ogni particella furono individuati i possessori, il tipo di coltura e la superficie approssimativa (Archivio di Stato di Cagliari, 2012). Tuttavia in tale imponente lavoro sono state mosse anche delle serie riserve. Infatti, nel *Dizionario Archivistico per la Sardegna* (Loddo Canepa., 1926) si legge che "non di rado le linee sono state tracciate senza compiere alcun sopralluogo, unicamente dietro indicazioni arbitrarie errate (in buona o mala fede) degli interessati".

² Nel 1875 l'Istituto Geografico Militare inizia la produzione della Carta generale d'Italia in scala 1:100.000, che venne completata solo negli anni venti del Novecento (i fogli sulla Sardegna vengono pubblicati tra il 1903 e il 1921).

³ La Carta dell'uso del suolo della Regione Sardegna è stata prodotta nel 2008 in seguito ad aggiornamento, con ausilio delle immagini satellitari Ikonos (2005-2006), della Carta dell'uso del suolo del 2003. Nel 2009 tale aggiornamento è stato completato mediante l'introduzione, nelle tabelle degli attributi, della decodifica dei codici.

stata definita sulla base del primo livello *CORINE Land Cover*⁴ che comprende le seguenti voci: 1) superfici artificiali 2) superfici agricole utilizzate 3) territori boscati e ambienti seminaturali 4) zone umide 5) corpi idrici.

Il successivo confronto con l'uso del suolo attuale (cioè con la Carta dell'uso del suolo realizzata della Regione Autonoma della Sardegna nel 2008) ha permesso la ricostruzione delle variazioni del paesaggio in termini di uso del suolo ed impatto delle attività antropiche (costruzioni, arginature, bonifiche etc.).

Le sequenze di trasformazione riscontrate nel territorio sono state rappresentate in un documento georeferenziato di sintesi, che costituisce la *Carta delle dinamiche di trasformazione e delle persistenze* per il periodo 1954-2008. Tale Carta, mettendo in luce le trasformazioni (di categoria e di superficie) e le persistenze dei singoli poligoni di cui è composto lo strato geografico in esame, ha permesso di individuare le variazioni diacroniche di uso del suolo soprattutto in termini di incidenza delle aree artificiali sul consumo di suolo e sulla qualità paesaggistica.

Dal punto di vista operativo, i poligoni dell'uso del suolo del 1954 sono stati "tagliati", attraverso una operazione di *intersect* in ambiente GIS, con i poligoni relativi all'uso del suolo del 2008.

4.3 Risultati

4.3.1 Il paesaggio della bonifica

Il Novecento rappresenta per la Sardegna un periodo di importanti trasformazioni economiche e produttive, con vaste aree che vengono modificate dall'opera dell'uomo determinando un nuovo assetto paesaggistico di tipo agricolo.

Vennero progettate opere di bonifica e trasformazione fondiaria per circa 890 mila ettari (quasi un quarto della superficie complessiva dell'isola), per convertire la Sardegna ad un nuovo modello di agricoltura intensiva.

La piana costiera quaternaria del Campidano settentrionale è, nel quadro regionale, l'area

⁴ Il programma CORINE Land Cover (COoRdination of INformation on the Environment), ha come obiettivo quello di rilevare e monitorare la copertura del suolo ad una scala compatibile con le necessità dell'Unione Europea e con le principali caratteristiche del suo territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela degli ambienti naturali. Il programma propone la creazione di una base di dati omogenea, classificata secondo una legenda gerarchica, e definita da una nomenclatura unitaria.

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), che hanno portato ad una profonda riconfigurazione spaziale di questi territori, conferendo al paesaggio gli attuali caratteri di ruralità.

Tale trasformazione del paesaggio, avvenuta in tempi piuttosto rapidi, misurabili nell'arco di una generazione umana, ha fatto sì che la piana diventasse, anche grazie alle sue felici condizioni naturali, una delle zone più produttive dell'Isola (Asole, 1984; Mameli et al., 2010).

Dalle descrizioni dell'epoca e dall'analisi della cartografia storica dell'Oristanese relativa alla fine dell'800-primi del'900 e, quindi antecedenti agli interventi di bonifica, si evince una configurazione del territorio decisamente differente rispetto a quella attuale. All'epoca la Piana di Terralba si presentava come una landa desolata, caratterizzata da terreni incolti e da distese sconfinite di paludi, acquitrini e stagni (figura 4.1. a-b). Dalle note storiche veniva considerata una delle aree della Sardegna con maggiori disordini idraulici, accentuati dalla concentrazione delle piogge in brevi periodi e dalla impermeabilità dei bacini imbriferi. Tale area, oltre che essere soggetta a frequenti allagamenti nei mesi invernali che provocavano la formazione di impaludamenti che si aggiungevano agli stagni perenni presenti lungo la costa, era gravemente tormentata dalla malaria (Mameli et al., 2010).

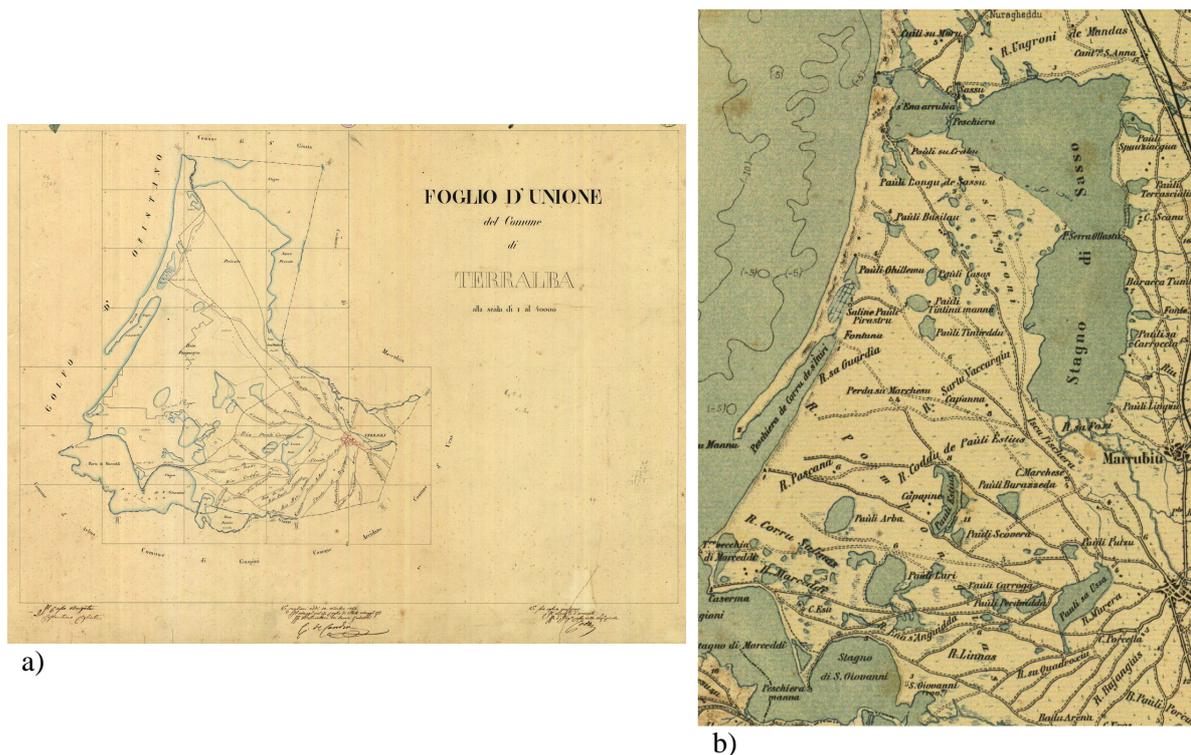


Figura 4.1.

a) Catasto De Candia, foglio di unione del Comune di Terralba, scala 1:40.000: la Piana di Terralba nel 1843, prima della bonifica. Fonte: Archivio di Stato di Cagliari.

b) Stralcio della Carta IGM dei primi del Novecento, scala 1:100.000, Foglio 217 – Oristano. Fonte: Archivio di Stato di Cagliari.

In queste condizioni gli insediamenti umani si riducevano a qualche *pinnetta* mentre l'area adiacente al basso Tirso, in parte coltivata, era caratterizzata da antichi insediamenti urbani. Qui il paesaggio era in parte quello dell'*openfield*: attorno ai centri urbani si sviluppava un sistema di orti che si diradava sino a lasciare spazio al paesaggio degli incolti o dei campi coltivati a seminativi (Bitti et al., 1998).

Dall'analisi bibliografia dell'epoca è possibile trarre ulteriori utili descrizioni sulla situazione pre-bonifica. Fondamentale, in tal senso, è la consultazione dell'enorme opera di raccolta dati sull'economia, le tradizioni, le popolazioni, la lingua, la geografia della Sardegna attuata da Vittorio Angius, durata ben nove anni e conclusasi nell'elaborazione del "Dizionario geografico-storico-statistico-commerciale degli Stati di S.M. il Re di Sardegna della Sardegna", curata da Goffredo Casalis e stampato a Torino tra 1833 e il 1856.

Qui si legge della zona di Oristano come la più malsana e pericolosa dell'Isola per la presenza della malaria. Nelle sue descrizioni viene menzionata la presenza degli acquitrini

nel territorio di Terralba *“per un quarto coperto da più di 40 paludi tra grandi e piccole, senza mettere in conto i piccoli pantani”*.

Il Casalis mette in evidenza la noncuranza con la quale il problema veniva trattato dalle popolazioni locali, che avrebbero potuto migliorare la situazione con semplici e poco onerose opere idrauliche: *“la natura del suolo di Terralba è riconosciuta felicissima per le viti e per gli olivi, non pertanto vi si fa una seminazione estesa, la quale potrebbe essere molto ampliata, se quei popolani volessero riacquistare sulle acque le quattro e più mila giornate che queste si occupano con danno dell'agricoltura e della salute. Ho detto se volessero, perché le difficoltà naturali sarebbero vinte senza grandi dispendi e fatiche”*.

L'area della bassa valle del fiume Tirso ed in generale tutta la piana di Oristano è da sempre stata considerata la zona più fertile della Sardegna, come afferma il Casalis: *“la fertilità de' terreni di Oristano è celebre, ed è meravigliosa la sua attitudine a produzioni differentissime”*. Infatti le periodiche esondazioni del Tirso distribuivano sulle aree inondate una coltre di depositi fini, ricchi di materia organica, dotati di grande capacità fertilizzante. I terreni che si originano dai depositi alluvionali recenti, formati da elementi granulometricamente fini e talvolta finissimi, chiamati localmente *bennaxi* (Aru et al., 1961; Vacca et al., 2015), sono particolarmente fertili e presentano elevate potenzialità per l'uso agricolo.

Nella stagione piovosa i consistenti apporti idrici provenienti dal bacino imbrifero del Tirso, una volta che si riversavano nella piana, ristagnavano nelle depressioni, a causa delle caratteristiche dei terreni fortemente impermeabili in relazione al loro contenuto argilloso. Il proliferare dell'anofele poi incrementava la presenza della malaria. Per ridurre i danni provocati dalle alluvioni e giovare all'agricoltura della zona attraverso l'irrigazione programmata, nel 1923 si completò la risistemazione del bacino idrografico del Tirso attraverso una diga. Si costituì così il lago Omodeo, allora il più vasto lago artificiale d'Europa (400 milioni di mc), che consentiva l'approvvigionamento dell'energia elettrica necessaria per le industrie isolate, per l'illuminazione, per gli usi domestici e agricoli (Angioni, 2002).

In seguito, negli anni '50, vennero realizzate delle arginature per impedire al Tirso, anche dopo la costruzione della diga, di esondare disastrosamente, invadendo la piana e danneggiare la già precaria economia agricola della zona. Nella figura 4.3 sono osservabili alcune differenze tra l'assetto attuale del tratto terminale fiume Tirso e quello del passato.

È evidente una lieve riduzione della sinuosità e sono riconoscibili alcuni alvei abbandonati. Si può inoltre osservare la scomparsa di una prominenza che sporgeva di circa 100 m rispetto alla costa. L'arretramento della linea di riva è probabilmente da attribuire alla riduzione degli apporti solidi del Tirso a seguito degli sbarramenti realizzati nel suo bacino e al prelievo di materiali inerti per l'edilizia dal suo alveo (Di Gregorio, 1976).

Attualmente il paesaggio attraversato dal Tirso si caratterizza per la forte presenza di un tessuto agrario legato alle colture orticole, ai frutteti, alle risaie e a vaste superfici coltivate a seminativi.

A nord della foce del Tirso è presente anche un vasto sistema dunale costiero contraddistinto da un rimboschimento a predominanza di pino (Pineta di Torregrande).



Figura 4.2. Stralcio della Carta IGM dei primi del Novecento, scala 1:100.000, Foglio 217 – Oristano, raffigurante il tratto terminale del Tirso. Fonte: Archivio di Stato di Cagliari.

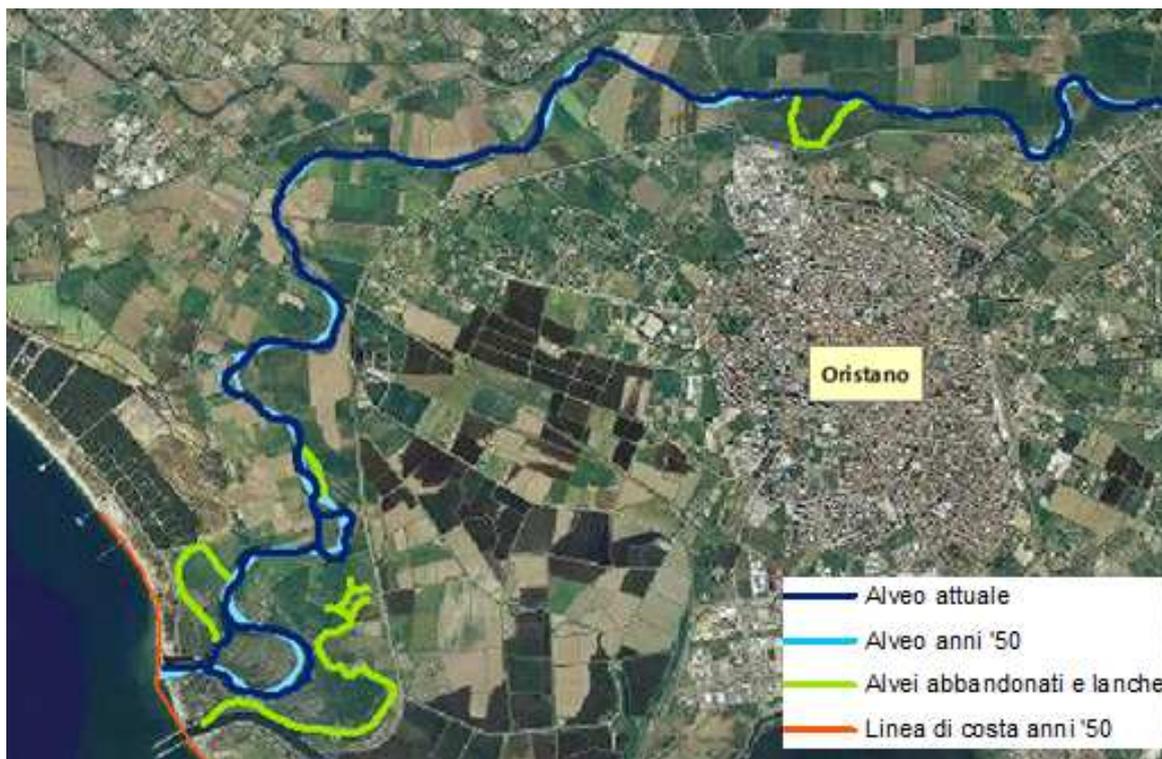


Figura 4.3. Modificazioni del tratto finale del Tirso tra gli anni '50 e la configurazione attuale.

In parallelo con la costruzione della diga del Tirso, nel 1910 venne emanato il Regio Decreto per gli investimenti in opere di bonifica per “ruralizzare” i terreni acquitrinosi. La costituzione della Società Bonifiche Sarde (SBS), nel 1918, sancisce l’inizio delle opere imponenti di bonifica idraulica ed agraria per un comprensorio di circa 18.000 ettari⁵, che provocarono una profonda trasformazione del paesaggio preesistente stravolgendo l’originario assetto naturale della Piana di Terralba. Le bonifiche portarono ad una vera e propria rinascita della zona più degradata della Sardegna, terra paludosa ed inospitale, dove più alta era l’incidenza di mortalità per malaria, oggi diventata la più fertile e produttiva della Sardegna.

In figura 4.4 si può notare il Rio Mogoro, che originariamente dirigeva il suo corso verso nord-ovest per andare sfociare nello Stagno di Sassu. Esso era uno dei corsi d’acqua più copiosi che attraversava la piana terralbese: il suo corso era molto irregolare e, nei periodi di piena, inondava sistematicamente la campagne di Uras, Terralba e Marrubiu,

⁵ Di questo comprensorio, soltanto una superficie di 9040 ettari, acquistata dalla SBS, ha usufruito dell’integrale bonifica e della trasformazione irrigua. Sulla restante metà del comprensorio, a parte i benefici arrecati dalla regolazione e dall’inalveamento del Rio Mogoro, le opere di miglioramento fondiario sono state compiute parzialmente e disorganicamente, in prevalenza per iniziative singole (Morani, 1957).

provocando ingenti danni ai raccolti, soprattutto nelle zone argillose fertili chiamate *isca*, sfruttate per la coltivazione dei cereali e della vite e dando luogo a impaludamenti e focolai di malaria (Soru, 1994).

La situazione idraulica e geopedologica condizionava fortemente l'economia e lo sviluppo di queste zone. In tale piana desolata risiedevano stabilmente circa dodici mandriani, addetti alla custodia degli animali, che si riparavano in piccoli ricoveri realizzati con erbe palustri intrecciate e ricoperte di cisto legato con il giunco. Nei pressi di Marceddì si contavano una decina di capanne, nei pressi di Paulis Estius quattro capanne e solo due case (Tognotti, 1988). Pochissimi dunque erano gli insediamenti umani in un territorio così vasto.

Persino la toponomastica della zona evocava la secolare degradazione di queste terre. *Sa idda de is espis* (il paese delle vespe) era un'area evitata dai pastori per via della massiccia presenza delle vespe, oppure *is tremens* (le tremanti), come venivano chiamate le pericolose paludi (Tognotti, 1988).

I lavori per la sistemazione e deviazione del Rio Mogoro iniziarono nel 1921: venne deviato verso ovest attraverso un tratto canalizzato di circa 11 km sino a sfociare nello Stagno di S. Giovanni. La costruzione successiva di una diga (1932-1934) sullo stesso corso del fiume, in località S.Vittoria, ha poi attenuato le piene impedendo le continue inondazioni della pianura sottostante e permettendo di immagazzinare acque da destinare all'irrigazione. Nella piana le acque per l'irrigazione provenivano anche dal fiume Tirso; tra le prime opere della bonifica bisogna infatti ricordare la costruzione del canale adduttore di 57 km che si dipartiva a valle della diga e raggiungeva l'area di Terralba per poi alimentare i vari canali secondari.

Negli anni '30, tra il 1934 e il 1936, fu prosciugato poi lo Stagno di Sassu, alimentato dal Mogoro e da piccoli rii discendenti dal Monte Arci, riducendo così ulteriormente il rischio di malaria e rendendo l'area coltivabile. Per poterlo prosciugare furono necessari degli interventi che richiesero un grande sforzo tecnico ed economico. Oltre che eliminare gli apporti fluviali, venne realizzata una fitta rete di canali perimetrali destinati ad allontanare verso il mare le acque superficiali ed alcuni canali, detti delle acque medie e delle acque alte, che avevano lo scopo di allontanare le acque provenienti dai torrenti discendenti dal Monte Arci. Successivamente si fece ricorso alle idrovore per abbassare il livello della falda, in particolare quella in corrispondenza dell'ex palude di Sassu.



Figura 4.4. Deviazione del Rio Mogoro. In verde l'antico tracciato che confluiva all'interno dello Stagno di Sassu, poi bonificato. In blu l'andamento del Rio Mogoro dopo la deviazione funzionale agli interventi della bonifica di Sassu e della Piana di Terralba-Arborea.



Figura 4.5. Fenomeni di *mud crack* nei limi e nelle argille del fondo dello Stagno di Sassu dopo il prosciugamento. Fonte: Archivio SBS, foto del 1937.

La Bonifica integrale è consistita anche nello spianamento dell'ampio campo dunare che si sviluppava dallo Stagno di S'Ena Arrubia a quello di San Giovanni, seguendo un'inclinazione verso il mare per evitare allagamenti, nel colmamento delle depressioni umide e nel prosciugamento con l'utilizzo di idrovore dei *paulis* più grandi (paludi di Arba, Estius e Ludi).

Localmente, in relazione alla bassa soggiacenza della falda superficiale ed all'estensione delle depressioni umide, vennero realizzati dei canali colatori atti ad intercettare la falda e a drenare i terreni (Angioni, 2002). La rete totale dei canali realizzati corrisponde a circa 190 km di lunghezza. I canali principali della bonifica sono quelli delle Acque Medie e del Rio Mogoro, il Flumini Mannu e il Rio Sitzzerri, localmente costretti a scorrere tra argini di cemento.

Mentre si dava inizio alla sistemazione idraulica si procedette con la trasformazione agraria.

La bonifica di Arborea può suddividersi in tre zone:

I) Zona occidentale: di circa 800 ettari, costituita dalla fascia dunale recente, oggetto di rimboschimento eseguito dalla Società Bonifiche Sarde a partire dal 1925 sino al 1939. Con l'obiettivo di valorizzazione della fascia litoranea e protezione delle colture agrarie dell'azione del vento e dalla salsedine venne attuato un piano di rimboschimento lungo il litorale della Piana di Terralba con messa a dimora di due milioni di pini domestici (*Pinus pinea*). Si realizzò così un altro elemento fondamentale della nuova configurazione paesaggistica: una imponente pineta lunga 12 km e con una superficie di 600 ettari, impiantata lungo il cordone litorale della Marina di Arborea, nell'immediato entroterra dello Stagno di Corru s'Ittiri, tra la laguna di S'Ena Arrubia e lo Stagno di Marceddì. Questa tipologia di vegetazione è rappresentata dall'habitat prioritario 2270* – Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster*.

II) Zona centrale: estesa su circa 5900 ettari, costituita dalla duna quaternaria sabbiosa, che venne destinata all'appoderamento, all'utilizzazione irrigua ed in parte a coltivazioni arboree.

III) Zona orientale: di 2320 ettari, costituita dall'alveo dell'ex stagno di Sassu, che previo dissalamento, venne destinata alla utilizzazione irrigua, principalmente per la produzione di foraggi ad integrazione del fabbisogno dei poderi; con l'applicazione della riforma agraria, circa un terzo della superficie è stata quotizzata e messa a disposizione di

assegnatari locali;

IV) A parte sono da considerare le brevi superfici marginali, acquistate dalla Società e lasciate a pascolo, situate oltre il basso corso del Mogoro ed a nord dell'Idrovora del Sassu (zona del Cirras).

Il territorio fu completamente ridisegnato in modo rigorosamente geometrico, totalmente estraneo rispetto al contesto paesaggistico sardo, a formare una scacchiera di poderi i cui confini sono segnati dai canali, dalle strade e dalle fasce frangivento. I poderi avevano un'estensione variabile tra 12 e 24 ettari e venivano dati in contratto di mezzadria agli assegnatari (dal 1953-1954 passarono in assegnazione agli stessi mezzadri).

Ogni podere era dotato, oltre che dall'abitazione per la famiglia colonica e dei necessari servizi, della stalla (di cubatura variabile), di concimaia, di pozzo, di ricoveri per il bestiame e per le macchine ed attrezzi. In media il complesso dei fabbricati poderali copriva una superficie di 630 metri quadri.

Il progetto della bonifica integrale oltre che avere gli scopi tecnici del risanamento idraulico e sanitario e del progresso agricolo, aveva anche quello sociale della colonizzazione, con immigrazione di numerose famiglie di contadini continentali, in maggioranza provenienti dal Veneto e dal Polesine. Dal 1926 al 1930 i coloni presenti in tutto il territorio della bonifica erano circa 3000 (Bitti et al., 1998).

Vennero costruiti i primi centri rurali: Alabirdis, S'Ungroni, Pompongias, Torrevecchia, Linnas, Tanca Marchese e Luri. La maggior parte degli edifici ricordavano i luoghi di provenienza degli immigrati e quindi non avevano nulla a che vedere con l'architettura del regime o la tipica casa rurale sarda, ma facevano piuttosto riferimento alle tipologie della bassa pianura padana.

Nel 1928 l'agglomerato urbano preesistente, denominato Alabirdis, fu ufficialmente rifondato e rinominato "Mussolinia di Sardegna" e dopo la guerra, nel 1944, il Comune assunse il nome di Arborea (figura 4.6).

Si fonde così nel progetto della bonifica un importante obiettivo politico del regime fascista: "l'opportunità di diffondere una sana mentalità rurale che corrisponda a costumi di vita, a sentimento morale e coscienza politica diversa da quella urbana al fine di creare una nuova fiducia nell'agricoltura, posta a base della economia della nazione, la ruralizzazione del Paese, insomma, sognata e voluta da Benito Mussolini, non può non realizzarsi che attraverso la colonizzazione" (Bitti et al., 1998).



Figura 4.6. L'abitato di Arborea con il suo paesaggio della bonifica costituito da strade, canali di irrigazione, fasce frangivento e campi coltivati caratterizzati da geometrie ortogonali che determinano la fitta maglia rettangolare del tessuto agrario. Fonte: rivista del Touring Club Italiano del 1953.

All'interno della bonifica vennero piantati in fasce frangivento eucalipti di varie specie e, in minor misura, pioppi e salici. La densità degli alberi era in numero di 300 per ettaro. L'Eucaliptus, oltre che avere la funzione di delimitare i campi di seminativi, era considerato un albero adatto per moderare l'azione dei venti. Attualmente, le fasce frangivento da esso costituite rappresentano una particolarità storica caratterizzante il paesaggio agrario del territorio.

Gli interventi di bonifica hanno completamente rimodellato il paesaggio naturale, fino ad allora un territorio desolato ed ostile per la sua insalubrità, in un luogo in cui il paesaggio agrario occupa una preponderante estensione, rilevata dalle grandi superfici coltivate a seminativi e caratterizzato dall'importante presenza della filiera agroindustriale della bovinicoltura da latte, che ha assunto un ruolo significativo per l'economia della Regione.

Le opere della bonifica costituiscono, quindi, una testimonianza monumentale del lavoro dell'uomo per dare un nuovo volto economico e sociale alla Sardegna. In figura 4.7 è riportata un'immagine che mostra l'area della Bonifica integrale tratta da "Pastori e contadini di Sardegna", scritto nel 1941 dal geografo francese Maurice Le Lannou.

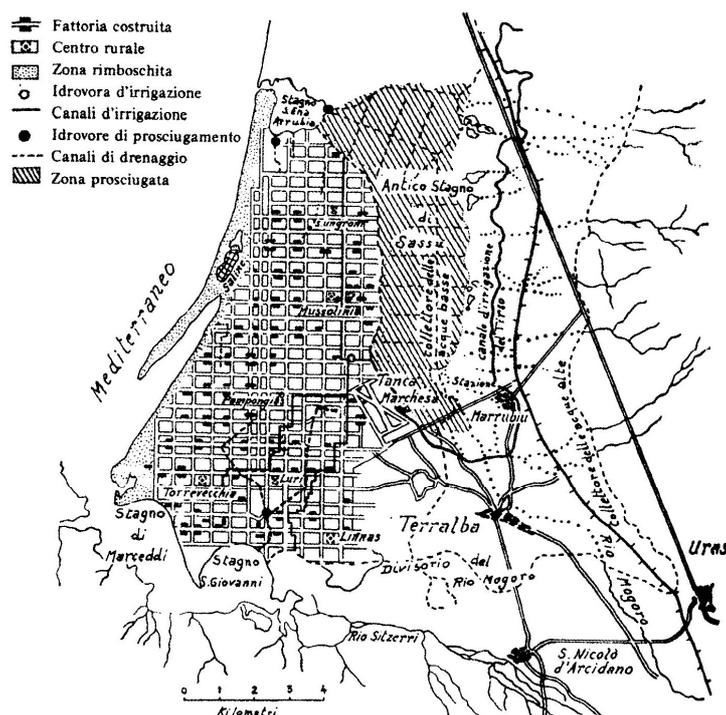


Figura 4.7. La Bonifica di Mussolinia così come rappresentata da Le Lannou in “Pastori e contadini di Sardegna” (1941).

Attualmente il sistema delle bonifiche di Oristano e Arborea è stato incluso nella categoria dei Beni Identitari del territorio all'interno delle Norme di Attuazione del PPR (art. 6) e ne viene prescritta la tutela e la valorizzazione sia come sistema ambientale sia come risorsa economica orientata verso uno sviluppo sostenibile delle attività agricole.

L'art. 9, infatti, stabilisce che i beni identitari sono oggetto di tutela e conservazione da parte della Regione, Comuni o Province. L'art. 49 prescrive che *“la tutela dei beni identitari è assicurata sia mediante la conservazione ed il ripristino ambientale paesaggistico, sia attraverso un accurato controllo preventivo ed in corso d'opera degli eventuali interventi di parziale e limitata trasformazione, resi necessari dalle esigenze di tutela e fruizione dell'area”*. L'art. 57 fornisce per le aree di bonifica la seguente definizione di bene identitario: *“costituiscono aree d'insediamento produttivo di interesse storico culturale i luoghi caratterizzati da forte identità, in relazione a fondamentali processi produttivi di rilevanza storica (bonifiche, saline, ecc.)”*.

Infine, l'art. 58 prescrive per gli stessi beni che *“è fatto divieto di alterare le caratteristiche essenziali dei beni identitari; qualsiasi intervento di trasformazione infrastrutturale deve essere coerente con l'organizzazione territoriale; i piani urbanistici devono disciplinare i*

cambi di destinazione d'uso ritenuti compatibili con la consistenza storico culturale dei beni stessi".

4.3.2 Le riforme agrarie in Sardegna

Nel secondo dopoguerra l'evoluzione dell'agricoltura italiana subisce una vera e propria accelerazione, sia per l'applicazione di importanti innovazioni tecniche sia per l'introduzione di nuovi punti di riferimento della politica agricola comunitaria (Basso, 1995).

Negli anni '50 e '60 prevalgono forti processi di intensificazione produttiva, specialmente nelle aree di pianura, con rilevante diffusione delle colture arboree (frutteti e vigneti) e delle colture ortive, soprattutto nelle aree irrigue del Mezzogiorno. I nuovi modelli di utilizzazione del suolo di tipo intensivo sono applicati in maniera generalizzata, spesso non tenendo conto delle condizioni pedologiche e causando in molti casi uno scadimento delle qualità del suolo.

La produzione agricola fa addirittura registrare, negli ultimi cinquant'anni, dei tassi di sviluppo notevolmente superiori a quelli di tutti i periodi precedenti, grazie alla forte diffusione della meccanizzazione, che sostituisce il lavoro umano e animale, e del progresso tecnico.

Nel decennio che segue gli eventi bellici viene attuata in Italia una Riforma Agraria con opere di bonifica del territorio e sviluppo dell'irrigazione, elementi, questi, che denotano un intervento forte dello Stato.

Dal 1950 in poi partono dunque una serie di iniziative a sostegno delle regioni meridionali, Sardegna inclusa, che mirano principalmente a promuovere il programma di colonizzazione e trasformazione agraria migliorando la dotazione delle infrastrutture presenti nei vari territori regionali, in modo da favorire il futuro decollo delle politiche agricole in attuazione della Riforma Agraria (Legge Stralcio 841/1950).

Nella Sardegna del dopoguerra si assiste a profondi mutamenti nell'utilizzazione dei suoli, legati alla crisi dell'agricoltura tradizionale verificatasi a partire dagli anni '50. Secondo dati ISTAT nel 1955 solo il 26% della superficie è indicata come seminativi (e tra il 1957 e il 1975 i seminativi perdono il 45% della propria superficie in tutta l'Isola), mentre il 44,8% sono pascoli permanenti (i boschi rappresentano il 12,6% e le coltivazioni arboree il

3,1%). Nonostante gli sforzi per ampliare l'area delle coltivazioni è sempre l'allevamento brado a dettare legge (Fadda, 2001).

Le principali leggi degli anni '50 riguardanti il settore agricolo sono:

- La L.R. 44 del 9 agosto 1950 che favorisce, attraverso l'erogazione di contributi, un aumento delle superfici coltivate ed una maggiore occupazione agricola.
- La L.R. 841 del 20 ottobre 1950, la cosiddetta legge Segni, che riguarda l'espropriazione, la bonifica, la trasformazione e l'assegnazione a contadini senza terra delle terre incolte.
- La L.R. 14 del 2 agosto 1951 che favorisce l'acquisto di macchine operatrici e permette la modernizzazione dell'agricoltura sarda.

Nel 1951 in Sardegna venne costituito l'ETFAS (Ente per la trasformazione fondiaria e agraria in Sardegna), ente che coordinò tutte le fasi progettuali e di gestione, occupandosi direttamente dell'elaborazione e del coordinamento dei "Piani di colonizzazione" distribuiti in varie aree dell'isola coinvolte. Il territorio venne organizzato in "Comprensori di Riforma", a cui corrispondevano i "Centri di colonizzazione", suddivisi in Aziende, la cui dimensione veniva calibrata sulle dimensioni della famiglia contadina sarda, sulla natura delle zone agrarie e delle colture da produrre.

Nel 1952 prosegue l'opera di colonizzazione e valorizzazione agricola dei territori di Arborea e dell'Oristanese, con interventi programmati dall'ETFAS, che realizza cinque nuove aziende (Uras, Is Bangiu, Masongiu, Tiria e Cirras) per circa 4.000 ettari.

La L.R. n. 7 del 11 luglio 1962, che rappresenta l'attuazione della legge n. 588 dell'11 giugno 1962 (Programma di Rinascita), delinea i compiti della Regione in materia di sviluppo economico e sociale della Sardegna per la predisposizione e attuazione del Piano di Rinascita.

Si tratta del primo provvedimento legislativo preso in Italia nei riguardi della pianificazione regionale, concepito per un periodo d'applicazione di 12 anni (1963-1974) ma che è diventato operante solo a partire dal 1966.

Per quanto attiene la dotazione finanziaria per la Sardegna, i 400 miliardi di Lire stanziati dalla Legge n. 588 del 11 giugno 1962 per il piano decennale vengono inseriti in una più generale ipotesi di sviluppo economico e sociale che prevede la disponibilità complessiva di 1800-2000 miliardi di Lire. Anche se viene individuato nell'industria, invece che nell'economia agricola, il motore dello sviluppo, il Piano prevede lo sviluppo

dell'irrigazione nelle zone di pianura e l'adozione di orientamenti a carattere intensivo (incremento di alcune colture come la vite, il carciofo ed il pomodoro).

Altro settore per il quale sono previsti interventi di trasformazione e ammodernamento è quello della pastorizia con opere di miglioramento estensivo dei pascoli. Il Piano prevede infatti la trasformazione di migliaia di ettari di pascolo incolto in pascoli stabili in grado di legare al terreno l'azienda pastorale, evitando così il fenomeno del "nomadismo".

La legge 268 del 24 giugno 1974 (Secondo Piano di Rinascita – Riforma Assetto agro-pastorale a sostegno delle aree a prevalente economia pastorale) viene attuata dalla L.R. n. 44 del 6 settembre 1976 che sancisce l'istituzione della Sezione speciale dell'ETFAS per l'attuazione delle opere di espropriazione, bonifica, trasformazione e assegnazione dei terreni secondo quanto previsto dalla Legge per la Riforma Agraria emanata nel 1950.

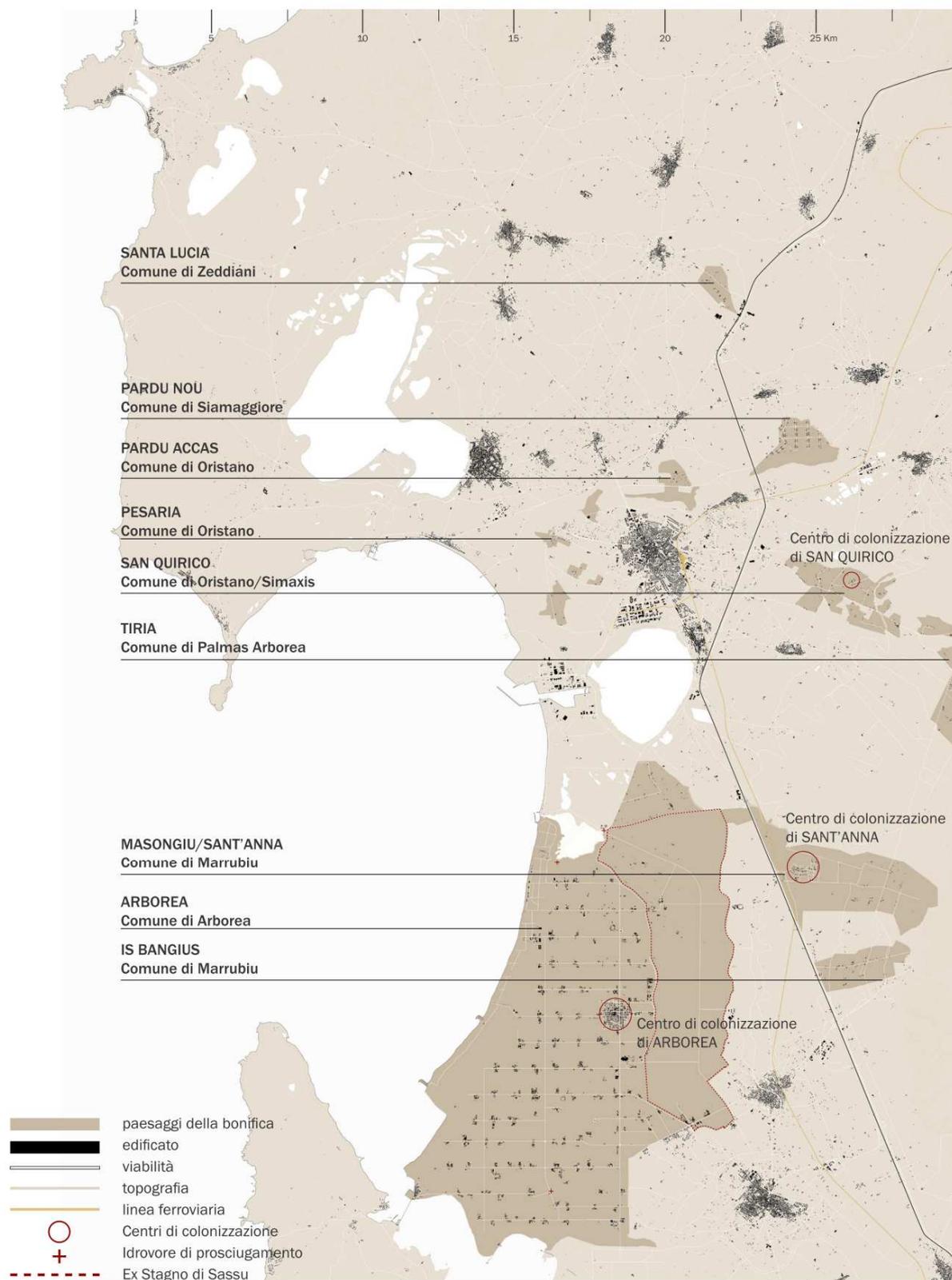


Figura 4.8. Carta dei paesaggi della bonifica e della riforma agraria (Fonte: SARTEC - Saras Ricerche e Tecnologie SpA - Progetto "Eleonora", Analisi paesaggistica del Golfo di Oristano. Sub-Quadro urbanistico-architettonico, 2012).

4.3.3 Analisi dei processi di trasformazione

Le fonti informative utilizzate coprono un intervallo temporale di oltre 50 anni e mostrano un sistema complesso di tendenze evolutive. Esse permettono di documentare la transizione del paesaggio rurale della metà del XX secolo all'assetto post-industriale e di crescita urbana più recente.

Dal confronto incrociato delle ortofoto prodotte dalle riprese aeree relative agli anni 1954, 1977 e 2006, è stato verificato il reale stato del territorio negli anni '50 e la sua evoluzione relativamente alla crescita urbanistica ed industriale, la regimazione idraulica, le modificazioni del paesaggio e le contestuali evoluzioni socio-economiche avvenute nella fascia costiera del Golfo di Oristano negli ultimi 55 anni.

In relazione ai processi di trasformazione avvenuti nell'intervallo temporale 1954/1977/2006, si possono mettere in evidenza diversi casi di modificazioni ad opera dell'uomo. In modo particolare, alcuni stagni e lagune dell'Oristanese hanno subito interventi, più o meno imponenti, per modificarne l'idraulica e per favorire le attività di pesca e di allevamento del pesce (De Falco et al., 2003).

In figura 4.9 è osservabile la trasformazione del paesaggio costiero nell'interfaccia tra lo Stagno di Santa Giusta e il mare, a seguito della realizzazione del porto industriale di Oristano, unica grande infrastruttura industriale presente nel Golfo, in attività dal 1975, in un'area precedentemente costituita da campi di dune e caratteristici ristagni d'acqua. È facilmente intuibile che la realizzazione dei moli avanzati risulti fortemente impattante sul paesaggio, essa ha infatti modificato profondamente la morfologia costiera provocando un accumulo di sedimenti nella parte sopravento, a nord del porto, e una erosione nella parte a sud (De Falco et al., 2003; Di Gregorio et al., 2004).



Figura 4.9. Ortofoto del 1954, 1977 e 2006 raffiguranti le trasformazioni conseguenti alla costruzione del Porto industriale di Oristano.

Un'altra importante modificazione è quella relativa alla parte meridionale della laguna di Cabras (localmente detta “stagno”), la più grande laguna della Sardegna (figura 4.10). In passato comunicava con il mare attraverso la laguna di Sa Mardini (ormai prosciugata), mentre attualmente la comunicazione con il mare avviene attraverso un canale scolmatore lungo circa 4 km, costruito negli anni '70 e costato oltre 7 miliardi di vecchie lire, per ovviare ai danni provocati dallo straripamento delle acque nei periodi di piena. Questa enorme opera, però, viene ritenuta da molti il più costoso e inutile di tutti gli interventi effettuati nello stagno.

Le alterazioni delle caratteristiche originali del bacino hanno causato una alterazione degli equilibri acqua dolce-acqua salata e quindi un'accentuazione della salinità. Ne sono conseguite la progressiva rarefazione del fragmiteto circondariale, essenziale per la popolazione ittica e per l'avifauna presente, la distruzione delle estese praterie a *Ruppia* e la scomparsa delle specie ittiche più tipicamente dulciacquicole (De Falco et al., 2003).



Figura 4.10. Ortofoto del 1954, 1977 e 2006 raffiguranti le trasformazioni conseguenti alla costruzione del canale scolmatore dello Stagno di Cabras.

La Laguna Corru s'Ittiri è una laguna semiartificiale risultato di una importante trasformazione antropica, cioè la realizzazione di uno sbarramento che unisce l'estremità della freccia litoranea sabbiosa di Corru Mannu con la terraferma, in corrispondenza del quale sono presenti due bocche a mare che ne garantiscono il ricambio idrico e la montata dei pesci (figura 4.11).

L'accrescimento e l'evoluzione della freccia litoranea dipende dalla disponibilità sedimentaria e dal regime energetico sottocosta. Essa è originata dalla corrente di deriva litorale prevalente che, scorrendo nel Golfo da nord verso sud, trasporta grandi quantità di materiale detritico immesso in mare dal fiume Tirso. Attualmente la realizzazione di importanti opere, quali il nuovo porto industriale di Oristano e i moli foranei delle bocche della laguna di Corru s'Ittiri, hanno alterato sensibilmente il regime delle correnti con

conseguente tendenza del settore costiero ad un adeguamento al nuovo regime energetico, con fenomeni di erosione evidenti soprattutto nelle porzioni di spiaggia sottoflutto rispetto ai moli foranei (Di Gregorio et al., 2004).

Inoltre è stato evidenziato come la penisola di Corru Mannu risulti interessata da notevoli fenomeni di erosione della linea di costa, che hanno portato ad un arretramento della stessa, probabilmente a causa delle modifiche della dinamica costiera indotte dalla costruzione dei pennelli realizzati per favorire la vivificazione della laguna a fini produttivi (Di Gregorio et al., 2004).

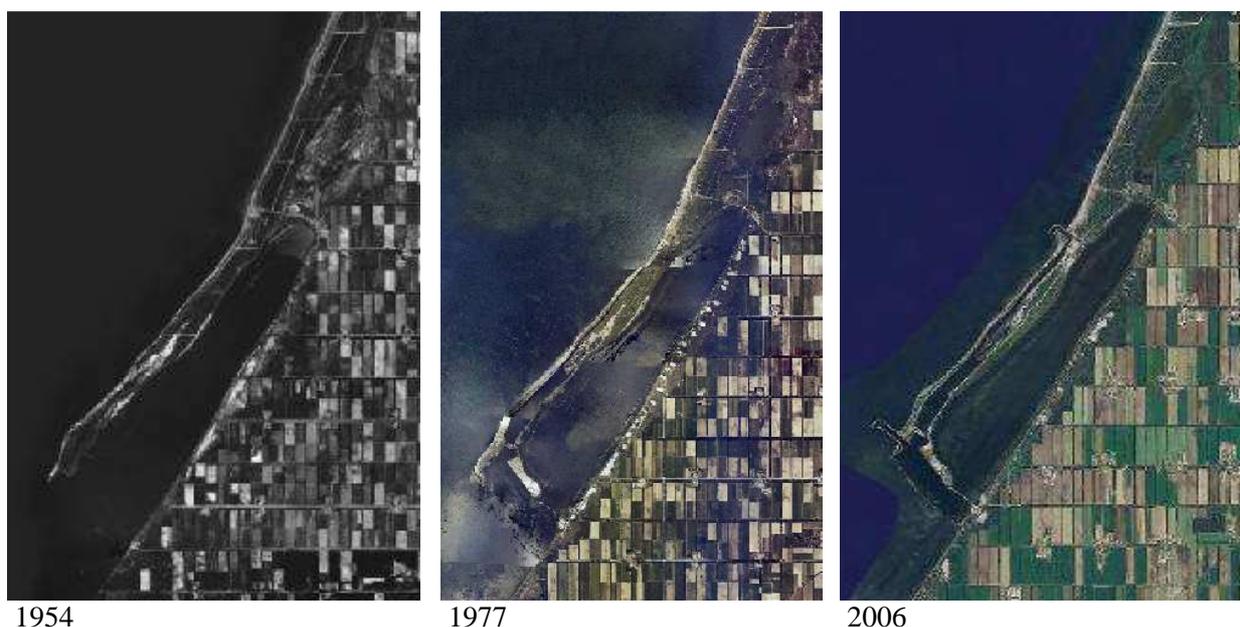


Figura 4.11. Ortofoto del 1954, 1977 e del 2006 raffiguranti le trasformazioni della Laguna di Corru s'Ittiri originatasi dal progressivo accrescimento della freccia litoranea che si protende in direzione sud-ovest nel settore meridionale del Golfo di Oristano.

4.3.4 Dinamiche dell'uso e copertura del suolo

Per mettere in evidenza i processi di trasformazione del paesaggio del Golfo di Oristano sono state valutate le dinamiche dell'uso e copertura del suolo per il periodo 1954-2008 attraverso l'elaborazione della *Carta delle dinamiche di trasformazione e delle persistenze*. Da tale valutazione è stato possibile ricostruire l'entità delle trasformazioni dell'uso del suolo (1° livello CORINE Land Cover) e più in generale le pressioni esercitate dall'uomo sugli ecosistemi agricoli e naturali della fascia costiera.

In tabella 4.1 vengono riportati i valori di superficie in ettari e di superficie percentuale⁶ occupata dalle categorie CORINE Land Cover di primo livello nel 1954 e nel 2008 (calcolate tramite GIS), la differenza in ettari ed in percentuale tra i dati delle due serie storiche considerate e la variazione percentuale.

UDS	Superficie in ha 1954	Superficie % 1954	Superficie in ha 2008	Superficie % 2008	Variazione in ha 1954-2008	Differenza % 1954-2008	Variazione % 1954-2008
1	515,20	1,26	2462,86	6,03	1947,66	+4,77	+378,03
2	23435,47	57,48	24468,27	59,99	1032,80	+2,51	+4,40
3	9403,16	23,06	7696,94	18,87	-1706,22	-4,19	-18,14
4	3105,31	7,61	1737,96	4,26	-1367,35	-3,35	-44,03
5	4309,73	10,57	4416,90	10,83	107,17	+0,26	+2,48

Tabella 4.1. Variazioni complessive, in ettari e in percentuale, delle varie categorie di uso del suolo (UDS) tra il 1954 e il 2008. 1) superfici artificiali 2) superfici agricole utilizzate 3) territori boscati e ambienti seminaturali 4) zone umide 5) corpi idrici.

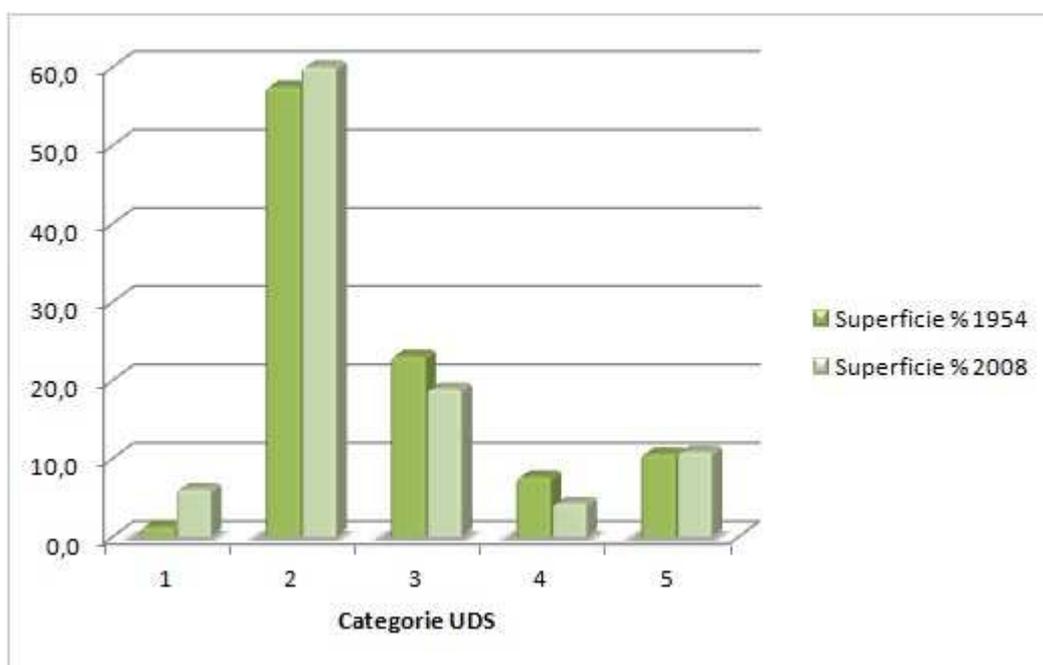


Figura 4.12. Confronto tra le percentuali delle superfici di uso e copertura del suolo nel 1954 e nel 2008.

La comparazione quantitativa delle macro-categorie di uso del suolo fornisce una prima visione generale delle trasformazioni avvenute. La categoria più dinamica nel periodo considerato è quella delle “superfici artificiali” che presenta un altissimo tasso di crescita (378%), aumentando la propria superficie di 1947,66 ha. Nel complesso, il territorio in

⁶ Percentuale della superficie occupata da ognuna delle cinque classi rispetto all'estensione totale.

esame mantiene nel tempo la sua spiccata connotazione agricola, le superfici agricole aumentano infatti di circa il 4% (1032,80 ha). All'aumento delle superficie agricole corrisponde però la contrazione dei territori boscati e ambienti seminaturali che subiscono una sensibile riduzione, pari al 18% (-1706,22 ha).

Anche le zone umide diminuiscono del 44% (-1367,35 ha), in relazione ai diversi interventi di bonifica agraria intensificatesi dagli anni '50 (Riforma fondiaria e agraria)⁷, effettuati per recuperare terreni da destinare all'agricoltura. In leggero aumento invece i corpi idrici, che si ampliano del 2,48% (107,17 ha).

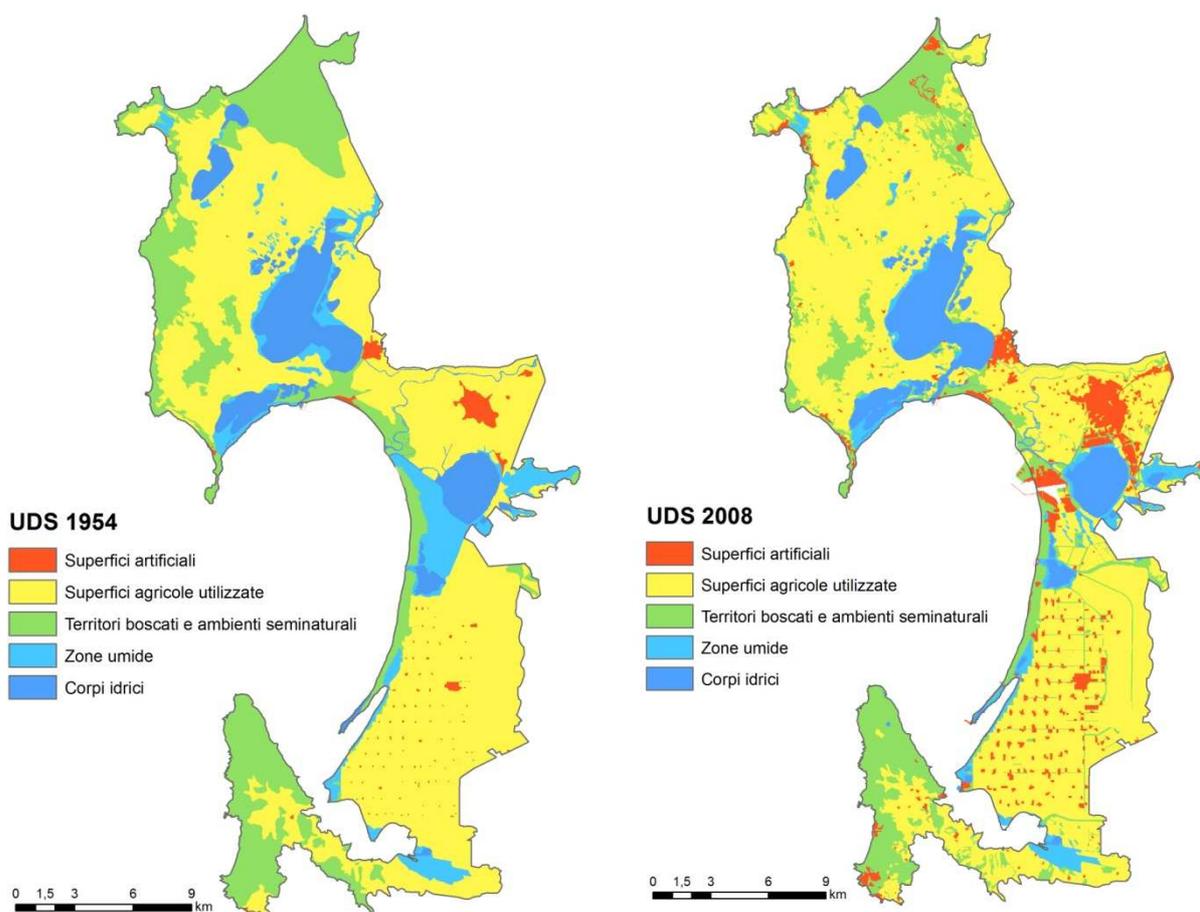


Figura 4.13. Raffronto tra la Carta di uso e copertura del suolo del 1954 e quella del 2008.

I processi di trasformazione del paesaggio sono ancora più evidenti nella *Carta delle*

⁷ Le opere di bonifica, con gli interventi statali in Sardegna iniziati nel 1950, hanno assunto un aspetto nuovo di riforma fondiaria e agraria e hanno avuto intensità ed estensione così ingenti da interessare oltre i 2/5 del territorio regionale. Questi interventi sono rientrati nel vasto programma stabilito e posto in opera a favore delle regioni centro-meridionali e delle isole maggiori dalla Cassa del Mezzogiorno (Mori, 1972).

dinamiche di trasformazione e delle persistenze (figura 4.14), realizzata tramite il confronto tra le due cartografie di uso e copertura del suolo del 1954 e del 2008. Tale Carta consente di cogliere in modo piuttosto immediato i processi di trasformazione e di persistenza dell'uso del suolo del territorio del Golfo di Oristano nel periodo considerato poiché rappresenta le principali sequenze di trasformazione/persistenza di uso del suolo (tabella 4.2).

PERSISTENZE	TRASFORMAZIONI
PERSISTENZA ANTROPICA/URBANA Sup. artificiali → Sup. artificiali (SS)	Agricolo → Sup. artificiali (AS) Agricolo → Terr. boscati/seminat (AB)
PERSISTENZA AGRICOLA Agricolo → Agricolo (AA)	Terr.boscati/seminat → Sup. artificiali (BS) Terr. boscati/seminat → Agricolo (BA)
PERSISTENZA NATURALE Terr.boscati/seminat → Terr.boscati/seminat (BB)	Zone umide → Sup. artificiali (US) Zone umide → Agricolo (UA)
PERSISTENZA ZONE UMIDE Zone umide → Zone umide (UU)	Zone umide → Terr.boscati/seminat (UB)
PERSISTENZA CORPI IDRICI Corpi idrici → Corpi idrici (II)	

Tabella 4.2. Principali sequenze di trasformazione/persistenza di uso del suolo (1954-2008).

La maggior parte del territorio è caratterizzato da sequenze di persistenza, rappresentate nella Carta con toni di verde, per un totale di 316,09 km² (78% dell'area di studio). Nello specifico, si evince che la sequenza di persistenza AA (Agricolo-Agricolo) è la più rilevante (207,24 km², pari a circa la metà di tutto il territorio oggetto di studio), a conferma dei dati già mostrati.

Il 22% del territorio è interessato invece da cambiamenti di uso del suolo. Il dopoguerra, anche in questa parte di Sardegna, è caratterizzato da trasformazioni economiche e sociali (industrializzazione, meccanizzazione dell'agricoltura, concentrazione demografica nelle città, realizzazione di numerose infrastrutture) che nel giro di pochi anni hanno drasticamente trasformato l'uso del suolo determinando l'attuale configurazione del territorio (Russo et al., 2009; Speranza et al., 2009). I dati più evidenti riguardano le nuove aree urbanizzate che si sono impostate su aree precedentemente agricole (sequenza AS, 13,01 km²) o naturali (sequenza BS - 4,35 km² e US - 2,01 km²). Le transizioni verso l'uso

del suolo artificiale riguardano quindi una superficie totale di 37,45 km², pari a circa il 9% dell'intera area.

I fenomeni di incremento della presenza antropica si sono concentrati nelle aree più favorevoli all'uso agricolo e allo sviluppo economico, ben rappresentate nella Piana di Arborea, nella logica di un miglioramento delle capacità produttive dei terreni agricoli in termini sia qualitativi che quantitativi. Tra i principali fattori che influiscono sull'espansione degli agglomerati urbani in ambiti rurali vi è probabilmente il prezzo contenuto dei terreni agricoli fertili rispetto a quello dei terreni edificabili.

L'espansione insediativa, sia con la costruzione di insediamenti sparsi in zone rurali che con la crescita delle città attorno al nucleo urbano, ha invaso progressivamente i suoli non artificializzati producendo consumo di suolo con impatti rilevanti sull'ambiente. I suoli naturali e agricoli che vengono urbanizzati, infatti, perdono irreversibilmente le proprie capacità fisiche e biologiche e nel contempo tale processo concorre ad alterare il paesaggio e con esso l'identità storica dei luoghi. In figura 4.14 si può osservare l'espansione di alcune superfici artificiali, rappresentata in rosso/arancione, che ha comportato la perdita di superfici agricole e naturali spesso di rilevante valore. Sono ben evidenti: la crescita urbana della città di Oristano e dei centri di S.Giusta, Cabras e Arborea (e dei circostanti nuclei rurali) a scapito soprattutto dei terreni coltivati (sequenza AS), l'urbanizzazione concentrata lungo la costa nei dintorni di Torregrande, Marceddì, Pistis e Torre dei Corsari e lo sviluppo del polo industriale di Oristano (come già mostrato in figura 4.9) collocato su quella che un tempo era un'ampia area umida (sequenza US) e su territori seminaturali (sequenza BS), generando forti pressioni sul sistema naturale preesistente.

Inoltre, le aree AS sono state confrontate con la classificazione della capacità d'uso dei suoli (Land Capability Classification, LCC) ricavata dalla Carta dei suoli della Sardegna alla scala 1:250.000 (Aru et al., 1991) che fornisce indicazioni sulla suscettibilità di un determinato suolo all'utilizzo agronomico. Tale confronto ha permesso di caratterizzare il fenomeno del consumo di suolo anche in termini qualitativi, oltre che quantitativi, cioè ha consentito di valutare la perdita di suolo in riferimento alla sua fertilità e suscettività all'utilizzazione per fini agroforestali.

La LCC è composta da 8 classi, distinte con i numeri romani da I a VIII. La I è la classe priva di limitazioni all'uso agricolo o dove le limitazioni se presenti non sono in grado di ostacolarne l'utilizzo; nelle classi successive aumenta progressivamente la gravità delle

limitazioni comportando una riduzione del numero delle colture possibili e nella intensità di uso (Madrau, 2006).

Lo studio mette in luce che nella fascia costiera del Golfo di Oristano la sequenza AS ha provocato una maggiore perdita di suolo (5,7 km²) appartenente alla classe III-IV (intermedia tra gli usi agricoli intensivi e quelli estensivi⁸) e secondariamente (0,99 km²) alla classe I-II (che rappresenta la situazione più favorevole all'uso agricolo intensivo⁹).

Nella *Carta delle dinamiche di trasformazione e delle persistenze* si trova conferma di come il Sinis sia una delle zone costiere a minore impatto antropico di tutta la Sardegna; qui gli insediamenti, per lo più di dimensioni contenute, sono concentrati soprattutto nei centri turistici di S.Giovanni del Sinis, Funtana Meiga, Putzu Idu, Mandriola, Sa Marigosa, Sa Rocca Tunda e nel complesso "Golf Hotel Is Arenas", con sequenza di trasformazione nella maggior parte dei casi di tipo BS.

Nel Sinis sono anche evidenti ampie aree che hanno subito la trasformazione BA (da territori boscati e seminaturali a territori agricoli), rappresentate nella Carta in giallo chiaro. In molti territori del Sinis, infatti, in seguito all'intervento meccanico voluto dalla Riforma Agraria, scomparvero grandi superfici occupate dalla rigogliosa macchia mediterranea per lasciare il posto a vaste coltivazioni di cereali (grano, orzo, avena, riso e mais), di barbabietole, di carciofi, di fave, di pomodori, ma anche di viti e di olivi. Si è voluto così ridurre in modo consistente la pastorizia (che, sino ad allora, era stata, insieme

8

III: Suoli che presentano severe limitazioni che ne riducono la scelta delle colture e richiedono speciali pratiche di conservazione. Le limitazioni principali sono relative alle pendenze relativamente modeste (5-15%), al crescente pericolo di erosione da moderato ad elevato, alla debole permeabilità, alla ridotta profondità del suolo (40-60 cm.), alla scarsa fertilità e al lento drenaggio.

IV: Suoli che presentano limitazioni molto severe tanto da restringere la scelta delle colture. Sono infatti caratterizzati da un'elevata percentuale di scheletro nel profilo, dall'elevato pericolo di erosione, legato anche al crescere della pendenza (15-30%), dall'elevata pietrosità e da una profondità inferiore a 40 cm. Sono pertanto idonei ad un uso più limitato rispetto alla classe precedente.

9

I: Suoli che non hanno, o presentano solo marginalmente, limitazioni d'uso. Sono adatti alle colture intensive o all'utilizzo per pascolo o forestazione. Sono molto profondi (oltre gli 80 cm.), quasi sempre livellati (pendenza 0-5%) e facilmente lavorabili, sono pertanto dotati di buone caratteristiche di fertilità o comunque danno ottimi risultati con l'applicazione di normali dosi di fertilizzanti. Richiedono pratiche ordinarie per il mantenimento della produttività e sono particolarmente idonei all'irrigazione poiché presentano una elevata capacità di trattenuta per l'acqua.

II: Suoli che, rispetto alla classe precedente, presentano qualche limitazione d'uso che ne riduce la scelta delle colture e richiede moderate pratiche di conservazione. Sono caratterizzati da un moderato pericolo di erosione, e da pendenze leggere (5-15%) con profondità da 60 a 80 cm. Per tale ragione possono essere utilizzati per le medesime colture della classe I ma con minore intensità. Per prevenire il deterioramento del suolo e per migliorare gli scambi con aria e acqua, richiedono un'accurata conduzione.

alla pesca, un'attività prioritaria), per sviluppare l'agricoltura attraverso interventi d'irrigazione e realizzazione di numerosi pozzi artesiani (Manca, 1995).

È importante notare che tra tutte le sequenze di trasformazione quella di tipo BA, legata ai lavori di bonifica, è la più rilevante, va infatti a coprire circa il 7% dell'area di studio (28,54 km²).

Le aree che hanno subito la sequenza di trasformazione UA sono generalmente localizzate in vicinanza dei maggiori stagni e lagune e sono pari a 8,27 km². Complessivamente le aree che hanno subito trasformazioni legate alle attività di bonifica e riforma agraria corrispondono quindi a 36,81 km² (9%), pari alla somma delle superfici rappresentate da BA e da UA.

Infine la sequenza AB, che comprende il fenomeno dell'abbandono dei terreni agricoli non più utilizzati a fini produttivi, è riconoscibile in piccole e numerose aree molto disperse (rappresentate in blu nella Carta), che occupano complessivamente una superficie di 8,13 km².

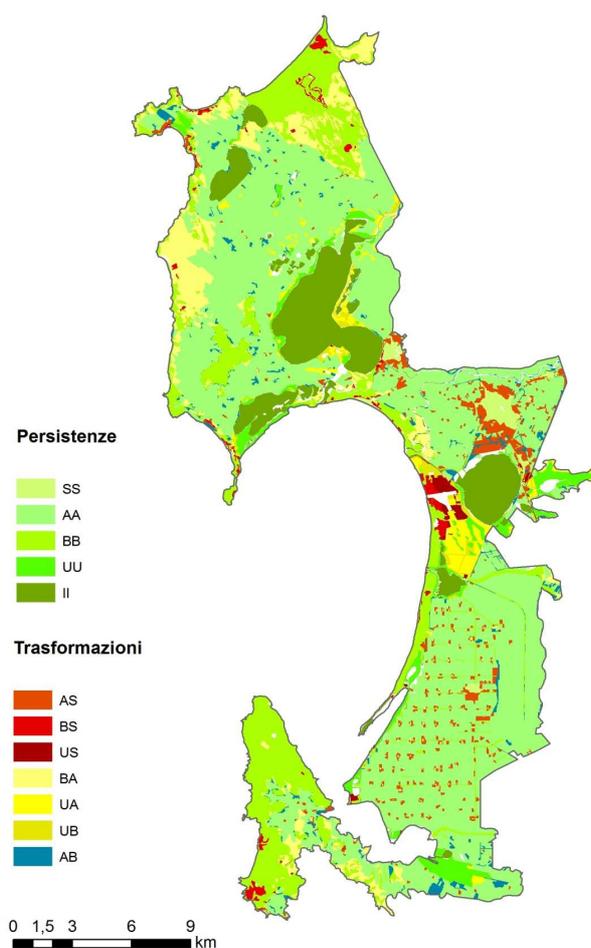


Figura 4.14. Carta delle dinamiche di trasformazione e delle persistenze del Golfo di Oristano.

4.4 Conclusioni

Dai risultati ottenuti si evince che il paesaggio non è una identità definita e stabile nel tempo, bensì è uno spazio geografico ed ecologico sempre in continua trasformazione. L'elaborazione di informazioni provenienti da diverse fonti storiche, cartografiche e bibliografiche e l'analisi multitemporale di carte tematiche e di riprese aeree ha consentito di ricostruire l'evoluzione delle caratteristiche ambientali della fascia costiera del Golfo di Oristano per diverse soglie temporali e le principali trasformazioni avvenute nell'uso del suolo. Ciò ha permesso di mettere in luce rilevanti mutamenti dal punto di vista fisico-geografico ed ambientale e di avere il quadro dell' "incidenza" delle superfici artificiali sul suolo. L'urbanizzazione, infatti, produce in maniera permanente perdita di suolo, sottratto alla sua originaria vocazione, prevalentemente agricola o naturale.

La ricerca ha messo in evidenza che il consumo di suolo nell'area indagata, secondo una dinamica molto frequente in Europa (AEA, 2013) e comune a tutto il territorio nazionale (ISPRA, 2014), ha inciso soprattutto sulle aree agricole. Il 3% del territorio indagato è stato infatti interessato dall'espansione delle aree urbanizzate e artificiali su aree agricole. La percentuale sale al 9% se si considerano tutte le trasformazioni verso la copertura del suolo artificiale di aree precedentemente agricole o naturali/semi-naturali.

Il consumo di suolo, inoltre, è stato definito, oltre che sulla base della superficie occupata, anche sulla base della qualità dei suoli interessati dal processo di consumo. Le aree maggiormente consumate nel periodo considerato sono aree fertili appartenenti alle classi di capacità d'uso intermedie.

Altro dato importante che emerge dalle analisi delle trasformazioni è che l'area di studio ha subito una profonda trasformazione legata alle attività di bonifica e riforma agraria; le aree che hanno subito questo tipo di trasformazione dal 1954 al 2008 corrispondono al 9% della superficie totale.

In conclusione, dunque, lo studio dell'evoluzione dell'assetto territoriale ha fornito una immediata percezione delle dinamiche di paesaggio derivanti dall'azione combinata dei processi naturali ed antropici e ha consentito di comprendere al meglio le relazioni tra attività antropiche ed ecosistemi agricoli e naturali.

4.5 Allegato

Relazione della visita fatta dalla Commissione per le bonifiche di prima categoria della Sardegna (8 luglio 1886)

Archivio Centrale dello Stato - Ministero dei Lavori Pubblici, Direzione Generale per le Opere Idrauliche, Bonifiche 2^a Serie, Busta 177)

Parte II - Bonifiche in provincia di Cagliari

- *Stagni di Marceddì, S. Giusta e Cabras*
- *Paludi nel Campidano di Oristano*

Notizia dei luoghi

Parleremo qui presso di tutti gli stagni e paludi di cui ai numeri 3 e 4 del succitato Decreto di classificazione in 1^a categoria, perché essendo nelle stesse condizioni e compresi nella pianura medesima, che è il Campidano di Oristano, giova abbracciarli in un sol colpo d'occhio.

Una estesa zona del detto Campidano lunga circa 35 chilometri, che dal lido del golfo di Oristano si estende per una larghezza variabile da 10 a 15 km, è disseminata di stagni e paludi che occupano quasi $\frac{1}{4}$ della superficie di essa zona. Il Tirso, principale fiume di quella regione, divide in due parti disuguali la detta zona, lasciando a destra la minore, che è circa metà di quella a sinistra.

A destra, lo Stagno di Cabras è la principale depressione inondata, a cui fanno corona, come satelliti intorno all'astro maggiore, tanti piccoli stagni e paludi, che solo fino all'abitato di Riola sono in numero di sedici. A sinistra sono tre i maggiori stagni: quelli di S. Giusta, di Sassu e di Marceddì, ai quali fanno egualmente corona circa venti altri piccoli stagni e paludi.

Oltre le dette depressioni, tutte o quasi tutte perennemente coperte di acqua, nella stessa pianura, così a destra come a sinistra del Tirso, vedonsi altre estese zone di terreni soggetti a temporanee inondazioni per i traboccamenti così del Tirso come dei minori corsi d'acqua che solcano il Campidano e vanno a metter foce nei suddetti stagni principali.

Dei piccoli stagni e paludi, eccetto qualcuno che comunica con gli stagni principali, gli altri sono generalmente chiusi d'intorno da gronde più elevate, che impediscono qualunque

scolo. I quattro stagni principali hanno tutti foce a mare, del quale risentono più o meno liberamente il movimento di alta e bassa marea.

Lo Stagno di Marceddì di circa ettari 625 in tutto, è distinto in tre zone; l'inferiore, più ampia delle altre, anziché una stagno è un interno seno di mare, col quale comunica per un ampio varco naturale attraverso il cordone marino. In essa zona sono profondità da 4 a 5 metri di acqua, e fino a pochi anni indietro vi entravano per commercio anche le grosse navi a vela. Dicono che ora alle grosse barche ne sia impedita l'entrata per essersi diminuita l'altezza d'acqua sulla sbarra marina, ma non però di tanto che non vi rimanga tuttavia un tirante di circa un metro d'acqua.

La zona intermedia del medesimo stagno, che prende il nome di Stagno di S. Giovanni, è divisa dall'altra in parte per una lingua di terra che dal lato nord si prolunga nello stagno, e sulla quale è posto il fabbricato della peschiera, ed in parte da muricciuoli di pietrame e fascine intermezzati da palafitte e cannucciate, costruiti per uso della pescagione.

Nel lembo superiore ed est un altro varco di circa 80 metri di larghezza mette in comunicazione con lo Stagno di S. Giovanni quello di S. Maria, che è la più piccola delle tre zone sopradette. In questa zona mette foce il fiume Cixerri o Rivo di Arridano, che porta allo stagno un perenne tributo di acque dolci abbondantissimo d'inverno e scarso d'estate. Nelle due ultime zone la profondità d'acqua varia da m. 0,20 a m. 0,80. Le rive dell'intero stagno sono generalmente elevate ed insommergibili, meno in qualche punto speciale. La campagna però che segue è variamente ondulata, sicché a breve distanza cominciano ad apparire qua e là fra terreni alti ed in qualche sito coltivati i piccoli stagni e le paludi senza scolo, che non comunicano neanche tra loro.

Lo Stagno di Marceddì è di proprietà privata, ed è abbondante di pesca, che rende al proprietario da 10 a 15 mila lire l'anno, secondo le informazioni ricevute. Lungo il lido marino a circa 12 chilometri a nord dal precedente stagno s'incontra la foce dello Stagno di Sassu, che ha una superficie di circa ettari 2570. Ha sponde in parte elevate come il precedente, ed in parte sommerse, a cui seguono bassi fondi e paludi. La sua massima profondità d'acqua è di 3 metri circa.

Un'ampia foce naturale che aveva una volta, ora è chiusa artificialmente dal proprietario, che è un privato. Comunica invece col mare per un canale lungo circa un chilometro e largo forse 8 o 10 metri, aperto dalla mano dell'uomo sul margine più settentrionale dello stagno, con foce munita di paratoie, le quali si aprono o si chiudono a volontà

dell'affittatore della pesca.

Si afferma che siffatta foce sia stata costruita da più di 30 anni. Ma qualunque sia la sua antichità, se essa può accrescere il prodotto della pesca, nuoce certamente alla salubrità dell'aria e alla produzione dei terreni circostanti. Da una parte impedisce che la sua massa di acqua salmastra si rinnovi e si rinfreschi con le oscillazioni di alta e bassa marea, e d'altra parte il suo pelo d'acqua mantenuto artificialmente più alto impaluda una parte delle sue gronde che sarebbero asciutte, ove la foce fosse libera, e non esistesse quello stretto canale di comunicazione. Al suo estremo sud più lontano dalla foce per tre rami diversi riceve le acque del Flumini Mannu, torrente disordinato che nelle piene inonda larghe zone di terreni coltivati, massime presso il Comune di Terralba.

Anche tale inondazione sarebbe almeno meno estesa, e forse qualche piccolo stagno e palude potrebbe prosciugarsi, se lo stagno avesse il suo livello naturale. A poco più di due chilometri dal confine settentrionale del precedente s'incontra lo Stagno di Santa Giusta di circa 790 ettari di superficie. Il quale essendo più degli altri discosto dal lido comunica col mare per mezzo dell'ampio canale di Pesaria lungo circa 3 chilometri, che mette foce a mare insieme al fiume Tirso. Lo stagno ha sponde quasi generalmente alte e presenta delle profondità di 2 e 3 metri d'acqua.

Al suo estremo più lontano dal lido riceve per un canale artificiale le acque esuberanti dello Stagno di Palmas attraversato dalla ferrovia e di altre zone palustri sparse nella campagna superiore.

Procedendo sempre verso il nord ad otto chilometri dal precedente, oltrepassato il fiume Tirso, s'incontra il quarto degli stagni principali del Campidano, cioè lo Stagno di Cabras. Esso occupa una superficie di circa 2.000 ettari; ha sponde quasi da per tutto abbastanza elevate ed in sommergibili, ed altezze d'acqua che giungono fino a 4 o 5 metri. Mercé un canale, che per la sua ampiezza e profondità si può considerare come una diramazione dello stagno medesimo, comunica con l'altro piccolo stagno più prossimo al lido, detto di Sa Mardi. Quest'ultimo di ettari 136 mette foce a mare mediante un ampio canale profondo da m. 1 a 2,50, e che solo sulla sbarra marina si riduce a m. 0,50 circa. Il Sa Mardi, e per esso il Cabras, nelle escrescenze comunicano con l'altro piccolo Stagno di Mistris di ettari 375, provvisto pur esso di larga foce a mare.

Il Cabras riceve dall'estremo superiore le acque del Rio Grande, e dall'estremo inferiore, e per mezzo dello Stagno Sa Mardi, le correnti di acqua marina prodotte dall'alta marea. Per

la sua giacitura riesce il recipiente naturale più ampio delle acque d'inondazione nelle piene del fiume Tirso. Con lo Stagno di Cabras termina il Comune di Riola; di là del quale, tra il Cabras ed il mare fino al Capo Cannula campagna è egualmente disseminata di stagni e paludi. Ma essendo fuori dei limiti assegnati dal Decreto alla bonifica in 1^a categoria del Campidano, noi non ce ne occuperemo più che tanto.

Condizioni igieniche

Essendo da per tutto malarico il clima del Campidano esso non lo è però da per tutto nello stesso grado. Quando si percorrono i centri abitati sparsi in quella campagna apparisce la differenza di clima tra un paese e l'altro dall'aspetto istesso degli abitanti.

Nell'abitato di Cabras, per esempio, che è proprio sui bordi dello stagno omonimo, si vede una popolazione robusta e di colore sano, mentre in altri luoghi, come a Terralba, la traccia della malaria si scorge nei visi cachetichi che s'incontrano generalmente.

Osservando la posizione di quegli abitati, si argomenterebbe che la differenza di clima da uno all'altro dipenda dalla maggiore o minore attività nelle correnti dei grandi stagni a cui sono più prossimi, e dalla maggiore o minore distanza dai piccoli stagni e paludi senza scolo, che con nome sardo si chiamano paùli.

Mezzi di bonificazione

Nessun luogo presenta in Sardegna, come il Campidano di Oristano, un problema più vasto e più difficile di bonifica, e mezzi naturali più scarsi da adoperare per risolvere esso problema.

Prescindendo dai grandi stagni, di cui diremo appresso, il gran numero di paludi o piccoli stagni sparsi sopra una superficie di oltre 40 mila ettari, è quello che rende il problema più complicato. Da una parte bassa giacitura, almeno della maggior parte di essi, da non permetterne il facile scolo, e dall'altra assenza, pressoché totale di correnti torbide da potersi adoperare in colmata. Lo stesso fiume Tirso, che ha piene frequenti ed altissime, non pare che porti materie da potersi utilizzare con profitto, giacché esso non ha alla sua foce un delta abbastanza marcato, il quale non mancherebbe se avesse acque abbastanza torbide. Intanto mentre le dette condizione naturali non affidano sulla riuscita della canalizzazione e delle colmate, la molteplicità di paludi e l'ampiezza della campagna in cui sono sparsi non rendono neanche agevole il loro prosciugamento meccanico.

Quanto ai maggiori stagni, la quistione più che tecnica potrà essere economica. Giacché non potendosi per essi pensare a prosciugamenti o colmate, solo dopo lo studio delle loro foci e del regime delle correnti tra essi e il mare si giudicherà se e fra quali limiti convenga facilitarne le comunicazioni. Crediamo che per lo stagno di Marceddì e forse anche per il Cabras ed il Santa Giusta non sia il caso di migliorare i canali e le foci attuali, o se pure, sarà in misura non larga.

Dove però bisognano opere più cospicue e costose sarà allo Stagno di Sassu per ridurre le sue acque al livello più basso che può permettere un'ampia e perenne comunicazione col mare. Con ciò una parte delle sue gronde sommerse saranno prosciugate, e forse a parecchi piccoli stagni e paludi in quelle vicinanze sarà reso possibile lo scolo ed il prosciugamento. Per gli altri poi, che le livellazioni mostrassero possibile solamente uno scolo parziale, sarà da vedere se convenga colmarne il resto con materie a trasporto, ovvero vivificare le acque degli stagni medesimi, allo stesso modo che andiamo a dire per quelli che per bassa giacitura non possono avere scolo di sorta.

Vivificare le acque ora stagnanti: ecco il più opportuno mezzo di bonificazione che crediamo doversi adottare nel Campidano, nella impossibilità di adoperarne altri più diretti. Il modo vorrà essere, o conducendo in ciascun stagno un rivolo di acque perenni, dove si abbia l'opportunità di prossimi corsi d'acqua a corrente continua, come il Tirso e forse anche il Rivo di Arridano ed il Rivo Grande presso Riola, ovvero, dove non si abbia tale opportunità, riunendo con canali profondi e piccoli ai grandi stagni, affinché in quelli si propaghino le correnti di questi. Nel primo caso si vorrà vedere se convenga elevare con dighe artificiali il livello delle acque dolci per renderle più profonde e con ciò più salubri, e dove occorre, colmare artificialmente le gronde. Nel secondo caso sarà più utile che i piccoli stagni comunichino anche tra loro come coi grandi, perché vi si stabilisca una circolazione continua. La quale sarà più attiva e però più benefica, se ai piccoli stagni potrà giungere una corrente di acque superiori.

In riassunto crediamo che bisogna prosciugare per canalizzazione quelle depressioni inondate, delle quali l'altimetria concede il facile scolo nei grandi stagni migliorati e ribassati di livello, e rendere vive le acque in quelle altre depressioni che non possono essere scolo. Siffatta sistemazione però sarebbe ben presto distrutta, se ai torrenti si lasciasse la libertà d'inondare quelle campagne come avviene attualmente ad ogni gran piena. L'opera di bonifica adunque non sarà compiuta se non con la sistemazione di quei

torrenti: sistemazione che anche da sola sarebbe un gran beneficio per il Campidano.

Ritenendosi le dette norme generali per quella bonifica, sarà poi da giudicare dei modi e dei limiti della loro applicazione, dopo uno studio accurato della campagna, che dovrà essere tutta quotata e scandagliata dove sono specchi di acqua, delle foci e del loro regime, e dei corsi d'acqua, dei quali oltre i profili longitudinali e trasversali si dovrà studiare il regime e le portate nei loro vari stati di magra e di piena, nonché la quantità specifica delle materie che portano nelle piene.

L'opera di quella bonifica riuscirà al certo costosissima e l'esecuzione di non breve durata. Per la qual cosa sarà opportuno distendere in un piano di massima il progetto generale, e poscia, divisa la campagna in varie zone, compilare man mano per ognuna i progetti di esecuzione, facendo precedere quelli che contemplano i lavori delle zone attraversate da ferrovie, e nelle quali gli abitati risentono maggiormente il malefico influsso delle prossime paludi.

4.6 Bibliografia

AEA - Agenzia Europea per l'Ambiente, 2013. Land take. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/land-take-2/>

Alivia G., 1938. La colonizzazione interna e la Sardegna. Casa Editrice Poligrafica, Firenze.

Angioni A.M., 2002. L'Arboreino: dalle paludi alla bonifica del terralbese da Mussolinia ad Arborea – 2000. PTM Editrice, Mogoro.

Archivio di Stato di Cagliari, 2012. CARSTOS, Cartografia Storica della Sardegna.

Aru A., Baldaccini P., Ulzega A., 1975. Rapporti tra geomorfologia e pedologia nello studio di base di un piano per l'irrigazione del Campidano in Oristano (Sardegna). In Memorie della Società geologica italiana, 1975, n. 4, Società geologica italiana, Roma, 125-138.

Aru A., Baldaccini P., 1961. Contributo alla pedologia dell'Oristanese. I suoli sulle alluvioni del Tirso e sui detriti di falda di M. Arci. Centro Regionale Agrario Sperimentale, Cagliari.

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.

Asole A., 1984. Il faticoso modificarsi del paesaggio rurale. In "Sardegna: l'uomo e la pianura" (a cura di) Asole A. Ed. Amilcare Pizzi, Milano, 191-206.

Asole A., 1989. La provincia di Oristano. Il territorio, la natura, l'uomo. Silvana Editoriale, Milano.

Basso F., 1995. Difesa del suolo e tutela dell'ambiente. Pitagora Editrice, Bologna.

Bitti S., Porcu R., Sanna R., Pani F., 1998. Il sistema Tirso-Arborea: l'impianto, la diga, la bonifica. In "Le città di fondazione in Sardegna" (a cura di) Lino A., INU sez. Sardegna, Cagliari, C.U.E.C., 52-67.

CAPITOLO 4. Analisi dell'evoluzione dell'assetto territoriale

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.

Consiglio Regionale della Sardegna, 1981. La lagune in Sardegna: una risorsa. Indagine della VI Commissione permanente sullo stato e sulle prospettive produttive delle acque salmastre.

De Falco G., Piergallini G., 2003. Mare, golfo, lagune: studi e ricerche. Editrice S'alvure, Oristano.

De Silva M., Tarchi G., Ciampi C., Ercolini M., Loi E., Lucchesi F., Nardini F. E Scatarzi I., 2012. Valorizzazione delle fonti cartografiche storiche sull'uso del suolo per il governo del territorio in Toscana. In "Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA", Fiera di Vicenza 6-9 novembre 2012, 603-610.

Della Marmora A., 1860. Itineraire de l'ile de la Sardaigne. Torino.

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

Di Gregorio F., 1984. Irrompe la società consumistica e stravolge gli equilibri naturali. In "Sardegna: l'uomo e la pianura" (a cura di) Asole A. Ed. Amilcare Pizzi, Milano, 275-286.

Di Gregorio F., Federici P.R., Fierro G.E, Ginesu S., 2004. Atlante delle spiagge della Sardegna. Regione Autonoma della Sardegna, M.U.R.S.T., C.N.R.

Dolcetta G., 1932. Bonifica e colonizzazione di Terralba in Sardegna. Tip.Fed.It. Cons.Agr., Roma.

Ercolini M., 2010. Cultura dell'acqua e progettazione paesistica. Gangemi Ed., Roma.

Fadda P., 2001. Da principessa a cenerentola – Per un'interpretazione storico-economica delle vicende dell'agricoltura sarda nel XX secolo. Sardegna Economica Quaderni 26.

ISPRA, 2014. Il consumo di suolo in Italia. Edizione 2014. ISBN: 978-88-448-0646-0.

CAPITOLO 4. Analisi dell'evoluzione dell'assetto territoriale

Le Lannou M., 1979. Pastori e contadini di Sardegna. Edizioni Della Torre, Cagliari.

Loddo Canepa F., 1926. Dizionario Archivistico per la Sardegna, Tip. G. Ledda, Cagliari.

Madrau S., Deroma M.A., Tanda G., 2006. Il Consumo di suolo per urbanizzazione nella costa nord orientale della Sardegna negli anni 1958 -1998. The Coffee house, art et adv.

Mameli P., Piras L., 2010. La città ideale: la metamorfosi delle paludi attraverso le carte dell'archivio della Società Bonifiche Sarde di Arborea. Villa Dolcetta, Arborea 25 settembre - 10 ottobre 2010.

Manca M., 1995. L'economia, il passato. In. "Cabras, sulle sponde di Mar'e Pontis" (a cura di) Camboni G., Silvana Editoriale, Sassari, 125-137.

Massoli-Novelli R., Mocci Demartis A., 1989. Le zone umide della Sardegna: stagni, lagune, laghi, paludi. Olimpia, Firenze.

Morani V., 1957. La bonifica di Arborea di Sardegna e i suoi problemi agronomici. Gallizzi, Sassari.

Mori A., 1972. Memoria illustrativa della carta della utilizzazione del suolo della Sardegna. Consiglio nazionale delle ricerche, Roma.

Panizza M, Piacente S, 2003. Geomorfologia culturale. Pitagora, Bologna.

Piscedda G., 1985. Arborea. Editrice S'Alvure, Oristano.

Pisu G., 1995. Società Bonifiche Sarde 1918-1939. Ciriec Angeli.

Russo P., Carullo L., Tomaselli G., 2009. Analisi del paesaggio rurale delle aree "Natura 2000" di Gela per la comprensione delle dinamiche storiche di trasformazione. In "IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria", Ischia Porto, 12-16 settembre 2009, memoria n. 6-22.

SARTEC, 2012. Analisi paesaggistica del Golfo di Oristano (Sub-Quadro urbanistico-architettonico) realizzato dalla Saras Ricerche e Tecnologie SpA - Progetto "Eleonora".

Seghetti G., 1929. La mano d'opera agricola e la colonizzazione in Sardegna. Tipografia

CAPITOLO 4. Analisi dell'evoluzione dell'assetto territoriale

del Senato, Roma.

Sereni E., 1961. Storia del paesaggio agrario italiano. Laterza, Bari.

Soru M.C., 1994. Economia e catasto nella piana di terralbese di fine Ottocento. In "Studi e Ricerche", Dipartimento di studi storici, geografici ed artistici della Facoltà di Magistero, vol.2, Cagliari.

Soru M.C., 2000. Terralba. Una bonifica senza redenzione. Origini, percorsi, esiti. Carocci, Roma.

Speranza M., Vianello G., Mariani M.C., Gherardi M., Villani G.E Ferroni L., 2009. Trasformazioni dell'uso del suolo, naturalità del territorio e pianificazione ecologica. Italian Journal of Agronomy vol.4, n.3, suppl., 65-70.

Tognotti E., 1988. Il caso della bonifica di Terralba (1911-1940). In "Storia urbana" 40, 120-121.

CAPITOLO 5.
CARATTERIZZAZIONE FISICO-CHIMICA, BIOCHIMICA E
PEDOGEOCHIMICA DEI SUOLI

5. Caratterizzazione fisico-chimica, biochimica e pedogeochimica dei suoli

5.1 Materiali e metodi

5.1.1 Scelta dei punti di campionamento e analisi di laboratorio

Per la caratterizzazione fisico-chimica, biochimica e pedogeochimica dei suoli si è scelto di condurre un campionamento di tipo sistematico, 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 maglie regolari (realizzata con la tool “Create Fishnet” del software ArcGIS 9.3) costituita da maglie di 1,6 km x 1,6 km. Essa ha permesso di ottenere una distribuzione omogenea di 144 punti equidistanti gli uni dagli altri e disposti al centro di ciascuna cella (figura 5.1).

Sono state poi acquisite le caratteristiche e la variabilità del suolo di ciascun sito ed è stata verificata l’accessibilità e l’ubicazione di ogni punto confrontando le cartografie esistenti (Carta dei suoli della Sardegna, scala 1:250.000, Aru et al, 1991; Carta dei suoli delle aree irrigabili della Sardegna, scala 1:100.000, Arangino et al, 1986; Carte pedologiche realizzate nell’ambito di alcuni Piani Urbanistici Comunali, scala 1:10.000; Carta dell’uso del suolo, scala 1:25.000, Regione Autonoma della Sardegna, 2008) con le foto aeree.

I punti non accessibili (per esempio quelli ricadenti all’interno degli stagni o in aree militari¹) sono stati eliminati, per cui dai 144 punti iniziali si sono ottenuti così 114 punti di campionamento, sufficienti per caratterizzare l’area con un elevato grado di dettaglio e rappresentativi delle caratteristiche geologiche e pedologiche del territorio investigato (figura 5.4a).

Ciascun punto di campionamento, inoltre, è stato identificato in modo univoco con un codice alfanumerico (per esempio il punto con codice 2F ricade nella riga 2 e nella colonna F).

¹ Capo Frasca, che chiude a sud il Golfo di Oristano, è interamente compreso all’interno di un poligono militare.

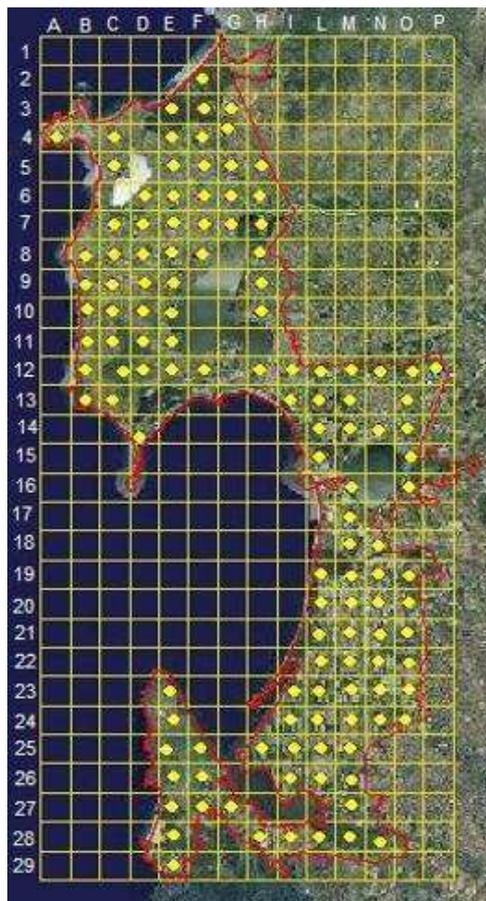


Figura 5.1. Griglia di campionamento a maglie regolari.

I campioni di suolo sono stati prelevati nell'orizzonte di superficie (*topsoil*), generalmente A o Ap, tra settembre e ottobre 2012. A febbraio 2013 sono stati acquisiti ulteriori campioni con lo scopo di dettagliare meglio alcuni aspetti del campionamento. Dai punti di campionamento è stata rimossa la materia organica superficiale (eventuale vegetazione e/o lo strato di lettiera). Dopo di che è stato estratto circa un chilogrammo di terreno, avendo cura di rimuovere, per quanto possibile, i frammenti rocciosi più grossolani e le radici più evidenti ed è stato poi posto in sacchetti di plastica su cui è stata applicata un'etichetta con il codice del campione.



Figura 5.2. Fase di campionamento.



a)



b)



c)



d)

Figura 5.3. Alcune aree di campionamento: a) campo di carciofi (Cabras); b) oliveto (S.Vero Milis); c) seminativi (Terralba); d) macchia mediterranea (Arbus).

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. L'indagine fisico-chimica e pedogeochimica complessiva (par. 5.2) ha permesso di determinare, secondo i "Metodi ufficiali di analisi chimica e fisica del suolo" del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (Decreto Ministeriale del 13/09/1999) (M.I.P.A.F., 2000), 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). In particolare, l'indagine pedogeochimica² incentrata sui metalli ha consentito di valutare l'origine naturale o antropica degli elementi analizzati (Baize e Sterckeman, 2001; Mol et al., 2009).

Successivamente, tra i 114 campioni totali, sono stati scelti 32 campioni rappresentativi di diversi usi del suolo dell'area di studio (figura 5.4b): terreni agricoli (campi di mais, carciofi, erba medica e risaie), macchia mediterranea, gariga, eucalitteti, pinete, incolti. Sui 32 campioni scelti sono state effettuate alcune analisi di parametri non convenzionali per la valutazione delle **proprietà biochimiche** del suolo.

È stato così possibile valutare gli effetti del *land use* sulla qualità del suolo (par. 5.3). È risaputo che la qualità del suolo è strettamente legata all'utilizzazione e gestione antropica: quando essa avviene in modo intensivo o non consono alle caratteristiche del suolo, possono insorgere fenomeni di degradazione fisica, chimica e biologica del suolo stesso.

Presso il CNR di Pisa – Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (ISE) sono state determinate le attività enzimatiche relative a quattro enzimi del suolo: la *deidrogenasi*, indicativa dell'attività metabolica complessiva del suolo e gli enzimi idrolitici legati al ciclo del carbonio, azoto e fosforo quali *beta-glucosidasi*, *fosfatasi* e *proteasi*.

Gli enzimi, partecipando ai numerosi processi biochimici che avvengono nel suolo, sono sensibili ai cambiamenti ambientali causati da fattori naturali e antropici e possono dunque essere usati per descrivere i cambiamenti delle proprietà del suolo dovuti ai diversi usi, alla

² Per contenuto pedogeochimico di un suolo si intende la concentrazione degli elementi "risultante dai naturali processi geologici e pedologici escludendo qualsiasi apporto di origine umana" (ISO19258, 2005 - 'Soil quality - Guidance on the determination of background values' ISO/TC 190/SC 7- 19258).

gestione degli ecosistemi agricoli e forestali (Bending et al., 2004; Gil-Sotres et al., 2005; Acosta-Martinez et al., 2007; Trasar-Cepeda et al., 2008; Pignataro et al., 2012).

Secondo García-Ruiz et al. (2008) le attività enzimatiche possono essere considerate come indicatori biochimici della qualità del suolo, soprattutto in base al contenuto di materia organica e dei relativi parametri biologici e biochimici. Sono dunque importanti indicatori della funzionalità ecologica e della fertilità biochimica dei suoli caratterizzati da differenti tipi di stress antropico, in quanto capaci di rappresentare il ciclo dei nutrienti principali (C, N e P) e sono anche dei validi mezzi per stimare l'attività microbiologica globale del terreno e la risposta del suolo a diverse pratiche di gestione (Nannipieri et al., 1990).

In particolare l'agricoltura, soprattutto quando prevede l'aratura profonda e l'utilizzo massiccio di fitofarmaci e fertilizzanti, può causare il degrado del suolo, sia chimico, attraverso l'apporto continuo di contaminanti organici e inorganici, sia fisico, con deterioramento della struttura e delle proprietà meccaniche del terreno, sia biologico, con squilibri nei cicli biogeochimici dei nutrienti; il risultato finale è una perdita complessiva di funzionalità del suolo. Nella maggior parte dei terreni, le attività delle popolazioni microbiche sono fondamentali per il mantenimento della qualità del terreno mediando i processi del turnover della materia organica e il ciclo dei nutrienti (Doran e Parkin, 1994).

Presso l'Universitat de Girona – Departament d'Enginyeria Química, Agraria i Tecnologia Agroalimentaria (Unitat de Ciència del Sòl) è stato determinato il contenuto di *glomalina* nei 32 campioni di suolo. La glomalina è una glicoproteina prodotta da funghi micorrizici arbuscolari (AMF), simbiotici mutualistici con le radici della maggior parte delle piante terrestri (Wright et al., 2006).

Diversi studi descrivono la glomalina come il primario componente del suolo nella formazione e mantenimento della sua struttura (Wright e Anderson, 2000; Emran et al., 2012). Essa agisce come agente stabilizzante legando insieme le particelle di terreno e promuovendo la formazione di complessi organo-minerali; fornisce così la struttura necessaria per trattenere l'acqua, un'aerazione adeguata e la stabilità per resistere all'erosione, oltre che contribuire alla conservazione del carbonio organico nel suolo (Rillig, 2004).

Poiché l'attività biologica e la struttura del suolo sono due importanti proprietà del suolo reciprocamente interagenti (Bertiller et al., 2009), in quanto la loro dinamica può favorire il miglioramento della salute del suolo e la produttività delle piante, in questo studio sia le

attività enzimatiche che la glomalina sono state utilizzate come indicatori della qualità del suolo in risposta al sistema di gestione e all'uso del suolo.

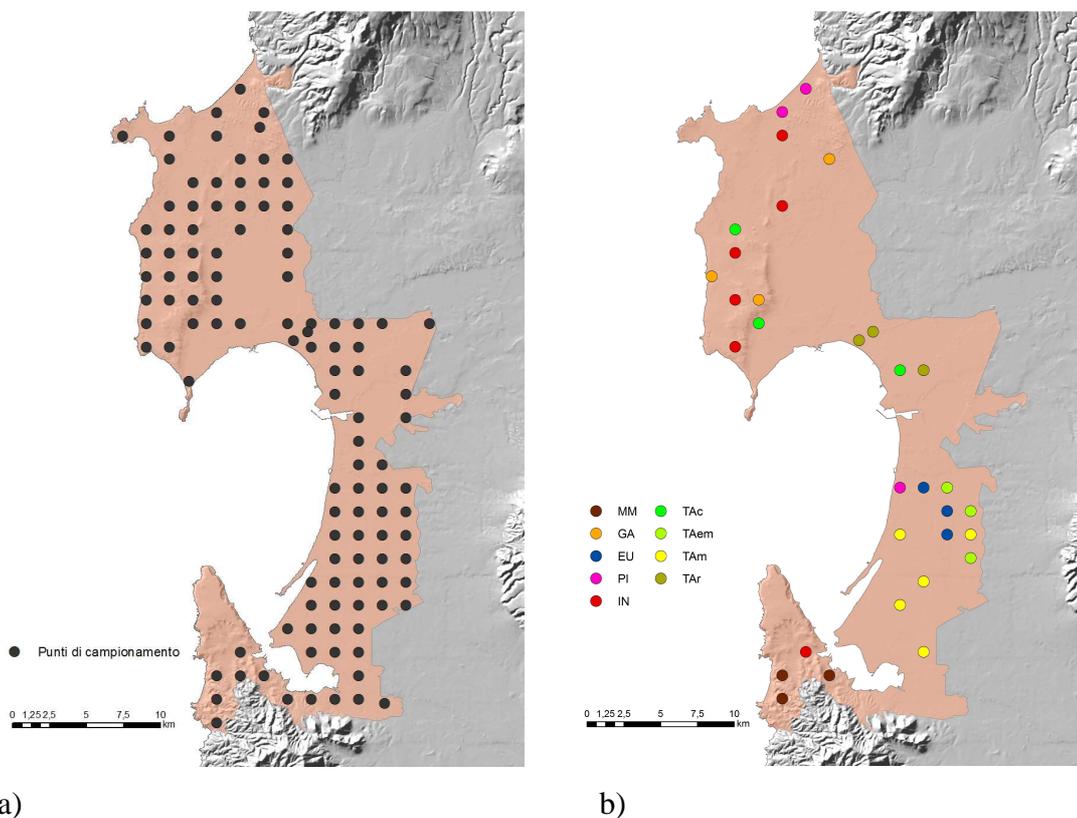


Figura 5.4. Punti di campionamento totali (a) e suddivisi per usi del suolo (b).

MM = macchia mediterranea; GA = gariga; EU = eucalitteti; PI = pineta; IN = incolto;
TAc = terreno agricolo (carciofi); TAem = terreno agricolo (erba medica); TAm = terreno agricolo (mais); TAr = terreno agricolo (risaie).

5.1.1.1 Usi del suolo studiati

Sono stati selezionati 6 usi del suolo appartenenti a terreni naturali (macchia mediterranea MM e gariga GA), terreni agricoli (TA), pinete (PI), eucalitteti (EU) ed incolti (IN).

Tra i terreni agricoli si è scelto di studiare i campi di carciofi (TAc), di erba medica (TAem), di mais (TAm) e le risaie (TAr).

Macchia mediterranea (MM)

La macchia mediterranea è una formazione vegetale arbustiva di sclerofille sempreverdi che si sviluppa nella fascia mediterranea. Ha un'altezza variabile, da un minimo di 50-80 cm ad un massimo di 4 metri e ha una copertura maggiore del 75%.

Nel caso di studio si rinviene la boscaglia a *Juniperus phoenicea* L. subsp. *turbinata* (Guss.) Nyman, in stretto contatto con formazioni a macchia mediterranea bassa a *Genista valsecchiae* Brullo et De Marco, endemismo sardo, e a *Euphorbia dendroides* L. (euforbia arborea) degli arbusteti termo-mediterranei e pre-desertici.

Altre specie vegetali, a portamento arbustivo, sono: fillirea (*Phillyrea angustifolia* L.), lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), olivastro (*Olea europaea* L. var. *oleaster* Hoffgg. et Link.), lavanda (*Lavandula stoechas* L.), cisti (*Cistus* sp.pl.).

Localizzazione

Comune di Arbus.

Geologia

ARENARIE DI SAN VITO. Alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metarenarie medio-fini, metasiltiti con laminazioni piano-parallele, ondulate ed incrociate, e metasiltiti micacee di colore grigio. Intercalazioni di metamicroconglomerati quarzosi. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO INF.

Classificazione pedologica

- Typic Xeropsamments; Aquic Xeropsamments
- Palexeralfs e Haploxeralfs; Rock outcrop; Xerofluvents



Figura 5.5. Particolare del suolo sotto macchia mediterranea (loc. Pistis, Arbus).



Figura 5.6. Macchia mediterranea (loc. Is Arenas S'Acqua e S'Ollastru, Arbus).

Gariga (GA)

La gariga è un tipo di vegetazione mediterranea tipica dei suoli aridi e ricchi di roccia affiorante, derivante da una forte degradazione della macchia.

Nel territorio in esame è presente la gariga costiera costituita in prevalenza da arbusti di piccola taglia (nanofanerofite) che raggiungono al massimo 2 metri al di sopra del suolo e specie pulvinanti (camefite); essendo comunità seminaturali si sviluppano quasi sempre in conseguenza della degradazione di comunità arbustive e forestali. La gariga è infatti una formazione floristica secondaria e rappresenta uno stadio involutivo derivato dalla

degradazione delle macchie in seguito ai seguenti fattori:

- aridità;
- rocciosità del suolo;
- erosione del suolo;
- pascolo con carichi eccessivi;
- incendi;
- disboscamento.

Nell'area di studio, in comune di Riola Sardo, si rinvengono stadi di ricolonizzazione delle dune fossili da parte di specie come *Phillyrea angustifolia* L. e *Cistus* sp.pl. (Cespuglieti a sclerofille delle dune), mentre in comune di Cabras si trovano formazioni arbustive dominate da lentisco (*Pistacia lentiscus* L.) e palma nana (*Chamaerops humilis* L., di notevole interesse fitogeografico), alle quali si collega una macchia bassa a rosmarino (*Rosmarinus officinalis* L.).

Localizzazione

Comuni di Cabras e Riola Sardo.

Geologia

- Depositi eolici. Sabbie di duna ben classate. OLOCENE
- Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE (Arenarie eoliche con Cervidi e Proboscidi; Conglomerati, arenarie e biocalcareni con molluschi; Conglomerati, sabbie e argille più o meno compattate)
- Basalti del Golfo di Oristano (Facies Costa Randada). Andesiti basaltiche, porfiriche per fenocristalli di Pl, Ol e Cpx; in colate. PLIOCENE MEDIO - ?SUP.

Classificazione pedologica

- Typic Xeropsamments; Aquic Xeropsamments.
- Rock outcrop; Lithic e Typic Xerorthents; Lithic e Typic Rhodoxeralfs
- Rock outcrop; Lithic Xerorthents



Figura 5.7. Gariga (loc. Su crastu biancu, Cabras).



Figura 5.8. Gariga (loc. Sa Mulargia, Cabras).

Eucalitteti (EU)

A partire dalla seconda metà degli anni '20 nella Piana di Arborea venne avviata la trasformazione agraria. Si crearono poderi con la suddivisione dei terreni in strisce parallele e vennero realizzate le fasce frangivento sia per proteggere i campi seminativi dai forti venti e dalla salsedine che per delimitare con regolarità i poderi.

A tale scopo si scelse l'*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Si ritenne opportuno stabilire una fitta rete di impianti dotata ogni 400 metri di fasce a filari multipli (da 5 a 12), integrata, in direzione opposta (nord-sud) ed ogni 100 metri, da fasce secondarie a filari semplici o doppi.

L'Eucalyptus è una delle piante legnose a più rapida crescita nel mondo. Si adatta bene alle differenze di clima, del tipo di terreno e del regime dell'acqua (Myburg et al., 2006; Sicardi et al., 2004). In Sardegna era già importato alla fine dell'Ottocento ed utilizzato in particolare dalla società Gennamari-Ingurtosu per armare le gallerie delle miniere (Di Felice, 1997).

Localizzazione

Comune di Arborea.

Geologia

- Depositi palustri. Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi. OLOCENE
- Depositi di spiaggia antichi. Sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero. Spessore: fino a 3-4 m. PLEISTOCENE SUP. - OLOCENE

Classificazione pedologica

- Typic, Aquic ed Ultic Palexeralfs
- Typic Fluvaquents; Vertic Fluvaquents



Figura 5.9. Fascia frangivento - Eucalitteto (loc. S'Ena Arrubia, Arborea).

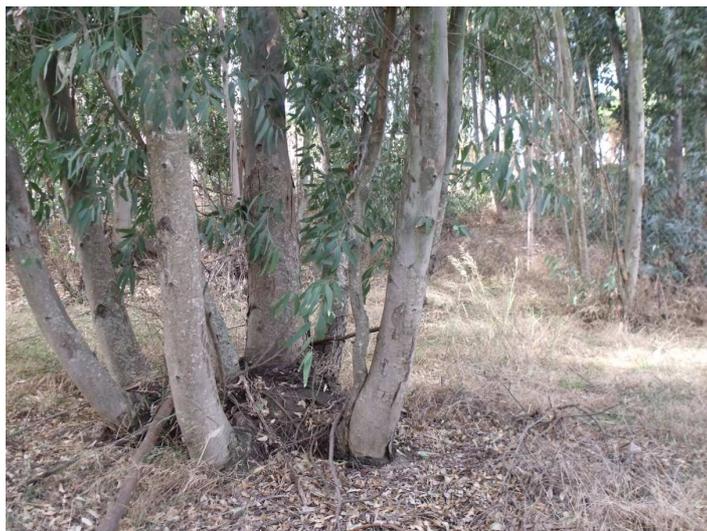


Figura 5.10. Eucalitteto (loc. Centro 1 Sassu, Arborea).

Pinete (PI)

Durante il XX secolo il pino domestico (*Pinus pinea* L.) è stato comunemente usato per il rimboschimento dell'area mediterranea (Court-Picon et al., 2004) grazie alla sua capacità di adattarsi a suoli diversi (anche se questa conifera sempreverde preferisce i terreni sciolti, sabbiosi e relativamente freschi), alla sua plasticità ecologica, alla sua bellezza estetica e al suo valore economico.

Se questa sia una specie autoctona nella penisola italiana è una fatto ancora dibattuto (Martinez e Montero, 2004), ma senza dubbio la maggior parte delle attuali popolazioni sono state impiantate. Per questo motivo il pino domestico può essere considerato una specie alloctona (originaria delle coste spagnole), nonostante la sua presenza in Italia dall'età romana (forse addirittura etrusca) (Giacomini e Fenaroli, 1958) e la sua ampia diffusione nel panorama italiano.

Nel presente studio sono state indagate la pineta di Is Arenas (settore nord-occidentale del Sinis) e la pineta litoranea di S'Ena Arrubia (settore occidentale di Arborea).

La pineta di Is Arenas è un rimboschimento monospecifico a Pino domestico (*Pinus pinea*) di circa 1000 ettari effettuato negli anni cinquanta con un progetto di forestazione mirato alla stabilizzazione della fascia dunale e al conseguente controllo dei movimenti della duna che creavano grossi problemi alle aree agricole retrostanti.

L'area di Is Arenas è infatti una distesa di dune eoliche ad andamento cuneiforme risalenti al Quaternario, che si estende per oltre 25 km² e si spinge dalla costa verso l'interno per

circa 8 km (in direzione sud-est) a causa del forte maestrale. Un tempo era ritenuta l'area desertica più vasta d'Italia, in quanto presentava le caratteristiche vegetali e morfologiche delle aree desertiche.

In parte della pineta è attualmente presente un circuito golfistico a 18 buche di circa 30 ettari. Come si legge nel Piano di Gestione del Sito di Importanza Comunitaria "Is Arenas", la superficie netta effettivamente sottratta al bosco è di 13,67 ettari.

Nell'area indagata, inoltre, è stato individuato l'habitat prioritario "2270* - Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster*".

La pineta litoranea di S'Ena Arrubia risale al periodo della bonifica (1935) quando venne effettuato il rimboschimento del litorale marino a *Pinus pinea* su una superficie di circa 500 ettari, lungo 15 km compresi tra lo stagno di S'Ena Arrubia e quello di S. Giovanni, con lo scopo di proteggere le dune e di creare un cordone protettivo per la salsedine che, sospinta dal vento, tendeva ad invadere l'area dell'interno.

L'intera fascia è costituita da due milioni di alberi di *Pinus pinea* piantati col sistema a maglie incrociate.

Localizzazione

Comuni di Narbolia e Arborea.

Geologia

Depositi eolici. Sabbie di duna ben classate. OLOCENE.

Classificazione pedologica

Typic Xerosamments; Aquic Xerosamments.



Figura 5.11. Pineta (Camping S'Ena arrubia, Arborea).



Figura 5.12. Pineta (Is Arenas, Narbolia).



Figura 5.13. Particolare della lettiera della pineta (Is Arenas, Narbolia).

Terreni agricoli (TA)

I terreni agricoli indagati sono caratterizzati da vaste superfici della piana bonificata di Arborea adibite alla foraggicoltura (erba medica e campi adibiti alla coltivazione di mais), da campi di carciofi presenti sia nel Sinis che nei pressi di Oristano e dalle risaie dell'Oristanese.

Campi di carciofi (TAc)

Il carciofo (*Cynara cardunculus* L. subsp. *scolymus* (L.) Hegi), pianta erbacea poliennale della famiglia delle Asteraceae, rappresenta la principale produzione orticola sarda. La Sardegna (soprattutto il campidano di Cagliari e Oristano) è infatti particolarmente vocata alla coltivazione del carciofo, grazie alle sue favorevoli caratteristiche climatiche. Nel febbraio 2011, a livello europeo, il *Carciofo Spinoso di Sardegna* è stato riconosciuto il marchio denominazione di origine protetta (DOP).

Localizzazione

Comuni di Cabras e Oristano.

Geologia

Depositi alluvionali terrazzati. Sabbie con subordinati limi ed argille. OLOCENE.

Classificazione pedologica

- Rock outcrop; Lithic e Typic Xerorthents; Lithic e Typic Rhodoxeralfs
- Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents



Figura 5.14. Campo di carciofi (Loc. S'Arburi longu, Cabras).

Campi di erba medica (TAem)

L'erba medica (*Medicago sativa* L.) è una coltura poliennale particolarmente importante ai fini zootecnici ed agronomici. Quasi tutte le aziende di Arborea la inseriscono nelle proprie rotazioni andando ad interrompere la monosuccessione stretta tra mais e erbaio autunno-vernino. La superficie investita a mais è di circa 600 ettari (1,5% dell'area indagata).

Localizzazione

Comune di Arborea.

Geologia

Depositi palustri. Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi. OLOCENE

Classificazione pedologica

Typic Fluvaquents; Vertic Fluvaquents



Figura 5.13. Campi di erba medica (pressi strada long.le centrale Sassu, Arborea).

Campi di mais (TAm)

Il mais è la coltura foraggera principale per la produzione di trinciato integrale da destinare alle aziende bovine da latte della zona. Nell'area in esame è praticata la doppia coltura e, per la maggior parte dei casi, al mais succede in coltura ripetut un erbaio autunno-vernino di graminacee (loiessa, triticale, miscugli) destinato anch'esso alla produzione di insilato d'erba e/o alla fienagione.

La superficie mediamente investita a mais nel territorio di Arborea è pari a 4200 ettari e rappresenta circa 10% dell'area indagata.

Localizzazione

Comune di Arborea.

Geologia

- Depositi palustri. Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi. OLOCENE
- Depositi di spiaggia antichi. Sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero. Spessore: fino a 3-4 m. PLEISTOCENE SUP. – OLOCENE

Classificazione pedologica

- Typic, Aquic ed Ultic Palexeralfs
- Typic Fluvaquents; Vertic Fluvaquents



Figura 5.14. Campo di mais (pressi strada 22 Ovest, Arborea).



Figura 5.15. Campo di mais (pressi strada long.le centrale Sassu, Arborea).

Risaie (TAr)

Oltre il 90% delle risaie sarde si trova nell'Oristanese; nell'area indagata occupano circa 2000 ettari (2,6% della superficie oggetto di studio). La coltivazione del riso avviene in campi perfettamente livellati che durante tutta la fase vegetativa del riso restano allagati da uno strato di circa 10 centimetri d'acqua. L'acqua utilizzata proviene dalla diga del Tirso di Busachi ed è fornita dal Consorzio di Bonifica tramite la rete in pressione.

Localizzazione

Comuni di Cabras e Oristano.

Geologia

Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE.

Classificazione pedologica

Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents.



Figura 5.16. Risaie: loc. Is Cortilaris (Cabras) a sinistra e loc. Torregrande (Oristano) a destra.

Incolti (IN)

Gli incolti indagati sono territori non coltivati, generalmente dominati da terofite e/o emicriptofite, completamente abbandonati o a riposo oppure utilizzati per il pascolo. Nessun terreno incolto considerato è stato interessato da incendi negli ultimi anni (2005-2012), secondo i dati forniti dal Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale della Sardegna.

Localizzazione

Comuni di S.Vero Milis, Riola Sardo, Cabras, Arbus.

Geologia

- Depositi eolici. Sabbie di duna ben classate. OLOCENE
- Depositi di spiaggia antichi. Sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero. Spessore: fino a 3-4 m. PLEISTOCENE SUP. - OLOCENE
- Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE

Classificazione pedologica

- Typic Xeropsamments; Aquic Xeropsamments
- Lithic Calcixerolls
- Typic e Lithic Xerorthents; Typic e Lithic Xerochrepts; Typic Rhodoxeralfs
- Rock outcrop; Lithic Xerorthents



Figura 5.18. Incolto (loc. Su Monte Mesu, Cabras).



Figura 5.19. Incolto (loc. S' Antruxiu, Riola Sardo).

5.1.1.2 Analisi chimico-fisiche

Tutti i campioni di suolo prelevati in campo sono stati lasciati essiccare a temperatura ambiente in appositi contenitori, secondo le indicazioni fornite dalle metodiche ufficiali (MI.P.A.F., 2000), salvo diversamente specificato. Una volta asciutti ed accuratamente omogeneizzati, i campioni sono stati preparati per la determinazione analitica dei seguenti parametri:

- Umidità
- Densità apparente
- Scheletro (> 2 mm)
- Frazioni granulometriche e definizione della classe di tessitura
 - sabbia
 - grossa
 - media fine
 - finissima
 - totale
 - limo e argilla
- Conducibilità elettrica
- pH
- Carbonati totali (CaCO_3 ; MgCO_3 ; Na_2CO_3 ; K_2CO_3)
- Carbonio organico e sostanza organica
- Azoto totale
- Fosforo totale
- Capacità di scambio cationico

Nei paragrafi seguenti sono state descritte sinteticamente le metodiche utilizzate per la determinazione dei diversi parametri.

*Umidità*³

La misura dell'umidità del terreno è fortemente dipendente dalle caratteristiche del terreno stesso nonché dal regime pluviometrico e consente di verificare la disponibilità di acqua nello strato interessato degli apparati radicali delle piante. Il grado di umidità del suolo (definito umidità residua) è stato calcolato come differenza tra la massa di un campione umido prelevato in campo e quella rilevata dopo essiccamento in stufa alla temperatura di 105° C fino a massa costante. I risultati sono stati espressi in g/kg.

*Densità Apparente*⁴

La densità esprime la massa del terreno riferita all'unità di volume. Si distingue fra la densità reale, che prende in considerazione solo il volume della frazione solida, e la densità apparente, che prende in considerazione il volume totale del terreno, compresi quindi gli spazi vuoti.

La densità apparente è stata determinata con il metodo del carotaggio. Il campione è stato prelevato dall'orizzonte per mezzo di un carotatore a volume noto munito di coperchi mobili e avente il bordo inferiore affilato. Il cilindro viene affondato nel suolo fino al suo riempimento, si estrae, si elimina il materiale che sporge alle due estremità e si chiude il cilindro con i coperchi. Si pesa e si mette in stufa a 105 °C, si lascia raffreddare e si ripesa. I risultati sono stati espressi in g/cm³.

La densità apparente può cambiare sensibilmente in relazione alla tessitura e alle sue interazioni con la struttura e con le lavorazioni del terreno. I valori della densità apparente possono essere inferiori a 1 g/cm³ per suoli organici o contenenti materiali amorfi, variano tra 1-1,4 per orizzonti ben aggregati e tra 1,5-2,0 per orizzonti compatti dei suoli argillosi e delle sabbie.

Analisi granulometriche

La frazione inorganica di un suolo è costituita da particelle aventi dimensioni differenti. Alle particelle con dimensioni superiori a 2 mm viene dato il nome di "scheletro", mentre la frazione formata da particelle con diametro inferiore a 2 mm è denominata "terra fine".

³ Metodo II.2 (determinazione gravimetrica del contenuto di umidità) di "Metodi di Analisi Chimica del suolo" - Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Franco Angeli, 2000.

⁴ Metodo 1.3.1 (calcolo della massa volumica apparente e reale del terreno) di "Metodi di Analisi Fisica del suolo" - Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Franco Angeli, 1997.

Lo scheletro può essere ulteriormente suddiviso nelle seguenti classi:

- pietre (particelle con diametro superiore a 100 mm);
- sassi o ciottoli (particelle con diametro compreso tra 20 e 100 mm);
- ghiaia (particelle con diametro compreso tra 2 e 20 mm).

La terra fine, invece, è rappresentata da tre diversi tipi di particelle: la sabbia, il limo e l'argilla. In base al diametro delle sue particelle la terra fine è classificata in ciascuna delle seguenti componenti individuate secondo la classificazione U.S.D.A. (United States Department of Agriculture):

- sabbia grossa (diametro delle particelle comprese tra 2 mm e 0,5 mm);
- sabbia fine (diametro delle particelle comprese tra 0,1 mm e 0,05 mm);
- limo (diametro delle particelle comprese tra 0,05 mm e 0,002 mm);
- argilla (diametro delle particelle inferiori a 0,002 mm).

L'analisi granulometrica consiste nella determinazione della distribuzione delle singole particelle minerali presenti nel suolo e costituenti la terra fine (dopo la rimozione dello scheletro) in base al loro diametro.

Scheletro⁵

A questa frazione appartengono le particelle con dimensioni superiori a 2 mm. La determinazione dello scheletro è stata eseguita mediante setacciatura a secco del campione utilizzando un setaccio con maglie da 2 mm per separare la terra fine. Il materiale rimasto sul setaccio costituisce lo scheletro. I risultati sono stati espressi in g/kg.

Terra fine (sabbia, limo e argilla)⁶

Per una corretta determinazione analitica delle diverse frazioni granulometriche che costituiscono la terra fine è necessario garantire un'ottimale dispersione delle particelle stesse, poiché queste possono essere cementate fra di loro per formare degli aggregati strutturali. I cementi che tendono a legare tra loro le particelle sono rappresentati dalla sostanza organica, dagli ossidi di ferro e dai carbonati (M.I.P.A.F., 2000).

⁵ Metodo II.1 (preparazione del campione e determinazione dello scheletro) di "Metodi di Analisi Chimica del suolo" - Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Franco Angeli, 2000.

⁶ Metodo II.4 (dispersione del campione di suolo, rimozione della sostanza organica), Metodo II.5 (determinazione della granulometria) di "Metodi di Analisi Chimica del suolo" - Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Franco Angeli, 2000.

A tal fine sono stati pesati 20 g del campione di terra fine (setacciato a 2 mm) i quali sono stati inizialmente inumiditi con acqua distillata e successivamente trattati con una soluzione diluita di perossido di idrogeno (H_2O_2) e posti in piastra a circa $90^\circ C$ per favorire la rimozione della sostanza organica.

Dopodiché sono stati aggiunti circa 250 ml di acqua distillata e 10 ml di una soluzione di sodio esametafosfato $[Na(PO_3)]_6$ (50 g/L) per favorire la dispersione delle particelle e nel contempo impedirne nuovamente l'aggregazione. Dopo aver agitato e lasciato riposare per una notte la sospensione così ottenuta, il tutto è stato trasferito in un tubo di sedimentazione mediante passaggio attraverso un filtro a maglie da 200 mm sul quale si è raccolta la sabbia grossa. Sono stati eseguiti ripetuti lavaggi con acqua distillata della beuta contenente la sospensione iniziale facendo passare le acque di lavaggio sempre attraverso il filtro e portando a volume il contenuto del tubo a 500 ml. La sabbia raccolta nel filtro è stata in seguito trasferita in una capsula di porcellana, precedentemente pesata su bilancia analitica dopo essere stata messa in stufa a $105^\circ C$ per 24 ore e lasciata raffreddare in essiccatore. La capsula di porcellana contenente la sabbia grossa è stata poi fatta essiccare in stufa a $105^\circ C$, raffreddata in essiccatore e pesata su bilancia analitica.

Nel tubo di sedimentazione sono ancora presenti le frazioni granulometriche di sabbia fine, limo e argilla che sono state successivamente separate prelevando la sospensione di particelle a diverse altezze e a tempi prestabiliti ricavabili dalla "legge di Stokes"⁷. Si è dunque proceduto nel seguente modo: prima di effettuare il prelievo, la soluzione è stata agitata, in seguito sono stati eseguiti due prelievi con l'ausilio di una pipetta da 10 ml, rispettando i tempi di sedimentazione indicati dalla metodica:

- 1° prelievo: dopo 4 minuti e 48 secondi dal termine dell'agitazione, per ricavare la frazione di limo e argilla;
- 2° prelievo: dopo 8 ore dal termine dell'agitazione, per ricavare la frazione di sola argilla.

I 10 ml così prelevati sono stati trasferiti in capsule di porcellana (precedentemente pesate su bilancia analitica), posti ad essiccare in stufa a $105^\circ C$ per una notte e l'indomani, dopo averle lasciate raffreddare in essiccatore, pesate su bilancia analitica. Con opportuni

⁷ La metodologia di analisi si basa sulla differente velocità di sedimentazione delle particelle in un fluido: "un corpo immerso in un fluido in quiete sedimenta con velocità direttamente proporzionale alla differenza di densità tra corpo e fluido, al quadrato del raggio equivalente del corpo stesso, all'accelerazione gravitazionale, ed inversamente proporzionale alla viscosità del fluido".

calcoli matematici, la quantità di sabbia totale (compresa tra 2 e 0,05 mm) presente nel campione di suolo, è stata ricavata direttamente dal peso della capsula in porcellana contenente la stessa. Le frazioni intermedie, sabbia grossa (compresa tra 2 e 1 mm), sabbia media (compresa tra 1 e 0,5 mm), sabbia fine (compresa tra 0,5 e 0,2 mm) e sabbia finissima (< 0,2 mm), sono state determinate facendo passare la sabbia totale su setacci a differenti maglie, rispettivamente 1 mm, 0,5 mm, 0,2 mm. La quantità di sabbia finissima è stata dedotta per differenza a 100 delle restanti frazioni granulometriche. Per quanto riguarda la determinazione della quantità di limo presente nel campione di suolo, è stata ottenuta sottraendo, dall'insieme limo-argilla, la quantità di argilla pesata. Tutti i risultati ottenuti sono stati espressi in g/kg e successivamente in percentuale.

Tessitura

Con il termine tessitura si intende la costituzione del suolo espressa come rapporto tra le particelle di diversa dimensione che lo compongono, convenzionalmente suddivise in classi, in funzione del loro diametro. Dalla percentuale di sabbia, limo ed argilla ottenuta con la determinazione analitica, si risale alla classe granulometrica del suolo utilizzando il cosiddetto “triangolo delle tessiture”.

*pH*⁸

Il pH rappresenta la misura del grado di acidità e di alcalinità nel suolo o, più propriamente, la misura della reazione del suolo (Violante e Adamo 2000). La reazione del suolo si esprime in unità di pH che deve essere inteso in termini di attività chimica degli idrogenioni, e viene infatti definito come il logaritmo negativo della concentrazione di ioni H⁺ nella fase liquida:

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+]$$

Ciò consente di esprimere la reazione del suolo con un numero compreso tra 1 e 14; i valori più bassi indicano una maggiore concentrazione dello ione H⁺ (acidità), viceversa i valori più alti indicano una maggiore concentrazione dello ione OH⁻ (basicità).

Il pH del suolo dipende:

- dalla presenza di idrogenioni nella soluzione circolante;

⁸ Metodo III.1 (determinazione del grado di reazione - pH) di "Metodi di Analisi Chimica del suolo" - Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Franco Angeli, 2000.

CAPITOLO 5. Caratterizzazione fisico-chimica, biochimica e pedogeochimica dei suoli

- dal tipo e dal grado di saturazione dei colloidi argillosi ed organici;
- dalla natura delle basi di scambio.

Il pH del terreno condiziona la solubilità dei vari elementi minerali determinando il loro accumulo in forme più o meno disponibili per le piante o la loro lisciviazione verso gli orizzonti più profondi. La conoscenza del pH fornisce quindi indicazioni relative alla disponibilità di elementi minerali nella soluzione del terreno sia provenienti dalla decomposizione dei minerali di origine che dai fertilizzanti distribuiti (Sequi, 1989).

La classificazione dei suoli in funzione del pH segue schemi che possono differire leggermente per i limiti di demarcazione delle classi e per la denominazione, ma è sostanzialmente omogenea. Alcune classificazioni sono riportate nella tabella seguente.

Denominazione (Soil Survey Division Staff - USDA, 1993)	pH
Estremamente acidi	< 4,5
Molto fortemente acidi	4,5 - 5,0
Moderatamente acidi	5,1 - 6,0
Debolmente acidi	6,1 - 6,5
Neutri	6,6 - 7,3
Debolmente alcalini	7,4 - 7,8
Moderatamente alcalini	7,9 - 8,4
Fortemente alcalini	8,5 - 9,0
Molto fortemente alcalini	> 9,0
Denominazione (Gessa e Testini, 1989)	pH
Peracidi	< 5,3
Acidi	5,4 - 5,9
Subacidi	6,0 - 6,7
Neutri	6,8 - 7,2
Subalcalini	7,3 - 8,1
Alcalini	8,2 - 8,8
Peralcalini	> 8,8

Tabella 5.1. Alcune classificazioni dei suoli in funzione del pH riportate in letteratura.

Generalmente i valori di pH nei suoli variano tra 4,0 e 8,5, tuttavia, in condizioni particolari si possono comunque riscontrare suoli con pH inferiori a 3,0 o superiori a 10,0 (Gessa e Testini, 1989).

Analiticamente il pH è stato determinato per via potenziometrica su un campione di suolo setacciato a 2 mm, immergendo l'elettrodo a vetro di un pH-metro in una sospensione suolo-acqua (in rapporto 1:2,5 cioè 10 g di campione in 25 ml d'acqua distillata), previa calibrazione dell'elettrodo con due soluzioni tampone a pH rispettivamente a pH 4 e 7.

Le soluzioni sono state agitate per circa due ore e lasciate riposare per alcuni minuti, prima di effettuare la lettura utilizzando come strumentazione un ph-metro modello "Crison - micro pH 2001" dotato di elettrodo "Orion 8102SC - Thermo Electron Corporation". I risultati sono stati espressi come unità di pH.

*Conducibilità elettrica*⁹

La conducibilità elettrica (o conducibilità elettrica) è un parametro molto importante in quanto strettamente legato alla salinità del terreno, infatti, tenuto conto che gli ioni in soluzione acquosa (cationi Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ ed anche anioni, PO_4^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^{3-} ed altri) conducono corrente elettrica, la misura della conducibilità elettrica consente di valutare in modo semplice e rapido la quantità totale di sali solubili presenti nel suolo. Essa è rappresentata dal valore reciproco della resistenza elettrica in Ohms relativa ad un centimetro cubo di acqua alla temperatura di 25°C.

L'alta salinità di un suolo provoca un aumento della pressione osmotica della soluzione circolante, causando problemi di fitotossicità ed effetti negativi sulla chimica e sulla fisica del suolo (Violante, 2000). La conducibilità elettrica è fortemente influenzata dal contenuto di acqua, dal pH, dalla capacità di scambio cationico, dal potenziale redox, dalla quantità di sostanze umiche e dall'attività microbica, nonché da fattori esterni quali il clima e fattori antropici come l'irrigazione e le concimazioni.

Secondo la classificazione proposta dall'U.S. Salinity Laboratory Staff i terreni salini ed alcalini possono essere distinti in base ai seguenti valori di conducibilità elettrica:

⁹ Metodo IV.1 (determinazione della conducibilità elettrica) di "Metodi di Analisi Chimica del suolo" - Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Franco Angeli, 2000.

Denominazione	conduttività elettrica (mmhos/cm ovvero mS/cm)	pH
Terreno salino	> 4	< 8,5
Terreno alcalino (o sodico)	< 4	> 8,5
Terreno salso-alcalino (o salino-sodico)	> 4	< 8,5

Tabella 5.2. Classificazioni dei terreni in funzione della conduttività elettrica (U.S. Salinità Laboratory Staff 1954 in Carloni, 1989).

Il metodo utilizzato per la determinazione di tale parametro consiste nella lettura diretta (strumentale) della conduttività elettrica specifica in estratti acquosi di suolo preparati con un rapporto peso campione/volume di acqua distillata pari a 1:2 (15 g di campione in 30 ml d'acqua). Il campione di suolo è stato setacciato a 2 mm e la soluzione così ottenuta è stata agitata per circa due ore, lasciata riposare per 24 ore è stata effettuata la lettura utilizzando come strumentazione un conduttimetro modello "InoLab Cond Level". I risultati sono stati espressi in $\mu\text{S}/\text{cm}$.

*Carbonati totali*¹⁰

La conoscenza del contenuto di carbonati, definito anche per convenzione "calcare totale", ha lo scopo di determinare la quantità di tutti i carbonati presenti nel suolo ovvero carbonato di calcio (CaCO_3), carbonato di magnesio (MgCO_3), carbonato di sodio (Na_2CO_3) e carbonato di potassio (K_2CO_3).

I carbonati di calcio e/o magnesio rappresentano i minerali più importanti in quanto neutralizzano gli eccessi di acidità e forniscono il calcio ed il magnesio necessari per la nutrizione delle piante.

I carbonati, soprattutto quello di calcio, a seguito di reazioni chimiche che subiscono a contatto con l'acqua e con l'anidride carbonica, determinano modifiche di reazione poiché producono ossidrili alcalini (OH^-), pertanto, la loro presenza influenza notevolmente il pH del suolo.

La presenza di carbonati è associata generalmente a suoli neutri o alcalini con un pH compreso tra 7,5 e 8,5 (Boero, 2000). In base alla quantità di calcare i terreni si definiscono:

¹⁰ Metodo V.1 (determinazione del calcare totale) "Metodi di Analisi Chimica del suolo" - Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Franco Angeli, 2000.

Denominazione	Calcarea totale (g/kg)
Non calcarea	< 10
Poco calcarea	10 - 100
Mediamente calcarea	110 - 250
Calcarea	260 - 500
Molto calcarea	> 500

Tabella 5.3. Classificazione dei suoli in base al contenuto di calcarea totale.

In laboratorio il metodo analitico si basa sulla misura della quantità di CO₂ che si libera dalla decomposizione dei carbonati in seguito all'aggiunta di un acido forte al campione di suolo. Per la determinazione è stato utilizzato un calcimetro volumetrico in vetro borosilicato, modello "Dietrich-Fruhling", utilizzando acido cloridrico (HCl 1%). Il calcimetro è stato riempito con una soluzione di acqua satura di cloruro di calcio, inoltre, disponendo di CaCO₃ puro, è stata costruita una curva di calibrazione. L'analisi è stata eseguita utilizzando quantità di suolo variabili, comprese tra 1 e 0,5 g setacciato a 2 mm.

La quantità di campione, esattamente pesata in bilancia analitica, è stata inserita in un contenitore insieme ad una provetta contenente 10 ml della soluzione diluita di HCl. Tale contenitore è collegato al calcimetro mediante apposito tappo di chiusura. L'apparecchiatura è stata azzerata eguagliando la pressione interna a quella esterna, successivamente inclinando il contenitore, l'acido è stato messo a contatto con il campione di suolo.

Tale condizione determina lo sviluppo di CO₂ che fa abbassare il livello dell'acqua nel tubo graduato. Il completo sviluppo della CO₂ richiede indicativamente 1-3 minuti, atteso tale tempo, eguagliata nuovamente la pressione interna a quella esterna, si è atteso qualche minuto fino alla stabilizzazione dei menischi di livello. Infine la CO₂ è stata misurata volumetricamente mediante lettura del livello. I risultati sono stati espressi in g/kg.

*Carbonio organico e sostanza organica*¹¹

La sostanza organica può avere un ruolo importante nella pedogenesi ed influenzare in misura determinante molte proprietà chimiche, fisiche e biologiche del suolo (Sequi e De Nobilis, 2000):

- costituisce la principale riserva di nutrienti come azoto, fosforo e zolfo
- ad opera delle sue capacità chelanti favorisce il mantenimento in forma assimilabile di alcuni metalli come il ferro;
- contribuisce a determinare la capacità di scambio cationico favorendo l'assorbimento di cationi e anioni;
- contribuisce a determinare la capacità tampone nei confronti dei cambiamenti di pH;
- influenza positivamente la stabilità della struttura e il mantenimento di buone condizioni di permeabilità e areazione.

Per una valutazione generica del contenuto di sostanza organica nei suoli italiani coltivati si può fare riferimento ai valori indicativi riportati in tabella 5.4 (Sequi e De Nobilis, 2000).

L'analisi è stata effettuata utilizzando il metodo di ossidazione per via umida "Walkley e Black".

Il carbonio organico viene ossidato ad anidride carbonica, in condizioni standardizzate, con soluzione di potassio bicromato ($K_2Cr_2O_7$ 0,167 moli/L - 10 ml) in presenza di acido solforico concentrato (H_2SO_4 - 20 ml).

Dopo un tempo di attesa di 30 minuti, la reazione viene interrotta per aggiunta di acqua distillata e la quantità di potassio bicromato che non ha reagito viene determinata per titolazione volumetrica con una soluzione di ferro (II) solfato eptaidrato ($FeSO_4 \times 7 H_2O$ 0,5 moli/L) utilizzando acido fosforico (H_3PO_4 - 5 ml) e un indicatore di ossido-riduzione¹² fino al viraggio dal blu al verde.

Il contenuto di carbonio organico è stato espresso in g/kg.

Il contenuto di sostanza organica è stato invece stimato indirettamente moltiplicando la concentrazione del carbonio organico risultante dalle analisi, per un fattore di conversione

¹¹ Metodo VII.3 (determinazione del carbonio organico – Metodo Walkley-Black) di "Metodi di Analisi Chimica del suolo" - Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Franco Angeli, 2000.

¹² L'indicatore è stato preparato sciogliendo in 50 ml di acido solforico concentrato (H_2SO_4) 0,2 g di sodio 4-difenilamminosolfonato ($C_{12}H_{10}NaNO_3S$) e portando successivamente a volume in matraccio tarato da 100 ml sempre con acido solforico.

pari a 1,724 (fattore di Van Bemmelen), il quale si basa sull'assunto che il carbonio rappresenti mediamente il 58% della composizione elementare della sostanza organica del suolo (Sequi e De Nobilis, 2000).

Classi tessiturali secondo USDA			
Dotazione	Sabbioso	Franco	Argilloso
	Sabbioso-franco	Franco-sabbioso-argilloso	Franco-argilloso
	Franco-sabbioso	Franco-limoso	Argilloso-limoso
		Argilloso-sabbioso	Franco-argilloso-limoso
		Limoso	
Carbonio organico (g/kg)			
Scarsa	<7	<8	<10
Normale	7-9	8-12	10-15
Buona	9-12	12-17	12-22
Molto buona	>12	>17	>22

Tabella 5.4. Valori indicativi di correlazione tra tessitura del suolo e dotazione di carbonio organico.

*Azoto totale*¹³

L'azoto nel suolo è presente in varie forme, di queste solo due sono assimilabili dalle piante: quella nitrica (NO₃⁻), libera nella fase liquida e prontamente disponibile, e quella ammoniacale (NH₄⁺), più lentamente disponibile ed adsorbita sul complesso di scambio ed in equilibrio con una piccola parte presente in soluzione.

¹³ Metodo XIV.3 (determinazione dell'azoto totale per distillazione secondo Kjeldahl) di "Metodi di Analisi Chimica del suolo" - Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Franco Angeli, 2000.

Gli apporti di azoto al suolo possono verificarsi per vie naturali (fissazione dell'azoto atmosferico ed altri apporti di origine atmosferica) o per intervento intenzionale dell'uomo attraverso la somministrazione di concimi azotati quali solfato di ammonio, cloruro di ammonio, urea, nitrato di ammonio e così via. Solo una parte dell'azoto distribuito con i fertilizzanti chimici viene direttamente utilizzato dalle piante; una buona parte di esso viene incorporato nelle sostanze organiche del suolo, cioè viene immobilizzato per essere rilasciato in tempi successivi.

Ricerche recenti sono concordi nell'indicare che il 10-40% dell'azoto dato con i fertilizzanti viene organicato nel suolo, il 5-10% viene perso per dilavamento, il 10-30% viene perso in forma gassosa e solo il 30-70% viene assimilato dalla pianta. (Giandon e Bortolami, 2007).

L'analisi dell'azoto totale consente la determinazione delle frazioni di azoto organiche e ammoniacali presenti nel suolo. È impropriamente chiamata "azoto totale" perché in realtà non esprime la quantità delle forme ossidate di azoto (nitrati e nitriti) che rappresentano le forme disponibili nonché quelle fissate dai fillosilicati.

La determinazione dell'azoto totale è stata eseguita secondo il procedimento di ossidazione per via umida "Kjeldahl". Esso prevede la trasformazione dell'azoto organico presente nel campione in azoto ammoniacale mediante attacco con acido solforico concentrato (H_2SO_4) e perossido di idrogeno (H_2O_2).

Il contenuto di azoto determinato con questo metodo oscilla tra i seguenti valori (Benedetti et al., 2000):

- suoli coltivati tra 0,8 e 2 g/kg
- suoli a prato permanente tra 3,5 e 5 g/kg
- suoli sotto foresta di latifoglie tra 3 e 12 g/kg.

Per prima cosa sul campione di suolo sono stati effettuati dei pretrattamenti per la rimozione della sostanza organica. A tal fine sono stati pesati 2,5 g del setacciato a 2 mm i quali sono stati trattati con una soluzione di perossido di idrogeno (H_2O_2) e posti in piastra a circa 90° C per favorire la rimozione della sostanza organica. Il contatto con il perossido di idrogeno produce effervescenza dovuta alla distruzione della sostanza organica, e questa continua a manifestarsi anche nelle successive aggiunte ma in modo sempre meno intenso fino alla totale assenza (indice dell'avvenuta distruzione della sostanza organica). A questo punto, dopo aver lasciato raffreddare il campione sono stati aggiunti 11 ml di acido

solforico concentrato (H_2SO_4). La soluzione così ottenuta è stata fatta raffreddare e successivamente il tutto è stato trasferito in un matraccio tarato da 250 ml mediante ripetuti lavaggi con acqua distillata della beuta contenente la soluzione iniziale. Attesa la sedimentazione del campione nel matraccio, l'azoto ammoniacale è stato distillato in ambiente alcalino (prelevando 200 ml della soluzione contenuta nel matraccio tarato e aggiungendo idrossido di sodio NaOH) e assorbito in soluzione a titolo noto di acido solforico (H_2SO_4 0,01 moli/L quantità 50 ml), il cui eccesso è stato poi titolato con idrossido di sodio (NaOH 0,02 moli/L). Come indicatore acido-base è stato utilizzato il verde di bromocresolo e rosso di metile¹⁴ fino al viraggio dal rosa al verde. I risultati sono stati espressi in g/kg.

*Fosforo totale*¹⁵

Il fosforo nel suolo è presente quasi esclusivamente come ortofosfato [PO_4^{3-}], anione dell'acido ortofosforico (H_3PO_4), in forma inorganica o organica, e come tale viene assorbito e traslocato nelle parti epigee dei vegetali.

Il contenuto totale nel suolo è relativamente basso ed è compreso, normalmente, tra 0,2 g/kg e 5 g/kg (Arduino e Barberis, 2000).

La sua origine può essere sia naturale:

- legato alla presenza nel suolo di composti organici derivanti dalle spoglie vegetali ed animali ed ai prodotti di sintesi microbica;
- derivante dalla lisciviazione ed alla dissoluzione delle rocce (ad esempio le apatiti, minerali contenenti fosfato di calcio),

sia antropica, derivante dall'utilizzo di fertilizzanti a base minerale.

La determinazione del fosforo totale prevede l'ossidazione dei costituenti organici nonché la solubilizzazione dei minerali mediante il trattamento del campione con acido solforico, perossido di idrogeno e acido fluoridrico. Il contenuto di fosforo è stato determinato per spettrofotometria con il metodo dell'acido ascorbico. Per prima cosa sono stati pesati 0,5 g di campione e sono stati trattati con 0,5 ml di con acido solforico concentrato (H_2SO_4). Alla miscela così ottenuta sono stati aggiunti in quantità successive 0,5 ml e 3 ml di

¹⁴ L'indicatore è stato preparato sciogliendo, in matraccio tarato da 100 ml, 99 mg di verde di bromocresolo ($\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{O}_5\text{Br}_4\text{S}$) e 66 mg di rosso di metile ($\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$) e portando successivamente a volume con etanolo ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$).

¹⁵ Metodo XV.1 (determinazione del fosforo totale) di "Metodi di Analisi Chimica del suolo" - Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Franco Angeli, 2000.

perossido di idrogeno (H_2O_2) avendo cura di agitare bene dopo ogni aggiunta per facilitare la reazione di ossidazione. Successivamente sono state aggiunte quantità successive da 0,5 ml a 1 ml di acido fluoridrico (HF). Il tutto è stato mescolato e, per eliminare l'eccesso di H_2O_2 , la miscela è stata riscaldata su piastra a $50^\circ C$ per 10-12 minuti. In seguito al raffreddamento il campione è stato trasferito in matraccio tarato di plastica da 50 ml e portato a volume con acqua distillata. Da tali matracci è stata prelevata un'aliquota della soluzione limpida e trasferita nuovamente in matracci tarati di plastica da 50 ml (diluizione del campione). A tale aliquota sono state aggiunte alcune gocce dell'indicatore p-nitrofenolo (0,25%)¹⁶ e, procedendo goccia a goccia, una quantità variabile di idrossido di sodio (NaOH 5 moli/L) fino a viraggio al giallo dell'indicatore. Infine sono stati aggiunti 8 ml del reagente solfomolibdico¹⁷ e il tutto è stato portato a volume con acqua distillata. Dopo 10 minuti il contenuto di fosforo totale è stato determinato per via spettrofotometrica alla lunghezza d'onda di 720 nm contro bianco analitico, utilizzando uno spettrofotometro UV-Vis modello "Perkin Elmer Lambda Bio 20". Il fosforo è stato dosato per via spettrofotometrica mediante sviluppo del complesso fosfomolibdico ridotti con acido ascorbico danno luogo a dei complessi di colore blu (blu molibdeno fosforato). L'intensità del colore blu è proporzionale alla quantità di fosforo presente. I risultati sono stati espressi in mg/kg, successivamente trasformati in g/kg.

Capacità di Scambio Cationico

La capacità di scambio cationico (CSC) è una proprietà del suolo di notevole importanza. Essa fornisce indicazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche e strutturali delle frazioni colloidali del suolo, in quanto lo scambio ionico avviene sulle superfici degli elementi più fini del suolo, ed è indispensabile per calcolare il grado di saturazione in basi (GSB, ovvero la percentuale del complesso di scambio che è saturata da cationi di metalli alcalini e alcalino-terrosi) (Gessa e Ciavatta, 2000).

La CSC rappresenta la quantità massima di cationi adsorbibili (cationi scambiabili) dai colloidali organici e minerali del suolo ed è considerata un indice della potenziale fertilità

¹⁶ L'indicatore è stato preparato sciogliendo, in matraccio tarato da 100 ml, 0,25 mg di p-nitrofenolo ($NO_2C_6H_4OH$) e portando successivamente a volume con acqua distillata.

¹⁷ Il reagente solfomolibdico è stato preparato miscelando: 50 ml della soluzione di acido solforico H_2SO_4 (2,5 moli/L), 15 ml della soluzione di ammonio molibdato $[(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O]$ (40 g/L), 30 ml della soluzione di acido ascorbico $C_6H_8O_6$ (0,1 moli/L) e 5 ml della soluzione di antimonio potassio tartrato $[K(SbO) \cdot C_4H_4O_6 \cdot 1/2H_2O]$ (1 mg di Sb/ml).

chimica del terreno. Lo scambio ionico rappresenta infatti uno dei meccanismi principali con i quali il suolo trattiene e mette a disposizione delle piante e dei microrganismi, elementi quali il calcio, il magnesio, il potassio, l'azoto ammoniacale.

Essa è correlata al contenuto di argilla e di sostanza organica. La CSC è funzione anche del tipo di fillosilicato (maggiore nel gruppo delle vermiculiti, minore nel gruppo delle caoliniti).

A titolo indicativo la tabella 5.5 riporta una classificazione della CSC (Gessa e Ciavatta, 2000).

Denominazione	CSC (meq/100g)
Bassa	< 10
Media	10-20
Alta	> 20

Tabella 5.5. Valutazione della CSC dei suoli.

La metodologia per la determinazione della CSC prevede che il campione di suolo venga monosaturato con bario per ripetuti trattamenti con soluzione di bario cloruro ($\text{BaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$) ad un valore di pH pari a 8,2¹⁸. Al campione così saturato viene aggiunta più volte una quantità definita di una soluzione a titolo noto di magnesio solfato (MgSO_4). La reazione porta alla formazione di bario solfato (BaSO_4) insolubile e, quindi, allo scambio completo Ba/Mg. L'eccesso di magnesio in soluzione viene determinato per via complessometrica. Calcolata la quantità di magnesio adsorbito, che corrisponde alla quantità di bario scambiato, si accerta il valore della CSC.

Per tale determinazione è stato rilevato per prima cosa il peso di una provetta Falcon da centrifuga da 50 ml; su tale provetta sono stati pesati 2 g di campione setacciato a 2 mm e subito dopo è stata nuovamente rilevata la massa della provetta da centrifuga più il campione. Sono stati aggiunti 25 ml della soluzione di bario cloruro ($\text{BaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$) a pH 8,2 e il campione così trattato è stato tenuto sotto agitazione per 1 ora. Trascorso tale tempo

¹⁸ La soluzione di bario cloruro è stata preparata pesando in un becker da 500 ml contenente circa 400 ml acqua distillata, 50 g di bario cloruro ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ai quali sono stati aggiunti 11,25 ml di trietanolammina [$\text{N}(\text{CH}_2\text{OHCH}_2)_3$]. La soluzione così ottenuta è stata agitata fino a completa solubilizzazione del sale. Successivamente il pH della soluzione è stato portato al valore di 8,2 per aggiunta della soluzione di acido cloridrico (HCl 1 mole/litro). Il tutto è stato in seguito trasferito in un matraccio tarato da 500 ml e portato a volume con acqua distillata.

il campione è stato centrifugato a 3000 giri/minuto per 5 minuti, in seguito il surnatante limpido è stato versato in un matraccio tarato da 100 ml.

Il medesimo trattamento è stato ripetuto altre due volte infine la soluzione nel matraccio è stata portata a volume sempre con la soluzione di bario cloruro. La soluzione contenuta nei matracci è stata utilizzata in seguito per la determinazione delle basi di scambio (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+).

Il campione contenuto nella provetta Falcon è stato lavato con 30 ml di acqua distillata, poi centrifugato. Una volta scartato il surnatante, è stata nuovamente rilevata la massa della provetta da centrifuga più il campione umido. A tale campione sono stati aggiunti 25 ml di una soluzione di magnesio solfato (MgSO_4 5 cmol/L) ed è stato tenuto in agitazione per 5 minuti e successivamente centrifugato. Sono stati infine prelevati 10 ml dalla soluzione limpida e trasferiti in una beuta da 250 ml ai quali sono stati aggiunti 100 ml di acqua distillata, 10 ml della soluzione di MgSO_4 5 cmol/L, 10 ml di una soluzione tampone a pH 10 e una punta di spatola di indicatore¹⁹. La soluzione è stata titolata con una soluzione di sale bisodico dell'acetato etilendiamminotetracetico - EDTA (2,5 cmol/L) fino al viraggio da rosa ad azzurro. Calcolata la quantità di magnesio adsorbito, che corrisponde a quella del bario scambiato, si accerta per differenza il valore della CSC. I risultati sono stati espressi in meq/100 g.

5.1.1.3 Analisi dei metalli pesanti - Potentially Toxic Elements (PTEs)

Con il termine “metalli pesanti” si indicano tutti quegli elementi che presentano alcune caratteristiche simili (Leita e Petruzzelli, 2000): hanno una densità superiore a 5 g/cm^3 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 conoscenze bio-ecologiche, elementi come piombo, cadmio, mercurio, cromo, nichel, ferro, manganese, rame, zinco, cobalto; anche non-metalli o semimetalli quali alluminio, molibdeno, selenio, boro, vanadio e arsenico sono considerati metalli pesanti per origine e meccanismo di azione (Adriano, 1992; Alloway, 1995).

¹⁹ L'indicatore è stato preparato omogeneizzando in mortaio in porcellana 20 g di sodio cloruro e 0,2 g di nero eriocromo T ($\text{CH}_{20}\text{H}_{12} \text{N}_3\text{NaO}_7\text{S}$).

I metalli pesanti vengono spesso definiti, in riferimento al loro potenziale tossico, come **Potentially Toxic Elements** (PTEs) (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 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 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, Gianfreda e Rao, 2004), presenta un'elevata vulnerabilità in termini di rilasci 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 (fertilizzanti, pesticidi, fanghi di depurazione, irrigazione con acque reflue etc.).

Non solo le attività industriali, ma anche le attività agricole, dunque, contribuiscono ad accrescere i livelli di elementi in tracce nei suoli (Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007). I fertilizzanti e i pesticidi contengono infatti metalli pesanti sotto forma di impurità.

Determinazione del contenuto dei metalli

Nella presente ricerca è stata determinata la concentrazione dei principali metalli pesanti (zinco, piombo, nichel, rame, cadmio, arsenico) che si rinvencono 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).

La concentrazione dei metalli pesanti è stata misurata previo attacco in acqua regia a caldo secondo le procedure indicate nei metodi ufficiali di analisi dei suoli (Metodo XI.1 di "Metodi di Analisi Chimica del suolo" - Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Franco Angeli, 2000).

Questa concentrazione viene spesso chiamata *pseudo-totale*, in quanto i minerali silicatici non sono completamente distrutti (solubilizzati) da questo tipo di attacco. Questa procedura fornisce comunque una stima abbastanza realistica (prossima al 90%) del tenore totale (Alloway, 1995).

La metodica prevede la solubilizzazione dei metalli pesanti in soluzione nitro-cloridrica a caldo. È stato pesato 1 g del campione di terra fine e, dopo essere stato pretrattato con perossido di idrogeno, è stato mineralizzato con acqua regia a ricadere su piastra riscaldante.

Il contenuto di **cadmio** (Cd), **nichel** (Ni), **piombo** (Pb), **rame** (Cu), **zinco** (Zn), **manganese** (Mn) e **ferro** (Fe) è stato determinato per spettrofotometria in assorbimento atomico con atomizzazione a fiamma aria-acetilene (FAAS) modello "Perkin Elmer 1100B".

Allo spettrofotometro in assorbimento atomico sono state preparate per ciascun elemento le curve di taratura e sono state utilizzate lampade specifiche selezionando le seguenti lunghezze d'onda:

- Ni: 232,0 nm
- Cu: 324,8 nm
- Cd: 228,8 nm
- Zn: 231,9 nm
- Pb: 217,0 nm

- Mn: 279,5 nm

- Fe: 248,3 nm

Il contenuto di Cd, Ni, Pb, Cu, Zn è stato espresso in mg/kg, quello di Mn e Fe in g/kg.

Per il calcolo è stata utilizzata l'espressione seguente:

$$C = \frac{(A - B) - DV}{m}$$

dove:

C= contenuto del metallo nel suolo, espresso in mg kg⁻¹

A = concentrazione del metallo nella soluzione del campione, espressa in mg L⁻¹

B = concentrazione del metallo nella soluzione della prova in bianco, espressa in mg L⁻¹

D = fattore di diluizione (D = 1 se la soluzione in esame non è stata diluita)

V = volume finale, espresso in ml

m = massa del campione di terra fine, espressa in g

La determinazione dell'**arsenico** (As) è stata realizzata mediante sistema di atomizzazione elettrotermica con fornetto di grafite pirolizzata (ETA-AAS), modello "Perkin Elmer 1100B HGA 400".

Come per il sistema di atomizzazione in fiamma (FAAS), sono stati rilevati i valori di assorbanza per le soluzioni dei campioni (lunghezza d'onda di 193,7 nm). Dalla lettura di tali valori si è risalito a quelli di concentrazione utilizzando la retta di taratura predisposta. I risultati sono stati espressi in mg/kg.

La determinazione dell'**alluminio** (Al) è avvenuta per "spettrofotometria UV-Vis con eriocromacianina R". Il metodo è basato sulla reazione dell'alluminio con il colorante eriocromacianina R. In soluzione acquosa a pH 6 il complesso che si forma presenta un massimo di assorbimento alla lunghezza d'onda di 535 nm. L'assorbanza della soluzione è proporzionale alla concentrazione di alluminio. I risultati sono stati espressi in g/kg.

5.1.1.4 Analisi biochimiche

Attività enzimatiche

Il suolo non deve essere considerato un ambiente isolato, in quanto sussistono interazioni dirette tra di esso ed i microrganismi, l'acqua, l'aria, le piante e gli animali (Drozdowicz, 1997).

La produttività dell'ecosistema suolo e la sua funzionalità ecologica si basa principalmente sulla relazione tra la sostanza organica e le proprietà biofisiche e chimiche e l'attività biologica del suolo (Masciandaro e Ceccanti, 1999; Marinari et al., 2000, 2007).

L'attività biologica del terreno merita una particolare attenzione per la sua rilevanza nella dinamica dell'ecosistema suolo nel favorire il miglioramento della salute del suolo e la produttività delle piante (Bertiller et al., 2009).

La biomassa microbica del suolo, in particolare, svolge un ruolo essenziale nei processi di trasformazione della materia organica e nella stabilizzazione della struttura del suolo (Doran e Parkin, 1994; Marinari et al., 2000).

La mineralizzazione della sostanza organica effettuata da una vasta comunità di organismi del suolo coinvolge un gran numero di processi metabolici mediati da attività enzimatiche (Alef e Nannipieri, 1995; Garcia e Hernandez, 1997; Nannipieri et al., 2002).

Le attività enzimatiche sono parametri non convenzionali che costituiscono degli specifici marcatori dei processi biologici nel suolo. Per attività enzimatica si intende quindi la capacità di un suolo, dovuta alla presenza di determinati enzimi, di "stimolare" alcune reazioni biochimiche che avvengono spontaneamente nel suolo. La misura delle attività enzimatiche (cioè la produzione dei composti che si originano dalla reazione che l'enzima catalizza) permette di valutare quantità di enzimi attivi presenti in nel suolo.

Gli enzimi, prodotti soprattutto dai microrganismi del suolo, sono dei catalizzatori biologici di innumerevoli reazioni che si svolgono nel suolo. Essi sono considerati i mediatori di tutti i processi che caratterizzano il metabolismo del suolo e hanno un ruolo chiave nell'interazione tra i processi biologici, chimici e biochimici. Gli enzimi del suolo possono esistere in forma di enzimi extracellulari (presenti in fase acquosa, legati a complessi umo-enzimatici, etc.) oppure essere associati a microrganismi, come ad esempio la deidrogenasi (enzima intracellulare).

Tra tutti i parametri biologici le attività enzimatiche sono tra i più sensibili ai cambiamenti

che avvengono nel suolo, per cui sono in grado di fornire rapidamente informazioni accurate sui cambiamenti della qualità del suolo.

Le attività enzimatiche possono essere usate come indicatori utili per l'interpretazione del funzionamento degli ecosistemi del suolo e come indicatori della qualità e della condizione metabolica del suolo (Masciandaro e Ceccanti, 1999; Ceccanti e Masciandaro, 2003), grazie alla loro stretta relazione con la componente microbica del suolo (Frankenberger e Dick, 1983), alla relativa facilità di misura, alla loro capacità di rispondere rapidamente ai cambiamenti indotti nelle proprietà del terreno dalle diverse pratiche di gestione del suolo (Dick e Tabatabai, 1994), dai cambiamenti di uso e copertura del suolo e da altri effetti esterni quali il clima avverso e lo stress ambientale (Acosta-Martinez et al., 2007).

Determinazione delle attività enzimatiche

Nella presente ricerca sono stati studiati quattro enzimi al fine di stabilire il loro specifico ruolo nella decomposizione della materia organica e nel ciclo dei nutrienti nei suoli studiati (Alef e Nannipieri, 1995; Makó e Ndakidemi, 2008).

L'estrazione di enzimi dal suolo è resa complicata dai molteplici microhabitat nei quali essi possono agire; è per questo che gli enzimi del suolo vengono studiati mediante la determinazione della loro attività. L'attività di un determinato enzima nel suolo è, in realtà, la risultante di diverse attività che possono essere associate con la componente biotica e abiotica del terreno.

L'interpretazione di queste attività può fornire una opportunità unica per la valutazione biologica integrata del suolo a causa del loro ruolo fondamentale in diverse interazioni biologiche e la loro rapida risposta ai cambiamenti nelle pratiche di gestione del suolo (Bandick e Dick, 1999).

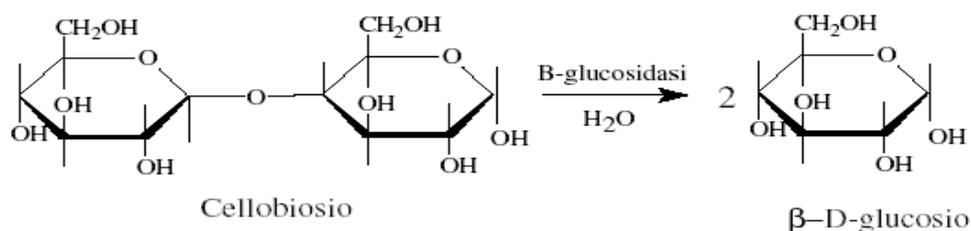
Le attività enzimatiche sono state determinate mediante prove effettuate in doppio. Parallelamente alle prove, ne sono state eseguite altre di controllo in cui è stato incubato il campione nelle stesse condizioni ma in assenza di substrato, allo scopo di determinare un'eventuale presenza nel campione del prodotto di reazione che prescinde dall'aggiunta del substrato e di correggere, in tal caso, le misure.

Tutte le soluzioni acquose impiegate nelle attività enzimatiche sono state rigorosamente preparate utilizzando acqua bidistillata.

β -Glucosidasi

La β -glucosidasi, enzima relazionata con il ciclo del carbonio, è una idrolasi ed è coinvolta nella degradazione microbica della cellulosa a glucosio (Alef e Nannipieri, 1995).

La β -glucosidasi idrolizza i gruppi terminali non riducenti del cellobiosio (dimero del glucosio derivante dalla degradazione della cellulosa) liberando β -D-glucosio, secondo lo schema di reazione seguente.



Questo enzima riflette pertanto lo stato della materia organica del suolo e la sua attività è strettamente legata alla presenza di composti del carbonio nel suolo (Cook e Allan, 1992).

La degradazione e la mineralizzazione della cellulosa sono i principali processi del ciclo del carbonio nel suolo e quindi, l'attività β -glucosidasica è considerata un valido indicatore di turnover della sostanza organica in quanto "si attiva" quando vi sono in atto processi di degradazione delle strutture cellulosiche (Wick et al., 1998).

La determinazione dell'attività di quest'enzima si basa sul metodo di Garcia et al. (1993a). Tale metodo consiste nella determinazione per via colorimetrica del rilascio del *para*-nitrofenolo (PNF), dopo l'incubazione dei campioni di terreno con *para*-nitrofenil-glucoside (PNG) (substrato di reazione).

Nelle provette di plastica da 10 ml sono state preparate sia le prove sia i controlli.

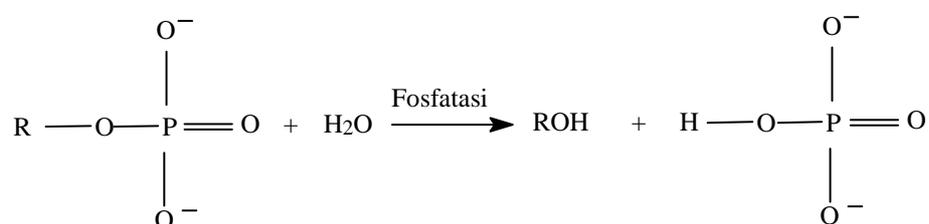
- Prove: 0,5 g di terreno + 2 ml di tampone maleato 0,1M pH 6,5 + 0,5 ml di substrato PNG (*4*-nitrofenil- β -D-glucopiranoside) 0,05 M.
- Controlli: 0,5 g di terreno + 2 ml di tampone maleato 0,1M pH 6,5.

Le prove e i controlli sono stati messi ad incubare nel bagno termostatico (tipo Doubnoff) per 2 ore a 37°C sotto agitazione. Una volta terminato il periodo d'incubazione, anche nei controlli sono stati aggiunti 0,5 ml di substrato (PNG) e il tutto (prove e controlli) è stato posto a raffreddare a 4°C per 10 minuti per bloccare la reazione. Quindi a prove e controlli

sono stati aggiunti 0,5 ml CaCl_2 ²⁰ 0,5 M e di 2 ml di NaOH ²¹ 0,5 M. È stato portato a volume (10 ml) con acqua bidistillata e in seguito si è centrifugato per 10 minuti a 3500 rpm. Il soprannatante è stato letto allo spettrofotometro ad una lunghezza d'onda di 398 nm. Le densità ottiche rilevate dallo strumento sono state trasformate in concentrazioni mediante una retta standard, ottenuta con concentrazioni note di PNF. I risultati sono espressi in $\mu\text{gPNF/g}_{\text{SS}}\cdot\text{h}$. Valore massimo di assorbanza accettato: 1.

Fosfatasi

Con il termine fosfatasi si indica un gruppo di enzimi che catalizzano l'idrolisi degli esteri fosforici a fosfato; secondo il seguente schema di reazione:



Si tratta quindi di enzimi legati al ciclo del fosforo. Rivestono nel suolo una particolare importanza, perché svolgono un ruolo fondamentale nella mineralizzazione del fosforo, presente principalmente in forma organica, a fosforo minerale (PO_4) disponibile per la nutrizione delle piante.

Le fosfatasi possiedono una bassa specificità e sono quindi capaci di catalizzare reazioni a partire da diversi tipi di substrato (Alef e Nannipieri, 1995).

Il metodo è basato sulla determinazione per via colorimetrica del *para-nitro-fenolo* (PNF), prodotto dall'idrolisi del *para-nitrofenil-fosfato-esaidrato* (PNP) che è il substrato impiegato in questo saggio enzimatico (Nannipieri et al., 1980).

Sono state utilizzate provette di plastica da 10 ml, sia per le prove che per i controlli.

- Prove: 0,5 g di terreno + 2 ml di tampone maleato 0,1M pH 6,5 + 0,5ml di substrato PNP (*para-nitrofenil-fosfato-esaidratato* 0,115 M).
- Controlli: 0,5 g di terreno + 2 ml di tampone maleato 0,1 M pH 6,5.

Prove e controlli sono stati posti in agitazione nel bagno termostatico per 1 ora e 30 minuti

²⁰ Il CaCl_2 viene aggiunto per bloccare la reazione e per prevenire la dispersione dei colloidali che interferirebbero con la lettura spettrofotometrica.

²¹ L' NaOH serve per salificare il prodotto ottenuto conferendogli colore giallo.

a 37°C. Una volta terminato il periodo d'incubazione, sono stati aggiunti anche ai controlli 0,5 ml di substrato (PNP) e i campioni sono stati posti a raffreddare a 4°C per 10 minuti per bloccare la reazione. A questo punto a tutte le prove e ai controlli sono stati aggiunti 0,5 ml di CaCl_2 ²² 0,5 M e 2 ml di NaOH ²³ 0,5 M. I campioni sono stati portati ad un volume finale di 10 ml con acqua bidistillata e successivamente sono stati centrifugati per 10 minuti a 3500 rpm. Il sopranatante viene letto allo spettrofotometro ad una lunghezza d'onda di 398 nm.

Valore massimo di assorbanza accettato: 1.

Le densità ottiche rilevate dallo strumento sono state trasformate in concentrazioni mediante una retta standard ottenuta con soluzioni di PNF a concentrazione nota. I risultati sono espressi in $\mu\text{g PNF/g}_{\text{SS}}\cdot\text{h}$.

Proteasi

Le proteasi appartengono ad una classe di enzimi con la funzione di catalizzare l'idrolisi delle proteine in peptidi, che vengono poi idrolizzati dalle peptidasi in amminoacidi.

Tali enzimi giocano un ruolo importante nel ciclo dell'azoto nel suolo; sono infatti responsabili della trasformazione dell'azoto proteico in azoto ammoniacale che viene assorbito dalle radici delle piante. Le proteasi agiscono sui substrati dipeptidici, idrolizzandoli e liberando NH_3 . Vista l'abbondanza di proteine e peptidi nel suolo, le proteasi, probabilmente, forniscono gran parte dell'azoto biodisponibile.

Gli enzimi proteasi sono prodotti da una vasta gamma di batteri, attinomiceti e funghi (Kumar e Takagi, 1999) e hanno di solito un'alta substrato-specificità (Kalisz, 1988).

Nel suolo la proteasi è un enzima principalmente extracellulare: in genere l'idrolisi del legame peptidico di proteine ad alto peso molecolare avviene infatti all'esterno della cellula microbica con produzione di piccoli peptidi e amminoacidi che vengono poi assorbiti dalle cellule microbiche e metabolizzati (Ceccanti e Garcia, 1994).

In provette di plastica da 10 ml sono stati preparati sia le prove sia i controlli.

- Prove: 1 g di terreno + 2 ml di tampone fosfato 0,1 M + 0,5 ml di substrato BAA (*N- α -Benzoil-L- α -Arginammide-Hydrochloride*) 0.03 M
- Controllo: 1 g di terreno + 2 ml di tampone fosfato 0,1 M

²² Il CaCl_2 previene la dispersione dei colloidali, che interferirebbero con la lettura.

²³ L' NaOH serve per salificare il prodotto ottenuto, conferendogli un colore giallo.

Prove e controlli, una volta preparati, sono stati incubati a 40°C per 1 ora e 30 minuti. Terminata l'incubazione, sono stati aggiunti anche ai controlli 0,5 ml di substrato. Successivamente, sia le prove che i controlli sono stati portati a volume (10 ml) con acqua bi distillata e centrifugati a 3000 rpm per 10 minuti. Successivamente, sono stati prelevati dalle prove e dai controlli 0,5ml di estratto chiaro (non più di 1 ml) che è stato trasferito in nuove provette da 10ml. Lavorando sotto cappa, sono stati aggiunti 2,5 ml della soluzione di salicilato-Na/NaOH, 1ml di dicloisocianurato di sodio e si è portato a volume (10ml). Si è agitato e si è lasciato riposare per 30 minuti.

Successivamente i campioni sono stati letti allo spettrofotometro alla lunghezza d'onda di 690 nm. Valore massimo di assorbenza accettato: 1,5 (per valori maggiori è necessario eseguire una diluizione).

Le densità ottiche rilevate dallo strumento sono state trasformate in concentrazioni mediante una retta standard. I risultati sono stati espressi in $\mu\text{g NH}_3/\text{g}_{\text{SS}}\cdot\text{h}$.

Deidrogenasi

Le deidrogenasi sono enzimi intracellulari, appartengono al gruppo delle ossidoreduttasi e catalizzano l'ossidazione di composti organici con separazione di due atomi di idrogeno che sono trasferiti alla molecola del NAD^+ o NADP^+ .

Il processo della deidrogenazione può essere così riassunto:



dove XH_2 è un composto organico donatore di idrogeno e A è l'accettore.

L'enzima deidrogenasi viene utilizzato comunemente come una misura dell'attività metabolica globale del suolo (Masciandaro et al., 2000).

Il substrato della reazione è costituito dalla sostanza organica, mentre il cofattore sintetico utilizzato per la misura dell'attività deidrogenasica è costituito dall'INT (*p-iodio-Nitro-Tetrazolium-chloride*) che per riduzione forma un prodotto colorato (INTF) (*p-Iodo-Nitro-Tetrazolium-Formazano*) determinabile per via spettrofotometrica.

Questa attività enzimatica si determina secondo il metodo messo a punto da Garcia et al. (1993).

I campioni e le prove sono stati preparati in provette di plastica da 10 ml.

- Prove: 0,5 g di terreno + 0,2 ml di substrato INT (*p-Iodo-Nitro-Tetrazolium-chloride*) allo 0,4% in H_2O deionizzata + 0,1 ml d'acqua bidistillata (per portare il

terreno al 60% della capacità di campo).

- Controlli: 0,5 g di terreno + 0,3 ml d'acqua bidistillata (per portare il terreno al 60% della capacità di campo).

Prove e controlli sono stati fatti riposare per 20 ore al buio; non occorre tappare le provette perché l'INT prevale sull'ossigeno (il naturale substrato della deidrogenasi,) nell'accettare gli elettroni, è quindi sufficiente coprire le provette con della carta stagnola. L'INTF, che è il prodotto della reazione di ossido-riduzione, è insolubile in acqua, ed è stato estratto mediante aggiunta, con pipetta di vetro di precisione, di 5 ml di una soluzione estraente composta da tetracloroetilene e acetone (1:1,5). Si è agitato meccanicamente per circa 1 minuto. Successivamente, prove e controlli sono stati centrifugati a 3500 rpm per 10 minuti. Dopo la centrifugazione si è formato un sistema bifasico, in cui lo strato inferiore (quello più pesante) risulta colorato di rosa. Utilizzando delle pipette di vetro Pauster è stata prelevata la soluzione colorata, che stata poi trasferita nelle cuvette di quarzo/vetro per la lettura spettrofotometrica. Le letture sono state effettuate alla lunghezza d'onda di 490nm (le cuvette sono state avvinate, di volta in volta, con la soluzione estraente).

Valore massimo di assorbanza accettato: 0,4.

Le densità ottiche rilevate dallo strumento sono state trasformate in concentrazioni, espresse in $\mu\text{g INTF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h}$, mediante una retta standard ottenuta con concentrazioni note di INTF.

Glomalina

La glomalina è una glicoproteina prodotta da funghi micorrizici arbuscolari (AMF - Arbuscular Mycorrhizal Fungi), appartenenti al *phylum* Glomeromycota e all'ordine Glomales (Schubler, 2001), che vivono in associazione con le radici della maggior parte delle piante terrestri (Wright et al., 1996; Wright e Upadhyaya, 1996; Wright et al., 1998a, Wright et al., 2006).

Le piante e i funghi simbiotici interagiscono con mutuo beneficio: i funghi colonizzano le radici ottenendo composti del carbonio che sono incapaci di sintetizzare, mentre le piante ricevono i macro e i micro nutrienti presenti nel suolo assorbiti e traslocati dalla rete ifale extraradicale (Smith e Read, 1996; Giovannetti et al., 2001; Giovannetti e Avio, 2002).

Tali funghi sono quindi organismi chiave del sistema pianta/suolo, sono di fondamentale importanza sia per la fertilità del suolo che per la nutrizione della pianta, le loro ife sono

infatti capaci di estendersi per molti metri nel terreno e di assorbire e traslocare alle radici i macro- e i micronutrienti presenti nel suolo (Smith e Read, 1996; Giovannetti e Avio, 2002).

La glomalina, scoperta relativamente di recente (nel 1996) dalla scienziata del suolo Sara F. Wright (USDA Agricultural Research Service), ad oggi non è stata ancora definita dal punto di vista biochimico (Rillig e Steinberg 2002; Gillespie et al., 2011; Singh et al., 2013).

La glomalina viene descritta come un abbondante componente della materia organica del suolo. Essa contiene: 3-5% di N, 28-42% di C (Lovelock et al., 2004), 6% di H, 33-49% di O, 0,03- 0,1% di P (Schindler et al., 2007), 0,8-8,8% di Fe (responsabile del colore rossastro dell'estratto di glomalina) (Wright e Upadhyaya, 1998; Rillig et al., 2001).

Secondo recenti ricerche, tale proteina non viene essudata dalle ife ma è contenuta nelle pareti delle ife stesse (Driver et al., 2005) che, una volta morte e decomposte, rilasciano il loro contenuto di glomalina nel suolo (Treseder e Allen, 2000), che si accumula nel terreno come "Glomalin-Related Soil Protein" (GRSP) in quantità variabile (tipicamente, da 2 a 15 mg/g e fino ad oltre 60 mg/g) (Rillig et al., 2001; Nichols et al., 2004).

La concentrazione di glomalina nel suolo varia principalmente a causa di alcuni fattori ambientali come le condizioni climatiche, la composizione del materiale parentale, il tipo di vegetazione e di specie fungine e l'abbondanza di nutrienti organici nei suoli (Rillig et al., 2001; Lovelock et al., 2004; Emran, 2012).

La glomalina è molto resistente alla decomposizione microbica (elevata refrattarietà alla degradazione) e ha lunga persistenza nel suolo (turnover: 10-50 anni), non si scioglie facilmente in acqua essendo solubile a temperature elevate (121 °C). Queste caratteristiche la rendono una buona protezione per le ife fungine e per gli aggregati del suolo; agisce infatti da agente stabilizzante ("super collante"), aiutando le particelle di sabbia, limo e argilla a legarsi le une alle altre ed alle altre sostanze organiche (Wright e Upadhyaya, 1998), promuovendo così la formazione di complessi organo-minerali (Rillig, 2004; Wright et al., 2007).

Come risulta dalla letteratura, la glomalina, che contiene alte percentuali di carbonio, può avere un ruolo significativo nell'immagazzinamento del carbonio organico nei suoli (carbon-sink) (Wright e Upadhyaya, 1996, 1998; Rillig et al., 1999) ed è considerata un ottimo strumento per compensare l'aumento dei livelli di CO₂ nell'atmosfera (Wright e

Upadhyaya, 1996; Rillig et al., 2001b; Bedini et al., 2007).

Si è calcolato che la glomalina va a costituire il 5% del C totale (Rillig et al., 2003, 2001) ed addirittura fino al 35% del C della frazione organica nel suolo (Nichols et al., 2004); inoltre, contenendo il 5% del N totale, è una buona fonte di azoto, (Lovelock et al., 2004).

La glomalina ha la capacità di conservare composti organici nei micro siti del suolo ed è così in grado di proteggere il carbonio organico dai processi di mineralizzazione, favorendo il sequestro del carbonio nei confronti della produzione di anidride carbonica (Wright et al., 2000; Rovira e Vallejo, 2003; Rillig, 2004).

La capacità della glomalina di stabilizzare gli aggregati del suolo e di rallentare la degradazione della sostanza organica e la perdita dei nutrienti associati si riflette nel miglioramento della fertilità complessiva del suolo.

Le buone relazioni della glomalina con la stabilità degli aggregati del suolo sotto diversi tipi e usi del suolo sono state dimostrate da diversi autori (Wright e Upadhyaya, 1998; Wright e Anderson, 2000, Preger et al., 2007; Wright et al., 2007; Hontoria et al., 2009; Wu et al., 2008, 2012; Emran et al., 2012; Gispert et al., 2013).

Wright et al. (2007) ha riportato che la glomalina può contribuire a legare i micro e macro aggregati negli Acrisols nella Regione atlantica centrale degli Stati Uniti d'America. Hontoria et al. (2009) ha rilevato che la glomalina è due volte più alta in aggregati stabili che in quelli instabili sotto differenti gestioni del suolo.

Emran et al. (2012) attribuisce alla glomalina un ruolo chiave nella formazione e il mantenimento della struttura del suolo: essa fornisce la struttura necessaria per trattenere l'acqua, un'aerazione adeguata e la stabilità per resistere all'erosione. In seguito alla deposizione di glomalina sulle particelle del suolo, infatti, i micro e macro aggregati vengono progressivamente stabilizzati. I livelli elevati di glomalina producono così una migliore struttura che a sua volta aumenta la porosità del suolo e l'immagazzinamento dell'acqua. Riducendo la compattazione, viene favorito lo sviluppo delle radici e la resistenza alla formazione di croste superficiali e all'impermeabilizzazione e viene, quindi, contrastata l'erosione (Wright e Anderson, 2000).

Il rilascio e l'accumulo di glomalina nel suolo può rappresentare anche un meccanismo molto importante per il miglioramento e il recupero di suoli degradati (per esempio a causa delle attività di miniera) attraverso la biostabilizzazione di metalli pesanti in suoli contaminati (Bedini et al., 2004), in quanto può contribuire al sequestro di quantità

significative di metalli pesanti (Singh, 2012).

L'immobilizzazione di metalli nella glomalina può avere notevole significato anche nei terreni agrari dove elementi nutrizionalmente importanti, quali ferro e rame, possono in tal modo essere immagazzinati nel suolo e poi lentamente ceduti alla pianta evitando fenomeni di perdita per dilavamento.

Determinazione della glomalina totale (BRSP)

Estrazione

La concentrazione di glomalina totale (GT) è stata valutata utilizzando un saggio generale del contenuto proteico ("Bradford protein assay"), perciò si usa il termine *Bradford reactive soil protein* (BRSP) (Wright e Upadhyaya, 1996) per indicare il contenuto di glomalina totale.

Si ha l'estratto della glomalina totale in seguito a diversi cicli di estrazione, necessari per solubilizzare le forme di glomalina più stabili che aderiscono alle particelle che formano gli aggregati del suolo. La glomalina totale è stata perciò estratta con citrato 50 mM (pH 8,0) attraverso cicli di estrazione in autoclave a 121° C per 60 minuti fino a che il colore marrone si è schiarito, diventando giallo paglierino (Wright e Upadhyaya, 1996, 1998).

Ad un'aliquota di campione setacciato a 2 mm sono stati aggiunti 8 ml di citrato di sodio diidrato 50 mM ($C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$) in provette di plastica.

Le provette sono state agitate mediante il vortex (Ika Vortex Genius 3 Model: VG3) per omogeneizzare la sospensione di terreno e poi sono state messe in autoclave a 121 ° C per 60 minuti per il primo ciclo. I campioni sono stati centrifugati a 5000 rpm per 20 minuti, dopodiché il surnatante è stato raccolto in altre provette.

Sono stati ripetuti diversi cicli di estrazione sino a quando il surnatante non ha assunto un colore giallo paglierino o comunque un colore limpido. Infine gli estratti della glomalina totale sono stati riuniti assieme e il loro volume è stato misurato con un cilindro graduato.

Saggio della proteina Bradford

Il saggio della proteina Bradford è una procedura analitica quantitativa spettroscopica usata per misurare la concentrazione di glomalina nella soluzione dell'estratto del suolo (Bradford, 1976). Questo metodo si basa sul fatto che la totalità o la maggioranza delle

proteine, tranne la glomalina, vengono distrutte durante la procedura di estrazione (Rosier et al., 2006).

Per prima cosa è necessario stabilire una corrispondenza tra valori di assorbanza e quantità note di proteine. Per fare questo, è stata preparata una serie di diluizioni di standards di concentrazione nota, di una soluzione proteica. Quindi sono stati sciolti 50 mg di BSA (Bovine Serum Albumin) in 100 ml di acqua distillata per preparare la soluzione proteica standard. Le diluizioni degli standards sono state preparate usando come buffer lo stesso usato per la procedura di estrazione, il citrato di sodio diidrato 50 mM.

Una volta misurato ogni standard a 595 nm, si è in grado di tracciare la A595 in funzione del contenuto proteico noto di ciascuno standard. Dopo aver misurato la A595 del campione sconosciuto, la curva standard è stata utilizzata per determinare la quantità di proteina corrispondente ai valori di assorbanza misurati (Wright e Upadhyaya, 1998).

Procedimento:

Sono stati diluiti 200 µl di ogni concentrazione di BSA con 4 ml della soluzione del reagente Bradford (1 volume del reagente Bradford diluito con 4 volumi di acqua distillata).

Anche 200 µl dell'estratto della glomalina sono stati diluiti con 4 ml della soluzione del reagente Bradford. Sia gli standard che le diluizioni dei campioni sono stati messi in incubazione al buio per massimo 5 minuti prima della lettura allo spettrofotometro.

È stata misurata l'assorbanza dei campioni allo spettrofotometro (UV-160A, Shimadzu) calibrato a 595 nm ed è stata calcolata la concentrazione (mg/g).

Determinazione del carbonio dell'estratto della glomalina

Il carbonio dell'estratto della glomalina (C-G) è stato determinato con il metodo dell'ossidazione (bicromato in presenza di acido forte) (Kalembasa e Jenkinson, 1973).

In tubi di vetro sono stati aggiunti 4 ml di dicromato di potassio 66.7 mM ($K_2Cr_2O_7$) a 1 ml dell'estratto della glomalina, dopodiché sono stati aggiunti 7 ml della miscela di acidi (2 parti di H_2SO_4 : 1 parte di H_3PO_4). Allo stesso modo è stato preparato il bianco (aggiungendo 4 ml di dicromato di potassio a 7 ml della miscela di acidi).

I tubi di vetro sono stati poi riscaldati a 60° C per 30 minuti al digestore (Multi bloc system) per consentire l'ossidazione del carbonio mediante dicromato.

Successivamente, il contenuto di ciascun tubo è stato fatto decantare e la reazione è stata bloccata con 20-25 ml di acqua distillata in beute da 250 ml. L'eccesso di dicromato non ossidato è stato titolato con il Sale di Mohr 0,08 N e utilizzando come indicatore 4-5 gocce dell'indicatore ferroina $[\text{Fe}(\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2)_3]\text{SO}_4$.

Il carbonio dell'estratto della glomalina è stato calcolato con la seguente equazione:

$$C (\mu\text{g ml}^{-1}) = (H - S)/(C * M * D)/(A * E * 1000)$$

H= volume del Sale di Mohr (bianco) (ml)

S= volume del Sale di Mohr (campione) (ml)

C= volume del Sale di Mohr (bianco) (ml)

M= normalità del $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (eq/l)

D= volume del $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (ml)

A= aliquota dell'estratto (ml)

E= 3. Fattore di conversione nel processo di riduzione da Cr(+VI) a Cr(+III)

Il carbonio dell'estratto della glomalina è stato poi espresso in mg/g utilizzando questa conversione:

$$\mu\text{g ml}^{-1} \frac{\text{ml dell'estratto}}{1 \text{ g}} \frac{1000 \text{ mg}}{1 \mu\text{g}} = \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

5.1.1.5 Elaborazioni statistiche

Le analisi statistiche dei dati sono state condotte prevalentemente mediante l'ausilio del software Statistica® 7.1 (StatSoft Inc Development, 2006).

I risultati sono stati sottoposti all'**Analisi della Varianza - ANOVA** con un livello di significatività inferiore al 5% ($p < 0,05$), che permette di confrontare due o più gruppi di dati confrontando la variabilità *interna* a questi gruppi con la variabilità *tra* i gruppi. Lo scopo dell'ANOVA è la verifica della presenza di differenze significative tra medie confrontando le varianze. È stato poi eseguito il test di Tukey per saggiare quali gruppi sono significativamente differenti tra loro.

Sono inoltre state realizzate delle **matrici di correlazione di Pearson** ($p < 0,001$ e $p < 0,05$) per stimare il grado di correlazione tra i parametri indagati. Il coefficiente di correlazione di Pearson è una misura di relazione tra due variabili e determina fino a che livello le due variabili risultano tra loro “proporzionali” cioè relazionate linearmente.

Sono poi state condotte le analisi dei fattori principali (**Principal Factor Analysis - PFA**). Si tratta di un metodo di analisi multivariata volto 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* poiché è una rotazione ortogonale che cerca di modificare i pesi fattoriali in modo da massimizzare la varianza fra i pesi fattoriali relativi ad ogni fattore, semplificando 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 e le 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).

Secondo Reimann et al. (2002) e Templ et al. (2008), la trasformazione Box-Cox (Box e Cox, 1964), utilizzata in questo studio, è la trasformazione più potente, in quanto porta la maggior parte dei dati il più vicino possibile alla normalità (Filzmoser et al., 2009).

Inoltre, nell'ambito della elaborazione statistica univariata, sono stati creati gli **Exploratory Data Analysis - EDA** (istogrammi, normal probability plot, box-plot). Essi sono molto utili nella stima della distribuzione degli elementi indagati.

In particolare, gli istogrammi sono dei grafici che riportano sulle ascisse l'intervallo all'interno del quale sono presenti i valori della variabile e sulle ordinate la frequenza, cioè il numero di individui (in unità o percentuale) che assumono i valori di tale intervallo.

I normal probability plot sono grafici a due dimensioni in cui le osservazioni sono riportate sull'asse verticale e a ciascuna di esse viene fatto corrispondere sull'asse orizzontale il relativo quantile di una distribuzione normale standardizzata. Quando i punti del grafico si trovano approssimativamente su una linea retta inclinata positivamente, allora si può affermare che i dati osservati si distribuiscono approssimativamente secondo la normalità.

I box-plot sono grafici che mostrano il valore delle mediana, il range o distanza interquartile tra il primo e il terzo quartile, ovvero l'intervallo in cui ricade il 50% centrale dei valori della popolazione di dati studiata e i valori minimi e massimi della distribuzione.. Il box-plot è costituito da un rettangolo (scatola o *box*) dai cui bordi si allungano delle linee (baffi o *whiskers*) che coprono l'intervallo di dati dal 25° e 75° percentile (limite della scatola) fino al valore pari a una volta e mezzo l'intervallo interquartile, dato dalla differenza tra il 25° e il 75° percentile. I valori che ricadono al di fuori dei baffi, sia superiormente che inferiormente, sono identificati come *outliers*. La distanza interquartile risulta molto efficace nello studio e nella valutazione della distribuzione dei metalli pesanti perché non è influenzata da valori anomali o estremi (statistica robusta) ed è particolarmente adatta ad esprimere la variabilità di distribuzioni asimmetriche di dati, come ad esempio quella relativa alla concentrazione dei metalli pesanti.

5.1.1.6 Indici di contaminazione del suolo

Per la valutazione dello stato d'inquinamento di un suolo e per individuare possibili apporti antropici ci si avvale comunemente di formule che, attraverso il confronto tra le concentrazioni dei PTEs rilevate nell'orizzonte superficiale e il fondo naturale, permettono la collocazione del suolo all'interno di uno schema classificativo che ne definisce lo "stato di salute" (Amorosi e Sammartino, 2005).

All'area oggetto di studio si è scelto di applicare l'**indice di geoaccumulo** (I_{geo}), per

valutare se un suolo è contaminato rispetto al *background* (Förstner e Müller, 1981; Loska et al., 2004; Ji et al., 2008; Vittori Antisari et al., 2011b):

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 \cdot B_n} \right)$$

dove C_n è la concentrazione dell'elemento nell'orizzonte superficiale e B_n il suo valore di background (Ji et al., 2008) oppure la sua concentrazione nella crosta terrestre (Loska et al., 2004).

Nella presente ricerca, il B_n utilizzato per il calcolo dell' I_{geo} di Ni, Cu, Pb e Zn corrisponde ai valori di background proposti De Vivo (1997) mentre per l' I_{geo} di Cd e As il B_n corrisponde ai valori medi riportati in bibliografia per i suoli a livello mondiale (Kabata-Pendias, 2011).

In base al valore ottenuto il suolo può rientrare in sette classi di contaminazione, così come riportato di seguito:

Classe		
0	$I_{geo} \leq 0$	Praticamente incontaminato
1	$0 < I_{geo} < 1$	Da non contaminato a moderatamente contaminato
2	$1 < I_{geo} < 2$	Moderatamente contaminato
3	$2 < I_{geo} < 3$	Da moderatamente a fortemente contaminato
4	$3 < I_{geo} < 4$	Fortemente contaminato
5	$4 < I_{geo} < 5$	Da fortemente a estremamente contaminato
6	$I_{geo} \geq 5$	Estremamente contaminato

Tabella 5.6. Classi di contaminazione sulla base dell'indice di geoaccumulo I_{geo} (Förstner e Müller, 1981; Loska et al., 2004; Ji et al., 2008; Vittori Antisari et al., 2011b)

Inoltre, per avere una stima della contaminazione combinata da più metalli è stato calcolato l'**indice di arricchimento superficiale** (*Enrichment Index for topsoil* - EI). Questo indice permette di valutare l'intensità della contaminazione attraverso la somma del rapporto tra la concentrazione (mg/kg) dei PTEs considerati e il valore di fondo regionale degli stessi (Capra et al., 2014). L'indice contribuisce così a stabilire la presenza o meno di fonti di PTEs di origine antropica (Capra et al., 2014).

L'EI è stato calcolato per quattro PTEs (Ni, Cu, Pb e Zn), di cui si hanno a disposizione i valori di background (De Vivo et al., 1997), con la formula seguente:

$$EI = (Ni/m_{Ni} + Cu/m_{Cu} + Pb/m_{Pb} + Zn/m_{Zn}) / 4$$

Dove m_{PTE} è la mediana dei valori del livello geochimico per la Sardegna per ogni contaminante considerato (De Vivo et al., 1997), come riportato in tabella 5.8.

In base a questo indice i siti che presentano $EI > 1$ sono sospettati essere interessati da fonti antropiche. Nello specifico, se i valori di EI sono compresi tra 1 e 2 i siti possono essere significativamente influenzati dalle variazioni delle caratteristiche pedogeochemiche del suolo dell'area investigata. Solo le aree con $EI > 2$ sono considerate fortemente interessate da contaminazione di origine antropica.

I PARTE

5.2 Indagine fisico-chimica e pedogeochimica complessiva

5.2.1 Risultati e discussione

La tabella 5.7 mostra le principali proprietà fisico-chimiche ed i metalli pesanti nei suoli indagati (n=114) insieme ai più importanti indicatori della statistica descrittiva.

Appare evidente che i parametri analizzati presentino ampia variabilità a causa principalmente della notevole estensione dell'area indagata e per l'esistenza di diverse cause di differenziazione del processo pedogenetico, legate a fattori prevalentemente (ma non esclusivamente) litologici, fisiografici ed antropici.

Il test di Kolmogorov-Smirnov (K-S test) per la normalità mostra che argilla, carbonati totali, pH, CE, CO e i metalli (Al, Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, Pb, Cd, As) non sono distribuiti normalmente. La trasformazione Box-Cox ha normalizzato circa il 70% dei parametri, migliorandone la curtosi e l'asimmetria. Ciò conferma la potenza di questa trasformazione nel portare i set di dati indagati verso la normalità. Tuttavia, 6 variabili (carbonati totali, Ni, Cu, Pb, Cd e As) non risultano superare il K-S test per la normalità ($p \leq 0,05$).

Come ampiamente dimostrato da Reimann e Filzmoser (2000), tutte le variabili considerate dovrebbero avvicinarsi ad una distribuzione il più possibile normale. Poiché, dopo aver provato le tecniche più comuni di normalizzazione dei dati (trasformazione logaritmica, trasformazione in radice quadrata etc.), è stato comprovato che la trasformazione Box-Cox risulta essere la più efficace nell'avvicinare il data-set di dati grezzi verso la normalità e/o nel farli divenire più simmetrici, i dati trasformati mediante Box-Cox sono stati utilizzati per l'elaborazione della matrice di correlazione e della PFA.

Riassumendo, è stato utilizzato il seguente approccio (Reimann et al., 2002):

- a) il data set di dati grezzi è stato sottoposto a trasformazione mediante Box-Cox per l'avvicinamento ad una distribuzione normale;
- b) dai dati Box-Cox trasformati è stata ricavata la matrice di correlazione di Pearson ($p < 0,001$);
- c) l'analisi dei fattori principali (PFA) è stata effettuata sulla matrice di correlazione precedentemente elaborata.

Sono stati considerati i range di valori come: mediana $\pm 2MAD$, in quanto forniscono valori molto più realistici sulla distribuzione di 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).

Per facilitare la comprensione della struttura dei dati relativi ai PTEs, sono stati creati alcuni grafici EDA (Exploratory Data Analysis), come gli istogrammi, i normal probability plot e i box-plot.

Essi sono molto utili nella stima della distribuzione degli elementi indagati (Reimann e Filzmoser, 2000). In particolare, gli EDA elaborati nel presente lavoro di ricerca (figure 5.21-5.35) mettono in luce i seguenti aspetti:

- gli istogrammi mostrano chiaramente che tutti i PTEs presentano una distribuzione asimmetrica (*skewness* elevata);
- i normal probability plot mostrano che gli elementi Cd, Pb, Zn e Cu hanno una distribuzione suddivisa entro due sub-popolazioni mentre Ni e As hanno una distribuzione più regolare e prossima alla normalità (ciò è anche confermato dai valori di *skewness* meno elevati e più vicini allo zero rispetto agli altri PTEs analizzati) (tabella 5.7);
- nei box-plot sono ben evidenti gli *outliers*, contraddistinti da cerchietti (valori che sono più bassi del 25° percentile di oltre 1,5 volte la lunghezza del box o che sono più alti del 75° percentile di oltre 1,5 volte la lunghezza del box) e gli *estremi*, contraddistinti da asterischi (valori che si discostano dal 25° e dal 75° percentile di oltre 3 volte la lunghezza del box), sono cioè i valori quantitativamente in numero molto ridotto e qualitativamente caratterizzati da valori molto grandi o molto piccoli rispetto al resto del data-set.

Inoltre, sono state elaborate delle Carte della distribuzione puntuale delle concentrazioni dei PTEs, che rappresentano spazialmente la concentrazione dei PTEs nei *topsoil* indagati (i cerchi sono proporzionali alla concentrazione degli elementi considerati) e degli indici per valutare la contaminazione del suolo (indice di geoaccumulo e indice di arricchimento superficiale).

Nell'ambito dell'analisi statistica multivariata, infine, è stata creata una matrice di correlazione di Pearson per stimare il grado di correlazione tra i parametri indagati (i coefficienti di correlazione lineare (r) significativi per $p < 0,001$ sono contrassegnati nel testo con ***) ed è stata condotta l'analisi dei fattori principali (PFA).

5.2.1.1 Tabella dei risultati

Campione	Tessitura*	Densità app. (g/cm ³)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Carbonati totali (g/kg)	pH	CE (µS/cm)	CO (g/kg)	N tot (g/kg)	P tot (g/kg)	CSC (meq/100g)	Al (g/kg)	Fe (g/kg)	Mn (g/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
2F	S	1,29	98,0	0,5	1,5	282	8,3	163,0	3,6	0,3	0,13	2,1	2,53	6,75	0,15	7,50	9,50	5,00	2,50	0,75	14,50
3F	S	1,20	98,1	0,9	1,1	346	8,0	238,0	0,8	0,3	0,23	3,7	2,19	5,75	0,13	5,00	8,25	5,00	2,50	0,75	15,50
3G	S	1,47	97,8	0,7	1,4	423	7,9	135,2	4,7	0,3	0,19	2,0	1,53	5,75	0,15	7,50	8,75	5,00	5,00	0,75	11,00
4A	FS	1,20	73,2	17,2	9,6	432	7,4	206,0	23,8	1,4	0,79	17,6	8,22	6,75	0,15	7,50	9,75	7,50	12,50	1,00	3,75
4C	F	1,10	49,9	40,2	9,9	27	7,0	307,0	19,8	1,0	0,72	23,4	19,07	22,75	0,70	17,50	26,25	12,50	25,00	< 0,50	7,25
4E	SF	1,00	85,3	8,4	6,2	445	7,5	277,0	12,9	0,9	0,46	9,8	3,90	5,75	0,23	5,00	11,00	5,00	7,50	0,75	9,25
4G	S	1,49	97,4	1,2	1,4	512	7,7	148,2	5,7	0,4	0,31	2,9	2,27	7,00	0,15	5,00	9,00	5,00	2,50	1,00	12,75
5C	FS	0,97	70,5	19,0	10,5	477	7,1	294,0	28,1	1,4	0,89	23,4	7,45	9,25	0,20	10,00	16,75	15,00	15,00	1,25	7,50
5F	FS	1,38	59,9	21,2	18,9	56	6,7	441,0	14,9	0,8	0,76	19,6	11,42	13,25	0,38	7,50	21,50	12,50	10,00	< 0,50	8,75
5G	S	1,45	96,6	2,0	1,4	489	7,5	129,8	2,1	0,3	0,16	1,5	2,34	5,50	0,23	7,50	10,25	5,00	2,50	0,75	12,25
5H	FS	1,32	73,1	18,3	8,5	5	6,9	239,0	12,7	0,7	0,30	13,8	10,58	19,25	0,53	15,00	28,50	12,50	15,00	< 0,50	8,50
6D	FS	1,04	76,5	16,0	7,5	532	8,2	484,0	16,4	1,1	0,67	15,3	4,71	6,00	0,18	7,50	10,00	7,50	10,00	0,75	6,00
6E	SF	1,13	79,7	12,1	8,2	3	7,9	204,0	6,6	0,5	0,21	10,9	5,27	7,50	0,15	5,00	9,75	5,00	5,00	< 0,50	5,50
6F	FS	0,95	55,1	32,8	12,2	307	8,1	255,0	16,1	1,1	0,35	15,7	8,05	7,50	0,28	10,00	14,00	10,00	7,50	0,75	6,50
6G	FS	1,05	74,1	19,2	6,7	194	8,1	372,0	18,3	1,1	0,73	14,4	7,62	7,75	0,23	7,50	14,75	10,00	7,50	0,75	5,00
6H	S	1,24	90,5	5,9	3,5	212	7,9	253,0	19,3	1,1	0,45	11,7	4,90	7,00	0,25	7,50	16,50	110,00	12,50	0,75	7,25
7C	FS	1,12	65,2	26,3	8,5	256	7,8	619,0	25,7	1,4	0,46	18,9	10,94	14,75	0,33	15,00	20,75	10,00	10,00	1,00	8,50
7D	SF	1,13	78,3	16,0	5,8	471	8,1	275,0	16,3	1,0	0,61	15,4	6,30	8,00	0,23	10,00	13,00	7,50	7,50	1,00	8,75
7E	FS	0,94	71,6	19,9	8,5	327	8,2	214,0	6,6	0,4	0,29	7,4	5,19	7,25	0,13	7,50	13,25	5,00	5,00	0,75	6,50
7F	FS	1,35	74,2	15,0	10,9	221	8,0	316,0	18,6	1,0	0,41	12,2	9,73	9,75	0,18	10,00	10,75	5,00	5,00	0,50	5,75
7G	SF	1,18	81,1	13,0	5,9	42	8,0	446,0	18,9	0,7	0,55	13,9	6,56	8,25	0,18	5,00	13,25	5,00	5,00	< 0,50	4,00
7H	SF	ND	78,1	16,2	5,8	103	7,6	983,0	42,8	1,6	1,28	23,0	6,45	8,50	0,25	12,50	24,50	15,00	7,50	0,50	3,00
8B	FS	1,00	61,4	25,5	13,2	551	8,0	278,0	14,4	1,0	0,83	16,3	13,37	13,25	0,25	17,50	15,75	10,00	7,50	1,25	4,50
8C	FS	0,95	57,4	33,2	9,4	490	8,0	485,0	20,2	1,1	0,73	17,3	11,81	14,75	0,28	15,00	19,50	12,50	7,50	1,25	8,25
8D	FS	1,38	69,4	15,4	15,1	479	7,9	372,0	22,1	1,2	0,49	19,0	6,91	9,25	0,20	10,00	15,50	10,00	7,50	1,00	7,50
8F	FS	ND	61,8	25,7	12,5	193	8,1	2170	17,8	1,0	0,51	15,2	10,04	11,75	0,20	10,00	14,50	12,50	7,50	0,75	4,25
8H	FS	1,35	76,0	13,9	10,2	3	7,4	403,0	7,5	0,7	0,48	13,3	9,16	11,75	0,33	10,00	17,50	10,00	7,50	0,50	3,50
9B	SF	1,13	79,8	15,4	4,8	595	8,0	243,0	20,5	1,2	1,91	15,0	9,01	8,50	0,25	15,00	29,25	25,00	12,50	1,50	7,00
9C	F	1,18	41,3	43,5	15,3	262	7,9	355,0	31,9	1,3	2,09	31,2	13,04	13,75	0,30	15,00	18,50	12,50	12,50	1,00	10,00

5.2.1.1 Tabella dei risultati

Campione	Tessitura*	Densità app. (g/cm ³)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Carbonati totali (g/kg)	pH	CE (µS/cm)	CO (g/kg)	N tot (g/kg)	P tot (g/kg)	CSC (meq/100g)	Al (g/kg)	Fe (g/kg)	Mn (g/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
9D	F	1,24	43,8	42,1	14,1	424	7,9	238,0	20,0	0,9	0,68	19,0	7,08	8,25	0,20	10,00	17,00	15,00	10,00	1,00	9,25
9E	F	0,81	51,0	31,6	17,4	465	7,7	7870,0	55,4	2,2	0,62	31,4	12,28	11,00	0,23	12,50	19,75	12,50	17,50	1,25	4,25
9H	FS	1,29	75,3	11,8	12,9	50	7,9	231,0	7,6	0,4	0,33	12,0	10,32	12,50	0,23	10,00	20,25	12,50	7,50	0,50	4,25
10B	FS	1,07	72,4	18,6	9,0	119	7,8	268,0	28,0	1,3	0,33	19,8	16,11	14,75	0,40	12,50	24,25	10,00	12,50	0,50	6,50
10C	FS	1,22	66,8	21,1	12,1	287	7,6	424,0	30,5	1,4	0,66	21,3	18,58	14,75	0,50	22,50	21,75	12,50	10,00	1,00	3,25
10D	FS	1,21	73,2	20,9	5,9	322	7,8	369,0	17,5	0,8	0,54	18,8	17,78	18,75	0,45	30,00	23,25	15,00	7,50	1,00	7,50
10E	FS	1,13	66,8	21,7	11,5	86	7,7	572,0	28,2	1,4	0,42	29,6	23,26	20,00	0,28	17,50	27,25	12,50	12,50	0,75	7,50
10H	SF	1,37	82,9	6,9	10,2	1	5,7	149,8	15,8	0,8	0,26	6,8	4,26	6,50	0,18	2,50	12,00	12,50	5,00	< 0,50	< 2,50
11B	FS	1,26	71,7	18,6	9,7	199	7,8	382,0	28,5	1,5	0,60	20,5	13,95	12,25	0,35	12,50	21,75	15,00	12,50	0,75	3,50
11C	FS	1,17	67,8	14,0	18,2	5	7,8	218,0	9,5	0,5	0,47	14,3	17,51	17,75	0,35	25,00	21,00	10,00	7,50	0,50	8,00
11D	FS	1,16	70,1	21,8	8,1	1	6,5	271,0	43,5	1,1	0,17	30,1	8,92	22,75	0,53	37,50	30,75	15,00	10,00	0,50	4,25
11E	FS	1,26	72,6	19,5	7,8	482	8,3	255,0	7,7	0,3	2,66	12,1	8,80	9,00	0,20	12,50	27,75	17,50	5,00	1,50	5,75
12B	SF	1,35	77,0	16,4	6,6	118	8,0	317,0	9,8	0,5	0,38	14,4	9,01	21,75	0,53	17,50	23,25	10,00	10,00	0,75	2,50
12D	FS	1,16	66,1	21,0	12,8	14	8,0	235,0	12,5	0,7	0,58	17,5	8,92	18,50	0,43	25,00	25,00	15,00	10,00	0,50	3,00
12E	FS	1,21	72,8	18,8	8,4	215	8,0	221,0	13,7	0,8	0,51	18,1	13,64	14,25	0,38	17,50	24,25	15,00	12,50	1,25	4,50
12F	FAS	1,18	54,8	19,6	25,6	75	8,0	256,0	15,3	0,9	0,41	20,6	18,87	17,00	0,18	15,00	24,50	12,50	12,50	0,75	2,50
12H	S	1,54	98,6	0,4	0,9	6	8,0	105,4	2,0	0,1	0,00	1,6	1,32	1,70	0,03	< 2,50	3,50	< 2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
12I	F	1,31	33,9	43,5	22,6	1	6,6	517,0	19,4	0,8	0,90	23,3	16,98	25,75	0,70	15,00	53,50	20,00	15,00	0,75	2,75
12L	F	1,34	43,8	41,1	15,0	1	5,8	181,0	11,7	0,6	0,57	20,0	16,31	25,25	0,65	15,00	49,50	17,50	15,00	0,75	5,25
12M	FL	1,19	25,4	66,3	8,4	1	6,0	1413,0	13,6	0,7	0,91	18,5	16,50	30,75	0,73	17,50	55,50	17,50	15,00	0,75	< 2,50
12N	S	1,56	97,6	0,9	1,5	1	7,1	566,0	1,9	0,2	0,00	2,6	3,02	5,75	0,15	2,50	12,50	125,00	2,50	0,50	< 2,50
12P	SF	1,18	87,2	7,6	5,2	272	7,0	447,0	28,5	1,2	1,02	14,7	5,47	8,75	0,28	5,00	42,00	15,00	17,50	0,75	< 2,50
13B	SF	1,20	79,3	15,9	4,8	278	8,3	181,2	13,2	0,8	0,45	17,2	14,49	15,75	0,50	17,50	24,50	12,50	10,00	1,00	< 2,50
13C	F	0,96	45,2	46,3	8,5	275	8,2	284,0	16,9	0,9	0,61	18,9	17,81	19,00	0,48	32,50	27,50	15,00	10,00	1,25	3,00
13I	FL	ND	38,7	50,3	11,0	3	7,7	437,0	19,8	0,7	0,94	4,2	29,38	79,75	0,83	22,50	76,75	22,50	17,50	1,00	4,00
13L	FS	1,05	73,9	17,3	8,8	1	7,1	723,0	20,0	1,0	0,72	17,9	14,97	22,25	0,55	15,00	47,50	15,00	12,50	0,75	< 2,50
13M	FS	1,08	54,3	30,0	15,7	1	6,9	531,0	31,8	1,4	0,75	23,6	25,52	32,00	0,73	17,50	63,00	17,50	35,00	1,00	< 2,50
14D	S	0,99	93,3	2,3	4,4	446	8,1	293,0	19,8	1,1	0,84	8,1	2,38	3,25	0,10	2,50	11,75	7,50	7,50	0,75	< 2,50
14L	F	1,27	40,6	46,7	12,6	2	6,3	712,0	18,0	0,9	0,86	23,9	28,73	60,00	0,95	7,50	66,50	22,50	10,00	< 0,50	5,00

5.2.1.1 Tabella dei risultati

Campione	Tessitura*	Densità app. (g/cm ³)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Carbonati totali (g/kg)	pH	CE (µS/cm)	CO (g/kg)	N tot (g/kg)	P tot (g/kg)	CSC (meq/100g)	Al (g/kg)	Fe (g/kg)	Mn (g/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
14M	FL	1,01	39,9	49,4	10,7	1	6,8	805,0	24,0	1,0	0,98	27,7	29,07	49,25	0,90	7,50	66,00	20,00	10,00	< 0,50	< 2,50
14O	SF	ND	81,2	16,4	2,4	22	7,9	508,0	7,1	0,4	0,19	14,9	17,06	22,50	0,43	5,00	35,75	12,50	5,00	< 0,50	< 2,50
15L	S	1,32	95,3	3,2	1,5	1	6,8	153,5	7,9	0,4	0,15	3,4	3,75	4,00	0,18	< 2,50	8,00	< 2,50	2,50	< 0,50	3,25
15O	FS	1,39	75,1	16,9	8,0	12	7,7	439,0	20,3	0,6	0,51	14,0	8,41	13,25	0,28	2,50	48,00	10,00	5,00	< 0,50	< 2,50
16M	F	1,27	32,9	44,9	22,1	1	6,8	534,0	13,4	0,7	0,63	17,1	8,49	28,75	0,25	7,50	56,00	17,50	5,00	< 0,50	7,25
16O	SF	1,47	86,6	5,9	7,4	1	5,3	495,0	9,5	0,5	0,57	2,7	2,93	3,75	0,07	< 2,50	8,00	5,00	2,50	< 0,50	< 2,50
17M	SF	1,60	85,2	8,4	6,4	1	5,4	129,7	5,8	0,4	0,23	4,1	2,88	3,75	0,15	< 2,50	8,00	< 2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
18M	SF	1,57	85,0	7,6	7,4	1	6,3	184,7	11,8	0,6	0,28	5,5	5,23	5,00	0,30	< 2,50	12,00	7,50	2,50	< 0,50	< 2,50
18N	FS	1,02	76,3	6,8	16,9	1	6,2	379,0	10,4	0,6	0,14	8,5	4,22	4,50	0,10	< 2,50	9,25	5,00	2,50	< 0,50	< 2,50
19L	S	1,32	95,4	1,8	2,8	1	5,3	77,9	7,2	0,3	0,60	3,8	1,62	1,50	0,04	< 2,50	4,75	2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
19M	FS	0,94	76,9	12,4	10,6	47	7,4	1059,0	56,7	2,1	0,41	37,6	10,41	14,50	0,23	5,00	37,50	17,50	7,50	< 0,50	< 2,50
19N	FA	0,76	26,5	38,9	34,5	250	8,1	377,0	19,3	0,9	0,58	24,2	18,17	26,75	0,43	12,50	48,25	22,50	5,00	0,75	3,75
19O	FA	1,03	23,9	41,7	34,4	193	8,4	570,0	21,1	1,1	0,51	31,5	17,22	24,75	0,23	12,50	49,25	22,50	5,00	0,75	6,00
20L	S	1,24	92,9	2,6	4,5	1	5,8	169,9	6,8	0,4	0,43	4,1	2,65	2,25	0,04	< 2,50	11,75	7,50	2,50	< 0,50	< 2,50
20M	SF	1,40	87,7	5,4	6,9	2	7,5	270,0	13,1	0,7	0,48	8,0	2,33	3,50	0,08	< 2,50	12,75	42,50	2,50	< 0,50	< 2,50
20N	FS	0,49	73,6	15,5	10,9	1	7,2	1165,0	38,3	3,8	1,19	52,8	9,45	11,00	0,48	5,00	47,00	17,50	10,00	0,75	< 2,50
20O	FA	0,87	39,5	30,9	29,6	206	8,4	373,0	60,3	1,2	0,85	10,5	16,57	22,25	0,28	10,00	51,50	42,50	5,00	1,00	2,50
21L	S	1,51	91,8	3,9	4,4	1	6,4	213,0	6,0	0,4	0,10	4,2	0,56	2,25	0,01	< 2,50	18,00	27,50	2,50	< 0,50	< 2,50
21M	S	1,36	94,2	2,7	3,1	1	6,5	145,1	7,2	0,9	0,20	3,4	1,22	2,25	0,04	< 2,50	8,75	15,00	2,50	< 0,50	< 2,50
21N	SF	1,37	84,3	8,0	7,7	1	6,8	188,3	20,3	0,9	0,41	8,9	2,69	4,50	0,08	< 2,50	11,25	5,00	2,50	< 0,50	< 2,50
21O	S	0,89	26,4	45,7	27,8	173	8,1	609,0	21,8	1,0	0,88	27,6	17,35	22,25	0,25	10,00	51,50	22,50	5,00	0,75	< 2,50
22L	S	1,28	90,4	3,6	6,0	1	7,9	1146,0	21,2	0,1	0,14	6,7	0,74	2,00	0,02	< 2,50	6,75	2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
22M	S	1,60	93,7	2,6	3,7	1	5,9	107,9	6,1	0,3	0,05	2,9	1,79	2,25	0,02	< 2,50	5,50	5,00	2,50	< 0,50	< 2,50
22N	S	1,26	90,2	3,2	6,6	1	6,1	388,0	13,5	0,8	0,52	6,3	0,95	2,50	0,06	< 2,50	17,25	10,00	2,50	< 0,50	< 2,50
22O	FA	1,06	28,3	36,6	35,0	240	8,5	469,0	8,5	1,4	1,09	28,4	9,64	17,50	0,28	10,00	48,75	25,00	5,00	1,00	3,25
23I	S	1,61	91,2	2,8	6,0	1	8,1	1035,0	21,2	0,8	0,80	8,0	2,21	2,50	0,04	< 2,50	15,00	5,00	2,50	< 0,50	< 2,50
23L	S	1,49	93,8	2,9	3,3	1	7,1	295,0	9,4	0,7	0,31	3,1	0,97	1,23	0,02	< 2,50	10,50	10,00	0,00	< 0,50	< 2,50
23M	S	1,64	93,1	2,6	4,3	1	6,4	234,0	10,7	0,6	0,25	4,8	1,36	1,75	0,02	< 2,50	9,25	12,50	2,50	< 0,50	< 2,50
23N	S	1,61	92,7	2,4	5,0	1	6,8	190,1	4,3	0,3	0,24	3,4	1,17	1,25	0,06	< 2,50	3,25	5,00	0,00	< 0,50	< 2,50

5.2.1.1 Tabella dei risultati

Campione	Tessitura*	Densità app. (g/cm ³)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Carbonati totali (g/kg)	pH	CE (µS/cm)	CO (g/kg)	N tot (g/kg)	P tot (g/kg)	CSC (meq/100g)	Al (g/kg)	Fe (g/kg)	Mn (g/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
23O	FA	1,41	26,3	41,9	31,8	171	7,8	3050,0	20,2	0,8	0,64	31,6	15,34	21,50	0,28	10,00	46,25	22,50	2,50	0,75	< 2,50
24I	S	1,22	94,0	1,9	4,1	1	6,6	169,6	13,2	0,6	0,54	5,9	2,26	3,75	0,03	< 2,50	15,00	< 2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
24L	S	1,34	92,2	2,4	5,4	1	6,8	237,0	16,3	0,8	0,52	6,3	1,63	3,50	0,04	< 2,50	28,50	2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
24M	S	1,36	92,6	2,1	5,3	1	7,9	249,0	7,9	0,5	0,00	3,4	0,70	2,00	0,03	< 2,50	6,25	< 2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
24N	S	1,29	92,9	3,8	3,3	1	5,5	546,0	9,8	0,5	0,14	4,6	0,84	2,50	0,05	< 2,50	12,00	< 2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
24O	F	1,09	35,7	38,4	25,9	22	7,6	1571,0	35,7	1,7	1,10	44,9	8,80	27,75	0,68	12,50	94,75	7,50	2,50	0,50	2,75
25H	S	1,34	94,3	1,7	4,0	1	7,4	1954,0	15,3	0,6	0,21	4,3	0,71	2,75	0,03	< 2,50	15,25	2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
25I	S	1,41	95,8	1,6	2,7	1	6,6	161,0	9,8	0,9	0,30	5,5	1,60	3,00	0,06	< 2,50	32,00	5,00	2,50	< 0,50	< 2,50
25L	S	1,23	92,7	3,4	3,9	1	6,8	415,0	8,9	0,5	0,19	4,0	0,75	2,50	0,06	< 2,50	27,50	2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
25M	S	1,32	93,3	2,6	4,2	1	6,4	244,0	10,1	0,6	0,04	4,5	0,87	2,00	0,04	< 2,50	22,00	2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
26F	F	1,13	47,1	42,6	10,3	4	7,7	3410,0	23,7	1,1	0,23	27,8	9,89	20,75	0,78	10,00	44,75	5,00	12,50	< 0,50	< 2,50
26I	S	1,49	91,5	3,8	4,6	1	5,7	379,0	6,6	0,4	0,25	3,4	0,69	2,75	0,09	< 2,50	16,50	< 2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
26L	FS	1,42	78,7	6,4	14,9	1	7,4	208,0	8,8	0,6	0,20	9,0	2,19	5,75	0,09	2,50	15,50	2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
26M	SF	1,40	88,3	2,5	9,1	1	6,5	235,0	7,1	0,4	0,30	5,0	1,91	5,25	0,05	< 2,50	13,00	2,50	2,50	< 0,50	2,50
27E	FAS	1,47	65,7	11,4	22,8	1	6,7	123,4	17,1	0,7	0,20	9,4	4,56	24,50	0,11	7,50	29,25	2,50	5,00	< 0,50	< 2,50
27F	FS	1,14	61,4	23,1	15,5	1	6,2	346,0	23,3	1,3	0,27	12,5	6,84	35,25	0,50	12,50	54,25	5,00	12,50	< 0,50	< 2,50
27G	FS	0,72	69,9	22,6	7,5	1	6,2	360,0	60,5	0,0	0,44	30,2	6,01	38,00	0,73	15,00	83,50	7,50	20,00	0,75	4,75
27M	FAS	1,16	57,5	17,7	24,7	1	6,9	677,0	12,0	0,6	0,21	15,8	5,15	14,75	0,58	5,00	36,50	2,50	5,00	< 0,50	2,75
28E	FS	1,01	54,4	32,2	13,4	1	6,5	282,0	38,8	1,4	0,26	20,0	4,25	27,25	0,65	10,00	54,50	5,00	12,50	0,00	6,25
28H	F	1,36	42,7	44,6	12,7	1	7,1	2450,0	27,1	1,2	0,79	17,1	4,55	31,00	0,50	7,50	77,50	7,50	10,00	0,50	3,50
28I	FS	ND	59,1	28,9	12,0	1	6,3	1315,0	22,8	1,2	0,98	12,0	3,74	21,25	0,65	5,00	46,25	5,00	12,50	< 0,50	2,50
28L	FS	1,30	56,7	29,0	14,3	14	7,8	456,0	14,7	1,0	0,64	19,0	6,97	22,00	0,55	5,00	61,25	10,00	20,00	< 0,50	< 2,50
28M	FS	0,93	55,6	31,1	13,3	1	7,1	162,3	11,6	0,4	0,38	19,4	7,42	42,75	1,33	10,00	402,50	50,00	775,00	22,50	11,50
28N	FS	1,07	75,4	14,2	10,4	1	6,3	343,0	7,8	0,4	0,28	10,4	5,46	34,50	1,65	7,50	412,50	37,50	1225,00	31,25	12,75
29E	F	1,15	36,6	43,6	19,8	423	8,2	483,0	15,2	1,0	0,32	22,2	4,04	12,75	0,23	5,00	31,25	5,00	7,50	< 0,50	< 2,50
30A	F	0,94	30,1	47,7	22,1	1	7,3	548	31,0	0,8	1,14	26,9	1,92	6,00	0,06	< 2,50	22,75	2,50	2,50	< 0,50	< 2,50
30B	SF	1,15	85,5	5,8	8,7	1	6,5	110,9	9,6	0,3	0,24	6,2	9,41	41,50	0,73	10,00	85,00	7,50	7,50	0,50	5,25
MIN		0,49	23,9	0,4	0,9	1	5,3	77,9	0,8	0,0	0,00	1,5	0,56	1,23	0,01	< 2,50	3,25	< 2,50	0,00	0,00	< 2,50
MAX		1,64	98,6	66,3	35,0	595	8,5	7870,0	60,5	3,8	2,66	52,8	29,38	79,75	1,65	37,50	412,50	125,00	1225,00	31,25	15,50

5.2.1.1 Tabella dei risultati

Campione	Tessitura*	Densità app. (g/cm ³)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Carbonati totali (g/kg)	pH	CE (µS/cm)	CO (g/kg)	N tot (g/kg)	P tot (g/kg)	CSC (meq/100g)	Al (g/kg)	Fe (g/kg)	Mn (g/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
MEDIA		1,22	70,9	18,6	10,5	129	7,3	554,1	17,5	0,8	0,53	14,6	8,27	14,15	0,31	9,06	33,81	13,25	24,96	1,14	4,58
MEDIANA		1,22	74,1	16,1	8,5	5	7,5	316,5	15,3	0,8	0,46	14,3	6,88	10,38	0,23	7,50	21,25	10,00	7,50	0,50	2,88
DEV.STAND.		0,21	21,0	15,3	7,6	177	0,8	879,8	11,8	0,5	0,40	9,8	6,78	12,89	0,28	6,96	53,98	16,51	134,37	3,51	2,99
ERR.STAND.		0,02	1,97	1,4	0,7	17	0,1	82,4	1,1	0,0	0,04	0,9	0,64	1,21	0,03	0,65	5,06	1,55	12,58	0,33	0,28
MAD		0,15	16,6	12,4	4,0	4	0,6	128,9	5,9	0,3	0,26	7,3	4,54	7,00	0,16	5,00	10,00	5,00	5,00	0,00	0,40
CV%		17,26	29,66	82,4	72,5	138	11,2	158,8	67,4	58,6	75,46	67,3	82,05	91,05	90,40	76,80	159,66	124,64	538,41	309,22	65,24
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 5.7. 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

5.2.1.2 Descrizione dei suoli prevalenti

I 114 campioni sono stati prelevati su numerosi tipi di suolo, il panorama pedologico dell'area è infatti estremamente vario e complesso. Le tipologie prevalenti ricadono negli ordini degli Alfisuoli e degli Entisuoli (Soil Survey Staff, 2014).

Si è campionato prevalentemente nei **Typic, Aquic ed Ultic Palexeralfs** (30 campioni) della bonifica di Arborea. Questi Alfisuoli costituiscono la tipologia di suolo più rappresentata di tutta l'area di studio in quanto occupano circa il 20% (82,65 km²). Gran parte della Piana di Arborea è occupata infatti da sabbie di probabile origine eolica di età Wurmiana (Pleistocene), ricoprenti le alluvioni antiche terrazzate e medie.

Ben rappresentati dal campionamento (con circa una ventina di campioni) sono i suoli su calcari organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene del Sinis (sia **Typic e Lithic Xerorthents; Typic e Lithic Xerochrepts; Typic Rhodoxeralfs** che **Litic e Typic Xerorthents; Litic e Typic Rhodoxeralfs**) che occupano il 13% dell'area (54,62 km²).

Una ventina di campioni sono stati prelevati anche sui suoli dei depositi alluvionali olocenici nell'area dell'ex stagno di Sassu, negli stagni bonificati (**Typic e Vertic Fluvaquents**) e nella Piana del Tirso (**Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents**) Questi suoli rappresentano il 12% del territorio studiato (50,45 km²).

Per quanto riguarda i Fluvaquents, quando nella frazione argillosa cominciano a prevalere i minerali a reticolo espandibile, sono frequenti i termini di passaggio all'ordine dei Vertisuoli nelle parti meno idromorfe dell'ex stagno di Sassu, degli stagni prosciugati e lungo il Rio Mogoro, su sedimenti recenti fini o molto fini caratterizzati da un contenuto elevato di minerali argillosi a reticolo espandibile (in prevalenza montmorillonite).

Gli Xerofluvents della Piana del Tirso, invece, sono suoli originatisi sui depositi alluvionali recenti e occupano ampie superfici in prossimità della foce e lungo la parte finale del fiume Tirso. L'origine di tali depositi è legata alla diversità della composizione mineralogica del bacino idrografico. La tessitura è molto varia: si passa infatti da classi sabbioso-franche a franco-argillose, talvolta con caratteri vertici ben evidenti. Si rinvengono spesso piccoli depositi di materiale argilloso molto plastico, di origine palustre, indizio della presenza di antichi stagni prosciugati.

Una decina di campioni appartengono poi ai **Typic ed Aquic Xeropsamments** che rappresentano il 12% (49,32 km²) della superficie totale. Si tratta degli Entisuoli delle sabbie eoliche dell'Olocene (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.

5.2.1.3 Principali caratteristiche chimico-fisiche dei suoli

Nei campioni analizzati vi è un maggiore contenuto di sabbia (74,1 %) rispetto argilla (8,5%) e limo (16,1%). La **tessitura** varia considerevolmente, si passa dalla tessitura 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 occorrenze) e la sabbiosa (31 occorrenze). La maggior parte dei campioni (90%) proviene infatti da depositi quaternari. Quelle meno rappresentate invece sono la franco-argillosa (5 occorrenze), la franco-limosa e la franco-argilloso-sabbiosa (entrambe con 3 occorrenze), che appartengono prevalentemente ai campioni prelevati nei depositi limosi e argillosi nelle vicinanze delle lagune e degli stagni costieri e nella Piana, oggi del tutto bonificata, dove ricadeva lo Stagno di Sassu.

La **densità apparente** varia da 0,92 a 1,52 g/cm³. Questo parametro può cambiare sensibilmente in relazione alla tessitura, generalmente i valori più bassi sono stati rilevati nei suoli argillosi e limosi e quelli più alti nei suoli sabbiosi.

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. Si passa dai valori di pH più bassi delle alluvioni della Piana di Arborea (Palexeralfs, a prevalente componente quarzosa in cui sono generalmente assenti i carbonati) ai valori più alti di pH dei suoli calcari miocenici del Sinis (in cui sono sempre presenti carbonati in quantità più o meno elevata) e ai sedimenti alluvionali recenti dell'ex Stagno di Sassu. Questi ultimi appartengono al grande gruppo dei Fluvaquents, che presentano una tessitura fine da franco limosa ad argillosa, per cui, di norma, hanno un pH da subalcalino ad alcalino.

Il valore minimo di pH (5,3) è stato trovato in due campioni, uno sotto la pineta di S'Ena Arrubia e l'altro in un campione sui depositi alluvionali a nord di S'Ena Arrubia; il valore

massimo (8,5) appartiene ad un campione prelevato nell'area dell'ex stagno di Sassu.

Il contenuto di **carbonati totali** è in genere abbastanza modesto (0-13 g/kg con mediana di 5 g/kg). Tale range rientra in quello proprio dei suoli non calcarei (Boero, 2000).

La variabilità dovuta al materiale parentale si riflette in particolar modo sui dati relativi alla percentuale di carbonati. Il contenuto di CaCO_3 è infatti strettamente correlato alla natura carbonatica dei suoli e quindi può variare nettamente in base al substrato geologico. I valori più alti di CaCO_3 si hanno 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, è stato trovato nella formazione carbonatica miocenica (Calcari di Torre del Sevo) affiorante nel Sinis occidentale. I valori più bassi (<1 g/kg) sono stati trovati, 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 studiata.

Il range della **conducibilità elettrica** (CE) è pari a 58,8-574,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con mediana di 316,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nell'area indagata vi è un solo campione che individua un suolo salino, avendo una CE pari a 7870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (si ricorda che un suolo viene definito salino quando contiene un eccesso di sali solubili ($\text{CE} > 4000 \mu\text{S}/\text{cm}$); 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$) si trovano nei suoli che sono stati campionati nelle vicinanze di paludi o stagni (Salorthids). È noto, infatti, che in prossimità degli stagni i suoli mancano di capacità di drenaggio, ciò li porta all'accumulo di sali solubili (particolarmente di sodio). Nelle aree dell'ex Stagno di Sassu la CE raggiunge anche i 3050 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ³⁹. Tale valore non definisce comunque i suoli dell'ex Sassu come salini.

Si mette in evidenza inoltre che alti valori di CE (1300-2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Un aumento dei sali nel suolo può essere causato da fattori antropici come l'eccessivo uso di fertilizzanti e l'irrigazione. Le risorse idriche utilizzate a scopi irrigui nell'area di studio

³⁹ Secondo alcuni linguisti il toponimo *sassu* significa appunto "salso" (Dedola, 2012), come verrà meglio riportato nel Capitolo 6.

sono, 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), 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, con valore mediano di 15,3 g/kg). In alcuni campioni prelevati nella penisola del Sinis, in aree attualmente non coltivate (Typic e Lithic Xerorthents; Typic e Lithic Xerochrepts; Typic Rhodoxeralfs) si registrano valori abbastanza alti di CO (dai 30 ai 55 g/kg corrispondenti ad un contenuto di SO pari al 5,5-9,5 %). A questi valori corrispondono anche alti apporti di azoto totale (1,1-2,2 g/kg) e in alcuni casi anche di fosforo totale (1,28-2,09 g/kg).

Nell'area dell'ex Sassu, quindi sui Fluvaquents limoso-argillosi, si registrano valori di CO attorno ai 20 g/kg ma possono raggiungere anche i 60,3 g/kg (SO 3-10%). Il fattore che maggiormente influisce sul contenuto di sostanza organica del suolo, infatti, è rappresentato dalla frazione argillosa che esercita un'azione di protezione sia chimica che fisica nei confronti dei costituenti organici parzialmente decomposti e di quelli labili, rallentandone la decomposizione (Sequi e De Nobilis, 2000). Nei Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents dei depositi alluvionali del Tirso i valori di CO sono attorno ai 20-30 g/kg (SO 3-5%).

Il valore in assoluto più alto (60,5 g/kg e SO pari al 10,4%) appartiene ad un campione prelevato sotto macchia mediterranea in territorio di Arbus. Questo dato non stupisce visto che la concentrazione di sostanza organica rinvenibile nei suoli naturali (come verrà specificato meglio nella II parte - par. 5.3) è in genere molto elevata.

Suoli molto poveri di SO (<1%), con un contenuto di CO compreso tra 0,8 e 3,6 g/kg, si trovano sui Xeropsamments delle sabbie eoliche oloceniche del Sinis settentrionale.

I Palexeralfs della Piana di Arborea sono suoli non particolarmente dotati di SO (1-3%), con contenuti di CO compresi in un range di 10-30 g/kg. Solo un campione si discosta da questo range in quanto mostra un valore di CO di 38,3 g/kg (SO 6,6%). Questo campione corrisponde ad un eucalitteto e mostra anche il contenuto di azoto totale il più alto di tutta l'area di studio (3,8 g/kg) e un valore molto alto di fosforo totale (1,19 g/kg). Come evidenziato nel paragrafo 5.2 della presente tesi, i suoli sotto Eucalyptus hanno tenori di

carbonio e sostanze nutritive maggiori rispetto ai suoli sotto altri usi, come i terreni agricoli o le pinete.

Il CO si correla significativamente e positivamente con Ni ($r=0,410^{***}$), Zn ($r=0,484^{***}$), Pb ($r=0,383^{***}$), Al ($r=0,470^{***}$), Fe ($0,450^{***}$) e Mn ($0,378^{***}$).

La correlazione CO-metalli conferma che la sostanza organica, con particolare riferimento a quella maggiormente umificata, può complessare i metalli. Infatti è presumibile che un alto grado di umificazione dei suoli indagati possa essere stato favorito dalla natura dei suoli, prevalentemente di carattere alluvionale. Questi suoli possiedono infatti un adeguato contenuto di umidità lungo tutto il profilo durante tutto l'anno. Tali condizioni ostacolano i processi di mineralizzazione (dunque la perdita netta di sostanza organica), così che la materia organica presente negli orizzonti di superficie consista per lo più in frazione organica ben umificata, con conseguente e apprezzabile aumento della capacità di adsorbimento (Capra et al., 2014).

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 con mediana di 0,8 g/kg. Solo 25 campioni sui 114 totali hanno una dotazione di N >1 g/kg 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) (Benedetti et al., 2000).

La maggior parte di questi 25 campioni ha tessitura sabbiosa mentre solo due (nell'area dell'ex Sassu) hanno tessitura argillosa. Quindi non si registra nel nostro caso una correlazione tra contenuti maggiori di azoto e componente argillosa che dovrebbe favorire l'adsorbimento dell'azoto da parte del terreno, in conseguenza anche del minore drenaggio delle acque verso le falde. Di questi campioni, inoltre, solo uno si trova nella zona della Bonifica di Arborea. Si tratta del già citato campione prelevato sotto fascia frangivento ad Eucalyptus, che mostra il valore più alto in assoluto di N (3,8 g/kg).

I dati confermano il fatto che il contenuto di N nel suolo è un parametro che generalmente segue l'andamento del contenuto della SO. Ai valori più alti di N corrisponde infatti un alto contenuto di CO ($r=0,707^{***}$).

Gli apporti di azoto al suolo, inoltre, possono verificarsi per intervento intenzionale dell'uomo attraverso la somministrazione di concimi azotati quali solfato di ammonio, cloruro di ammonio, urea, nitrato di ammonio.

Si ricorda a tal proposito che nell'area di studio, in territorio di Arborea, è stata individuata una Zona Vulnerabile da Nitrati di origine agricola (ZVN)⁴⁰.

Lo stato delle conoscenze della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, della qualità delle acque sotterranee con presenza di nitrati superiori a 50 mg/L, della presenza di allevamenti a carattere intensivo pari a circa 36000 capi bovini (la zootecnia di Arborea è infatti considerata il fiore all'occhiello della realtà agricola sarda) e il connesso sistema di smaltimento sul terreno della totalità degli effluenti zootecnici e dei reflui domestici delle aziende zootecniche, sono stati i motivi principali che hanno portato alla designazione della ZVN in una parte del territorio del comune di Arborea. Tale area corrisponde a circa 55 km² ed è delimitata a nord dallo Stagno di S'Ena Arrubia, a est dal canale delle acque medie, a sud dal Rio Mogoro e dallo Stagno di S.Giovanni e a ovest dal mare e dal sistema di lagune costiere.

Come è riportato nel Programma d'azione per la ZVN di Arborea (ARPAS, 2008), nella zona di Arborea le specie graminacee in doppia coltura sono particolarmente esigenti di azoto, e per questo si fa ricorso all'utilizzo agronomico degli effluenti zootecnici. Il ricorso alla concimazione chimica è praticato come integrazione alla fertilizzazione organica.

Le tipologie di concimi impiegati e le modalità di distribuzione variano a seconda della stagione e della situazione pedologica: i concimi azotati nitrici e nitroammoniacali, spesso a lenta cessione, sono impiegati nel periodo invernale mentre i concimi ammoniacali nel periodo primaverile estivo. Inoltre nei suoli sabbiosi le concimazioni azotate sono frazionate in più interventi e sono maggiori gli apporti di potassio, mentre nei terreni argillosi è minore il frazionamento dell'azoto e maggiore l'apporto di concimi fosfatici (ARPAS, 2008).

Visti i bassi valori generali di N determinati nella presente ricerca (e negli studi pregressi previsti per la ZVN), però, l'azoto proveniente dalle concimazioni minerali e dalle letamazioni non sembra accumularsi nei suoli, disperdendosi evidentemente verso la falda acquifera (ARPAS, 2008).

⁴⁰ L'Allegato 7/A-I del D.Lgs. 152/99, nello stabilire i criteri per l'individuazione delle Zone Vulnerabili, definisce come tali "le zone di territorio che scaricano direttamente o indirettamente composti azotati in acque già inquinate o che potrebbero esserlo in conseguenza di tali scarichi".

Si può ipotizzare che l'apporto di N venga tamponato dall'assorbimento da parte della coltura presente al momento della fertilizzazione.

I valori di **fosforo totale** (P) mostrano un range di 0,00- 0,99 g/kg con mediana di 0,46 g/kg 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 2,66 g/kg 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 0,0 a 28,9 meq/100g con valore mediano di 14,3 meq/100g. La CSC è elevata (> 20 meq/100g, Gessa e Ciavatta, 2000) in 28 campioni su 114, coerentemente con l'elevato contenuto di argilla e limo e con il contenuto relativamente buono di sostanza organica. È stata trovata infatti una correlazione significativa e positiva tra la CSC e limo ($r=0,823^{***}$), argilla ($r=0,706^{***}$) e CO ($r=0,742^{***}$).

Non stupisce quindi che la CSC raggiunga i valori più alti (con un valore massimo di 52,8 meq/100g) nell'area dell'ex Stagno di Sassu, cioè in suoli argillosi ben dotati di colloidi 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 sono stati determinati nei Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents della piana alluvionale del Tirso. Le alluvioni 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. 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 si ha nei Xeropsamments (sabbie eoliche dell'Olocene); nei Palexeralfs (Piana di Arborea) è compresa tra 4 e 10 meq/100g ed è comunque considerata una bassa capacità di scambio cationico. Ciò dimostra come il suolo sabbioso sia un pessimo scambiatore. Infatti la correlazione tra sabbia e CSC è significativa e negativa ($r=-0,785^{***}$).

Più la CSC è elevata più il suolo ha la capacità di trattenere i cationi, tra cui i metalli. Si ricorda che le particelle della frazione solida del terreno di dimensioni inferiori a 1 μ hanno proprietà colloidali e si comportano come colloidali idrofili. In particolare l'humus e i minerali argillosi si comportano come colloidali elettronegativi, pertanto portano cariche elettriche negative sulla loro superficie. Queste cariche sono neutralizzate dagli ioni idrogeno e dagli idrossidi di ferro e alluminio in condizioni di carenza di basi (terreni fortemente acidi), mentre in condizioni ordinarie sono neutralizzate, almeno in parte, da cationi metallici detti basi di scambio.

Ciò è confermato dal presente studio in quanto la CSC si correla positivamente e significativamente con tutti i metalli (Al, Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, Pb con r compreso tra 0,450 e 0,769) ad eccezione di Cd e As. Ciò è presumibilmente dovuto all'influenza esercitata dalla sostanza organica del suolo a cui la CSC è strettamente correlata.

Il **Fe** mostra un range di 0-24,38 g/kg (mediana 10,38 g/kg) e il **Mn** di 0-0,54 g/kg (mediana 0,23 g/kg). 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 e 9 g/kg, Angelone e Bini, 1992) e sono quindi probabilmente legati alla natura del substrato.

I valori più alti di Fe (superiori a 30 g/kg, con un valore massimo 79,75 g/kg) 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 34,50 e 42,75 g/kg). Anche i valori più alti di Mn si trovano in questi due campioni (1,65 e 1,33 g/kg). Come verrà specificato meglio nel prossimo paragrafo, l'origine di questi elementi è presumibilmente di tipo antropico; il Sitzerri infatti drena le acque dell'area mineraria dismessa di Montevicchio 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 Sitzzerri) presentano il 5,6-8,7 % di Fe e il 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 0-15,95 g/kg (mediana 6,88) ed è presumibilmente ereditato dal substrato pedogenetico. Nei due campioni in prossimità del Sitzzerri l'Al è pari a 5,46 e 7,42 g/kg, quindi non è particolarmente elevato considerato che il valore massimo è di 29,38 g/kg 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. Infatti nella frazione più fine sono abbondanti gli ossidi e idrossidi di Al (e Fe). A conferma di ciò, la correlazione tra Al e frazione fine è significativa e positiva (limo $r=0,786^{***}$, argilla $r=0,573^{***}$), così come quella tra Fe e frazione fine (limo $r=0,798$, argilla $r=0,599$).

Nei suoli calcarei del Sinis in genere l'Al si trova in concentrazioni comprese tra 10 e 20 g/kg. 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 CaCO_3 come impurità.

Data la correlazione significativa esistente tra Al e tutti i metalli analizzati (ad eccezione del Cd), si può ipotizzare la formazione di alcuni alluminosilicati, come quelli di zinco (hydrozincite, hemimorphite) o piombo (esperite), la cui effettiva presenza potrà essere verificata con successivi sviluppi della presente ricerca, in particolare con le analisi mineralogiche dei suoli.

5.2.1.4 Potentially Toxic Elements (PTEs)

L'area di studio è caratterizzata, da una parte, dalla presenza di un articolato quanto delicato sistema ambientale e, dall'altra, da un contesto produttivo storicamente ed economicamente rilevante dal punto di vista agricolo e zootecnico, con elevata vulnerabilità rispetto a fenomeni di potenziale inquinamento dei suoli da PTEs derivati dall'attività antropica. Le principali fonti di inquinamento potenziale dell'area sono ascrivibili principalmente agli apporti dovuti alle attività agricole e zootecniche (fertilizzanti, ammendanti, pesticidi, acque reflue, fanghi di depurazione) nonché a forme di contaminazione quali discariche, siti industriali e minerari in opera o dismessi, traffico etc.

Nonostante le numerose fonti di inquinamento potenziale presenti nell'area, però, si rileva con chiarezza che i PTEs indagati presentano valori (considerati come mediana $\pm 2MAD$) comparabili ovvero abbondantemente inferiori ai livelli geochimici della Sardegna (De Vivo et al., 1997, 1998) e dell'Europa (Salminen et al., 2005) ed ai valori medi e ai range di variazione riportati in letteratura per i suoli mondiali (Kabata-Pendias, 2011) ed italiani (Angelone e Bini, 1992) (tabella 5.8).

Inoltre, i livelli dei PTEs (mediana $\pm 2MAD$) sono al di sotto dei limiti di legge imposti dalla normativa italiana (D. Lgs. 152/2006).

Appare anche importante osservare che nell'area di studio i PTEs indagati mostrano solo una particolare area di concentrazione (nella parte meridionale dell'area di studio, lungo il tratto terminale del Rio Sitzerri), facendo dunque ipotizzare che nel territorio indagato esista una contaminazione puntuale assolutamente circoscritta e non certamente diffusa.

A proposito di tale area di contaminazione limitata, la Piana del Rio Sitzerri è considerata in Sardegna una delle aree più inquinate poste a valle di una importante miniera metallifera abbandonata (Di Gregorio, 1972; Aru et al., 1995; Cidu, 2011; Vacca et al., 2012); tale torrente è perciò riconosciuto all'interno del Sito di Interesse Nazionale di bonifica del Sulcis-Iglesiente-Guspinese (D.M. 468/01). Il Rio Sitzerri (Rio Montevecchio a monte), infatti, ha trasportato nel tempo sino allo Stagno di S. Giovanni e Marceddi le acque di drenaggio contaminate da metalli pesanti e da residui solidi di fanghi di lavorazione derivanti dalle miniere ormai dimesse di Montevecchio.

L'attività estrattiva del distretto piombo-zincifero di Montevecchio (avviata nel 1848 e chiusa definitivamente nel 1991) ha rappresentato una fonte di Pb, Zn ed altri metalli (Ag,

Cd, Cu, Sb, Bi) di assoluta rilevanza non solo regionale, ma anche a livello nazionale ed europeo, i cui problemi ambientali sono noti e studiati da tempo (Di Gregorio e Mascia, 1988; Di Gregorio e Massoli-Novelli, 1992; Da Pelo, 1998; Caboi et al., 1999; Fanfani et al., 2000; Biddau et al., 2001; Cidu e Fanfani, 2002). La mineralogia primaria dei corpi minerari comprende galena e blenda quali minerali utili principali, accompagnati da quantità subordinate di pirite, pirrotina, barite, calcopirite, arsenopirite. La produzione negli anni '50-'60 arrivò a circa 500.000 tonn/anno di minerale.

Gli apporti di origine mineraria, sia liquidi che solidi, che confluirono nel Rio Sitzerri durante il periodo di attività dell'imponente complesso minerario furono particolarmente ingenti. Ma anche attualmente, seppur con minore intensità, le acque continuano a trasferire sostanze inquinanti verso la valle del Rio Sitzerri e il sistema lagunare, attraverso il drenaggio acido, sia superficiale che sotterraneo, delle discariche dei residui di lavorazione, delle gallerie minerarie abbandonate e della base della diga di Levante.

Il carico di metalli viene veicolato attraverso ioni in soluzione (il basso pH delle acque, tipicamente intorno 4, può portare in soluzione i contaminanti metallici, Caboi et al., 1999) e attraverso il trasporto di sedimenti contaminati che durante i periodi di piena andavano ad accumularsi sulle sponde, ora arginate, del Rio Sitzerri.

Come si può leggere nel Piano di Bonifica delle aree minerarie dismesse del Sulcis-Iglesiente-Guspinese della Regione Sardegna (RAS, 2008), i residui di trattamento mineralurgico sono stati principalmente smaltiti nel grande bacino di decantazione di Levante, che attualmente ospita circa 4,3 milioni di metri cubi di fanghi. Prima della costruzione della diga di decantazione (avvenuta dopo il 1955, quando con legge regionale venne disciplinato lo smaltimento), invece, gli sterili venivano direttamente scaricati nel Rio Montevecchio (Di Gregorio e Massoli-Novelli, 1992).

Nel 1936 intense precipitazioni provocarono il crollo di una diga e l'allagamento con materiali tossici della piana intorno al Rio Sitzerri (Aru et al., 1995). Gli sversamenti più consistenti di residui minerari nel Rio Sitzerri sono avvenuti tra il 1920 e il 1950, a causa di alluvioni e della normale pratica mineraria di apertura del bacino di decantazione.

La periodica apertura della diga, o la cattiva gestione della stessa, ha fatto sì che i residui minerari si riversassero nell'alveo del Rio Sitzerri e fossero così trasportati sino alla foce nello Stagno di S. Giovanni e Marceddi, per almeno 16 chilometri dal bacino di sterili di Levante, con accumuli anche di notevole estensione nella piana alluvionale del Sitzerri

(circa 400 ettari, Vacca et al., 2012).

Non sono però disponibili molti dati riguardo le concentrazioni di metalli pesanti nei suoli della piana del Rio Sitzerri. Il recente studio di Vacca et al. (2012) riporta che i suoli situati nelle aree in prossimità del torrente, inondate e coperte da materiali provenienti dalla miniera, sono caratterizzati dalla presenza di orizzonti sepolti e sono contaminati principalmente da Zn, Ni, Pb, e Cd e, in una certa misura, da Cr e Cu. Attualmente l'entità del fenomeno di contaminazione geochimico-mineraria in quest'area non è adeguatamente definita e richiederebbe ulteriori studi di dettaglio.

La maggiore fonte di contaminanti trasportati dal Rio Sitzerri è l'area del bacino degli scarti di lavorazione di Piccalinna, in cui si ritrovano notevoli quantità di materiali fini (*flotation tailings* con granulometria < 63 mm, Vacca et al., 2012). I principali contaminanti nei residui minerari e nei suoli sono Pb, Zn, Cd e subordinatamente Cu (Da Pelo et al., 1996; Fanfani et al., 2000; RAS, 2008), mentre nelle acque sono Cd, Ni, Pb, Zn, Cu, Co e solfati (RAS, 2008; Cidu et al., 2011).

La dispersione dei fini di trattamento ha determinato uno stato di desertificazione delle piane agricole a valle del bacino di Levante, con compromissione della qualità dei suoli nonché delle attività produttive agricole e zootecniche, ed una forte contaminazione dei sedimenti dello Stagno di S. Giovanni e Marceddì (1022 mg/kg di Zn, 62,4 mg/kg di Pb e 5,8 mg/kg di Cd nella frazione solida < 4 µm, Magni et al., 2006), dove sono anche presenti peschiere ed allevamenti di mitili (RAS, 2008).



Figura 5.20. Piana del Rio Sitzerri contaminata dai residui minerali provenienti dall'area mineraria dismessa di Montevocchio.

PTE	Valori area di studio(mg/kg)				Limiti D.Lgs. 152/2006		Bibliografia				
	Range (mediana $\pm 2MAD$)	Mediana	Media	Range (Min- Max)	A	B	Media mondiale	Media italiana	LG europei		LG Sardegna
									T	FS	
Pb	0-17,50	7,50	24,96	0- 1225,00	100	100	27 3-90	21	22,6	22,0	48 2-10362
Zn	1,25-41,25	21,25	33,81	3,25- 412,50	150	1500	70 31-100	86	52,0	65,0	127 1-9120
Cu	0-20,00	10,00	13,25	<2,50- 125,00	120	600	38,9 3-140	51	13,0	17,0	31 1-4325
Cd	0,50	0,50	1,14	0-31,25	2	15	0,41 0,01-2,5	0,53	0,145	0,30	ND
Ni	0-17,50	7,50	9,06	<2,50- 37,50	120	500	29 4-92	46	18,0	18,0	31 1-575
As	2,08-3,68	2,88	4,58	<2,50- 15,50	20	50	6,83 <0,1-67	ND	7,03	6,0	<5 - >50

Tabella 5.8. Comparazione tra valori rilevati nell'area di studio espressi in mg/kg (mediana $\pm 2MAD$; mediana, media, range, min-max), limiti di legge (D. Lgs. 152/2006), valori medi riportati in bibliografia per i suoli a livello mondiale (Kabata-Pendias, 2011) e a livello italiano (Angelone e Bini, 1992), valori mediani dei livelli geochimici (LG) europei (Salminen et al., 2005) e i valori mediani e i range dei livelli geochimici della Sardegna (De Vivo et al., 1997, 1998). *ND* = non disponibili. *A*=siti a verde pubblico, privato e residenziale. *B*= siti ad uso commerciale e industriale. *T*= topsoil. *FS*= floodplain sediments.

Gli istogrammi e i grafici di probabilità sono molto utili nella stima approssimativa della distribuzione degli elementi (Reimann e Filzmoser, 2000). Gli istogrammi realizzati mostrano chiaramente che tutti i PTEs indagati hanno una distribuzione asimmetrica, come si può notare anche dall'elevato coefficiente di asimmetria (*skewness*).

Inoltre, l'applicazione del test di Kolmogorov-Smirnov mostra che i PTEs non sono normalmente distribuiti (tabella). In queste condizioni, la mediana $\pm 2\text{MAD}$ fornisce valori più realistici per la posizione e la distribuzione dei dati (Reimann e Filzmoser, 2000).

Per determinare se un suolo è contaminato da apporti antropici è importante conoscere i valori di fondo dell'area (*background*)⁴¹. Attraverso questi valori è possibile giudicare se un'area presenta o meno tenori in determinati elementi che superano una *soglia*, cioè la concentrazione al di sopra della quale il campione è considerato anomalo.

Nel presente studio i livelli geochimici presi come riferimento per determinare se i campioni di suolo sono contaminati sono quelli riportati da De Vivo et al. (1997, 1998).

Se si considerano i range degli elementi (mediana $\pm 2\text{MAD}$), Pb (0-17,50 mg/kg), Zn (1,25-41,25 mg/kg), Cu (0-20,00 mg/kg), Ni (0-17,50 mg/kg), As (2,08-3,68 mg/kg) appaiono conformi ai livelli di background dell'area e, in generale, agli altri valori presenti in bibliografia e ai limiti imposti dal D. Lgs. 152/2006 (tabella 5.8).

La mediana (0,50 mg/kg) e la media (1,14 mg/kg) del Cd dei 114 campioni indagati non superano i limiti fissati dalla legge; tuttavia superano la media mondiale e quella italiana nonché i livelli geochimici europei. Non sono però confrontabili con il livello geochimico della Sardegna in quanto per questo elemento tale valore non è stato trovato in bibliografia. Anche se si prende in considerazione la media del Pb (24,96 mg/kg), si nota che essa supera, anche se di poco, la media mondiale e i livelli geochimici europei ma è conforme ai livelli geochimici della Sardegna.

Se però si considerano le concentrazioni maggiori rilevate per alcuni metalli (Cd, Pb, Zn, Cu), appare evidente che esse superano i limiti di legge per alcuni campioni, come verrà spiegato più dettagliatamente di seguito.

⁴¹ Nella letteratura anglosassone oltre al termine *background*, per definire il tenore di fondo, viene riportato anche il termine *baseline*. Per non generare confusione è bene specificare che con il termine *background* si intende la concentrazione naturale degli elementi nell'ambiente (tenore di fondo naturale); con il termine *baseline* si intende la concentrazione di elementi misurata attualmente in un determinato sito, comprendendo quindi anche la presenza di elementi di origine antropica (tenore di fondo attuale) (Salminen e Gregorauskiene, 2000).

Cadmio

Osservando il normal probability plot del Cd (figura 5.21), si nota che questo elemento presenta una prima sub-popolazione con i valori compresi tra 0 e 1,50 mg/kg e una seconda con i valori superiori a 22 mg/kg. I valori della seconda sub-popolazione sono abbondantemente oltre i limiti di legge e appartengono solo a due campioni prelevati in prossimità della foce del Rio Sitzzerri (22,50 e 31,25 mg/kg) che drena il settore minerario di Montevicchio. Essendo in natura comunemente associato a Zn e Pb (Costantini et al., 2004), l'estrazione e la lavorazione di questi metalli conduce spesso a contaminazione ambientale da Cd. La correlazione tra Cd e Pb è infatti significativa ($r=0,465^{***}$). Inoltre il Cd si correla, anche se in maniera meno forte, anche con il Cu ($r=0,372^{***}$), che spesso si combina con il Pb.

Ad esclusione di questi due punti, nell'area di studio, caratterizzata in gran parte da suoli di origine alluvionale, l'arricchimento di Cd potrebbe essere di natura geogenica. Infatti, Kabata-Pendias (2011), da un confronto tra diverse tipologie di suolo presenti in tutto il mondo, ha evidenziato che i valori di Cd più alti si rilevano in suoli di origine alluvionale. I suoli alluvionali sono generalmente inclini a mostrare incrementi nelle concentrazioni di Cd, così come di altri PTEs, poiché risultano, per la loro stessa natura, scarsamente lisciviati (Capra et. al, 2014). Inoltre, la loro genesi ed evoluzione è fortemente influenzata dalla presenza di processi deposizionali irregolari di diversi tipi di materiali (con differenti concentrazioni di PTEs) provenienti da tutto il bacino idrografico.

Pertanto, nei campioni prelevati sui suoli sviluppatasi sui depositi di piana alluvionale del Tirso i valori di Cd variano da 0,50 a 1 mg/kg.

Alti valori di Cd (compresi tra 0,50 e 1,50 mg/kg) sono stati rilevati anche nei suoli calcarei del Sinis. La ritenzione del Cd è infatti maggiore nei suoli su calcari, dove può essere immobilizzato a causa dell'elevato contenuto di carbonati (Baize, 1997; Baize e Tercé, 2002; Sartori et al, 2004; Kirkham, 2006; Bini et al. 2011; De Santiago-Martín et al., 2013). In tali litotipi il cadmio è contenuto quasi esclusivamente nella struttura dei carbonati, dove sostituisce il calcio (Baize, 1997). Nei suoli indagati, dunque, probabilmente il Cd precipita in forme secondarie come carbonato (Otavite, CdCO_3).

Nei depositi palustri dello Stagno di Cabras (ad alto contenuto sia di sostanza organica che di limi ed argille) il Cd raggiunge i 1,25 mg/kg. Nei suoli dell'ex Stagno di Sassu, che presentano una tessitura franco-limosa e argillosa e un buon contenuto di sostanza organica

e carbonati totali, il Cd è generalmente compreso tra 0,75 e 1 mg/kg. Il Cd nei suoli, infatti, è per lo più associato ai colloidali e fortemente assorbito dalla materia organica presente al suolo (Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007). 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.

Non è comunque da escludere il fattore antropico legato al massiccio uso nei suoli agricoli di sostanze contenenti metalli pesanti utilizzate per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione. (WHO, 1992; Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007), che può aver influenzato la distribuzione di Cd nell'area investigata.

I fertilizzanti fosfatici sono in genere ricchi di Cd (concentrazioni variabili comprese tra 0,08 e 97,50 g Cd / t P₂O₅, Lugon-Moulin et al., 2006; Sheppard et al., 2009) e aumentano sensibilmente il contenuto di questo elemento nei suoli agricoli. Si rileva in letteratura un apporto medio nel suolo di 75 mg Cd per kg di P (Pietrini et al., 2003; Nziguheba et al., 2008).

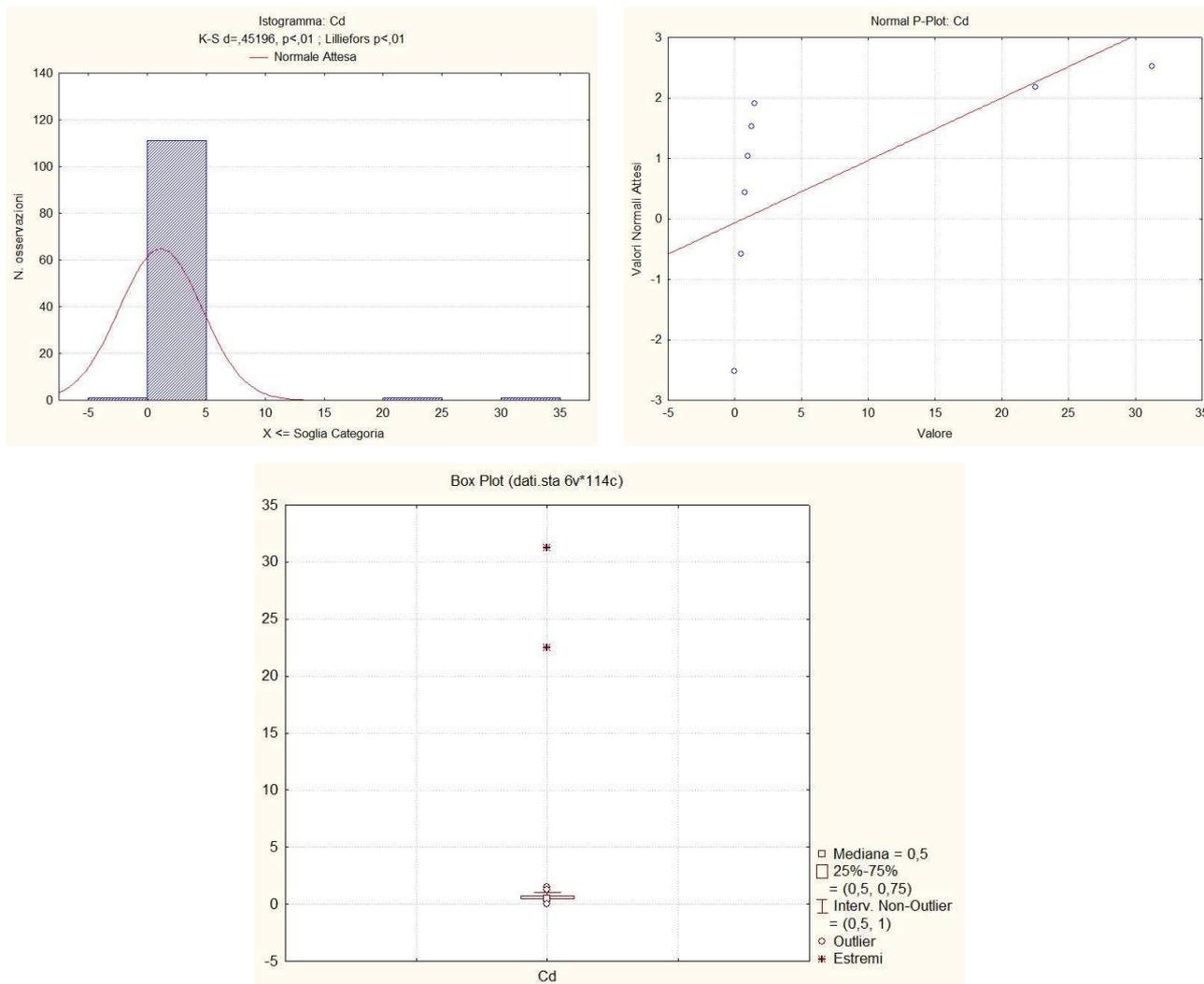


Figura 5.21. Rappresentazione grafica del contenuto di Cd (dati grezzi non normalizzati) attraverso EDA diagrams (istogrammi, normal probability plot e box-plot).

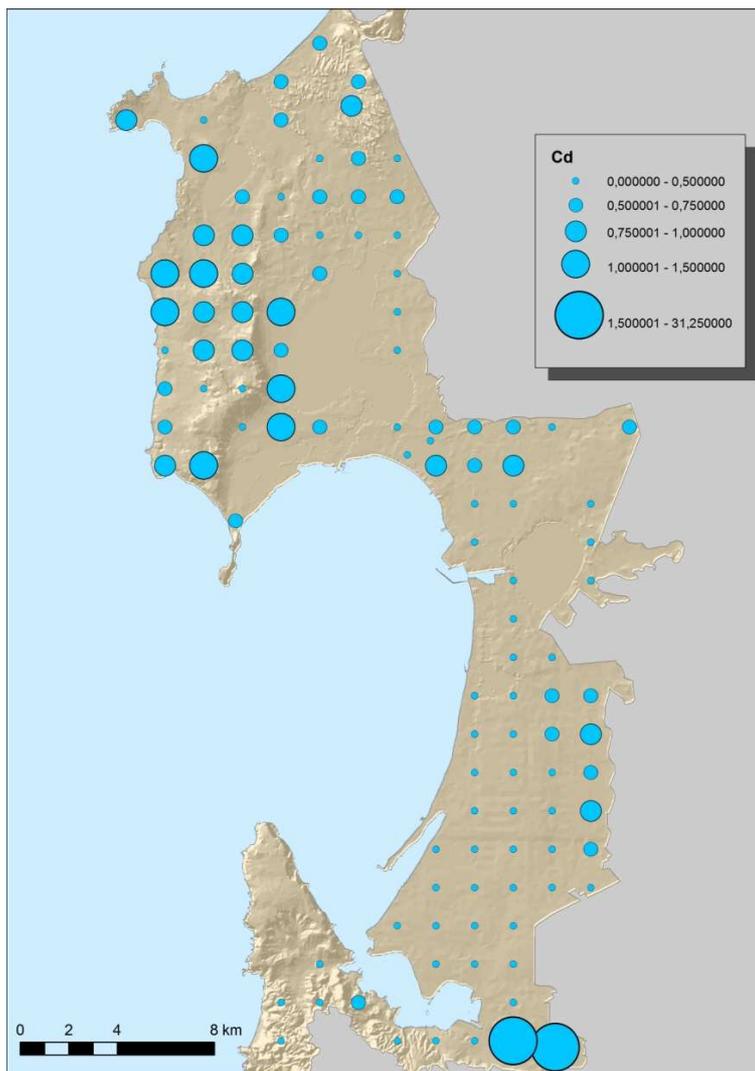


Figura 5.22. Carta della distribuzione puntuale della concentrazione di Cd.

Piombo

Dall'analisi del normal probability plot del Pb (figura 5.23) risulta chiara la presenza di due sub-popolazioni. La prima mostra i valori compresi tra 0 e 35 mg/kg mentre la seconda comprende i valori che superano i 700 mg/kg. Anche per questo elemento i valori oltre i limiti di legge sono due e sono concentrati nei pressi della foce del Sitzerri (775 e 1225 mg/kg).

È stato rilevato che la capacità di assorbimento del Pb è fortemente influenzata dalla CSC e dal contenuto di argilla e sostanza organica (Adriano, 2001; Fontes e dos Santos, 2009; Kabata-Pendias, 2011).

Il contenuto di Pb nei suoli si correla positivamente alla frazione granulometrica fine

(Kabata-Pendias, 2011). In particolare nei campioni analizzati il Pb si correla soprattutto con il limo ($r=0,542^{***}$).

Nei depositi pleistocenici del Subsistema di Portoscuso (ghiaie e sabbie alluvionali terrazzate), in territorio di Guspini, il Pb può arrivare anche a 20 mg/kg. Si tratta principalmente di materiale clastico grossolano con matrice argilloso-ferruginosa arrossata, la cui deposizione si fa risalire all'azione del ruscellamento diffuso in condizioni climatiche fredde e umide corrispondenti ai periodi glaciali del Pleistocene.

Infatti, analogamente a quanto osservato in altri studi, la quantità ed il tipo di argilla influenza la capacità del suolo a legare e trattenere i metalli pesanti (Ma et al., 1997; Kabata-Pendias, 2011). I suoli a tessitura fine (costituiti da particelle con un'area superficiale elevata), infatti, sono più reattivi rispetto ai suoli sabbiosi e capaci di trattenere quantità più elevate di elementi (Berti e Jacobs, 1996; Chen et al., 1999).

Il Pb presenta una buona affinità verso la sostanza organica (Gomes et al., 1997; Lee et al., 1998; Sipos et al., 2005), tendendo a legarsi con essa e formare complessi organo-metallici (Kabata-Pendias, 2011). Si nota infatti che Pb si correla significativamente e positivamente con il CO ($r=0,383^{***}$).

Nella penisola del Sinis (nei Typic e Lithic Xerorthents; Typic e Lithic Xerochrepts; Typic Rhodoxeralfs e nei Calcixerolls), in corrispondenza dei campioni con alti valori di sostanza organica e/o CSC (a cui spesso corrisponde un buon tenore di argilla), si registrano concentrazioni di Pb elevate (10-25 mg/kg).

I suoli sui depositi alluvionali del Tirso (Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents) hanno valori di Pb compresi attorno a 10-20 mg/kg sino a raggiungere i 35,0 mg/kg. Tali suoli hanno infatti una alta CSC (compresa tra 20-30 meq/100g) quindi una più elevata capacità di adsorbimento di specie ioniche (Chen et al., 1999). La correlazione tra Pb e CSC è significativa, $r=0,530^{***}$.

Inoltre tali suoli sono ricchi di ossidi idrati di Fe e Mn, e il Pb è spesso associato ad ossidrossidi di ferro e manganese, come riportato in letteratura (Kabata-Pendias, 2011). Esiste infatti una correlazione altamente significativa tra Pb e Fe ($r=0,684^{***}$) e Pb e Mn ($r=0,741^{***}$).

Lo stesso discorso vale per alcuni campioni prelevati nei suoli sulle Arenarie di S.Vito (alternanze irregolari di metarenarie micacee, quarziti, metasiltiti e metargilliti) e sulle coltri eluvio-colluviali oloceniche (detriti immersi in matrice fine) della parte meridionale

dell'area di studio (territorio di Arbus). Si tratta di suoli arricchiti in frazione organica e/o con una buona CSC che presentano valori di Pb attorno ai 12 mg/kg sino a raggiungere i 20 mg/kg nel campione che presenta il valore in assoluto più alto di sostanza organica (SO pari al 10,4%, 60,5 g/kg di CO).

Al contrario, i suoli sabbiosi in territorio di Arborea (Palexeralfs) e i suoli nelle sabbie eoliche dell'Olocene (Xeropsammets), entrambi poveri di SO, presentano un contenuto basso di Pb (0-5 mg/kg).

È stato rilevato, inoltre, che nel campione prelevato in un parco urbano (Oristano - frazione di Silì, figura 5.24) il contenuto di Pb è pari a 17,50 mg/kg. Alti valori di Pb possono trovarsi infatti nei suoli ad intenso traffico stradale, in quanto il piombo tetraetile è stato utilizzato per lungo tempo come additivo antidetonante per le benzine (Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007). Tale corrispondenza non è però stata rilevata in altri suoli in prossimità di strade altamente trafficate, come, per esempio, nel campione prelevato vicino la SS 131 (nelle vicinanze di Pauli Figu - S.Giusta) in cui il valore di Pb è invece basso (2,50 mg/kg). Questo è probabilmente dovuto al fatto che il Pb è stato escluso dalle benzine già da diversi anni.

In conclusione, ad esclusione dei due siti nelle vicinanze del Stzerri, la concentrazione di piombo nei suoli indagati è riconducibile ai naturali processi di degradazione dei substrati geologici, da cui i suoli stessi traggono origine (Palumbo et al., 2000; Rawlins et al., 2003). Fonte primaria di arricchimento della preesistente dotazione potrebbe essere l'attività antropica (Zhao et al., 2007) con l'apporto di sostanze contenenti metalli pesanti utilizzate per la difesa antiparassitaria (5-10 mg/kg di Pb contenuto nei pesticidi, Gimeno-García et al., 1996) o per la fertilizzazione (2-7000 mg/kg di Pb contenuto nei liquami zootecnici, 4-1000 mg/kg nei fertilizzanti fosfatici, Vittori Antisari et al., 2011a).

Nell'ambito dell'individuazione delle Zone vulnerabili da prodotti fitosanitari⁴², sono stati stimati i quantitativi dei prodotti fitosanitari utilizzati in Sardegna e, di conseguenza, del carico potenzialmente impattante sull'ambiente, utilizzando come dati di input quelli del 5° Censimento generale dell'Agricoltura (Istat, 2001) e le informazioni fornite dal Centro di Ricerca Agricolo Sperimentale (CRAS), in merito ai residui di prodotti fitosanitari riscontrati in alcune significative tipologie di coltura, alle tipologie di principi attivi

⁴² Ai sensi del D. Lgs. 152/99, un'area è considerata vulnerabile quando l'utilizzo al suo interno dei prodotti fitosanitari autorizzati pone in condizioni di rischio le risorse idriche e gli altri comparti ambientali rilevanti.

maggiormente riscontrati ed alle percentuali di utilizzo delle diverse tipologie di fitofarmaci.

Nell'area dell'Alto Campidano è stato riscontrato un utilizzo abbastanza consistente di prodotti fitosanitari, soprattutto nella zona di Arborea, dove le coltivazioni cerealicole ed ortive rappresentano una parte consistente delle attività agricole presenti; si arriva a densità del carico di fitofarmaci pari a 30 kg/ha SAU*anno (Piano di Tutela delle Acque, 2006 – U.I.O del Mare ‘e Foghe, del Tirso e del Mannu di Pabillonis – Mogoro). Tuttavia, come già detto, in territorio di Arborea i valori di Pb rilevati dalla presente ricerca sono contenuti.

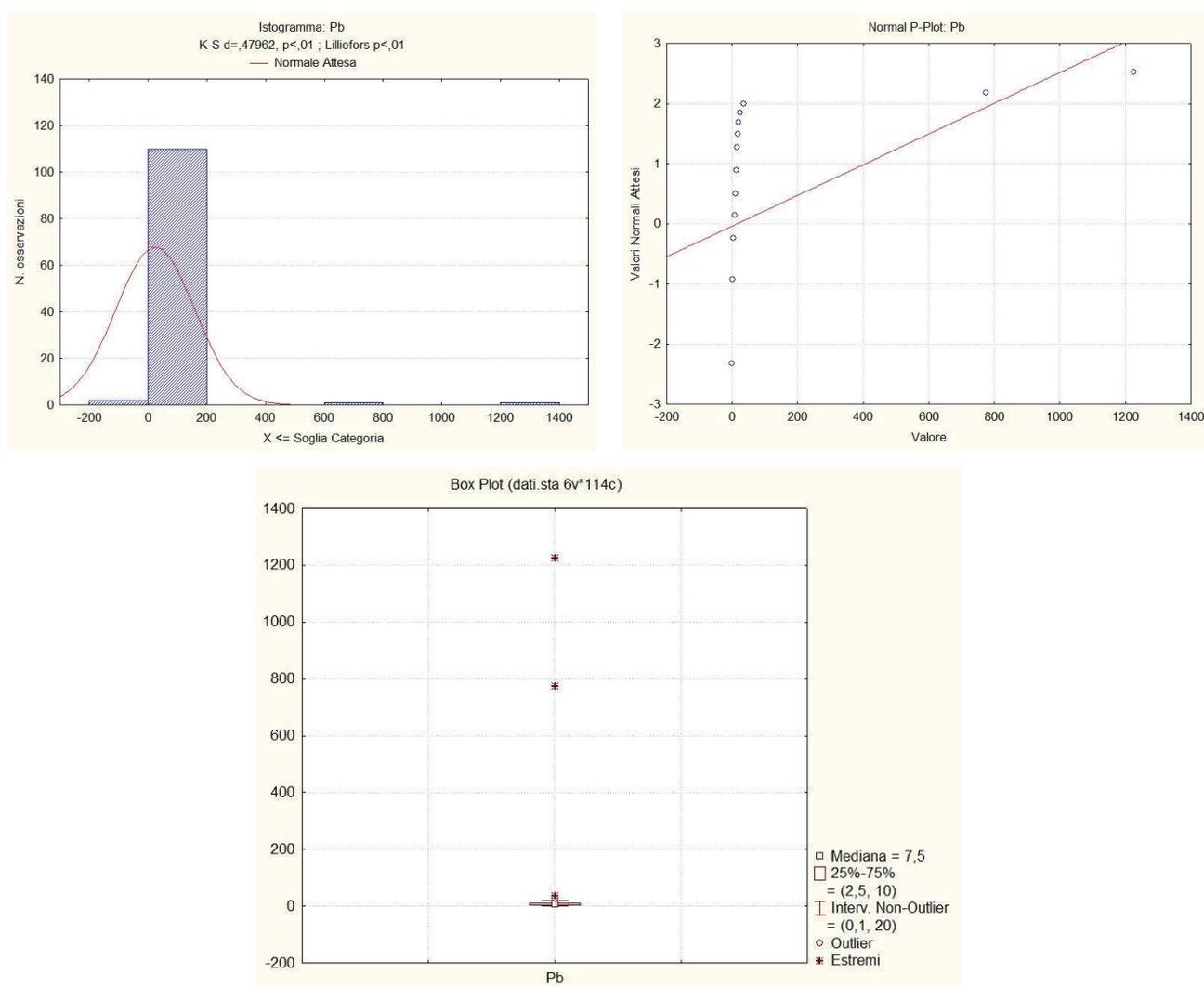


Figura 5.23. Rappresentazione grafica del contenuto di Pb (dati grezzi non normalizzati) attraverso EDA diagrams (istogrammi, normal probability plot e box-plot).



Figura 5.24. Area verde prospiciente il cimitero di Sili (Oristano) in cui è stato rilevato un contenuto di Pb di 17,50 mg/kg.

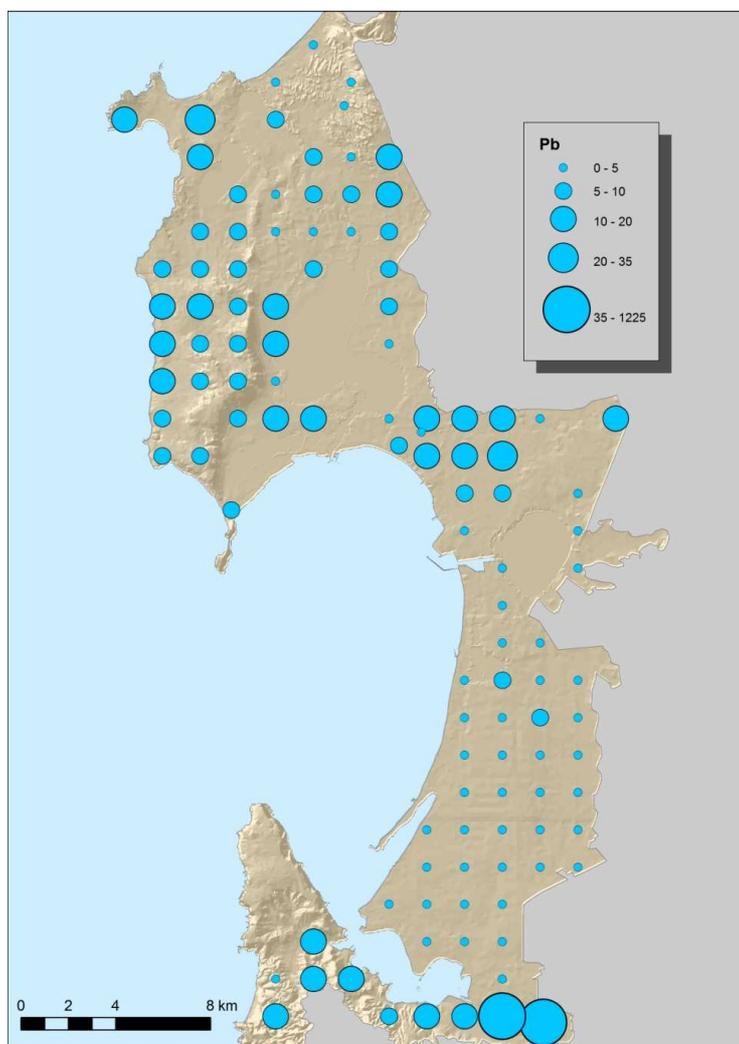


Figura 5.25. Carta della distribuzione puntuale della concentrazione di Pb.

Zinco

Anche per lo Zn il normal probability plot mostra due sub-popolazioni (figura 5.26): la prima con i valori compresi nel range 3,3-94,8 mg/kg e la seconda con due valori che superano i 400 mg/kg e, quindi, che oltrepassano i valori limite di soglia previsti dal D. Lgs. 152/2006. Si tratta ancora una volta dei campioni in prossimità del Rio Sitzerri (402,50 mg/kg e 412,50 mg/kg).

Nei suoli argillosi, ben dotati di sostanza organica e con una buona CSC, dell'ex stagno di Sassu lo Zn è compreso tra 46,25 e 94,75 mg/kg. Infatti, come già visto per il Pb, la frazione fine contribuisce significativamente al contenuto di Zn nei suoli (Vega et al., 2007) e la sostanza organica permette di immobilizzare il metallo attraverso la formazione di complessi organo-metallici (Costantini et al., 2004; Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007). Lo Zn mostra infatti una significativa correlazione positiva con la CSC ($r=0,626^{***}$), con il limo ($r=0,666^{***}$), con l'argilla ($r=0,562^{***}$) e con il carbonio organico ($r=0,484^{***}$).

In particolare il campione di suolo prelevato sulle Arenarie di S.Vito, che presenta il valore in assoluto più alto di sostanza organica (SO pari al 10,4%, 60,5 g/kg di CO), presenta un contenuto di Zn pari a 83,50 mg/kg.

Nei suoli sviluppatasi sui depositi del Tirso lo Zn è compreso in un range di 22,75-76,75 mg/kg. Come già osservato per il Pb, questa tipologia di suoli presenta un'alta CSC. Lo Zn viene anche adsorbito in ossidi di Fe (di cui i depositi alluvionali del Tirso sono particolarmente ricchi) e comunemente si riscontra una co-variazione con il Fe.

Dunque, sempre escludendo i valori più alti di Zn rilevati nella piana alluvionale del Rio Sitzerri, la concentrazione di Zn nei suoli indagati è riconducibile ai naturali processi di degradazione dei substrati geologici, da cui i suoli stessi traggono origine.

In parte potrebbe essere anche funzione dell'utilizzo di pesticidi (contenuto di Zn di 32,5-275 10^3 mg/kg, Gimeno-García et al., 1996) o fertilizzanti fosfatici (50-1450 mg/kg, Vittori Antisari et al., 2011a). In particolare, problemi di contaminazione potrebbero essere creati dall'elevato contenuto di zinco nelle deiezioni zootecniche (dovuto all'aggiunta nei mangimi animali, per accelerare il metabolismo, di integratori e additivi alimentari che contengono questo elemento). I suoli fertilizzati con effluenti zootecnici, infatti, possono ricevere apporti relativamente importanti di Zn (e Cu) (Eckel et al., 2003). I liquami, per esempio, hanno un contenuto di Zn di 91-49000 mg/kg (Vittori Antisari et al., 2011a).

Nella Piana di Arborea (dove si fa ampio ricorso di letame e liquami per utilizzo

agronomico, così come specificato nella relazione agronomica del PUC di Arborea del 2008) il livello di Zn è abbastanza variabile e comunque sempre contenuto (4,75-36,50 mg/kg). Ciò non è sufficiente per affermare che questi suoli non presentino problemi di contaminazione dovuti all'utilizzo agronomico di effluenti zootecnici, in quanto, come verrà specificato più avanti, i valori di Cu nella Piana sono abbastanza alti.

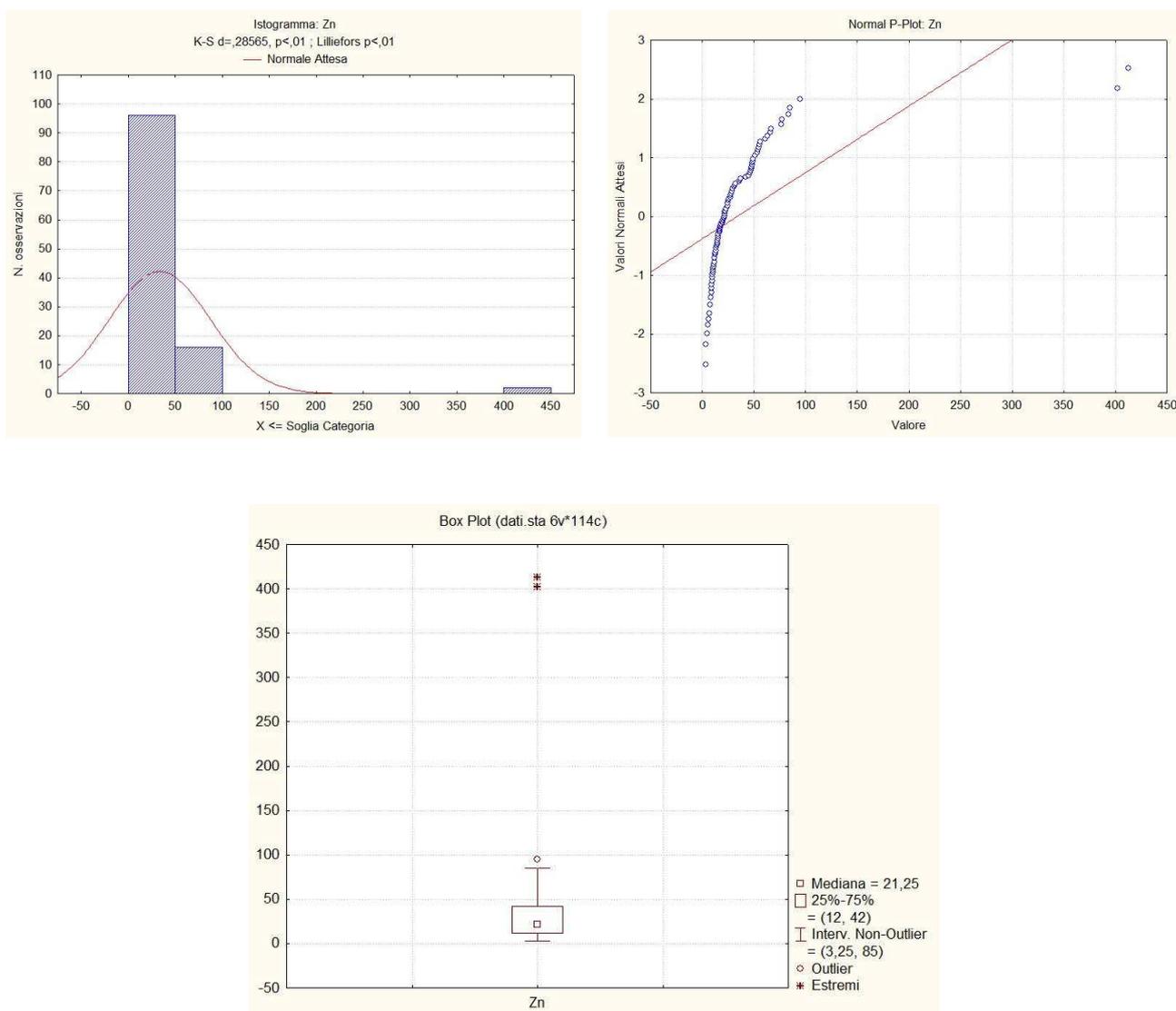


Figura 5.26. Rappresentazione grafica del contenuto di Zn (dati grezzi non normalizzati) attraverso EDA diagrams (istogrammi, normal probability plot e box-plot).

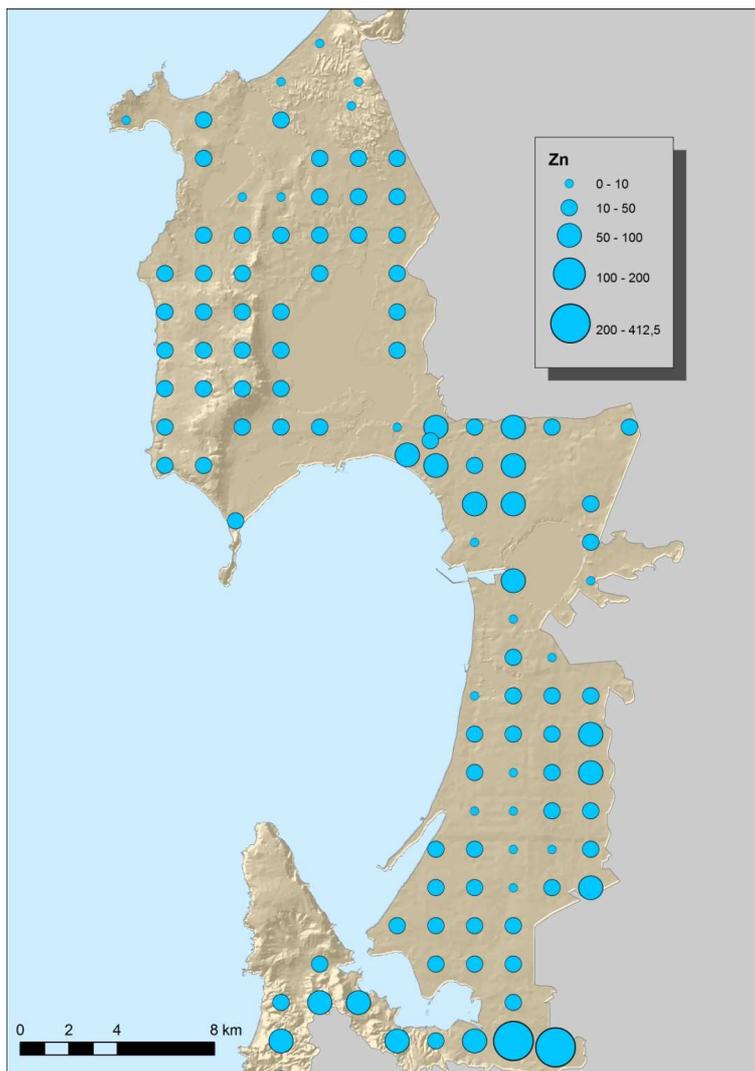


Figura 5.27. Carta della distribuzione puntuale della concentrazione di Zn.

Rame

Il normal probability plot riferito al Cu mostra la prima sub-popolazione che comprende i valori nel range 2,5-50 mg/kg e la seconda che comprende i valori, appartenenti a due campioni, che superano i 100 mg/kg (figura 5.28). Di questi due campioni, un campione ricade in un oliveto in comune di Riola Sardo (110,00 mg/kg). Il rame è infatti contenuto come principio attivo in molti fertilizzanti: il contenuto medio di Cu nei fertilizzanti fosfatici è pari a 56,6 mg/kg, con un range di 0,2-1170 mg/kg (Kabata-Pendias, 2011), nei reflui zootecnici il range è invece di 5-8000 mg/kg (Vittori Antisari et al., 2011a). Il rame può essere contenuto anche nei pesticidi (13 mg/kg; Gimeno-García et al., 1996). In particolare, il solfato di rame ($255 \cdot 10^3$ mg/kg di Cu, Gimeno-García et al., 1996) viene

generalmente usato in agricoltura per combattere malattie e parassiti degli olivi. L'altro campione è stato prelevato lungo le sponde del fiume Tirso in comune di Oristano (125,00 mg/kg). Quest'ultimo valore, che è di poco superiore ai limiti di legge, potrebbe avere un'origine a monte del bacino idrografico del Tirso, che si estende per ben 3365,78 km².

Il contenuto di Cu è strettamente legato alla tessitura (Kabata-Pensias, 2011): è più basso nei suoli sabbiosi (nella maggior parte dei Palexeralfs dell'Arboreino e nei suoli su sabbie eoliche il contenuto di Cu è attorno a 2,50 mg/kg) ed è più elevato in quelli limosi e argillosi (nei suoli dell'ex Stagno di Sassu 2,50-42,50 mg/kg, nei depositi palustri 12,50-17,50 mg/kg, nelle alluvioni recenti del Tirso 2,50-22,50 mg/kg).

Alcuni campioni della Piana di Arborea, però, presentano valori relativamente alti (raggiungono anche i 42,50 mg/kg, quindi superiori ai livelli geochimici della Sardegna). Ciò fa ipotizzare che alcuni campi siano stati concimati con effluenti zootecnici (i liquami sono infatti ricchi di rame, 5-8000 mg/kg, Vittori Antisari et al., 2011a).

Alti valori di Cu (50,00 e 37,50 mg/kg, compresi entro i limiti di legge ma superiori ai livelli geochimici della Sardegna), sono stati trovati nei due campioni in prossimità del Sitzzerri, già contaminati da altri metalli pesanti.

Nei suoli indagati, dunque, il Cu si trova legato ai complessi organici (l'affinità del Cu con la materia organica è ampiamente documentata, Rippey, 1982), adsorbito alle argille o sugli ossidi e idrossidi di Fe ($r=0,491^{***}$), Mn ($r=0,489^{***}$) e Al ($r=0,592^{***}$) (Forbes et al., 1976).

Esso viene anche facilmente adsorbito dai carbonati (Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007). Nei suoli calcarei del Sinis, ben forniti di sostanza organica, il Cu è compreso tra 10-25 mg/kg.

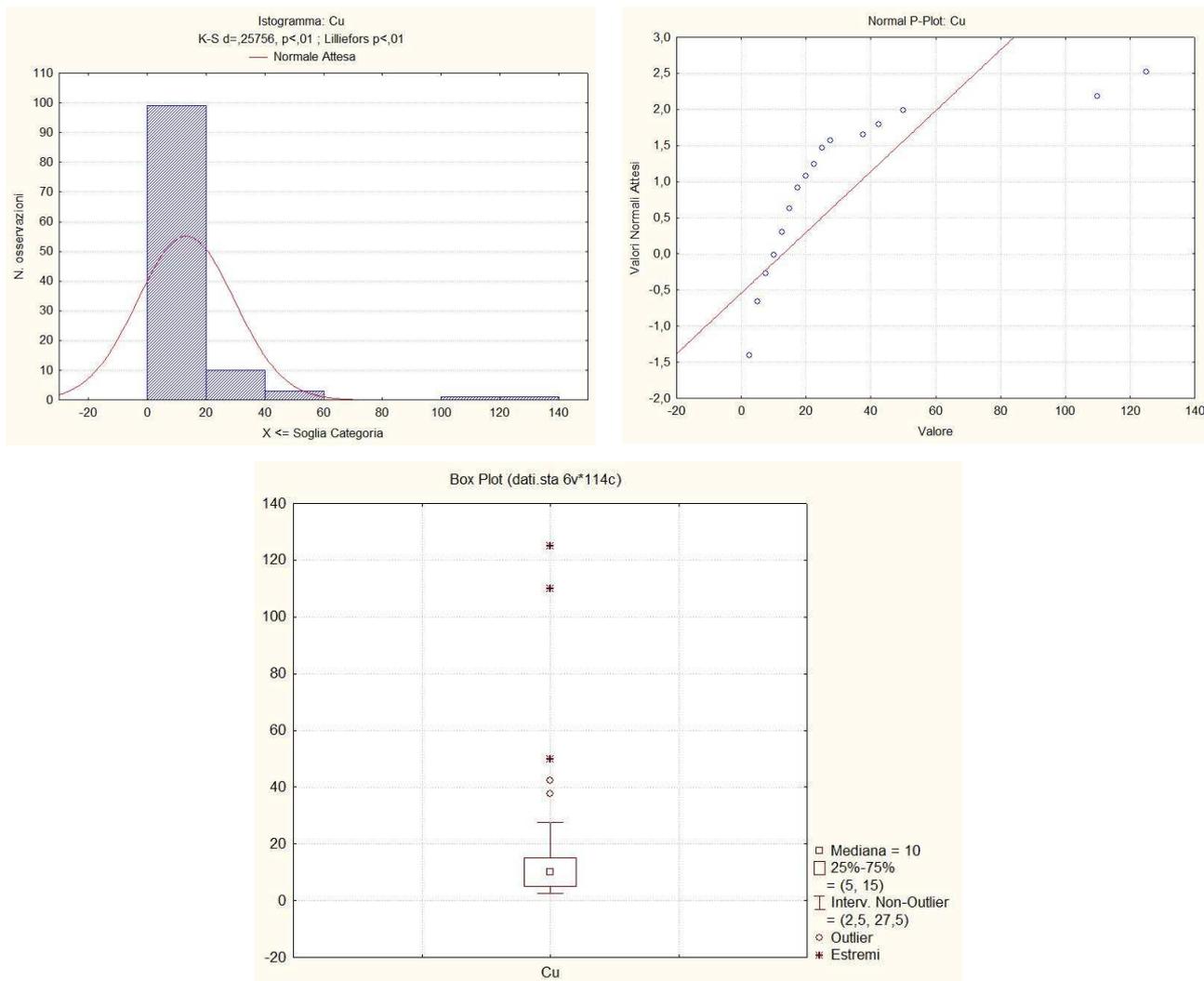


Figura 5.28. Rappresentazione grafica del contenuto di Cu (dati grezzi non normalizzati) attraverso EDA diagrams (istogrammi, normal probability plot e box-plot).



a)



b)

Figura 5.29. a) Oliveto (Riola Sardo) che presenta un contenuto di Cu pari a 110 mg/kg; b) golena del Tirso (Oristano) in cui è stata registrata una concentrazione di Cu di 125 mg/kg.

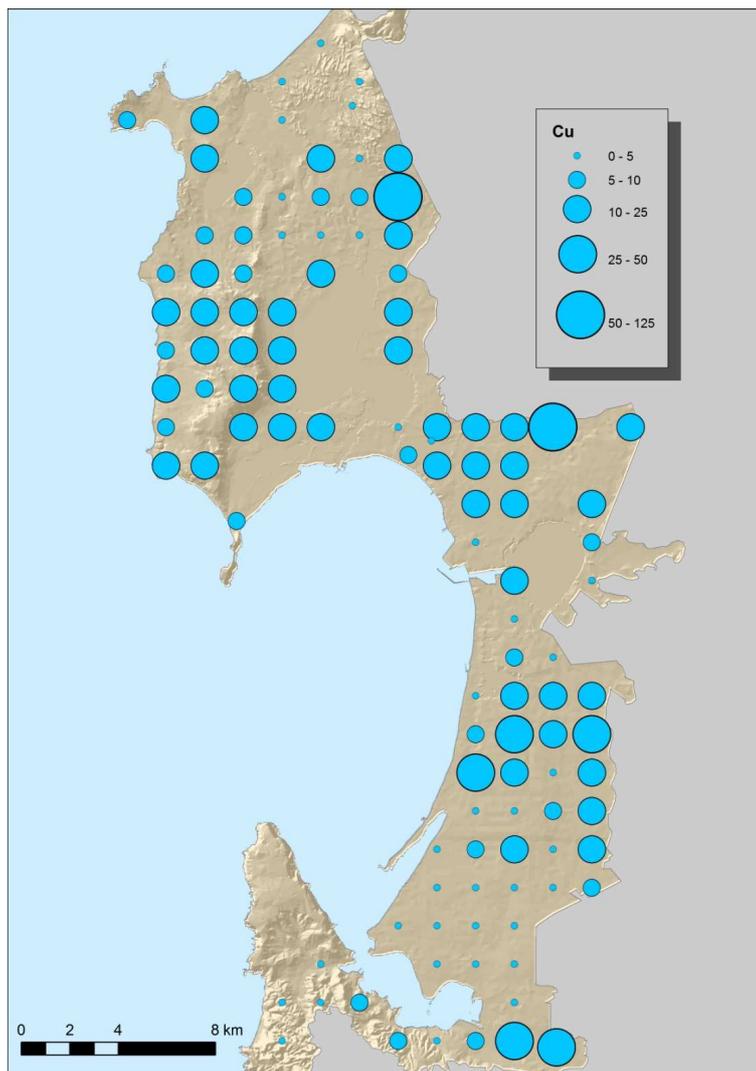


Figura 5.30. Carta della distribuzione puntuale della concentrazione di Cu.

Nichel

Come è noto, il Ni tende ad essere legato e/o adsorbito agli ossidrossi di ferro e manganese (Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias, 2011); nei minerali ferromagnesiaci si ritrova infatti in associazione con il ferro, sotto forma di solfuro di nichel e ferro. A conferma di ciò, nella presente ricerca è stata trovata una correlazione significativa tra Ni e Fe ($r=0,760^{***}$) e Ni e Mn ($r=0,727^{***}$).

Infatti, i tre campioni che mostrano le più alte concentrazioni di Ni (30,00, 32,50 e 37,50 mg/kg), comunque comprese nei limiti di legge (figura 5.31), sono stati prelevati nei suoli sviluppatisi su 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 paragenesi primaria della roccia madre in cui il nichel è ben rappresentato in quanto

vicariante del ferro nei siti reticolari ottaedrici (Néel et al., 2007). Si tratta dei basalti del plateau del Sinis (*Facies Costa Randada*): lave in colate, porfiriche per fenocristalli di plagioclasio, clinopirosseno e olivina alterata (iddingsite), massa di fondo tachilitica con plagioclasio, olivina e ossidi, a composizione basaltica.

Valori compresi tra 10 e 25 mg/kg si trovano nei suoli sui calcari miocenici del Sinis, ben forniti di sostanza organica. Il Ni, infatti, è spesso associato ai carbonati (Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007). La correlazione tra Ni e CaCO_3 è pertanto positiva e significativa ($r=0,499^{***}$).

I suoli sui sedimenti alluvionali recenti del Sassu (Ni compreso tra 5 e 12,50 mg/kg), oltre che avere un buon contenuto di CO e carbonati, hanno una tessitura fine (da franco limosa ad argillosa).

Come già visto per gli altri metalli, il nichel tende infatti a formare dei complessi con leganti organici, perciò sarà maggiormente disponibile in suoli ricchi di carbonio organico ($r=0,410^{***}$) e, soprattutto, in suoli ricchi di limo ($r=0,689^{***}$) e argilla ($r=0,433^{***}$).

Nello specifico, le montmorilloniti, minerali argillosi presenti nei suoli del Sassu, mostrano un'elevata affinità con il Ni (Dähn et al. 2003; Senwo e Tazisong, 2004).

Anche il pH è importante, in quanto è inversamente proporzionale alla mobilità di tale metallo. Più il pH è alto maggiormente il Ni viene trattenuto e più difficilmente subisce il processo di lisciviazione, quindi maggiore è la sua concentrazione nel suolo. A conferma di ciò, il Ni si correla positivamente e significativamente con il pH ($r=0,408^{***}$).

I valori medio-alti di Ni nei depositi alluvionali del Tirso (la maggior parte compresi nel range 15-17,50 mg/kg) sono probabilmente dovuti al fatto che tali suoli, oltre che presentare un'elevata CSC, sono ricchi di ossidi idrati di Fe su cui tale elemento può essere adsorbito.

I valori del Ni nei suoli dell'area di studio fanno presumere quindi che questo metallo abbia origine geogenica e non antropica, seppure i liquami zootecnici e i pesticidi utilizzati siano ricchissimi di Ni (rispettivamente 6-5300 mg/kg e 0,75-14,25 mg/kg, Gimeno-García et al., 1996; Vittori Antisari et al., 2011a).

CAPITOLO 5. Caratterizzazione fisico-chimica, biochimica e pedogeochimica dei suoli

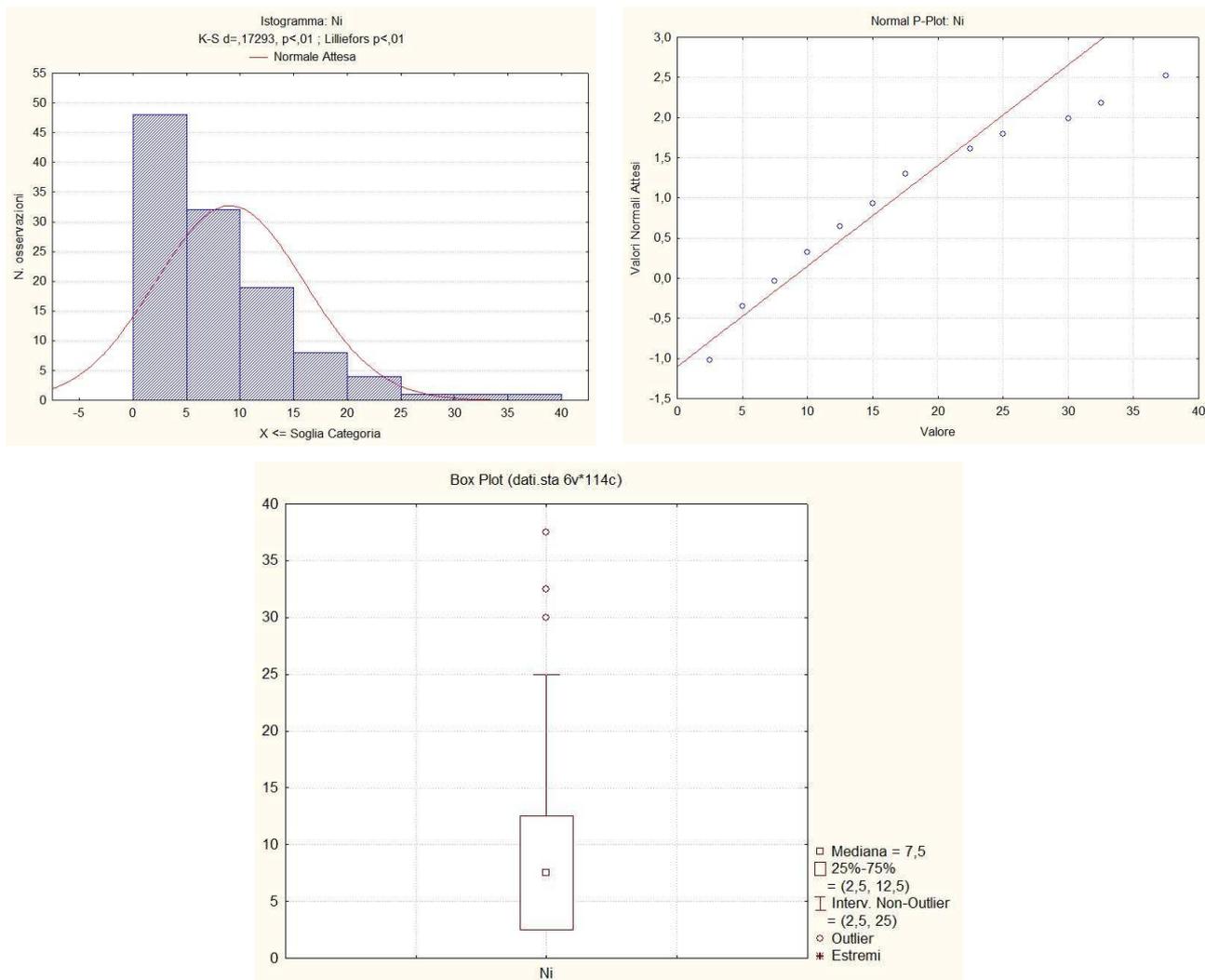


Figura 5.31. Rappresentazione grafica del contenuto di Ni (dati grezzi non normalizzati) attraverso EDA diagrams (istogrammi, normal probability plot e box-plot).

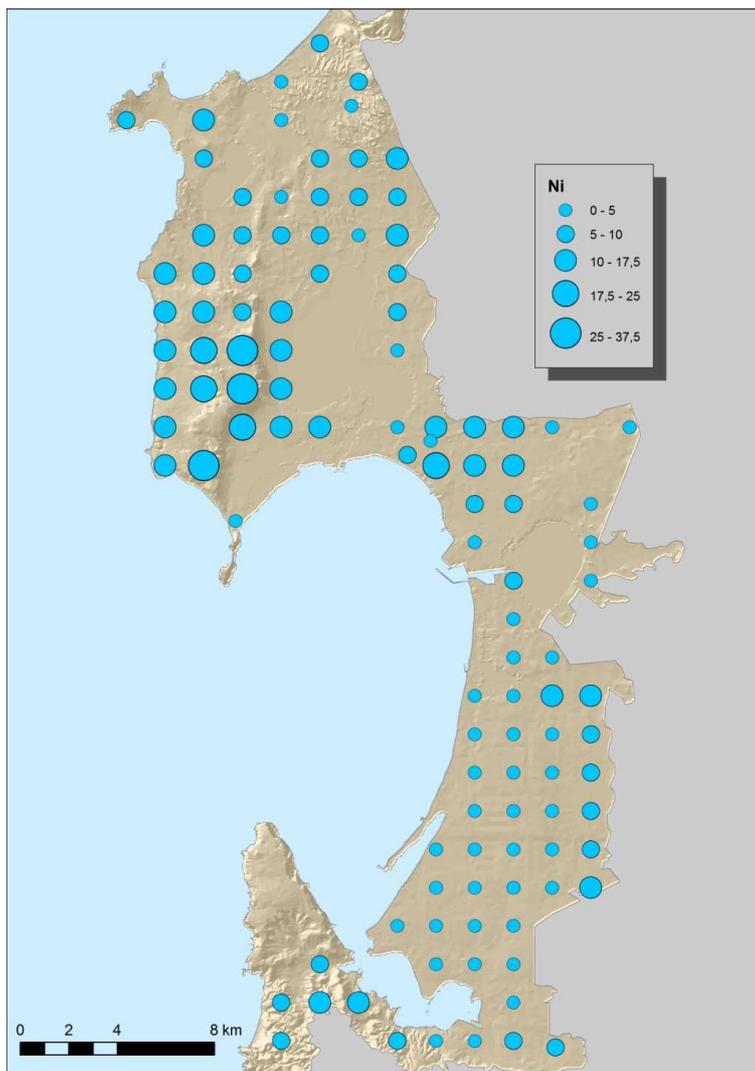


Figura 5.32. Carta della distribuzione puntuale della concentrazione di Ni.

Arsenico

I due valori più alti di As (14,50 e 15,50 mg/kg) sono stati registrati nei campioni prelevati nei suoli sabbiosi della pineta del campo da golf di Is Arenas (comuni di Narbolia e San Vero Milis). Nelle immediate vicinanze della pineta l'As è compreso tra 9,25 e 12,75 mg/kg.

I valori di As in questa zona appaiono anomali. Sebbene la concentrazione di questo semimetallo in suoli non contaminati può variare da 1 a 40 mg/kg (Mandal e Suzuki, 2002), generalmente è inferiore a 10 mg/kg (Fitz e Wenzel, 2002). Inoltre la

concentrazione dell'As nei suoli a tessitura sabbiosa è generalmente molto più bassa⁴³ di quella presente nei suoli del cordone dunale di Is Arenas.

La provenienza dei quantitativi di As in questa zona del Sinis è da valutare attentamente. Si deve sottolineare l'uso nei campi da golf di fertilizzanti (a base di azoto, fosforo e potassio, in cui l'As è presente come impurezza, talvolta massiccia) e di fitofarmaci a base di arsenico (molti prodotti dei quali sono stati banditi in Italia nelle ultime decadi) utilizzati per prevenire l'attacco da parte di patogeni di origine fungina, contro insetti, acari ed erbe infestanti. Si è pensato che l'uso massiccio di fertilizzanti/fitofarmaci a base di arsenico possa aver contaminato le aree nelle vicinanze dei *green* nel momento della loro aspersione/irrorazione oppure che l'arsenico dai campi di golf possa essersi diffuso nell'ambiente attraverso polvere trasportata dal vento (maestrale). Generalmente l'arsenico non è un elemento facilmente biodegradabile e pertanto risulta molto persistente nell'ambiente (Smedley e Kinniburgh, 2002). In suoli trattati con pesticidi arsenicali la persistenza di questi composti è notevole, con un tempo di emivita di 15 anni (Kabata-Pendias, 2011) e dunque l'arsenico in essi presente persiste anche per lunghi periodi.

Ma, vista l'ampiezza dell'area che presenta valori elevati di As, l'ipotesi della fonte di As di natura antropica è poco probabile per le ragioni di seguito esplicitate.

Nei suoli indagati è stata presa in considerazione anche una possibile origine geogenica di As, legata quindi al substrato geologico da cui traggono origine i sedimenti.

I depositi di Is Arenas sono costituiti da diverse generazioni di accumuli dunari che poggiano su formazioni calcaree mioceniche. Il termine superiore della successione sedimentaria del cordone dunale è rappresentato da una copertura di arenarie e sabbie di accumulo eolico oloceniche (Carboni et al., 1998; Fenu et al., 2008, 2012). La composizione mineralogica è prevalentemente quarzoso-feldspatica con una relativa abbondanza di miche.

L'area di Is Arenas ricade all'interno dei bacini idrografici dei rii Pischinappiu, Su Fenugu e Canale Sessini defluenti dal versante sud-occidentale del Montiferru.

Il Riu Su Fenugu e il Canale Sessini sono due canali che non trovano l'energia per giungere al mare e disperdono le loro acque all'interno del sistema dunare (Carboni et al.,

⁴³ Le sabbie e le arenarie, infatti, tendono ad averne quantità poco elevate di As (compresa fra 0,5 e 2,5 mg/kg), riflettendo la scarsa dotazione in arsenico dei loro minerali dominanti, quali il quarzo e i feldspati (Webster, 1999; Smedley e Kinniburgh, 2002; Kabata-Pendias, 2011).

1998); il Rio Pischinappiu invece si apre un varco tra le dune nel suo tratto terminale per poi defluire in mare.

Bisogna specificare che il bacino di sedimentazione di Is Arenas si è formato in seguito alle dislocazioni tettoniche dovute al vulcanismo alcalino pliocenico con la creazione di alti strutturali e conseguenti bassi tettonici; successivamente i rilievi sono stati erosi dai corsi d'acqua e dagli agenti atmosferici, con la produzione di una grossa quantità di sedimenti che sono andati a colmare il bacino stesso (RAS, 2012). L'erosione nell'intorno dell'area del vicino Montiferru ha prodotto sedimenti che sono stati trasportati e depositati lungo il fondovalle per un raggio di circa 15 km (Carboni et al., 1998).

Anche le oscillazioni glacio-eustatiche hanno contribuito al riempimento del bacino di sedimentazione poichè l'emersione della coltre sedimentaria marina ha permesso la disponibilità di ingenti quantità di sedimenti che sono stati poi sospinti verso l'entroterra dai venti dei quadranti occidentali, determinando la graduale emersione del settore e la rapida evoluzione del bacino verso facies di ambiente lagunare e continentale (RAS, 2012). I prodotti di disfacimento dei rilievi circostanti l'area di Is Arenas (area di alimentazione del Montiferru⁴⁴) da cui traggono origine i depositi sono principalmente le vulcaniti calcalcaline e alcaline e i prodotti di origine idrotermale (quarzo, calcedonio, minerali del ferro).

Nel Montiferru, inoltre, in relazione alle andesiti e a successivi fenomeni idrotermali, sono presenti numerose mineralizzazioni costituite principalmente da solfuri di ferro, ma anche da filoni di quarzo, calcedonio e manganese (proprio le mineralizzazioni di solfuro di ferro danno il nome al massiccio montuoso). L'As è solitamente associato proprio allo zolfo e a Fe, Ni e Co. L'analisi di correlazione mostra infatti la correlazione significativa e positiva tra As e Ni ($r=0,525^{***}$) e tra As e Fe ($r=0,310^{***}$).

Particolarmente significativo il ruolo svolto dagli ossidi e idrossidi di ferro, che possono adsorbire l'As con apprezzabile efficacia (Kabata-Pendias, 2011).

Generalmente, un arricchimento di As viene riscontrato come risultato dell'attività idrotermale (Boyle e Jonasson, 1973): il vapore acqueo risalendo verso la superficie si raffredda e, passando allo stato liquido, deposita parte dei minerali di cui è composto,

⁴⁴ L'area di alimentazione viene individuata nel settore nord-orientale, dove in località Cadreas le spesse ed estese coperture alluvionali, che per ampio tratto sono a contatto con i termini lavici ed i livelli di breccie e scorie vulcaniche dei rilievi più occidentali del Montiferru, costituiscono una fonte di continuo apporto per infiltrazione; inoltre il fattore morfologico condiziona direttamente il deflusso meteorico superficiale che si disperde appunto entro il campo dunare (Carboni et al., 1998).

formando filoni e concrezioni tipiche in cui solitamente cristallizzano molti solfuri tra cui arsenopirite (FeAsS), sfalerite (ZnS), pirite (FeS_2), galena (PbS) e cinabro (HgS) in associazione ad altri minerali come fluorite (CaF_2), siderite (FeCO_3), baritina (BaSO_4) e quarzo (SiO_2). Successivamente la risalita in superficie di acque che lisciviano queste formazioni, origina sorgenti idrotermali. I suoli in prossimità delle stesse presentano di norma elevate concentrazioni di arsenico (2-8000 mg/kg) (Boyle e Jonasson, 1973; Mion et al., 2009).

Si mette anche in evidenza che i campioni prelevati sul cordone dunale presentano un alto contenuto di carbonati (282-512 g/kg), con cui l'As tende a legarsi.

Per lo stesso motivo nei suoli carbonatici del Sinis i valori di As variano da 3 a 10 mg/kg. L'As infatti può essere adsorbito sulla superficie della calcite (Goldberg e Glaubig, 1988; Mehmood et al., 2009) e ciò permette la ritenzione di arsenico in suoli calcarei. Oltre che come specie adsorbita, può essere presente nei carbonati come impurità.

La correlazione riscontrata tra As e carbonati totali è infatti positiva e significativa ($r=0,533^{***}$), così come quella tra As e pH ($r=0,339^{***}$).

Infine si rileva che nei due campioni prelevati nei pressi della foce del Sitzzerri (già contaminati da altri metalli pesanti, soprattutto Pb, Zn e Cd) la concentrazione di As è elevata (pari a 11,50 e 12,75 mg/kg) ma compresa nei limiti di legge. L'As è infatti contenuto nell'arsenopirite (FeAsS), minerale presente nel distretto piombo-zincifero di Montavecchio in quantità subordinate rispetto la galena e la blenda.

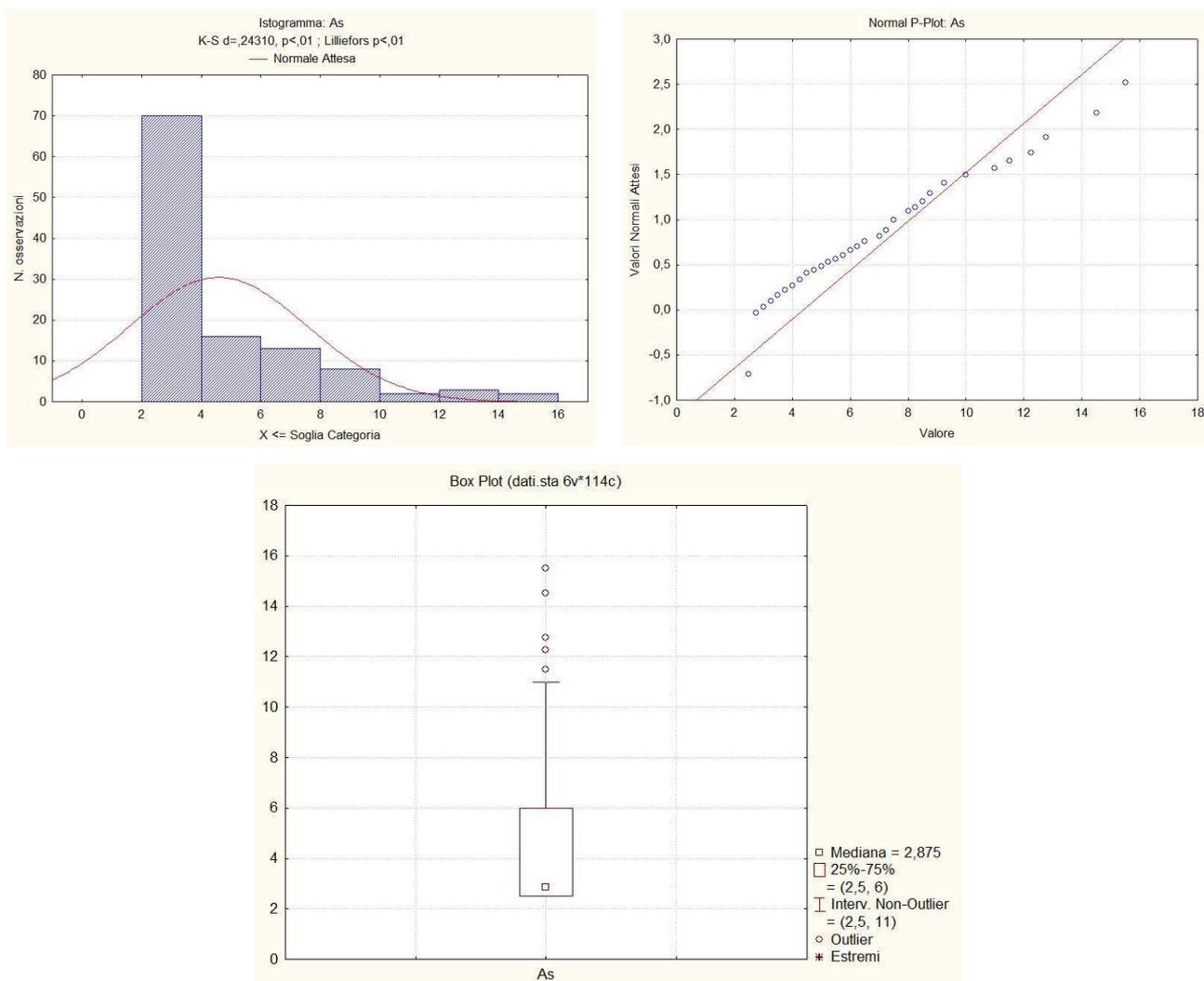


Figura 5.33. Rappresentazione grafica del contenuto di As (dati grezzi non normalizzati) attraverso EDA diagrams (istogrammi, normal probability plot e box-plot).



Figura 5.34. Pineta in prossimità del campo da golf di Is Arenas (As 14,50 - 15,50 mg/kg).

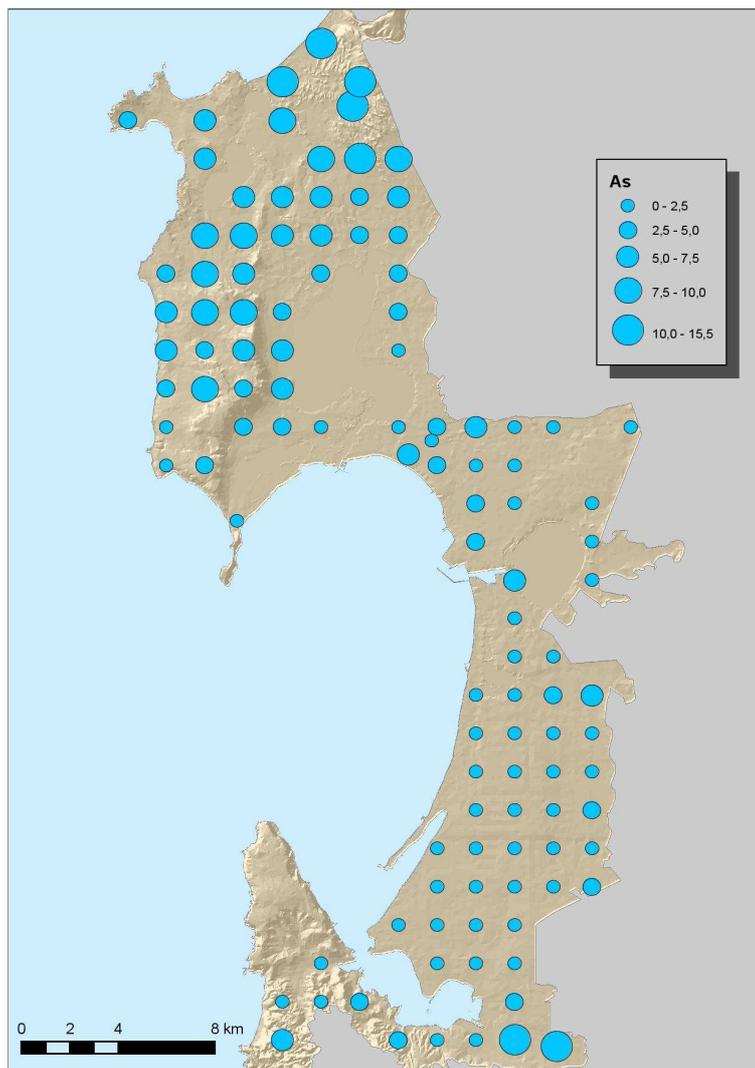


Figura 5.35. Carta della distribuzione puntuale della concentrazione di As.

5.2.1.5 Indici di contaminazione del suolo

Come descritto nel paragrafo 5.1.1.6, per ogni PTE è stato calcolato l'**indice di geoaccumulo** (I_{geo}), utilizzando come valori di riferimento i valori di background per la Sardegna (per Ni, Cu, Zn e Pb) o la concentrazione media mondiale (per Cd e As). Questo indice permette di aggiungere informazioni utili alla valutazione dello stato di contaminazione dei suoli. Nel nostro caso l' I_{geo} conferma quanto già messo in evidenza dall'interpretazione dei dati riportata nel paragrafo 5.2.1.4.

Per il Ni tutti i valori sono inferiori allo zero ($I_{geo} \leq 0$), quindi per tale elemento i suoli non presentano nessun geoaccumulo e ricadono nella classe *praticamente incontaminato*. Questo potrebbe confermare che il contenuto in Ni rilevato nell'area di studio sia di origine naturale.

Lo Zn mostra valori compresi tra 1 e 2 ($1 < I_{geo} < 2 = \textit{moderatamente contaminato}$) solo per due campioni. Per gli stessi campioni il Pb rientra nella classe *fortemente contaminato* ($3 < I_{geo} < 4$). Si tratta dei campioni contaminati dai *tealings* minerali di Montevecchio trasportati dal Rio Sitzerri.

Il Cu presenta due valori di I_{geo} ricadenti nella classe *moderatamente contaminato* ($1 < I_{geo} < 2$), corrispondenti ai campioni prelevati in un oliveto e lungo l'alveo del fiume Tirso, già identificati nelle precedenti elaborazioni dei dati come affetti, presumibilmente, da contaminazione superficiale di origine antropica (presenza di apporti dovuti alle pratiche agricole).

Il Cd presenta alcuni valori compresi tra 1 e 2 ($1 < I_{geo} < 2 = \textit{moderatamente contaminato}$) che corrispondono agli alti valori di Cd rilevati nei suoli calcarei del Sinis e nei depositi palustri dello Stagno di Cabras. Come ha messo in evidenza l'analisi di correlazione, in realtà, questi valori sono dovuti presumibilmente alla natura del materiale su cui si sono formati i suoli (fonte geogenica). Il Cd mostra però anche due valori superiori a 5 ($I_{geo} \geq 5 = \textit{estremamente contaminato}$), si tratta dei campioni in prossimità del Rio Sitzerri.

Nel caso dell'As, alcuni valori sono leggermente > 0 ma sono comunque molto bassi (compresi tra 0,10 e 0,60), facendo presumere la non contaminazione da arsenico nell'area indagata.

Per gli elementi Pb, Zn, Cd dei due campioni prelevati lungo l'aveo del Rio Sitzerri, dunque, l'indice di geoaccumulo conferma l'ipotesi dell'arricchimento di origine antropica nei suoli di questa particolare area. Lo stesso vale per il Cu, per il quale sembrerebbe esserci un arricchimento rispetto al *background*, ma solo per due campioni (prelevati in un oliveto e lungo le sponde del Tirso), confermando un possibile apporto antropico dovuto in particolare alle pratiche agricole.

Per evidenziare eventuali casi di arricchimento dovuti all'azione combinata di più PTEs, è stato anche applicato l'**indice di arricchimento superficiale** (EI - *Enrichment Index for topsoil*), descritto nel paragrafo 5.1.1.6. Poiché l'EI nell'area di studio varia da 0,06 a 7,56 con mediana di 0,27, essa si può considerare significativamente influenzata dalla variabilità pedogeochimica. Pertanto, il contenuto di PTEs nella quasi totalità dei suoli indagati è dovuto al fondo naturale e non a fenomeni di contaminazione di origine antropica. Esiste però una contaminazione di tipo puntuale. Infatti, gli unici due valori di $EI > 2$ (pari a 5,31 e 7,56) corrispondono alle due aree poste lungo il tratto terminale del

Rio Sitzerri. L'indice mostra quindi che tali siti presentano un maggiore arricchimento superficiale di PTEs, a conferma del fatto che in queste aree la contaminazione è certamente di origine antropica.

5.2.1.6 Analisi statistica multivariata (PFA)

L'analisi statistica, in particolare l'analisi multivariata, permette di 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 confermare le ipotesi formulate precedentemente con altre tipologie di elaborazione dei dati (Borůvka et al., 2005).

L'analisi fattoriale, ed in particolare la PFA (*Principal Factor Analysis*), viene comunemente utilizzata in analisi statistica multivariata applicata alla pedogeochimica poiché si è dimostrata molto utile per comprendere meglio i principali processi ed i fenomeni che influenzano la distribuzione dei PTEs nei suoli indagati (Reimann et al., 2002) e permette di discriminare tra fonti naturali e antropogeniche.

Nella presente ricerca, l'analisi fattoriale applicata ai 114 campioni di suolo, attraverso il confronto tra il contenuto dei PTEs e le proprietà chimico-fisiche dei suoli, ha portato all'estrazione, con metodo *varimax normalizzato*, di 3 fattori, che spiegano complessivamente il 70,5% della varianza totale. Il fattore 1 pesa per il 48,1% sulla varianza totale dell'insieme dei dati, il fattore 2 per il 12,7% e il fattore 3 per il 9,7%.

FATTORE 1 – Fertilità dei suoli

Il fattore 1 lega positivamente tra loro C, P, N, CSC e CE. Quindi il primo fattore mostra che i parametri più importanti in grado di spiegare una buona parte della variabilità statistica osservata e caratterizzante i suoli indagati, sono quelli strettamente connessi con la fertilità dei suoli. La fertilità dei suoli caratterizzanti il Golfo di Oristano, così come ampiamente mostrato anche dallo studio etnopedologico (si veda il Capitolo 6), risulta dunque di fondamentale importanza nel determinare la variabilità statistica osservata nonché la conseguente complessità pedopaesaggistica. È interessante rilevare come questo dato venga desunto non solo da una analisi strettamente quantitativa, come quella derivante dalla analisi multivariata condotta sui parametri fisico-chimici del suolo, ma anche da quella qualitativa (condotta solo sui toponimi) e quali-quantitativa (condotta sia sui

toponimi che sui dati fisico-chimici).

FATTORE 2 – Alcalinità dei suoli

Il fattore 2 lega i carbonati totali (CaCO_3) e il pH con l'As.

L'As infatti 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; Fitze e Wenzel, 2002; 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).

FATTORE 3 - Source-sink dei PTEs

Il fattore 3 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 un legame inverso invece con la 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 può 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, in accordo con i dati ottenuti dalla

matrice di correlazione, 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.

Tabella 5.9. Pesì fattoriali (n=19); Metodo di estrazione: analisi dei fattori principali (PFA); Metodo di rotazione: Varimax; pesì marcati > 0,6

	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

5.2.2 Conclusioni

L'integrazione tra le analisi pedologiche di routine (analisi chimico-fisiche) e l'indagine pedogeochimica incentrata su sei elementi (cadmio, piombo, zinco, rame, nichel, arsenico) ha permesso di fare uno screening dello "stato di salute" dei suoli della fascia costiera del Golfo di Oristano e discriminare tra fonti di contaminanti naturali e antropiche.

L'area di studio è sottoposta all'azione di diverse sorgenti di contaminazione; l'inquinamento antropico è dovuto principalmente alle attività agricole e zootecniche, alle attività minerarie, agli insediamenti industriali ed urbani.

Come analisi preliminare per identificare le eventuali situazioni di rischio, nello studio è stata prestata particolare attenzione alla verifica del superamento dei valori limite previsti dalla normativa italiana per i metalli pesanti (D. Lgs. 152/2006) e dei valori di fondo regionali (*background*) (De Vivo et al., 1997, 1998).

È stato appurato che il contenuto dei PTEs indagati è conforme ai livelli geochimici regionali ed è sempre al di sotto dei limiti di legge ad eccezione di Pb, Zn, Cd e Cu.

Pb, Zn e Cd presentano valori abbondantemente oltre i limiti di legge in due siti ubicati nell'area della vallata alluvionale del Rio Sitzzerri, nella parte meridionale dell'area di studio. In questa zona sono state riscontrate due anomalie legate all'attività estrattiva e di trattamento mineralurgico svoltasi per oltre un secolo presso l'importante centro minerario di Montavecchio, che costituisce quindi la sorgente di rilascio di Pb, Cd e Zn.

Si ipotizza quindi che nel territorio indagato esista una contaminazione puntuale del tutto circoscritta e non diffusa.

La ricerca ha identificato la Piana del Sitzzerri come la zona a maggior rischio ambientale del territorio indagato. È stata messa in luce la situazione di grave compromissione della qualità dei suoli di quest'area circoscritta, nonché delle loro potenzialità in termini di utilizzo produttivo, a causa dei processi di dispersione, sia attuali che pregressi, di significativi quantitativi di detriti e di sostanze contaminanti di origine mineraria. I principali fattori di tale dispersione sono rappresentati dai processi di trasporto solido/colloidale ed in soluzione nelle acque superficiali e sotterranee provenienti dai cantieri di estrazione, dagli impianti di trattamento e dai depositi di scarti di laveria (che costituiscono estesi abbancamenti) e dal bacino di decantazione della miniera, contenente circa cinque milioni di metri cubi di sterili (RAS, 2008). Le attività estrattive producono

rifiuti estremamente ricchi di metalli pesanti, che in seguito all'interazione con gli agenti atmosferici possono essere mobilizzati, portati in soluzione nelle acque e distribuiti tra i comparti ambientali.

Il **Cu** è presente in due siti dell'area di studio con valori particolarmente alti (in uno di questi siti è di poco superiore al limite di legge). Tali picchi potrebbero essere conseguenti all'intensa attività agricola, in quanto appartengono a due campioni prelevati all'interno di un oliveto e lungo le sponde del fiume Tirso. Alti valori di Cu (compresi entro i limiti di legge ma superiori ai livelli geochimici della Sardegna) sono stati trovati anche nei due campioni in prossimità del Sitzerri, dunque sono legati probabilmente all'attività mineraria di Montevecchio.

Nel caso di **Ni** e **As** non vengono mai superati i limiti di legge e i valori più alti di questi elementi sono presumibilmente legati alla natura del substrato. Per l'**As** si è anche rilevata un'elevata concentrazione nella Piana del Sitzerri.

Tenendo in considerazione le difficoltà che si incontrano nel determinare se l'origine di un elemento nel suolo è naturale o antropica, soprattutto se gli apporti derivano da più fonti, come accade comunemente nei territori con forte presenza di attività agricole, per agevolare la valutazione ci si è avvalsi di tecniche di statistica multivariata (PFA e analisi delle correlazioni), che hanno messo in evidenza alcune importanti relazioni tra il contenuto di PTEs e le proprietà chimiche dei suoli del Golfo di Oristano.

In particolare la PFA ha confermato quanto emerso dalla caratterizzazione fisico-chimica e pedogeochimica dei suoli della fascia costiera del Golfo di Oristano, cioè che, ad esclusione delle aree per cui è evidente una contaminazione di origine antropica (area del Sitzerri) o per cui la contaminazione è presunta (aree localmente contaminate da Cu), i principali fattori che controllano la distribuzione e la concentrazione del PTEs nell'area di studio sono legati alle naturali condizioni geologiche e pedologiche. In particolare i metalli sono generalmente concentrati nei suoli che presentano una tessitura fine (alti contenuti di limo e argilla).

Anche l'analisi di correlazione ha messo in evidenza che le più significative relazioni tra gli elementi sono in parte ereditate dalla roccia madre ed in parte influenzate dai processi di alterazione e di pedogenesi. Nello specifico, l'analisi di correlazione ha evidenziato una significativa correlazione negativa (r compreso tra -0,407 e -0,654, $p < 0,01$) tra le concentrazioni di Ni, Zn, Cu e Pb ed i contenuti della frazione granulometrica sabbiosa.

Viceversa le concentrazioni di questi elementi sono correlate positivamente con la **frazione granulometrica fine** del suolo, in particolare Ni, Zn e Pb sia con limo e argilla, Cu solo con la componente limosa. Queste relazioni valgono anche per Al, Fe e Mn mentre Cd e As non mostrano alcuna correlazione con la frazione granulometrica.

I minerali argillosi sono infatti in grado di adsorbire (in misura direttamente proporzionale alla loro CSC) una certa frazione di metalli. Si può quindi concludere che nei suoli esaminati Ni, Zn, Pb e Cu sono associati alla frazione granulometrica più fine (limo e argilla); verosimilmente essi sono legati e/o adsorbiti agli **ossidrossidi di Fe e Mn** alla luce delle forti correlazioni esistenti tra le concentrazioni di questi elementi.

Inoltre dalla ricerca emerge anche l'efficacia di adsorbimento dei cationi metallici da parte della **sostanza organica**, a conferma del grande potere legante della materia organica unificata che può complessare i metalli. Il CO si correla infatti significativamente e positivamente con Ni, Zn, Pb, Al, Fe e Mn (r varia da 0,378 a 0,484, $p < 0,01$).

Anche il ruolo dei **carbonati** è di fondamentale importanza. Elevate concentrazioni di Cd e Cu sono state rilevate in suoli sviluppatasi su substrato geologico di natura calcarea. Infatti il Cd può essere contenuto nella struttura dei carbonati, dove sostituisce il Ca^{2+} (Baize, 1997), e il Cu può essere facilmente adsorbito dai carbonati (Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007). Anche Ni e As mostrano alcuni punti con concentrazioni elevate in presenza di un alto contenuto di carbonati, in cui questi elementi possono essere presenti come specie adsorbita (Goldberg e Glaubig, 1988; Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007; Mehmood et al., 2009); ciò è corroborato dalla correlazione positiva mostrata dalla matrice di correlazione tra questi due elementi e i carbonati totali e, per l'As, anche dalla PFA.

È stato preso in considerazione anche il **pH** come fattore che controlla l'abbondanza di alcuni PTEs. Il pH, che si correla in modo significativo con Ni e As, oltre che con i carbonati totali, essendo inversamente proporzionale alla mobilità di questi elementi concorre probabilmente al loro accumulo in superficie.

Nella ricerca si è fatto ricorso a due indici di contaminazione del suolo che permettono di sintetizzare le informazioni disponibili e, opportunamente affiancati alle altre elaborazioni dei dati, aiutano nella stima dello stato di contaminazione dei suoli.

Tra indici calcolati, l'indice di geoaccumulo (I_{geo}) ha confermato l'ipotesi dell'arricchimento di origine antropica di Pb, Zn e Cd nei suoli della Piana del Rio Sitzerri e di Cu in due particolari siti (oliveto e sponda del Tirso).

L'indice di arricchimento superficiale (EI) ha fornito indicazioni utili per la valutazione dell'arricchimento nell'orizzonte superficiale di Ni, Cu, Pb e Zn rispetto ai valori di background. Si fa presente che Cd e As non sono stati inseriti nel calcolo dell'indice di arricchimento superficiale a causa della limitata disponibilità per questi elementi di dati riferiti al livello geochimico regionale.

Nel complesso l'EI ha mostrato che i suoli esaminati non presentano evidenze di un forte accumulo di metalli in superficie, ad eccezione dei due siti in prossimità del Sitzzerri, dove è chiara l'origine antropica dei contaminati.

Gli indici quindi rafforzano quanto già mostrato dai risultati ottenuti dalle altre elaborazioni dei dati, cioè il fatto che territorio indagato sia interessato da contaminazione puntuale, circoscritta ad alcune aree, piuttosto che diffusa.

I livelli di concentrazione dei PTEs osservati nell'area di studio, pertanto, sono quasi completamente da ascrivere alla disgregazione del materiale parentale e ai successivi processi pedogenetici mentre il contributo antropogenico è marginale.

Oltre all'attività mineraria che costituisce la sorgente certa dei metalli pesanti degli orizzonti pedologici superficiali dell'area del Sitzzerri, altre origini antropiche di contaminanti che causano un arricchimento della preesistente dotazione sono state identificate nell'intensa attività agricola e zootecnica del territorio indagato, che apporta al suolo sostanze contenenti metalli pesanti utilizzate per la difesa fitosanitaria e per la fertilizzazione.

In conclusione, le interpretazioni dei dati della presente ricerca hanno mostrato che la concentrazione dei PTEs indagati è per la maggior parte dovuta all'interazione/adsorbimento con la frazione granulometrica fine, con la sostanza organica, con gli ossidrossidi di Fe e Mn e con i carbonati. Anche se in alcune situazioni, per lo più puntiformi, la concentrazione dei PTEs può essere attribuita ad attività antropiche, è necessario considerare che essi siano naturalmente presenti nei suoli.

Per completare il quadro, si renderebbe utile un approfondimento delle indagini sin'ora condotte, che ci si auspica venga concretizzato con ricerche future, anche attraverso l'uso della geostatistica, rilevamenti pedologici di dettaglio e analisi mineralogiche.

5.2.3 Allegato

Correlazioni (Data base BOXCOX trasformati.sta)																			
Corr. marcate significative al livello $p < ,00100$																			
N=114 (Eliminaz. casewise dati mancanti)																			
Variabile	Sabbia	Limo	Argilla	Carbonati totali	pH	CE	CO	N	P	CSC	Al	Fe	Mn	Ni	Zn	Cu	Pb	Cd	As
Sabbia	1,000	-0,963	-0,860	-0,213	-0,230	-0,496	-0,538	-0,468	-0,533	-0,785	-0,737	-0,774	-0,642	-0,624	-0,654	-0,407	-0,460	-0,113	-0,161
Limo	-0,963	1,000	0,767	0,254	0,230	0,507	0,589	0,503	0,585	0,823	0,786	0,798	0,714	0,689	0,666	0,451	0,542	0,141	0,221
Argilla	-0,860	0,767	1,000	0,103	0,151	0,419	0,530	0,468	0,435	0,706	0,573	0,599	0,435	0,433	0,562	0,288	0,334	0,064	0,018
Carbonati totali	-0,213	0,254	0,103	1,000	0,785	0,076	0,158	0,311	0,353	0,323	0,399	0,166	0,167	0,499	-0,050	0,295	0,212	0,275	0,533
pH	-0,230	0,230	0,151	0,785	1,000	0,181	0,106	0,212	0,231	0,286	0,330	0,158	0,095	0,408	-0,010	0,236	0,106	0,216	0,339
CE	-0,496	0,507	0,419	0,076	0,181	1,000	0,542	0,478	0,365	0,562	0,322	0,348	0,297	0,206	0,435	0,232	0,185	-0,003	-0,127
CO	-0,538	0,589	0,530	0,158	0,106	0,542	1,000	0,707	0,525	0,742	0,470	0,450	0,378	0,410	0,484	0,263	0,383	-0,040	-0,002
N	-0,468	0,503	0,468	0,311	0,212	0,478	0,707	1,000	0,532	0,677	0,450	0,314	0,307	0,341	0,355	0,315	0,309	-0,016	0,025
P	-0,533	0,585	0,435	0,353	0,231	0,365	0,525	0,532	1,000	0,587	0,515	0,396	0,374	0,432	0,413	0,387	0,314	0,223	0,174
CSC	-0,785	0,823	0,706	0,323	0,286	0,562	0,742	0,677	0,587	1,000	0,731	0,678	0,631	0,641	0,626	0,450	0,530	0,121	0,182
Al	-0,737	0,786	0,573	0,399	0,330	0,322	0,470	0,450	0,515	0,731	1,000	0,832	0,769	0,814	0,569	0,592	0,566	0,226	0,316
Fe	-0,774	0,798	0,599	0,166	0,158	0,348	0,450	0,314	0,396	0,678	0,832	1,000	0,905	0,760	0,819	0,491	0,684	0,192	0,310
Mn	-0,642	0,714	0,435	0,167	0,095	0,297	0,378	0,307	0,374	0,631	0,769	0,905	1,000	0,727	0,753	0,489	0,741	0,269	0,358
Ni	-0,624	0,689	0,433	0,499	0,408	0,206	0,410	0,341	0,432	0,641	0,814	0,760	0,727	1,000	0,496	0,498	0,586	0,261	0,525
Zn	-0,654	0,666	0,562	-0,050	-0,010	0,435	0,484	0,355	0,413	0,626	0,569	0,819	0,753	0,496	1,000	0,468	0,646	0,244	0,081
Cu	-0,407	0,451	0,288	0,295	0,236	0,232	0,263	0,315	0,387	0,450	0,592	0,491	0,489	0,498	0,468	1,000	0,441	0,372	0,249
Pb	-0,460	0,542	0,334	0,212	0,106	0,185	0,383	0,309	0,314	0,530	0,566	0,684	0,741	0,586	0,646	0,441	1,000	0,465	0,398
Cd	-0,113	0,141	0,064	0,275	0,216	-0,003	-0,040	-0,016	0,223	0,121	0,226	0,192	0,269	0,261	0,244	0,372	0,465	1,000	0,286
As	-0,161	0,221	0,018	0,533	0,339	-0,127	-0,002	0,025	0,174	0,182	0,316	0,310	0,358	0,525	0,081	0,249	0,398	0,286	1,000

Figura 5.36. Matrice di correlazione ($p < 0,001$).

II PARTE

5.3 Valutazione degli effetti del *land use* sulla qualità del suolo

5.3.1 Risultati e discussione

Nelle tabelle 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13 sono riportati i risultati dei parametri chimico-fisici e pedogeochimici dei 32 campioni raggruppati in 6 classi di uso del suolo. Le tabelle 5.17 e 5.18 mostrano invece i dati relativi alle quattro attività enzimatiche e alla glomalina, utilizzate in questo studio come indicatori della qualità della risorsa suolo in risposta ai diversi usi del suolo. La qualità di un suolo può dipendere infatti sia dalla sua naturale composizione, ma anche dalle variazioni relative all'uso e alla gestione dello stesso da parte dell'uomo (Pierce e Larson, 1993).

Per ciascun parametro è stata saggiata la significatività delle differenze tra i diversi gruppi con l'Analisi della Varianza (ANOVA) con un livello di significatività inferiore al 5% ($p < 0,05$), seguita dal cosiddetto test di onestà di Tukey.

I dati sono stati espressi come media \pm errore standard (tabelle 5.14, 5.15 e 5.19) e sono stati rappresentati attraverso degli istogrammi che mostrano l'andamento di ciascun parametro nei diversi usi del suolo (anche con esplicitati i terreni agricoli).

Inoltre, è stata creata una matrice di correlazione di Pearson per stimare il grado di correlazione tra i parametri indagati. Nel testo sono riportati i coefficienti di correlazione lineare (r) significativi per $p < 0,001$ (contrassegnati con ***) e $p < 0,05$ (contrassegnati con **). Infine è stata condotta l'analisi dei fattori principali (PFA).

5.3.1.1 Parametri chimico-fisici e pedogeochimici

Densità apparente

La densità apparente è un importante indicatore di qualità del suolo e la sua misura permette di valutare il suo grado di compattazione. È un parametro direttamente correlato alla porosità del suolo, in particolare all'aumentare della densità apparente la porosità del suolo diminuisce. Questa proprietà fisica influenza direttamente la dinamica della fase liquida e di quella aeriforme nel suolo ed, indirettamente, la fertilità fisica (Dazzi, 2013).

La densità apparente è influenzata da diversi fattori come l'origine dei suoli, la tessitura, l'uso del suolo ed il tipo di coltivazione (Logdson e Karlen, 2004).

I risultati relativi allo studio condotto per la presente ricerca rivelano comunque come la densità apparente non mostri differenze statisticamente significative negli orizzonti di superficie (A o Ap) dei suoli indagati e sottoposti a differenti usi del suolo.

Nei suoli delle PI (prevalentemente sabbiosi) la densità apparente varia da 1,20 a 1,32 g/cm³ (con una media di 1,27 g/cm³ ±0,04), range tipicamente riscontrato in suoli simili (Giordano, 2011).

Nella GA (suoli sabbiosi o franco sabbiosi) si registrano valori di densità apparente compresi tra 1,16 e 1,45 g/cm³ (con una media di 1,23 ±0,12). Negli IN la densità apparente varia da 0,94 a 1,18 g/cm³ (media di 1,07 ±0,04).

La densità apparente potrebbe essere soggetta a variazioni (anche se non in maniera statisticamente significativa) in suoli sottoposti a diversi tipi di disturbo, quale il pascolo nel caso dei suoli sotto GA e IN. Il pascolamento, attraverso un'intensa attività di calpestio, può aver provocato il compattamento degli orizzonti superficiali del suolo, diminuendone l'areazione, la capacità di infiltrazione dell'acqua e conseguentemente peggiorandone la struttura (Manzano e Navart, 2000; Stavi et al., 2008; Bondi, 2013).

La MM e gli EU presentano le densità apparenti mediamente più basse (rispettivamente 1,06 g/cm³ e 0,93 g/cm³). La presenza della copertura vegetale nella MM e la presenza di una consistente lettiera negli EU ha contribuito a proteggere il suolo, riducendone sensibilmente l'erosione idrica, prevenendo la formazione di croste superficiali, potenziando l'infiltrazione dell'acqua e migliorandone nel complesso la struttura (Bromley et al., 1997; Stavi et al., 2008).

I TA, ad eccezione dei campi di mais, non mostrano valori particolarmente alti di densità apparente. In tali suoli quindi non sono evidenti fenomeni di compattazione del suolo dovuti all'attività agricola che, come riportato in letteratura, può comportare una riduzione del volume dei pori del suolo, che si traduce in un aumento della densità apparente.

I campi di mais invece hanno alti valori di densità apparente (variano da 0,89 a 1,64 g/cm³, con una media di 1,36 g/cm³ ±0,13), nonostante si tratti di suoli prevalentemente sabbiosi.

In accordo con quanto riportato dalla letteratura, la densità apparente risulta negativamente correlata con i parametri relativi alla fertilità del suolo: carbonio organico $r=-0,566^{***}$ e CSC $r=-0,704^{***}$, alla conducibilità elettrica $r=-0,556^{***}$ e alla frazione granulometrica

fine (limo) $r=-0,587^{***}$. Infine, questo parametro risulta negativamente correlato con il Pb, $r=-0,558^{***}$.

Quest'ultima pare essere una correlazione di tipo indiretto; tale metallo, infatti, essendo correlato positivamente con il limo (quindi presumibilmente tende a concentrarsi nella frazione fine) indirettamente si correla anche con la densità apparente: al diminuire della densità apparente (suoli argillosi o limosi) aumenta il contenuto di Pb.

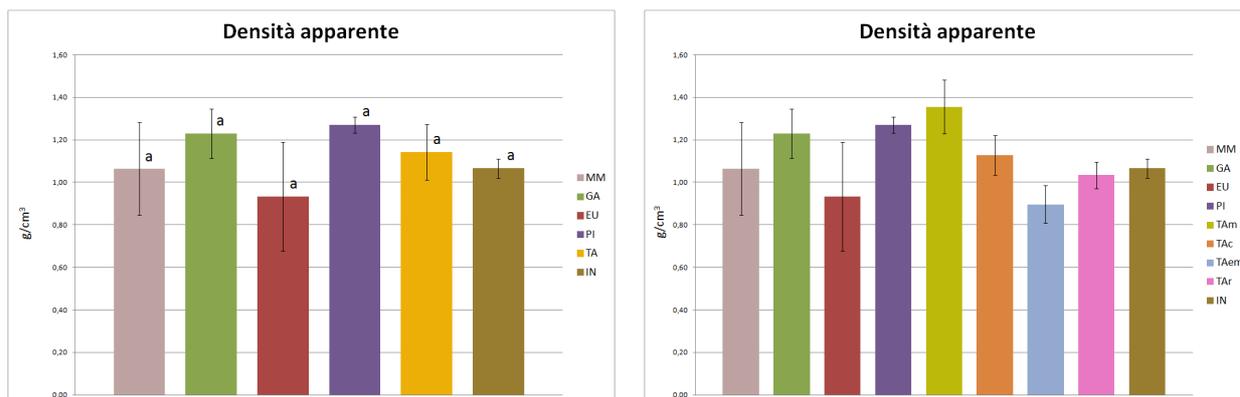


Figura 5.37. Andamento della densità apparente nei diversi usi del suolo.

Sabbia, limo e argilla

I suoli sotto PI presentano orizzonti di superficie caratterizzati da una prevalente tessitura sabbiosa (contenuto medio in sabbia del 97%).

Negli orizzonti di superficie di GA ed EU i valori medi nei contenuti in sabbia si attestano rispettivamente sull'80% ed il 78%. I contenuti in sabbia risultano essere significativamente superiori ($p<0,05$) negli orizzonti di superficie delle PI rispetto a quelli caratterizzanti i suoli dei TA e degli IN.

Gli orizzonti di superficie dei suoli caratterizzanti gli IN ed i TA presentano un alto contenuto medio di limo (rispettivamente 29% e 27%). I valori medi di argilla sono alti negli orizzonti di superficie dei suoli dei TA (16%), in particolare nei campi di erba medica dove raggiungono il 33%, e nella MM (15%).

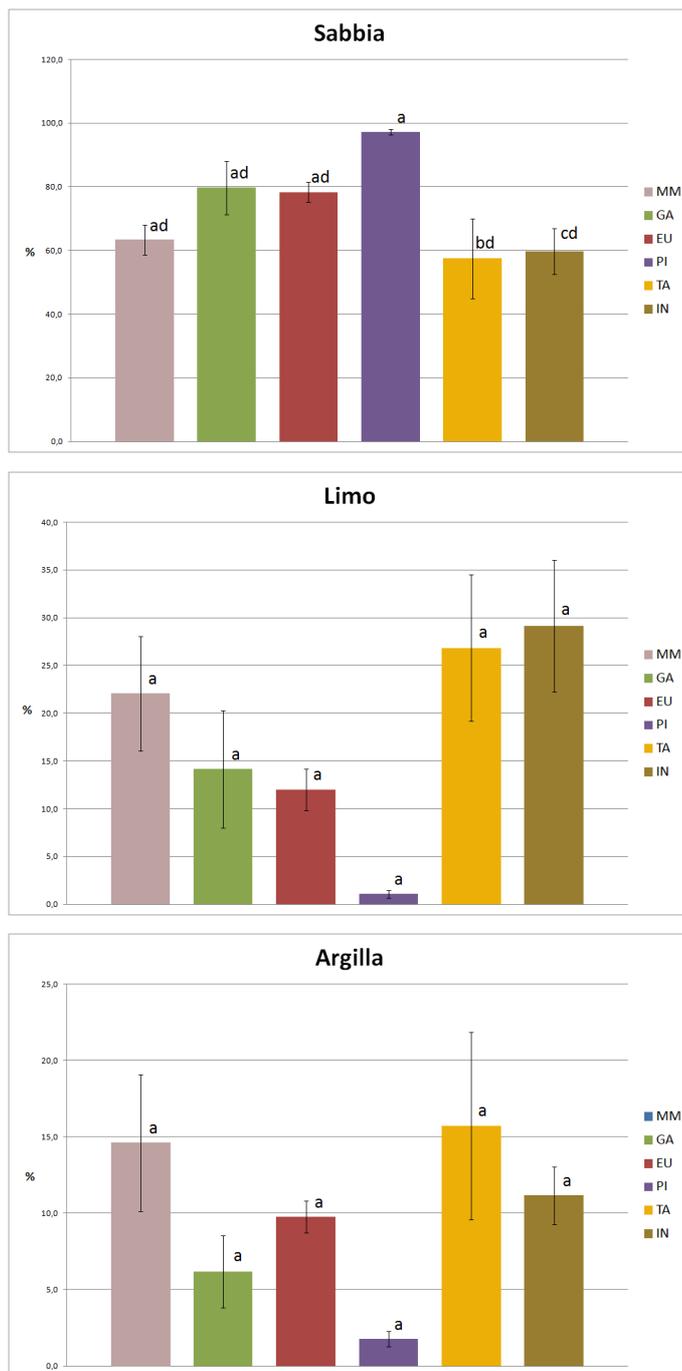


Figura 5.38. Andamento di sabbia, limo e argilla nei diversi usi del suolo.

Carbonati totali

Per carbonati totali si intende la componente minerale del suolo costituita prevalentemente da carbonati di calcio, magnesio e sodio. Dato che il primo è predominante rispetto agli altri e il metodo analitico non permette la distinzione fra le varie forme,

convenzionalmente per carbonati totali si intende prevalentemente il carbonato di calcio (CaCO_3).

La presenza di carbonati nel suolo, entro certi limiti, è da considerarsi positiva per la funzione nutrizionale esplicata dal calcio nei riguardi delle piante e per gli effetti favorevoli sulla struttura e sulla mineralizzazione delle sostanze organiche (Giandon e Bortolami, 2007).

I valori di carbonati totali nei 6 gruppi di uso del suolo analizzati sono molto variabili.

Gli orizzonti di superficie dei suoli della MM e degli EU mostrano contenuti medi in carbonati molto bassi (rispettivamente 1 g/kg e 16 g/kg), sono quindi classificati, in base alla classificazione di Boero (2000), come suoli non calcarei o poco calcarei. I TA hanno un contenuto medio in carbonati di 101 g/kg, sono quindi suoli poco calcarei, anche se, se si considerano singolarmente i campi di erba medica, il valore è nettamente diverso, pari a 232 g/kg.

I valori medi di calcare negli IN, nelle PI e nella GA sono medio-alti, si attestano oltre i 200 g/kg; questi suoli vengono classificati come calcarei o mediamente calcarei.

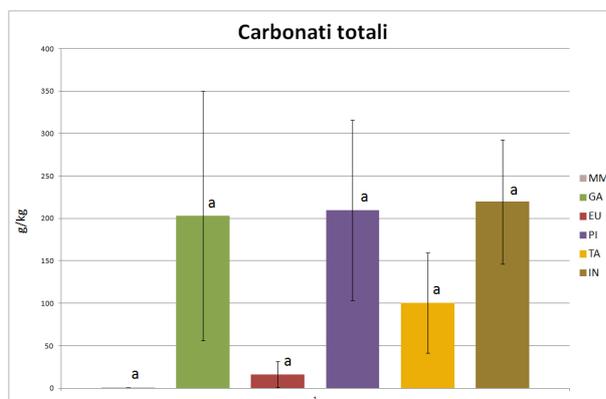


Figura 5.39. Andamento dei carbonati totali nei diversi usi del suolo.

pH

La media del pH dei campioni (raggruppati nei 6 gruppi di uso del suolo) è abbastanza variabile: varia da 6,5 a 7,9 (da debolmente acidi a moderatamente alcalini), in accordo con la variabilità della composizione dei substrati pedogenetici e del basamento geologico. I suoli coperti da MM mostrano valori di pH da 6,2 a 6,7 (con una media di $6,5 \pm 0,1$). Tale range di pH è riscontrabile negli orizzonti superficiali di molti suoli naturali (Ceccanti et al., 2008).

La vegetazione infatti esercita una notevole influenza sulla reazione del suolo a causa della elevata quantità di elementi alcalini e/o alcalino-terrosi che asporta con il suo apparato radicale. Se i prodotti e i residui vegetali rimangono sul suolo, il rapporto asportazioni/apporti risulta pari ad 1 e non si hanno variazioni nel pH, ma se, come nel caso della macchia mediterranea, il prodotto viene allontanato dal suolo allora si ha tendenza verso l'acidità (Dazzi, 2013).

Questi suoli sono, quindi, acidi o subacidi a causa della forte lisciviazione di calcio e carbonati.

Inoltre i fenomeni di decomposizione della sostanza organica potrebbero aver portato ad una maggiore acidificazione del terreno (Fujii et al., 2011).

Gli IN, che in media presentano un alto contenuto di carbonati (219,67 g/kg), hanno un pH medio di $7,9 \pm 0,1$ (i valori variano da 7,5 a 8,2). Lo stesso vale per la GA, che presenta un pH medio di $7,3 \pm 0,4$.

Il pH dei TA mostra un valore medio pari a $7,2 \pm 0,4$. Se si considerano singolarmente gli usi agricoli, si nota che i campi di mais (TA_m) e le risaie (TA_r) hanno mediamente un pH medio inferiore alla neutralità, rispettivamente di $6,8 \pm 0,3$ e $6,8 \pm 0,2$. Ciò potrebbe essere dovuto alle fertilizzazioni (ad esempio un uso eccessivo di solfato di ammonio), che intervengono in maniera rilevante nell'influenzare la reazione del suolo, riducendo talvolta il pH del terreno, come dimostrano molti studi scientifici (Ismail et al., 1994; Li et al., 2001; Flower e Crabtree, 2011).

Inoltre è stato dimostrato che la tendenza dei suoli a divenir acidi è più accentuata quando essi sono coltivati. In quelli non coltivati infatti, tutti gli elementi nutritivi presi dalla vegetazione ritornano al suolo, mentre in quelli coltivati, gran parte degli elementi nutritivi assimilati dalle piante possono essere allontanati con i raccolti (Violante e Adamo, 2000).

Nel caso delle risaie è probabile anche che avvenga una acidificazione superficiale provocata dal dilavamento operato dalle acque che sommergono il terreno risicolo.

I campi di erba medica (TA_{em}), localizzati nei Typic e Vertic Fluvaquents, sono invece suoli alcalini, hanno un valore medio di pH di $8,3 \pm 0,1$ e sono suoli mediamente calcarei.

Gli EU hanno un pH medio di $7,1 \pm 0,2$ mentre il valore medio di pH delle PI è, infine, di $7,2 \pm 0,1$, con un range di valori abbastanza ampio (5,3-8,3).

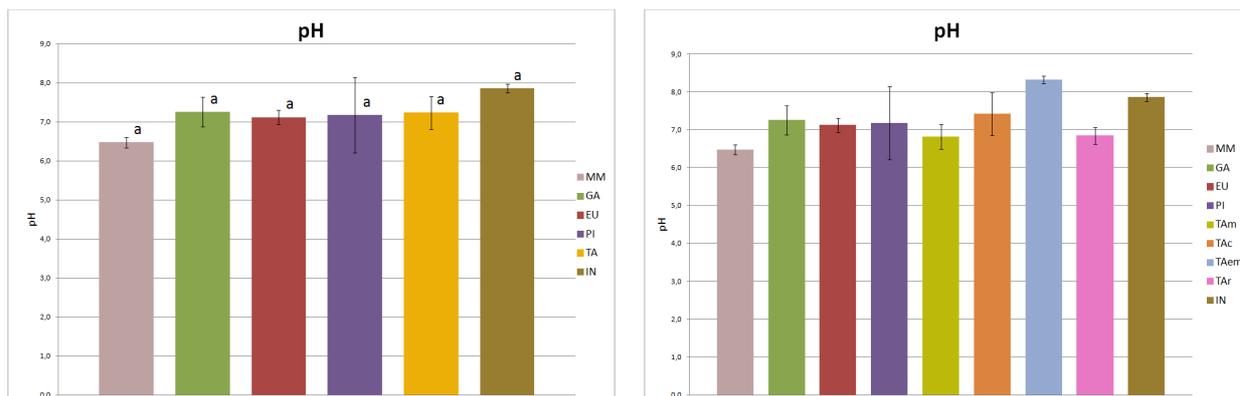


Figura 5.40. Andamento del pH nei diversi usi del suolo.

Conducibilità elettrica

La misura della conducibilità elettrica fornisce una stima della concentrazione dei sali solubili presenti nel terreno. I sali solubili presenti, siano essi derivati dal suolo stesso, dalle acque di falda o di irrigazione o dalle concimazioni, sono indispensabili per la nutrizione delle piante, ma la concentrazione deve essere contenuta entro certi valori.

Quando un suolo contiene un eccesso di sali solubili (conducibilità elettrica > 4 mS/cm o 4000 μ S/cm) viene definito salino.

Negli usi del suolo indagati si possono identificare due range di valori medi di conducibilità elettrica, che confermano l'assenza di suoli salini. Un intervallo va da 159,6 μ S/cm a 396,2 μ S/cm nelle PI, nella MM e nella GA, l'altro va da 793,0 μ S/cm a 804,1 μ S/cm negli IN e negli EU. Si sottolinea che l'Eucalyptus tollera infatti una moderata concentrazione salina nel suolo.

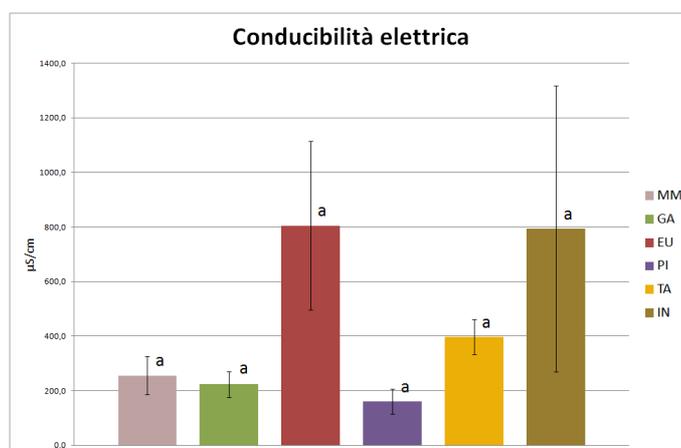


Figura 5.41. Andamento della conducibilità elettrica nei diversi usi del suolo.

Carbonio organico

Il carbonio organico rappresenta una stima del contenuto in sostanza organica del suolo. La sostanza organica ha un ruolo importante nella pedogenesi ed influenza, in misura determinante, molte proprietà chimiche e fisiche del suolo: costituisce la principale riserva nel suolo di macronutrienti come N, P, S, contribuisce in maniera sostanziale a determinare la capacità di scambio cationico e la capacità tamponante del suolo; inoltre influenza positivamente la stabilità della struttura, la permeabilità e l'aerazione del suolo. Grazie alle sue capacità chelanti, contribuisce inoltre a mantenere in forma assimilabile alcuni metalli. La determinazione del C organico costituisce quindi una delle analisi di laboratorio di maggior interesse dal punto di vista agronomico (Violante, 2000).

Nella presente ricerca, l'orizzonte superficiale dei suoli sotto MM presenta un alto contenuto medio di carbonio organico (3,8%, corrispondente a 38,8 g/kg \pm 12,5). In questi suoli la presenza della vegetazione più o meno sviluppata, contribuisce ad un significativo aumento della sostanza organica nel topsoil attraverso il rilascio di residui vegetali ed essudati radicali, che porta a sua volta all'incremento della fertilità biologica del suolo. Il C organico si correla fortemente, infatti, con la CSC $r=0,754^{***}$.

La quantità di materia organica morta che giunge al suolo, nello specifico la lettiera vegetale, dipende dalla produttività di un ecosistema ed è quindi influenzata dal clima, dal tipo di vegetazione e dal grado di copertura vegetale e varia nei diversi stadi di una successione ecologica (Stevenson, 1982).

Nei suoli sotto EU si registrano valori alti di carbonio organico (in media 3,8 % pari al 38,4 g/kg \pm 10,5).

Nell'orizzonte superficiale dei suoli sotto le GA (cioè dove persistono i fattori di degrado della macchia) e sotto gli IN compare una vegetazione estremamente bassa e rada, che spesso si adatta a vivere su suoli dove affiora la roccia sottostante. Qui il contenuto sostanza organica non è molto elevato (rispettivamente 24,5 g/kg \pm 12,1 e 16,9 g/kg \pm 3,9).

La compattazione (dovuta principalmente al sovrappascolamento) inoltre può influenzare intensamente l'attività degradativa da parte della biomassa microbica presente nel suolo, portando ad una riduzione dei livelli di sostanza organica.

Nel topsoil delle PI è stato rilevato un contenuto di C organico molto basso, in media 0,3% (3,9 g/kg \pm 1,8). Tali suoli possono influenzare negativamente la comunità microbica e causare così l'impoverimento del contenuto di carbonio organico (Iovieno, 2006) e di

conseguenza una scarsa attività enzimatica.

Inoltre l'alto grado di ossigenazione tipica dei terreni sabbiosi (come quelli delle PI) indirizza il bilancio della sostanza organica verso la mineralizzazione, specie in ambienti che attraversano periodi di alte temperature associate a siccità.

I TA presentano un contenuto medio di C organico inferiore al 2% (18,5 g/kg \pm 3,9). Questo valore riferito ai terreni agrari è indice di un suolo mediamente dotato di sostanza organica (Giardini, 2002), nonostante le attività agricole, usualmente, riducano gli input di materiale organico (larga parte della biomassa viene rimossa con il raccolto) producendo così un declino del contenuto di C organico. In particolare nei campi di erba medica (TAem), dove valori medi di argilla negli orizzonti di superficie si attestano attorno al 30%, la dotazione di C organico è molto buona (29,4 g/kg \pm 15,8). I suoli argillosi hanno infatti una maggiore capacità di immagazzinare la sostanza organica. Inoltre i residui vegetali di questa coltura apportano al suolo una quantità di sostanza organica secca abbastanza elevata (400-650 kg/ha) (Sbaraglia e Lucci, 1994).

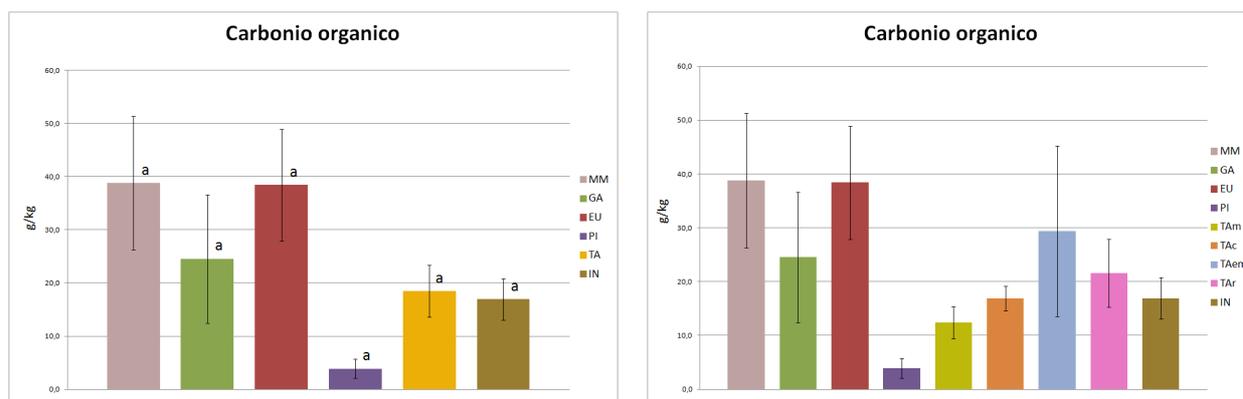


Figura 5.42. Andamento del C organico nei diversi usi del suolo.

Azoto totale

L'azoto, uno degli elementi più comuni che la pianta assorbe con le radici, è considerato il fattore principale della fertilità del suolo. Nel terreno si trova sia in forma organica che in forma inorganica, che nell'insieme costituiscono l'azoto totale. Nel suolo il 97-99% dell'azoto totale è costituito da azoto organico, mentre il rimanente è quello che viene utilizzato dalle piante (forma ammoniacale e nitrica).

Il contenuto di N negli usi del suolo indagati, è un parametro che, generalmente, segue l'andamento del contenuto della sostanza organica.

Il valore medio di azoto totale rilevato nella MM è di 0,07% (0,7 g/kg \pm 0,4); nelle GA e negli IN è attorno allo 0,09% (rispettivamente 0,9 g/kg \pm 0,3 e 0,9 g/kg \pm 0,1). Tali valori sono quindi inferiori rispetto quelli tipici di suoli naturali che oscillano tra lo 0,15% e lo 0,40% (Malquori e Radaelli, 1989).

I terreni agricoli (TA) hanno un valore medio di N totale di 0,08% (0,8 g/kg \pm 0,1), in linea con i valori tipici dei terreni agrari: 0,02-0,40% secondo Malquori e Radaelli (1989) e 0,8-2 g/kg secondo Benedetti et al. (2000). Si constata quindi che i suoli agricoli indagati non hanno un contenuto eccessivo di azoto totale nel loro orizzonte superficiale.

Alti valori medi di azoto totale si registrano nel topsoil dei campi di erba medica (N totale pari a 1,2 g/kg \pm 0,1), che presentano una elevata componente argillosa (33%) e un alto contenuto di C organico (29,4 g/kg). Si ricorda infatti che la quantità di azoto totale presente nel suolo è strettamente dipendente dal contenuto di sostanza organica e di colloidali argillosi.

L'azoto totale degli EU è significativamente superiore ($p < 0,05$) rispetto a quello delle PI. Nei suoli sotto PI è stato riscontrato un valore medio di N totale molto basso, pari allo 0,03% (0,3 g/kg \pm 0,03), mentre gli EU mostrano un valore medio pari allo 0,23% (2,3 g/kg \pm 0,8).

Le PI infatti sono povere di sostanza organica, che come è noto costituisce un'importante riserva di nutrienti come l'azoto. Ciò non stupisce in quanto le PI sono prevalentemente sabbiose, quindi caratterizzate da una elevata macro-porosità con conseguenti situazioni di elevata areazione, elevata mineralizzazione della sostanza organica e conseguente basso contenuto di azoto ed humus. Al contrario i suoli degli EU mostrano un alto contenuto di C organico (38,4 g/kg \pm 10,5).

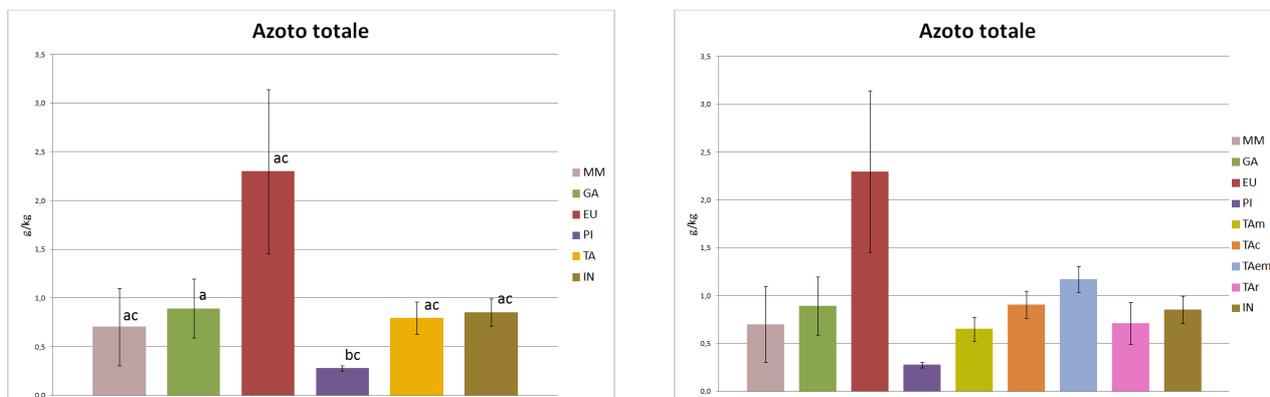


Figura 5.43. Andamento del N totale nei diversi usi del suolo.

Fosforo totale

Il fosforo è presente nel suolo quasi esclusivamente come ortofosfato in forma inorganica o organica. Il contenuto totale di fosforo nei suoli è relativamente basso ed è compreso normalmente tra 0,2-5 g/kg (Arduino e Barberis, 2000).

Il contenuto medio di fosforo totale nei suoli indagati, sempre considerando l'orizzonte di superficie, non è eccessivo ed è in linea con i valori tipici dei suoli. Negli IN e negli EU si aggira attorno ai 0,70 g/kg. Il valore medio di fosforo totale nei TA non è particolarmente elevato (0,61 g/kg \pm 0,17). In particolare, nei suoli argillosi e limosi dei TAem è pari a 0,84 g/kg \pm 0,15 e dei TAr a 0,79 g/kg \pm 0,28. Il fosforo si correla infatti significativamente e positivamente con la frazione fine del suolo: limo ($r=0,626^{***}$) e argilla ($r=0,567^{***}$).

Nei terreni naturali della MM e della GA il contenuto medio di fosforo totale è pari rispettivamente a 0,30 g/kg \pm 0,07 e a 0,22 g/kg \pm 0,06). Le sabbiose PI presentano un valore medio di 0,32 g/kg. Il fosforo mostra infatti una correlazione significativa e negativa con il contenuto in sabbia ($r=-0,653^{***}$).

Inoltre il fosforo si correla significativamente anche con la CSC ($r=0,608^{***}$).

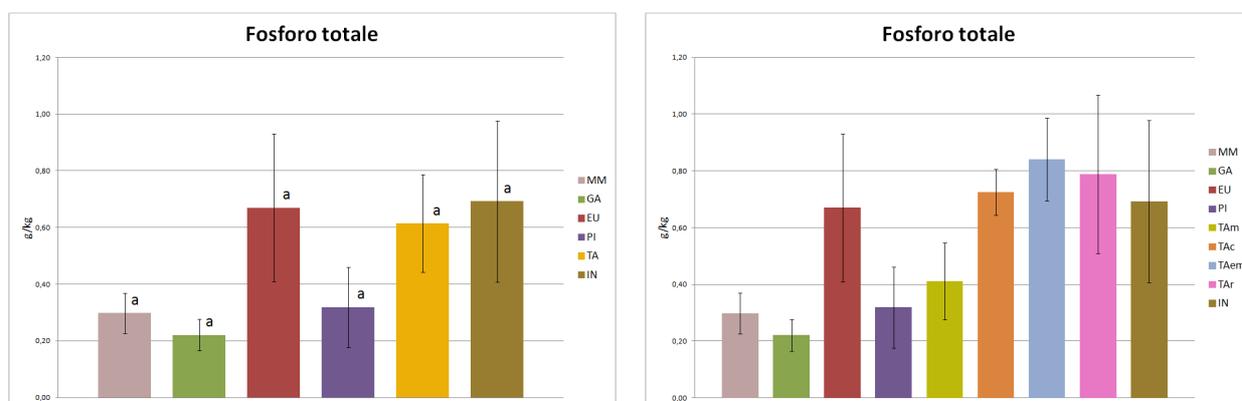


Figura 5.44. Andamento del P totale nei diversi usi del suolo.

Capacità di scambio cationico

Questo parametro dà un'indicazione della capacità del terreno di trattenere e mettere a disposizione delle piante e dei microrganismi elementi nutritivi (cationi) quali il calcio, il magnesio, sodio, il potassio, che, fissati solo temporaneamente sui minerali argillosi e le sostanze umiche, sono facilmente sostituiti da altri cationi al mutare della composizione ionica della soluzione del suolo.

Per questo motivo la CSC è un indice della potenziale fertilità chimica del terreno. Nella

presente ricerca si correla infatti significativamente ($p < 0,001$) e positivamente con conducibilità elettrica ($r = 0,774^{***}$), azoto ($r = 0,651^{***}$) e fosforo ($r = 0,608^{***}$).

I valori più alti della capacità di scambio cationico si riscontrano nei terreni ben dotati di sostanza organica.

Negli usi del suolo indagati la CSC raggiunge valori relativamente alti nei terreni argillosi ben dotati di colloidali ad alta capacità di scambio. La CSC È correlata infatti al contenuto di sostanza organica (C organico $r = 0,754^{***}$), argilla ($r = 0,618^{***}$) e limo ($r = 0,792^{***}$), per cui più risultano elevati questi parametri, maggiore sarà il valore della CSC.

Negli EU, ricchi di C organico (38,4 g/kg), la CSC varia da 8,9 a 52,8 meq/100g con valore medio relativamente alto pari a 33,1 meq/100g $\pm 12,9$ (si considerano valori alti quelli superiori a 20 meq/100g, Gessa e Ciavatta, 2000).

Tenendo presente che vengono considerati valori bassi di CSC quelli inferiori a 10 meq/100g, il valore medio di CSC delle PI è da considerare molto basso, è infatti pari a 3,2 meq/100g $\pm 0,5$, con un range compreso tra 2,1 e 3,8 meq/100g. Si tratta infatti di suoli sabbiosi (contengono il 97,2% di sabbia), pessimi scambiatori. Un valore troppo basso di CSC è spesso indice di condizioni che rendono possibili perdite per dilavamento degli elementi nutritivi.

La MM, nonostante abbia un contenuto di C equiparabile a quello degli EU, mostra un valore medio di CSC di 19,9 $\pm 6,0$, tale valore è da considerarsi intermedio (si considerano valori intermedi quelli compresi tra 10 e 20 meq/100g.). In questo caso l'acidità del suolo, seppur non eccessiva, potrebbe essersi tradotta in una limitata dotazione di alcuni elementi nutritivi (in particolare le basi di scambio) e in una ridotta disponibilità di altri nella forma assimilabile a causa di fenomeni di precipitazione chimica.

Nei suoli coltivati (TA) i valori medi di CSC, pari a 16,3 meq/100g $\pm 4,0$, riflettono quelli tipici di tali suoli (Goldberg e Arduino, 1989). La CSC si può considerare elevata soprattutto nei campi di erba medica (TAem 21,1 meq/100g $\pm 5,4$), i quali presentano una tessitura fine.

La CSC mostra una correlazione positiva con Pb ($r = 0,720^{***}$) e Zn ($r = 0,655^{***}$) e con Al, Fe e Mn, rispettivamente $r = 0,655^{***}$, $r = 0,588^{***}$ e $r = 0,601^{***}$.

Infatti, più la CSC è elevata e più il suolo ha la capacità di trattenere i cationi, tra cui i metalli pesanti, addensati come cationi di scambio sulle superfici attive dei colloidali minerali e organici.

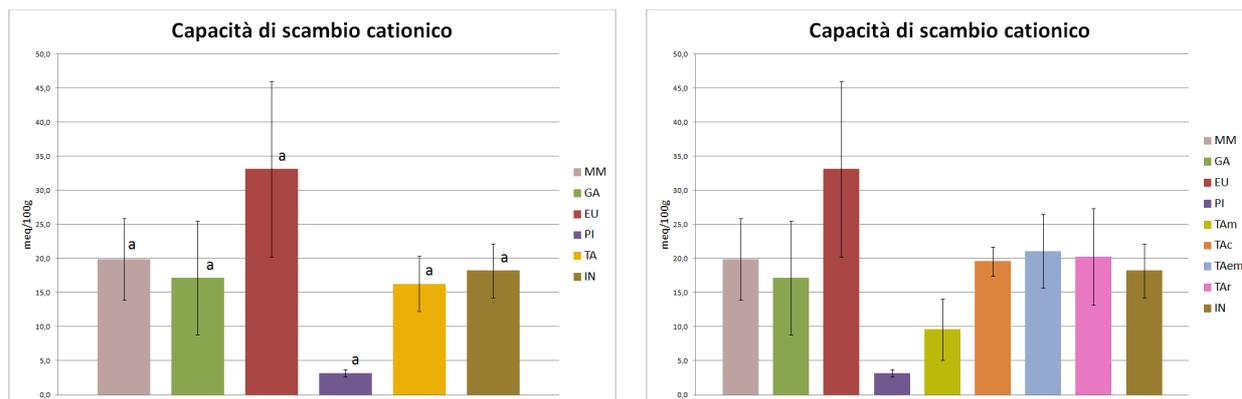


Figura 5.45. Andamento della CSC nei diversi usi del suolo.

Ferro e Manganese

La geochimica del Fe nel suolo è complessa e determinata dalla facilità con cui l'elemento cambia stato di ossidazione in risposta alle condizioni fisico-chimiche in cui si trova. Quale costituente di minerali primari (pirosseni, anfiboli, biotite, olivina) e solfuri come la pirite, il Fe è presente soprattutto allo stato bivalente. Durante i processi di alterazione dei minerali, a contatto con l'ossigeno il Fe(II) si ossida rapidamente a Fe(III) e, ai più comuni valori di pH del suolo, idrolizza l'acqua formando ossidrossidi scarsamente solubili, oppure viene complessato dalla sostanza organica (Schwertmann e Taylor, 1977).

Il Mn è un elemento essenziale per la nutrizione di piante e animali e, come per il Fe, la sua disponibilità nel suolo è controllata principalmente dalle condizioni ossido-riduttive.

Come si può osservare nella figura 5.46, gli istogrammi di Fe e Mn sono molto simili, anche se il Fe mostra differenze statisticamente significative.

Il contenuto medio di Fe nella MM (29,92 g/kg \pm 4,12) è significativamente superiore ($p < 0,05$) rispetto alle PI (4,67 g/kg \pm 1,61). Nella MM anche il Mn è presente in concentrazioni elevate (0,50 g/kg \pm 0,19).

Nei suoli ricchi di sostanza organica, come quelli della MM, Fe e Mn si trovano in gran parte in forma di complessi organo-metallici più o meno solubili (Giandon e Bortolami, 2007; Trasar-Cepeda et al., 2008). Le scarse dotazioni di Fe e Mn evidenziate nelle PI, al contrario, possono essere attribuite allo scarso contenuto in sostanza organica tipico di questi suoli.

Nei suoli coltivati (TA) il valore medio di Fe è 23,13 g/kg \pm 5,83 e di Mn è di 0,38 g/kg \pm 0,11. In particolare, le risaie (TAr) mostrano un valore medio di Fe di 32,25 g/kg \pm 13,31 e di Mn di 0,56 g/kg \pm 0,26) e i campi di carciofi (TAc) hanno un valore medio di Fe 31,08

g/kg $\pm 14,50$ e di Mn di $0,55 \text{ g/kg} \pm 0,20$. Questi suoli presentano infatti contenuti alti di limo; ed è appunto nella frazione tessiturale più fine che sono abbondanti gli ossidi e idrossidi di Fe e Mn. Ciò è confermato dalla correlazione significativa ($p < 0.001$) e positiva esistente tra Fe e Mn e la frazione fine (limo), rispettivamente $r = 0,678^{***}$ e $r = 0,611^{***}$.

Nelle risaie, inoltre, sono in genere abbondanti gli accumuli di concrezioni e noduli di ferro-manganese (Petrella et al., 2009). Come è noto, la sommersione periodica praticata nella coltivazione del riso instaura nei suoli condizioni alternativamente ossidanti e riducenti. In funzione delle variazioni stagionali di Eh e pH si formano, negli spazi interstiziali, noduli e concrezioni arricchiti in elementi in tracce, soprattutto Fe e Mn.

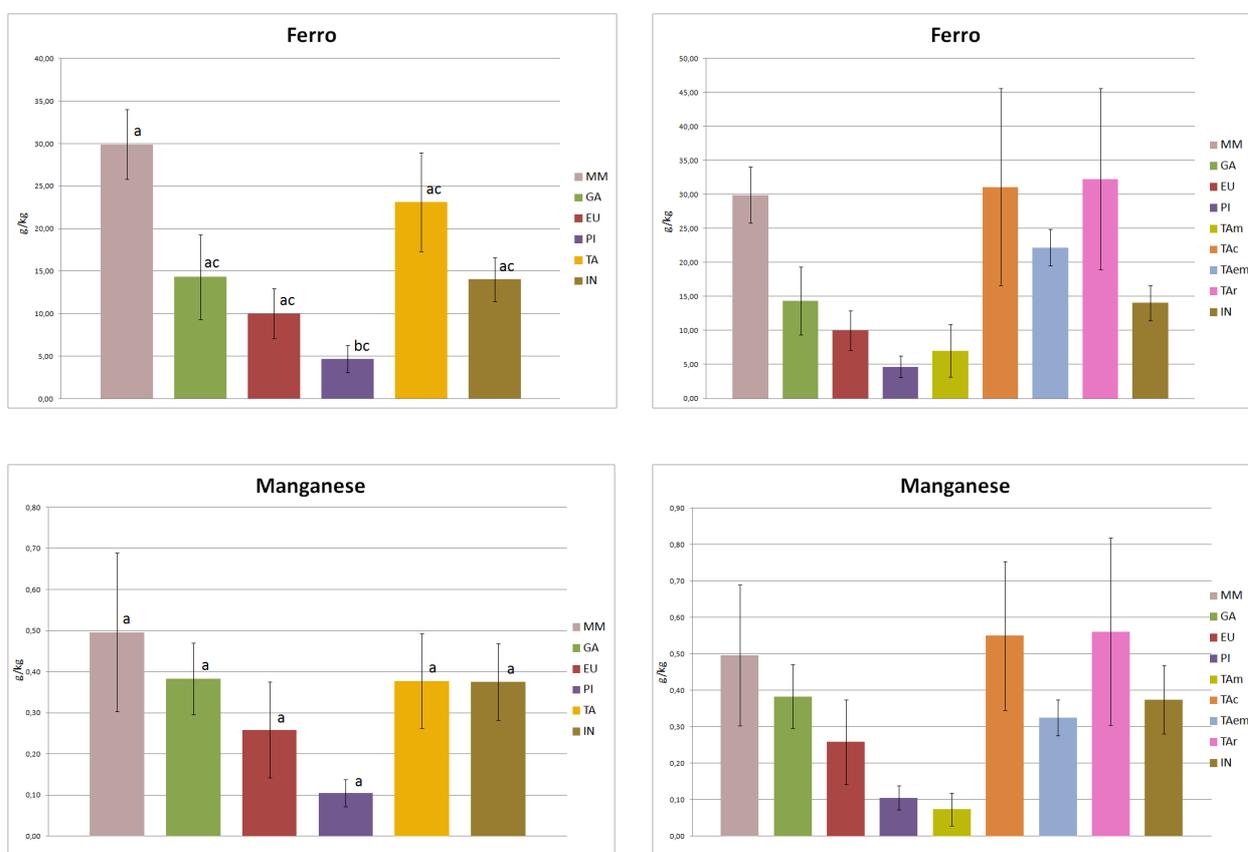


Figura 5.46. Andamento di Fe e Mn nei diversi usi del suolo.

Alluminio

Il contenuto totale di Al nel suolo è ereditato dal substrato pedogenetico; tuttavia, solo le frazioni di Al più mobili (scambiabile, complessato con la sostanza organica, costituente di minerali a ridotto ordine cristallino) giocano un ruolo importante nelle proprietà di un suolo (McLean, 1976).

Durante l'alterazione dei minerali primari, a seconda della reazione del suolo, l'Al che si libera rimane come Al^{3+} o forma una serie di idrossidi con composizione e carica diversa che possono poi diventare costituenti strutturali di minerali secondari. Nell'intervallo di pH tipico della maggior parte dei suoli (5-8) la solubilità degli idrossidi di Al è bassa.

Nell'orizzonte superficiale dei TA è stata registrata una concentrazione media di Al pari a 12,33 g/kg \pm 2,66. In particolare, alti contenuti di Al sono stati registrati nei campi di carciofi (16,49 g/kg \pm 6,18, di erba medica (14,79 g/kg \pm 2,62) e nelle risaie (13,47 g/kg \pm 8,10). In tali suoli, nel toposoil, prevale la frazione tessiturale argillosa e limosa per cui sono abbondanti ossidi e idrossidi di Al (e Fe). L'Al infatti si correla significativamente in modo positivo con il limo ($r=0,745^{***}$) e l'argilla ($r=0,573^{***}$) e in modo negativo con la sabbia ($r=-0,703^{***}$). Anche negli IN, che presentano un alto contenuto di limo nell'orizzonte superficiale, il valore medio di Al è relativamente alto (11,22 g/kg \pm 2,44).

Nelle PI il valore medio di Al è di 2,11 g/kg \pm 0,27. Lo scarso contenuto in sostanza organica e di frazione tessiturale fine di questi suoli causa una diminuzione del contenuto in ossidi di Al (e Fe) (Trasar-Cepeda et al., 2008).

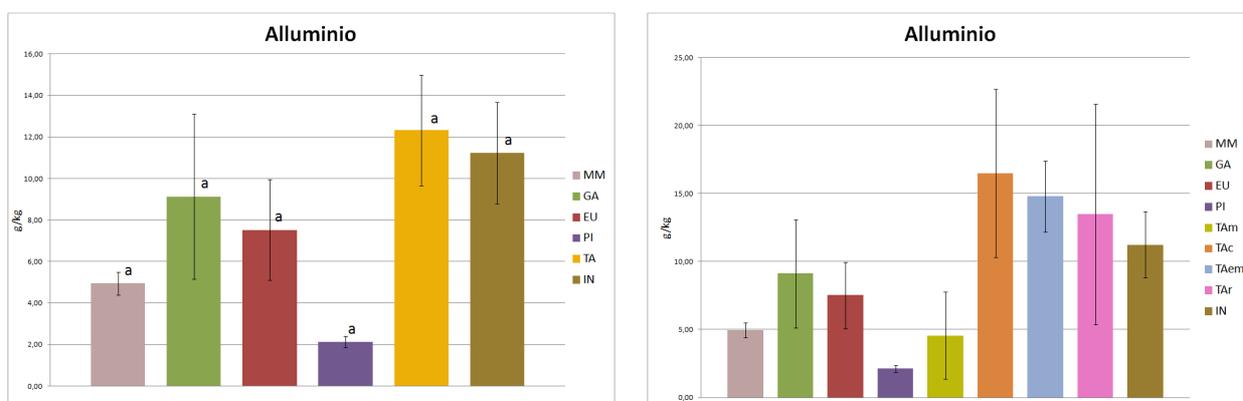


Figura 5.47. Andamento di Al nei diversi usi del suolo.

Pb e Zn

Il Pb è presente in suoli non contaminati in concentrazioni generalmente <20 mg/kg mentre il comune range per la concentrazione totale di Zn è 10-300 mg/kg con una media di 50 mg/kg (Alloway, 1995).

Nei suoli sotto MM si ha una concentrazione media di Pb di 12,50 mg/kg \pm 4,33, negli IN di 9,17 mg/kg \pm 1,24 e nella GA di 8,33 mg/kg \pm 3,00).

La capacità di assorbimento del Pb è fortemente influenzata dal contenuto di sostanza

organica e di argilla e dalla CSC (Adriano, 2001; Kabata-Pendias, 2011).

Nella presente ricerca il Pb si correla fortemente con il C organico ($r=0,614^{***}$). La sostanza organica, di cui la MM è particolarmente ricca, gioca infatti un ruolo decisivo nell'adsorbimento del Pb (Sipos et al., 2005). In particolare, di tutti PTEs, il Pb presenta la più alta affinità verso la sostanza organica (Gomes et al., 1997; Lee et al., 1998), formando complessi forti e chelati. Anche la quantità ed il tipo di argilla influenzano la capacità del suolo di legare e trattenere i metalli pesanti (Kabata-Pendias, 2011). I suoli a tessitura fine (costituiti da particelle con un'area superficiale elevata), come quelli della MM che presentano contenuti medio-alti di argilla (14,6%) e limo (22,1%) e come gli IN (limo 29,1%), sono più reattivi rispetto ai suoli sabbiosi e capaci di trattenere quantità più elevate di metalli. È stata inoltre trovata un correlazione positiva tra Pb e limo ($r=0,635^{***}$), a conferma del fatto che il Pb viene fissato in maniera molto stabile dalla frazione granulometrica fine.

I suoli della MM sono caratterizzati anche da una buona CSC (che determina una più elevata capacità di adsorbimento di specie ioniche (Chen et al., 1999). La correlazione tra Pb e CSC è infatti abbastanza alta, $r=0,720^{***}$.

Il Pb si correla significativamente anche con Al ($r=0,698^{***}$), Fe ($r=0,747^{***}$), Mn ($r=0,849^{***}$), Ni ($r=0,709^{***}$) e Zn ($r=0,637^{***}$), associati alla sostanza organica e ai minerali argillosi.

Nei suoli sotto PI, prevalentemente a tessitura sabbiosa e poveri di sostanza organica, di conseguenza il contenuto medio di Pb, così come di altri metalli, è basso (2,50 mg/kg $\pm 0,00$).

Nei TA il contenuto medio di Pb è di 5,96 mg/kg $\pm 1,31$; si ha una concentrazione media relativamente alta nei campi di carciofi (9,17 mg/kg $\pm 0,83$), ben dotati in limo (33,7%).

La concentrazione di piombo nel suolo è riconducibile in parte a naturali processi di degradazione dei substrati geologici, da cui i suoli stessi traggono origine (Palumbo et al., 2000; Rawlins et al., 2003). Fonte primaria di arricchimento della preesistente dotazione potrebbe però essere l'attività antropica (Zhao et al., 2007) con l'apporto di sostanze contenenti metalli pesanti utilizzate per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione. Tra questi i perfosfati risultano particolarmente indiziati per il loro possibile apporto di Pb. Per quanto riguarda lo Zn, nei suoli naturali della MM esso è presente in concentrazione media pari a 55,75 mg/kg $\pm 15,67$, significativamente superiore ($p<0,05$) rispetto la

concentrazione media di Zn delle PI, che mostrano bassi valori (7,50 mg/kg \pm 1,42).

Come il Pb, anche lo Zn si correla fortemente e positivamente con il C organico ($r=0,608^{***}$) e la frazione fine (limo $r=0,632^{***}$ e argilla $r=0,599^{***}$) e negativamente con la frazione grossolana (sabbia $r=-0,614^{***}$). In particolare la frazione argillosa, soprattutto se composta da vermiculite e gibbsite, contribuisce significativamente al contenuto di Zn nei suoli (Vega et al., 2007).

I TA hanno un valore medio di Zn pari a 42,12 mg/kg \pm 7,40. Tra i suoli agrari una concentrazione elevata di Zn è stata rilevata nelle risaie (57,92 mg/kg \pm 18,42) e nell'erba medica (49,50 mg/kg \pm 1,01), sono infatti suoli ricchi di argilla e/o limo e sostanza organica. La concentrazione di zinco nei suoli agricoli indagati è di origine naturale, ma in parte è riconducibile all'utilizzo di fitofarmaci e concimi. In particolare, l'elevato contenuto di zinco nelle deiezioni zootecniche è dovuto all'utilizzo di integratori e additivi alimentari che contengono questo elemento.

Come già visto per il Pb, anche per lo Zn esiste una correlazione positiva con CSC ($r=0,655^{***}$), Al ($r=0,640^{***}$), Fe ($r=0,854^{***}$) e Mn ($r=0,736^{***}$).

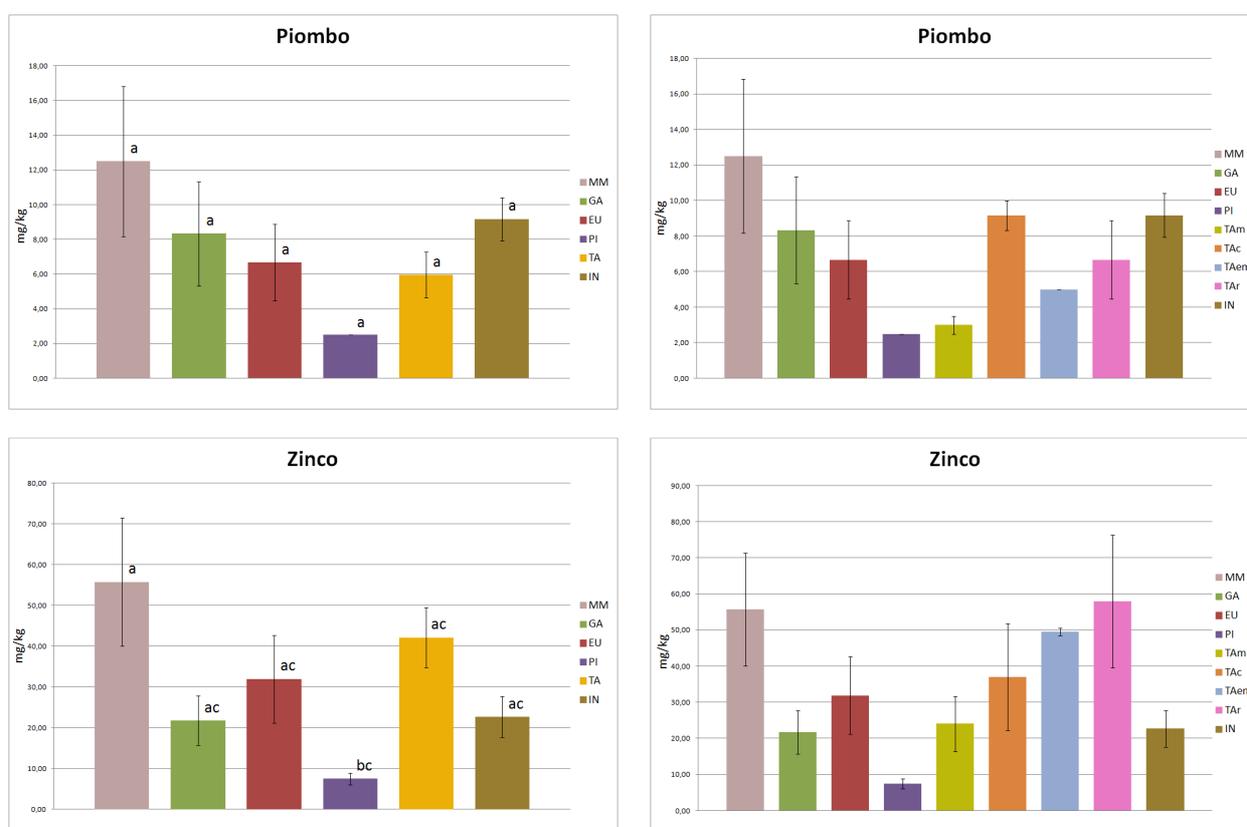


Figura 5.48. Andamento di Pb e Zn nei diversi usi del suolo.

Cu e Cd

Nei suoli il rame è presente in concentrazioni intorno ai 30 mg/kg mentre il cadmio in quantità <1 mg/kg (Alloway, 1995).

Il contenuto di Cu è strettamente legato alla tessitura ed è per lo più associato ai colloidi (Kabata-Pendias et Mukhernjee, 2007; Kabata-Pendias, 2011). È generalmente più basso nei suoli sabbiosi (come quelli delle PI, valore medio 4,17 mg/kg \pm 0,83) e più alto in quelli limosi e argillosi.

Nei TA la concentrazione media di Cu è di 17,54 mg/kg \pm 4,37 e, in particolare, nei suoli coltivati ad erba medica (alto contenuto di argilla) il valore di Cu è di 30,00 mg/kg \pm 6,29.

La concentrazione di rame nei suoli agricoli è funzione sia delle caratteristiche dei materiali originari sia dell'utilizzo di sostanze contenenti metalli pesanti utilizzate per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione (il contenuto medio di Cu nei fertilizzanti fosfatici è pari a 56,6 mg/kg, con un range di 0,2-1170, Kabata-Pendias, 2011), soprattutto con reflui zootecnici. In particolare l'elevato contenuto di rame nelle deiezioni zootecniche è dovuto all'utilizzo di integratori e additivi alimentari che contengono questo elemento.

Il Cd, che è fra i metalli pesanti che suscitano maggiori preoccupazioni per la sua diffusione e tossicità nell'ambiente (Kabata-Pendias, 2011), è presente negli IN con concentrazione media pari a 0,79 mg/kg \pm 0,12, con un range compreso tra 0,50 e 1,25 mg/kg, valori comunque compresi nei limiti di legge (D. Lgs. 152/06).

I nostri risultati mostrano che vi è una significativa correlazione positiva tra Cd e pH ($r=0,633^{***}$) e carbonati totali ($r=0,681^{***}$), a conferma del fatto che il pH del suolo è il fattore più importante nella determinazione della disponibilità del Cd (Kirkham, 2006).

Vari studi (Baize, 1997; Baize e Tercé, 2002; Sartori et al, 2004) confermano la presenza di elevate concentrazioni di cadmio nei suoli su calcari. In tali litotipi il cadmio è contenuto quasi esclusivamente nella struttura dei carbonati, dove sostituisce il Ca^{2+} (Baize, 1997).

Gli IN sono suoli piuttosto calcarei (alto contenuto di carbonati totali e alto pH), di conseguenza il livello di Cd è elevato. Lo stesso vale per i suoli calcarei delle PI (0,67 mg/kg \pm 0,08).

Come per il Cu, nei campi agricoli coltivati ad erba medica si ha un'alta concentrazione media di Cd (0,92 mg/kg \pm 0,08).

La concentrazione di cadmio nel suolo è funzione delle caratteristiche dei materiali originari e probabilmente dell'utilizzo sul suolo di fitofarmaci e fertilizzanti (concimi

fosfatici, fanghi di depurazione) (WHO, 1992). I fertilizzanti fosfatici sono ricchi di Cd e aumentano sensibilmente la concentrazione di questo elemento nei suoli agricoli (si rileva in letteratura un apporto medio nel suolo di 75 mg Cd per kg di P) (Pietrini et al., 2003; Nziguheba et al., 2008).

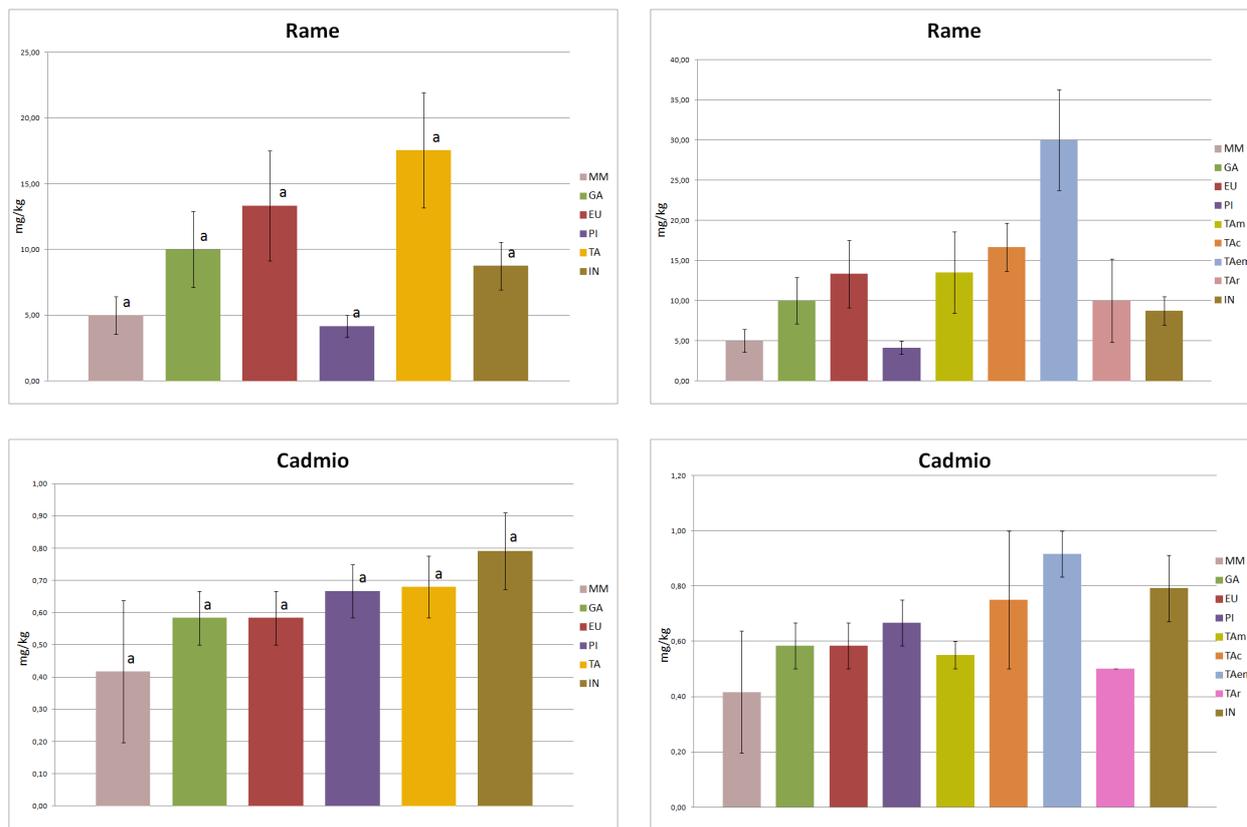


Figura 5.49. Andamento di Cu e Cd nei diversi usi del suolo.

Ni e As

Generalmente la concentrazione media di Ni nel suolo è intorno ai 20 mg/kg; quella di As è compresa fra 1-40 mg/kg con una media di 5 mg/kg (Kabata-Pendias, 2011).

Negli orizzonti superficiali tende a formare dei complessi con leganti organici, aumentando così la sua solubilità; perciò sarà maggiormente disponibile in suoli ricchi di sostanza organica e in suoli ricchi di argilla/limo. Il valore medio di Ni registrato nella GA e negli IN è rispettivamente di 19,17 mg/kg \pm 9,28 e di 15,83 mg/kg \pm 4,41.

Il Ni inoltre risulta spesso associato agli ossidi di Fe e Mn (prevalentemente sotto forma di noduli), che presentano un'elevata affinità nel legare questo elemento (Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias, 2011). I valori di Ni nei topsoil delle GA e degli IN

potrebbero essere spiegati dal loro discreto contenuto di Fe e Mn. Tale associazione è confermata dalla correlazione significativa esistente tra Ni e Al, Fe e Mn, rispettivamente, $r=0,692^{***}$, $r=0,669^{***}$ e $r=0,705^{***}$.

Tuttavia, negli orizzonti superficiali del suolo, il Ni sembra ritrovarsi principalmente legato alla sostanza organica, una parte della quale potrebbe essere costituita da chelati facilmente solubili (Bloomfield, 1981).

Come per gli altri elementi, anche la concentrazione di Ni nei suoli agrari è funzione delle caratteristiche dei materiali originari (riconducibili a naturali processi di degradazione dei substrati geologici) e dell'utilizzo per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione di sostanze contenenti metalli pesanti. In particolare nei TA, un'alta concentrazione media di Ni è stata misurata nei campi di carciofi (15,83 mg/kg \pm 5,07) e nei campi di erba medica (10,83 mg/kg \pm 0,83). Infatti questi sono suoli con buon contenuto di argilla e limo (così come anche gli IN), ed è stato dimostrato che esiste un'elevata affinità tra minerali argillosi (in particolare le montmorilloniti) e Ni (Dähn et al., 2003; Senwo e Tazisong, 2004).

Per quanto attiene l'As, nel presente studio la concentrazione media di tale elemento nei suoli sotto PI è di 10,83 mg/kg \pm 4,18. Fra i costituenti del suolo, ossidi e idrossidi di Fe e Mn, minerali argillosi e sostanza organica, presentano proprietà colloidali e sono in grado di adsorbire l'arsenico (Goldberg, 2002; Wang e Mulligan 2006).

Quindi ci si aspetterebbe valori bassi di As nelle sabbiose PI, ma bisogna considerare che l'As può essere adsorbito sulla superficie della calcite (Goldberg e Glaubig, 1988; Mehmood et al., 2009) presente in quantità elevate nelle PI (carbonati totali 209 g/kg). Questo meccanismo dunque permette la ritenzione di arsenico in suoli calcarei. Inoltre, oltre che come specie adsorbita, l'As può essere presente nei carbonati come impurità.

Bisogna anche considerare un altro fenomeno, cioè l'origine dei depositi sabbiosi che costituiscono le PI (si veda il par. 5.2.1.4). I valori più alti di As (14,50 e 15,50 mg/kg) appartengono a due campioni prelevati nel campo dunale di Is Arenas. Questi sedimenti traggono origine dai prodotti di disfacimento del vicino Montiferru (in cui presenti numerose mineralizzazioni costituite principalmente da solfuri di ferro e da filoni di quarzo, calcedonio e manganese), poi trasportati e depositati lungo il fondovalle (RAS, 2012). Secondo la classificazione di Goldsmith, l'As è un elemento calcofilo ed è solitamente associato allo zolfo e ad altri metalli, come ferro, nichel e cobalto (Mion et al., 2009).

Anche nei suoli calcarei di GA e IN il contenuto medio di As è relativamente alto, rispettivamente 7,67 mg/kg \pm 2,38 e 6,54 mg/kg \pm 1,29.

L'utilizzo di fertilizzanti fosfatici (in cui l'As è presente come impurezza, talvolta massiccia) o di altri prodotti a base d'arsenico (pesticidi, erbicidi), sebbene in Italia molti di essi siano stati banditi nelle ultime decadi, può comportare nel lungo periodo un accumulo di As nel suolo. È da escludere però la contaminazione da As nei TA indagati, in tali suoli infatti i valori di As non sono particolarmente elevati (3,63 mg/kg \pm 0,63).

Nei suoli coltivati a risaia (TA_r, 3,42 mg/kg \pm 0,92) le particolari condizioni redox, dovute all'alternanza di ambienti ossidanti e riducenti in seguito alla periodica sommersione, possono influire sull'adsorbimento dell'As. Negli ambienti riducenti (sommersione) l'As passa dallo stato di ossidazione V a quello III (Sadiq et al., 1983), molto più solubile e, pertanto, più soggetto a fenomeni di lisciviazione (Kabata-Pendias, 2011). L'aumento della solubilità dell'As in condizioni riducenti è associato alla dissoluzione di ossidi e idrossidi di Fe e Mn (Masschelyn et al., 1991).

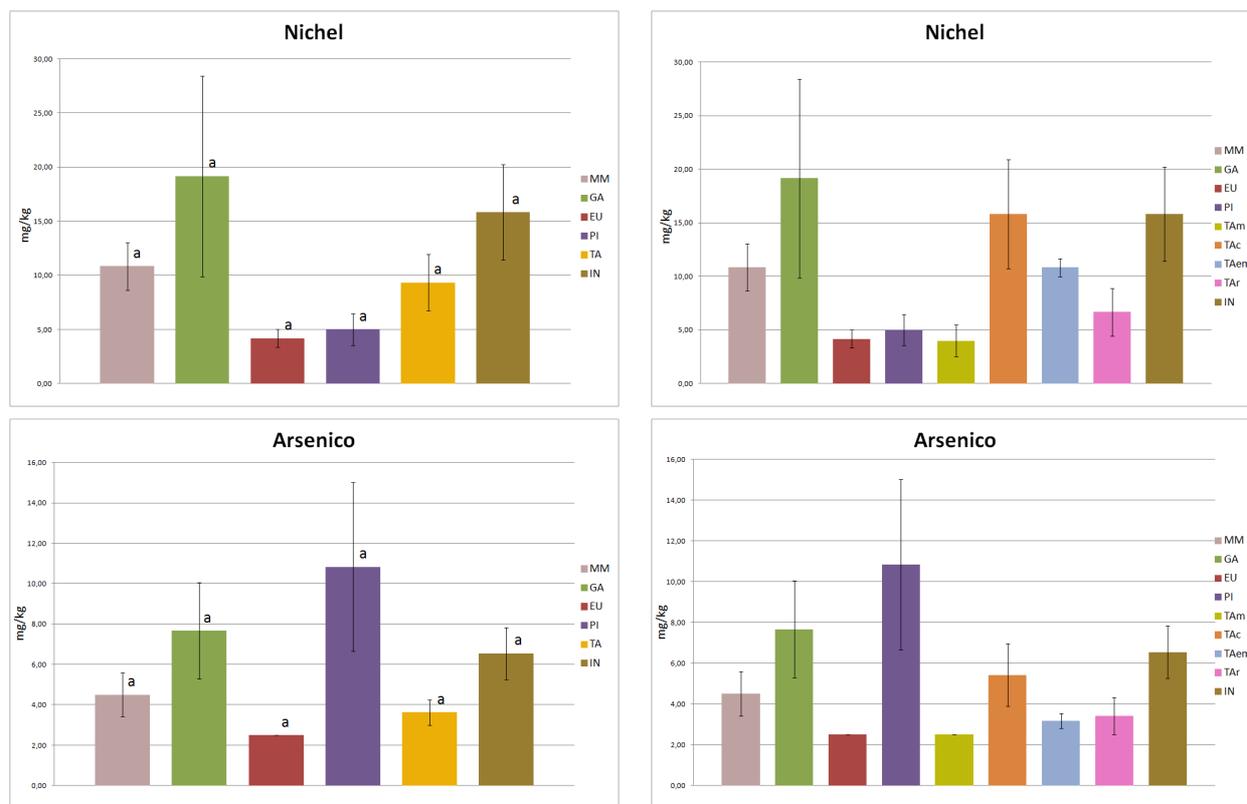


Figura 5.50. Andamento di Ni e As nei diversi usi del suolo.

Tabelle dei risultati (parametri chimico-fisici e metalli)

UDS	Campione	Densità apparente (g/cm ³)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Carbonati totali (g/kg)	pH	Conducibilità elettrica (μS/cm)	C (g/kg)	N tot (g/kg)	P tot (g/kg)	CSC (meq/100g)
MM												
	27E	1,47	65,7	11,4	22,8	<1	6,7	123,4	17,1	0,7	0,20	9,4
	27G	0,72	69,9	22,6	7,5	<1	6,2	360,0	60,5	0,0	0,44	30,2
	28E	1,01	54,4	32,2	13,4	<1	6,5	282,0	38,8	1,4	0,26	20,0
Media		1,06	63,3	22,1	14,6	1	6,5	255,1	38,8	0,7	0,30	19,9
Dev. stand.		0,38	8,0	10,4	7,7	0	0,2	120,6	21,7	0,7	0,12	10,4
Errore stand.		0,22	4,6	6,0	4,5	0	0,1	69,6	12,5	0,4	0,07	6,0
EU												
	19M	0,94	76,9	12,4	10,6	47	7,4	1059,0	56,7	2,1	0,41	37,6
	20N	0,49	73,6	15,5	10,9	<1	7,2	1165,0	38,3	3,8	1,19	52,8
	21N	1,37	84,3	8,0	7,7	<1	6,8	188,3	20,3	0,9	0,41	8,9
Media		0,93	78,3	12,0	9,7	16	7,1	804,1	38,4	2,3	0,67	33,1
Dev. stand.		0,44	5,5	3,7	1,8	27	0,3	535,9	18,2	1,5	0,45	22,3
Errore stand.		0,26	3,2	2,2	1,0	15	0,2	309,4	10,5	0,8	0,26	12,9
GA												
	5G	1,45	96,6	2,0	1,4	489	7,5	129,8	2,1	0,3	0,16	1,5
	10B	1,07	72,4	18,6	9,0	119	7,8	268,0	28,0	1,3	0,33	19,8
	11D	1,16	70,1	21,8	8,1	<1	6,5	271,0	43,5	1,1	0,17	30,1
Media		1,23	79,7	14,1	6,2	203	7,3	222,9	24,5	0,9	0,22	17,1
Dev. stand.		0,20	14,6	10,6	4,1	255	0,7	80,7	20,9	0,5	0,10	14,5
Errore stand.		0,12	8,5	6,1	2,4	147	0,4	46,6	12,1	0,3	0,06	8,4
PI												
	2F	1,29	98,0	0,5	1,5	282	8,3	163,0	3,6	0,3	0,13	2,1
	3F	1,20	98,1	0,9	1,1	346	8,0	238,0	0,8	0,3	0,23	3,7

Tabelle dei risultati (parametri chimico-fisici e metalli)

UDS	Campione	Densità apparente (g/cm ³)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Carbonati totali (g/kg)	pH	Conducibilità elettrica (μS/cm)	C (g/kg)	N tot (g/kg)	P tot (g/kg)	CSC (meq/100g)
	19L	1,32	95,4	1,8	2,8	<1	5,3	77,9	7,2	0,3	0,60	3,8
Media		1,27	97,2	1,1	1,8	210	7,2	159,6	3,9	0,3	0,32	3,2
Dev. stand.		0,07	1,5	0,7	0,9	184	1,7	80,1	3,2	0,0	0,25	0,9
Errore stand.		0,04	0,9	0,4	0,5	106	1,0	46,2	1,8	0,0	0,14	0,5
TA												
TAm	21L	1,51	91,8	3,9	4,4	<1	6,4	213,0	6,0	0,4	0,10	4,2
	21O	0,89	26,4	45,7	27,8	173	8,1	609,0	21,8	1,0	0,88	27,6
	23M	1,64	93,1	2,6	4,3	<1	6,4	234,0	10,7	0,6	0,25	4,8
	24L	1,34	92,2	2,4	5,4	<1	6,8	237,0	16,3	0,8	0,52	6,3
	26M	1,40	88,3	2,5	9,1	<1	6,5	235,0	7,1	0,4	0,30	5,0
Media		1,36	78,4	11,4	10,2	35	6,8	305,6	12,4	0,7	0,41	9,6
Dev. stand.		0,28	29,1	19,2	10,0	77	0,7	169,9	6,6	0,3	0,30	10,1
Errore stand.		0,13	13,0	8,6	4,5	34	0,3	76,0	3,0	0,1	0,13	4,5
TAc	8C	0,95	57,4	33,2	9,4	490	8,0	485,0	20,2	1,1	0,73	17,3
	12D	1,16	66,1	21,0	12,8	14	8,0	235,0	12,5	0,7	0,58	17,5
	14L	1,27	40,6	46,7	12,6	2	6,3	712,0	18,0	0,9	0,86	23,9
Media		1,13	54,7	33,7	11,6	169	7,4	477,3	16,9	0,9	0,73	19,6
Dev. stand.		0,16	12,9	12,8	2,0	278	1,0	238,6	4,0	0,2	0,14	3,7
Errore stand.		0,09	7,5	7,4	1,1	161	0,6	137,8	2,3	0,1	0,08	2,2
TAem	19N	0,76	26,5	38,9	34,5	250	8,1	377,0	19,3	0,9	0,58	24,2
	20O	0,87	39,5	30,9	29,6	206	8,4	373,0	60,3	1,2	0,85	10,5
	22O	1,06	28,3	36,6	35,0	240	8,5	469,0	8,5	1,4	1,09	28,4
Media		0,90	31,5	35,5	33,1	232	8,3	406,3	29,4	1,2	0,84	21,1
Dev. stand.		0,15	7,0	4,2	3,0	23	0,2	54,3	27,4	0,2	0,25	9,4

Tabelle dei risultati (parametri chimico-fisici e metalli)

UDS	Campione	Densità apparente (g/cm ³)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Carbonati totali (g/kg)	pH	Conducibilità elettrica (μS/cm)	C (g/kg)	N tot (g/kg)	P tot (g/kg)	CSC (meq/100g)
Errore stand.		0,09	4,1	2,4	1,7	13	0,1	31,4	15,8	0,1	0,15	5,4
TAr	14M	1,01	39,9	49,4	10,7	<1	6,8	805,0	24,0	1,0	0,98	27,7
	30A	0,94	30,1	47,7	22,1	<1	7,3	548,0	31,0	0,8	1,14	26,9
	30B	1,15	85,5	5,8	8,7	<1	6,5	110,9	9,6	0,3	0,24	6,2
Media		1,03	51,8	34,3	13,8	1	6,8	488,0	21,5	0,7	0,79	20,3
Dev. stand.		0,11	29,5	24,7	7,3	0	0,4	350,9	10,9	0,4	0,48	12,2
Errore stand.		0,06	17,0	14,3	4,2	0	0,2	202,6	6,3	0,2	0,28	7,1
IN												
	4E	1,00	85,3	8,4	6,2	445	7,5	277,0	12,9	0,9	0,46	9,8
	7E	0,94	71,6	19,9	8,5	327	8,2	214,0	6,6	0,4	0,29	7,4
	9C	1,18	41,3	43,5	15,3	262	7,9	355,0	31,9	1,3	2,09	31,2
	11C	1,17	67,8	14,0	18,2	5	7,8	218,0	9,5	0,5	0,47	14,3
	13C	0,96	45,2	46,3	8,5	275	8,2	284,0	16,9	0,9	0,61	18,9
	26F	1,13	47,1	42,6	10,3	4	7,7	3410,0	23,7	1,1	0,23	27,8
Media		1,07	59,7	29,1	11,1	220	7,9	793,0	16,9	0,9	0,69	18,2
Dev. stand.		0,11	17,7	16,9	4,6	179	0,3	1283,1	9,5	0,3	0,70	9,6
Errore stand.		0,04	7,2	6,9	1,9	73	0,1	523,8	3,9	0,1	0,28	3,9

Tabella 5.10. Parametri chimico-fisici riferiti ai diversi usi del suolo (UDS).

Tabelle dei risultati (parametri chimico-fisici e metalli)

	UDS	Densità apparente (g/cm ³)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Carbonati totali (g/kg)	pH	Conducibilità elettrica (μS/cm)	C (g/kg)	N tot (g/kg)	P tot (g/kg)	CSC (meq/100g)
	TAm	1,51	91,8	3,9	4,4	1	6,4	213,0	6,0	0,4	0,10	4,2
	TAc	1,13	54,7	33,7	11,6	169	7,4	477,3	16,9	0,9	0,73	19,6
	TAem	0,90	31,5	35,5	33,1	232	8,3	406,3	29,4	1,2	0,84	21,1
	TAr	1,03	51,8	34,3	13,8	1	6,8	488,0	21,5	0,7	0,79	20,3
Media		1,14	57,4	26,8	15,7	101	7,2	396,2	18,5	0,8	0,61	16,3
Deviazione standard		0,26	25,1	15,3	12,3	118	0,8	127,4	9,7	0,3	0,34	8,1
Errore standard		0,13	12,6	7,7	6,1	59	0,4	63,7	4,9	0,2	0,17	4,0

Tabella 5.11. Medie dei parametri chimico-fisici riferiti ai terreni agricoli.

UDS	Campione	Al (g/kg)	Fe (g/kg)	Mn (g/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
MM										
	27E	4,56	24,50	0,11	7,50	29,25	2,50	5,00	<0,50	<2,50
	27G	6,01	38,00	0,73	15,00	83,50	7,50	20,00	0,75	4,75
	28E	4,25	27,25	0,65	10,00	54,50	5,00	12,50	0,00	6,25
Media		4,94	29,92	0,50	10,83	55,75	5,00	12,50	0,42	4,50
Deviazione standard		0,94	7,13	0,33	3,82	27,15	2,50	7,50	0,38	1,89
Errore standard		0,54	4,12	0,19	2,20	15,67	1,44	4,33	0,22	1,09
EU										
	19M	10,41	14,50	0,23	5,00	37,50	17,50	7,50	<0,50	<2,50
	20N	9,45	11,00	0,48	5,00	47,00	17,50	10,00	0,75	<2,50
	21N	2,69	4,50	0,08	<2,50	11,25	5,00	2,50	<0,50	<2,50
Media		7,52	10,00	0,26	4,17	31,92	13,33	6,67	0,58	2,50

Tabelle dei risultati (parametri chimico-fisici e metalli)

UDS	Campione	Al (g/kg)	Fe (g/kg)	Mn (g/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
Deviazione standard		4,21	5,17	0,20	1,44	18,52	7,22	3,82	0,14	0,00
Errore standard		2,43	2,93	0,12	0,83	10,69	4,17	2,20	0,08	0,00
GA										
	5G	2,34	5,50	0,23	7,50	10,25	5,00	2,50	0,75	12,25
	10B	16,11	14,75	0,40	12,50	24,25	10,00	12,50	0,50	6,50
	11D	8,92	22,75	0,53	37,50	30,75	15,00	10,00	0,50	4,25
Media		9,12	14,33	0,38	19,17	21,75	10,00	8,33	0,58	7,67
Deviazione standard		6,88	8,63	0,15	16,07	10,48	5,00	5,20	0,14	4,13
Errore standard		3,97	4,98	0,09	9,28	6,05	2,89	3,00	0,08	2,38
PI										
	2F	2,53	6,75	0,15	7,50	9,50	5,00	2,50	0,75	14,50
	3F	2,19	5,75	0,13	5,00	8,25	5,00	2,50	0,75	15,50
	19L	1,62	1,50	0,04	<2,50	4,75	2,50	2,50	<0,50	<2,50
Media		2,11	4,67	0,11	5,00	7,50	4,17	2,50	0,67	10,83
Deviazione standard		0,46	2,79	0,06	2,50	2,46	1,44	0,00	0,14	7,23
Errore standard		0,27	1,61	0,03	1,44	1,42	0,83	0,00	0,08	4,18
TA										
TAm	21L	0,56	2,25	0,0	2,5	18,00	27,50	2,50	<0,50	<2,50
	21O	17,35	22,25	0,3	10,0	51,50	22,50	5,00	0,75	<2,50
	23M	1,36	1,75	0,02	<2,50	9,25	12,50	2,50	<0,50	<2,50
	24L	1,63	3,50	0,04	<2,50	28,50	2,50	2,50	<0,50	<2,50
	26M	1,91	5,25	0,05	<2,50	13,00	2,50	2,50	<0,50	2,50
Media		4,56	7,00	0,07	4,00	24,05	13,50	3,00	0,55	2,50
Deviazione standard		7,17	8,63	0,10	3,35	16,96	11,40	1,12	0,11	0,00
Errore standard		3,20	3,86	0,04	1,50	7,59	5,10	0,50	0,05	0,00

Tabelle dei risultati (parametri chimico-fisici e metalli)

UDS	Campione	Al (g/kg)	Fe (g/kg)	Mn (g/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
TAc	8C	11,81	14,75	0,28	15,00	19,50	12,50	7,50	1,25	8,25
	12D	8,92	18,50	0,43	25,00	25,00	15,00	10,00	0,50	3,00
	14L	28,73	60,00	0,95	7,50	66,50	22,50	10,00	<0,50	5,00
Media		16,49	31,08	0,55	15,83	37,00	16,67	9,17	0,75	5,42
Deviazione standard		10,70	25,11	0,35	8,78	25,70	5,20	1,44	0,43	2,65
Errore standard		6,18	14,50	0,20	5,07	14,84	3,00	0,83	0,25	1,53
TAem	19N	18,17	26,75	0,43	12,50	48,25	22,50	5,00	0,75	3,75
	20O	16,57	22,25	0,28	10,00	51,50	42,50	5,00	1,00	2,50
	22O	9,64	17,50	0,28	10,00	48,75	25,00	5,00	1,00	3,25
Media		14,79	22,17	0,33	10,83	49,50	30,00	5,00	0,92	3,17
Deviazione standard		4,53	4,63	0,09	1,44	1,75	10,90	0,00	0,14	0,63
Errore standard		2,62	2,67	0,05	0,83	1,01	6,29	0,00	0,08	0,36
TAr	14M	29,07	49,25	0,90	7,50	66,00	20,00	10,00	<0,50	<2,50
	30A	1,92	6,00	0,06	<2,50	22,75	2,50	2,50	<0,50	<2,50
	30B	9,41	41,50	0,73	10,00	85,00	7,50	7,50	0,50	5,25
Media		13,47	32,25	0,56	6,67	57,92	10,00	6,67	0,50	3,42
Deviazione standard		14,02	23,06	0,44	3,82	31,90	9,01	3,82	0,00	1,59
Errore standard		8,10	13,31	0,26	2,20	18,42	5,20	2,20	0,00	0,92
IN										
	4E	3,90	5,75	0,23	5,00	11,00	5,00	7,50	0,75	9,25
	7E	5,19	7,25	0,13	7,50	13,25	5,00	5,00	0,75	6,50
	9C	13,04	13,75	0,30	15,00	18,50	12,50	12,50	1,00	10,00
	11C	17,51	17,75	0,35	25,00	21,00	10,00	7,50	0,50	8,00
	13C	17,81	19,00	0,48	32,50	27,50	15,00	10,00	1,25	3,00
	26F	9,89	20,75	0,78	10,00	44,75	5,00	12,50	<0,50	<2,50

Tabelle dei risultati (parametri chimico-fisici e metalli)

UDS	Campione	Al (g/kg)	Fe (g/kg)	Mn (g/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
Media		11,22	14,04	0,38	15,83	22,67	8,75	9,17	0,79	6,54
Deviazione standard		5,97	6,30	0,23	10,80	12,30	4,40	3,03	0,29	3,17
Errore standard		2,44	2,57	0,09	4,41	5,02	1,80	1,24	0,12	1,29

Tabella 5.12. Metalli pesanti riferiti ai diversi usi del suolo (UDS).

	UDS	Al (g/kg)	Fe (g/kg)	Mn (g/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
	TAm	4,56	7,00	0,07	4,00	24,05	13,50	3,00	0,55	2,50
	Tac	16,49	31,08	0,55	15,83	37,00	16,67	9,17	0,75	5,42
	TAem	14,79	22,17	0,33	10,83	49,50	30,00	5,00	0,92	3,17
	Tar	13,47	32,25	0,56	6,67	57,92	10,00	6,67	0,50	3,42
Media		12,33	23,13	0,38	9,33	42,12	17,54	5,96	0,68	3,63
Deviazione standard		5,32	11,66	0,23	5,17	14,80	8,74	2,61	0,19	1,26
Errore standard		2,66	5,83	0,11	2,58	7,40	4,37	1,31	0,10	0,63

Tabella 5.13. Medie dei metalli pesanti riferiti ai terreni agricoli.

Tabelle dei risultati (parametri chimico-fisici e metalli)

UDS	Densità apparente (g/cm³)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Carbonati totali (g/kg)	pH	Conducibilità elettrica (μS/cm)	C (g/kg)	N (g/kg)	P (g/kg)	CSC (meq/100g)
MM	1,06a	63,3ad	22,1a	14,6a	1a	6,4a	255,1a	38,8a	0,7ac	0,30a	19,9a
Errore standard	0,22	4,6	6,0	4,5	0	0,1	69,6	12,5	0,4	0,07	6,0
EU	0,93a	78,3ad	11,1a	9,7a	16a	7,1a	804,1a	38,4a	2,3a	0,67a	33,1a
Errore standard	0,26	3,2	2,2	1,0	15	0,2	309,4	10,5	0,8	0,26	12,9
GA	1,23a	79,7ad	14,1a	6,2a	203a	7,3a	222,9a	24,5a	0,9ac	0,22a	17,1a
Errore standard	0,12	8,5	6,1	2,4	147	0,4	46,6	12,1	0,3	0,06	8,4
PI	1,27a	97,2a	1,1a	1,8a	210a	7,2a	159,6a	3,9a	0,3bc	0,32a	3,2a
Errore standard	0,04	0,9	0,4	0,5	106	1,0	46,3	1,8	0,0	0,14	0,5
TA	1,14a	57,5bd	26,8a	15,7a	101a	7,2a	396,2a	18,5a	0,8ac	0,61a	16,3a
Errore standard	0,15	14,5	8,9	7,1	68	0,5	73,5	5,6	0,2	0,20	4,7
IN	1,07a	59,7cd	29,1a	11,2a	220a	7,9a	793,0a	16,9a	0,9ac	0,69a	18,2a
Errore standard	0,06	10,3	9,8	2,7	103	0,2	740,8	5,5	0,2	0,40	5,6

Tabella 5.14. Medie dei parametri chimico-fisici e Analisi della Varianza (ANOVA).

Tabelle dei risultati (parametri chimico-fisici e metalli)

UDS	Al (g/kg)	Fe (g/kg)	Mn (g/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
MM	4,94a	29,92a	0,50a	10,83a	55,75a	5,00a	12,50a	0,42a	4,50a
Errore standard	0,54	4,12	0,19	2,20	15,67	1,44	4,33	0,22	1,09
EU	7,52a	10,00ac	0,26a	4,17a	31,92ac	13,33a	6,67a	0,58a	2,50a
Errore standard	2,43	2,93	0,12	0,83	10,69	4,17	2,20	0,08	0,00
GA	9,12a	14,33ac	0,38a	19,17a	21,75ac	10,00a	8,33a	0,58a	7,67a
Errore standard	3,97	4,98	0,09	9,28	6,05	2,89	3,00	0,08	2,38
PI	2,11a	4,67bc	0,11a	5,00a	7,50bc	4,17a	2,50a	0,67a	10,83a
Errore standard	0,27	1,61	0,03	1,44	1,42	0,83	0,00	0,08	4,18
TA	12,33a	23,13ac	0,38a	9,33a	42,12ac	17,54a	5,96a	0,68a	3,63a
Errore standard	3,07	6,73	0,13	2,98	8,54	5,05	1,51	0,11	0,72
IN	11,22a	14,04ac	0,38a	15,83a	22,67ac	8,75a	9,17a	0,79a	6,54a
Errore standard	3,44	3,64	0,13	6,24	7,10	2,54	1,75	0,17	1,83

Tabella 5.15. Medie dei metalli pesanti e Analisi della Varianza (ANOVA).

5.3.2.2 Parametri biochimici

Attività enzimatiche

β -glucosidasi

La β -glucosidasi è un enzima facente parte del ciclo del carbonio: è una idrolasi coinvolta nella degradazione microbica della cellulosa a glucosio (Alef e Nannipieri, 1995) ed è strettamente legata alla presenza di composti del carbonio nel suolo (Cook e Allan, 1992).

Alcuni studi (Bandick e Dick, 1999; Gil-Sotres et al., 2005) mostrano come tale enzima possa essere considerato un valido indicatore del processo di mineralizzazione della sostanza organica. Pertanto, conoscendo il comportamento dell'attività della β -glucosidasi sotto diversi usi del suolo, si può dedurre il grado di decomposizione della sostanza organica.

Nel caso in esame, tale enzima mostra un'alta attività nella MM (449,30 $\mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 149,82$), significativamente superiore ($p < 0,05$) rispetto a quella delle PI (31,93 $\mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 18,44$).

I valori di questo enzima rispecchiano gli andamenti del carbonio organico. La β -glucosidasi mostra infatti una forte correlazione positiva ($r=0,861^{***}$) con il carbonio organico, confermando il ruolo chiave dell'enzima nel ciclo del carbonio (Alef e Nannipieri, 1995).

Ciò suggerisce che nella MM avvenga un arricchimento in materiale organico proveniente dai residui vegetali (di natura cellulosica) che fungono da substrato per i processi di trasformazione della sostanza organica e quindi per l'attività dell'enzima β -glucosidasi, legata al ciclo del carbonio. L'aumento di questa attività, quindi, è riconducibile alla stimolazione dell'attività microbica da parte delle piante, con conseguente incremento dei processi ossidativi a carico della sostanza organica, determinati nel substrato dalla componente biotica (Sequi, 1989).

È risaputo che la comunità vegetale svolge un ruolo importante per quanto riguarda la composizione della biomassa microbica del suolo (Aanderud et al., 2008). La grande abbondanza e la diversità delle specie vegetali nella MM, infatti, arricchisce il suolo di sostanza organica e di nutrienti; la lettiera vegetale prodotta e le radici, determinando l'abbondanza della materia organica del suolo, forniscono così risorse per la comunità

microbica del suolo.

L'alto valore dell'attività della β -glucosidasi nei suoli naturali indica che il potenziale di mineralizzazione della materia organica, e quindi l'attività del ciclo del carbonio, è significativamente maggiore rispetto le PI. Poiché si tratta di un enzima relazionato con la degradazione microbica della cellulosa è normale che si riscontri nelle PI una bassa attività, visto che in tale uso del suolo il carbonio organico risulta più basso e l'attività della flora microbica notevolmente ridotta. Non appare dunque casuale il fatto che tale enzima mostri un correlazione negativa altamente significativa con la sabbia ($r=-0,595^{***}$), che rappresenta la frazione granulometrica dominante nei suoli caratterizzanti le PI.

La β -glucosidasi inoltre si correla negativamente con la densità apparente ($r=-0,630^{***}$). In suoli con alta della densità apparente, come quelli delle PI, infatti, si può assistere a fenomeni di anossia che, a loro volta, causano alterazioni delle attività biologiche del suolo, con prevalenza di attività che richiedono assenza di ossigeno (Stutter e Richards, 2012).

Negli EU il valore medio di attività β -glucosidasica è di $415,77 \mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 104,69$. Tale valore, relazionato con l'alta quantità di azoto totale e di carbonio organico nei suoli coperti da Eucalyptus, indica presumibilmente un'elevata presenza di biomassa microbica in questi suoli (da Silveira et al., 2006; Cao et al., 2010).

Se si considerano i TA, si può notare che la β -glucosidasi è fortemente influenzata dalle lavorazioni del suolo (valore medio di $206,97 \mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 45,43$). L'attività β -glucosidasica è infatti molto sensibile alle pratiche di gestione agricola (Bandick e Dick, 1999; Saviozzi et al., 2001; Lagomarsino et al., 2009; Stott et al., 2010).

Nonostante i fattori ambientali e la tipologia di suolo influenzino la diversità microbica del suolo, spesso è la tipologia di pratica agricola utilizzata o il tipo di trattamento applicato che possono determinare rilevanti alterazioni della biodiversità (Gomez et al., 2006).

Si può osservare come i campi di erba medica mostrino un valore medio di attività glucosidasica pari a $302,48 \mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 46,62$. Questo valore sembra essere giustificato non solo dal contenuto di sostanza organica abbastanza alto, ma anche dall'alta percentuale di argilla presente, con la quale gli enzimi extracellulari possono legarsi in maniera altrettanto stabile che con la sostanza organica. Tale valore suggerisce anche che in questi suoli avvenga un arricchimento di materiali vegetali freschi di natura cellulosa, che possono essere usati come substrato per la β -glucosidasi (Masciandaro e Ceccanti, 1999), e

che il sistema radicale molto esteso dell'erba medica (che può arrivare anche a 3-5 m) contribuisca ad aumentare le attività enzimatiche.

Inoltre, le concimazioni azotate possono provocare un aumento della attività della β -glucosidasi (Bandick e Dick, 1999; Pascual et al., 1999; Ajwa et al., 1999).

L'attività della β -glucosidasi risulta anche fortemente correlata positivamente ($p < 0,001$) con i seguenti parametri:

- attività enzimatica della proteasi, legata al ciclo dell'azoto ($r=0,558^{***}$), attività fosfatasica, legata al ciclo del P ($r=0,683^{***}$), ad indicare la presenza di una correlazione tra i cicli dei nutrienti nel suolo (C, N, P);
- glomalina totale ($r=0,779^{***}$). Questo indica che la β -glucosidasi e la glomalina sono coinvolte nella trasformazione del carbonio organico in sostanze nutritive disponibili nel suolo;
- frazione fine del suolo: limo ($r=0,678^{***}$) e argilla ($r=0,587^{***}$). I suoli argillosi hanno infatti una maggiore capacità di immagazzinare la materia organica permettendo la formazione di complessi argilla-humus e argilla-enzima (Pinnavaia et al., 1986; Alther, 2003);
- conducibilità elettrica ($r=0,573^{***}$) e CSC ($r=0,849^{***}$). I suoli più fertili (alta CSC), infatti, presentano generalmente un'elevata attività glucosidasica;
- Zn ($r=0,589^{***}$) e Pb ($r=0,658^{***}$). Alcuni metalli, tra cui Pb e Zn, tendono a legarsi con le frazioni umiche della sostanza organica (sotto forma di chelati, si parla quindi di complessi humus-metallo). Si ricorda infatti che la sostanza organica del suolo è considerata il più importante parametro che regola il comportamento dei metalli pesanti nel suolo (Leštan e Grčman, 2001; Boruvka e Drabek, 2004).

Poichè la β -glucosidasi appartiene al ciclo del carbonio e in particolare si correla fortemente con la sostanza umica (Sastre et al., 1996), quella tra β -glucosidasi e metalli è chiaramente una correlazione di tipo indiretto.

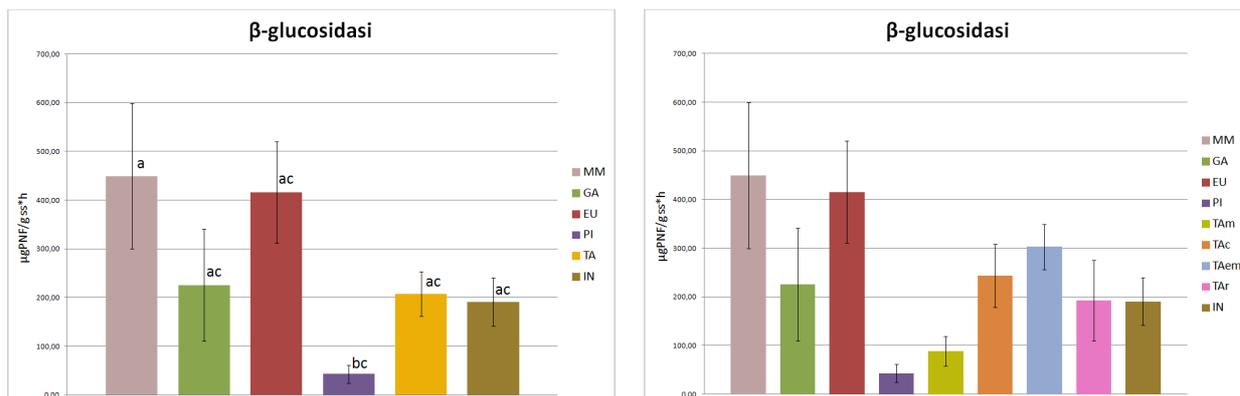


Figura 5.51. Andamento della β-glucosidasi nei diversi usi del suolo.

Fosfatasi

Le fosfatasi rappresentano un ampio gruppo di enzimi legati al ciclo del fosforo (elemento fondamentale per la nutrizione delle piante); catalizzano l'idrolisi degli esteri fosforici liberando fosfato inorganico (Alef e Nannipieri, 1995).

L'attività della fosfatasi risulta correlata positivamente ed in maniera significativa ($p < 0,001$) con il carbonio organico totale ($r = 0,714^{***}$). Un'altra evidente correlazione è quella esistente con la CSC ($r = 0,592^{***}$), quindi con l'indice della potenziale fertilità chimica del terreno.

L'attività enzimatica della fosfatasi presenta un andamento simile a quello descritto per la β-glucosidasi, correlandosi di fatto con essa ($r = 0,683^{***}$).

Alcuni studi suggeriscono che l'attività della fosfatasi possa aumentare negli ecosistemi forestali grazie all'influenza di condizioni ambientali ottimali per l'attività microbica (García-Ruiz et al., 2009). La presenza delle piante nella MM sembra infatti svolgere un ruolo fondamentale nello stimolare l'attività microbica: tale azione prodotta sul suolo dalle piante produce un aumento dei processi ossidativi di trasformazione della sostanza organica, determinati nel substrato dalla componente biotica. In questi suoli, pertanto, si registra un valore medio di attività fosfataseica molto elevato, pari a $989,25 \mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}} \cdot \text{h} \pm 199,78$.

Si registra una diminuzione significativa di fosfatasi ($p < 0,05$) tra la MM e gli IN ($162,58 \mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}} \cdot \text{h} \pm 38,36$), ciò fa ipotizzare un effetto inibitorio del pascolo, per lo più ovino, che probabilmente avviene negli IN, sull'attività microbica del suolo e, in particolare, sulle attività enzimatiche legate al ciclo del fosforo.

Il pascolo in alcuni casi può causare infatti una diminuzione dell'attività biochimica,

generalmente a causa della degradazione della struttura del suolo dovuta al calpestio (Conant et al., 2001; Cao et al., 2004; Macci et al., 2012; Bondi et al., 2012). Potrebbe essersi verificato dunque un eccessivo compattamento del suolo e, di conseguenza, una diminuzione dell'ossigenazione, che potrebbe aver provocato un'inibizione delle attività microbiche.

I suoli sotto Eucalyptus (EU), notoriamente caratterizzati da una grande diversità microbica (da Silveira et al., 2006; Cao et al., 2010), mostrano alti livelli medi di fosfatasi ($833,14 \mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 213,68$).

Inoltre, l'attività della fosfatasi si correla fortemente con le variazioni di pH, mostrando una correlazione negativa altamente significativa per $p < 0,001$ con i carbonati totali ($r = -0,629^{***}$) e con il pH per $p < 0,05$ ($r = -0,483^{**}$). Quindi all'aumentare del contenuto in carbonati totali (suoli alcalini) diminuisce la fosfatasi (Yadav e Tarafdar, 2001).

I nostri risultati confermano quanto già riportato da Dick et al. (2000) e Wang et al. (2006), riguardo la correlazione negativa tra pH e fosfatasi acida.

Nella MM gli alti valori di fosfatasi ($989,25 \mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 199,78$) possono essere legati ai più bassi valori di pH misurati in questi suoli (Rodriguez-Loinaz et al., 2007). Ciò conferma il fatto che gli enzimi del suolo possono avere differenti valori ottimali di pH in cui operano più efficacemente sul proprio substrato. Il pH del suolo è infatti un importante regolatore delle comunità microbiche del suolo e delle attività enzimatiche (Lauber et al., 2009; Rousk et al., 2009).

Viceversa, i suoli degli IN (alcalini) mostrano bassi valori di fosfatasi.

Inoltre, negli IN, così come nella GA, entrambi saltuariamente usati come pascoli, potrebbe essersi verificato un altro fenomeno (oltre al già citato fenomeno del calpestio), cioè l'arricchimento dei suoli di letame proveniente dalle deiezioni animali, che potrebbe aver comportato una diminuzione dell'attività fosfataseica.

I bassi valori di fosfatasi delle PI ($210,42 \mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 151,22$), sono dovuti probabilmente alla ridotta attività biologica causata dagli aghi di pino difficilmente mineralizzabili (caratterizzati dunque da un maggiore contenuto in ceneri), che provoca una più difficile trasformazione di P in P assimilabile (Chen et al., 2002; Zhao e Zeng, 2006).

L'attività della fosfatasi è molto bassa nei TA, ed in particolare nei campi di carciofi che mostrano un basso valore medio di fosfatasi ($277,06 \mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 125,11$). Ciò può essere

dovuto sia alla ridotta disponibilità di substrati attivi per i microrganismi del suolo sia agli usi periodici di fertilizzanti fosfatici che deprimono sensibilmente l'attività fosfatica (Emran, 2012).

Come già visto per la β -glucosidasi, i concimi azotati possono provocare un aumento della attività enzimatica della fosfatasi (Ajwa et al., 1999); probabilmente a questo è dovuto il valore medio abbastanza elevato di fosfatasi nei campi di erba medica ($568,96 \mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 31,21$).

L'attività della fosfatasi è risultata molto elevata nelle risaie ($833,13 \mu\text{gPNF/g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 286,00$). Ciò è in contrasto con quanto riportato da Pulford e Tabatabai (1988) e Wang e Lu (2006), secondo i quali l'attività fosfatica diminuisce in condizioni di sommersione.

In realtà tale contraddizione è meramente apparente, infatti, il risultato da noi ottenuto è verosimilmente condizionato dalle progressive fluttuazioni del livello dell'acqua durante il ciclo colturale del riso. Nei periodi di prosciugamento della risaia (fase in cui sono stati campionati i suoli sottoposti ad indagine) la disponibilità di materiale organico aumenta e si registra così il progressivo incremento dell'attività della microflora terricola (Bocchi, 2009).

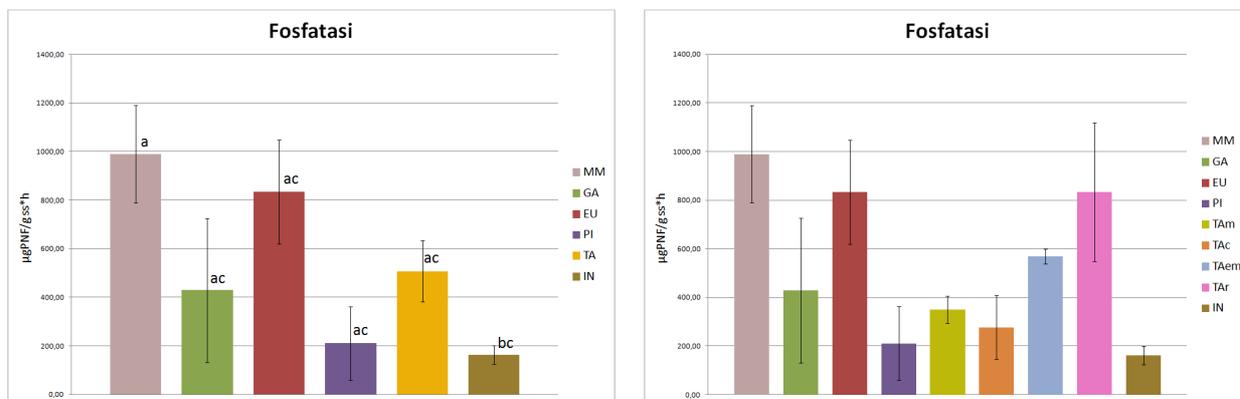


Figura 5.52. Andamento della fosfatasi nei diversi usi del suolo.

Proteasi

Le proteasi sono un gruppo di enzimi idrolitici legati al ciclo dell'azoto: sono infatti coinvolti nella prima reazione della sequenza metabolica responsabile della trasformazione dell'azoto proteico in azoto ammoniacale (mineralizzazione). Si tratta di un processo molto importante dal punto di vista agronomico perché trasforma l'azoto in una forma immediatamente disponibile per la pianta. L'azoto ammoniacale infatti può essere

trasformato in nitrati (disponibili per la pianta), essere assorbito dalle radici per contatto diretto oppure essere trattenuto dalle particelle del suolo (Benedetti e Gianfreda, 2004).

Dall'analisi dei dati è possibile notare come il trend dell'attività protesica sia abbastanza simile al trend dell'azoto totale, del carbonio organico e della frazione argillosa del suolo. L'attività proteasica è positivamente correlata ($p < 0,001$) con l'attività enzimatica della β -glucosidasi ($r = 0,558^{***}$) e con la glomalina ($r = 0,658^{***}$).

La stimolazione dell'attività enzimatica della proteasi nella MM e negli EU (valore medio rispettivamente di $17,32 \mu\text{gNH}_3/\text{g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 5,04$ e $15,82 \mu\text{gNH}_3/\text{g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 2,33$) è probabilmente riconducibile all'apporto di sostanza organica che stimola la produzione in ambiente extracellulare di proteasi da parte dei microrganismi. Anche per la proteasi, come già visto per la β -glucosidasi e la fosfatasi, è stata rilevata quindi una stimolazione dell'attività enzimatica idrolitica indotta dall'apporto di sostanza organica (Nannipieri et al., 1980). Per $p < 0,05$ la proteasi si correla infatti con il carbonio organico ($r = 0,473^{**}$).

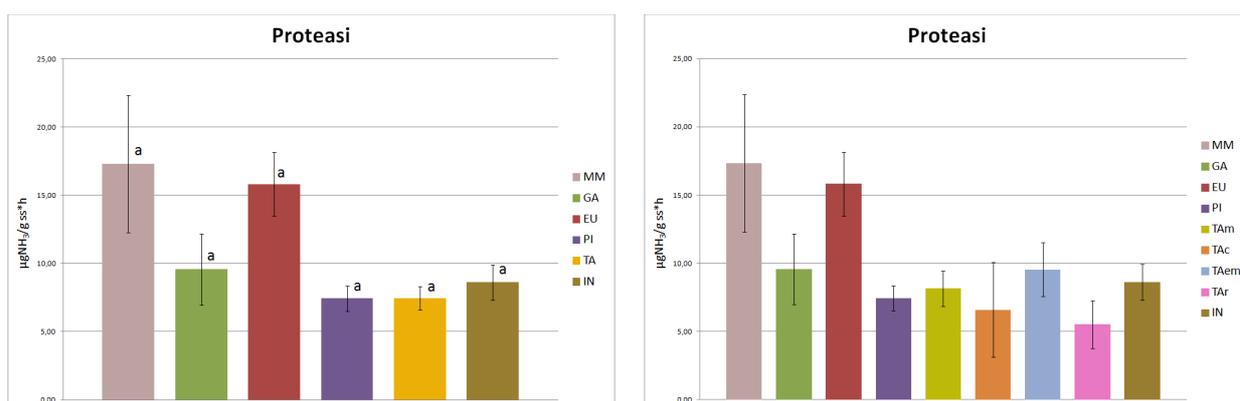


Figura 5.53. Andamento della proteasi nei diversi usi del suolo.

Deidrogenasi

Le deidrogenasi sono enzimi prevalentemente intracellulari appartenenti al gruppo delle ossidoreduttasi; catalizzano l'ossidazione di composti organici con la rimozione di due atomi di idrogeno che vengono trasferiti alla molecola del NAD^+ o NADP^+ (Nannipieri et al., 1990).

La deidrogenasi è l'enzima maggiormente legato alle prime fasi di degradazione della sostanza organica e, più degli altri enzimi liberi, dipende dall'attività biologica delle popolazioni microbiche; per questo si pensa che sia un enzima intracellulare legato ai processi respiratori dei microrganismi ed è quindi considerato un indicatore delle attività

microbiche nel loro complesso (Casida, 1977; Bolton et al., 1985; Benedetti e Gianfreda, 2004).

Inoltre la deidrogenasi è stata proposta come un valido bioindicatore della gestione del suolo sotto diverse pratiche agronomiche (Ceccanti et al., 1994).

Alti valori di attività deidrogenasica sono stati rilevati nella GA ($2,60 \mu\text{gINTF}/\text{g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 1,12$) e negli IN ($2,04 \mu\text{gINTF}/\text{g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 0,40$). Si ipotizza che questi valori siano sovrastimati a causa della probabile presenza nel suolo di escrementi degli animali (ovini) che vi pascolano. Alcuni autori hanno infatti indicato che il pascolo può causare un aumento di attività biochimica dovuta alla presenza degli escrementi animali (Haynes e Williams, 1999; Zacheis et al., 2002). È da considerare anche l'elevato contenuto in sabbia di GA e IN che potrebbe aver permesso una migliore areazione e quindi una maggiore attività della microflora presente.

Nel pascolo della GA e degli IN gli input di carbonio, la tessitura e l'assenza di lavorazione del suolo potrebbero quindi aver determinato un aumento dell'attività deidrogenasica.

Gli EU mostrano un valore medio di $2,13 \mu\text{gINTF}/\text{g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 0,33$. Tale specie arborea infatti influenza positivamente la biomassa microbica del suolo e di conseguenza tali suoli sono caratterizzati da un'alta attività deidrogenasica che si correla ad un'alta mineralizzazione di nutrienti come N, P, C.

I TA sono caratterizzati da una attività microbica non particolarmente elevata (valore medio di attività deidrogenasica di $1,51 \mu\text{gINTF}/\text{g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 0,24$) dovuta principalmente alla scomparsa dei composti organici facilmente degradabili ad opera delle lavorazioni del suolo (Masciandaro et al., 1998).

Per quanto concerne le risaie, bisogna sottolineare che in letteratura viene riportato che l'attività deidrogenasica del suolo aumenta in condizioni anaerobiche (a seguito della sommersione, infatti, l'ossigeno presente nel suolo decresce rapidamente) (Bocchi, 2009).

Invece il valore medio di deidrogenasi misurato nelle risaie ($1,20 \mu\text{gINTF}/\text{g}_{\text{ss}}\cdot\text{h} \pm 0,81$) non è particolarmente elevato. Si ipotizza che l'uso di fertilizzanti chimici e fitofarmaci ne abbia inibito l'attività. In particolare, lo studio condotto tra il 2012 e il 2013 dall'Agenzia Laore Sardegna, con la collaborazione dell'Ente acque della Sardegna (ENAS), per il monitoraggio qualitativo delle acque presenti nelle aree risicole dell'Oristanese (Progetto RES-MAR), ha rilevato tracce nei primi 40 cm di suolo del principio attivo Oxadiazon; esso ha un tempo di degrado lungo, è perciò molto probabile che il suolo risenta del suo

accumulo.

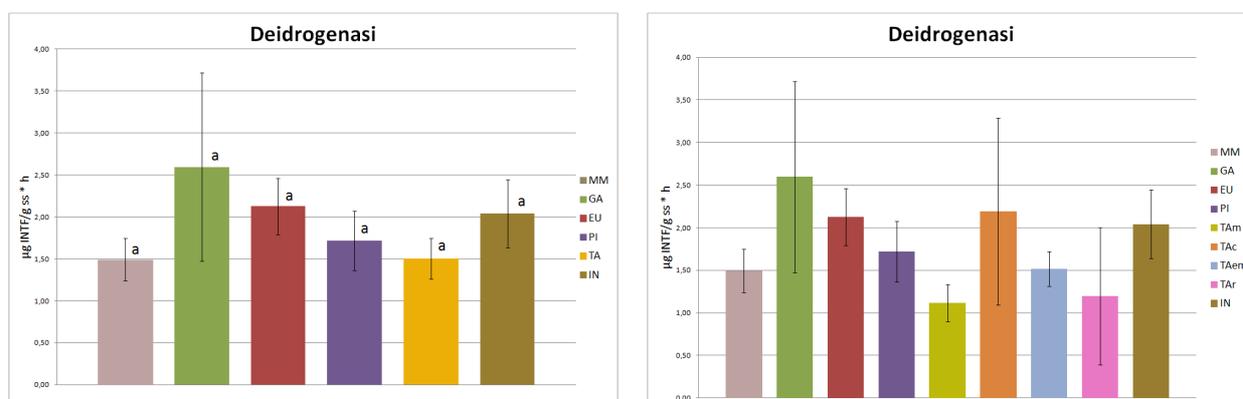


Figura 5.54. Andamento della deidrogenasi nei diversi usi del suolo.

Glomalina

La glomalina è una glicoproteina prodotta da funghi micorrizici arbuscolari (AMF), simbiotici mutualistici con le radici della maggior parte delle piante terrestri (Wright et al., 2006).

Esiste una stretta relazione tra la produzione di glomalina e di nutrienti del suolo (Emran et al., 2012). Nel nostro studio si correla positivamente e in modo significativo ($p < 0,001$) con il carbonio organico ($r = 0,704^{***}$) e con l'azoto ($r = 0,555^{***}$). La glomalina è infatti una glicoproteina che contiene sia carbonio che azoto.

La glomalina, inoltre, si correla positivamente con gli enzimi coinvolti nelle dinamiche di carbonio (β -glucosidasi $r = 0,779^{***}$) e azoto (proteasi $r = 0,658^{***}$) (Bai et al., 2009; Wu et al., 2012).

Questo indica che tali enzimi e la glomalina giocano un ruolo significativo nella trasformazione del C organico e di N in sostanze nutritive disponibili nel suolo. Nella presente ricerca emerge che la glomalina è presente in maggior quantità nei suoli ricchi di nutrienti e ben strutturati, così come è stato registrato per la β -glucosidasi e la proteasi.

Dunque la relazione esistente tra gli enzimi coinvolti nella trasformazione di C e N e la glomalina contribuisce al rilascio di glucosio mantenendo la biomassa microbica del suolo metabolicamente attiva e contribuendo così ad una struttura stabile (Wu et al., 2008, 2012).

La glomalina ha mostrato una buona correlazione con il Pb ($r = 0,594^{***}$). Alcuni studi indicano che la glomalina può chelare fortemente e sequestrare alcuni metalli pesanti potenzialmente tossici quali Cu, Cd, Pb e Zn (González-Chávez et al., 2004; Bedini et al.,

2007; Chern et al., 2007; Cornejo et al., 2008; Vodnik et al., 2008).

A tal proposito, si possono ipotizzare ulteriori sviluppi della ricerca. Si potrebbe infatti indagare la capacità da parte della glomalina di sequestrare metalli potenzialmente tossici purificando la proteina estratta e verificando la quantità dei metalli presenti nell'estratto proteico così purificato (Bedini et al., 2004; Steinberg e Rillig, 2003; Purin e Rillig, 2007).

Il contenuto di glomalina può dipendere oltre che dalla maturità e dalla struttura del suolo (Rillig et al., 2003; Rillig, 2004) anche dalla sua interazione con le specie vegetali. È risaputo che il comportamento di ciascun gruppo di funghi cambia in funzione della variazione della copertura vegetale e dal contenuto di sostanza organica (Seguel et al., 2008).

Il valore medio di glomalina negli EU (3,75 mg/g \pm 1,06) è significativamente maggiore ($p < 0,05$) rispetto quello delle PI (0,73 mg/g \pm 0,10).

I pini (PI) sono infatti in grado di minimizzare l'attività metabolica dei microrganismi a causa delle cattive condizioni del suolo sotto questa specie vegetale, povero in sostanza organica e nutrienti (N e P). Inoltre, gli AMF hanno una bassa capacità di colonizzare le radici degli alberi di pino (Wagg et al., 2011). È stato anche dimostrato che la concentrazione di glomalina è generalmente più bassa nei suoli ricchi di carbonato di calcio (come quelli delle PI) a causa dell'effetto dannoso del Ca sulla biomassa di AMF (Roldán et al., 1997; Lovelock et al., 2004).

La glomalina mostra una correlazione negativa con la densità apparente ($r = -0,559^{***}$). Alti valori di densità apparente (come quelli delle PI) impediscono lo sviluppo delle micorrize e di conseguenza si ha una scarsa produzione di glomalina.

Invece gli EU probabilmente favoriscono la colonizzazione di AMF e quindi la produzione di glomalina aumenta grazie al buon contenuto di sostanza organica e nutrienti disponibile per questi gruppi di funghi. Pertanto, il trend della glomalina è molto simile a quello del carbonio organico.

Nella MM (che presenta un buon contenuto di sostanza organica e un suolo tendenzialmente acido) è stato registrato un valore medio di glomalina elevato (3,25 mg/g \pm 0,67).

I funghi risultano favoriti dall'ambiente acido, in queste condizioni si crea una buona interazione funghi-radice che assicura un'elevata produzione di glomalina.

Nei TA si registra, in media, un contenuto medio-basso di glomalina (1,75 mg/g \pm 0,42).

Infatti le pratiche agricole sono in grado di diminuire la produzione di glomalina (Wright e Anderson, 2000; Rilling et al., 2003; Wright et al., 2007) probabilmente a causa della bassa produttività di biomassa fungina e la scarsa disponibilità di substrati organici utilizzabili dagli AMF (Jansa et al., 2003; Oehl et al., 2003; Treseder e Turner, 2007; Singh, 2012; Emran, 2012).

Come negli altri gruppi di uso del suolo anche nei suoli coltivati il trend della glomalina segue quello del carbonio organico.

Nei campi di erba medica la glomalina raggiunge alti livelli (2,70 mg/g \pm 0,10), questo è probabilmente dovuto all'elevata estensione dell'apparato radicale di questa specie erbacea, a conferma del fatto che i funghi AMF hanno un ruolo centrale nella produzione e nell'accumulo nei suoli della glomalina (Wright e Upadhyaya, 1996; Rilling et al., 2001; Driver et al., 2004, 2005).

Il valore medio di glomalina delle risaie è pari a 0,72 mg/g \pm 0,37. La coltura del riso in un suolo soggetto a periodiche sommersioni infatti non favorisce la colonizzazione delle radici del riso da parte di funghi arbuscolari micorrizici (Greppi et al., 2008).

In generale si può affermare che i suoli meno fertili hanno un minore contenuto di glomalina (Bedini et al., 2007). Si correla infatti positivamente con il principale parametro della fertilità: la CSC, $r=0,709^{***}$.

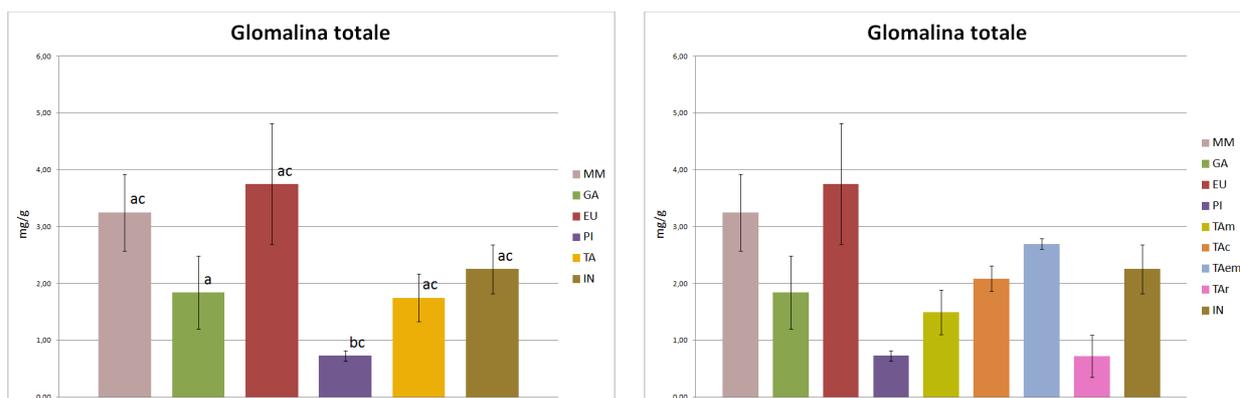


Figura 5.55. Andamento della glomalina totale nei diversi usi del suolo.

Carbonio dell'estratto della glomalina

La glomalina è una grande riserva di carbonio organico nel suolo in quanto il carbonio è il principale costituente di tale glicoproteina. Alcuni autori hanno riportato che essa può contenere tra il 27,9% e il 43,1% di carbonio, a seconda del metodo di estrazione (Rillig et al., 2003); nei suoli organici tale percentuale può salire al 52% (Schindler et al., 2007). Valori simili sono stati riportati da altri autori come Lovelock et al. (2004) (intervallo del 28-42%, media 36% $\pm 0,83$) e Nichols e Wright (2005) (valore medio di 28,4% $\pm 3,5$).

Si è calcolato che la glomalina costituisca il 5% del carbonio totale (Rillig et al., 2003, 2001) ed addirittura fino al 35% del carbonio della frazione organica nel suolo (Nichols et al., 2004).

La nostra determinazione del carbonio dell'estratto della glomalina (tabella 5.16) mostra valori simili ai range riportati in letteratura.

Come ci si aspetta, il carbonio dell'estratto della glomalina è significativamente più alto ($p < 0,05$) negli EU rispetto le PI, in accordo con i valori di glomalina totale presente in questi suoli.

Pertanto la glomalina è prodotta prevalentemente in suoli ricchi di carbonio e in presenza nella rizosfera di piante più adatte a catturare l'anidride carbonica atmosferica e convertirla in carbonio organico attraverso i processi fotosintetici.

I valori del carbonio dell'estratto della glomalina possono essere utilizzati per avere una stima indicativa del contributo della glomalina al carbonio organico del suolo nei diversi usi del suolo indagati.

Nel presente studio il contributo del carbonio della glomalina al carbonio totale del suolo varia dal 13,9% al 57,5 % (tabella 5.16).

UDS		C (g/kg)	GT (mg/g)	C-G (mg/g)	C-G/C (%)
MM	Media	33,24	3,25	4,62	13,90
	Errore standard	15,84	0,67	0,70	
EU	Media	29,31	3,75	5,12	17,48
	Errore standard	10,50	1,06	0,97	
GA	Media	15,05	1,84	3,15	20,94
	Errore standard	12,09	0,64	1,19	
PI	Media	2,24	0,73	1,29	57,52
	Errore standard	1,84	0,10	0,20	
TA	Media	16,97	1,75	3,36	19,80
	Errore standard	3,62	0,42	0,33	
IN	Media	20,71	2,25	3,07	14,81
	Errore standard	3,86	0,43	0,62	

Tabella 5.16. Contributo del carbonio della glomalina al carbonio organico totale del suolo nei diversi usi del suolo indagati \pm errore standard. (C=carbonio; GT=glomalina totale; C-G=carbonio dell'estratto della glomalina).

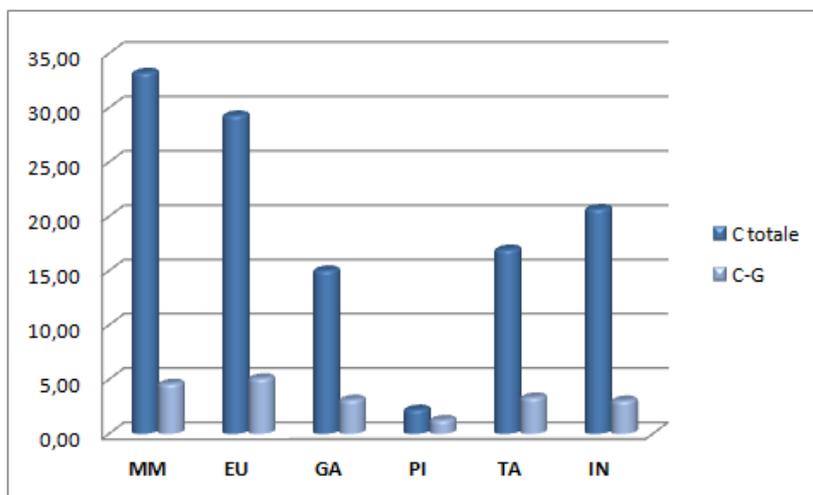


Figura 5.56. Contributo del carbonio della glomalina (C-G) al carbonio organico totale del suolo.

La più alta percentuale di C-G rispetto il C totale è stata trovata nelle PI, la più bassa nella MM. Quindi, anche se in valore assoluto il C-G nelle PI è basso, in proporzione, cioè rispetto il C totale, è elevato (figura 5.56).

Questo potrebbe essere interpretato come una strategia dei suoli poveri in C di compensare la mancanza di incorporazione di materia organica nel suolo con la produzione di composti organici più recalcitranti, quindi meno degradabili, come appunto la glomalina. Tali

composti vanno a costituire così una importante riserva di carbonio, supplendo in questo modo agli scarsi input esterni di materia organica, costituiti principalmente da aghi di pino, difficilmente mineralizzabili, a differenza della MM che presenta un turnover di materia organica più dinamico ed efficiente.

L'accumulo di materia organica nel suolo è infatti equilibrato dall'input continuo dei residui organici che in parte vengono utilizzati per l'attività metabolica dei microrganismi (CO_2) e in parte vanno a costituire la riserva organica di C meno labile e quindi più efficiente per la funzionalità del suolo (Nichols, 2003; Emran, 2012).

Si può dunque ipotizzare che la glomalina rappresenti una valida riserva di carbonio organico nei suoli poveri delle PI.

Un'importante indicazione di immobilizzazione del carbonio nel suolo è dimostrato dalle correlazioni significative tra la percentuale del carbonio determinato nella soluzione di estrazione della glomalina e la glomalina totale ($r=0,753^{***}$) e il C organico ($r=0,864^{***}$).

Ulteriori sviluppi della ricerca potrebbero prevedere l'utilizzo della pirolisi gascromatografia (Py-GC), che permette di ottenere informazioni sulla natura chimico-strutturale della sostanza organica e permette l'interpretazione degli indici che esprimono l'umificazione (B/E_3 - benzene/toluene)⁴⁵ e la mineralizzazione (N/O - furfurolo/pirrolo)⁴⁶ della sostanza organica. Questa tecnica sarebbe molto utile per migliore comprensione dell'evoluzione della sostanza organica e della sua composizione chimico-strutturale nei vari usi del suolo e per valutare quindi se realmente il C organico totale è labile, cioè di facile mineralizzazione (più aromatico che alifatico), così come ipotizzato in questa tesi.

Il C-G si correla positivamente con alcuni metalli: Pb ($r=0,673^{***}$), Zn ($r=0,738$), Al ($r=0,560^{***}$), Fe ($r=0,607^{***}$), Mn ($r=0,577^{***}$); ciò conferma la capacità del carbonio recalcitrante della glomalina di bloccare quasi irreversibilmente i metalli nella sua struttura organica complessa.

⁴⁵ L'indice di umificazione rappresenta la condizione strutturale del "nucleo aromatico stabile (condensato)" delle sostanze umiche. Il rapporto B/E_3 esprime il grado di umificazione in un suolo, maggiore è l'indice e maggiore è l'umificazione. Esso aumenta in seguito all'arricchimento del suolo in strutture aromatiche quali il benzene (composti aromatici con brevi catene alifatiche, ad esempio acidi umici) e diminuzione di strutture che producono toluene (composti aromatici meno condensati, con catene alifatiche più lunghe derivanti, ad esempio, dalla lignina).

⁴⁶ L'indice di mineralizzazione N/O esprime la scomparsa della frazione più labile di tipo polisaccaridico che produce furfurolo, rispetto alla frazione meno labile di tipo fenolico o pseudo-umico: Il rapporto N/O diminuisce proporzionalmente alla mineralizzazione della sostanza organica conseguente alla degradazione delle strutture che producono pirrolo (tessuti di cellule microbiche e quindi substrati di tipo proteico); minore è l'indice e maggiore è la mineralizzazione, più alto è l'indice e minore è la mineralizzazione della sostanza organica e ciò suggerisce la presenza di sostanza organica più stabile e più condensata.

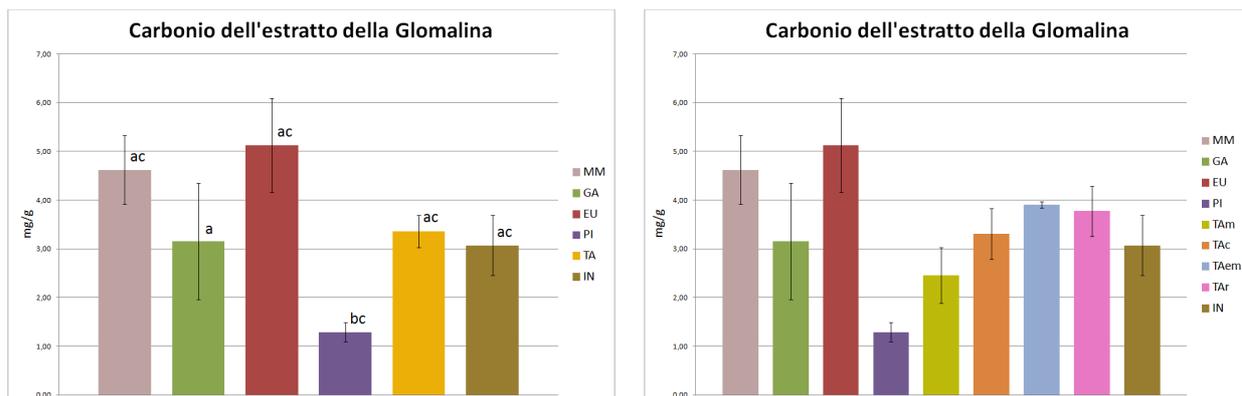


Figura 5.57. Andamento del C-G nei diversi usi del suolo.

Tabelle dei risultati (parametri biochimici)

UDS	Campione	Deidrogenasi ($\mu\text{gINTF/gss}\cdot\text{h}$)	β -glucosidasi ($\mu\text{gPNF/gss}\cdot\text{h}$)	Fosfatasi ($\mu\text{gPNF/gss}\cdot\text{h}$)	Proteasi ($\mu\text{gNH}_3/\text{gss}\cdot\text{h}$)	Glomalina (mg/g)	C glomalina (mg/g)
MM							
	27G	1,21	723,02	1285,82	23,49	4,20	5,32
	28E	2,00	418,33	1072,85	21,13	3,59	5,32
	27E	1,27	206,82	609,08	7,34	1,95	3,21
	Media	1,49	449,39	989,25	17,32	3,25	4,62
	Dev. stand.	0,44	259,49	346,03	8,72	1,16	1,22
	Errore stand.	0,26	149,82	199,78	5,04	0,67	0,70
EU							
	20N	2,33	467,83	1229,12	20,24	5,49	6,35
	19M	2,57	565,37	774,35	14,89	3,95	5,81
	21N	1,47	214,10	495,94	12,33	1,82	3,20
	Media	2,13	415,77	833,14	15,82	3,75	5,12
	Dev. stand.	0,58	181,33	370,11	4,04	1,84	1,68
	Errore stand.	0,33	104,69	213,68	2,33	1,06	0,97
GA							
	10B	4,84	216,60	267,17	11,85	2,70	3,46
	11D	1,35	429,56	1003,52	12,46	2,24	5,04
	5G	1,60	30,67	16,00	4,38	0,59	0,95
	Media	2,60	225,61	428,90	9,56	1,84	3,15
	Dev. stand.	1,95	199,60	513,24	4,50	1,11	2,06
	Errore stand.	1,12	115,24	296,32	2,60	0,64	1,19
PI							
	2F	2,13	31,88	57,98	8,65	0,58	1,07
	19L	1,01	78,63	512,85	5,63	0,91	1,68
	3F	2,01	17,57	60,42	8,03	0,69	1,11
	Media	1,72	42,70	210,42	7,43	0,73	1,29
	Dev. stand.	0,61	31,93	261,92	1,59	0,16	0,34
	Errore stand.	0,35	18,44	151,22	0,92	0,10	0,20
TA							
TAm	21O	1,93	190,39	264,67	7,34	2,83	4,55
	24L	1,14	52,22	257,46	8,03	1,93	2,80
	23M	0,83	55,71	301,27	8,29	1,08	1,67
	26 M	1,01	122,68	562,21	12,56	0,66	1,55
	21L	0,69	22,36	362,84	4,51	0,96	1,71
	Media	1,12	88,67	349,69	8,14	1,49	2,45
	Dev. stand.	0,49	67,67	125,91	2,89	0,88	1,27
	Errore stand.	0,22	30,26	56,31	1,29	0,40	0,57
TAc	14L	0,39	175,72	535,59	2,15	1,65	4,10

Tabelle dei risultati (parametri biochimici)

UDS	Campione	Deidrogenasi ($\mu\text{gINTF/gss}\cdot\text{h}$)	β -glucosidasi ($\mu\text{gPNF/gss}\cdot\text{h}$)	Fosfatasi ($\mu\text{gPNF/gss}\cdot\text{h}$)	Proteasi ($\mu\text{gNH}_3/\text{gss}\cdot\text{h}$)	Glomalina (mg/g)	C glomalina (mg/g)
	12D	1,99	181,66	108,44	4,18	2,19	3,48
	8C	4,18	373,62	187,15	13,42	2,41	2,34
Media		2,19	243,66	277,06	6,58	2,09	3,31
Dev. stand.		1,90	112,58	227,33	6,01	0,39	0,90
Errore stand.		1,10	65,00	131,25	3,47	0,23	0,52
TAem	20O	1,80	308,73	615,18	10,55	2,74	4,00
	19N	1,64	219,51	509,53	5,73	2,51	3,78
	22O	1,12	380,69	582,18	12,33	2,83	3,94
Media		1,52	302,98	568,96	9,54	2,70	3,90
Dev. stand.		0,36	80,74	54,05	3,42	0,17	0,12
Errore stand.		0,21	46,62	31,21	1,97	0,10	0,07
TAr	14M	0,35	138,66	929,76	2,31	0,00	4,34
	30A	2,81	354,48	1273,06	5,89	1,19	4,24
	30B	0,43	84,54	296,56	8,35	0,97	2,74
Media		1,20	192,56	833,13	5,52	0,72	3,77
Dev. stand.		1,40	142,82	495,37	3,04	0,63	0,90
Errore stand.		0,81	82,46	286,00	1,75	0,37	0,52
IN							
	9C	3,80	311,43	224,46	11,91	3,87	5,07
	26F	2,14	328,49	325,12	8,25	2,95	4,22
	13C	1,63	254,86	123,09	6,35	2,22	3,27
	4E	2,29	86,37	102,02	13,10	1,74	1,86
	7E	1,43	64,08	78,83	5,35	0,81	0,93
	11C	0,97	99,06	121,98	6,74	1,92	3,05
Media		2,04	190,71	162,58	8,62	2,25	3,07
Dev. stand.		0,99	120,83	93,96	3,17	1,06	1,51
Errore stand.		0,40	49,33	38,36	1,30	0,43	0,62

Tabella 5.17. Parametri biochimici riferiti ai diversi usi del suolo (UDS).

Tabelle dei risultati (parametri biochimici)

	UDS	Deidrogenasi ($\mu\text{gINTF/gss}\cdot\text{h}$)	β-glucosidasi ($\mu\text{gPNF/gss}\cdot\text{h}$)	Fosfatasi ($\mu\text{gPNF/gss}\cdot\text{h}$)	Proteasi ($\mu\text{gNH}_3/\text{gss}\cdot\text{h}$)	Glomalina (mg/g)	C glomalina (mg/g)
	TAm	1,12	88,67	349,69	8,14	2,45	1,49
	TAc	2,19	243,66	277,06	6,58	3,31	2,09
	TAem	1,52	302,98	568,96	9,54	3,90	2,70
	TAr	1,20	192,56	833,13	5,52	3,77	0,72
Media		1,51	206,97	507,21	7,45	3,36	1,75
Dev. stand.		0,49	90,86	250,21	1,76	0,66	0,84
Errore stand.		0,24	45,43	125,11	0,88	0,33	0,42

Tabella 5.18. Parametri biochimici riferiti ai terreni agricoli TA.

UDS	Deidrogenasi ($\mu\text{gINTF/gss}\cdot\text{h}$)	β-glucosidasi ($\mu\text{gPNF/gss}\cdot\text{h}$)	Fosfatasi ($\mu\text{gPNF/gss}\cdot\text{h}$)	Proteasi ($\mu\text{gNH}_3/\text{gss}\cdot\text{h}$)	Glomalina (mg/g)	C glomalina (mg/g)
MM	1,49a	449,39a	989,25a	17,32a	3,25ac	4,62ac
Errore stand.	0,26	149,82	199,78	5,04	0,67	0,70
EU	2,13a	415,77ac	833,14ac	15,82a	3,75a	5,12a
Errore stand.	0,33	104,69	213,68	2,33	1,06	0,97
GA	2,60a	225,61ac	428,90ac	9,56a	1,84ac	3,15ac
Errore stand.	1,12	115,24	296,32	2,60	0,64	1,19
PI	1,72a	42,70bc	210,42ac	7,43a	0,73bc	1,29bc
Errore stand.	0,35	18,44	151,22	0,92	0,10	0,20
TA	1,51a	206,97ac	507,21ac	7,45a	1,75ac	3,36ac
Errore stand.	0,28	52,46	144,46	1,02	0,49	0,38
IN	2,04a	190,71ac	162,58bc	8,62a	2,25ac	3,07ac
Errore stand.	0,57	69,76	54,25	1,83	0,61	0,87

Tabella 5.19. Medie dei parametri biochimici e Analisi della Varianza (ANOVA).

5.3.1.3 Analisi statistica multivariata (PFA)

L'analisi dei fattori principali (PFA - *Principal Factor Analysis*) è stata applicata ai parametri chimico-fisici e biochimici e ai metalli pesanti degli usi del suolo indagati, con il fine di comprendere meglio la complessità dei processi chimici e biochimici e di trovare un'evidenza statistica delle dinamiche naturali della zona di studio.

Sono stati estratti 3 fattori principali, con metodo *varimax normalizzato*, per una varianza totale pari al 70,5%. Il fattore 1 pesa per il 43,9 % sulla varianza totale dell'insieme dei dati, il fattore 2 per il 15,8 %, il fattore 3 per il 10,7 %.

I risultati della PFA concordano con i dati ottenuti dall'analisi di correlazione e dall'ANOVA.

FATTORE 1 - Effetto minerale

Il fattore 1 evidenzia che Al, Fe, Mn, Ni, Zn e Pb sono strettamente legati tra di loro e con limo e CSC. Si ha un legame inverso invece con la sabbia.

Questo fattore mostra quindi che negli usi del suolo indagati il contenuto totale di alcuni metalli è strettamente legato alla frazione granulometrica fine, in particolar modo al limo, ed è per lo più associato alla frazione colloidale.

I metalli a elevato potenziale ionico (come Ni e Zn) possono vicariare Fe, Al e Mn nei relativi minerali, mentre i metalli aventi basso potenziale ionico (come il Pb) hanno un raggio ionico troppo elevato per poter essere ospitati nel reticolo cristallino degli ossidi ed idrossidi di Fe, Al e Mn, ma possono essere adsorbiti in forma scambiabile negli interstrati di smectiti, vermiculiti e illiti (Violante, 1989).

Pertanto, i suoli con alto contenuto in frazioni fini (come quelli di TAc, TAem, TAr e IN) mostrano più alta CSC e presentano maggiori concentrazioni di metalli rispetto ai suoli sabbiosi (come quelli di PI e TAm).

FATTORE 2 - Reazione del suolo

Il fattore 2 mostra che pH, carbonati totali e Cd sono legati positivamente tra loro e negativamente con la fosfatasi. Questo fattore conferma il fatto che il pH del suolo è il fattore più importante nella determinazione della disponibilità del Cd (Kirkham, 2006) ed è un importante regolatore delle comunità microbiche del suolo e delle attività enzimatiche (Lauber et al, 2009; Rousk et al., 2009).

All'aumentare del contenuto di carbonati (GA, PI, IN), e di conseguenza del pH, aumenta il Cd e diminuisce la fosfatasi.

Dunque più i suoli sono calcarei (alto contenuto di CaCO_3), maggiore è il livello di Cd e minore è l'attività fosfatasi. Invece più i suoli sono acidi (MM, TAr) maggiore è l'attività fosfatasi e minore la concentrazione di Cd.

FATTORE 3 - Effetto metabolico

Il fattore 3 lega i parametri relativi alla fertilità (C, N e CSC) con le attività enzimatiche strettamente influenzate dalla sostanza organica del suolo (β -glucosidasi, che rappresenta il ciclo del carbonio, la proteasi che rappresenta il ciclo dell'azoto e la deidrogenasi, che rappresenta l'attività dei microrganismi del suolo) e con la glomalina (e con il C del suo estratto).

La relazione esistente tra gli enzimi idrolitici (β -glucosidasi e proteasi), la deidrogenasi e il ciclo dei nutrienti (C e N), suggerisce, in primo luogo, la presenza di una correlazione tra i cicli dei nutrienti nel suolo; inoltre può indicare che l'attività degli enzimi idrolitici sia associata in massima parte all'attività microbica del suolo e che la loro sintesi sia favorita dalla presenza di substrati organici disponibili.

Pertanto tale fattore, poiché include gli effetti metabolici direttamente dipendenti dalla sostanza organica, può essere interpretato come "effetto metabolico" e sottolinea la stretta correlazione esistente tra sostanza organica e attività biochimica del suolo.

Gli enzimi, C e N si legano strettamente anche alla glomalina. Questo conferma che enzimi e glomalina giocano un ruolo significativo nella trasformazione del C organico e di N in sostanze nutritive disponibili nel suolo.

Si può dunque concludere che i suoli con le più alte attività enzimatiche e il più alto contenuto di glomalina (MM, EU, TAem) presentino valori più alti di C, N e CSC e dunque siano i più fertili tra gli usi del suolo studiati.

Tabella 5.20. Pesi fattoriali (n=26); Metodo di estrazione: analisi dei fattori principali (PFA); Metodo di rotazione: Varimax; pesi marcati > 0,6

	F1	F2	F3
Densità apparente	-0,492	-0,229	-0,582
Sabbia	-0,740	-0,106	-0,372
Limo	0,787	0,080	0,409
Argilla	0,575	-0,039	0,446
Carbonati totali	0,070	0,952	0,021
pH	0,203	0,869	0,150
Conducibilità elettrica	0,472	0,029	0,566
C	0,423	-0,285	0,743
N	0,227	0,032	0,687
P	0,391	0,133	0,496
CSC	0,634	-0,089	0,700
Al	0,895	0,225	0,153
Fe	0,940	-0,087	0,031
Mn	0,874	0,017	0,061
Ni	0,705	0,411	0,013
Zn	0,810	-0,307	0,244
Cu	0,585	0,184	0,159
Pb	0,735	0,016	0,327
Cd	0,109	0,730	0,129
As	0,065	0,576	-0,296
Deidrogenasi	-0,203	0,587	0,623
Beta-glucosidasi	0,465	-0,142	0,790
Fosfatasi	0,245	-0,715	0,547
Proteasi	-0,201	0,006	0,694
Glomalina	0,265	0,065	0,815
C Glomalina	0,586	-0,307	0,699
Varianza proporzionale (%)	43,9	15,8	10,7
Varianza cumulativa (%)	43,9	59,7	70,5
Autovalori	11,406	4,118	2,794

5.3.2 Conclusioni

In questo studio sono stati utilizzati alcuni parametri biochimici (attività enzimatiche e glomalina), integrati ai parametri fisico-chimici e pedogeochimici, per esprimere la fertilità biochimica di alcuni suoli, sia naturali che caratterizzati da stress antropico. L'esame dei parametri considerati e la stretta relazione esistente tra essi ha confermato l'importanza dei parametri biochimici come indicatori di qualità e di funzionalità del suolo, in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche proprie di ciascun suolo.

Si è rilevato che le variazioni misurate nelle attività enzimatiche e nella glomalina sono dipendenti dalla diversità degli usi del suolo.

Si può osservare, infatti, che nei 6 usi del suolo studiati le attività enzimatiche (a parte la deidrogenasi) e la glomalina mostrano sempre valori bassi nei suoli sotto PI mentre alti valori sono sempre attribuiti alla MM e agli EU.

In generale si può concludere che le attività degli enzimi e il contenuto di glomalina nel suolo aumentano sensibilmente all'aumentare degli input di sostanza organica e della disponibilità dei substrati e diminuiscono in funzione del disturbo antropico.

Pertanto, i parametri biochimici (e presumibilmente il contenuto di biomassa microbica) aumentano progressivamente in questo modo PI → TA → IN e GA → MM e EU, suggerendo una maggiore immobilizzazione del carbonio nelle cellule microbiche dei suoli con un minor grado di antropizzazione e soggetti a maggiori input di sostanza organica di origine vegetale (soprattutto MM e EU, che presentano quindi la più alta fertilità).

Viceversa, i valori medi delle attività enzimatiche sono sempre bassi nei suoli delle PI e nei suoli influenzati dalle attività umane, nella fattispecie le pratiche agricole (TA). Tuttavia se la differenza in qualità del suolo è evidente tra i suoli coltivati (TA) e i suoli della MM e degli EU, non si è rilevata una netta differenza tra suoli coltivati (TA) e gli incolti (IN), rappresentati da terre non coltivate (abbandonate o a riposo o utilizzate per il pascolo). Il livello delle attività microbiche non differisce dunque fortemente tra suoli coltivati ed incolti, anche se possiamo ipotizzare una qualità del suolo leggermente inferiore nei TA.

I suoli degli IN, così come quelli della GA, mostrano comunque una minore qualità biochimica rispetto a MM e EU.

Dai risultati ottenuti si può affermare che talune proprietà fisico-chimiche del suolo (quali sostanza organica, azoto, fosforo, pH, carbonati totali, e granulometria), la copertura

vegetale e le lavorazioni del terreno sono importanti regolatori della composizione della comunità microbica del suolo, delle attività enzimatiche (Acosta-Martinez e Tabatabai, 2000; Hartmann et al., 2009; Ceja-Navarro et al., 2010; Lamb et al., 2011; Stursova e Baldrian, 2011) e sono anche da mettere in relazione con l'influenza che hanno sulla crescita e sul comportamento dei funghi AM (Mohammad et al., 2003; Pande e Tarafdar, 2004) e quindi sulla produzione di glomalina.

È stata inoltre valutata la relazione tra metalli pesanti (PTEs) e qualità del suolo nei diversi usi del suolo indagati. Alcuni studi mostrano come la presenza di metalli, se in concentrazione superiore a determinate soglie, perturbi gli equilibri microbiologici del suolo (Vallee e Ulmer, 1972), poiché causa un decremento della biomassa microbica (Brookes e McGrath, 1984; Barajas-Aceves, 2005) ed un'inibizione delle attività enzimatiche e, quindi, condiziona negativamente la fertilità e l'assorbimento radicale da parte dei vegetali (Skujins et al., 1986; Coppola et al., 1988; Baccouch et al., 1998; Chaudri et al., 2008; Giller et al., 2009).

Come riportato da Gadd (1992), tuttavia, in presenza di elevate concentrazioni di metalli, i microrganismi possono presentare meccanismi intrinseci di tolleranza o possono azionare dei meccanismi di detossificazione (resistenza) come risposta diretta ai metalli.

La presente ricerca ha messo in evidenza che nei suoli sotto i diversi *land uses* indagati i metalli non superano i limiti previsti dalla normativa italiana (D. Lgs. 152/2006). I risultati mostrano che il contenuto dei metalli (soprattutto di Pb e Zn) è relazionato principalmente al C organico (r rispettivamente pari a 0,614*** e 0,608***), alla CSC e alla presenza di argilla/limo; questi fattori influenzano la capacità del suolo di legare e trattenere i metalli pesanti (Kabata-Pendias, 2011). Pb e Zn sono infatti presenti in concentrazioni maggiori nella MM e minori nella PI.

Inoltre, l'analisi di correlazione ha messo in evidenza la relazione esistente tra Cd, pH ($r=0,633***$) e carbonati totali ($r=0,681***$), che condiziona l'elevato contenuto di questo elemento negli IN e nelle PI.

L'attività antropica, con l'apporto di sostanze contenenti metalli pesanti utilizzate per la difesa fitosanitaria o per la fertilizzazione, potrebbe essere una fonte di arricchimento superficiale di metalli nei suoli dei TA.

Attività enzimatiche

Un aumento delle attività enzimatica del suolo è legato al miglioramento del contenuto in materia organica, del ciclo dei nutrienti e dell'attività microbica del suolo (Tabatabai, 1994).

I nostri risultati concordano con quelli presenti in letteratura che identificano la **sostanza organica** come il principale fattore che influenza l'attività enzimatica (Stursová e Baldrian, 2011). La sostanza organica ha un ruolo importantissimo nelle interazioni tra piante, biomassa microbica e fauna del suolo. La maggior parte dei processi microbiologici infatti si collocano nella materia organica, in quanto è un serbatoio di carbonio e di azoto (Wallenius et al., 2011).

Nel presente studio è stata trovata una correlazione positiva tra carbonio organico, β -glucosidasi ($r=0,861^{***}$), fosfatasi ($r=0,714^{**}$) e proteasi ($r=0,473^{**}$ $p<0,05$), a conferma di quanto già riportato in letteratura (Dick et al., 1988; Eivazi et Tabatai, 1990; Deng e Tabatai, 1997; Turner et al., 2002; Santruckova et al., 2004). Nello specifico, MM e EU sono gli usi del suolo che presentano il maggior contenuto di C organico (in media 3,8% corrispondente al 6,7% di sostanza organica) e, in generale, le più alte attività enzimatiche.

Il **pH** è una proprietà molto importante del suolo che influenza la diversità e la composizione della comunità microbica del suolo e l'attività degli enzimi attraverso diversi meccanismi (Paul e Clark, 1996; Bardgett, 2005). In particolare è stata trovata una correlazione negativa tra pH e fosfatasi (e negativa tra pH e Cd), confermata anche dalla PFA.

Molti studi hanno evidenziato l'influenza della **tessitura** sulla struttura delle comunità microbiche (Nannipieri et al., 2003). Nello specifico, i risultati dello studio di Sessitsch et al. (2001) hanno dimostrato che le dimensioni delle particelle del suolo influenzano notevolmente la struttura e la distribuzione delle comunità microbiche. Esse presentano un'elevata specificità per diverse classi granulometriche: nelle frazioni di minori dimensioni la diversità microbica è maggiore che in quelle maggiori. Renjard e Richaume (2001) hanno analizzato la distribuzione spaziale dei batteri a livello di microhabitat ed hanno dimostrato che l'80% dei batteri è localizzato nei micropori di aggregati stabili, del diametro di 2-20 μ m, dove trovavano condizioni favorevoli di disponibilità idrica e di substrati, di diffusione di gas e di protezione dai predatori.

Pertanto, si può affermare che i processi microbici e biochimici che avvengono nel suolo

siano profondamente influenzati dalla presenza e/o dall'assenza di argilla. I minerali argillosi hanno infatti un ruolo importante nella formazione e nella stabilizzazione di aggregati (micro nicchie), sono capaci di trattenere al loro interno una quantità di acqua sufficiente alla vita dei microrganismi e di adsorbire cationi in virtù delle cariche negative superficiali.

Di conseguenza, anche l'attività degli enzimi è spesso correlata con il contenuto e il tipo di argilla. Nel presente studio è stato dimostrato che i suoli con un buon contenuto di frazione granulometrica fine (primi fra tutti i campi di erba medica, ricchi di argilla) hanno una maggiore capacità di immagazzinare la materia organica rispetto ai suoli sabbiosi, permettendo così la formazione di complessi argilla-humus e argilla-enzima (Pinnavaia et al., 1986; Alther, 2003). La PFA ha mostrato anche che i suoli argillosi/limosi presentano maggiori concentrazioni di metalli (Al, Fe, Mn, Ni, Zn, Pb) rispetto ai suoli sabbiosi.

I suoli sabbiosi (per esempio le PI) tendono a mostrare tassi più bassi di attività microbica e conseguentemente di attività enzimatica a causa della loro natura (Mungai et al., 2005), come lo scarso contenuto di materia organica e le scarse capacità di trattenimento dell'acqua.

È ben noto infatti come i suoli sabbiosi non favoriscano la protezione fisica di substrati facilmente biodegradabili e dei microrganismi, comportando perdite di sostanza organica del suolo (Hassink, 1994; Sollins et al., 1996). L'elevato grado di ossigenazione tipica di questi suoli (elevata macro-porosità), infatti, indirizza il bilancio della sostanza organica verso la mineralizzazione con conseguente basso contenuto di humus e nutrienti.

Bisogna anche considerare l'influenza della **vegetazione**. Alcune specie di piante possono stimolare l'attività enzimatica fornendo delle ottimali interazioni biochimiche tra i nutrienti del suolo e la sua struttura grazie al loro effetto positivo sulla attività microbica (Zak et al., 2003).

La composizione e l'attività della comunità microbica viene influenzata dalle comunità vegetali sia attraverso l'accumulo della lettiera (che comporta un arricchimento di materia organica e quindi di substrati che raggiungono il suolo, Chen, et al., 2004) sia attraverso l'alterazione dell'ambiente fisico che avviene durante la crescita delle radici. Il rilascio degli essudati radicali (sostanze di scarto che la pianta produce a seguito della fotosintesi clorofilliana) influenza infatti la varietà, la disponibilità e la quantità dei substrati di carbonio nel suolo (Marinari et al., 2014).

È dimostrato che differenti specie di piante possono essere associate con comunità microbiche con caratteristiche uniche (Chen et al., 2002) a causa di differenze nella quantità e nella qualità degli essudati radicali (Nguyen, 2003).

Questi effetti sono chiaramente più forti nella rizosfera, direttamente influenzata dalle radici e utilizzata dalle piante per sfruttare le riserve di nutrienti organici del suolo.

Oltre che fornire input di carbonio, le comunità vegetali possono inoltre influenzare il pH del suolo, l'umidità e la temperatura, che sono tutti degli importanti regolatori di attività microbica (Wallenius et al., 2011).

Per quanto riguarda gli EU, le piantagioni di questa essenza vegetale vengono spesso criticate soprattutto per quanto riguarda la scarsa diversità vegetale del sottobosco, la bassa fertilità e biodiversità del suolo (Pamela et al., 2003). L'Eucalyptus comunemente produce una lettiera con bassa concentrazione di nutrienti che si decompone lentamente, infatti i residui dell'Eucalyptus sono più resistenti alla decomposizione (Guo et al., 1999). Questo comporta una riduzione progressiva della fertilità del suolo e, al tempo stesso, una riduzione del carbonio organico.

Tuttavia, alcuni studi condotti in Brasile sull'impatto di Eucalyptus spp. sulle proprietà chimiche del suolo hanno dimostrato che i suoli sotto eucalipti hanno una maggiore diversità delle comunità batteriche rispetto i suoli delle foreste native (da Silveira et al., 2006). Anche le piantagioni di Eucalyptus della Cina subtropicale mostrano un'elevata presenza di comunità microbiche (Cao et al., 2010).

Nei suoli degli EU del presente studio sono stati rilevati invece alti livelli di C, N e P, una elevata CSC e in generale una buona attività enzimatica. Ciò indica che la comunità microbica del suolo non è negativamente influenzata dalla presenza di questa specie vegetale ma, anzi, tale specie vegetale sembrerebbe migliorare alcuni parametri connessi con la fertilità del suolo.

Per quanto concerne le PI, Iovieno et al. (2006) ha dimostrato che gli alberi di pino possono avere un effetto negativo sulla comunità microbica del suolo dovuta agli aghi di pino difficilmente degradabili che formano un notevole strato a lettiera (orizzonte Oi) sulla superficie del suolo.

Di conseguenza, questo ambiente poco favorevole riduce lo sviluppo della vegetazione erbacea; le pinete tendono pertanto ad avere un sottobosco poco rigoglioso.

I suoli caratterizzanti le PI del presente studio possono dunque essere considerati molto

poveri da un punto di vista chimico e biochimico principalmente a causa del loro scarso contenuto di materia organica e di nutrienti.

Tra gli usi del suolo considerati, i suoli naturali della MM sono quelli che presentano la maggiore diversità e abbondanza di specie vegetali. Ciò comporta l'aumento dell'eterogeneità degli habitat nel suolo, che si correla fortemente con la diversità funzionale del suolo (Rodríguez-Loinaz et al., 2008). Una copertura vegetale costituita da diverse specie può determinare, infatti, la presenza di una lettiera molto diversificata, che a sua volta porta ad una maggiore diversità delle caratteristiche chimiche e fisiche del suolo (Sulkava e Huhta, 1998; Hansen, 2000).

Ciò è stato osservato anche da Bardgett (2002), il quale ha dimostrato che la presenza simultanea di lettiere diverse comporta una maggiore varietà delle risorse disponibili ed una maggiore complessità degli habitat, determinando una più elevata diversità delle comunità microbiche.

La MM mostra infatti alti livelli di attività enzimatica, in particolare la β -glucosidasi è significativamente superiore ($p < 0,05$) nella MM rispetto alle PI e la fosfatasi nella MM rispetto agli IN.

Anche se non ci sono differenze statisticamente significative, i suoli della GA (che rappresenta per definizione la degradazione della macchia mediterranea), sono sempre più "degradati" rispetto a quelli della MM, probabilmente a causa del pascolamento che induce fenomeni di compattazione (degradazione della struttura del suolo dovuta al calpestio), che potrebbero aver provocato un'inibizione delle attività microbiche, così come presumibilmente avviene negli IN. La GA e gli IN rispetto alla MM mostrano infatti minori contenuti di sostanza organica e di frazione granulometrica fine (argilla) e dunque più basse attività enzimatiche.

I nostri risultati mettono in evidenza, inoltre, che le **pratiche agronomiche** tendono a livellare le caratteristiche agro-chimiche e biologiche dei suoli. Nonostante i TA presentino mediamente un contenuto non eccessivamente basso di C organico (attorno al 2%, si tratta quindi di suoli mediamente dotati di sostanza organica) e valori normali di N totale (0,08%, in linea con i valori tipici dei suoli agrari), nella maggior parte dei TA si registrano attività enzimatiche mediamente basse, soprattutto se confrontate con quelle di MM e EU. Probabilmente, infatti, in tali suoli esse sono molto sensibili alla degradazione dovuta alle pratiche agricole (Dick, 1984, 1994; Bandick e Dick, 1999; Caldwell et al., 1999; Kandeler

et al., 1999; Acosta-Martinez et al., 2007; Sotomayor-Ramírez et al., 2009).

È noto che molte pratiche di gestione agricola hanno un effetto nocivo sulla qualità, oltre che sulla quantità, della materia organica e sulla sua distribuzione nel suolo, andando ad interferire con le proprietà fisiche, chimiche e biochimiche e soprattutto con la fertilità del suolo. Le lavorazioni intensive e l'uso di macchinari pesanti possono provocare un aumento del rischio di erosione e compattazione del suolo e possono così ostacolare l'attività microbica (Welbaum et al., 2004), riducendone anche la ricchezza di specie (Ceja-Navarro et al., 2010).

Inoltre, l'uso di fertilizzanti fosfatici (che induce, se eccessivo, la diminuzione della disponibilità di substrati attivi per i microrganismi) probabilmente ha avuto un'azione inibitoria sulle attività enzimatiche (Clarholm, 1993; Olander e Vitousek, 2000; Emran, 2012), mentre si ipotizza che i concimi azotati abbiano provocato un aumento delle attività di alcuni enzimi, come fosfatasi e β -glucosidasi (Pascual et al., 1999; Ajwa et al., 1999; Chakrabarti et al., 2000).

Tra i TA, i campi di erba medica (*Medicago sativa* L.) mostrano i più alti livelli di attività enzimatica. Si tratta infatti di una pianta erbacea perenne (appartenente alla famiglia delle Fabaceae) con apparato radicale estremamente fittonante, che può arrivare anche a una lunghezza di 3-5 m. La presenza continua di vegetazione e il vasto apparato radicale probabilmente hanno contribuito ad aumentare le attività enzimatiche (Bandick, 1999; Marinari et al., 2014).

Inoltre i campi di erba medica mostrano un alto contenuto sia di C organico che di argilla (e di conseguenza un buon livello di nutrienti) che permette il legame con gli enzimi.

I campi di carciofi e le risaie presentano livelli variabili di attività enzimatiche. Alcuni studi hanno dimostrato che la struttura e la diversità della comunità microbica delle risaie (Wenhui et al., 2007; Muthukumarasamy et al., 2007; Gu et al., 2009) e dei terreni agricoli in generale (Emran, 2012) può essere influenzata dall'uso di fertilizzanti chimici e pesticidi, che inibiscono l'attività di alcuni enzimi.

Nei campi di mais, che presentano un alto contenuto di sabbia e sono povere di argilla e limo, così come di C organico, non si hanno valori elevati di attività enzimatiche. Tra tutti i TA analizzati sono quelli che mostrano quindi la peggiore qualità del suolo.

Glomalina

L'andamento della glomalina rispecchia in linea di massima quello delle attività enzimatiche. Poiché il comportamento dei funghi cambia in funzione della copertura vegetale e del contenuto di sostanza organica, la quale favorisce la colonizzazione degli AMF, il livello di glomalina è significativamente superiore ($p < 0,05$) nelle EU rispetto le PI.

I risultati hanno quindi confermato che il contenuto di glomalina aumenta proporzionalmente alla fertilità del suolo (Bedini et al., 2007).

Nei suoli sotto PI gli AMF hanno tipicamente una scarsa capacità di colonizzare le radici dei pini. Tali suoli presentano uno scarso contenuto di sostanza organica e nutrienti, un alto contenuto di carbonati totali che agisce negativamente sulla biomassa microbica, un'alta densità apparente che provoca la scomparsa delle micorrize e di conseguenza riduce il contenuto di glomalina.

L'analisi del carbonio dell'estratto della glomalina (C-G), inoltre, ha permesso di ipotizzare che la glomalina rappresenti una valida riserva di carbonio organico nei suoli poveri delle PI, in quanto in questi suoli il C-G è molto elevato rispetto al contenuto del C totale.

Al contrario, gli EU favoriscono la colonizzazione di AMF (e quindi la produzione di glomalina) grazie al buon contenuto di sostanza organica e nutrienti disponibile per questi gruppi di funghi.

Infine, i funghi sono particolarmente vulnerabili al disturbo del suolo legato alle pratiche agricole le quali riducono la produttività della biomassa fungina e, di conseguenza, il livello di glomalina (Frey et al., 1999; Driver et al., 2005).

5.3.3 Allegati

Variabile	Correlazioni (Spreadsheet1) Corr. marcate significative al livello p < ,00100 N=32 (Eliminaz. casewise dati mancanti)																										
	Densita apparente	Sabbia	Limo	Argilla	Carbonat tot	pH	CE	C	N	P	CSC	Al	Fe	Mn	Ni	Zn	Cu	Pb	Cd	As	Deidrogenasi	Beta-glucosidasi	Fosfatasi	Proteasi	Glomalina	C glomalina	
Densita apparente	1,000	0,534	-0,587	-0,453	-0,268	-0,391	-0,556	-0,566	-0,404	-0,528	-0,704	-0,551	-0,470	-0,540	-0,391	-0,543	-0,346	-0,558	-0,312	-0,046	-0,358	-0,630	-0,346	-0,366	-0,559	-0,586	
Sabbia	0,534	1,000	-0,949	-0,844	-0,188	-0,390	-0,604	-0,496	-0,434	-0,653	-0,708	-0,703	-0,634	-0,493	-0,440	-0,614	-0,481	-0,447	-0,242	0,177	-0,123	-0,595	-0,362	0,110	-0,382	-0,617	
Limo	-0,587	-0,949	1,000	0,737	0,137	0,308	0,661	0,596	0,462	0,626	0,792	0,745	0,678	0,611	0,522	0,632	0,476	0,635	0,211	-0,117	0,170	0,678	0,374	-0,053	0,440	0,678	
Argilla	-0,453	-0,844	0,737	1,000	0,047	0,301	0,419	0,515	0,462	0,567	0,618	0,573	0,533	0,290	0,314	0,599	0,417	0,322	0,092	-0,321	0,066	0,587	0,445	0,058	0,476	0,604	
Carbonati tot	-0,268	-0,188	0,137	0,047	1,000	0,861	0,088	-0,209	0,075	0,142	-0,046	0,284	-0,004	0,055	0,368	-0,200	0,271	0,021	0,681	0,509	0,537	-0,093	-0,629	-0,014	0,077	-0,241	
pH	-0,391	-0,390	0,308	0,301	0,861	1,000	0,281	-0,093	0,219	0,239	0,135	0,379	0,108	0,120	0,446	-0,009	0,335	0,064	0,633	0,301	0,523	0,046	-0,483	-0,007	0,179	-0,049	
CE	-0,556	-0,604	0,661	0,419	0,088	0,281	1,000	0,539	0,597	0,453	0,774	0,507	0,398	0,443	0,150	0,522	0,455	0,463	0,135	-0,227	0,239	0,573	0,369	0,147	0,472	0,633	
C	-0,566	-0,496	0,596	0,515	-0,209	-0,093	0,539	1,000	0,509	0,416	0,754	0,446	0,473	0,423	0,261	0,608	0,326	0,614	-0,060	-0,308	0,267	0,861	0,714	0,473	0,704	0,864	
N	-0,404	-0,434	0,462	0,462	0,075	0,219	0,597	0,509	1,000	0,487	0,651	0,428	0,171	0,226	0,076	0,285	0,398	0,303	0,041	-0,291	0,369	0,508	0,346	0,246	0,554	0,612	
P	-0,528	-0,653	0,626	0,567	0,142	0,239	0,453	0,416	0,487	1,000	0,608	0,529	0,268	0,245	0,112	0,306	0,322	0,291	0,383	-0,188	0,184	0,470	0,289	0,017	0,382	0,519	
CSC	-0,704	-0,708	0,792	0,618	-0,046	0,135	0,774	0,754	0,651	0,608	1,000	0,655	0,588	0,601	0,419	0,655	0,456	0,720	0,076	-0,200	0,263	0,849	0,592	0,293	0,709	0,911	
Al	-0,551	-0,703	0,745	0,573	0,284	0,379	0,507	0,446	0,428	0,529	0,655	1,000	0,822	0,790	0,692	0,640	0,614	0,698	0,281	0,090	0,042	0,474	0,121	-0,116	0,351	0,560	
Fe	-0,470	-0,634	0,678	0,533	-0,004	0,108	0,398	0,473	0,171	0,268	0,588	0,822	1,000	0,890	0,669	0,854	0,428	0,747	0,008	0,118	-0,167	0,525	0,321	-0,029	0,306	0,607	
Mn	-0,540	-0,493	0,611	0,290	0,055	0,120	0,443	0,423	0,226	0,245	0,601	0,790	0,890	1,000	0,705	0,736	0,376	0,849	0,015	0,265	-0,047	0,497	0,201	0,053	0,346	0,577	
Ni	-0,391	-0,440	0,522	0,314	0,368	0,446	0,150	0,261	0,076	0,112	0,419	0,692	0,669	0,705	1,000	0,402	0,410	0,709	0,312	0,410	0,196	0,394	-0,141	0,061	0,360	0,346	
Zn	-0,543	-0,614	0,632	0,599	-0,200	-0,009	0,522	0,608	0,285	0,306	0,655	0,640	0,854	0,736	0,402	1,000	0,475	0,637	-0,076	-0,190	-0,227	0,589	0,547	0,114	0,452	0,738	
Cu	-0,346	-0,481	0,476	0,417	0,271	0,335	0,455	0,326	0,398	0,322	0,456	0,614	0,428	0,376	0,410	0,475	1,000	0,347	0,345	-0,105	-0,079	0,276	0,134	-0,093	0,315	0,408	
Pb	-0,558	-0,447	0,635	0,322	0,021	0,064	0,463	0,614	0,303	0,291	0,720	0,698	0,747	0,849	0,709	0,637	0,347	1,000	0,031	0,206	0,178	0,658	0,270	0,293	0,594	0,673	
Cd	-0,312	-0,242	0,211	0,092	0,681	0,633	0,135	-0,060	0,041	0,383	0,076	0,281	0,008	0,015	0,312	-0,076	0,345	0,031	1,000	0,189	0,303	0,091	-0,344	0,040	0,134	-0,117	
As	-0,046	0,177	-0,117	-0,321	0,509	0,301	-0,227	-0,308	-0,291	-0,188	-0,200	0,090	0,118	0,265	0,410	-0,190	-0,105	0,206	0,189	1,000	0,271	-0,215	-0,532	0,104	-0,082	-0,301	
Deidrogenasi	-0,358	-0,123	0,170	0,066	0,537	0,523	0,239	0,267	0,369	0,184	0,263	0,042	-0,167	-0,047	0,196	-0,227	-0,079	0,178	0,303	0,271	1,000	0,349	-0,156	0,473	0,493	0,162	
Beta-glucosidasi	-0,630	-0,595	0,678	0,587	-0,093	0,046	0,573	0,861	0,508	0,470	0,849	0,474	0,525	0,497	0,394	0,589	0,276	0,658	0,091	-0,215	0,349	1,000	0,683	0,558	0,779	0,859	
Fosfatasi	-0,346	-0,362	0,374	0,445	-0,629	-0,483	0,369	0,714	0,346	0,289	0,592	0,121	0,321	0,201	-0,141	0,547	0,134	0,270	-0,344	-0,532	-0,156	0,683	1,000	0,344	0,377	0,718	
Proteasi	-0,366	0,110	-0,053	0,058	-0,014	-0,007	0,147	0,473	0,246	0,017	0,293	-0,116	-0,029	0,053	0,061	0,114	-0,093	0,293	0,040	0,104	0,473	0,558	0,344	1,000	0,658	0,371	
Glomalina	-0,559	-0,382	0,440	0,476	0,077	0,179	0,472	0,704	0,554	0,382	0,709	0,351	0,306	0,346	0,360	0,452	0,315	0,594	0,134	-0,082	0,493	0,779	0,377	0,658	1,000	0,753	
C glomalina	-0,586	-0,617	0,678	0,604	-0,241	-0,049	0,633	0,864	0,612	0,519	0,911	0,560	0,607	0,577	0,346	0,738	0,408	0,673	-0,117	-0,301	0,162	0,859	0,718	0,371	0,753	1,000	

Figura 5.58. Matrice di correlazione (p<0,001).

5.3.3 Allegati

Variabile	Correlazioni (Spreadsheet1.sta) Corr. marcate significative al livello p < ,05000 N=32 (Eliminaz. casewise dati mancanti)																									
	Densita apparente	Sabbia	Limo	Argilla	Carbonati tot	pH	CE	C	N	P	CSC	Al	Fe	Mn	Ni	Zn	Cu	Pb	Cd	As	Deidrogenasi	Beta-glucosidasi	Fosfatasi	Proteasi	Glomalina	C glomalina
Densita apparente	1,000	0,534	-0,587	-0,453	-0,268	-0,391	-0,556	-0,566	-0,404	-0,528	-0,704	-0,551	-0,470	-0,540	-0,391	-0,543	-0,346	-0,558	-0,312	-0,046	-0,358	-0,630	-0,346	-0,366	-0,559	-0,586
Sabbia	0,534	1,000	-0,949	-0,844	-0,188	-0,390	-0,604	-0,496	-0,434	-0,653	-0,708	-0,703	-0,634	-0,493	-0,440	-0,614	-0,481	-0,447	-0,242	0,177	-0,123	-0,595	-0,362	0,110	-0,382	-0,617
Limo	-0,587	-0,949	1,000	0,737	0,137	0,308	0,661	0,596	0,462	0,626	0,792	0,745	0,678	0,611	0,522	0,632	0,476	0,635	0,211	-0,117	0,170	0,678	0,374	-0,053	0,440	0,678
Argilla	-0,453	-0,844	0,737	1,000	0,047	0,301	0,419	0,515	0,462	0,567	0,618	0,573	0,533	0,290	0,314	0,599	0,417	0,322	0,092	-0,321	0,066	0,587	0,445	0,058	0,476	0,604
Carbonati tot	-0,268	-0,188	0,137	0,047	1,000	0,861	0,088	-0,209	0,075	0,142	-0,046	0,284	-0,004	0,055	0,368	-0,200	0,271	0,021	0,681	0,509	0,537	-0,093	-0,629	-0,014	0,077	-0,241
pH	-0,391	-0,390	0,308	0,301	0,861	1,000	0,281	-0,093	0,219	0,239	0,135	0,379	0,108	0,120	0,446	-0,009	0,335	0,064	0,633	0,301	0,523	0,046	-0,483	-0,007	0,179	-0,049
CE	-0,556	-0,604	0,661	0,419	0,088	0,281	1,000	0,539	0,597	0,453	0,774	0,507	0,398	0,443	0,150	0,522	0,455	0,463	0,135	-0,227	0,239	0,573	0,369	0,147	0,472	0,633
C	-0,566	-0,496	0,596	0,515	-0,209	-0,093	0,539	1,000	0,509	0,416	0,754	0,446	0,473	0,423	0,261	0,608	0,326	0,614	-0,060	-0,308	0,267	0,861	0,714	0,473	0,704	0,864
N	-0,404	-0,434	0,462	0,462	0,075	0,219	0,597	0,509	1,000	0,487	0,651	0,428	0,171	0,226	0,076	0,285	0,398	0,303	0,041	-0,291	0,369	0,508	0,346	0,246	0,554	0,612
P	-0,528	-0,653	0,626	0,567	0,142	0,239	0,453	0,416	0,487	1,000	0,608	0,529	0,268	0,245	0,112	0,306	0,322	0,291	0,383	-0,188	0,184	0,470	0,289	0,017	0,382	0,519
CSC	-0,704	-0,708	0,792	0,618	-0,046	0,135	0,774	0,754	0,651	0,608	1,000	0,655	0,588	0,601	0,419	0,655	0,456	0,720	0,076	-0,200	0,263	0,849	0,592	0,293	0,709	0,911
Al	-0,551	-0,703	0,745	0,573	0,284	0,379	0,507	0,446	0,428	0,529	0,655	1,000	0,822	0,790	0,692	0,640	0,614	0,698	0,281	0,090	0,042	0,474	0,121	-0,116	0,351	0,560
Fe	-0,470	-0,634	0,678	0,533	-0,004	0,108	0,398	0,473	0,171	0,268	0,588	0,822	1,000	0,890	0,669	0,854	0,428	0,747	0,008	0,118	-0,167	0,525	0,321	-0,029	0,306	0,607
Mn	-0,540	-0,493	0,611	0,290	0,055	0,120	0,443	0,423	0,226	0,245	0,601	0,790	0,890	1,000	0,705	0,736	0,376	0,849	0,015	0,265	-0,047	0,497	0,201	0,053	0,346	0,577
Ni	-0,391	-0,440	0,522	0,314	0,368	0,446	0,150	0,261	0,076	0,112	0,419	0,692	0,669	0,705	1,000	0,402	0,410	0,709	0,312	0,410	0,196	0,394	-0,141	0,061	0,360	0,346
Zn	-0,543	-0,614	0,632	0,599	-0,200	-0,009	0,522	0,608	0,285	0,306	0,655	0,640	0,854	0,736	0,402	1,000	0,475	0,637	-0,076	-0,190	-0,227	0,589	0,547	0,114	0,452	0,738
Cu	-0,346	-0,481	0,476	0,417	0,271	0,335	0,455	0,326	0,398	0,322	0,456	0,614	0,428	0,376	0,410	0,475	1,000	0,347	0,345	-0,105	-0,079	0,276	0,134	-0,093	0,315	0,408
Pb	-0,558	-0,447	0,635	0,322	0,021	0,064	0,463	0,614	0,303	0,291	0,720	0,698	0,747	0,849	0,709	0,637	0,347	1,000	0,031	0,206	0,178	0,658	0,270	0,293	0,594	0,673
Cd	-0,312	-0,242	0,211	0,092	0,681	0,633	0,135	-0,060	0,041	0,383	0,076	0,281	0,008	0,015	0,312	-0,076	0,345	0,031	1,000	0,189	0,303	0,091	-0,344	0,040	0,134	-0,117
As	-0,046	0,177	-0,117	-0,321	0,509	0,301	-0,227	-0,308	-0,291	-0,188	-0,200	0,090	0,118	0,265	0,410	-0,190	-0,105	0,206	0,189	1,000	0,271	-0,215	-0,532	0,104	-0,082	-0,301
Deidrogenasi	-0,358	-0,123	0,170	0,066	0,537	0,523	0,239	0,267	0,369	0,184	0,263	0,042	-0,167	-0,047	0,196	-0,227	-0,079	0,178	0,303	0,271	1,000	0,349	-0,156	0,473	0,493	0,162
Beta-glucosidasi	-0,630	-0,595	0,678	0,587	-0,093	0,046	0,573	0,861	0,508	0,470	0,849	0,474	0,525	0,497	0,394	0,589	0,276	0,658	0,091	-0,215	0,349	1,000	0,683	0,558	0,779	0,859
Fosfatasi	-0,346	-0,362	0,374	0,445	-0,629	-0,483	0,369	0,714	0,346	0,289	0,592	0,121	0,321	0,201	-0,141	0,547	0,134	0,270	-0,344	-0,532	-0,156	0,683	1,000	0,344	0,377	0,718
Proteasi	-0,366	0,110	-0,053	0,058	-0,014	-0,007	0,147	0,473	0,246	0,017	0,293	-0,116	-0,029	0,053	0,061	0,114	-0,093	0,293	0,040	0,104	0,473	0,558	0,344	1,000	0,658	0,371
Glomalina	-0,559	-0,382	0,440	0,476	0,077	0,179	0,472	0,704	0,554	0,382	0,709	0,351	0,306	0,346	0,360	0,452	0,315	0,594	0,134	-0,082	0,493	0,779	0,377	0,658	1,000	0,753
C glomalina	-0,586	-0,617	0,678	0,604	-0,241	-0,049	0,633	0,864	0,612	0,519	0,911	0,560	0,607	0,577	0,346	0,738	0,408	0,673	-0,117	-0,301	0,162	0,859	0,718	0,371	0,753	1,000

Figura 5.59. Matrice di correlazione (p<0,05).

5.4 Bibliografia

Aanderud Z.T., Shuldman M.I., Drenovsky R.E., Richards J.H., 2008. Shrub-interspace dynamics alter relationships between microbial community composition and belowground ecosystem characteristics. *Soil Biol.Biochem.* 40, 2206-2216.

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

Acosta-Martínez V., Cruz L., Sotomayor-Ramírez D., Pérez-Alegrí L., 2007. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. *Appl. Soil Ecol.* 35, 35-45.

Acosta-Martínez V., Tabatabai M.A., 2000. Enzyme activities in a limed agricultural soil. *Biology and Fertility of Soils* 31, 85-91.

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

Adriano D.C., 2001. *Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals*. 2nd ed. Springer-Verlag, New York, NY.

Ajwa H.A., Dell C.J., Rice C.W., 1999. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biol. Biochem.* 31, 769-777.

Alef K., Nannipieri P. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, London.

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

Alther F.G., 2003. Preparing organoclay-enzyme complexes using a quaternary ionic compound and mineral. Patent No. US 6,534,296 B1.

Amorosi A., Sammartino I., 2005. Geologically-oriented geochemical maps: a new frontier for geochemical mapping? *GeoActa* 4, 1-12.

Angelone M., Bini C., 1992. Trace elements concentrations in soils and plants of Western

Europe. In Adriano D.C. (ed.) Biogeochemistry of trace metals: 19-60. Lewis Publishers. Boca Raton. ISBN 9780873715232.

Arangino F., Aru A., Baldaccini P., Vacca S., 1986. I suoli delle aree irrigabili della Sardegna. R.A.S., Piano Generale delle Acque, RAS Assessorato della Programmazione, Ente Autonomo del Flumendosa, STEF, Cagliari, SELCA, Firenze (cartografia).

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.

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

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

Bai C., He X., Tang H., Shan B., Zhao L., 2009. Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi, glomalin and soil enzymes under the canopy of *Astragalus adsurgens* Pall. in the Mu Us sand land, China. *Soil Biology and Biochemistry* 41(5), 941-947.

Baize D., 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. INRA, Paris.

Baize D., Sterckeman T., 2001. Of the necessity of knowledge of the natural pedo-geochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. *Science Total Environment* 264, 127-139.

Baize D., Tercé M., 2002. Les éléments traces métalliques dans les sols INRA, Paris.

Bandick A., Dick R.P., 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil*

Biol. Biochem. 31, 1471-1479.

Bardgett R., 2002. Causes and consequences of biological diversity in soil. *Zoology* 105(4), 367-374.

Bardgett R., 2005. *The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach*. Oxford University Press, Oxford.

Barajas-Aceves M., 2005. Comparison of different microbial biomass and activity measurement methods in metal-contaminated soils. *Bioresource Technology* 96, 1405-1414.

Bedini S., Avio L., Argese E., Giovannetti M., 2007. Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120, 463-466.

Bedini S., Pellegrino E., Argese E., Giovannetti M., 2004. Miglioramento del suolo e biostabilizzazione di metalli pesanti mediati da glomalina. In "Atti del XIV Congresso della Società Italiana di Ecologia". Siena, 4-6 Ottobre 2004.

Bending G.D., Turner M.K., Rayns F., Marx M.C., Wood M., 2004. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biol Biochem* 36, 1785-1792.

Benedetti A., Gianfreda L., 2004. *Metodi di analisi biochimica del suolo*. Franco Angeli Editore, Milano.

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.

Berti W.R., Jacobs I.W., 1996. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge application. *J. Environ. Qual.* 25, 1025-1032.

Bertiller M.B., Marone L., Baldi R., Ares J.O., 2009. Biological interactions at different spatial scales in the Monte desert of Argentina. *Journal of Arid Environments* 73, 212-221.

Biddau R., De Pelo S., Dadea C., 2001. The abandoned mining area of Montevecchio-

Ingurtosu. WRI - 10 Mid - Session Fied trip, 13.

Bini C., Sartori G., Wahsha M., Fontana S., 2011. Background levels of trace elements and soil geochemistry at regional level in NE Italy. *Journal of Geochemical Exploration* 109, 125-133.

Bocchi S., 2009. Produrre riso (*Oryza sativa* L.) nel rispetto dell'ambiente. Giornata Mondiale dell'Alimentazione 2009. Provincia di Biella.

Boero V., 2000. Carbonati e gesso. In M.I.P.A.F. - Metodi di analisi chimica dei suoli. Ed. Franco Angeli, Milano.

Bolton H., Elliott L.F., Papendick R.I., Bezdicsek D.F., 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biol. Biochem.* 17, 297-302.

Bondi G., 2013. Studio delle variazioni dei parametri fisici, chimici, biochimici e chimico-strutturali del suolo sottoposto a pascolamento suino. PhD thesis. Università degli Studi di Pisa.

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, 1-6. ISSN 15820254.

Boruvka L., Drabek O., 2004. Heavy metal distribution between fractions of humic substances in heavily polluted soils. *Plant Soil Environ* 50, 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, 289-300.

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

Box G.E.P., Cox D.R., 1964. An analysis of transformations. *J. Royal Stat. Soc. B* 26, 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, 251-296.

Bradford M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72, 248-254.

Bromley J., Brouwer J., Barker A.P., Gaze S.R., Valentin C., 1997. The role of surface water redistribution in an area of patterned vegetation in a semi-arid environment, south-west Niger. *J.Hydrol.* 198, 1-29.

Brookes P.C., McGrath S.P., 1984. Effects of metal toxicity on the size of the soil microbial biomass. *Journal of Soil Science* 35, 341-346.

Brummer G.W., 1986. Heavy metal species, mobility and availability in soils. In Bernhard M., Brinckman F.E., Sadler P.J. (eds.), *The Importance of Chemical Speciation in Environmental Processes*. Springer, Berlin, 169-192.

Caboi R., Cidu R., Fanfani L., Lattanzi P., Zuddas P., 1999. Environmental mineralogy and geochemistry of the abandoned Pb-Zn Montevecchio-Ingurtoosu mining area, Sardinia, Italy. *Chronique de la recherche minière* 534, 21-28.

Cabula E., 2010. I suoli antropogenici nel distretto industriale di Ottana-Bolotana (Sardegna Centrale). PhD thesis. Università degli Studi di Cagliari.

Caldwell B.A., Griffiths R.P., Sollins P., 1999. Soil enzyme response to vegetation disturbance in two lowland Costa Rican soils. *Soil Biology & Biochemistry* 31, 1603-1608.

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

Cao G., Tang Y., Mo Y., Wang Y., Li Y., Zhao X., 2004. Grazing intensity alters soil respiration in an alpine meadow of the Tibetan plateau. *Soil Biology & Biochemistry* 36, 237-243.

Cao Y.S., Fu S.L., Zou X.M., Cao H.L., Shao Y.H., Zhou L.X., 2010. Soil microbial community composition under Eucalyptus plantations of different age in subtropical China. *European Journal of Soil Biology* 46, 128-135.

Capra G.F., Coppola E., Odierna P., Grilli, E., Vacca, S., Buondonno A., 2014. Occurrence and distribution of key potentially toxic elements (PTEs) in agricultural soils: a paradigmatic case study in an area affected by illegal landfills. *Journal of Geochemical Exploration* 145, 169-180.

Carboni S., Pala A., Guaita S., 1998. Geologia e Idrologia di Is Arenas (Narbolia-San Vero Milis, Sardegna centro-occidentale). *Rend Sem Fac Sci Univ Cagliari* 68, 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, 79-96.

Carlioni L., 1989. I terreni salini e alcalini. In *Chimica del suolo*. (coord. Sequi P.). Pàtron Editore Bologna.

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.

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.

Casida L.E. Jr., 1977. Microbial metabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations. *Appl. Environ. Microbiol.* 34, 630-636.

Ceccanti B., Garcia C., 1994. Coupled chemical and biochemical methodologies to characterize a composting process and the humic substances. In Senesi N., Miano T. (eds) *Humic substances in the global environment and its implication on human health*. Elsevier, New York, 1279-1285.

Ceccanti B., Masciandaro G., 2003. Stable humus-enzyme nucleus: the last barrier against soil desertification. In Lobo M.C., J.J Ibanez (eds.) *Preserving soil quality and soil biodiversity*. IMIA-CSIC, Madrid, 77-82.

Ceja-Navarro J.A., Rivera-Orduna F.N., Patino-Zuniga L., Vila-Sanjurjo A., Crossa J.,

Govaerts B., Dendooven L., 2010. Phylogenetic and multivariate analyses to determine the effects of different tillage and residue management practices on soil bacterial communities. *Applied and Environmental Microbiology* 76, 3685-3691.

Chakrabarti K., Sarkar B., Chakraborty A., Banik P., Bagchi D.K., 2000. Organic recycling for soil quality conservation in a sub-tropical plateau region. *Journal of Agronomy and Crop Science* 184, 137-142.

Chaudri A.M., McGrath S.P., Gibbs P., Chambers B.C., Carlton-Smith C., Bacon J., Campbell C., Aitken A., 2008. Population size of indigenous *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii* in long-term field experiments with sewage sludge cake, metal-amended liquid sludge or metal salts: effects of zinc, copper and cadmium. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 1670-1680.

Chen C.R., Condon L.M., Davis M.R., Sherlock R.R., 2002. Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and radiata pine (*Pinus radiata* D. Don). *Soil Biol Biochem* 34, 487-499.

Chen M., Ma L.Q., Shiralipour A., 1999. Baseline concentrations of 15 trace metals in Florida surface soils. *Journal of Environmental Quality* 28, 1173-1181.

Chen X., Tang J.J., Fang Z.G., Hu S., 2002. Phosphate-solubilizing microbes in rhizosphere soils of 19 weeds in southeastern China. *Journal of Zhejiang University Science* 3, 355-361.

Chen X., Tang J.J., Fang Z.G., Shimizu K., 2004. Effects of weed communities with various species numbers on soil features in a subtropical orchard ecosystem. *Agriculture Ecosystems and Environment* 102, 377-388.

Chern E.C., Tsai D.W., Ogunseitan O.A., 2007. Deposition of glomalin-related soil protein and sequestered toxic metals into watersheds. *Environ Sci Technol* 41, 3566-3572.

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, 503-512.

Cidu R., Fanfani L., 2002. Overview of the environmental geochemistry of mining districts in southwestern Sardinia, Italy. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 2, 243-251.

Cidu R., Frau F., Da Pelo S., 2011. Drainage at Abandoned Mine Sites: Natural Attenuation of Contaminants in Different Seasons. *Mine Water and the Environment* 30, 113-126.

Clarholm M., 1993. Microbial biomass P, labile P, and acid phosphatase activity in the humus layer of a spruce forest, after repeated additions of fertilizers. *Biology and Fertility of Soils* 16, 287-292.

Conant R.T., Paustian K., Elliot E.T., 2001. Grassland management and conversion into grasslands: effects on soil carbon. *Ecological Applications* 11, 343-355.

Cook B.D., Allan D.L., 1992. Dissolved organic matter in old field soils: total amounts as a measure of available resources for soil mineralization. In *Soil Biology & Biochemistry* 24, 585-594.

Coppola S., Dumontet S., Portonio M., Basile G., Marino P., 1988. Effect of cadmium bearing sewage sludge on crop plants and microorganisms in two different soils. *Agriculture Ecosystems and Environment* 20, 181-194.

Cornejo P., Meier S., Borie G., Rillig M.C., Borie F., 2008. Glomalin-related soil protein in a Mediterranean ecosystem affected by a copper smelter and its contribution to Cu and Zn sequestration. *Science of the Total Environment*. 406 (1-2), 154-160.

Costantini S., Bodano L., Giordano R., D'Ilio S., 2004. Contaminazione ambientale da metalli pesanti connessa con attività mineraria dismessa in Sardegna. Studio preliminare. *Rapporti ISTISAN*. 2004;04(28).

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

Court-Picon M., Gadbin-Henry C., Guibal F. Roux M., 2004. Dendrometry and

morphometry of *Pinus pinea* L. in Lower Provence (France): adaptability and variability of provenances. *For. Ecol. Manag.* 194, 319-333.

Da Pelo S., Corsini F., Lattanzi P., Parrini P., Zuddas P., 1996. Mineralogia e geochemica 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, 33-35.

Da Pelo S., 1998. Mineralogia e geochemica ambientale di aree minerarie attive e dismesse. PhD thesis. Università degli Studi di Cagliari.

da Silveira E.L., Pereira R.M., Scaquitto D.C., Pedrinho E.A.N., Val-Moraes S.P., Wickert E., 2006. Bacterial diversity of soil under eucalyptus assessed by 16S rDNA sequencing analysis. *Pesqui Agropecu Bras* 41, 1507-1516.

Dähn R., Scheidegger A.M., Manceau A., Schlegel M.L., Baeyens B., Bradburry M.H., Chateigner D., 2003. Structural evidence for the sorption of Ni(II) atoms on the edges of montmorillonite clay minerals: A polarized x-ray absorption fine structure study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67, 1-15.

Dai J., Becquer T., Rouiller H., Reversat G., Bernhard-Reversat F., Lavelle P., 2004. Influence of heavy metals on C and N mineralization and microbial biomass in Zn-, Pb-, Cu-, and Cd-contaminated soils. *Appl Soil Ecol* 25, 99-109.

Dazzi C., 2013, *Fondamenti di Pedologia*. Le Pensur Editore.

De Santiago-Martín A., Valverde-Asenjo I., Quintana J.R., González-Huecas C., Lafuente A.L., 2013. Soil properties affecting metal extractability patterns in periurban calcareous agricultural soils in the mediterranean area. *Int. J. Environ. Res.* 7 (4), 831-840.

De Vivo B., Boni M., Marcello A., Di Bonito M., Russo A., 1997. Baseline geochemical mapping of Sardinia (Italy). *Journal of Geochemical Exploration* 60, 77-90.

De Vivo B., Boni M., Marcello A., Costabile S., Di Bonito M., Russo A., 1998. Cartografia geochemica della Sardegna. In De Vivo B., Riccobono F., Sabatini G. (eds.) Cartografia geochemica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Monti Peloritani, Sardegna e Toscana meridionale. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. Istituto Poligrafico Zecca dello Stato, Roma, 55, 97-106.

Deng S.P., Tabatabai M.A., 1997. Effects of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biology and Fertility of Soils* 24, 141-146.

Di Felice M.L., 1997. Eucalyptus (e Pinus pinea) ad Arborea: barriere, limiti e simboli nell'insediamento colonico della Società bonifiche sarde. VII Settimana della Cultura Scientifica. Università degli Studi di Sassari, 4-13 aprile 1997.

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.

Di Gregorio F., Massoli-Novelli R., 1992. Geological impact of some tailings dams in Sardinia, Italy. *Environmental Geology and Water Sciences* 19, 147-153.

Dick R.P., 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart B.A. (eds.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication No. 35. Soil Science Society of America Inc., Madison, WI, 107-124.

Dick R.P., Rasmussen P.E., Kerle E.A., 1988. Influence of long-term residue management on soil enzyme activity in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system. *Biology and Fertility of Soils* 6, 159-164.

Dick W.A., 1984. Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 569-574.

Dick W.A., Cheng L., Wang P., 2000. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 1915-1919.

Dick W.A., Tabatabai M.A., 1994. Significance and potential uses of soil enzymes. In Blaine-Metting F. (ed.) *Soil Microbial Ecology. Applications in Agricultural and Environmental Management*, 95-127. Marcel Dekker, New York.

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, 4622-4632.

Doran J.W., Parkin T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. SSSA Special Publication 35. In Doran J.W., Coleman D.C., Bedizcek D.F., Stewart B.A. (eds.) *Defining soil Quality for a Sustainable Environment*, SSSA/ASA, Madison, WI, 3-2.

Driver J.D., Holben W.E., Rillig M.C., 2005. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology & Biochemistry* 37, 101-106.

Drozdowicz A., 1997. Bacterias de solo. In Vargas M.A.T., Hungria M., *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina: Embrapa-CPAC, 17-66.

Eckel H., Mantovi P., Roth U., 2003. Options for heavy metal input reduction. *Atti del workshop "Assessment and reduction of heavy metal inputs into agro-ecosystems"*, concerted action Aromis.

Eivazi F., Tabatabai M.A., 1990. Factors affecting glucosidase and galactosidase activities in soils. *Soil Biology & Biochemistry* 22, 891-897.

Emran M., 2012. A multiapproach study of soil attributes under land use and cover change at the Cap de Creus Península, NE Spain. PhD thesis. University of Girona.

Emran M., Gispert M., Pardini G., 2012. Patterns of soil organic carbon, glomalin, and structural stability in Mediterranean abandoned terraced lands. *European Journal of Soil Science* 63, 637-649.

Fanfani L., Caboi R., Cidu R., Cristini A., Frae F., Lattanzi P., Zuddas P., 2000. Impatto ambientale dell'attività mineraria in Sardegna: studi mineralogici e geochimica. Rend. Sem. Fac. Sc. Università Cagliari, suppl. vol. 70, 249-264.

Fenu G., Cogoni D., Ferrara C., Pinna S., Bacchetta G., 2008. Analisi delle dinamiche evolutive su base sedimentologica e geobotanica del cordone dunale di Is Arenas (Oristano, Sardegna centro-occidentale). Atti Simposio CNR su Monitoraggio Costiero Mediterraneo.

Fenu G., Cogoni D., Ferrara C., Pinna M.S., Bacchetta G., 2012. Relationships between coastal sand dune properties and plant communities distribution: the case of Is Arenas (Sardinia). *Plant Biosystems* 146, 586-602.

Filzmoser P., Hron K., Reimann C., 2009. Univariate statistical analysis of environmental (compositional) data: Problems and possibilities. *Sci. Total Environ.* 407, 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, 259-278.

Flower K.C., Crabtree W.L., 2011. Soil pH change after surface application of lime related to the levels of soil disturbance caused by no-tillage seeding machinery. *Field Crops Research* 121(1),75-87.

Fontana S., 2013. Problematiche della sicurezza alimentare: contaminazione del suolo da metalli, biodisponibilità e trasferimento di elementi in traccia nel sistema suolo-pianta : il caso di studio del distretto conciario vicentino. PhD thesis. Università Ca' Foscari Venezia.

Fontes M.P.F., dos Santos G.C., 2009. Lability and sorption of heavy metals as related to chemical, physical, and mineralogical characteristics of highly weathered soils. *J. Soil Sediment* 10, 774-786.

Forbes E.A., Posner A.M., Quick J.P., 1976. The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb, Zn on goethite. *Journal of Soil Science* 27, 154-165.

Förstner U., Müller G., 1981. Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic

hydrocarbons in river sediments: geochemical background, man's influence and environmental impact. *Geojournal* 5, 417-43.

Frankenberger W.T., Dick W.A., 1983. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 945-951.

Frenkeberg W.T., 2002. *Environmental Chemistry of Arsenic*. Marcel Dekker, New York.

Frey S.D., Elliot E.T., Paustian K., 1999. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology & Biochemistry* 31, 573-585.

Fujii K., Hartono A., Funakawa S., Uemura M., Sukartiningih Kosaki T., 2011. Acidification of tropical forest soils derived from serpentine and sedimentary rocks in East Kalimantan, Indonesia. *Geoderma* 160 (3-4), 311-323.

Gadd G., 1992. Metals and microorganisms: a problem of definition. *FEMS Microbiology Letters* 100, 197-204.

Garcia C., Hernandez T., 1997. Biological and biochemical indicators in derelict soils subjected to erosion. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 171-177.

Garcia C., Hernandez T., Costa F., 1993a. Hydrolases in the organic matter fractions of sewage sludge: Changes with composting. *Bioresource Technology* 45, 47-52.

Garcia C., Hernandez T., Costa F., Ceccanti B., Masciandaro G., Calcinai M., 1993b. Evaluation of the organic matter of raw and composted municipal wastes. *Soil Science and Plant Nutrition* 39, 99-108.

García-Ruiz R., Ochoa V., Hinojosa B., Carreira J.A., 2008. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 2137-2145.

García-Ruiz R., Ochoa V., Viñepla B., Hinojosa M.B., Peña-Santiago, R., Liébanas G., Linares J.C., Carreira J.A., 2009. Soil enzymes, nematode community and selected physico-chemical properties as soil quality indicators in organic and conventional olive oil

farming: Influence of seasonality and site features. *Applied Soil Ecology* 41, 305-314.

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

Gessa C., Testini C., 1989. Il pH del suolo e la sua regolazione. In *Chimica del suolo* (coord. Sequi P.). Pàtron Editore, Bologna.

Giacomini V., Fenaroli L., 1958. La flora. Touring Club Italiano. *Conosci l'Italia*, Milano, 145-150.

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

Gianfreda L., Rao M. A., 2004. Potential of extra cellular enzymes in remediation of polluted soils: a review. *Enzyme and Microbial Technology* 35, 339-354.

Giardini L., 2002. *Agronomia generale*. Pàtron Editore, Bologna.

Giller K.E., Witter E., McGrath S.P., 2009. Heavy metals and soil microbes. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 2031-2037.

Gillespie A.W., Farrell R.E., Walley F.L., Ross A.R.S., Leinweber P., Eckhardt K., Regier T.Z., Blyth R.I.R., 2011. Glomalin-related soil protein contains non-mycorrhizal-related heat-stable proteins, lipids and humic materials. *Soil Biology and Biochemistry* 43, 766-777.

Gil-Sotres F., Trasar-Cepeda C., Leiros M.C., Seoane S., 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 877-887.

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, 19-25.

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

Giordano M., 2011. Accumulo e caratterizzazione del C organico nella lettiera e nel suolo minerale di pinete e faggete Mediterranee. PhD thesis. Università degli Studi di Napoli Federico II.

Giovannetti M., Fortuna P., Citernesi A.S., Morini S., Nuti M.P., 2001. The occurrence of anastomosis formation and nuclear exchange in intact arbuscular mycorrhizal networks. *New Phytologist* 151, 717-724.

Giovannetti M., Avio L., 2002. Biotechnology of Arbuscular Mycorrhizas. In Khachatourians G.G., Arora D.K. (eds) *Applied Mycology and Biotechnology Vol. 2. Agriculture and Food Production*. Elsevier Science BV. Netherlands, 275-310.

Gispert, M., Emran M., Pardini G., Doni S., Ceccanti B., 2013. The impact of land management and abandonment on soil enzymatic activity, glomalin content and aggregate stability. *Geoderma* 202, 51-61.

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

Goldberg L.F., Arduino E., 1989. La valutazione della fertilità. In *Chimica del suolo* (coord. Sequi P.). Pàtron Editore. Bologna.

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

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

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, 543-551.

Gomez E., Ferreras L., Toresani S., 2006. Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. *Bioresour. Technol.* 97(13), 1484-1489.

González-Chávez C., Carrillo-González R., Wright S.F., Nichols K.A., 2004. The role of

glomalin, a protein produced by arbuscularmycorrhizal fungi in sequestering potentially toxic elements. *Environ Pollut* 130, 317-23.

Greppi D., Vallino M., Greppi M., Lupotto E., 2008. La risicoltura in Italia: produzione e territorio. In “Conservazione e fertilità del suolo, cambiamenti climatici e protezione del paesaggio”. CRA-DAF, 10 e 11 dicembre 2008, Roma.

Gu Y., Zhang X., Tu S., Lindström K., 2009. Soil microbial biomass, crop yields, and bacterial community structure as affected by long-term fertilizer treatments under wheat-rice cropping, *Eur. J. Soil Biol.* 45, 239-246.

Guo L.B., Sims R.E.H, 1999. Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. *Agric. Ecosyst. Environ.* 75, 133-140.

Hansen R.A., 2000. Effects of habitat complexity and composition on a diverse litter microarthropod assemblage. *Ecology* 81, 1120-1132.

Hartmann A., Schmid M., van Tuinen D., Berg G., 2009. Plant-driven selection of microbes. *Plant and Soil* 321, 235-257.

Hassink J., 1994. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1221-1231.

Haynes R.J., Williams P.H., 1999. Influence of stock camping behaviour on the soil microbiological and biochemical properties of grazed pastoral soils. *Biology and Fertility of Soils* 28, 253-258.

Hontoria C., Velásquez R., Benito M., Almorox J., Moliner A., 2009. Bradford-reactive soil proteins and aggregate stability under abandoned versus tilled olive groves in a semi-arid calcisol. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 1583-1585.

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.

Iovieno P., Rutigliano F.A., D'Ascoli R., Alfani A., Virzo De Santo A., 2006. Effect of *Pinus pinea* afforestation on chemical and biological properties of three different soil types of Southern Italy, IUFRO Landscape ecology. In Laforteza R., Sanesi, G. (eds.) Patterns and processes in forest landscapes: Consequences of human management. Accademia Italiana di Scienze Forestali (AISF). Firenze, 41-46.

Ismail I., Blevins R.L., Frye W.W., 1994. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 193-198.

ISPRA, 2013. Carta Geologica d'Italia, scala 1:50.000, Foglio 528 - Oristano (in allestimento per la stampa, pubblicato sul web).

http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/528_ORISTANO/Foglio.html

Jansa J., Mozafar A., Kuhn G., Anken T., Ruh R., Sanders I.R., Frossard E., 2003. Soil tillage affects the community structure of mycorrhizal fungi in maize roots. *Ecol Appl.* 13, 1164-1176.

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

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

Kalembasa S.J., Jenkinson D.S., 1973. A comparative study of titrimetric and gravimetric methods for the determination of organic carbon in soil. *J. Sci Food Agric.* 24, 1085-1090.

Kalisz H.M., 1988. Microbial proteinases. *Adv Biochem Eng Biotechnol* 36, 1-65.

Kandeler E., Stemmer M., Klimanek E.M., 1999. Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management. *Soil Biology & Biochemistry* 31, 261-273.

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

Kirkham M.B., 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effect of soil factors,

hyperaccumulation and amendments. *Geoderma* 137, 19-32.

Kumar C.G., Takagi, H., 1999. Microbial alkaline proteases: from a bioindustrial viewpoint, *Biotechnology Advances* 17(7), 561-594.

Lagomarsino A., Moscatelli M.C., Di Tizio A., Mancinelli R., Grego S., Marinari S., 2009. Soil biochemical indicators as a tool to assess the short-term impact of agricultural management on changes in organic C in a Mediterranean environment. *Ecol. Indic.* 9, 518-527.

Lamb E.G., Kennedy N., Siciliano S.D., 2011. Effects of plantspeciesrichness and evenness on soil microbial community diversity and function. *Plant and Soil* 338, 483-495.

Lauber C.L., Hamady M., Knight R., Fierer N., 2009. Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. *Applied and Environmental Microbiology* 75, 5111-5120.

Lee S.Z., Chang L., Yang H.H., Chen C.M., Liu M.C., 1998. Adsorption characteristics of lead onto soils. *J. Hazard. Mater.* 63, 37-49.

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

Leštan D., Grčman H., 2001. Speciation of lead, zinc and cadmium in contaminated soils from Mežica valley. *Zb Bioteh Fak. Univ Ljubl. Kmet* 2001; 77, 205-14.

Li G.D., Helyar K.R., Conyers M.K., Cullis B.R., Cregan P.D., Fisher R.P., Castleman L.J., Poile G.J., Evans C.M., Braysher B., 2001. Crop responses to lime in long term pasture/crop rotations in a high rainfall area in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 52, 329-34.

Logsdon S.D., Karlen D.L., 2004. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. *Soil & Tillage Research* 78, 143-149.

Lovelock C.E., Wright S.F., Clark D.A., Ruess R.W., 2004. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *J. Ecol.*

92, 278-287.

Lugon-Moulin N., Ryan L., Donini P., Rossi L., 2006. Cadmium content of phosphate fertilizers used for tobacco production. *Agron Sustain Develop.* 26, 151-155.

Ma L.Q., Tan F., Harris W.G., 1997. Concentration and distribution of eleven metals in Florida soils. *J. Environ. Qual.* 26, 769-775.

Macci C., Doni S., Bondi G., Davini D., Masciandaro G., Pistoia A., 2012. Effects of wild boar (*Sus scrofa*) grazing on soil properties in Mediterranean environment. *Catena* 98, 79-86.

Magni P., De Falco G., Falugi C., Franzoni M., Monteverde M., Perrone E., Sgro M., Bolognesi C., 2006. Genotoxicity biomarkers and acetylcholinesterase activity in natural populations of *Mytilus galloprovincialis* along a pollution gradient in the Gulf of Oristano (Sardinia, western Mediterranean). *Environmental Pollution* 142, 65-72.

Makoi H.J.R., Ndakidemi P.A., 2008. Selected soil enzymes: Examples of their potential role in the ecosystem. *African Journal of Biotechnology* 7, 181-191.

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

Malquori A., Radaelli L., 1989. Lineamenti di chimica del terreno. Edizioni Scuola Universitaria, Firenze.

Mandal B.K., Suzuki K.T., 2002. Arsenic round the world: a review. *Talanta* 58, 201-235.

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

Manzano M.G., Navart J., 2000. Process of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan thornscrub (matorral) in north-eastern Mexico. *Journal of arid environments* 44, 1-17.

Marinari S., Liburdi K., Masciandaro G., Ceccanti B., Grego S., 2007. Humification mineralization pyrolytic indices and carbon fractions of soil under organic and

conventional management in central Italy. *Soil and Tillage Research* 92, 10-17.

Marinari S., Masciandaro G., Ceccanti B., Grego, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology* 72, 9-17.

Marinari S., Moscatelli C., Grego S., 2014. Enzymes at Plant-Soil Interface. In Gianfreda L., Rao M.A. (eds) *Enzymes in Agricultural Sciences*. OMICS Group eBooks.

Martínez F., Montero G., 2004. The *Pinus pinea* L. woodlands along the coast of South-western Spain: data for a new geobotanical interpretation. *Plant Ecol* 175, 1-18.

Masciandaro G., Ceccanti B., 1999. Assessing soil quality in different agro-ecosystems through biochemical and chemico-structural properties of humic substances. *Soil & Tillage Research* 51, 129-137.

Masciandaro G., Ceccanti B., Gallardo-Lacho J.F., 1998. Organic matter in cultivated versus set-aside arable soils. *Agriculture ecosystems and environment* 67, 267-274.

Masciandaro G., Ceccanti B., Garcia C., 1994. Anaerobic digestion of straw and pig waste water. II. Optimization of the process. *Agrochimica* 3, 195-203.

Masciandaro G., Ceccanti B., Ronchi V., Bauer C., 2000. Kinetic parameters of dehydrogenase in the assessment of the response of soil to treatments by vermicompost and inorganic fertilisers. *Biol. Fertil. Soils*. 32, 479-483.

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, 1414-1419.

McLean E.D., 1976. Chemistry of soil aluminum. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 7, 619-636.

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, 59-65.

Ministero Delle Politiche Agricole E Forestali, 2000. *Metodi di analisi fisica dei suoli*. Ed.

Franco Angeli, Milano.

Mol G., Spijker J., Klaver G., 2009. The reactivity of trace element enrichments in the soil. Proceed.Intern. Symp. on Mineralogy, Environment and Health, 2009 September 17th - 18th. Univ. Paris-Est, 22-24.

Mungai W.N., Motavalli P.P., Kremer R.J., Nelson K.A., 2005. Spatial variation in soil enzyme activities and microbial functional diversity in temperate alley cropping systems. *Biology and Fertility of Soils* 42, 129-136.

Muthukumarasamy R., Kang U.G., Park K.D., Jeon W.T., Park C.Y., Cho Y.S., Kwon S.W, Song J., Roh D.H., Revathi G., 2007. Enumeration, isolation and identification of diazotrophs from Korean wetland rice varieties grown with long term application of N and com-post and their short-term inoculation effect on rice plants. *J. Appl. Microbiol.* 102, 981-991.

Myburg Z., Grattapaglia D., Potts B., Labate C., Bossinger G., Byrne, M., Vaillancourt R, Sederoff R., Southerton S., 2006. The Eucalyptus Genome Network <http://www.seralliance.com/enews/vol3no6/pdfs/proposal.Pdf>

Nannipieri P., 1993. *Ciclo della sostanza organica nel suolo*. Pàtron editore, Bologna.

Nannipieri P., Ceccanti B., Cervelli S., Matarese E., 1980. Extration of phosphatase, protease, urease, organic carbon and nitrogen from soil. *Soil. Sci. Soc. Am.J.* 44, 1011-1016.

Nannipieri P., Grego S., Ceccanti B., 1990. Ecological signifiante of the biological activity in soil. In Bollag J.M. Stotzky G. (eds) *Soil biochemistry*, vol 6, Marcel dekker, New york, 293-355.

Nannipieri P., Kandeler E., Ruggiero P., 2002. Enzyme Activities and Microbiological and Biochemical Processes in soil. In Burns, R.G., Dick, R.P. (eds) *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology, and Applications*. Boca Raton, Florida, U.S.A., 1-34.

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, 724-735.

Nguyen C., 2003. Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. *Agronomie* 23, 375-396.

Nichols K.A., Wright S.F., Liebig M.A., Pikul Jr J.L., 2004. Functional significance of glomalin to soil fertility. *Proceedings from the Great Plains Soil Fertility Conference Proceedings*. Denver, CO, March 2-4, 2004.

Nziguheba G., Smolders E., 2008. Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphate fertilizers in European countries. *Science of Total Environment* 390, 53-57.

Oehl F., Sieverding E., Ineichen K., Mader P., Boller T., Wiemken A., 2003. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of central Europe. *Appl Environ Microbiol.* 69, 2816-2824.

Olander L.P., Vitousek P.M., 2000. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. *Biogeochemistry* 49, 175-190.

Ottonello G. (a cura di), 2008. *Geobasi. Il foglio IGMI n. 549*. Muravera. Pacini Editore. ISBN: 88-7781-926-X.

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, 247-266.

Pamela J., Pender J., 2003. The role of trees for sustainable management of less-favored lands: the case of Eucalyptus in Ethiopia. *For. Policy Econ.* 5, 83-95.

Pascual J.A., Garcia C., Hernandez T., 1999. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. *Biology and Fertility of Soils* 30, 1-6.

Paul E.A., Clark F.E., 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press: 2nd Edition, San Diego, CA, USA.

Petrella F., Giovannozzi M., Boni I., 2009. I suoli delle risaie. Guida al Field-trip, 22-23 gennaio 2009. IPLA (Istituto per le piante da legno e l'ambiente), Torino.

Piano di Tutela delle Acque, 2006. U.I.O del Mare 'e Foghe, del Tirso e del Mannu di Pabillonis – Mogoro.

Pierce F.J., Larson W.E, 1993. Developing criteria to evaluate sustainable land management. In Kimble J.M. (ed) Proceedings of the Eighth International Soil Management Workshop: Utilization of Soil survey Information for Sustainable Land Use, May 3, 1993. USDA Soil Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

Pietrini F., Iannelli M., Pasqualini S., Massacci A., 2003. Interaction of cadmium with glutathione and photosynthesis in developing leaves and chloroplasts of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Plant Physiology* 133, 829-837.

Pignataro A., Moscatelli M.C., Mocali S., Grego S., Benedetti A., 2012. Assessment of soil microbial functional diversity in a coppiced forest system. *Appl Soil Ecol* 62, 115-123.

Pinnavaia T.J., Mortland M.M., Boyd S.A. 1986. Clay-enzyme complexes and method for preparing same. Patent No. 4,605,621.

Preger A.C., Rillig M.C., Johns A.R., Du Preez C.C., Lobed I., Amelunga W., 2007. Losses of glomalin-related soil protein under prolonged arable cropping: a chronosequence study in sandy soils of the South African Highveld. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 445-453.

Pulford I.D., Tabatabai M.A., 1988. Effect of waterlogging on enzyme activities in soils, *Soil Biol. Biochem.* 20, 215-219.

Purin S., Rillig M.C., 2004. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: limitations, progress, and a new hypothesis for its function. *Pedobiologia* 51, 123-30.

Ranjard L., Richaume A., 2001. Quantitative and qualitative microscale distribution of bacteria in soil. *Research in Microbiology* 152, 707-716.

RAS - Regione Autonoma della Sardegna, 2008. Piano di Bonifica delle aree minerarie

dismesse del Sulcis-Iglesiente-Guspinese. Assessorato Difesa Ambiente.

RAS - Regione Autonoma della Sardegna, 2012. Studio scientifico propedeutico alla proposta di ampliamento e ripermimetrazione a terra e a mare del SIC ITB032228 Is Arenas. Relazione generale. Assessorato Difesa Ambiente - Servizio Tutela Natura.

Raven, K., Jain, A., Loppert, R.H., 1998. Arsenite and arsenate adsorption on ferrihydrite: Kinetics, equilibrium, and adsorption envelopes. *Environ. Sci. Technol.* 32, 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, 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, 1001-1014.

Reimann C., Filzmoser P., Garrett R.G., 2002. Factor analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities. *Appl. Geochem.* 17, 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, 1-16.

Rillig M.C., 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science* 84, 355-363.

Rillig M.C., Maestre F.T., Lamit L.J., 2003. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. *Soil Biol. Biochem.* 35, 1257-1260.

Rillig M.C., Steinberg P.D., 2002. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: A mechanism of habitat modification? *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1371-1374

Rillig M.C., Wright S.F., Allen M. F., Field C. B., 1999. Rise in carbon dioxide changes soil structure. *Nature*, 400, 628.

Rillig M.C., Wright S.F., Nichols K.A., Schmidt W.F., Torn M.S., 2001. Large contribution

of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant Soil* 233, 167-177.

Rillig M.C., Wright S.F., Kimball B.A., Pinter P.J., Wall G.W., Ottman M.J., Leavitt S.W., 2001. Elevated carbon dioxide and irrigation effects on water stable aggregates in a sorghum field: A possible role for arbuscular mycorrhizal fungi. *Global Change Biol.* 7, 333-337.

Rippey B., 1982. Sediment-water interactions of Cu, Zn e Pb discharged from a domestic waste water source into a bay of Lough Neagh, Northern Ireland. *Environmental Pollution (B)* 3, 199-214.

Rodríguez-Loinaz G., Onaindia M., Amezaga I., Mijangos I., Garbisu C., 2008. Relationship between vegetation diversity and soil functional diversity in native mixed-oak forests. *Soil Biology & Biochemistry* 40, 49-60.

Rosier C.L., Hoye A.T., Rillig M.C., 2006. Glomalin-related soil protein: Assessment of current detection and quantify cation tools. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 2205-2211.

Rousk J., Brookes P.C., Bååth E., 2009. Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization. *Applied and Environmental Microbiology* 75, 1589-1596.

Rovira P., Vallejo V.R., 2003. Physical protection and biochemical quality of organic matter in Mediterranean calcareous forest soils. *Soil Biology & Biochemistry* 35, 245-261.

Šantrůčková H., Jaroslav V., Píček T., Kopáček J., 2004. Soil biochemical activity and phosphorus transformations and losses from acidified forest soils. *Soil Biology & Biochemistry* 36, 1569-1576.

Sadiq M., Zaida T. H., Mian A.A., 1983. Environmental behavior of arsenic in soils: Theoretical. *Water Air Soil Pollution* 20, 369-377.

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

Salminen R. et al., 2005. Geochemical atlas of Europe. Part 1. Background information, methodology and maps. Available at <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, 75-117.

Sastre I., Vicente M.A., Lobo M.C., 1996. Influence of the application of sewage sludges on soil microbial activity. *J. Bioresour. Technol.* 57, 19-23.

Saviozzi A., Levi-Minzi R., Cardelli R., Riffaldi R., 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. *Plant and Soil* 233, 251-259.

Sbaraglia M., Lucci E., 1994. Guida all'interpretazione dell'analisi del terreno ed alla fertilizzazione. Studio Pedon, Pomezia.

Schindler F.V., Mercer E.R., Rice J.A., 2007. Chemical characteristics of glomalin-related soil protein (GRSP) extracted from soils of varying organic matter content. *Soil Biol Biochem* 39, 320-329.

Schubler A., 2001. Molecular phylogeny, taxonomy, and evolution of *Geosiphon pyriformis* and arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 244, 75-83.

Schwertmann U., Taylor R.M., 1977. Iron oxides. In Dixon J.B., Weed S.B. (eds) *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America, Madison, WI, 145-179.

Selmants P.C., Stephen C.H., 2010. Phosphorus and soil development: Does the Walker and Syers model apply to semiarid ecosystems? *Ecology* 91, 474-484.

Senwo Z.N., Tazisong I.A., 2004. Metal contents in soils of Alabama. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 35, 2837-2848.

Sequi P., 1989. *Chimica del suolo*. Pàtron Editore. Bologna.

Sequi P., De Nobilis M., 2000. Carbonio Organico. In M.I.P.A.F. - *Metodi di analisi chimica dei suoli*. Ed. Franco Angeli, Milano.

CAPITOLO 5. Caratterizzazione fisico-chimica, biochimica e pedogeochimica dei suoli

Sessitsch A., Weilharter A., Gerzabek M.H., Kirchmann H., Kandeler E., 2001. Microbial population structures in soil particle size fractions of a long-term fertilizer field experiment. *Applied and Environmental Microbiology* 67, 4215-4224.

Sheppard S.C., Grant C.A., Sheppard M.I., de Jong R., Long J., 2009. Risk indicator for agricultural inputs of trace elements to Canadian soils. *J. Environ. Qual.* 38(3), 919-932.

Sicardi M., Préchac F.G., Frioni L., 2004. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay. *Appl. Soil Ecol.* 27, 125-133.

Singh P.K., 2012. Role of Glomalin Related Soil Protein Produced by Arbuscular Mycorrhizal Fungi: A Review. *Agricultural Science Research Journal* 2(3), 119-125.

Singh P.K., Singh M., Tripathi B.N., 2013. Glomalin: an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein. *Protoplasma* 250, 663-669.

Sipos P., Németh T., Mohai I., Dódony I., 2005. Effect of soil composition on adsorption of lead as reflected by a study on a natural forest soil profile. *Geoderma* 124, 363-374.

Skujins J., Nohrstedt H. O., Oden S., 1986. Development of a sensitive biological method for the determination of a low level toxic contamination in soils. *Swedish Journal of Agricultural Research* 16, 113-118.

Smedley P.L., Kinniburgh D.G., 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry* 17, 517-568.

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, 1719-1726.

Smith S.E., Read D.J., 1996. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, San Diego, USA.

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

Sollins P., Homann P., Caldwell B.A., 1996. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma* 74, 65-105.

Sotomayor-Ramírez D., Espinoza Y., Acosta-Martínez V., 2009. Land use effects on microbial biomass C, -glucosidase and -glucosaminidase activities, and availability, storage, and age of organic C in soil. *Biol. Fertil. Soils* 45, 487-497.

StatSoft Development, 2006. *Statistica 7.1*, StatSoft Italia SrL, Padova.

Stavi I., Ungar E. D., Lavee H., Sarah P., 2008. Grazing-induced spatial variability of soil bulk density and content of moisture, organic carbon and calcium carbonate in a semi-arid rangeland. *Catena* 75, 288-296.

Steinberg P.D., Rillig M.C., 2003. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. *Soil Biol Biochem* 35, 191-194.

Stevenson F.J., 1982. *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons Inc., New York.

Stott D.E., Andrews S.S., Liebig M.A., Wienhold B.J., Karlen D.L., 2010. Evaluation of glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74, 107-119.

Stursová M., Baldrian P., 2011. Effects of soil properties and management on the activity of soil organic matter transforming enzymes and the quantification of soil-bound and free activity. *Plant and Soil* 338, 99-110.

Stutter M., Richards S., 2012. Relationships between soil physicochemical, microbiological properties, and nutrient release in buffer soils compared to field soils. *J Environ Qual.* 41(2), 400-409.

Sulkava P., Huhta V., 1998. Habitat patchiness affects decomposition and faunal diversity: a microcosm experiment on forest floor. *Oecologia* 116, 390-396.

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

Tabatabai M.A., 1994. Soil enzymes. In Weaver R.W., Angle J.R., Bottomley P.S. (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties*. Soil

Science Society of America, Madison, WI, 775-833.

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

Trasar-Cepeda C., Leiros M.C., Gil-Sotres F., 2008. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. *Soil Biology & Biochemistry* 40, 2146-2155.

Treseder K.K., Allen M.F., 2000. Mycorrhizal fungi have a potential role in soil carbon storage under elevated CO₂ and nitrogen deposition. *New Phytol.* 147, 189-200.

Turner B.L., Hopkins D.W., Haygarth P.M., Ostle N., 2002. β -Glucosidase activity in pasture soils. *Applied Soil Ecology* 20, 157-162.

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

Vallee B., Ulmer D., 1972. Biological effects of mercury, cadmium and lead. *Annual Review of Biochemistry* 49, 91-128.

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* 12/2007; 42(14), 2167-73.

Violante A., Adamo P., 2000. Il pH del suolo. In M.I.P.A.F. - Metodi di analisi chimica dei suoli. Ed. Franco Angeli, Milano.

Violante P., 1989. I processi di alterazione. In *Chimica del suolo*. (coord. Sequi P.). Pàtron Editore. Bologna.

Vittori Antisari L., Carbone S., Dinelli E., Vianello G., 2011a. Origine e comportamento degli elementi potenzialmente tossici nel comparto suolo e la normativa vigente in materia. *Qualità ambientale* 5, 59-76.

Vittori Antisari L., Dinelli E., Buscaroli A., Gatti M., Campanale A.F., Vianello G., 2011b.

Distribuzione di elementi potenzialmente tossici in suoli urbani, agricoli e di pineta. *Qualità ambientale* 5, 77-96.

Vodnik D., Grcman H., Macek I., van Elteren J.T., Kovacevic M., 2008. The contribution of glomalin-related soil protein to Pb and Zn sequestration in polluted soil. *Sci Total Environ* Mar 20;392(1), 130-136.

Wallenius K., Rita H., Mikkonen A., Lappi K., Lindström K., 2011. Effects of land use on the level, variation and spatial structure of soil enzyme activities and bacterial communities. *Soil Biol Biochem* 43, 1464-1473.

Wang A.S., Angle J.S., Chaney R.L., Delorme T.A., McIntosh M., 2006. Changes in soil biological activities under reduced soil pH during *Thlaspi caerulescens* phytoextraction. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 1451-1461.

Wang S., Mulligan C.N., 2006. Effect of natural organic matter on arsenic release from soils and sediments into groundwater. *Environmental Geochemistry and Health* 28, 197-214.

Wang X.C., Lu Q., 2006. Effect of waterlogged and aerobic incubation on enzymeactivities in paddy soil. *Pedosphere* 16, 532-539.

Warren S.D., Blackburn W.H., Taylor Jr. C.A., 1986. Effects of season and stage of rotation cycle on hydrologic condition of rangeland under intensive rotation grazing. *J. Range Manage* 39, 486-491.

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

Wenhui Z., Zucong C., Lichu Y., He Z., 2007. Effects of the long-term application of inorganic fertilizers on microbial community diversity in rice-planting red soil as studied by using PCR-DGGE, *Acta Ecol. Sin.* 27, 4011-4018.

WHO, 1992. Cadmium - environmental aspects. *Environmental Health Criteria* 135. World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety (IPCS), Geneva, Switzerland.

Wick B., Kuhne F.R., Vleck P.L.G., 1998. Soil microbiologic parameters as indicators of soil quality under improved fallow management system in south-western Nigeria. *Plant and Soil* 202, 97-107.

Wright S.F., Anderson R.L., 2000. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. *Biology and Fertility of Soils* 31, 191-194.

Wright S.F., Franke-Snyder M., Morton J.B., Upadhyaya A., 1996. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. *Plant and Soil* 181, 193-203.

Wright S.F., Green V.S., Cavigelli M.A., 2007. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. *Soil and Tillage Research* 94, 546-549.

Wright S.F., Nichols K.A., Schmidt W.F., 2006. Comparison of efficacy of three extractants to solubilize glomalin on hyphae and in soil. *Chemosphere* 64, 1219-1224.

Wright S.F., Upadhyaya A., 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science* 161, 575-586.

Wright S.F., Upadhyaya A., 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 198, 97-107.

Wright S.F., Upadhyaya A., Buyer J.S., 1998. Comparison of N-linked oligosaccharides of glomalin from arbuscular mycorrhizal fungi and soils by capillary electrophoresis. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 1853-1857.

Wright S.F., Rillig M.C., Nichols K.A., 2000. Glomalin: a soil protein important in carbon sequestration. In *Proceedings of American Chemical Society Annual Meeting Symposium*, 721-725.

Wu Q.S., He X.H., Zou Y.N., He K.P., Sun Y.H., Cao M.Q., 2012. Spatial distribution of glomalin-related soil protein and its relationships with root mycorrhization, soil aggregates, carbohydrates, activity of protease and β -glucosidase in the rhizosphere of *Citrus unshiu*. *Soil Biology and Biochemistry* 45, 181-183.

Wu Q.S., Xia R.X., Zou Y.N., 2008. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *European Journal of Soil Biology* 44, 122-128.

Yadav R.S., Tarafdar J.C., 2001. Influence of organic and inorganic phosphorus supply on the maximum secretion of acid phosphatase by plants. *Biology and Fertility of soils* 34, 140-143.

Zacheis A., Ruess R.W., Hupp J.W., 2002. Nitrogen dynamics in an Alaskan salt marsh following spring use by geese. *Oecologia* 130, 600-608.

Zak D.R., Holmes W., White D.C., Peacock A., Tilman D., 2003. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any link?. *Ecology* 84, 2042-2050.

Zhao O., Zeng D., 2006. Phosphorus fractions and phosphomonoesterase activities in sandy soils under a temperate savanna and a neighboring Mongolian pine plantation. *Journal of Forestry Research* 17, 25-30.

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), 221-229.

CAPITOLO 6.

**L'ETNOPEDOLOGIA NELLO STUDIO DEI TOPONIMI LEGATI ALLE
CONOSCENZE LOCALI SUL SUOLO**

6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

6.1 Premessa

6.1.1 Conoscenza locale

La Conoscenza locale (LK – *Local Knowledge*), conosciuta con molti termini sinonimi, il più comune dei quali è il sapere indigeno (IK – *Indigenous Knowledge*), comprende il complesso di pratiche e decisioni prese da persone indigene e trasmesse di generazione in generazione. Essa può variare tra individui provenienti da diversi gruppi sociali in base a fattori di differenziazione quali l'età, il sesso, la ricchezza, l'etnia e la professione (Oudwater e Martin, 2003).

La LK è esperienziale, radicata nel luogo, trasmessa a voce o per pratica, empirica, funzionale, rinforzata per tentativi ed errori, dinamica, condivisa in modo frammentario tra individui all'interno di una popolazione (Ellen e Harris, 2000).

Lo studio della LK si distingue dall'antropologia, in quanto si concentra sui temi dello sviluppo a livello locale e mira alla produzione di un programma per la risoluzione dei problemi rilevanti delle popolazioni locali (Sillitoe, 1998a). Le conoscenze locali, inoltre, non devono essere viste come la semplice controparte delle conoscenze scientifiche, perché comprendono conoscenze sia culturali che tecniche e sono interconnesse con le conoscenze e le abilità sociali e politiche.

In particolare, le conoscenze locali in materia di agricoltura possono essere definite come capacità, conoscenze e tecnologie accumulate dalle popolazioni locali e derivate dalla loro interazione diretta con l'ambiente (Altieri, 1990). Sono quindi il risultato dell'integrazione intuitiva delle risposte dell'agro-ecosistema locale ai cambiamenti dell'uso del suolo nel tempo (Barrios et al., 1994).

6.1.2 Etnopedologia

L'etnopedologia (*ethnopedology*) è una delle tre discipline che, assieme all'etnozoologia e l'etnobotanica, costituisce l'etnoecologia, cioè lo studio delle conoscenze ambientali indigene e, in particolare, di come l'uomo percepisce e manipola il suo ambiente (Toledo, 1992, 2000).

Nasce inoltre dall'integrazione delle scienze naturali (scienza del suolo, agronomia, agro-

ecologia, geografia fisica e rurale) con le scienze sociali (antropologia sociale ed etnografia) (Barrera-Bassols e Zinck, 1998).

Per etnopedologia si intende, nello specifico, lo studio delle conoscenze locali del suolo, cioè delle conoscenze delle proprietà del suolo e della sua gestione possedute da persone che vivono in un particolare ambiente per un certo periodo di tempo (WinklerPrins, 1999).

Tale disciplina si propone quindi di documentare e comprendere gli approcci locali alla percezione del suolo, intesa come la sua classificazione, valutazione, uso e gestione (Barrera-Bassols e Zinck, 2003).

L'etnopedologia verte principalmente sulla considerazione che la pedodiversità viene determinata non solo dalle caratteristiche fisico-chimiche e tassonomiche del suolo che, come tali, possono essere accertate, ma anche dall'influenza antropica (gestione del suolo), dagli usi storici e dalle specifiche pratiche culturali e conoscenze indigene che caratterizzano una determinata area (Capra et al., 2015).

L'etnopedologia fornisce anche un collegamento tra i gestori del territorio e le popolazioni indigene (Sillitoe, 1998b; Barrera-Bassols e Zinck, 2003). L'approccio etnopedologico può essere utilizzato, per esempio, per esaminare le correlazioni tra la classificazione indigena del suolo e la classificazione internazionale. A tal proposito, l'analisi statistica delle proprietà fisiche e chimiche del suolo, utilizzata in diversi studi per dimostrare che i sistemi di classificazione locale del suolo riflettono le proprietà del suolo scientificamente definite (Conklin, 1957; Carter, 1967; Bradley, 1983; Behrens, 1989; Bellón, 1990; Shah, 1993; Krogh e Paarup-Lauresen, 1997; Mikkelsen e Langhor, 1997), presenta un'enorme potenzialità per la caratterizzazione dei suoli in regioni dove i suoli non sono ancora stati caratterizzati tassonomicamente. Tale approccio può essere integrato nei quadri politici di gestione del territorio per ridurre il degrado del territorio e in particolare dei suoli.

La scienza della etnopedologia abbraccia molti aspetti, tra cui le percezioni e le spiegazioni indigene delle proprietà, dei processi, della classificazione e della gestione del suolo e delle interrelazioni suolo-pianta (Talawar, 1996).

I principali campi di ricerca dell'etnopedologia sono:

- nomenclatura locale e tassonomia dei suoli;
- percezione locale della risorsa suolo e del paesaggio;
- conoscenze locali sul rapporto del suolo e del paesaggio con gli altri elementi e processi biofisici;

- credenze, miti, rituali e pratiche simboliche relative alla gestione del paesaggio ed alla valutazione della qualità del suolo;
- usi locali della terra e pratiche di gestione del suolo;
- associazione delle conoscenze e competenze etnopedologiche con la moderna pedologia, con la ricerca geopedologica e con le strategie agro-ecologiche per promuovere la partecipazione delle popolazioni locali nella valutazione delle terre e nelle procedure per la pianificazione degli usi del suolo, affinché sia possibile uno sviluppo sostenibile locale.

6.1.2.1 Distribuzione degli studi etnopedologici a livello mondiale

A scala globale, gli studi etnopedologici (EPS - *ethnopedological studies*) non sono distribuiti uniformemente. Secondo lo studio di Barrera-Bassols e Zinck (2003) esistono 432 EPS distribuiti in 61 nazioni e in circa 200 gruppi etnici. Il 35% si trova in Africa, il 34% in America, il 26% in Asia, il 4% in Europa e 1% nell'area del Pacifico (Barrera-Bassols e Zinck, 2003). Le nazioni con la maggior quantità di EPS sono l'India, la Nigeria, il Perù, il Nepal ed il Messico; quest'ultimo ne possiede il numero maggiore, distinguendosi con 71 EPS.

Pertanto, mentre Africa, America e Asia sono stati ampiamente e ugualmente investigate dal punto di vista etnopedologico, le ricerche etnopedologiche risultano invece scarse in Europa nonché quasi del tutto assenti in area mediterranea, nonostante essa possieda un'importante popolazione rurale, molti gruppi etnici e una delle più elevate diversità linguistiche (Capra et al., 2015).

A conferma degli studi condotti da Barrera-Bassols e Zinck nel 2003, la ricerca bibliografica condotta nei principali motori di ricerca on-line dedicati alla letteratura scientifica a livello internazionale (Google Scholar, Scopus, ScienceDirect) ha chiaramente mostrato che, fino ad oggi, pochissimi studi scientifici inerenti l'etnopedologia in Italia e, più in generale, nei paesi del Mediterraneo sono stati pubblicati su riviste internazionali (Capra et al., 2015).

Ciò rivela che la presente ricerca costituisce uno dei primi contributi a tali studi in ambito italiano e, più in generale, nell'area del Mediterraneo.

Poiché la maggior parte degli studi etnopedologici sono concentrati in pochi paesi, alcuni gruppi etnici hanno dunque ricevuto più attenzione di altri. I paesi maggiormente indagati

dalle ricerche etnopedologiche sono generalmente territori in cui le popolazioni indigene non sono ancora state influenzate dalla civiltà moderna (Vavilov, 1950; Grigg, 1974). In questi paesi in via di sviluppo le popolazioni indigene praticano l'agricoltura di sussistenza e la corretta gestione del territorio rurale dipende dalla comprensione di come gli esseri umani utilizzino e manipolino i suoli (Hudson e Alcantara-Ayala, 2006).

Questi paesi presentano diversi elementi in comune (Barrera-Bassols e Zinck, 2003):

- appartengono alle più grandi zone rurali del mondo;
- rappresentano le aree con maggiore tasso di crescita demografico;
- si trovano ad affrontare il crescente degrado del suolo indotto dall'uomo.

Tali aree sono inoltre caratterizzate da ambienti difficili e sfavorevoli per le popolazioni locali, soprattutto dal punto di vista della disponibilità delle risorse naturali indispensabili per la loro sopravvivenza, quali acqua e suolo.

Le ricerche etnopedologiche, infatti, si concentrano maggiormente su aree aride e semi-aride (66% degli EPS) piuttosto che su quelle umide (34% degli EPS), poiché esposte a una maggiore degradazione del suolo, aumento demografico, esaurimento delle risorse a causa di uno sfruttamento incontrollato, nonché particolarmente sensibili cambiamenti climatici a livello globale. In tali aree si ha maggiore necessità di gestire in modo efficiente le scarse risorse naturali, favorendo così una stretta co-evoluzione di eco-sistemi e socio-sistemi (Barrera-Bassols e Zinck, 2003).

Inoltre, attraverso l'applicazione degli EPS si tenta di migliorare le condizioni di vita delle popolazioni locali, con l'impiego di sistemi di gestione e di programmi di sviluppo.

6.1.2.2 Sviluppo dell'etnopedologia

L'interesse dimostrato dagli scienziati del suolo sulla conoscenza indigena dei suoli è relativamente recente (Pawluk et al., 1992; Sandor e Furbee, 1996; Kundiri et al., 1997; Habarurema e Steiner, 1997; Sillitoe, 1998b; Gobin et al., 1998, 2000). Dal 1980 il numero degli EPS è notevolmente incrementato (Barrera-Bassols e Zinck, 2003).

La maggior parte dei primi studi etnopedologici venivano effettuati da etnografi e, in misura minore, da geografi, che utilizzavano metodologie etnografiche e etnoscientifiche per studiare la classificazione locale del suolo. Negli ultimi trent'anni l'interesse per l'uso e lo sviluppo sostenibile del territorio ha portato molti agronomi, pedologi e altri scienziati di discipline tecniche ad interessarsi all'etnopedologia (Niemeijer e Mazzucato, 2003).

L'etnopedologia si è dunque evoluta da interesse personale di un piccolo gruppo di antropologi e geografi ad interesse comune di professionisti e ricercatori provenienti da una vasta gamma di discipline (Talawar e Rhoades, 1998; WinklerPrins, 1999; Barrera-Bassols e Zinck, 2000).

Il crescente interesse verso questa nuova disciplina è dovuto soprattutto alla volontà degli studiosi di preservare le conoscenze locali sui suoli dalla frammentazione o dalla completa perdita, soprattutto in quei paesi che si trovano ad affrontare cambiamenti culturali e disgregazione sociale (Pretty, 1995).

6.1.3 Toponimi e toponomastica

Come dimostrato negli anni '50 del Novecento dall'antropologo francese Claude Lévi-Strauss tramite l'analisi strutturale dei sistemi simbolici del pensiero, ogni popolazione, a seconda del rapporto che stabilisce con l'ambiente in cui vive, classifica la realtà attribuendo alle diverse cose specifici significanti. Ai significanti corrispondono poi adeguati significati. Tali rappresentazioni simboliche prendono il nome di toponimi, cioè costruzioni culturali della realtà oggettiva in cui gli uomini vivono in un determinato contesto storico (Satta, 2009).

I toponimi (dal greco *tòpos*, luogo e *ònoma*, nome) sono nomi di luoghi geografici, che riguardano le località, le città, i monti, i fiumi ed altri luoghi conosciuti con nomi tipici della tradizione locale. I toponimi sono dei simboli legati "carnalmente" al territorio, sono dei *predicati territoriali*, che descrivono sinteticamente il territorio medesimo, gli danno e ne ricevono nome e cognome (Dedola, 2012).

I nomi di luogo delineano i diversi elementi del paesaggio visto che spesso il loro significato rimanda direttamente ad alcuni caratteri del territorio, come la vegetazione (fitonimi) o la morfologia (oronimi). I toponimi pertanto sono strettamente legati al territorio e alle sue vicende ambientali, storiche, economiche, sociali e culturali, sottolineandone i caratteri originali, in altre parole, la personalità geografica se non proprio l'identità profonda (Aversano, 2006).

Essi sono portatori della cultura di un territorio in quanto sono in grado di raccontare la storia dei diversi territori ai quali sono stati attribuiti. Sono dunque espressione simbolica del paesaggio, nonché importanti testimoni delle sue vicende umane.

Il paesaggio, a sua volta, costituisce il basamento dell'identità locale e nazionale, quale

“componente essenziale del contesto di vita delle popolazioni, espressione della diversità del loro comune patrimonio culturale e fondamento della loro identità” (art. 5/a della Convenzione Europea del Paesaggio, Firenze, 20 ottobre 2000).

L'espressione simbolica del paesaggio data dai toponimi non corrisponde soltanto alle tracce, più o meno marcate e percepibili, che il lavoro dell'uomo, lo sfruttamento del suolo, l'insediamento, etc. hanno lasciato sul terreno, organizzandolo e trasformandolo in territorio, ma definisce soprattutto significati e valori di cui le popolazioni hanno rivestito il luogo in cui vivono (Vallega, 2003).

La toponomastica, cioè il settore dell'onomastica che studia i nomi propri dei luoghi, è una disciplina relativamente recente, si può segnare la sua data di nascita nel 1873, anno in cui Giovanni Flechia pubblicò la sua opera *Di alcune forme di nomi locali dell'Italia superiore* con l'intento di ricostruire i significati originali di alcuni nomi locali. Prima di allora è improprio parlare di una vera e propria disciplina toponomastica, in quanto le ricerche degli studiosi non erano condotte con un metodo scientifico rigoroso.

Agli studi di toponomastica si sono interessati, oltre che i glottologi e i linguisti, anche altri studiosi, come i geografi, che attraverso lo studio dei toponimi intendono approfondire il rapporto intercorrente tra uomo e ambiente (Scanu e Podda, 2007). Negli ultimi decenni in Italia troviamo diversi contributi forniti alla toponomastica e al glossario dei termini geografici dialettali per diverse Regioni (Alto Adige, Basilicata, Umbria, Liguria, Sardegna, Molise, ecc.) da Baldacci (1968, 1975, 1979), Arena (1979), Giordano (1983), Melelli (1982), De Vecchis (1978), etc. Alcuni studi sono incentrati sui caratteri ambientali legati alla distribuzione di particolari categorie di toponimi, come la vegetazione (Cassi, 1973).

In Italia ogni cultura ha utilizzato in modo diverso lo stesso spazio regionale. Semplificando e prendendo ad esempio l'area del centro Italia (Persi, 2009): etruschi e piceni hanno privilegiato la civilizzazione di collina, i romani quella di pianura (città, ville rurali, centuriazioni, viabilità), il medioevo ha rivitalizzato quella alto-collinare e montana (pievi, abbazie, castelli), il rinascimento ha dato impulso all'appoderamento rurale delle colline (case coloniche, fattorie, ville, chiese rurali), la modernità ha esteso la mezzadria sulle vallate e piane costiere, la contemporaneità ha disperso la piccola industria anche nelle aree rurali, favorendo comunque la concentrazione produttiva e abitativa sulle fasce costiere, sulle conche e piane vallive.

In Sardegna i primi testi nei quali si trovano informazioni sui toponimi risalgono ai primi del XVI secolo, con il *Chorographia Sardiniae* di Fara, dove vengono riportati cenni sui centri abitati dell'Isola. Alcuni problemi di toponomastica insieme a quelli legati alla derivazione latina e greca del sardo e altre questioni della lingua sarda vengono affrontati nel *Saggio di un'opera intitolata il Ripulimento della lingua sarda* (1782) di Matteo Madau.

Ma è nell'Ottocento e nella prima metà del secolo successivo che gli studi di carattere toponomastico e gli studi inerenti le tradizioni popolari della Sardegna 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 nell'arco di 22 anni a partire dal 1834 nel noto *Dizionario Geografico Storico-Statistico-Commerciale degli Stati di S. M. il Re di Sardegna* curato da Goffredo Casalis, dove sono presenti anche interessanti ipotesi etimologiche di numerosi toponimi. Per esempio, dal Casalis si viene a conoscenza che la fertilità dei suoli della zona di Oristano, erano conosciuta già nell'Ottocento. Si tratta dei terreni chiamati localmente *bennaxi* (Aru et al., 1961; Vacca et al., 2015), che si originano dai depositi alluvionali recenti, formati da elementi granulometricamente fini e talvolta finissimi (sabbie quarzose fini e ghiaie e ciottoli eteromorfi e poligenici) e particolarmente fertili e adatti per l'uso agricolo: “*si dicono Benagi o Venagi dalle vene aperte di 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).

Nelle seconda metà dell'Ottocento il canonico Giovanni Spano raccoglie una grande quantità di toponimi che pubblica nel 1873 nel *Vocabolario sardo geografico, patronimico ed etimologico* (1873), ma che spesso ritiene erroneamente derivanti da sostrati prelatini di derivazione fenicio-punica.

Alla fine dell'Ottocento risale la prima apposizione sistematica e omogenea dei toponimi sulla cartografia riguardante tutto il Paese, grazie alla stesura della Carta topografica d'Italia, aggiornata con nuovo rilievo ed edita a colori negli anni '50 del Novecento e, infine, nuovamente aggiornata nella terza edizione degli anni '80 dello stesso secolo. A partire dai primi decenni del Novecento vengono prodotti in Sardegna studi e ricerche assolutamente significative nel campo della toponomastica. La Carta topografica

costituisce in assoluto la più grande raccolta di toponimi in Italia, anche se spesso si assiste alla trascrizione non corretta degli idiomi originari (Scanu e Podda, 2007). Nelle carte geografiche si trovano denominazioni inerenti sia alla macrotoponomastica che alla microtoponomastica (Granucci, 2004). Fanno parte dei macrotoponimi: i coronimi (ovvero le designazioni areali ampie, quali possono essere le regioni istituzionali e le regioni geografiche), gli idronimi (i nomi di mari, fiumi e laghi) e i nomi di insediamenti umani (i nomi di città). La microtoponomastica riguarda i nomi dei piccoli insediamenti abitativi, delle denominazioni poderali, degli idronimi minori (come fonti e rivi), dei toponimi urbani (per esempio ponti) e dei geonimi.

Non si può non citare l'eccellente attenzione scientifica nei confronti della toponomastica sarda che si riscontra nei lavori di Giulio Paulis, che nel 1987 pubblica il primo inventario dei toponimi sardi *I nomi di luogo della Sardegna*, dove censisce e raccoglie, comune per comune, 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 e fornisce un valido glossario etimologico degli appellativi sardi presenti nella toponomastica sarda.

È 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), di cui hanno a lungo parlato Raffestin (1977, 1986) e Turco (1988, 2000), ovvero delle 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 intellettuale, vede l'individuazione, da parte di quel gruppo, dei luoghi che possono rientrare all'interno delle proprie dimensioni esistenziali, quindi dell'abitare e sfruttare le risorse naturali, attribuendogli di fatto senso e valore, denominandolo e facendolo rientrare così nella sfera dei propri interessi spirituali ed intellettuali.

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 rifunzionalizzazione 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 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.

Secondo il Pittau (2011) 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.

A tal proposito, Terracini, nelle sue *Osservazioni sugli strati più antichi della toponomastica sarda* (1927) scrive che: “*poche regioni romanze danno una proporzione così alta di toponimi non latini, come la Sardegna*”.

Nell'Isola la percentuale più alta di toponimi preromani e dunque 'indigeni' si registra nella 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 (Wolf, 1998; Viridis, 2009). Infatti, la colonizzazione da parte di Roma, cominciata nel 238 a. C., incontrò notevoli resistenze nell'interno dell'Isola, nel Logudoro ed in particolare nella Barbagia (Nocentini, 2004, 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 e etniche (Fraumene et al., 2003, 2006; Pugliatti, 2007).

È 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).

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.

6.1.3.1 Toponimi e storia del paesaggio agrario sardo

L'attuale paesaggio agrario della Sardegna deriva dall'organizzazione delle terre comuni e dall'alternanza delle colture, alla quale ha fatto poi seguito la divisione in poderi realizzata con muretti a secco o siepi.

Il sistema di uso comune delle terre trae origine dalle regole raccolte nella *Carta de Logu* in epoca giudicale. L'ordinamento fondiario sardo¹ era bastato su comunità rurali, costituite dal villaggio (*bidda*) circondato da terreni coltivati, cioè da appezzamenti recintati o no di colture arboree ortive (*sartu de bidda*) e dagli incolti e dal bosco dedicato al pascolo nomade (*saltus*).

Ogni villaggio aveva la sua terra coltivata dove 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*).

Con il termine *vidazzone* si denomina quella parte delle terre dedicata alla produzione cerealicola, lasciata a riposo (*a pasiu*) per l'anno successivo e aperta al pascolo del bestiame domestico, acquisendo così la denominazione di *paberile* (da *pabulum*, pascolo).

¹ Il GEMELLI nel suo *Rifiorimento della Sardegna* dà una chiara descrizione del sistema, ripresa mezzo secolo dopo dal La Marmora nel suo *Voyage en Sardaigne de 1919 à 1825* (Parigi, 1826). Questi così si esprime: «Si chiama *vidazzone* una parte di terreno coltivata a cereali per un anno. A questo scopo si divide il territorio di un villaggio in due o tre parti e tutti gli anni una di queste è destinata alla coltura, mentre le altre restano scrupolosamente al pascolo comune. Questa sistemazione fa sì che i particolari che possiedono terre comprese nel raggio dei *vidazzoni* devono, per conformarsi all'obbligo generale imposto a tutto il distretto, sottometterle alla ripartizione fissata. Questi *vidazzoni* si compongono in parte di terreni accordati ai particolari che si presentano per seminarli e che dopo il raccolto non hanno alcun interesse acché i campi che hanno coltivato siano in buono stato, dato che non hanno più su di essi alcun diritto e che è raro che lo stesso pezzo di terra possa loro toccare ancora in sorte all'epoca della nuova ripartizione periodica per la coltivazione del distretto; questa ripartizione avviene generalmente per sorteggio. Il nome di *vidazzone* si dà particolarmente a quella parte del terreno che è seminata e in piena vegetazione; l'altra, o piuttosto le altre, che sono a riposo, si chiamano *paberili*.

L'attribuzione dei lotti delle terre di proprietà comunale da coltivare da ottobre a giugno varia negli anni e in parte anche da villaggio a villaggio: la formula più accreditata è quella del sorteggio, mentre un'altra riconosce al singolo una sorta di diritto alla coltivazione del lotto acquisito con la consuetudine. Il diritto può essere concesso anche a vita, ma con l'esclusione di qualsiasi principio ereditario.

Accanto al *vidazzone* si estendono i beni del demanio feudale, delle comunità, delle chiese e dei privati dove vive una rada popolazione di pastori che attende al bestiame brado nei *saltus* montuosi e boscosi o stepposi, posti tutto intorno a formare un'ampia fascia di pascoli permanenti (Mori, 1972).

Il sistema descritto si è conservato integro 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.

L'antica suddivisione del territorio è ancora parzialmente riconoscibile nel paesaggio attuale. La zonazione 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.

Inoltre 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 paesaggio tipico sulcitano non presenta grossi villaggi rurali compatti ma piuttosto piccoli nuclei (*furriadroxius*) essenzialmente agricoli e dei *medaus* pastorali (allevamento prevalentemente di ovini). Il paesaggio tipico gallurese è di tipo agro-silvo 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 paesaggio 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 perfetta della terra, fattore principale di un'agricoltura moderna e più produttiva, che causò modificazioni profonde nel paesaggio agrario di gran parte delle Sardegna. Fu appunto in quel periodo che si formarono su vaste estensioni le unità poderali dette *tancas*, campi chiusi con fitti recinti in muri a secco o a siepi di fichi d'India (il termine *tanca* ricalca l'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 paesaggio. 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).

Inoltre il processo di trasformazione della società e di organizzazione economica, col prevalere dell'industria e del settore terziario sulle attività primarie e la costruzione delle infrastrutture (soprattutto vie di comunicazione), ha portato profondi cambiamenti al

territorio e al modo di relazionarsi con esso delle popolazioni. Queste attività economiche infatti offrono un apporto relativamente marginale al bagaglio dei neotoponimi. Il più delle volte, per esempio, le zone industriali si chiamano semplicemente “zona industriale” senza alcun richiamo al territorio che la ospita.

6.1.3.2 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 paesaggio 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.

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, avrinu, 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.

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).

Tra i toponimi di interesse locale poi ve ne sono alcuni comuni a molte lingue e Paesi.

Un esempio è offerto dai suoli sviluppatisi a spese dei calcari cristallini. Il loro substrato pedogenetico è rappresentato dal residuo insolubile di queste rocce carbonatiche, ricco in argille e di ossidi di Fe, Mn, Al di colore rossastro. I suoli che ne derivano assumono pertanto una caratteristica colorazione dal rosso-bruno al rosso vivo in funzione del contenuto di sostanza organica, e vengono chiamati *terre rosse* in Italia, *sol rougesin* in Francia, *red soils* nei paesi anglosassoni, etc.

Un altro termine, anche questo presente in molte lingue, legato alla fertilità dei suoli è *bad lands*, che ha il suo corrispondente nel toponimo sardo *terra mala*.

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. Il tipo di roccia viene accompagnato da aggettivi che fanno riferimento al colore, alle dimensioni, alla forma o posizione, alla consistenza. Per esempio *ruja* (rossa) come la trachite, *alva, alba* (bianca) come il calcare, *niedda* (nera) come il basalto; *alta, manna* (grande), *longa, lada* (piatta); *fitta* (conficcata), *lobada* (accoppiata), *cobelciada, coveccada* (coperchiata), *furcada* (biforcata); *dura, solta* (sciolta), *(i)senta* (friabile) etc.

6.1.4 Lingua sarda

La lingua sarda (SL) o *sa limba sarda* è un lingua romanza (Wagner, 1950) o arcaica neo-latina (Zanetti, 2012) ricca di varianti e pronunce che gli studiosi in materia stanno tuttora cercando di ordinare e classificare. La lingua sarda, chiamata anche Paleo-sardo (cioè lingua parlata prima della dominazione romana e della seguente latinizzazione), non ha origini del tutto chiare (Wagner, 1950), soprattutto a causa della mancanza di documenti scritti (che compaiono solo a partire dal Medioevo).

Il contatto con la lingua latina per le popolazioni costiere (soprattutto delle città più importanti) prese avvio subito dopo le guerre puniche, ma all'interno dell'isola la latinizzazione non doveva essere compiuta ancora nel VI sec. d.C. (Pira, 1978). Il latino, dove è penetrato prima (come è accaduto nella parte meridionale dell'Isola), ha anche avuto la sua maggiore evoluzione sia in conseguenza del maggiore uso interno sia in conseguenza dei più stretti contatti successivi con le lingue romanze della penisola iberica e di quella italiana (Pira, 1978). Dall'incontro del latino con gli idiomi locali derivò una nuova lingua romanza, quella appunto sarda.

Nel complesso, il termine SL viene utilizzato per raggruppare tutte le varietà linguistiche vernacolari che si parlano in Sardegna (Tagliavini, 1982). La SL è considerata la più caratteristica delle lingue latine in quanto rappresenta, tra gli idiomi di origine latina, quella che meglio conserva tratti e parole dalla lingua madre, non solo rispetto ai fattori lessicali e di fonetica, ma anche agli aspetti morfologici (Wagner, 1950). Al tempo stesso, rivela anche molte altre influenze, tra cui quelle fenicie, catalane, spagnole e italiane, che testimoniano la ricca storia dell'isola e le numerose dominazioni a cui la Sardegna è stata sottoposta (Wagner, 1950).

I gruppi conquistatori detenevano un esclusivo diritto di accesso alla comunicazione scritta e, quindi, rivendicavano il diritto di precedenza, accesso alla pubblica amministrazione, ai grandi scambi commerciali, al potere economico, politico e religioso. Si ebbero così "sovrapposizioni culturali", più accentuate però nei centri costieri o più prossimi alla costa (Cagliari e Sassari) e quasi irrilevanti nei villaggi dell'interno (Pira, 1978). Nei secoli passati le culture interne della Sardegna si sottrassero al pericolo dell'inquinamento e della colonizzazione culturale con le fughe in spazi interni sempre più angusti, con le chiusure al contatto (comunicazione e scambio) e al "contagio".

Un ulteriore fattore di isolamento, di relativa impermeabilità agli influssi della civiltà

mediterranea occidentale, era costituito dalla frontiera inospitale tracciata da terre acquitrinose e malariche frequenti lungo le coste sarde: *“le scarse e tepide acque, che ristagnano nei dirupati alvei o fra le argille delle attigue lande, o nei rigurgiti delle marenne annebbiano dei loro effluvi pianure, e fanno intorno ai lidi dell'isola una cintura formidabile agli stranieri, ed anco ai nativi”* (Cattaneo, 1996).

Lo studio della lingua sarda risulta molto complesso, i linguisti riconoscono due varietà principali (logudorese e campidanese), frammentate in numerosi dialetti e sotto-varietà che differiscono da zona a zona e spesso anche da un paese all'altro. Le parlate dialettali, scrive Dedola (2012), sono suddivise in almeno otto sub-dialetti, alcuni talmente diversi tra loro che i rispettivi parlanti, nei casi più stridenti, non si capiscono a vicenda, o si capiscono male.

Anche se le differenze morfologiche e sintattiche tra logudorese e campidanese non sono sostanziali, ogni varietà di sardo ha un proprio sistema grammaticale e ortografico (Blasco Ferrer, 1994), oltre a differenze significative dal punto di vista fonologico (Corda, 1994). La frammentazione della SL è la conseguenza di varie e complesse vicende che hanno caratterizzato la storia della Sardegna. L'Isola ha subito infatti il succedersi e l'intrecciarsi di numerose dominazioni e quindi l'influenza dei rispettivi apporti linguistici, che hanno reso la comprensione dei lemmi ancora più complessa. I popoli stranieri la cui successione ha lasciato qualche traccia linguistica in Sardegna sono Fenici, Romani, Vandali, Bizantini, Aragonesi e Catalani, Spagnoli e infine gli Italiani del continente, come i genovesi e i toscani (Dedola, 2012).

Inoltre la complessità della SL è anche il risultato dell'isolamento geografico e culturale in particolare della zone centrali della Sardegna (Vona, 1997; Fraumene et al., 2003; Sotgiu et al., 2004; Caramelli et al., 2007), come Barbagia e Ogliastra.

Da un punto di vista legislativo, la SL è considerata una lingua in via di estinzione dall'UNESCO (Salminen, 1993) ed è riconosciuta ufficialmente da una legge nazionale come lingua minoritaria (Parlamento italiano, 1999). Essa è tra le quindici lingue minoritarie europee con più di un milione di parlanti (Mensching, 2000) ed è parlata principalmente nei paesi e nella vita privata. La maggior parte dei sardi è bilingue, ovvero parla la SL insieme con l'italiano (Lupinu et al., 2007), che rappresenta la lingua principale nelle città ed è l'unica lingua utilizzata per scopi ufficiali. Inoltre vi è un grave declino di conoscenza della lingua da una generazione alla successiva.

L'ultimo report dell'Istituto nazionale di statistica sulla diffusione nel Paese della lingua italiana (ISTAT, 2014) rivela che è calato l'uso esclusivo del dialetto tra le pareti domestiche ed è aumentato quello dell'italiano, indipendentemente dal livello sociale delle famiglie: se nel 1995 il 23,7% degli italiani in casa parlava solo o prevalentemente dialetto, nel 2012 questa percentuale è scesa al 9%. Sono le donne a mostrare una maggiore propensione a esprimersi soltanto o prevalentemente in italiano con i familiari (55,2% a fronte del 51% degli uomini), mentre parlare prevalentemente o esclusivamente l'italiano - in famiglia, con amici e con estranei - è una pratica più diffusa al Centro e nel Nord-Ovest. E sono soprattutto i giovani ad aver quasi del tutto abbandonato l'uso del dialetto.

Gli studi sulla SL sono dunque assolutamente necessari, anche attraverso un approccio etnopedologico. La diversità linguistica va infatti in parallelo con la ricchezza etnopedologica (Barrera-Bassols e Zinck, 2003), dal momento che la tradizione orale trasmette, di generazione in generazione, le conoscenze locali e il know-how sulle risorse ambientali (UNESCO, 1997). Ciò significa che, così come molte lingue endemiche sono minacciate di estinzione, anche la conoscenza etnopedologica verrà persa (Barrera-Bassols e Zinck, 2003) se apposite ed accurate ricerche non verranno svolte.

Negli ultimi decenni si è assistito ad una ripresa degli interessi diffusi a livello popolare e politico mirati al recupero della lingua sarda. A tal proposito è stata emanata la L.R. n.26 del 15 ottobre 1997 sulla promozione e valorizzazione della cultura e della lingua sarda che costituisce guida per gran parte della programmazione regionale degli ultimi anni per quanto concerne la tutela e la valorizzazione dei beni culturali e ambientali, in cui rientra anche la toponomastica.

6.2 Area di studio

La Sardegna risulta particolarmente interessante per la toponomastica, poiché è tra le regioni italiane più ricche in toponimi (oltre 200.000, il che significa più di 8 toponimi/km²) (Dedola, 2012), a seguito di condizioni linguistiche fortemente legate ad aspetti culturali e storico-geografici del tutto peculiari.

Il territorio in esame si estende per 1233 km² e comprende le superfici amministrative dei 14 comuni (Arborea, Arbus, Cabras, Cuglieri, Guspini, Marrubiu, Narbolia, Nurachi,

Oristano, Palmas Arborea, Riola Sardo, San Vero Milis, Santa Giusta, Terralba) ricadenti nella fascia costiera del Golfo di Oristano (delineata in rosso nella figura 6.1).

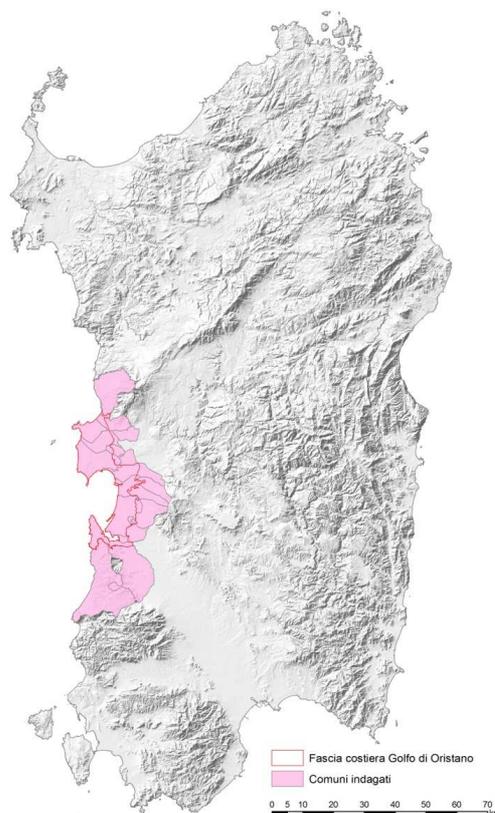


Figura 6.1. Comuni ricadenti nella fascia costiera del Golfo di Oristano indagati dal punto di vista etnopedologico.

6.3 Materiali e metodi

6.3.1 Approccio metodologico adottato

Le ricerche etnopedologiche possono essere affrontate attraverso tre differenti approcci metodologici: etnografico, comparativo e integrato (Barrera-Bassols e Zinck, 1998; Talawar e Rhoades, 1998; WinklerPrins, 1999).

L'*approccio etnografico* si limita alla raccolta delle conoscenze etnopedologiche ed all'analisi dei dati (Malinowski, 1935; West, 1947; Conklin, 1957), escludendo la comparazione con le informazioni scientifiche. Questo approccio tende ad essere anedddotico e descrittivo (Payton et al., 2003). L'approccio classico etnografico è in genere focalizzato sull'analisi linguistica dei sistemi locali di classificazione del suolo (Barrera-

Bassols et al., 2006).

L'*approccio comparativo*, invece, ha come obiettivo principale quello di confrontare conoscenze scientifiche e locali, evidenziando similarità e differenze (Barrera-Bassols e Zinck, 2003). Un esempio di approccio comparativo può essere il confronto tra le classificazioni tassonomiche locali e quelle scientifiche (Payton et al., 2003), senza alcuna considerazione, però, per il contesto socio-culturale da cui derivano le credenze e le percezioni.

L'*approccio integrato* (impiegato per la presente ricerca) mira ad identificare ed analizzare i rapporti tra informazioni scientifiche e culturali al fine di integrarle fra loro (Payton et al., 2003) attraverso una prospettiva interdisciplinare. Questo approccio riconosce la rilevanza del contesto culturale per comprendere come gli agricoltori chiamino e classifichino i loro terreni (Barrera-Bassols et al., 2006). Per una maggiore integrazione del moderno progresso tecnico-scientifico con le conoscenze locali storiche viene spesso utilizzato il GIS, che permette l'analisi delle informazioni scientifiche e culturali su base geografica.

Dal punto di vista bibliografico è interessante rilevare come, a livello mondiale, le ricerche etnopedologiche vengano prevalentemente condotte mediante il secondo approccio, dunque quello comparativo (Tabor, 1992; De Queiroz e Norton, 1992; Neimeijer, 1995; Sandor e Furbee, 1996; Habarurema e Steiner, 1997).

6.3.2 Fasi della ricerca

L'indagine etnopedologica è stata articolata nelle seguenti quattro fasi principali:

1. Raccolta dei toponimi

I toponimi sono stati reperiti, in prima istanza, nel SITR della Regione Sardegna (figura 6.2) che contiene un database di circa 80.000 toponimi. Le fonti utilizzate per la produzione del database dei toponimi della Sardegna sono le CTR 10k, le IGM 25k (in formato numerico), le IGM 50k, le IGM 100k, le IGM 1000k, le IGM edizione 1893, le DBPrior 10k (database Nazionale degli Strati Prioritari), le Tavole Censuarie 200k, le Tavole Censuarie 400k, la Carta storica dello Spano per i toponimi in lingua sarda.

Nel database regionale per ciascun elemento vengono indicati il nome del toponimo, il comune di appartenenza, il numero identificativo del toponimo, la fonte cartografica da cui proviene il toponimo e le coordinate spaziali georiferite con il sistema di riferimento Gauss

Boaga.



Figura 6.2. Interfaccia del SISTR della Regione Sardegna dedicato ai toponimi <http://webgis.regione.sardegna.it/ricercatoponimi/>

Inoltre è stata condotta un'apposita ricerca dei toponimi sia nelle fonti storiche (sommarioni, registri, atti vari etc.) presenti negli archivi storici (comunali e provinciali) e negli enti regionali legati alla promozione delle tradizioni popolari, sia nelle fonti recenti (documentali-bibliografiche e cartografiche).

In contemporanea, sono state effettuate varie interviste informali agli abitanti delle aree interessate, che hanno permesso la raccolta dei toponimi editi oralmente. Successivamente tali toponimi sono stati collocati spazialmente con gli attributi geografici identificativi. Le interviste sono state condotte principalmente ai proprietari o agli usufruttuari delle aree identificate da toponimi di origine incerta o ignota.

Sono stati raccolti complessivamente 5806 toponimi, ripartiti nei 14 comuni che ricadono nell'area di studio della fascia costiera del Golfo di Oristano. Sono stati però scartati tutti i toponimi doppi, cioè quelli che presentavano le stesse coordinate, in questo modo il numero totale di toponimi è sceso a 4857.

Essi si riferiscono a componenti naturali del paesaggio, quali corsi d'acqua, vegetazione e rilievi, ma anche a elementi antropici, come ad esempio ponti, edifici, acquedotti, etc.

2. Traduzione dei toponimi

Per la traduzione dei toponimi dal sardo all'italiano ci si è avvalsi dei più importanti testi e glossari di etimologia del lessico sardo e di toponomastica, scritti dai maggiori studiosi di linguistica sarda:

- Dizionario Etimologico Sardo, di Max Leopold Wagner.
- I nomi di luogo della Sardegna, di Giulio Paulis.
- I toponimi della Sardegna: significato e origine, di Massimo Pittau.
- Toponimi della Sardegna meridionale, di Massimo Pittau.
- La toponomastica in Sardegna, di Salvatore Dedola.
- I comuni della Sardegna: origine e significato dei nomi di città, paesi, villaggi e contrade di campagna, di Iosto Miglior.

Questa fase è risultata la più lunga, data la complessità della nostra lingua e la vasta gamma di elementi da tradurre.

Le interviste informali con i diretti frequentatori e/o proprietari delle aree di interesse hanno permesso la comprensione di alcuni toponimi di significato ufficiale incerto o ignoto. Sono stati così rivelati i significati di alcuni toponimi come conosciuti dai nativi, nella forma in cui vigono nella tradizione orale.

3. Realizzazione del database e categorizzazione dei toponimi

Tutti i toponimi raccolti sono stati inseriti in un apposito database implementato in ambiente GIS, riportante il toponimo originario, il numero identificativo del toponimo, il comune di appartenenza, i dati geografici (la cartografia di provenienza e la scala), le coordinate spaziali (sistema di riferimento Gauss Boaga), il significato (traduzione), la fonte della traduzione (riferimento bibliografico), la categoria di appartenenza.

Per quanto attiene alla categoria di appartenenza, dopo la prima fase di traduzione dei toponimi si è deciso di suddividere i toponimi in 15 distinte categorie, in base al loro significato prevalente, così da facilitarne la comprensione e l'espressione dei risultati.

Di seguito vengono riportati i nomi delle categorie, con una breve descrizione ed alcuni esempi (tabella 6.1):

1. Categoria SUOLO: comprende i toponimi relativi al suolo, cioè il cui significato riflette chiaramente alcune caratteristiche della risorsa suolo, come la tessitura, la fertilità, il colore, la permeabilità etc.
2. Categoria SUOLO/MORFOLOGIA: comprende tutti i toponimi con significato relativo alle caratteristiche del suolo ed alla morfologia del territorio (caratteristiche pedo-morfologiche).
3. Categoria SUOLO/VEGETAZIONE: comprende tutti i toponimi con significato relativo alle caratteristiche del suolo ed alla vegetazione presente nel territorio.
4. Categoria SUOLO/GEOLOGIA: comprende i toponimi con significato direttamente o indirettamente connesso ai suoli ed alla roccia, cioè alle caratteristiche pedo-geologiche (pietrosità del suolo, tipo di roccia affiorante etc).
5. Categoria USO DEL SUOLO: comprende i toponimi il cui significato è legato all'uso del suolo da parte dell'uomo.
6. Categoria USO DEL SUOLO/COPERTURA VEGETALE: comprende i toponimi il cui significato è legato all'uso del suolo in base alla presenza di determinate coperture vegetali. Questi luoghi sono principalmente dedicati all'attività degli agricoltori.
7. Categoria USO DEL SUOLO/FAUNA: comprende i toponimi il cui significato è legato all'uso del suolo in relazione alla presenza di animali e dunque alla pastorizia.
8. Categoria MORFOLOGIA: comprende tutti i toponimi con significato relativo ad elementi morfologici, come monti, fiumi, valli etc.
9. Categoria MORFOLOGIA/FAUNA: comprende tutti i toponimi con significato relativo alla morfologia ed alla fauna. In questo caso l'elemento morfologico è caratterizzato ed individuabile per somiglianza nella forma con un animale (zoomorfia) o per la presenza di un determinato animale sul territorio.
10. Categoria MORFOLOGIA/VEGETAZIONE: comprende tutti i toponimi con significato relativo ad elementi morfologici ed alla vegetazione. Questi toponimi identificano l'elemento morfologico in base alla presenza di una specie vegetale particolare.
11. Categoria MORFOLOGIA/GEOLOGIA: comprende i toponimi con significato legato agli elementi morfologici e geologici.

12. Categoria GEOLOGIA: comprende i toponimi il cui significato è legato alle caratteristiche geologiche del territorio.
13. Categoria VEGETAZIONE: comprende i toponimi con significato relativo alla vegetazione (fitonimi).
14. Categoria FAUNA: comprende i toponimi con significato relativo alla fauna (zoonimi).
15. Categoria ALTRO: ricadono in questa categoria tutti i toponimi non appartenenti a nessuna delle precedenti categorie, come i toponimi di significato sconosciuto e quelli in lingua italiana o, in generale, quelli in italiano e in lingua sarda identificanti le opere antropiche (edifici, strade, ferrovie, porti, acquedotti etc.).

Ovviamente tali categorie rappresentano una grande ma necessaria semplificazione. Infatti, il significato di alcuni toponimi non è sempre legato ad una sola caratteristica ma può presentare un significato multiplo, cadendo così al confine tra due o più categorie. Pertanto, in questi casi la categoria è stata assegnata secondo il significato prevalente.

Toponimo	Comune	Traduzione
SUOLO		
Terra 'e mai	Arbus	terra argillosa (Miglior, 1987)
Terra arrubia	Arbus	terra rossa (Paulis, 1987)
Bennaxi	Oristano	luogo basso e acquitrinoso (Paulis, 1987)
S'isca	Cabras	golena di fiume, valle paludosa e fertile, sito acquitrinoso (Dedola, 2012)
Ludosu	Cabras	fangoso (Paulis, 1987)
Narboni malus	Guspini	terreno cattivo totalmente dissodato per la prima volta (Dedola, 2012)
SUOLO/MORFOLOGIA		
Gutturu s'arena	Terralba	gola di montagna, viottolo stretto incassato della sabbia (Paulis, 1987)
Riu sassu	Arbus	rio del sasso, sabbione (Paulis, 1987) oppure rio del terreno salato (Dedola, 2012)
SUOLO/VEGETAZIONE		
Matta su sai	Riola Sardo	pianta, albero, cespuglio del sale (Dedola, 2012)
Terra frissa	Guspini	terra dell'erba vischio (Paulis, 1987)
SUOLO/GEOLOGIA		
Margongiada	Guspini	sito pieno di cumuli di sassi (Miglior, 1987)
Su perdiaxiu	Guspini	il terreno sassoso (Miglior, 1987)

Toponimo	Comune	Traduzione
USO DEL SUOLO		
Pardu	Oristano	prato comunale, territorio pianeggiante (Paulis, 1987)
Sa tanca manna	Cuglieri	podere chiuso da siepi o da muriccioli (Paulis, 1987)
USO DEL SUOLO/COPERTURA VEGETALE		
Sa bingia	Cabras	la vigna (Paulis, 1987)
S'ungrone de sa cruccurica	Oristano	l'angolo della zucca (Paulis, 1987)
USO DEL SUOLO/FAUNA		
Is crabilis	Oristano	i caprili (Miglior, 1987)
Is pasturas	Oristano	i pascoli (Paulis, 1987)
Su meriagu	Nurachi	sito ombroso dove si ripara il gregge dal sole di mezzogiorno (Paulis, 1987)
MORFOLOGIA		
S'arieddu	Marrubiu	piccolo fiume, ruscello, rigagnolo (Dedola, 2012)
Su coddu	Oristano	collina, monticello (Paulis, 1987)
MORFOLOGIA/FAUNA		
Scala quaddus	San Vero Milis	via montana, scoscesa, scala dei cavalli (Paulis, 1987)
Bruncu is crobus	Arbus	colle dei corvi (Miglior, 1987)
Serra 'e crabas	Arbus	cresta di monte, crinale roccioso delle capre (Paulis, 1987)
MORFOLOGIA/VEGETAZIONE		
Roia spaduedda	Arbus	ruscello della <i>Thypha angustifolia</i> (Miglior, 1987)
Punta su zinibiri	Arbus	punta del ginepro (Paulis, 1987)
MORFOLOGIA/GEOLOGIA		
Monte ferru	Cuglieri	monte del ferro (Paulis, 1987)
Riu perda niedda	Arbus	fiume della pietra nera (Paulis, 1987)
GEOLOGIA		
Su crastu biancu	Cabras	il ciottolo (sasso, macigno, roccia) bianco (Dedola, 2012)
Sa pedra longa	Santa Giusta	la pietra lunga (Paulis, 1987)
VEGETAZIONE		
Is olionis	Riola Sardo	il corbezzolo (Paulis, 1987)
S'ilixi	Oristano	il leccio (Paulis, 1987)
FAUNA		
Piccalinna	Guspini	picchio rosso (Miglior, 1987)
Margiani	Terralba	volpe (Dedola, 2012)

Tabella 6.1. Alcuni esempi di toponimi in lingua sarda suddivisi per categoria.

4. Elaborazione dei dati

I dati sono stati elaborati mediante rappresentazione grafica, statistica e cartografica.

Per ciascuna categoria e per ciascun comune sono stati calcolati:

- *Distribuzione dei toponimi* (numero dei toponimi).
- *Distribuzione dei toponimi in valore percentuale sul totale* (percentuale del numero dei toponimi rispetto al totale).
- *Densità dei toponimi* (numero di toponimi per km²).

Oltre che su base numerica gli stessi dati sono stati espressi mediante elaborazioni cartografiche in ambiente GIS.

Sono state acquisite varie cartografie pedologiche (a diversa scala e provenienti da varie fonti quali Comuni, Provincia e Regione) in maniera tale da realizzare la comparazione tra conoscenza locale (desumibile dal significato dei toponimi) e le informazioni scientifiche fornite dalle cartografie pedologiche.

Inoltre, con le informazioni tratte dalla Carta dei suoli della Sardegna (Aru et al., 1991) è stato possibile calcolare l'**indice di Shannon (H) relativo alla pedodiversità** (Minasny et al., 2010), attraverso la formula Shannon-Weaver (1949), come riportato di seguito:

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \times \ln p_i$$

Dove p_i è l'abbondanza proporzionale della classe i (p_i = rapporto tra la superficie occupata dall'elemento i -esimo e l'area considerata) ed S è il numero di Unità Pedologiche Cartografiche (UPC). Maggiore è il valore dell'indice maggiore è il grado di diversità.

Allo stesso modo è stato calcolato l'indice di Shannon relativo alla diversità del paesaggio (**indice di diversità paesistica**) ed alla diversità dei toponimi (**indice di topodiversità**).

L'indice di diversità paesistica facilita lo studio dell'eterogeneità del paesaggio del territorio in esame ed è stato calcolato applicando l'indice di diversità di Shannon alle diverse categorie d'uso del suolo individuate (CORINE Land Cover). In questo caso S rappresenta il numero di categorie di uso di suolo (UDS).

Il grado di eterogeneità del paesaggio è in relazione con la capacità di mantenimento dell'equilibrio dei sistemi paesistici. Un alto valore di eterogeneità di un sistema può corrispondere ad un'alta capacità di auto/ri-equilibrio di fronte alle perturbazioni. Un basso

valore di eterogeneità generalmente significa banalizzazione del sistema con conseguente scarsa capacità di auto/ri-equilibrio.

Per l'indice di topodiversità p_i è uguale al rapporto tra numero dei toponimi della singola categoria e i toponimi totali ed S rappresenta il numero di categorie di toponimi.

Per la pedodiversità, la diversità paesistica e la topodiversità è stato anche calcolato l'**indice di Equipartizione (H')** come rapporto tra H e H_{\max} ($\ln S$), secondo la formula seguente:

$$H' = \frac{-\sum_{i=1}^S p_i \times \ln p_i}{\ln S}$$

H' misura il rapporto tra la diversità osservata e quella massima possibile.

Per l'Equiripartizione legata alla pedodiversità S è il numero massimo di Unità Pedologiche Cartografiche (UPC) presenti nel singolo comune, mentre per l'Equiripartizione legata alla diversità paesistica S corrisponde al numero massimo di categorie di uso del suolo (UDS) presenti in ciascun comune. Per la topodiversità S è dato dal numero di categorie di toponimi, identico per ciascun comune.

Maggiore è il valore assunto dall'indice di equiripartizione H' e maggiore è l'equipartizione (uniformità di estensione) delle classi. L'indice può assumere qualsiasi valore tra 0 e 1, dove 1 rappresenta la situazione in cui gli oggetti (per esempio i tipi di suolo) sono equiprobabili (ad esempio quando occupano la stessa area), e tende a 0 dove vi è una distribuzione di abbondanza relativa altamente non uniforme (quando un oggetto domina sugli altri).

Infine, è stata eseguita una correlazione generale tra le categorie di toponimi, la pedodiversità, la diversità paesistica, la topodiversità, la superficie comunale, l'altitudine, la pendenza e i dati chimico-fisici e pedogeochimici attraverso l'**analisi dei fattori principali** (PFA - *Principal Factor Analysis*).

Per la descrizione in dettaglio di come è stata realizzata tale tecnica di statistica multivariata si rimanda al paragrafo 5.1.1.5 del Capitolo 5.

6.4 Risultati

6.4.1 Traduzione dei toponimi

I risultati dalle traduzioni mostrano i seguenti aspetti:

- la fascia costiera del Golfo di Oristano conta 4857 toponimi (circa 4 toponimi per km²);
- circa il 60% dei toponimi totali (2971) è chiaramente riferibile alla lingua sarda e il 40% a quella italiana;
- è stato possibile tradurre circa il 46% dei 4857 toponimi totali raccolti da varie fonti (figura 6.3). La percentuale sale all'80% se si considerano i toponimi tradotti rispetto al totale dei toponimi indagati (in lingua sarda), che ammontano a circa 2800. Per toponimi indagati si intende i toponimi presi in considerazione per la traduzione (TPCT), quindi tutti i toponimi ad esclusione delle opere antropiche e dei toponimi in italiano.

I toponimi tradotti (TT) ammontano quindi a 2252, mentre di circa 550 toponimi in lingua sarda non si è riusciti, allo stato attuale, a fornire una traduzione (TNT). Circa l'11% dei toponimi totali risulta quindi caratterizzato da significato del tutto ignoto, in quanto non è stato trovato nei dizionari consultati.

Dei 2252 toponimi tradotti, come si può osservare in figura 6.3, il 68,38% ha significato etimologico ampiamente riconosciuto ed accettato dagli studiosi di etimologia e toponomastica (SC). Il 13,10% ha un significato che è stato svelato grazie alle interviste e alla deduzione da termini simili o comunque facilmente traducibili (CP). Esistono infatti numerosi "toponimi trasparenti", cioè quelli di cui il comune parlante di lingua sarda afferra immediatamente il significato, ad esempio, *funtana*, *monte*, *ortu*, *riu*, etc.), mentre i toponimi riferiti a nomi di persona (antroponimi, che ricordano nomi e cognomi, o soprannomi, dei detentori dei fondi in epoche passate) e alle tradizioni religiose (agionimi, nomi di Santi) ammontano al 7,19% (AA).

All'11,32 % ammontano invece i toponimi con significato incerto (SI), cioè quei toponimi per i quali i differenti studiosi di linguistica sarda mostrano incertezze/discrepanze, in quanto le loro opinioni sul preciso significato del

toponimo non concordano. Sono stati catalogati come toponimi con significato incerto anche quelli che sono stati tradotti solo parzialmente.

Tuttavia, queste percentuali risultano fortemente variabili a seconda del paese preso in considerazione (tabella 6.2).

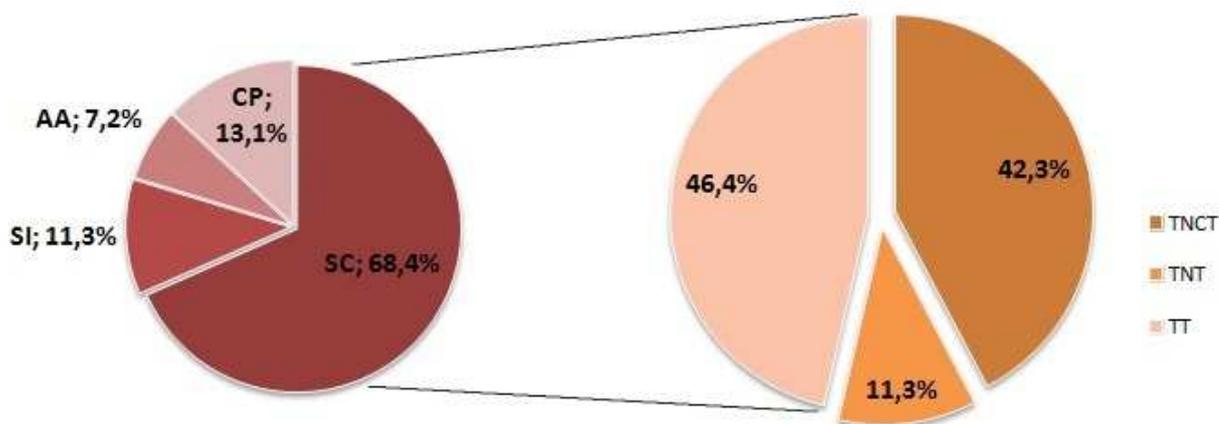


Figura 6.3. Risultati della traduzione dei toponimi.

TNCT = toponimi non considerati per la traduzione (opere antropiche e toponimi in italiano)

TNT = toponimi non tradotti (significato ignoto)

TT = toponimi tradotti

I toponimi tradotti (2252, 46,4%) sono così suddivisi:

SC = significato certo

SI = significato incerto

AA = antroponimi e agionimi

CP = conoscenze popolari

	In italiano e in sardo		In italiano		In italiano e in sardo		In sardo								Toponimi totali
	Toponimi riferiti ad elementi antropici		Toponimi riferiti a componenti naturali del paesaggio		Antroponimi e Agionimi		Significato ignoto		Conoscenze popolari		Significato incerto		Significato certo		
PAESE	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	
Arborea	21	5,53	309	81,32	0	0,00	10	2,63	3	0,79	8	2,11	29	7,63	380
Arbus	88	7,39	251	21,07	50	4,20	176	14,78	121	10,16	57	4,79	448	37,62	1191
Cabras	26	6,60	82	20,81	15	3,81	69	17,51	8	2,03	32	8,12	162	41,12	394
Cuglieri	83	19,39	58	13,55	10	2,34	81	18,93	1	0,23	30	7,01	165	38,55	428
Guspini	55	7,32	327	43,54	24	3,20	61	8,12	36	4,79	31	4,13	217	28,89	751
Marrubiu	9	4,29	95	45,24	7	3,33	11	5,24	12	5,71	11	5,24	65	30,95	210
Narbolia	7	5,69	24	19,51	0	0,00	23	18,70	16	13,01	8	6,50	45	36,59	123
Nurachi	5	6,67	16	21,33	1	1,33	7	9,33	11	14,67	9	12,00	26	34,67	75
Oristano	7	1,57	281	63,15	12	2,70	25	5,62	20	4,49	20	4,49	80	17,98	445
Palmas Arborea	11	7,80	58	41,13	3	2,13	12	8,51	9	6,38	4	2,84	44	31,21	141
Riola Sardo	4	2,78	15	10,42	11	7,64	25	17,36	9	6,25	17	11,81	63	43,75	144
San Vero Milis	6	2,93	45	21,95	8	3,90	20	9,76	25	12,20	13	6,34	88	42,93	205
Santa Giusta	8	3,57	97	43,30	14	6,25	10	4,46	11	4,91	12	5,36	72	32,14	224
Terralba	3	2,05	64	43,84	7	4,79	18	12,33	13	8,90	3	2,05	36	24,66	146
TOTALI	333	6,86	1722	35,45	162	3,34	548	11,28	295	6,07	255	5,25	1540	31,71	4857

Tabella 6.2. Risultati della traduzione dei toponimi.

6.4.2 Categorizzazione dei toponimi

Il 58% dei toponimi indagati (1617 toponimi) presenta un significato connesso più o meno direttamente ad una specifica componente ambientale.

In base alle classificazioni effettuate è emerso che la categoria dominante, tralasciando la categoria **ALTRO**, è la categoria **MORFOLOGIA**, rappresentante il 10,50% dei toponimi totali e avente densità di 0,41 toponimi/km².

Al secondo e terzo posto vi sono rispettivamente la categoria **VEGETAZIONE**, rappresentante il 4,36% dei toponimi totali e la categoria **MORFOLOGIA/VEGETAZIONE**, rappresentante il 4,26% dei toponimi totali, entrambe con densità di 0,17 toponimi/km². Segue la categoria **SUOLO/MORFOLOGIA** (3,42%, con densità di 0,13 toponimi/km²).

La morfologia e la vegetazione rappresentano infatti i più importanti e riconoscibili fattori ambientali caratterizzanti l'area di studio (Capra et al., 2015). Gli elementi morfologici

hanno storicamente rappresentato un importante punto di riferimento visivo per gli abitanti del posto. Per questo motivo tantissimi toponimi contribuiscono a caratterizzare le forme del paesaggio, legate soprattutto agli aspetti pedo-morfologici.

Il quadro geografico in esame è condizionato da una morfologia estremamente articolata e dinamica costituita sia da rilievi di modesta altitudine (sistema orografico del Montiferru, del Monte Arci-Grighine e dai rilievi dell'Arburese) che dal complesso sistema di corsi d'acqua che sfociano nel Golfo, dalle vaste zone di transizione tra mare e terraferma (stagni, lagune, paludi) e dalle piane alluvionali.

Allo stesso modo, gli elementi della vegetazione sono spesso riconoscibili a colpo d'occhio e da lunghe distanze e, insieme alle forme geomorfologiche, possono essere usati come punti di riferimento geografici e come utilissimi strumenti per il riconoscimento dei luoghi (Pontecorvo, 2006). Dunque è evidente come i luoghi potessero essere identificati da nomi specifici collegati ad una particolare forma del rilievo e/o alla presenza di una particolare specie vegetale.

Le altre categorie sono meno rappresentate:

- categoria **MORFOLOGIA/FAUNA**: rappresenta l'1,65%, con densità di 0,05 toponimi/km²;
- categoria **SUOLO**: rappresenta l'1,61%, con densità di 0,06 toponimi/km²;
- categoria **USO DEL SUOLO/COPERTURA VEGETALE**: rappresenta l'1,50%, con densità di 0,05 toponimi/km²;
- **USO DEL SUOLO/FAUNA**: rappresenta l'1,38%, con densità di 0,05 toponimi/km²;
- categoria **FAUNA**: rappresenta l'1,36%, con densità di 0,05 toponimi/km²;
- categoria **GEOLOGIA**: rappresenta l'1,01%, con densità di 0,04 toponimi/km²;
- categoria **USO DEL SUOLO**: rappresenta lo 0,99%, con densità di 0,04 toponimi/km²;
- categoria **MORFOLOGIA/GEOLOGIA**: rappresenta lo 0,82%, con densità di 0,03 toponimi/km²;
- categoria **SUOLO/VEGETAZIONE**: rappresenta lo 0,35%, con densità di 0,01 toponimi/km²;
- categoria **SUOLO/GEOLOGIA**: rappresenta lo 0,19%, con densità di 0,01 toponimi/km².

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

PAESE	S	S/M	S/V	S/G	UDS	UDS/CV	UDS/F	M	M/F	M/V	M/G	G	V	F	ALTRO
Arborea	1,32%	2,37%	0,26%	0,26%	0,26%	0,00%	0,00%	1,58%	0,53%	0,26%	0,00%	0,79%	1,05%	0,00%	91,32%
Arbus	0,59%	2,43%	0,08%	0,25%	1,01%	1,76%	1,68%	16,96%	2,69%	7,64%	1,51%	1,18%	4,37%	1,01%	56,84%
Cabras	2,28%	6,09%	0,51%	0,00%	0,76%	1,27%	0,76%	9,90%	0,51%	2,54%	0,25%	0,76%	6,35%	3,05%	64,97%
Cuglieri	0,47%	0,70%	0,00%	0,23%	1,17%	1,40%	0,70%	8,88%	0,70%	4,91%	1,17%	1,40%	6,78%	1,64%	69,86%
Guspini	1,20%	1,73%	0,53%	0,27%	0,67%	1,60%	1,60%	10,12%	2,53%	4,66%	1,20%	0,53%	3,73%	1,07%	68,58%
Marrubiu	1,43%	1,43%	0,48%	0,00%	0,00%	0,00%	1,43%	7,14%	2,86%	3,81%	0,48%	0,48%	5,24%	3,81%	71,43%
Narbolia	1,63%	1,63%	0,00%	0,00%	0,81%	0,00%	0,81%	13,01%	1,63%	4,88%	0,00%	2,44%	8,13%	4,07%	60,98%
Nurachi	2,67%	12,00%	4,00%	1,33%	0,00%	1,33%	2,67%	9,33%	4,00%	0,00%	0,00%	1,33%	1,33%	5,33%	54,67%
Oristano	3,15%	1,80%	0,45%	0,22%	2,70%	2,25%	2,02%	2,70%	0,22%	1,35%	0,00%	0,67%	2,47%	0,45%	79,55%
Palmas Arborea	2,13%	2,84%	0,00%	0,00%	0,71%	2,84%	0,00%	14,89%	1,42%	2,84%	0,00%	0,00%	4,96%	1,42%	65,96%
Riola Sardo	2,78%	9,03%	1,39%	0,00%	0,69%	1,39%	2,08%	13,19%	2,08%	2,08%	0,00%	1,39%	7,64%	2,78%	53,47%
San Vero Milis	3,41%	8,29%	0,00%	0,00%	1,46%	3,90%	1,95%	10,73%	0,49%	3,90%	1,46%	2,44%	3,41%	0,49%	58,05%
Santa Giusta	2,23%	5,80%	0,45%	0,00%	1,34%	1,79%	3,13%	10,27%	0,45%	4,02%	0,45%	1,34%	4,02%	0,00%	64,73%
Terralba	4,11%	13,01%	0,00%	0,00%	0,68%	0,00%	0,00%	9,59%	2,05%	3,42%	1,37%	0,68%	4,79%	0,68%	59,59%
CATEGORIE	1,61%	3,42%	0,35%	0,19%	0,99%	1,50%	1,38%	10,50%	1,65%	4,26%	0,82%	1,01%	4,36%	1,36%	66,60%
DENSITA' (toponimi/kmq)	0,06	0,13	0,01	0,01	0,04	0,06	0,05	0,41	0,06	0,17	0,03	0,04	0,17	0,05	2,62

Tabella 6.3. Distribuzione percentuale delle categorie di toponimi per Comune e densità delle stesse.

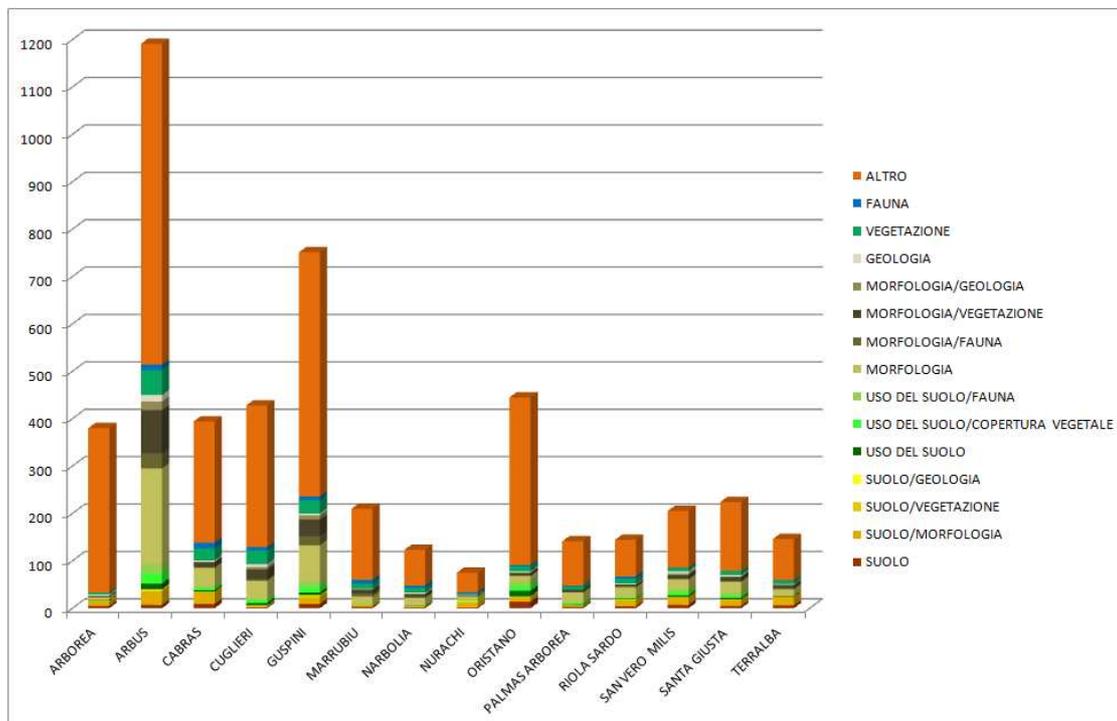


Figura 6.4. Distribuzione e categorizzazione dei toponimi per Comune.

6.4.3 Pedonimi

USO DEL SUOLO

La ricerca ha mostrato che l'area indagata, principalmente votata all'attività agro-pastorale, si caratterizza per un ricco patrimonio toponimico espressione di tali attività storicamente presenti nell'area. La Sardegna, sin dal Neolitico, è stata soggetta ad utilizzazioni diverse. L'attività più antica è certamente quella pastorale e successivamente agricola (Aru et al., 1991). Le categorie dei toponimi legate all'uso del suolo (UDS, UDS/CV, UDS/F) sono più rappresentate nei comuni di S.Vero Milis (7,31%), Oristano (6,97) e Santa Giusta (6,26%). I toponimi legati all'uso del suolo riguardanti l'agricoltura sono per esempio: *bingia*, *binzale* (vigna), *ortu* (orto), *narboni* (terreno totalmente dissodato per la prima volta, maggese; suolo arativo), *cungiau* (terreno coltivato chiuso), *inferchida* (sito pieno di piante innestate); per la pastorizia si hanno toponimi riguardanti il pascolo: *campu masonis* (campo in cui si trova un branco di bestiame minuto; recinto per le pecore), *coa 'e nueddas* (la fine del pascolo primaticcio), *meriagu* (sito ombroso dove si ripara il gregge dal sole di mezzogiorno), *accorradroxiu* (raduno del bestiame, per esempio *is accorru de is eguas*), *cracheris* (pascoli ghiandiferi), *stacoxius* (i terreni per ingrasso), *pasturas*, *pastureddas* (pascoli, piccoli pascoli), *mandra* (recinto per gli animali), *crabile* (ricovero, recinto per i caprini), *cuile* (ricovero, recinto per gli ovini), *porchile* (ricovero, recinto per i suini), *bachile* o *corte baccas* (ricovero, recinto per i bovini), *mascaminis* (pascolo riservato agli agnelloni e ai montoni).

Altri nomi intermedi tra le attività agricole e pastorali possono essere: *tanca* (luogo cintato, chiuso, in tutto o in parte), *padru* o *pardu* (prato comunale, territorio pianeggiante), *gora acquidroxiu* (solco trasversale nei campi per raccogliere le acque, abbeveratoio, punto d'acqua dove il bestiame si abbevera), *pabarile* (parte di un territorio non coltivata ma lasciata a pascolo, nel turno alterno, semina-pascolo, di rotazione annuale o biennale), *bidazzoni* (terre comprendenti i seminativi, le vigne e i pascoli del bestiame).

Di numero esiguo sono invece i toponimi che fanno riferimento all'uso del suolo quale la copertura boschiva o arbustiva, in quanto questi usi del suolo sono i meno rappresentati nell'area di studio: *struvonica* (terreno coperto di cespugli di macchia), *padenti* (bosco comunale), *sartu*, *sarticheddu* (sito selvaggio coperto da foresta).

SUOLO

- Categoria SUOLO: il paese più ricco di toponimi riferiti al suolo è Oristano (14 toponimi), tuttavia se si rapportano al numero totale dei toponimi la distribuzione percentuale maggiore si ha a Terralba (4,11%) con una densità di 0,15 toponimi/km² seguito subito dopo da San Vero Milis (3,41%) con densità pari a 0,10 toponimi/km² e da Oristano (3,15%) con densità di 0,16 toponimi/km².
Ad Arborea invece, altro paese a grandissima vocazione agricola, la distribuzione dei toponimi legati al suolo, al contrario di quanto ci si aspetterebbe, è solo dell'1,32% (solo 5 toponimi in tutta la superficie comunale). In questo comune, che ha subito una profonda riconfigurazione spaziale ad opera dei lavori di bonifica idraulica ed agraria realizzati agli inizi del XX secolo, inoltre, è altissima la percentuale di toponimi non presi in considerazione per la traduzione perché di natura antropica e spesso in italiano (fanno parte delle categoria ALTRO): *canale adduttore irriguo, canale ripartitore irriguo, colatore* etc, e tantissimi sono i toponimi (circa 150) che identificano le terre con la sola denominazione facente riferimento al numero del podere.
- Categoria SUOLO/MORFOLOGIA: il numero maggiore di toponimi si ha ad Arbus (29 toponimi), con una distribuzione del 2,43%. È infatti il più grande comune per estensione territoriale ed è caratterizzato da una geomorfologia aspra: sullo sfondo dell'arco costiero dell'arburese vi è il vasto sistema montano che si sviluppa in profondità nell'entroterra secondo un'articolata dorsale orografica, spesso interrotta da incisioni vallive che possono ospitare ristrette piane costiere. Di conseguenza il territorio di questo paese è ricco di toponimi più propriamente legati alla morfologia. La maggiore distribuzione si ha invece a Terralba (13,01%) che mostra una densità pari a 0,47 toponimi/km². Si tratta in questo caso soprattutto di toponimi che indicano la presenza di *pauli* (paludi), quindi legati sia al suolo che alla morfologia del territorio.
- Categoria SUOLO/VEGETAZIONE: il paese più ricco di toponimi riferiti a questa categoria è Guspini (4 toponimi), tuttavia a Nurachi si ha la distribuzione maggiore pari al 4,00% dei toponimi totali del paese, con una densità di 0,19 toponimi/km².
- Categoria SUOLO/GEOLOGIA: a questa categoria appartengono in generale pochissimi toponimi (solo 9 in tutto il territorio analizzato); il maggior numero di

toponimi si registra ad Arbus (3 toponimi), tuttavia a Nurachi si ha la distribuzione maggiore (1,33%), con una densità di 0,06 toponimi/km².

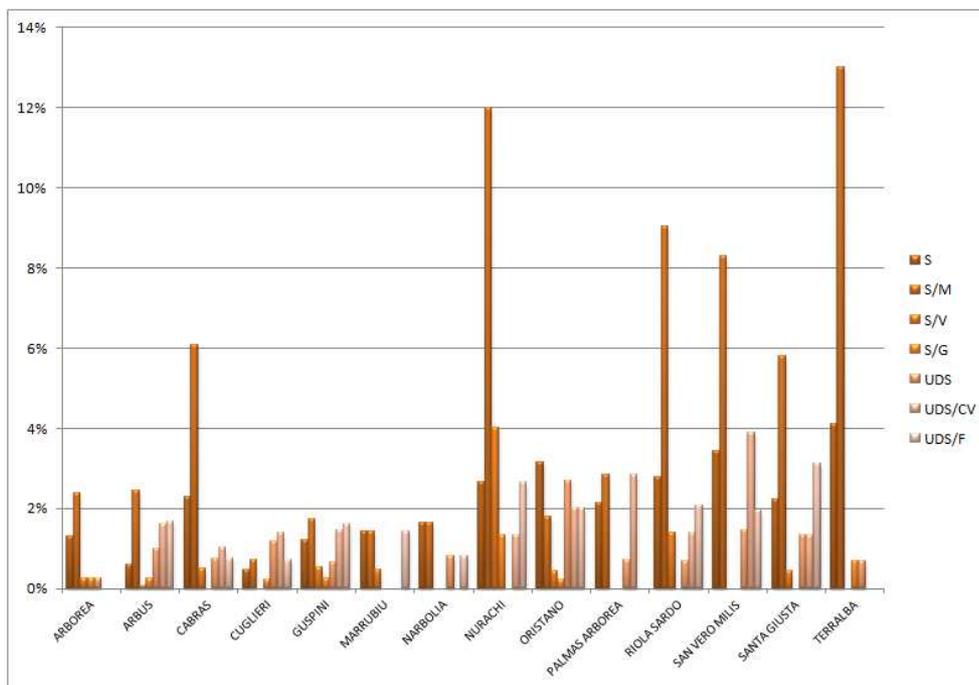


Figura 6.7. Distribuzione percentuale dei pedonimi per Comune.

6.4.4 Rappresentazioni cartografiche

La figura 6.8a indica la distribuzione dei toponimi tra le varie categorie d'appartenenza per ciascun comune. Tendenzialmente a comuni con superfici maggiori corrisponde un maggior numero di toponimi: il comune di Arbus, con i suoi 270 km² di estensione, possiede ben 1191 toponimi, il comune di Guspini (175 km²) ne ha 751, mentre il piccolo comune di Nurachi (16 km²) ha solo 75 toponimi.

Al fine però di evitare l'influenza della dimensione della superficie comunale (che varia ampiamente da un comune all'altro), la distribuzione dei toponimi è stata anche analizzata in termini di densità (n° toponimi/km²). Dalla figura 6.8b emerge che è Oristano ad avere la maggior densità nel numero di toponimi (5,19 toponimi/km²), seguito da Nurachi (4,69 toponimi/km²) mentre San Vero Milis e Riola Sardo possiedono la minore densità (rispettivamente 2,82 toponimi/km²).

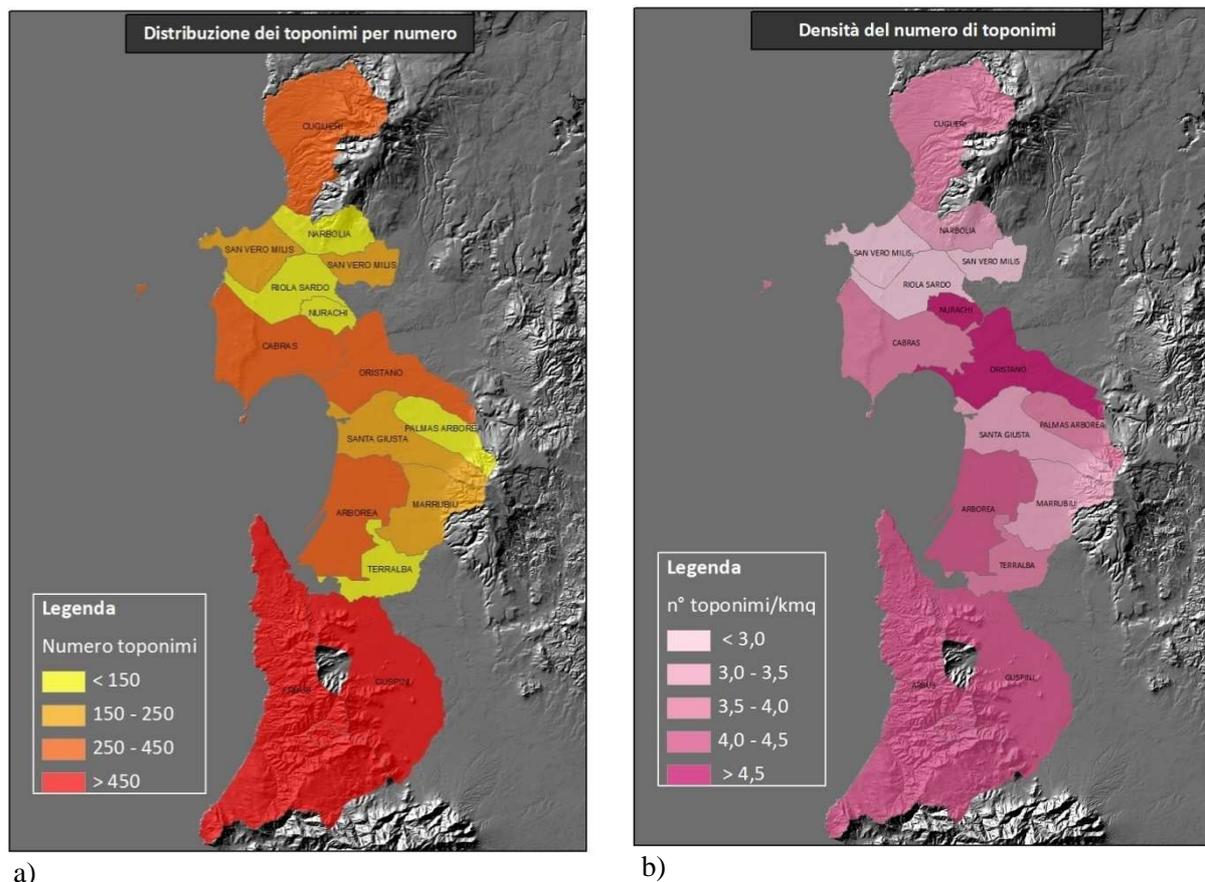


Figura 6.8. Carta della distribuzione (a) e della densità (b) dei toponimi.

6.4.5 Conoscenze scientifiche e indigene sulla risorsa suolo

Le conoscenze locali sul suolo (desumibili dal significato dei toponimi) sono strettamente comparabili con le conoscenze scientifiche. In tabella 6.4 è mostrata la comparazione tra le conoscenze indigene rappresentate dai toponimi relativi al suolo (pedonimi) e i suoli prevalenti a livello di Sottogruppo (Soil Survey Staff, 2014), presenti nella Carta dei suoli della Sardegna (Aru et al., 1991) e nelle cartografie pedologiche (qualora esistenti) predisposte dai singoli comuni nell'ambito dell'aggiornamento del PUC al PPR.

È stata però condotta una scrematura, dai 458 toponimi iniziali legati al suolo e agli usi del suolo si è scelto di eliminare, a seguito della verifica su cartografia e ortofoto, quelli attualmente ricadenti in aree coperte da acque (lagune e stagni costieri).

I toponimi legati alle caratteristiche del suolo e all'uso del suolo nell'area indagata confrontati con le Carte sono perciò 395, di questi quasi la maggior parte (37,7%) sono relativi alla scarsa permeabilità del suolo, il 35,9% è legato alla gestione del suolo (attività agro-pastorali), il 14,7% descrive la tessitura del suolo (ghiaiosa, sabbiosa, argillosa), il

7,6% sono toponimi legati all'elevata fertilità del suolo, il 2,5% riguarda l'elevato contenuto in sali e l'1,0% la presenza di argille rosse. Solamente una piccola percentuale (0,5%) è riferibile alla bassa fertilità del suolo.

È evidente che questa categorizzazione rispecchia la conformazione fisica della zona, ricca di paludi (*pauli*) e zone acquitrinose, quindi aree spesso salmastre con suoli a matrice limoso-argillosa e a bassa permeabilità. La peculiare posizione dell'area indagata, posta fra mare, stagni, paludi, fiume Tirso, colline e pianure fertili, ha fatto sì che le abbondanti risorse naturali costituissero la base della vita sociale ed economica dell'Oristanese, offrendo opportunità di lavoro ad agricoltori, allevatori e pescatori.

Le categorie elencate (rappresentate cartograficamente in figura 6.9) descrivono principalmente le caratteristiche del suolo facilmente riconoscibili dagli utilizzatori delle terre, interessati soprattutto all'agricoltura e al pascolo. Per questo motivo il maggior numero di pedonimi è legato alle proprietà del suolo più "visibili" e di facile descrizione, la cui comprensione e localizzazione è di fondamentale importanza per le necessità agricole (pedonimi legati alla permeabilità, alla gestione agricola e pastorale, alla tessitura). Viceversa, le proprietà del suolo meno visibilmente riconoscibili sono individuate da pochi pedonimi (pedonimi legati alla salinità, alla fertilità), così come pochissimi pedonimi indicano caratteristiche del suolo non direttamente sfruttabili per le attività agropastorali (pedonimi legati alla presenza di argille rosse).

Osservando la figura 6.9, inoltre, salta subito all'occhio che in territorio di Arbus (a sud-ovest dell'area di studio) esistono tanti pedonimi legati alle attività agricole. In questo comune vi era infatti una maggiore necessità di denominare i luoghi in riferimento alla coltivazione, in quanto la morfologia più accidentata e collinare di quest'area rende le zone coltivate o potenzialmente coltivabili meno evidenti e quindi più difficilmente localizzabili rispetto a quelle poste in pianura (quindi riconoscibili con maggior facilità).

Dalla ricerca emerge dunque che i toponimi relativi al suolo forniscono un'immediata descrizione delle caratteristiche legate alla possibilità di sfruttamento della risorsa suolo o alle sue limitazioni (tabella 6.5).

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

Suoli prevalenti	T			TC	F		S	G		P	Pedonimi totali	
	G	S	A	AR	E	B	A	A	P	B		
Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs	9	18	3	1	6	2	2	16	31	62	150	
Typic, Dystric e Lithic Xerorthents; Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts	3	8	3	1	5	0	3	36	23	17	99	
Lithic e Typic Xerorthents; Lithic e Typic Rhodoxeralfs; Lithic e Typic Xerochrepts	1	2	0	2	0	0	2	5	0	10	22	
Typic e Vertic Fluvaquents	0	2	0	0	0	0	0	1	0	6	9	
Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents	0	3	1	0	11	0	0	5	11	22	53	
Lithic e Typic Calcixerolls	0	1	1	0	3	0	1	2	9	15	32	
Typic Salorthids	1	0	2	0	5	0	2	2	1	17	30	
	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 6.4. Categorie e sottocategorie dei pedonimi e loro corrispondenza con i suoli prevalenti.

T Tessitura: **G** = ghiaiosa, **S** = sabbiosa, **A** = argillosa

TC Tessitura e colore: **AR** = argilla rossa

F Fertilità: **E** = elevata, **B** = bassa

S Salinità: **A** = alta

G Gestione: **A** = attività agricole, **P** = attività pastorali

P Permeabilità: **B** = bassa

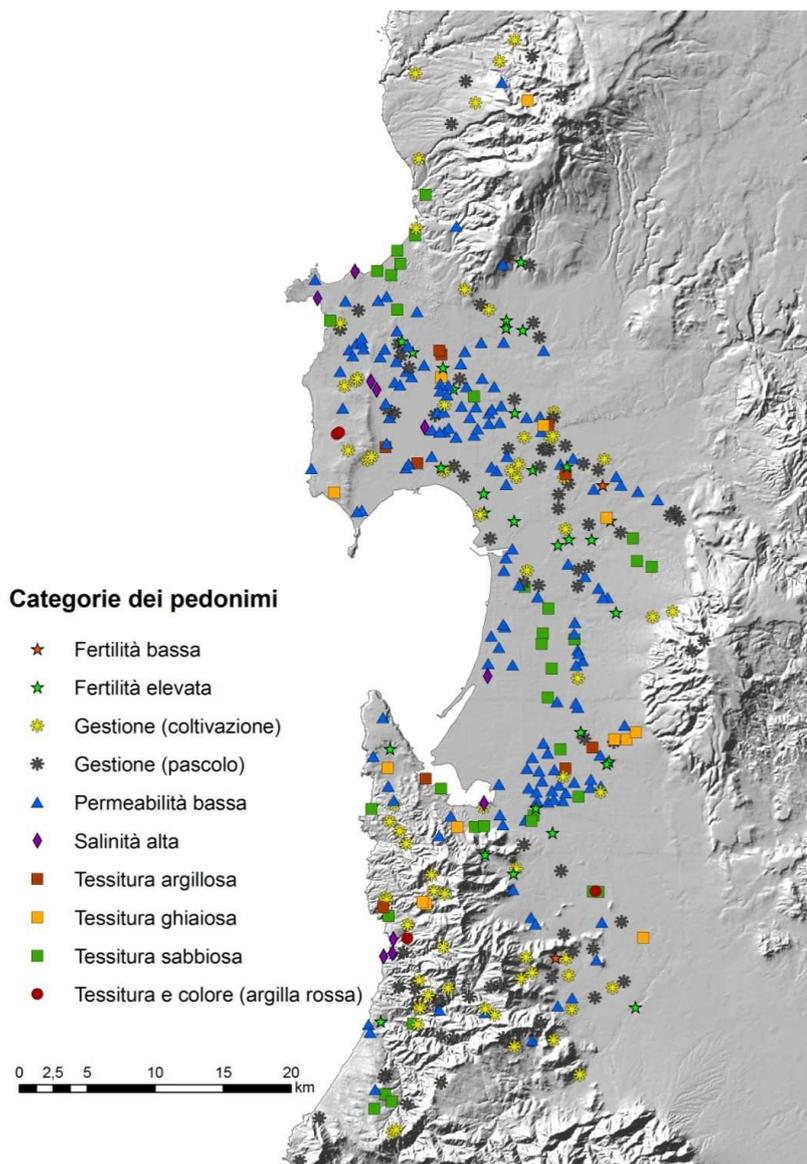


Figura 6.9. Carta della distribuzione dei pedonimi.

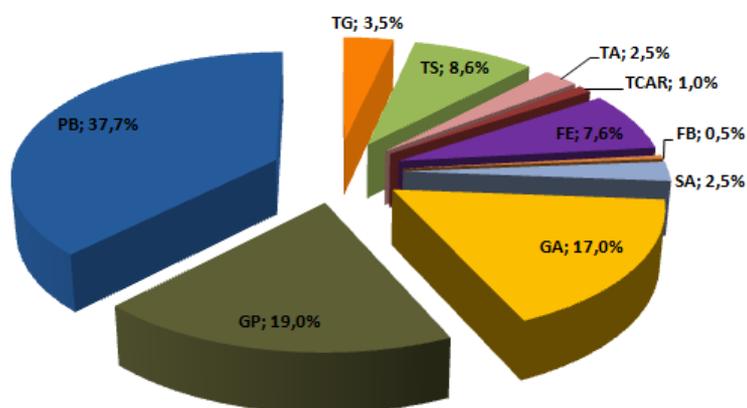


Figura 6.10. Distribuzione percentuale delle categorie dei pedonimi.

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

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
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,

Pedonimi	Categorie e sottocategorie	Comune	Traduzione	Suoli prevalenti
				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 Palixeralfs
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 Palixeralfs
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 Palixeralfs
Sos piscinales	Permeabilità bassa	Cuglieri	gli acquitrini (Miglior, 1987)	Typic, Dystric e Lithic Xerorthents; Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts

Tabella 6.5. Alcuni esempi di pedonimi suddivisi in categorie e sottocategorie.

6.4.5.1 Descrizione delle categorie di pedonimi

Fertilità elevata

I pedonimi che indicano suoli molto fertili si trovano nelle aree caratterizzate principalmente da Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents. Gli Xerofluvents sono Entisuoli con regime di umidità xerico, tipici delle piane alluvionali, profondi, debolmente sviluppati o di origine recente, privi di orizzonti diagnostici ben definiti e con profilo di tipo A-C. Sono suoli di buone caratteristiche generali e che si prestano bene all'agricoltura. I substrati sono rappresentati da alluvioni recenti o attuali normalmente stratificate ed a granulometria variabile, con orizzonti per lo più incoerenti o poco cementati (Typic Xerofluvents). La maggior parte di questi sedimenti deriva dall'erosione di suoli e dei substrati posti nel bacino imbrifero del corso d'acqua da cui si originano e contiene un certo quantitativo di sostanza organica, soprattutto nella frazione molto fine. Ed è noto che i suoli a tessitura più fine sono naturalmente più fertili. Le buone caratteristiche pedoagronomiche sono limitate principalmente da problematiche legate all'eventuale presenza di scheletro, o di tessiture troppo fini che determinano difficoltà di drenaggio (se non veri e propri ristagni idrici) oppure alla presenza di falde freatiche superficiali. Sono comunque limitazioni all'uso agricolo modeste e non compromettono la grande validità di questi suoli dal punto di vista agricolo.

In particolare, tra le terre molto fertili vi sono principalmente i terreni chiamati localmente *isca*, "sito acquitrinoso, terreno paludoso e fertile" (Paulis, 1987). Sono suoli argillosi e fertili situati lungo il corso inferiore dei fiumi e dei torrenti e dietro la fascia dunale costiera (Aru et al., 1961; Vacca et al., 2015).

Le argille che vi si riscontrano derivano dal prosciugamento e dalla bonifica di stagni e paludi ed hanno dato origine a terreni idromorfi, spesso soggetti ad eccessiva saturazione idrica (sottogruppo Aquic). Si possono trovare nelle aree dove la giacitura non permette un normale sgrondo delle acque meteoriche (come lungo la porzione terminale ed in prossimità della foce dei corsi d'acqua), le quali possono saturare il suolo per una buona parte dell'anno.

Le *iscas*, atte principalmente alle colture orticole, presentano fertilità chimica e capacità di scambio cationico molto elevata, hanno infatti proprietà vertiche e molliche. Sono caratterizzate durante la stagione asciutta da profonde e larghe fessurazioni (sottogruppo

Vertic); tale fenomeno è dovuto alla presenza di minerali argillosi a reticolo espandibile (del tipo smectiti) che si rigonfiano con l'aumento dell'umidità e si contraggono nei periodi più aridi.

Gli Xerofluents, prevalentemente nella bassa valle del Tirso, possono essere caratterizzati da un orizzonte superficiale lavorato (orizzonte A_p), di colore scuro, che presenta molte delle caratteristiche tipiche dell'orizzonte mollico (sottogruppo Mollic): struttura grumosa o granulare, elevata porosità, buon contenuto in sostanza organica, elevata saturazione in basi etc. I suoli appartenenti a questo sottogruppo sono tra i suoli più fertili dell'Isola e dell'Oristanese in particolare. Questi suoli hanno infatti un'elevata attitudine all'agricoltura, soprattutto per quella intensiva. Si tratta quindi di aree ad elevata produttività e con notevole capacità d'uso poiché quasi prive di fattori limitanti.

Ai Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluents fanno parte anche i suoli indicati col pedonimo *bennaxi* e i suoi derivati (*bennaxeddu*, *bennaxi mannu* etc.), che viene tradotto dagli studiosi di linguistica sarda come “luogo basso e acquitrinoso” (deriva da *bèna* cioè polla, vena d'acqua) (Paulis, 1987).

Come le *iscas*, sono terreni che si originano dai depositi alluvionali recenti. Occupano i terrazzi fluviali più bassi, formati da elementi granulometricamente fini e talvolta finissimi (limosi o limosi argillosi, quasi completamente privi di elementi grossolani) (Aru et al., 1961; Vacca et al., 2015). Sono suoli particolarmente fertili e facilmente lavorabili (con caratteri vertici e mollici), presentano dunque elevate potenzialità per l'uso agricolo. Si estendono nella zona limitrofa al corso del Tirso, le cui periodiche esondazioni hanno distribuito sulle aree inondate una coltre di depositi fini ricchi di materia organica e dotati di grande capacità fertilizzante. Anche per i *bennaxi* il sottogruppo Aquic indica che tali Xerofluents possono presentare una saturazione in acqua entro 1,5 m dalla superficie per un certo periodo di tempo, infatti la giacitura è spesso depressa e può creare problemi di ristagni idrici e conseguenti fenomeni, più o meno spinti, di idromorfia del suolo.

I pedonimi *terra santa* e *terra manna*², presenti nel Sinis (Riola Sardo) e nell'Oristanese (Santa Giusta) fanno riferimento anch'essi alla fertilità elevata del suolo.

Si tratta di Lithic e Typic Calcixerolls e di Typic Salorthids. I primi sono suoli poco diffusi

² Il toponimo *terra manna* potrebbe anche avere un'accezione slegata alla qualità del suolo, infatti *terra manna* (“terra grande”, dal lat. *terra* + *magna*) era il nome che i sardi nel passato davano alla penisola italiana, e *terramannesu-a* era il relativo abitante. In altri termini *terramanna* e *terramannesu* erano quelli che attualmente i sardi chiamiamo *Continente* e *Continentale* (Pittau, 2013).

nell'Isola (localizzati soprattutto nel circondario Riola-Cabras e in alcune zone del Sinis settentrionale) che fanno parte dell'Ordine dei Mollisuoli, caratterizzati da un orizzonte superficiale (orizzonte mollico) abbastanza profondo, di colore scuro e dominato da cationi bivalenti. In particolare, il sottogruppo Calcixerolls è caratterizzato da un orizzonte di accumulo di carbonati che può presentarsi sotto forma polverulenta, farinosa (orizzonte calcico), oppure nodulare o concrezionale più o meno cementato (orizzonte petrocalcico). Il contenuto in elementi nutritivi è variabile, mentre la sostanza organica raggiunge percentuali da medie ad elevate, contribuendo alla formazione di un'aggregazione poliedrica sub angolare fine o grumosa e ad un'elevata porosità. La potenzialità produttiva di questi suoli è abbastanza elevata, le principali limitazioni riguardano la scarsa profondità e l'eccesso di carbonati.

I Typic Salorthids invece fanno riferimento alle aree fertili che si possono trovare nelle aree pianeggianti o depresse prospicienti gli stagni retro costieri o nelle aree bonificate, che presentano in profondità tenori significativi di sali solubili. I suoli del sottogruppo Typic Salorthids sono Aridosuoli caratterizzati dalla presenza di un orizzonte salico e dall'eccesso di umidità per gran parte dell'anno. In questo caso, in contraddizione con quanto esprime il toponimo, la fertilità del suolo è molto bassa e così pure la potenzialità produttiva.

Fertilità bassa

I pedonimi che indicano la bassa fertilità del suolo sono solo due in tutta l'area indagata e si trovano nei Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs. Si tratta di suoli non particolarmente fertili, poveri in nutrienti e sostanza organica.

Essi sono: *narboni malus* (Guspini), terreno cattivo totalmente dissodato per la prima volta, maggese, suolo arativo (Dedola, 2012) e *gregori* (Oristano), terra rossiccia, sabbiosa e debole (Paulis, 1987).

I gregori si originano dai depositi alluvionali antichi del Pleistocene (Aru et al., 1961; Vacca et al., 2015) ciottolosi e sabbiosi, con prevalenze di elementi cristallini derivati dai rilievi che contornano il Campidano. Sono suoli scarsamente fertili e caratterizzati da un'evoluzione pedogenetica molto spinta. Si presentano talvolta di colore rossastro per ferrettizzazione e lisciviati a pseudoglay.

La loro evoluzione ha condotto alla formazione in profondità di un orizzonte di accumulo

di argille e di minerali dilavati dagli orizzonti più superficiali o comunque dalle acque di percolazione (processo di eluvi azione-illuviazione). Questo orizzonte di accumulo rappresenta un ostacolo alla penetrazione delle acque e degli apparati radicali. In funzione della profondità a cui si trova possono comparire ristagni idrici più o meno prolungati.

I *gregori* mostrano un elevato tenore in scheletro, un alto grado di dispersione della frazione argillosa, un elevato tenore in colloidali e una permeabilità molto bassa. Sono generalmente suoli acidi, privi di carbonato di calcio e poveri di sostanza organica e di elementi nutritivi. Questi terreni compatti e impermeabili sono difficili da lavorare e quindi non sono adatti alle colture ma piuttosto alla pastorizia (da cui il nome di *gregori*, dal latino *grex* = gregge) (Vodret, 1950).

Tessitura

Le aree caratterizzate da suoli poco fertili, anche se risultano di discreto interesse agricolo, come i Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs, i Typic, Dystric e Lithic Xerorthents, i Dystric e Lithic Xerochrepts e i Typic Salorthids, sono chiaramente individuate da toponimi che indicano importanti limitazioni.

Per esempio, alla **tessitura sabbiosa**, indicata da toponimi come *is arenas*, *cuccuru arena*, *s'arenighedda* (sabbia e suoi diminutivi, Paulis, 1987), è spesso legata la scarsa presenza di sostanza organica. I pedonimi che indicano la tessitura sabbiosa sono localizzati più frequentemente negli Alfisuoli (Palexeralfs). Si tratta di suoli evoluti, tipici delle aree alluvionali terrazzate del Pleistocene, che hanno subito per lungo periodo l'azione degli agenti del clima e che sono pertanto piuttosto alterati (presentano infatti talvolta un orizzonte cambico), con sviluppo notevole del profilo, generalmente oltre i 100 cm, diversamente caratterizzati in funzione della componente tessiturale e della permeabilità (Arenic Palexeralfs sulle dune ed Aquic Palexeralfs sulle alluvioni). In tali suoli la fertilità chimica è generalmente piuttosto bassa, non sono particolarmente dotati in nutrienti e sostanza organica, presentano modesta capacità idrica e talvolta eccessiva permeabilità.

Un caso a parte costituisce il toponimo *sassu*, che designa l'immenso stagno in territorio di Arborea, bonificato agli inizi del XX secolo ed ora soggetto ad agricoltura ed allevamenti di tipo intensivo (Dedola, 2012). Tale toponimo presenta però una duplice interpretazione da parte degli studiosi di linguistica sarda: secondo il Paulis e il Pittau è legato alla tessitura e significa "sasso, sabbione" (dal lat. *saxum*), secondo il Dedola significa invece

“salato” (dal lat. *salsum*). Tale stagno era infatti salato ed i terreni di risulta furono sottoposti a intensi trattamenti di bonifica desalinizzante. Si rinviene nei Typic e Vertic Fluvaquents, che derivano da sedimenti recenti e hanno tessitura argillosa o argillo-limosa e un drenaggio lento o impedito.

Potenzialità produttive relativamente modeste contraddistinguono anche i suoli dell'ordine degli Inceptisuoli (Xerochrepts) delle alluvioni oloceniche, che comprendono suolo di diverse fasi, sia sabbiose che argillose.

La **tessitura argillosa** può rappresentare un ostacolo alla produttività, in quanto gli elevati tenori di argilla pongono seri problemi di fertilità. Esempi di pedonimi che fanno chiaro riferimento alla tessitura argillosa sono: *ludosu* (fangoso, Paulis, 1987), *su fangarazzu* (fangaia, Paulis, 1987), *sa lugiana* (argilla, limo, Dedola, 2012), *terra 'e mai* (terra argillosa, Miglior, 1989) e si trovano spesso oltre che negli Inceptisuoli anche negli Entisuoli.

Anche in quest'ordine si possono infatti trovare pedonimi che fanno riferimento alla tessitura (sabbiosa, argillosa, ghiaiosa). Gli Xerorthents tipici hanno profilo A-C, sono profondi oltre 50 cm e non presentano fenomeni di saturazione idrica anche temporanea per tutto lo spessore del profilo. A questi suoli si associano quelli del sottogruppo Lithic, poco profondi con spessore inferiore a 50 cm (20-40 cm). Lo scarso spessore del suolo (che riduce notevolmente la massa di suolo a disposizione delle radici), la moderata umidità e la bassa fertilità costituiscono le limitazioni principali, che si accentuano nel sottogruppo litico. La scelta delle colture (soprattutto erbacee foraggere) è quindi ridotta.

Pedonimi che indicano la tessitura argillosa sono presenti anche nei Palexeralfs (diffusi nelle alluvioni del Pleistocene e in particolare nei suoli del sottogruppo Aquic, caratterizzati da una ampia lisciviazione, da una scarsa permeabilità e da un lento drenaggio che a tratti diventa impedito) e nei Salorthids (suoli salini spesso ricchi in argilla).

La **tessitura ghiaiosa** è descritta da relativamente pochi pedonimi, come per esempio *margongiada* (sito pieno di cumuli di sassi, Miglior, 1989), *su pedrosu* (pietoso, Paulis, 1987). Sono localizzati soprattutto in suoli quali i Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs, Typic, Dystric e Lithic Xerorthents e i Typic, Dystric e Lithic Xerochrepts. In tali suoli è frequente la massiccia presenza di scheletro, anche grossolano. La pietrosità superficiale è associata spesso ad affioramenti di roccia di varia ampiezza, tale da

richiedere talvolta interventi di spietramento.

I suoli del sottogruppo Lithic Xerochrepts presentano un contatto litico (cioè un limite col materiale litoide sottostante) entro 50 cm dalla superficie e/o interruzioni dell'orizzonte cambico, ad intervalli regolari, per effetto di affioramenti rocciosi.

Tessitura e colore (argille rosse)

I pedonimi la cui traduzione svela la presenza di argille rosse (*piscina arrubia*, *pozza d'acqua*, *pozzanghera rossa*, Dedola, 2012) sono spesso localizzati in aree caratterizzate da Lithic e Typic Rhodoxeralfs, cioè da Alfisuoli contraddistinti da consistente illuviazione di parti fini e finissime che concorrono alla formazione di un orizzonte profondo arricchito in argilla e denominato "orizzonte argillico", il quale manifesta colori rosso-brunastri (sono le tipiche *terre rosse* mediterranee delle vecchie classificazioni europee).

Permeabilità

Tantissimi pedonimi fanno riferimento alla bassa permeabilità del suolo. Si tratta per la maggior parte di toponimi che indicano la presenza di suoli pantanosi e siti acquitrinosi: *paùli* (paludi, dal lat. *palus, paludis*, Dedola, 2012), *pischina*, *piscina* (*pozza d'acqua*, *pozzanghera*, Paulis, 1987), *(b)èna* (polla, vena d'acqua, tratto di terreno basso e acquitrinoso d'inverno e verde d'estate, Paulis, 1987) e i suoi derivati (che indicano luoghi bassi e acquitrinosi, Paulis, 1987) quali *benazili*, *benatzu*, *bennaxi*.

Si ricorda che le zone paludose offrivano in passato importanti fonti di guadagno alle classi povere, con lo sfruttamento delle risorse costituite dai materiali palustri, canne e arbusti che venivano comunemente utilizzati per l'esecuzione di alcuni lavori agricoli, la costruzione di capanne, di imbarcazioni utilizzate per la pesca (*is fassois* di Cabras), di stuoie, di incannicciati, di contenitori e di cesti (Manca, 1995).

I suoli in cui si trovano le aree paludose sono principalmente argillosi, poco profondi e con bassa o bassissima capacità di infiltrazione in cui, quindi, l'acqua meteorica filtra con molta difficoltà e permane in superficie. Solitamente presentano la roccia sottostante impermeabile o semi-impermeabile che impedisce il drenaggio verticale.

I suoli in cui si trovano tali pedonimi sono principalmente i Typic, Aquic, Arenic ed Ultic Palexeralfs e i Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents.

Salinità

Toponimi con chiaro riferimento alla salinità del suolo, come *sa salinedda* (piccola salina, Paulis, 1987), *matta su sai* (pianta, albero, cespuglio del sale, Dedola, 2012), *scala 'e sale* (via montana scoscesa del sale, Paulis, 1987), sono distribuiti abbastanza omogeneamente in varie tipologie di suoli.

Il sale nei tempi antichi era un bene estremamente prezioso. Nell'area del Sinis, in particolare, era molto diffuso il commercio ambulante di materie prime come il sale, ricavato dalle saline (Manca, 1995). La prima attestazione scritta sull'estrazione del sale nel Sinis risale alla metà del XXII secolo anche se elementi indiretti, come il concentrarsi di insediamenti sulle rive delle saline, ci permettono di ipotizzare il loro utilizzo sin dal Neolitico recente (Stiglitz, 2006). Per esempio, il toponimo che identifica lo stagno di Sale 'e Porcus (stagno temporaneo più grande della Sardegna) secondo alcuni autori deriva dal fatto che un tempo il sale estratto dallo stagno venisse usato per la conservazione della carne.

Generalmente i pedonimi legati alla salinità del suolo si trovano nei suoli degli ambienti umidi, profondi, con profilo di tipo A-C, argilloso-limosi, con severe limitazioni d'uso derivanti dall'elevata idromorfia e dall'eccesso di salinità superficiale (suoli salsi, Salorthids). Questi suoli infatti mancano di capacità di drenaggio e ciò li porta all'accumulo di sale. Sono da considerarsi non idonei alle coltivazioni (classe di capacità d'uso VIII). In alcuni casi, tuttavia, soprattutto nelle aree più retrostanti rispetto le aree di stagno, si può ricorrere a interventi di bonifica e desalinizzazione per renderli utilizzabili a fini agricoli.

Gestione (attività agricole e pastorali)

I pedonimi che indicano alcuni aspetti della gestione del suolo mostrano una apparente contraddizione con i pedonimi legati alla fertilità. Infatti, anche se le antiche popolazioni avevano una conoscenza specifica sulla localizzazione delle terre fertili, la ricerca mette in luce che i pedonimi legati alle attività agricole sono prevalentemente concentrati in aree caratterizzate da suoli poco fertili, come Xerorthents, Xerochrepts, Palexeralfs.

In realtà questa contraddizione è solo apparente. Infatti, i suoli più fertili ricadevano spesso nelle aree occupate dalle paludi o stagni temporanei. Nell'area indagata è infatti elevata la presenza di pedonimi che indicano la bassa permeabilità del terreno (37,7%) e ciò

rispecchia la massiccia presenza degli ecosistemi delle zone umide che caratterizzano ampiamente la fascia costiera del Golfo di Oristano. In antichità, prima delle bonifiche, tali zone si trovavano nella loro condizione naturale originale e le attività umane venivano ubicate il più lontano possibile dalle pozze d'acqua, per la presenza di condizioni ambientali favorevoli allo sviluppo della malaria (Capra et al., 2015). Per queste ragioni, le attività agricole e pastorali si realizzavano in aree con suoli potenzialmente meno fertili, ma caratterizzate da un ambiente più salubre.

Un toponimo ricorrente che fa riferimento all'attività agricola è per esempio *bingia* (vigna, Paulis, 1987). La vite, in questi territori, ha da sempre prodotto vini di alta qualità, grazie alle varietà selezionate idonee al tipo di terreno, come il "nieddera", il "biu nieddu" e la rinomata "vernaccia" (dal latino *vernacula* = proprio del luogo in cui è nata) (Vacca et al 2015).

Altri toponimi sono: *s'ungrone de sa cruccurica* (l'angolo della zucca, Paulis, 1987), *su cungiau de laccus* (terreno coltivato chiuso della vasca da abbeverare, Paulis, 1987), *argiola beccia* (vecchia aia per la trebbia del grano, Dedola, 2012).

Il toponimo *golena* indicava le terre immediatamente adiacenti al Tirso, che sino al primo dopoguerra venivano usate per la coltivazione del lino. Questa coltura era però limitata e insufficiente al fabbisogno della popolazione, che per tale materia prima doveva approvvigionarsi

altrove. I terreni idonei erano infatti scarsi, dal momento che il lino necessitava di molta acqua sia durante le fasi della crescita che nel corso della lavorazione per ricavare la fibra da filare e tessere (Manca, 1995).

All'attività pastorale invece appartengono toponimi come: *is pasturas*, *is pasturedas* (pascoli, piccoli pascoli, Paulis, 1987), *pardu picciu* (piccolo prato comunale, territorio pianeggiante, Paulis, 1987), *su meriagu* (sito ombroso dove si ripara il gregge dal sole di mezzogiorno, Paulis, 1987).

Suoli non particolarmente fertili, come gli Entisuoli, si ritrovano frequentemente anche laddove il toponimo indica la presenza di una *gora*, cioè di un solco o canaletta nei campi per raccogliere l'acqua (Paulis, 1987).

In conclusione si può affermare che vi è un alto grado di corrispondenza tra le conoscenze indigene e scientifiche, a dimostrazione del fatto che le popolazioni locali, senza possedere alcuna competenza scientifica specifica, conoscevano a pieno le risorse ambientali e le

attitudini del proprio territorio e avevano quindi una conoscenza empirica profonda delle condizioni pedologiche.

6.4.6 Pedodiversità, diversità paesistica e topodiversità

6.4.6.1 Indici di diversità e di equiripartizione

Il concetto di diversità usato ampiamente in campo ecologico per specie animali e vegetali può essere esteso anche al suolo. La pedodiversità (Dazzi, 1995; Ibañez et al., 1995; Dazzi e Monteleone 1999, 2002) esprime la numerosità dei suoli appartenenti a Unità Tipologiche diverse in una delimitazione o in una unità cartografica appartenente ad un determinato livello pedopaesaggistico.

Poiché esiste sulla superficie terrestre una grandissima variabilità e differenziazione di minerali e rocce, di clima, di geomorfologia, di organismi viventi e loro residui, sono tantissime le combinazioni di fattori e processi alla base della genesi dei suoli, e quindi della loro differenziazione. Il termine “pedodiversità” viene usato appunto per esprimere la numerosità dei suoli esistenti.

Ibañez et al. (1995) ha introdotto per primo gli indici di diversità ecologica come misure di pedodiversità. L'indice di Shannon H è l'indice più comune usato per la valutazione della pedodiversità (Ibañez et al., 1995; Ibañez et al., 1998; Guo et al., 2003; Phillips e Marion, 2005).

Per la sua misura occorre tenere conto della relativa abbondanza degli oggetti, considerata dal duplice punto di vista della “ricchezza” (numero degli oggetti presenti cioè, tipi di suolo) e della “equiripartizione” (abbondanza relativa di ciascun oggetto che riferita al mondo dei suoli ne considera l'area occupata da ciascun tipo).

L'indice di pedodiversità calcolato per l'area di studio (Minasny et al, 2010) mostra che la complessità tende ad aumentare con la dimensione degli areali pedologici cartografati e con l'eterogeneità spaziale (Ibañez e De Alba, 2000). Infatti la maggiore pedodiversità si riscontra nella penisola del Sinis (con valori di H compresi tra 1,77 e 2,08) dove maggiore è la differenziazione delle litologie presenti e del paesaggio.

L'indice di diversità paesistica misura il grado di eterogeneità paesistica del territorio. Come la pedodiversità anche la diversità paesistica è elevata nella penisola del Sinis, in particolare a Narbolia (2,60), ma anche nei comuni di Oristano (2,66) e Santa Giusta (2,61)

e Guspini (2,60).

Anche per i toponimi la maggiore diversità si registra nel Sinis (in particolare a Riola Sardo e Nurachi con H pari rispettivamente a 1,67 e 1,64) e nel comune di Arbus (H pari a 1,54). La minore pedodiversità (0,94), pari alla minore diversità paesistica (1,28) e alla minore topodiversità (0,45), si registra invece nel territorio di Arborea, a conferma del fatto che in questo comune la distribuzione dei toponimi legati al suolo è bassissima (solo 5 toponimi relativi al suolo, pari all'1,32%), così come è molto basso il numero di UPC e il numero di categorie di UDS (sono presenti solo 5 UPC e 34 categorie di UDS).

Osservando le carte tematiche predisposte (figura 6.11) si può notare che esiste una corrispondenza tra H e H', sia per la diversità pedologica e la diversità paesistica che per la diversità dei toponimi. Dunque questi indici non sono soggetti all'influenza della superficie comunale.

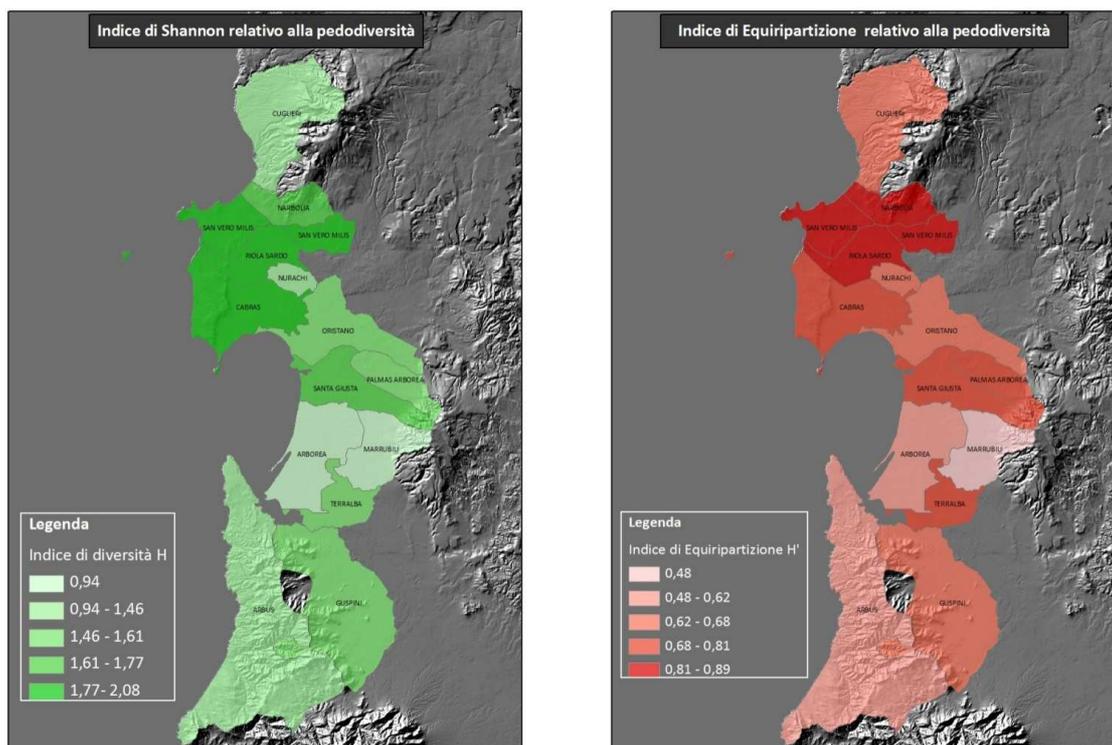


Figura 6.11. Carte rappresentative di H e H' relativi alla pedodiversità.

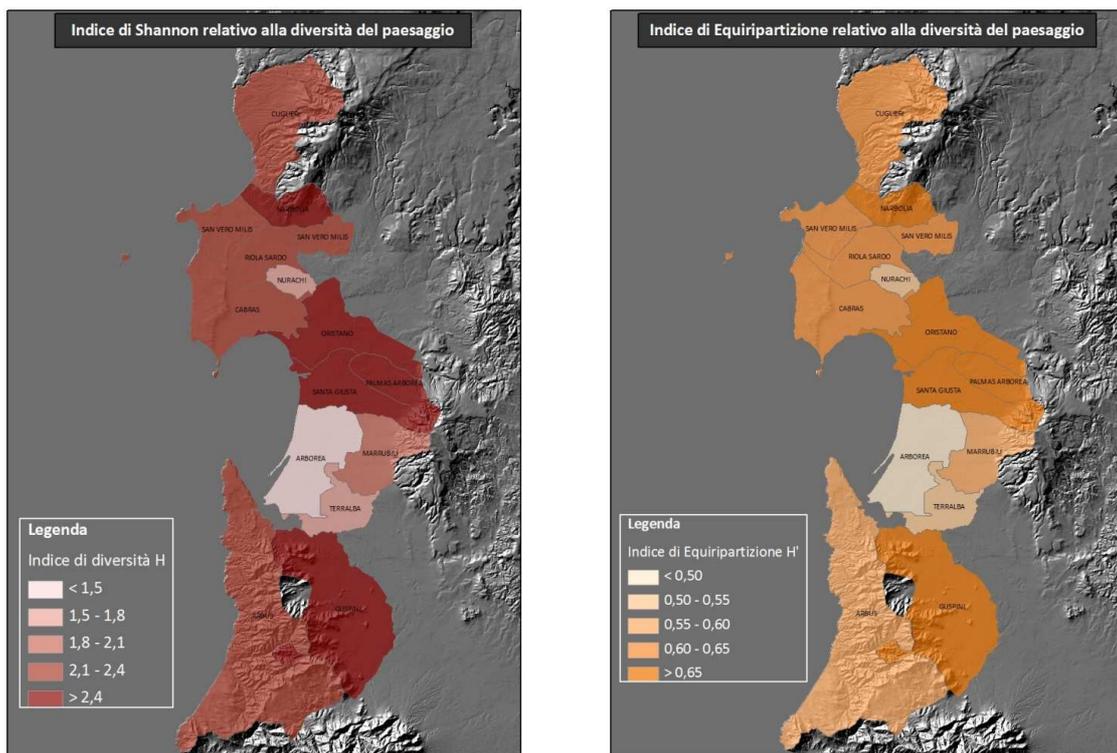


Figura 6.12. Carte rappresentative di H e H' relativi alla diversità del paesaggio.

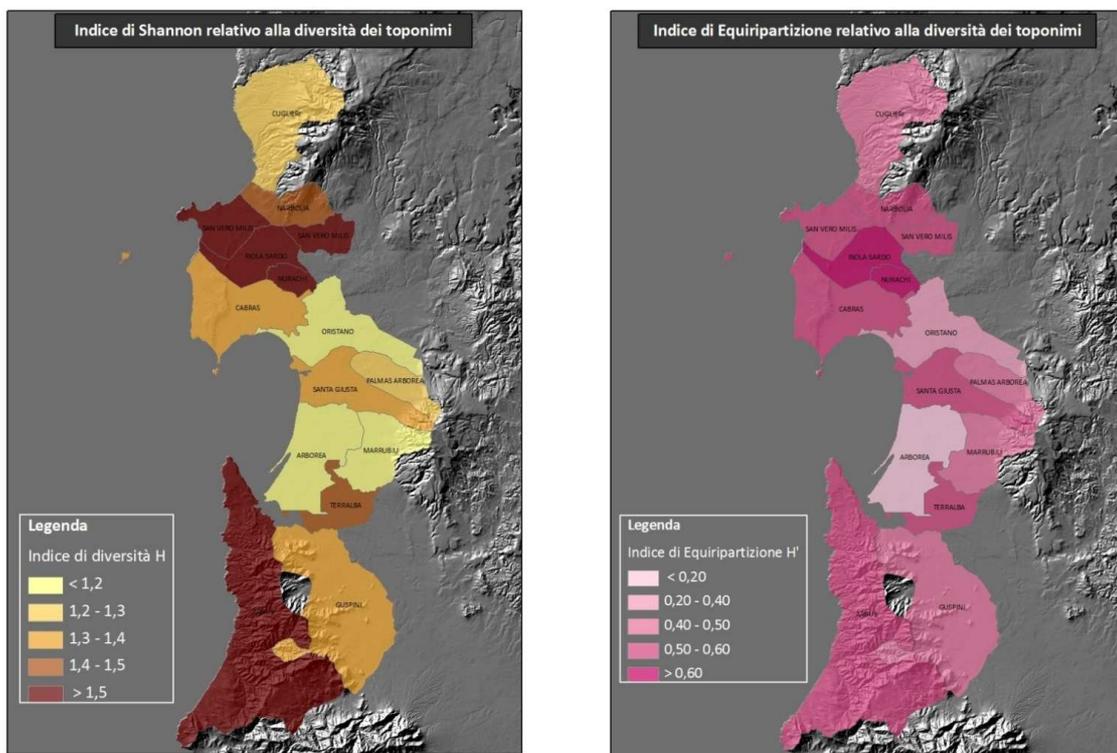


Figura 6.13. Carte rappresentative di H e H' relativi alla diversità dei toponimi.

6.4.7 Analisi statistica multivariata (PFA)

La tabella 6.6 mostra i risultati dell'analisi dei fattori principali (PFA - *Principal Factor Analysis*) tra le categorie di toponimi, la pedodiversità, la diversità paesistica, la topodiversità, la superficie comunale, l'altitudine, la pendenza e i dati fisico-chimici e pedogeochimici dei suoli.

La PFA ha permesso quindi di mettere in relazione le conoscenze scientifiche (indagine fisico-chimica e pedogeochimica) con le quelle culturali (conoscenze locali espresse con i toponimi).

Attraverso la PFA sono stati estratti 5 fattori principali, con metodo *varimax normalizzato*, per una varianza totale dell'83,0%.

FATTORE 1 - Fertilità dei suoli

Il Fattore 1, che comprende il 38,4% della varianza totale, lega positivamente alcune specifiche categorie di pedonimi (SUOLO/MORFOLOGIA e SUOLO/VEGETAZIONE) con le frazioni granulometriche più fini (limo ed argilla), con i parametri della fertilità (C, N, P, CSC), con la conducibilità elettrica, con l'Al e con lo scheletro e correla negativamente questi parametri con la sabbia e la densità apparente.

Questo fattore può essere interpretato come la relazione esistente tra i pedonimi e la fertilità, in quanto mostra come alcune categorie di pedonimi, soprattutto quelli legati alla morfologia ed alla vegetazione (che, come già detto precedentemente, rappresentano i fattori ambientali più importanti caratterizzanti il territorio in esame), fossero prevalentemente conosciuti sulla base di specifiche caratteristiche dei suoli relative principalmente alla fertilità degli stessi.

Tali pedonimi prevalgono nettamente in aree fertili e spesso caratterizzate da suoli a prevalente tessitura fine e ricchi di alluminio (sotto forma di noduli), che è appunto un elemento che si lega all'argilla ed indica la presenza di suoli antichi.

Ciò dimostra che i luoghi venivano identificati in prima istanza in riferimento alla qualità del suolo e in particolare alla sua fertilità, la cui conoscenza permetteva di sfruttare al meglio le terre a fini agricoli.

FATTORE 2 - Complessità morfologica

Il Fattore 2 spiega il 14,8% della varianza totale e correla positivamente tra loro i toponimi

legati a morfologia, geologia, vegetazione, uso del suolo alla superficie comunale, altitudine e pendenza.

Questo fattore può essere interpretato come l'influenza della complessità morfologica sui toponimi.

L'analisi statistica multivariata mostra quindi che il numero dei toponimi legati ai caratteri ambientali (morfologia, geologia, copertura vegetale e usi del suolo) aumenta all'aumentare della complessità morfologica (rappresentata dall'altitudine e dalla pendenza) ed antropica (superficie comunale).

Più la morfologia del territorio è accidentata ed eterogenea, con escursioni altimetriche e di pendenza elevate, maggiore è la presenza di ambienti differenti (con diversi tipi vegetali, diverse litologie etc.) e quindi maggiore è la necessità di identificare i vari ambienti con specifici toponimi.

Inoltre il numero di ambienti, e quindi di toponimi, aumenta in relazione alla superficie del Comune.

FATTORE 3 - Pedodiversità e topodiversità

Il Fattore 3, che spiega l'11,7% della varianza totale, estrae la pedodiversità e la topodiversità positivamente correlate con calcare e pH e negativamente correlate con i toponimi legati a SUOLO/GEOLOGIA.

All'aumentare della diversità pedologica aumenta la diversità dei toponimi. Più un ambiente è caratterizzato da vari tipi di suoli maggiore è la necessità di riconoscere le diverse parti del territorio in maniera immediata con l'attribuzione di toponimi che riflettano le caratteristiche pedo-ambientali. Inoltre pedodiversità e topodiversità aumentano all'aumentare del pH del suolo.

FATTORE 4 - Metalli

Il Fattore 4 spiega il 10,7% della varianza totale e mostra la correlazione positiva tra alcuni metalli (Fe, Mn, Zn, Pb, Cu e Cd), caratterizzati da differenti affinità geochimiche, che implica l'esistenza di fattori secondari, probabilmente di natura geogenica/pedogenica, in grado di influenzare la concentrazione e la distribuzione dei metalli nei suoli indagati.

FATTORE 5 - Omogenizzazione del paesaggio

Il Fattore 5, che comprende il 7,2% della varianza totale, mostra come i toponimi appartenenti alla categoria MORFOLOGIA/FAUNA aumentino al diminuire della diversità paesistica (diversità degli usi del suolo). Questo fattore può essere interpretato come la banalizzazione e la semplificazione della diversità del paesaggio rurale a causa della pressione esercitata dal pascolo. Infatti i toponimi che appartengono alla categoria MORFOLOGIA/FAUNA sono legati alla presenza nel territorio di un determinato animale, nella maggior parte dei casi afferente al pascolo brado (bestiame), che identifica gli elementi morfologici.

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

Tabella 6.6. Pesì fattoriali (n=41); Metodo di estrazione: analisi dei fattori principali (PFA); Metodo di rotazione: Varimax; pesì marcati > 0,6

	F1	F2	F3	F4	F5
Pedodiversità	0,195	0,128	0,762	0,127	-0,400
Topodiversità	0,203	-0,053	0,847	0,114	0,137
Diversità paesistica	-0,090	0,545	0,133	0,247	-0,654
SUOLO	0,365	0,475	-0,421	0,233	-0,342
SUOLO/MORFOLOGIA	0,620	0,330	0,044	0,031	0,184
SUOLO/VEGETAZIONE	0,749	-0,085	-0,285	0,068	0,004
SUOLO/GEOLOGIA	0,294	0,210	-0,652	0,020	0,335
USO DEL SUOLO	0,262	0,818	-0,257	0,079	-0,338
USO DEL SUOLO/COPERTURA VEGETALE	0,556	0,682	0,006	0,051	-0,278
USO DEL SUOLO/FAUNA	0,493	0,694	0,076	0,068	-0,285
MORFOLOGIA	0,328	0,847	0,318	0,202	0,070
MORFOLOGIA/FAUNA	0,298	0,309	0,026	0,302	0,818
MORFOLOGIA/VEGETAZIONE	0,159	0,954	0,056	0,175	0,045
MORFOLOGIA/GEOLOGIA	0,148	0,722	0,051	0,263	0,197
GEOLOGIA	0,143	0,897	-0,021	-0,339	0,120
VEGETAZIONE	0,343	0,855	0,101	0,134	0,087
FAUNA	0,485	0,371	0,403	0,199	0,361
Superficie comunale	0,263	0,865	-0,310	-0,087	0,095
Altitudine	-0,212	0,808	0,093	0,237	0,283
Pendenza	-0,023	0,933	0,052	-0,057	-0,171
Densità apparente	-0,622	-0,413	-0,155	-0,081	0,399
Scheletro	0,827	0,190	0,009	0,051	-0,133
Sabbia	-0,857	-0,330	0,077	-0,222	0,020
Limo	0,843	0,315	-0,072	0,310	-0,099
Argilla	0,910	0,122	-0,029	0,104	0,160
Calcare	0,129	0,151	0,868	-0,414	0,067
pH	-0,056	0,126	0,874	-0,258	0,128
Conducibilità elettrica	0,772	0,340	0,143	0,141	-0,112
C	0,861	0,157	0,048	0,146	0,121
N	0,885	0,219	0,165	0,037	0,168
P	0,625	-0,169	-0,322	0,203	0,129
Al	0,720	-0,099	-0,007	0,145	-0,560
Fe	0,365	0,248	-0,227	0,770	-0,268
Mn	0,276	0,316	-0,121	0,852	-0,081
CSC	0,919	0,227	0,155	0,095	0,068
Ni	0,510	-0,165	0,276	0,339	-0,241
Zn	0,366	0,209	-0,312	0,823	-0,002
Cu	0,182	-0,135	0,013	0,939	-0,139
Pb	0,264	0,113	-0,035	0,925	0,201
Cd	-0,088	0,040	0,137	0,833	0,187
As	-0,517	-0,036	0,566	0,463	0,011

	F1	F2	F3	F4	F5
Varianza proporzionale (%)	38,4	14,8	11,7	10,7	7,2
Varianza cumulativa (%)	38,4	53,3	65,0	75,7	83,0
Autovalori	15,761	6,087	4,814	4,392	2,958

In tabella 6.7 viene riportata, inoltre, una seconda PFA, elaborata considerando le categorie di toponimi relative unicamente al suolo, la pedodiversità, la diversità paesistica, la topodiversità, la superficie comunale, l'altitudine, la pendenza e i dati chimico-fisici e pedogeochimici.

Sono stati estratti 3 fattori principali, dei quali il primo (37% della varianza spiegata) conferma e specifica meglio quanto già mostrato nel primo fattore della precedente PFA.

FATTORE 1 - Tessitura argillosa e fertilità

Questo fattore mostra come i toponimi più specificamente legati alla tessitura argillosa si leghino positivamente ai dati analitici riferiti alla fertilità (CSC, C, N), alle frazioni granulometriche fini (limo e argilla), all'Al, allo scheletro, alla conducibilità elettrica, e negativamente a densità apparente e sabbia.

Quindi tra tutti i toponimi relativi al suolo, sono soprattutto quelli legati alla tessitura argillosa che si correlano ai parametri della fertilità. Gli antichi utilizzatori delle terre dunque miravano ad identificare i suoli più fertili in relazione alla tessitura argillosa, la quale è una caratteristica del suolo facilmente riconoscibile e rilevabile.

Tabella 6.7. Pesì fattoriali (n=37); Metodo di estrazione: analisi dei fattori principali (PFA); Metodo di rotazione: Varimax; pesì marcati > 0,6

	F1	F2	F3
Pedodiversità	0,386	-0,138	0,047
Topodiversità	0,294	-0,210	-0,059
Diversità paesistica	-0,026	0,292	0,600
PEDONIMI Tessitura ghiaiosa	0,566	0,282	0,431
PEDONIMI Tessitura sabbiosa	-0,481	-0,037	0,478
PEDONIMI Tessitura argillosa	0,701	0,191	-0,096
PEDONIMI Argilla rossa	0,541	0,016	0,597
PEDONIMI Fertilità elevata	0,230	0,720	0,199
PEDONIMI Fertilità bassa	0,046	0,750	0,374
PEDONIMI Salinità alta	0,348	-0,456	0,402
PEDONIMI Gestione coltivazione	0,477	0,272	0,753
PEDONIMI Gestione pascolo	0,517	0,168	0,689
PEDONIMI Permeabilità bassa	0,505	0,222	-0,410
Superficie comunale	0,284	-0,016	0,809
Altitudine	-0,188	0,120	0,877
Pendenza	0,010	-0,042	0,968
Densità apparente	-0,696	-0,061	-0,343
Scheletro	0,799	0,099	0,195
Sabbia	-0,881	-0,259	-0,246
Limo	0,872	0,353	0,227
Argilla	0,899	0,089	0,058
Calcare	0,266	-0,709	0,124
pH	0,080	-0,565	0,082
Conducibilità elettrica	0,765	0,129	0,391
C	0,868	0,088	0,159
N	0,868	-0,045	0,256
P	0,574	0,271	-0,163
Al	0,685	0,311	-0,096
Fe	0,356	0,866	0,239
Mn	0,273	0,856	0,331
CSC	0,956	0,040	0,136
Ni	0,547	0,309	-0,143
Zn	0,351	0,868	0,181
Cu	0,192	0,879	-0,124
Pb	0,280	0,811	0,110
Cd	0,005	0,597	0,015
As	-0,395	0,169	-0,005
Varianza proporzionale (%)	37,0	14,9	12,6
Varianza cumulativa (%)	37,0	51,9	64,5
Autovalori	13,688	5,499	4,667

6.5 Discussione

Dalla ricerca svolta si possono trarre alcune importanti considerazioni.

Uso sociale dei toponimi

I toponimi sono espressione dello stretto rapporto esistente tra il territorio e coloro che vivono in quello stesso territorio. Nel passato le popolazioni locali prediligevano infatti nominare i luoghi soprattutto in base a quello che potevano osservare e riconoscere a prima vista, nell'immediato, come la forma di un rilievo e/o la presenza di una pianta particolare, elementi che caratterizzavano fortemente il territorio.

La ricerca mostra come nei territori del Golfo di Oristano vi sia una netta prevalenza della toponimia di origine agro-pastorale. In particolare, la zona indagata è straordinariamente ricca di toponimi legati in modo diretto o indiretto al mondo rurale e il cui significato fa chiaro riferimento al suolo, alla sua fertilità, lavorabilità, permeabilità ed ad altre caratteristiche.

Le popolazioni locali avevano infatti una conoscenza diretta molto precisa sulla qualità del suolo per scopi agricoli; si ricorda infatti che l'agricoltura rappresentava e rappresenta tuttora una delle attività economiche di maggiore interesse del territorio indagato. Dunque vi era particolare necessità di nominare un luogo mediante determinati attributi riconosciuti al suolo.

Tale risultato conferma un'importante evidenza: lo spazio geografico viene modellato dalla cultura di un gruppo umano e la denominazione di un territorio coincide con la domesticazione dello stesso. Pertanto, i nomi di luogo esprimono una classificazione dello spazio funzionale all'uso sociale (Paulis, 2009).

Nel processo di denominazione dello spazio attraverso pemonimi, fitonimi, geo-morfo-toponimi, zootoponimi, etc., gli input dell'ambiente esterno sono filtrati dalla soggettività umana. I toponimi non sono oggetti banali, casuali o indifferenti alla realtà circostante, bensì rispondono ad una pratica esigenza di identificazione degli oggetti geografici finalizzata soprattutto a costruire un sistema di riferimento spaziale, permettendo sia l'orientamento dell'uomo nello spazio sia la descrizione funzionale dell'ambiente (Pisanu, 2009) e, nel caso specifico, del suolo, anche per fissarne e legittimarne il possesso (Turri, 1980).

Toponimi e riconfigurazione spaziale

La toponomastica, rispondendo all'esigenza di designare necessità primarie quali sono gli spazi in cui si vive, è materia in continua evoluzione: essa cambia rinnovandosi, in parte cancellando se stessa per mutare radicalmente, o talvolta fossilizzandosi (Ponzeletti, 2010). Nel corso dei secoli si possono infatti registrare mutazioni e conservazioni. Le mutazioni sono talvolta rapide (toponimi legati a personaggi che abitarono quei luoghi), oppure non sono avvenute e i toponimi restano immutati (toponimi legati alle caratteristiche fisiche del luogo che rimangono nella memoria collettiva pluri-generazionale).

La ricerca ha evidenziato come in alcune aree del territorio indagato il paesaggio sia stato completamente trasformato dalle opere di bonifica; nonostante ciò si rileva il permanere di alcuni toponimi, quali *pauli*, *piscina*, *staini*, *benatzu*, *gora*, nelle zone oggi completamente bonificate dell'area di Arborea e dell'Oristanese.

Però, tali nomi di luogo, anche se sopravvissuti al mutamento, non mostrano più corrispondenza con gli attuali oggetti geografici.

In altri casi invece si registra la perdita dell'antica denominazione toponomastica; al posto dei vecchi toponimi ne compaiono altri a testimoniare il mutamento avvenuto. In territorio di Arborea, per esempio, alcuni toponimi si rinvennero solo nella carta IGM di fine '800 (*pauli basilau*, *pauli casas*, *pauli ghillemu*, *pauli longu*, *pauli su crabu*) per poi scomparire del tutto nelle cartografie attuali (figura 6.14) oppure venir sostituiti con altri (*bonifica di...*, *canale di...*) (figura 6.15). I mutati connotati fisici dovuti all'imponente azione di bonifica avvenuta sull'intera regione arborese hanno contribuito quindi a cambiare totalmente alcuni nomi dei luoghi.

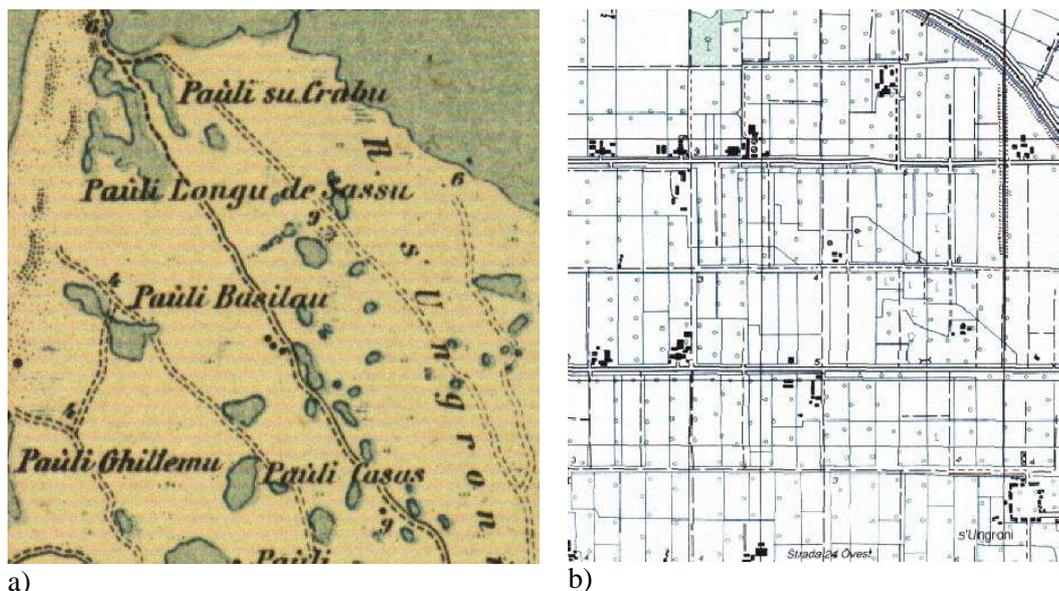


Figura 6.14. Stralcio dell'IGM dei primi del Novecento (a) e di quella recente (b) raffigurante parte del territorio di Arborea pre e post-bonifica e la relativa scomparsa di alcuni toponimi.

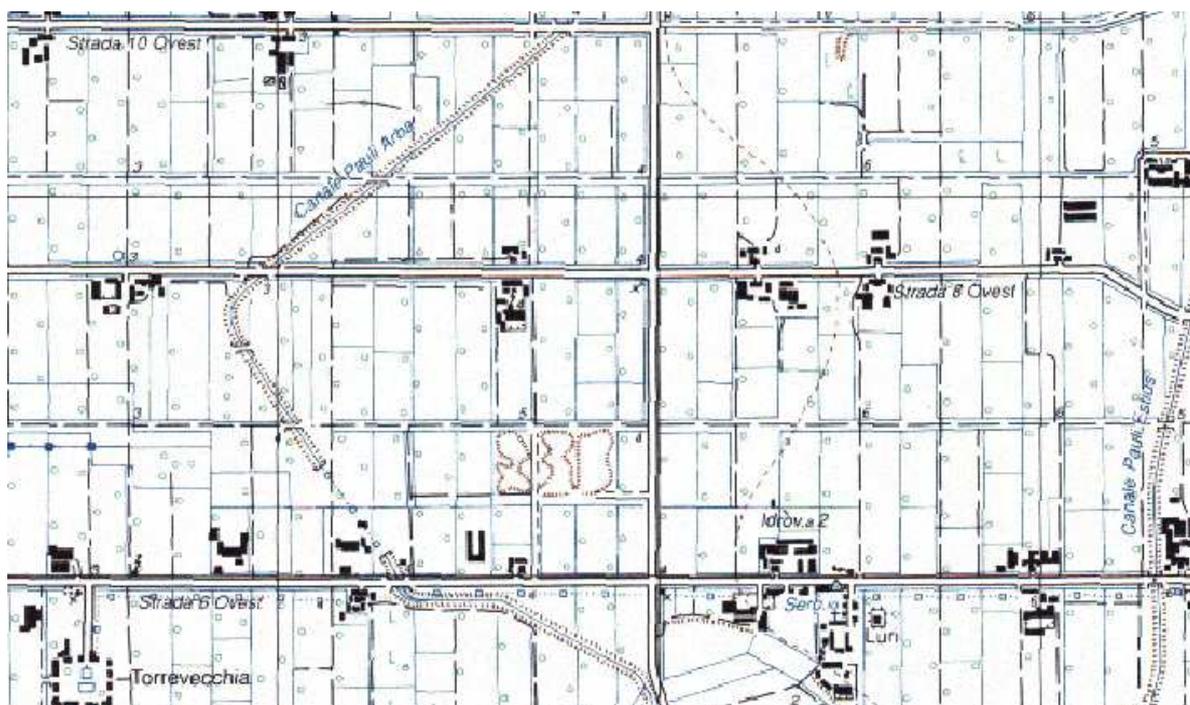


Figura 6.15. Stralcio dell'IGM al 25.000 (1989) che mostra alcuni toponimi in territorio di Arborea.

In territorio di Cabras, inoltre, si riscontra un altro fenomeno legato alla permanenza/perdita dei toponimi. Nell'Ottocento in questo comune la coltivazione dell'olivo era molto florida tanto che nel 1836 si contavano ben quarantamila olivi (Manca,

1995). L'olio che se ne ricavava era di ottima qualità e veniva venduto in tutta la zona. Tale attività impiegava un buon numero di *scudidoris* (scuotitori di ulivi) e di *femmias* (raccogliatrici). Però, oggigiorno, sono rimasti pochi frammenti di tali oliveti (*su livariu de is paras, su livariu de don Peppi*, di cui è ancora esistente la villa padronale, il frantoio e l'imponente portale *s'arcu de don Peppi*, figura 6.16) oppure ne permane soltanto il toponimo (*s'ecca 'e donna Annetta*, figura 6.17, antico portale d'accesso a *su livariu 'e su marchesu*, completamente scomparso perché lottizzato ed edificato).

La permanenza del toponimo indicante le piante di olivo presenti nel territorio solo nel passato e ad oggi del tutto scomparse, può essere vista come un indicatore della cosiddetta "persistenza storica" (Turri, 2006), testimone della conformazione passata del paesaggio e conseguentemente della sua rappresentazione.



Figura 6.16. *S'arcu de don Peppi*: il portale di don Peppi in via Tuveri a Cabras, costruito in blocchi di arenaria tipica del Sinis, che testimonia la presenza di un oliveto secolare, di cui permangono solo pochi alberi.



Figura 6.17. *S'ecca 'e donna Annetta*: il portale del podere di donna Annetta, eretto a Cabras tra la fine del 1600 e i primi del 1700, fungeva d'accesso all'oliveto de Su Marchesu (oggi scomparso). ed è attualmente considerato tra i più importanti esempi di architettura rurale della Sardegna.

Questi dati mostrano chiaramente come i nomi dei luoghi rappresentino, senza ombra di dubbio, un'importantissima memoria storica dell'evoluzione del paesaggio.

Sebbene la toponomastica possa subire nel tempo profonde modificazioni, è tuttavia evidente che essa evolva in modo estremamente più lento della velocità con cui si trasforma il paesaggio.

Pertanto, quando i toponimi sopravvivono molto più a lungo rispetto alla matrice che li ha generati, possono costituire, con il loro etimo, una testimonianza linguistica “fossile” di elementi naturali oggi scomparsi o profondamente modificati.

Toponimi corrotti ed errori

Lo studio mostra inoltre come alte percentuali di toponimi risultino corrotti, ovvero il nome del toponimo è stato involontariamente modificato durante il passaggio storico tra differenti cartografie.

La possibilità di produzione di errori sistematici, che crea conseguentemente la travisazione e la deformazione del patrimonio toponimico sardo, è dovuta alla fase di rilevamento dei fatti geografici e cartografici, all'acquisizione del nome (per esempio, una pronuncia sentita male) e alle trascrizioni, sulla base della pronuncia locale, sbagliate o incomplete. Tra le altre cose, l'accento viene segnato frequentemente in modo incorretto.

In Sardegna i toponimi sono stati spesso anche italianizzati (per esempio con l'apposizione della “o” al posto della “u” al termine del nome o con completi stravolgimenti del termine, si veda il caso *Selargius* accanto a *Ceraxus* o di *Sassari* accanto a *Tattari*). In alcuni casi il toponimo autoctono è stato completamente sostituito dal toponimo d'origine esogena oppure le due forme coesistono (per esempio *Monserato* al posto di *Pauli*; *Elmas* al posto di *Su Masu*).

Altri tipici errori sono le errate suddivisioni di parole, oppure l'utilizzazione scorretta di termini d'uso fatti passare per toponimi o elementi del tutto estranei (rio, monte, regione etc.) premessi al toponimo vero e proprio.

Questi stessi dati sono poi quelli che vengono utilizzati dalle cartografie derivate (come quelle tematiche), le quali mantengono gli errori di compilazione primaria, che così vengono ripetuti e consolidati, finendo spesso col sostituirsi al nome originario (Scanu e Podda, 2007).

Per quanto riguarda gli errori presenti nelle cartografie IGM, è prassi comune attribuire la colpa ai militari italiani che non conoscendo il sardo avrebbero storpiato i toponimi. Ma, in realtà, c'è stato un concorso di colpa da parte delle singole amministrazioni sarde, dal momento che l'IGM alla fine del rilevamento toponomastico, prima della pubblicazione della carte, sottoponeva la lista dei toponimi rilevati al controllo e all'approvazione del sindaco di ciascun paese (Scanu e Podda, 2007).

Esistono poi svariati casi di errori di traduzione, che si stima essere pari almeno al 76% del patrimonio toponomastico sardo (Dedola, 2012).

A livello regionale, un errore di traduzione abbastanza famoso è quello che ha subito il toponimo *Isola di Malu Entu* (isola del cattivo vento - il maestrale - antistante la costa della penisola del Sinis), oggi diventato *Isola di Mal di Ventre*.

Quasi certamente questo fraintendimento è stato fatto dai Pisani (Pittau, 2013) e risulta già registrato nella *Chorographia Sardiniae* di G. F. Fara (anni 1580-1589).

Tale errore ha fatto completamente perdere al toponimo il suo significato originario, attribuitogli dalle popolazioni che conoscevano bene i rischi legati alla navigazione nel tratto di mare quando spirava il forte maestrale.

Un altro macroscopico errore di traduzione è *Bonaria* (santuario di Cagliari dedicato alla omonima Madonna). Questo toponimo non significa “buona aria”, come la maggior parte dei sardi crede, ma è la conseguenza dell’errata traduzione nel catalano *Bon Aire*. In realtà l’antica denominazione del luogo era *Bagnaria*, che era un adattamento pisano dell’originario appellativo lat. *balnearia* “bagni, bagni pubblici” (infatti nella zona sono stati trovati i resti di terme romane) (Pittau, 2013).

Il toponimo *Golfo Aranci* (Sardegna settentrionale) deriva invece da un errore dei cartografi piemontesi inviati dai Savoia nel XVIII secolo per redigere la cartografia del Regno da poco acquisito: essi interpretarono il toponimo locale *Golfu di li ranci* (“golfo dei granchi”) come riferito agli alberi di arancio. I Pisani, ancora, fraintesero il toponimo sardo *Isula de is cāvurus* (nell’estrema punta sud-orientale della Sardegna), col significato di “Isola dei gamberi o granchi”, in *Isola dei cavoli*.

Nel territorio oggetto di indagine della presente ricerca sono stati riscontrati diversi casi di errori di traduzione e di interpretazione, come per esempio quello relativo al toponimo *s’arena scoada* che identifica il borgo turistico e l’omonima spiaggia in comune di S.Vero Milis. Il curioso nome è però un’errata interpretazione di quello originario: *s’aena scoada*, cioè l’asina senza coda, che è diventato la sabbia (s’arena) senza coda.

Si comprende facilmente che la scomparsa o il travisamento del patrimonio toponimico “slega” i toponimi dal territorio provocando anche la scomparsa dei numerosi elementi che caratterizzano o hanno caratterizzato la vita della popolazione, le sue usanze pastorali ed agricole, il nome delle piante e degli animali, i fattori geomorfologici, idrologici etc.

Senza alcun dubbio, inoltre, la scomparsa di parte del patrimonio toponimico di un dato

territorio si trascina dietro anche gran parte della memoria storica dei suoi abitanti, dato che tutti i toponimi, intesi come segni dell'antica presenza umana, sono sempre carichi di risvolti storici.

A tal proposito, il Dedola (2012) sostiene che: *mentre la lingua scorre come un fiume, il toponimo è la parola che s'arresta e si sedimenta (...) come coordinata geografica, come reperto archeologico capace di narrare, per il momento in cui fu creato, degli sprazzi di storia locale, di economia, di religione, di società, di antropologia. Più o meno come fa il reperto archeologico: ma in più il toponimo ha il dono della parola.*

Altre modificazioni moderne dei toponimi derivano da esigenze di tipo economico e/o di marketing territoriale che provocano la deformazione, spesso per scopi turistici, dei toponimi, che vengono ispirati a generici canoni estetici (Cassi, 2004). Così, con il passare del tempo, e con le trasformazioni operate sul territorio, i toponimi legati agli usi tradizionali del mondo rurale vengono via via affiancati o sostituiti da quelli connessi alla contemporaneità (Rita, 2014) e il legame nome-funzione assume connotati diversi. Il toponimo cioè non ha più una "personalità funzionale" ma richiama categorie estetiche. Tutto ciò si traduce in una perdita di dimestichezza con lo spazio, che viene omogeneizzato e percepito come dato uniforme, slegato totalmente dall'esigenza di avere una rete toponomastica complessa utile per l'identificazione dei luoghi e per l'orientamento.

Si passa da uno spazio principalmente percettivo e topologico (strutturato sulle proprietà fisionomiche del paesaggio) a uno spazio concettuale, liberato dalle proprietà affettive e simboliche (Maxia, 2003).

A titolo di esempio si può riportare il caso della trasformazione del toponimo *Monte di Mola* (macina) nel toponimo *Costa Smeralda* (legato al colore delle acque). Si ha avuto la perdita di un toponimo che esprimeva un rapporto col territorio per dare spazio alla creazione di un toponimo che risponda a determinate esigenze turistiche (Scanu, 2009), che possa cioè rispondere alla precisa funzione di attirare l'attenzione del visitatore, cercando di adeguare il nome di luogo a quello che può essere l'immaginario turistico.

Secondo alcuni studi (Cassi, 2004), la Sardegna è la regione italiana che più delle altre ha subito una "ricolonizzazione denominativa", soprattutto delle sue coste. Come conseguenza dell'impatto del turismo, i toponimi più recenti delle aree costiere si scostano dall'imprinting tradizionale, oltre la già citata *Costa Smeralda* si possono fare tantissimi altri esempi che, ci piaccia o no, fanno ormai parte del patrimonio toponomastico sardo:

Costa Dorata, Costa Corallina, Torre delle Stelle, Villaggio Spiaggia Bianca, Costa Rei, Spiaggia Due Mari, Costa Paradiso, Valle della Luna, Eden Beach, Costa Verde, Costa del Sud, Cala Romantica, Le Residenze, Villaggio Alga Bianca, Villaggio Cala Paradiso, Villaggio Le Farfalle.

Significati incerti

Sono stati rilevati tantissimi toponimi per i quali gli studiosi di linguistica sarda non concordano sul preciso significato o sono incerti nel dare la propria interpretazione.

Per esempio, il toponimo *sassu* (Terralba) potrebbe voler dire “sasso, sabbione” (dal lat. *saxum*) secondo il Paulis e il Pittau oppure “salato” (dal lat. *salsum*) secondo il Dedola.

Arcuentu (Guspini) può significare “arco del vento”. Se però la esatta pronuncia di questo toponimo fosse *Erculentu*, allora potrebbe corrispondere al fitonimo *arculentu*, *argulentu* “abrotano” (*Artemisia abrotanum* L.), da lat. *acrulentus* “dall'odore acre” (Pittau, 2013).

Argara (Cabras) potrebbe significare “la zona delle alghe”, oppure “il mondezzaio”, da *arga*, *alga* “alga”, “spazzatura” (Pittau, 2013).

Il toponimo *sale 'e porcus* (S.Vero Milis), secondo il Dedola, non avrebbe alcuna parentela col “sale” come sostengono diversi autori, ma va inteso come “S'ala 'e porcus” cioè “il territorio dei maiali vocato al pascolo suino”.

Significati traslati

L'indagine ha mostrato l'esistenza di alcuni toponimi con un significato traslato rispetto a quello letterale. Per esempio, *nodu* in sardo letteralmente significa “nodo”, ma nella sua accezione territoriale ha il significato di “collina; monte che presenta la nuda roccia” oppure *bruncu* che propriamente significa “grugno del maiale, muso”, per significato traslato assume il significato di “cima, altura”.

Incongruenze

Un altro interessante fenomeno osservato è che la quantità di toponimi riportati nella cartografia è di gran lunga inferiore a quella reale (verificata nel corso delle interviste alla popolazione), a conferma di quanto già mostrato da alcuni glottologi ed etimologi come il Dedola (2012), che scrive: “*sulle carte ufficiali IGM la Sardegna presenta circa 100.000 toponimi, ma a dire dei residenti, tale numero dev'essere a volte raddoppiato. Infatti*

quando venne pubblicata la prima edizione dell'IGM a fine Ottocento, la superficie delle carte non era sufficiente a contenere tutti i toponimi”.

Nella presente ricerca sono state rilevate anche delle incongruenze tra alcuni nomi di luogo dati oralmente e quelli riportati nelle cartografie. Infatti diversi toponimi, di cui è possibile reperire nome e localizzazione grazie alle conoscenze locali della popolazione, non sono presenti nel database regionale né nelle cartografie passate e/o recenti. Tale fenomeno non riguarda solo la Sardegna. Studi toponomastici condotti nella Provincia di Trento e in alcuni comuni dell'Appennino pistoiese, hanno mostrato che il bagaglio toponomastico effettivo può essere anche dieci volte superiore a quello cartografato nelle tavolette IGM al 25.000 (Cassi, 2004) ed è stata addirittura riscontrata nella memoria orale la sopravvivenza di nomi citati esclusivamente in documenti medievali (Rauty, 1993).

Benché non sia possibile dare una spiegazione esaustiva a questo fenomeno, l'approccio etnopedologico può risultare di grande supporto nel capire determinati fenomeni sociali ed ambientali e cercare di risolvere le incongruenze.

Ad esempio, diverse località in Sardegna, soprattutto nel Nuorese (Capra et al., 2015), vengono chiamate dalle popolazioni residenti *sa terra mala* (il suolo cattivo). In realtà la cartografia ufficiale, sia antica che attuale, riporta toponimi differenti e spesso senza riferimento alcuno al suolo né a sue determinate caratteristiche. Però se a tali aree si sovrappone la carta pedologica si denota immediatamente come a prevalere siano suoli scarsamente evoluti ed appartenenti agli Entisuoli (prevalentemente Lithic e Typic Xerorthents). Dalle informazioni storiche si rileva inoltre che in tali aree durante il periodo di dominazione dei Savoia (dal 1720 al 1861), detto periodo del Regno di Sardegna, le millenarie foreste furono rase al suolo nel giro di alcuni decenni al fine di produrre carbone e traversine per ferrovie e miniere. Da allora iniziarono processi spinti di degradazione della coltre pedologica (in origine caratterizzata anche da Inceptisuoli e Mollisuoli) con conseguente entisolizzazione (processo di degradazione dei suoli da tipologie più evoluti a tipologie meno evolute). Tali aree vennero dunque nominate, prevalentemente dai pastori che risultavano i primi testimoni dei processi di degradazione in atto, *terras malas*, proprio ad indicare la scarsa qualità dei suoli per il pascolo. Benché molte di queste aree siano attualmente coperte da vegetazione arbustiva a gariga o macchia, indicante una fase di ripresa, le popolazioni locali continuano a denominarle come *sas terras malas*.

6.6 Conclusioni

L'indagine etnopedologica condotta sul territorio della fascia costiera del Golfo di Oristano, vasto circa 1200 km², ha permesso la raccolta di 4857 toponimi e all'identificazione tra questi di 395 pedonimi, la cui analisi ha consentito di individuare la corrispondenza con la classificazione pedologica e con alcune caratteristiche dei suoli.

In termini generali è chiaro che tutti i toponimi, per la loro stessa natura, hanno una diretta relazione con il suolo. Nello specifico delle categorie individuate, circa il 9% dei toponimi indagati riporta chiari riferimenti alla natura e/o ad alcune caratteristiche dei suoli dell'area dove insiste il toponimo.

La ricerca ha fornito un'importante evidenza statistica del fatto che i luoghi sono stati da sempre identificati dall'uomo principalmente in riferimento alla qualità del suolo e in particolare alla sua fertilità, la cui conoscenza era fondamentale per sfruttare al meglio le terre a fini agricoli.

La ricerca ha mostrato inoltre come elevate percentuali di toponimi siano ancora di origine e significato incerto quando non del tutto ignoto.

La presente ricerca vuole essere uno strumento idoneo ed efficace per approfondire la conoscenza del territorio, e dei suoli in particolare, attraverso lo studio della toponomastica. Si ritiene infatti che la raccolta e lo studio dei toponimi rivesta un'enorme importanza scientifica. Essi, possedendo un grande valore identitario rispetto ai luoghi su cui insistono, sono indissolubilmente legati ai beni naturali ed alle opere dell'uomo quindi all'ambiente e alla cultura. Sono quindi dei «beni culturali immateriali» che forniscono una chiave di lettura del territorio attuale e del passato e consentono di analizzare una molteplice varietà di aspetti e di assetti territoriali nonché la situazione socio-culturale del territorio. I toponimi possono essere quindi considerati la memoria e talvolta gli unici testimoni del nostro passato.

I fenomeni di corruzione dei toponimi e quelli di non coerenza tra conoscenze orali e toponimi riportati sulle carte, sono il chiaro sintomo di fenomeni di perdita, spesso inconsapevole ma quantitativamente rilevante, di numerosi toponimi, almeno nella loro forma originaria, e delle conseguenti conoscenze locali legate al significato del toponimo stesso. Si comprende facilmente che la scomparsa (o il travisamento) del patrimonio toponimico di un territorio comporti la scomparsa dei numerosi elementi che caratterizzano

o hanno caratterizzato la vita della sua popolazione, le sue usanze pastorali ed agricole, il nome delle piante e degli animali ivi esistenti, i fattori geomorfologici e quelli idrologici del territorio.

Spesso la popolazione locale muta il nome dei luoghi in corrispondenza di altrettanti cambiamenti dell'ambiente circostante. Da questo se ne deduce come il processo di "dare i nomi ai luoghi" avvenga secondo meccanismi socio-ambientali estremamente dinamici. Questi processi difficilmente però vengono acquisiti con altrettanta rapidità dalla toponomastica cartografica.

Simili fenomeni risultano particolarmente accentuati nella situazione odierna in cui le conoscenze locali sempre più raramente vengono tramandate tra le generazioni, sia per via orale che scritta.

L'approccio etnopedologico può risultare di fondamentale supporto al fine di combattere simili fenomeni di perdita delle conoscenze locali legate alla risorsa suolo, in quanto rappresenta un metodo estremamente adatto per cogliere immediatamente tali repentini cambiamenti ambientali.

È evidente che i toponimi oltre ad essere raccolti e decodificati meritano dunque di essere salvati e salvaguardati. A tal proposito, Massimo Pittau, illustre linguista sardo, nella prefazione del suo libro "I Toponimi della Sardegna – Significato e origine" edito nel 2011, scrive: *"doverosa e urgente si presenta la necessità di recuperare il patrimonio toponimico della Sardegna, in quanto da una parte esso risulta spesso ampiamente travisato e deformato dalle trascrizioni errate delle carte geografiche e corografiche esistenti (con in testa quelle del pur molto benemerito Istituto Geografico Militare, I.G.M.), dall'altra esso sta per cadere completamente dalla coscienza linguistica dei Sardi, anche per il fatto che la campagna è andata sempre più spopolandosi, dato che, ad esempio, perfino i pastori vanno in campagna soltanto una volta al giorno per mungere le pecore, ma poi rientrano immediatamente nei loro paesi"*.

6.7 Bibliografia

Altieri M.A., 1990. Why study traditional agriculture? In Carrol, C.R., Vandermeer, J.H., Rosset, P. (eds.) *Agroecology*. McGraw-Hill, New York, NY, 551-564.

Arangino F., Aru A., Baldaccini P., Vacca S., 1986. I suoli delle aree irrigabili della Sardegna. R.A.S., Piano Generale delle Acque, RAS Assessorato della Programmazione, Ente Autonomo del Flumendosa, STEF, Cagliari, SELCA, Firenze (cartografia).

Arena G., 1979. Territorio e termini geografici dialettali nella Basilicata. Istituto di geografia dell'Università, Roma.

Arena G., 2004. Denominazioni varie attribuite alle forme del terreno in Italia. *Atlante dei tipi geografici*, Firenze, Istituto Geografico Militare 2004, 702-709.

Aru A., Baldaccini P., 1961. Contributo alla pedologia dell'Oristanese. I suoli sulle alluvioni del Tirso e sui detriti di falda di M. Arci. Centro Regionale Agrario Sperimentale, Cagliari.

Aru A., Baldaccini P., Vacca A., 1991. Carta dei suoli della Sardegna 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.

Aversano V., 2006. Alla ricerca dell'identità: percorsi interdisciplinari, didattici e scientifici, attraverso la toponomastica di un comune del Salernitano. In *Studi del Car.Topon.St. Laboratorio di cartografia e toponomastica storica*, n. 1-2 (2005-2006), Gutenberg, Salerno, 53-68.

Baldacci O., 1941. Termini geografici dialettali sardi. *Boll. Soc. Geogr. Ital.*, VII, 6, 436-444.

Baldacci O., 1945. I nomi regionali della Sardegna. Firenze, Ist. di Geografia.

Baldacci O., 1968. Toponomastica e geografia dell'Italia. *Cultura e scuola*, Roma, 176-184.

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

Baldacci O., 1979. Il glossario dei termini geografici dialettali della regione italiana. Atti del XXII Congresso Geografico Italiano, Salerno, 18-22 aprile 1975, II, 307-309.

Baldacci O., 1979. Toponimi trasferiti, traslati, derivati. *Geografia*, Roma, 179-182.

Baldacci O., 1985. Problemi della toponomastica italiana in Alto Adige. Atti della Tavola Rotonda svoltasi a Villa Celimontana in Roma il 25 ottobre 1983, Roma, 21-27.

Barrera-Bassols N., Zinck J.A., 1998. The other pedology: empirical wisdom of local people. In *Proceedings of 16th World Congress of Soil Science. ISSS/AFES, Montpellier, France: CD-ROM.*

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

Barrera-Bassols N., Zinck J.A., Van Ranst E., 2006. Local soil classification and comparison of indigenous soil. *Geoderma* 135, 140-162.

Barrios E., Herrera R., Valles J.L., 1994. Tropical floodplain agroforestry systems in mid-Orinoco River basin Venezuela. *Agroforestry Systems* 28, 143-157.

Barrios E., Trejo M.T., 2003. Implications of local soil knowledge for integrated soil management in Latin America. *Geoderma*, 111, 217-231.

Behrens C.A., 1989. The scientific basis of Shipibo soil classification and land use: changes in soil-plant associations with cash cropping. *American Anthropologist* 91(1), 83-100.

Bellón M.R., 1990. The ethnoecology of maize production under technological change. PhD thesis. University of California at Davis, USA.

Blasco Ferrer E., 1994. *Ello-Ellus. Grammatica della lingua sarda.* Poliedro Edizioni, Nuoro.

Bradley P., 1983. *Peasants, Soils and Classification: An Investigation into Vernacular Soil Typology from Guidimaka of Mauritania.* University of Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne, UK.

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

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.

Caramelli D., Vernesi C., Sanna S., Sampietro L., Lari M., Castri, L., et al., 2007. Genetic variation in prehistoric Sardinia. Human Genetics 122, 327-336.

Carter W.E., 1967. New Land and Old Traditions: Kekchi Cultivators in Guatemala Lowlands. Latin American Monographs, 2nd Series, vol. 6. University of Florida Press, Gainesville, USA.

Casagrande D., 2012. Ethnoecology. In McGinley M. (ed.) The Encyclopedia of Earth (EoE), The National Council for Science and the Environment (NCSE), Boston University.

Cassi L., 1973. Distribuzione geografica dei toponimi derivati dalla vegetazione in Toscana. Riv. Geogr. Ital., LXXX, 66-72.

Cassi L., 2004. Nuovi toponimi in Italia. Atlante dei tipi geografici. Firenze, Istituto Geografico Militare, 722-729.

Cassi L., Ferrara R., 2001. Nomi di luogo e turismo in Sardegna. Appunti dalla cartografia dell'I.G.M.I. In "La Sardegna nel mondo mediterraneo", Atti Quinto convegno internazionale di studi Turismo e Ambiente, Sassari, 28-30 ottobre 1998, Bologna, Patron Editore, 2001, 243-250.

Cassi L., Marcaccini P., 1998. Toponomastica, beni culturali e ambientali. Gli «indicatori geografici» per un loro censimento, Memorie della Società Geografica Italiana, vol. LXI.

Cattaneo C, 1996. Geografia e storia della Sardegna. Roma, Donzelli editore (ed. orig. 1841).

Conklin H.C., 1957. Hanunnó Agriculture: A Report on an Integrated System of Shifting Cultivation in the Philippines. FAO, Rome.

Corda F., 1994. Grammatica moderna del sardo logudorese. Edizioni della Torre, Cagliari.

Dazzi C., 1995. L'erosione genetica dell'ecosistema suolo. Atti del Convegno "Il Ruolo

delle Pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio” Cagliari, 197-202.

Dazzi C., Monteleone S., 1999. Consequences of human activities on pedodiversity of soils: a case study in a vineyard area in south-east Sicily (Italy). Proceedings of the ESSC International Conference on “Soil conservation in large-scale land use” Bratislava, May 1999, 99-108.

Dazzi C., Monteleone S., 2002. Emergenza suolo e antropizzazione del territorio: un esempio di perdita della pedodiversità per entisolizzazione. Atti del Convegno del Cinquantenario SISS “L’Emergenza Suolo”. Boll. SISS 51(1-2), 557-570.

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.

De Vecchis G., 1978. Territorio e termini geografici dialettali nel Molise. Istituto di geografia dell’Università, Roma.

Dedola S., 2012. La toponomastica in Sardegna. Grafica del Parteolla, Dolianova.

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, 83-113.

Ellen R., Harris H., 2000. Introduction. In Ellen, R., Parkes, P., Bicker, A. (eds.), *Indigenous Knowledge and its Transformations: Critical Anthropological Perspectives*. Harwood Academic, Amsterdam, 1-33.

Fraumene C., Belle E.M.S., Castrì L., Sanna S., Mancosu G., Cosso M., Marras F., Barbujani G., Pirastu M., Angius A., 2006. High resolution analysis and phylogenetic network construction using complete mtDNA sequences in Sardinian genetic isolates. *Molecular Biology and Evolution* 23(11), 2101-2111.

Fraumene C., Petretto E., Angius A., Pirastu, M., 2003. Striking differentiation of sub-

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

populations within a genetically homogenous isolate (Ogliastra) in Sardinia as revealed by mtDNA analysis. *Human Genetics* 114, 1-10.

Giordano G., 1983. *Territorio e termini geografici dialettali nella Liguria*. Istituto di geografia dell'Università, Roma.

Gobin A., Campling P., Deckers J., Feyen J., 1998. Integrated toposequence analysis at the confluence zone of the river Ebonyi headwater catchment (South Eastern Nigeria). *Catena* 32, 173-192.

Gobin A., Campling P., Deckers J., Feyen J., 2000. Integrated toposequence analysis to combine local and scientific knowledge systems. *Geoderma* 97, 103-123.

Granucci F., 2004. *Categorie toponomastiche ed uguaglianze linguistico-morfologiche in Italia*. Atlante dei tipi geografici. Firenze, Istituto Geografico Militare 715-719.

Grenier L., 1998. *Working with Indigenous Knowledge. A Guide for Researchers*. IDRC, Ottawa.

Grigg D.B., 1974. *The Agricultural System of the World: an Evolutionary Approach*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

Guo Y., Gong P., Amundson R., 2003. Pedodiversity in the United States of America. *Geoderma* 117, 99-115.

Habarurema E., Steiner K.G., 1997. Soil suitability classification by farmers in Southern Rwanda. *Geoderma* 75, 75-87.

Hudson P.F, Alcántara-Ayala I., 2006. Ancient and modern perspectives on land degradation. *Catena* 65(2), 102-106.

Ibañez J.J., De Alba S., Bermudez F.F., Garcia-Alvarez A., 1995. Pedodiversity: concepts and measures. *Catena* 24, 215-232.

Ibañez J.J., De Alba, 2000. Pedodiversity and scaling laws: sharing Martin and Rey's opinion on the role of the Shannon index as a measure of diversity. *Geoderma* 98, 5-9.

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

Ibañez J.J., De Alba S., Lobo, A., Zucarello V., 1998. Pedodiversity and global soil patterns at coarser scales (with Discussion). *Geoderma* 83, 171-214

ISTAT, 2014. Report: l'uso della lingua italiana, dei dialetti e di altre lingue in Italia. <http://www.istat.it/it/archivio/136496>

Krogh L., Paarup-Lauresen B., 1997. Indigenous soil knowledge among the Fulani of northern Burkina Faso: linking soil science and anthropology in analysis of natural resource management. *GeoJournal* 43(2) 189-197.

Kundiri A.M., Jarvis M.G., Bullock P., 1997. Traditional soils and land appraisal on Fadama lands on Northeast Nigeria. *Soil Use and Management* 13, 205-208.

Lupinu G., Mongili A., Oppo A., Spiga R., Perra S., Valdes M., 2007. Le lingue dei sardi. Una ricerca sociolinguistica. Regione Autonoma della Sardegna, Cagliari.

Malinowski B., 1935. Coral gardens and their magic. A Study of the Methods of Tilling the Soil and of Agricultural Rites in the Trobriand Islands, New Guinea. vol. 1. George Allen Publisher, London.

Manca M., 1995. L'economia, il passato. In "Cabras, sulle sponde di Mar'e Pontis" (a cura di) Camboni G., Silvana Editoriale, Sassari, 125-137.

Maxia A., 2003. Dal villaggio alla selva: l'umanizzazione dello spazio in una comunità agro-silvo-pastorale della Barbagia. Copygraphic, Palermo.

Melelli A., Sacchi De Angelis M.E., 1982. Territorio e termini geografici dialettali nell'Umbria. Istituto di geografia dell'Università, Roma.

Mensching G., 2000. The internet as a rescue tool of endangered languages: Sardinian. Proceedings of the conference *Multilinguae: multimedia and minority languages*. San Sebastian, Spain.

Miglior I., 1987. I comuni della Sardegna: origine e significato dei nomi di città, paesi, villaggi e contrade di campagna. Cagliari.

Mikkelsen J.H., Langhor R., 1997. Comparison of international, national and farmers'

classification systems, applied to soils of the western Dagomba district (northern Ghana). *Geografisk Tidsskrift: Danish Journal of Geography* 97, 47-57.

Minasny B., McBratney A. B., Hartemink A.E., 2010. Global pedodiversity, taxonomic distance, and the World Reference Base. *Geoderma* 155, 132-139.

Mori A., 1972. Memoria illustrativa della carta della utilizzazione del suolo della Sardegna. Consiglio nazionale delle ricerche, Roma.

Neimeijer D., 1995. Indigenous Soil Classification: Complications and Considerations. *Indigenous Knowledge and Development Monitor* 3.

Niemeijer D., Mazzucato V., 2003. Moving beyond indigenous soil taxonomies: local theories of soils for sustainable development. *Geoderma* 111, 403-424.

Nocentini A., 2004. Toponimi italiani: storia ed evoluzione. *Atlante dei tipi geografici*. Firenze, Istituto Geografico Militare, 698-701.

Oudwater N., Martin A., 2003. Methods and issues in exploring local knowledge of soils. *Geoderma* 111, 387-401.

Parlamento Italiano, 1999. Norme in materia di tutela delle minoranze linguistiche storiche. *Gazzetta Ufficiale* n. 297 del 20 dicembre 1999.

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.sardegнадigitalibrary.it/index.php?xsl=626&id=298352>

Pawluk R.R., Sandor J.A., Tabor J.A., 1992. The role of indigenous knowledge in agricultural development. *Journal of Soil and Water Conservation* 47, 298-302.

Payton R.W., Barr J.J.F., Gowing J.W., Martin A., Sillitoe P., Deckers J.F., Hatibu N.,

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

Naseem S.B., Tenywa M., Zuberi M.I., 2003. Contrasting approaches to integrating indigenous knowledge about soils and scientific soil survey in East Africa and Bangladesh. *Geoderma* 111, 355-386.

Persi P., 2008. Identità, luoghi e nomi di luogo. In *Studi del Car. Topon. St. Laboratorio di cartografia e toponomastica storica*, n. 3-4 (2007-2008), a cura di Aversano V., Università degli Studi di Salerno, Gutenberg Edizioni.

Phillips J.D., Marion, D.A., 2005. Biomechanical effects, lithological variations, and local pedodiversity in some forest soils of Arkansas. *Geoderma* 124, 73-89.

Pira M., 1978. *La rivolta dell'oggetto. Antropologia della Sardegna*. Giuffrè, Milano.

Pittau M., 2011. *I toponimi della Sardegna : significato e origine (dei nomi di luogo in 83 comuni)*. EDES, Sassari.

Pittau M., 2013. *Toponimi della Sardegna meridionale*. http://www.pittau.it/Sardo/top_sard_meridionale.html

Pontecorvo C., 2006. *Contributo alla conoscenza della flora vascolare dell'Iglesiente (Sardegna SW)*. PhD thesis. Università degli Studi di Cagliari.

Ponzeletti A., 2010. *Sassari e i suoi toponimi nel tempo. Progetto "Recupero degli antichi toponimi della città murata"*. [http://www.comune.sassari.it/citta_murata/relazione/Sassari e i suoi toponimi nel tempo.pdf](http://www.comune.sassari.it/citta_murata/relazione/Sassari_e_i_suoi_toponimi_nel_tempo.pdf)

Pretty J.N., 1995. *Regenerating Agriculture: Policies and Practice for Sustainability and Self-reliance*. Earthscan, London, UK.

Pugliatti M., 2007. *Epidemiological studies of multiple sclerosis in a Sardinian population, insular Italy. Cluster studies and health status*. University of Bergen, Bergen.

Raffestin C., 1977. *Paysage et territorialité*. *Cahiers de Géographie de Quebec* 21, 123-134.

Rauty N., 1993. *Dizionario toponomastico del Comune di Sambuca Pistoiese*, Pistoia, Società Pistoiese di Storia Patria.

Rita C.M., 2014. *Toponomastica e luoghi dell'identità*. <http://www.italianostraedu.org>

Salminen T., 1993. UNESCO Red Book on Endangered Languages: Europe.

Sandor J.A., Furbee L., 1996. Indigenous knowledge and classification of soils in the Andes of Southern Peru. *Soil Science Society America Journal* 60, 1502-1512.

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. <http://www.sardegnaigitallibrary.it/index.php?xsl=626&id=298352>

Scanu G., 2009. Atlante Toponomastico Sardo e cartografia regionale. 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.sardegnaigitallibrary.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. Atti 11a Conferenza Nazionale ASITA, Centro Congressi Lingotto, Torino 6- 9 novembre 2007.

Senes A., 1984. *Curiosità del vocabolario sardo*. Edizioni Gallizzi, Sassari.

Shah P.B., 1993. Local classification of agricultural land in the Jhiku Khola Watershed. In Tamang, D. (ed.) *Indigenous Management of Natural Resources*. HMG Ministry of Agriculture/Winrock International, Katmandu/London, 159-163.

Siderius W., de Bakker H., 2003. Toponymy and soil nomenclature in the Netherlands. *Geoderma* 111, 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.

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

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

Sotgiu S., Pugliatti M., Fois M.L., Arru G., Sanna, A., Sotgiu, M.A., et al., 2004. Genes, environment, and susceptibility to multiple sclerosis. *Neurobiology of Disease* 17, 131-143.

Stiglitz A., 2006. Le saline di Capo Mannu e la localizzazione del *Korakodes portus*. In *Mastino A., Spanu P.G., Zucca R. (a cura di), Tharros felix, 2*, Roma, Carocci, 64-84.

Stiglitz A., 2007. Interazioni territoriali tra Fenici e Nuragici nell'Oristanese. In "I nuragici, i fenici e gli altri Sardegna e Mediterraneo tra Bronzo Finale e Prima Età del Ferro" (a cura di) Bernardini P., Perra M. *Atti del I Congresso Internazionale in occasione del venticinquennale del Museo "Genna Maria" di Villanovaforru, 14-15 dicembre 2007*. Carlo Delfino Editore.

Tabor J.A., 1992. Ethnopedological surveys: soil surveys that incorporate local systems of land classification. *Soil Survey Horizons*, Spring, 1-5.

Tagliavini C., 1982. *Le origini delle lingue neolatine*. Pàtron, Bologna.

Talawar S., 1996. Local soil classification and management practices: bibliographic review. Research paper #2. Laboratory of Agricultural and Natural Resource Anthropology. Department of Anthropology, University of Georgia, Athens, USA.

Talawar S., Rhoades R.E., 1998. Scientific and local classification of soils. *Agriculture and Human Values* 15, 3-14.

Tetti V., 2001. *I nomi di luogo*. Archivio fotografico sardo, Nuoro.

Toledo V.M., 1992. What is ethnoecology? Origins, scope and implications of a rising discipline. *Etnoecológica* I (1), 5-21.

Toledo V.M., 2000. Indigenous knowledge on soils: an ethnoecological conceptualization. In Barrera-Bassols, N., Zinck, J.A. (Eds.), *Ethnopedology in a Worldwide Perspective. An annotated Bibliography*. ITC Publication, vol. 77. ITC, Enschede, The Netherlands, 1-9.

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

Toniolo S., 2005. I perché e i nomi della geografia. Istituto Geografico Militare, Firenze.

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.

Turri E., 1980. Toponomastica e percezione ambientale nelle Prealpi veronesi. In "Ricerca geografica e percezione dell'ambiente" (a cura di) R. Geipel. Milano, 257-274.

UNESCO, 1997. Nuestra diversidad creativa. Informe de la Comision Mundial de Cultura y Desarrollo. Correo de la UNESCO, México.

Vacca S., Gaviano C., Capra G.F., 2015. Le terre della Vernaccia di Oristano: l'ambiente, il clima, i suoli. In "Vernaccia di Oristano" (a cura di) Biondo E., in press. SVISA Editrice. ISBN 978-88-902-8288-0.

Vallega A., 2003. Geografia culturale. Luoghi, spazi, simboli, Torino, UTET.

Vavilov N.I., 1950. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Chronica Botanica 13, 1-336.

Virdis M., 2009. Gli studi di toponomastica sarda: riflessioni e prospettive. 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 Beach 11-12 luglio 2009. <http://www.sardegнадigitallibrary.it/index.php?xsl=626&id=298352>

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.

CAPITOLO 6. L'etnopedologia nello studio dei toponimi legati alle conoscenze locali sul suolo

Vodret F., 1950. Studio geo-agronomico dei terreni dei Campidani della Sardegna meridionale. Rend. Semin. Fac. Sc. Univ. Sassari.

Vona G., 1997. The peopling of Sardinia (Italy): history and effects. *International Journal of Anthropology*, 12(1): 71-87.

Wagner M.L., 1950. *La lingua sarda. Storia, spirito e forma*. Ilisso, Nuoro.

Wagner M.L., 2008. *Dizionario etimologico sardo*. Ilisso, Nuoro.

West R., 1947. *The cultural geography of the Tarascan area*. Institute of Social Anthropology, vol. 7. Smithsonian Institution, WA, USA.

WinklerPrins, A.M.G.A., 1999. Local soil knowledge: a tool for sustainable land management. *Society and Natural Resources* 12, 151-161.

Wolf H.J., 1998. *Toponomastica barbaricina. I nomi di luogo dei comuni di Fonni, Gavoi, Lodine, Mamoiada, Oliena, Ollolai, Olzai, Orgòsolo, Ovodda, Nuoro*. Ed. Insula-Papiros.

Zanetti D., Tonelli L., Piras M.R., 2012. Adaptation of the Bilingual Aphasia Test (BAT) to Sardinian: Clinical and social implications. *Journal of Neurolinguistics* 25, 642-654.

CAPITOLO 7.
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

7. Considerazioni conclusive

La ricerca, tenendo conto di diversi aspetti che costituiscono la complessità del sistema ambientale della fascia costiera del Golfo di Oristano, rappresenta un approccio integrato allo studio del territorio, ed in particolare della risorsa suolo, in una data fase della sua storia e nella sua evoluzione nel tempo.

Dalle **analisi dell'evoluzione dell'assetto territoriale**, rivolte in modo particolare ai cambiamenti di uso e copertura del suolo, è emerso che il territorio indagato non è statico, ma si è formato e continua a formarsi attraverso un continuo processo di modificazione a causa dell'azione combinata di processi naturali e antropici. Nello specifico, l'area di studio ha subito una profonda riconfigurazione legata principalmente alle attività di bonifica idraulica ed agraria ed importanti trasformazioni verso l'uso del suolo artificiale di aree precedentemente agricole o naturali/semi-naturali. Il consumo di suolo è stato definito sia su base quantitativa che sulla base della qualità dei suoli interessati dal processo di consumo. Le aree maggiormente consumate nel periodo considerato sono aree fertili appartenenti alle classi intermedie di capacità d'uso.

Nella ricerca il paesaggio è stato considerato, oltre che come sistema complesso determinato soprattutto dalle modifiche apportate dall'uomo per ragioni di necessità, di sussistenza ed estetiche, anche come *spazio culturale*. In tale spazio si concentrano le attività e i saperi tradizionali dai quali scaturiscono "i nomi dei luoghi".

L'**indagine etnopedologica** realizzata può essere considerata del tutto innovativa in alcuni suoi aspetti perché:

- ha permesso la comprensione dei toponimi con particolare riferimento a quelli legati al suolo, i cosiddetti pedonimi, ai quali gli studi di toponomastica in Sardegna prestano generalmente poca attenzione. La lettura toponimica ha permesso quindi di comprendere le strutture profonde e stratificate del territorio mettendo in luce il rapporto tra la designazione linguistica e i caratteri dello spazio, e in particolare dei suoli, cui si riferiscono.
- ha consentito, attraverso un approccio etnopedologico *integrato*, di individuare la corrispondenza tra le conoscenze locali (desumibili dal significato dei toponimi) e quelle scientifiche (parametri analitici ed informazioni relative alla classificazione pedologica). Questo approccio, che rappresenta il secondo studio di questo tipo in

Sardegna (dopo quello di recentissima pubblicazione di Capra et al., 2015), e probabilmente il primo in ambito nazionale, ha fornito un'importante evidenza statistica del fatto che gli abitanti dell'area di studio, seppur non possedendo le opportune competenze scientifiche (almeno nel passato), hanno cercato nel corso del tempo di distinguere le varie tipologie pedologiche e di dare loro un nome in base alle caratteristiche del suolo legate soprattutto alla fertilità, che esercitava un ruolo fondamentale ai fini dell'utilizzazione agricola.

La **caratterizzazione degli orizzonti pedologici di superficie** attraverso l'integrazione tra le analisi pedologiche di routine (analisi fisico-chimiche) e l'indagine pedogeochimica incentrata su alcuni Elementi Potenzialmente Tossici (PTEs) ha permesso di fare uno screening dello "stato di salute" dei suoli della fascia costiera del Golfo di Oristano e discriminare tra fonti di contaminanti naturali (substrato di origine e processi pedogenetici) e fonti antropogeniche (attività antropiche).

Lo studio scientifico ha identificato nel territorio indagato una sola zona a maggior rischio ambientale, del tutto circoscritta (Piana del Rio Sitzerri) e altamente contaminata principalmente da Pb, Zn e Cd. Nel territorio indagato esiste dunque una forma di contaminazione del tipo puntuale e non certamente diffusa.

Le elaborazioni dei dati hanno dimostrato che, ad esclusione delle aree per cui è evidente una contaminazione di origine antropica (area del Sitzerri) o per cui la contaminazione è presunta (aree localmente contaminate da Cu), i principali fattori che controllano la distribuzione e la concentrazione dei PTEs nell'area di studio sono il risultato dell'evoluzione naturale geologica e pedologica. I livelli di concentrazione dei PTEs osservati nell'area di studio, pertanto, sono quasi completamente da ascrivere alla disgregazione del materiale parentale e ai successivi processi pedogenetici mentre il contributo antropogenico è marginale. Oltre all'attività mineraria che costituisce la sorgente certa dei metalli pesanti degli orizzonti pedologici superficiali dell'area del Sitzerri, altre origini antropiche di contaminanti che causano un arricchimento della preesistente dotazione sono state identificate nell'intensa attività agricola e zootecnica del territorio indagato, che apporta al suolo sostanze contenenti metalli pesanti utilizzate per la difesa fitosanitaria e per la fertilizzazione.

Per quanto concerne la **valutazione degli effetti del *land use* sulla qualità dei suoli**,

l'aspetto più innovativo ha riguardato l'impiego di parametri biochimici "non convenzionali" (attività enzimatiche e glomalina) che ha permesso di esprimere il livello di fertilità biochimica dei suoli raggruppati in 6 classi di uso del suolo.

Si è rilevato che le variazioni misurate nelle attività enzimatiche e nella glomalina sono dipendenti dalla diversità degli usi del suolo. Tali parametri infatti aumentano principalmente in funzione degli input di sostanza organica e della disponibilità dei substrati e diminuiscono in funzione del disturbo antropico, in questo modo: PI → TA → IN e GA → MM e EU, mostrano cioè valori sempre medio-bassi nei suoli sotto pineta (PI) e terreni agricoli (TA) mentre alti valori sono sempre attribuiti alla macchia mediterranea (MM) e agli eucalitteti (EU). I suoli sotto MM e EU presentano quindi la più alta fertilità biochimica, viceversa quelli sotto PI la più bassa.

I risultati ottenuti hanno dunque messo in evidenza come alcune proprietà fisico-chimiche del suolo, la copertura vegetale e le lavorazioni del terreno abbiano un ruolo fondamentale nell'influenzare la composizione della comunità microbica del suolo, le attività enzimatiche e la crescita e il comportamento dei funghi micorrizici arbuscolari e quindi la produzione di glomalina.

In conclusione si può affermare che gli obiettivi prestabiliti inizialmente sono stati ampiamente raggiunti: l'analisi diacronica delle dinamiche evolutive del territorio integrata all'analisi delle proprietà fisico-chimiche, biochimiche e pedogeochemiche dei suoli e alla comprensione dei toponimi ha permesso la ricostruzione delle caratteristiche storico-territoriali e delle condizioni attuali dei suoli e del paesaggio.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutti coloro che hanno contribuito alla realizzazione di questa ricerca.

Ringrazio i miei tutor, prof. Felice Di Gregorio, prof. Sergio Vacca e dott. Gian Franco Capra, per avermi dato l'opportunità di effettuare questa importante esperienza, per la fiducia accordatami, per i preziosi consigli e per il costante sostegno. In particolare vorrei esprimere la mia gratitudine più sincera e profonda al dott. Gian Franco Capra, senza il cui valido aiuto non sarebbe stato possibile realizzare questa tesi. Grazie per la guida, il supporto sia professionale che personale e la passione trasmessami e ancora grazie per i continui suggerimenti e stimoli e, cosa non da poco, per avermi fatto sentire parte di un team.

Un grazie speciale al mio collega dott. Antonio Ganga, sul quale ho potuto sempre contare. Grazie di cuore per essere stato sempre disponibile e paziente, il tuo aiuto e la tua grande simpatia hanno alleggerito il mio dottorato.

Ringrazio di cuore le dott.sse Emanuela Cabula, Stefania De Riso e M.Giustina Duras con cui ho avuto il piacere di lavorare in laboratorio e che mi hanno assistito in ogni fase del campionamento, grazie per avermi insegnato davvero tanto. Un ringraziamento sentito anche al dott. Marco Biagioli per la sua collaborazione nelle attività di laboratorio.

Grazie ai professori conosciuti in Spagna, Giovanni Pardini e Maria Gispert, che mi hanno ospitato presso il loro gruppo di ricerca durante il periodo svolto all'Università di Girona, e che mi hanno seguito ed aiutato, sia dal punto di vista scientifico che umano. Grazie perché in voi ho scoperto delle validissime persone e ottimi scienziati e, come sapete, vi ho nel cuore.

Ringrazio il gruppo di ricerca dell'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (ISE) del CNR di Pisa: il prof. Brunello Ceccanti, la dott.ssa Graziana Masciandaro, la dott.ssa Cristina Macci e tutti gli assegnisti di ricerca e dottorandi che ho conosciuto nei due mesi trascorsi a Pisa, per la loro cortesia, disponibilità e professionalità.

Grazie anche ai miei cari colleghi dell'Università di Cagliari che hanno vissuto insieme a me l'esperienza del dottorato, in particolare ai dott. Paolo Frongia, Francesco Sole e Paolo Pinna.

Infine il grazie più grande ai miei genitori per avermi sempre incoraggiato, sostenuto ed aiutato ed ai miei fratelli e a mia cognata per essermi stati sempre vicini e per il loro prezioso aiuto. Vi voglio bene. Grazie!