

Agris

Agenzia pro sa chirca in agricoltura
Agenzia regionale per la ricerca in agricoltura



**CARATTERIZZAZIONE
PEDO-PAESAGGISTICA DI
AREE MARGINALI ADIACENTI
AI POLI INDUSTRIALI DEL BASSO
SULCIS E PROPOSTE METODOLOGICHE
PER IL RECUPERO DELLE VOCAZIONI
AGRICOLE PRE-INDUSTRIALI**

2023

Dott.ssa Stefania Fanni
Responsabile scientifico

Dott.ssa Marina Monagheddu
Direttore del Servizio Studi Ambientali

a cura di:
Settore Suolo,
Territorio e Ambiente

GRUPPO DI LAVORO

AGRIS SARDEGNA

Settore Suolo, Territorio e Ambiente

dott.ssa Stefania Fanni	Coordinamento scientifico e amministrativo del progetto, responsabilità tecnica delle attività di campagna, elaborazione dati, testi, cartografia ed editing finale
dott.ssa Rita Puddu	Elaborazione dati e cartografia, elaborazione legenda UdT, elaborazioni grafiche e testi
dott. V.Alessandro Marrone	Responsabile del Sistema Informativo Territoriale, analisi GIS parent material e fisiografia, rilevamento pedologico, elaborazione dati e cartografia, elaborazione legenda UdT, elaborazioni grafiche, testi ed editing finale
dott. Marco Cocco	Analisi GIS uso del suolo aree Portoscuso e Assemini-Sarroch, rilevamento pedologico, popolamento del Database DBSS, analisi Servizi Ecosistemici, elaborazioni grafiche ed editing finale
dott. Antonio Frongia	Analisi dei Servizi Ecosistemici a scala regionale ed elaborazioni statistiche
dott.ssa M. Luisa Biggio	Editing finale cartografie tematiche
per. agr. Daniele Manca	Rilevamento pedologico, analisi uso del suolo aree Portoscuso e Assemini-Sarroch, elaborazione dati, popolamento del Database DBSS, elaborazioni grafiche
per. ch. Massimo Melis	Rilevamento pedologico, analisi fisiche dei suoli
Altre collaborazioni	dott. Nicola Manis (analisi uso del suolo area Assemini-Sarroch) per. agr. Lorenzo Zucca (Collaborazione al rilevamento pedologico) I colleghi del Laboratorio di analisi chimico-fisiche dei suoli di Agris

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche

prof. Andrea Vacca	Rilevamento pedologico, elaborazione dati e cartografia, elaborazione legenda UdT, analisi dei Servizi Ecosistemici, elaborazioni testi
--------------------	---

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	1
2	OBIETTIVI DEL PROGETTO.....	2
3	FASI DEL PROGETTO	3
4	AREA DI STUDIO.....	4
4.1	Cenni storici.....	4
5	WORK PACKAGE WP1	7
5.1	Obiettivi e risultati attesi.....	7
5.2	Materiali e metodi.....	8
5.3	Task 1a - Analisi e perimetrazione degli usi agricoli pre-industriali e attuali.....	13
5.3.1	Area di Portoscuso	13
5.3.2	Area di Assemini-Sarroch	17
5.4	Task 1b - Confronto tra le due epoche.....	20
5.4.1	Area di Portoscuso	20
5.4.2	Area di Assemini-Sarroch	25
6	WORK PACKAGE WP2	32
6.1	Obiettivi e risultati attesi.....	32
6.2	Materiali e metodi.....	32
6.3	Task 2a - Verifica, raccolta e organizzazione delle informazioni esistenti	33
6.3.1	Area di Portoscuso	33
6.3.2	Area di Assemini-Sarroch	34
6.4	Task 2b - Rilievi sul campo e acquisizione di nuovi dati pedologici	35
6.4.1	Area di Portoscuso	35
6.4.2	Descrizione delle unità di terre di Portoscuso	39
6.4.2.1	SABBIE LITORALI e DEPOSITI EOLICI OLOCENICI - SPI_1.....	39
6.4.2.2	DEPOSITI DI SPIAGGIA PLEISTOCENICI - SPI_2.....	39
6.4.2.3	SEDIMENTI LACUSTRI OLOCENICI - SLO.....	40
6.4.2.4	DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI LIMOSO-ARGILLOSI OLOCENICI - ATL	41
6.4.2.5	DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI SABBIOSI OLOCENICI - ATS.....	41
6.4.2.6	DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI GHIAIOSI OLOCENICI - ATG	42
6.4.2.7	DEPOSITI COLLUVIALI OLOCENICI - DCO α	42

6.4.2.8	DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI PLEISTOCENICI - DAP.....	43
6.4.2.9	CONGLOMERATI POLIGENICI EOCENICI - CPA.....	44
6.4.2.10	VULCANITI IGNIMBRITICHE - IGN	44
6.4.3	Area di Assemini-Sarroch	46
6.4.4	Descrizione delle Unità di Terre di Assemini - Sarroch	46
6.4.4.1	SABBIE LITORALI e DEPOSITI EOLICI OLOCENICI- SPI_1.....	46
6.4.4.2	SEDIMENTI LACUSTRI OLOCENICI - SLO.....	47
6.4.4.3	DEPOSITI COLLUVIALI OLOCENICI - DCO α	47
6.4.4.4	DEPOSITI COLLUVIALI OLOCENICI - DCO μ	48
6.4.4.5	DEPOSITI COLLUVIALI OLOCENICI - DCO γ	49
6.4.4.6	DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI LIMOSO-ARGILLOSI OLOCENICI - ALO.....	49
6.4.4.7	DEPOSITI ALLUVIONALI SABBIOSI - ASO	50
6.4.4.8	DEPOSITI ALLUVIONALI GHIAIOSI OLOCENICI - AGO	51
6.4.4.9	DEPOSITI DI VERSANTE E DI FRANA ATTIVA OLOCENICI - DVO μ	51
6.4.4.10	DEPOSITI DI VERSANTE E DI FRANA ATTIVA OLOCENICI - DVO γ	52
6.4.4.11	DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI GHIAIOSI OLOCENICI - ATG	53
6.4.4.12	DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI PLEISTOCENICI - DAP.....	53
6.4.4.13	LAVE A COMPOSIZIONE INTERMEDIO-BASICA - LIB	55
6.4.4.14	PLUTONITI A COMPOSIZIONE INTERMEDIO-ACIDA - PLU	56
6.4.4.15	METAMORFITI - MET	57
6.5	Task 2c	58
6.5.1	Immissione dei dati nel DBSS e realizzazione della Carta delle Unità di Terre.....	58
6.5.2	I Servizi Ecosistemici.....	59
6.5.2.1	Introduzione	59
6.5.2.2	I Servizi Ecosistemici forniti dal suolo.....	59
6.5.2.3	Ricerca bibliografica per il calcolo dei Servizi Ecosistemici	61
6.5.2.4	Calcolo dei Servizi Ecosistemici del suolo (SEs)	64
6.5.2.5	Risultati e discussioni.....	68
6.5.2.6	L'importanza di quantificare i Servizi Ecosistemici offerti dal suolo	78
7	WORK PACKAGE WP3	87
7.1	Obiettivi e risultati attesi.....	87

7.2	Materiali e metodi.....	88
7.3	Task 3a - Verifica della qualità dei suoli agrari in base alle caratteristiche chimico-fisiche	90
7.4	Task 3b - Analisi dei Servizi Ecosistemici dei suoli.....	96
7.5	Task 3c - Indirizzi di pianificazione per il recupero delle attitudini agricole pre-industriali ..	104
8	CONCLUSIONI	107
	ATTIVITÀ INTEGRATIVE	113
9	SERVIZI ECOSISTEMICI SU SCALA REGIONALE	114
9.1	Fase 1.....	115
9.2	Fase 2.....	117
9.3	Fase 3.....	118
9.4	Fase 4.....	122
10	CONCLUSIONI	131
11	BIBLIOGRAFIA	133

1 PREMESSA

Il Progetto ha avuto come obiettivo la caratterizzazione delle potenzialità produttive dei suoli in aree marginali del Basso Sulcis situate in prossimità dei poli industriali di Macchiareddu-Sarroch e di Portovesme attraverso l'analisi delle modifiche dell'uso del suolo degli ultimi sessant'anni, ai fini di una riqualificazione delle aree agricole abbandonate.

1

L'avvento dell'industria a partire dagli anni '60, infatti, ha portato ad un ridimensionamento di queste terre e in molti casi al completo abbandono, compromettendo la qualità dei suoli e la possibilità, talora in maniera irreversibile, di un recupero dell'antica vocazione agricola. La contrazione dell'attività industriale di questi ultimi anni ha aggravato le condizioni di degrado ambientale, economico e sociale di questi territori, richiamando la necessità di conoscere e valutare l'entità del fenomeno affinché si possano ipotizzare nuovi processi di riqualificazione e di sviluppo rurale.

L'analisi, svolta anche mediante tecniche GIS, ha permesso di mappare le aree con suoli a differente grado di attitudine agricola secondo la logica di Unità di Terre e di Capacità d'Uso, ovvero di aree omogenee per caratteri pedo-ambientali e di potenzialità produttive rappresentanti l'unità di gestione su cui programmare gli interventi.

Un aspetto innovativo dell'indagine ha riguardato, infine, la determinazione dei Servizi Ecosistemici forniti dai suoli, basata sui dati pedologici disponibili e su opportuni indicatori atti a descriverli, che ha permesso di arricchire il quadro informativo sulle proprietà dei suoli da mettere a disposizione del pianificatore per formulare ipotesi di recupero degli ambiti perindustriali.

Di seguito vengono esposti i risultati delle indagini svolte e delle metodologie applicate, consistite dapprima in una lettura dello spazio rurale e nello studio della Capacità d'Uso e dei Servizi Ecosistemici dei suoli alla scala territoriale 1:50.000, successivamente nella verifica del metodo in un'area test del territorio di Portoscuso alla scala di dettaglio 1:10.000.

2 OBIETTIVI DEL PROGETTO

Gli obiettivi del progetto sono stati:

- la quantificazione del consumo dei suoli agricoli dall'era pre-industriale all'attuale;
- l'acquisizione di dati pedologici per la realizzazione della Carta delle Unità di Terre;
- l'attribuzione delle classi di Capacità d'Uso e dei valori dei Servizi Ecosistemici offerti dai suoli a ciascuna Unità di Terra;
- la formulazione di ipotesi pianificatorie di un'area agricola perindustriale di dettaglio.

3 FASI DEL PROGETTO

Il progetto è stato articolato in 3 Work Packages (WP), a loro volta suddivisi in 8 fasi operative o Task riassunti nella Tabella 1. I risultati verranno riferiti secondo il presente schema di lavoro.

Tabella 1: Articolazione del progetto

	Work Packages	Task	Risultati WP
INDAGINE TERRITORIALE	WP1 Analisi delle trasformazioni del paesaggio agrario per effetto delle attività industriali	1a: analisi e perimetrazione degli usi agricoli pre-industriali e attuali, attraverso la fotointerpretazione e l'ausilio di strati informativi dell'uso del suolo nelle aree prossime ai principali poli industriali 1b: confronto tra le due epoche, verifiche sul campo e perimetrazione esatta delle aree di indagine	n. 1 livello informativo con l'individuazione di 3 tipologie di aree rurali: - <i>tradizionali</i> (ad uso agricolo attuale) - <i>dismesse</i> (erano agricole e sono state abbandonate) - <i>consumate</i> (occupate da infrastrutture industriali ed altre attività)
	WP2 Acquisizione di dati sui suoli e realizzazione della Carta delle Unità di Terre	2a: verifica, raccolta e organizzazione delle informazioni esistenti e dei dati bibliografici (profili pedologici, dati analitici, cartografie a varie scale, ecc.) 2b: rilievi sul campo e acquisizione di nuovi dati pedologici (descrizione e campionamento dei suoli, esecuzione analisi fisico-chimiche) nelle aree prive di dati 2c: immissione dati nel DBSS, elaborazione e interpretazione dei dati, creazione della Carta delle Unità di Terre, attribuzione delle classi di Capacità d'Uso e del valore dei Servizi Ecosistemici	n. 1 livello informativo con la mappatura delle Unità di Terre dell'area di indagine e redazione della legenda con la descrizione dei caratteri pedologici, delle classi di Capacità d'Uso e del valore dei Servizi Ecosistemici
INDAGINE DI DETTAGLIO	WP3 Valutazione dei Servizi Ecosistemici forniti dal suolo per la pianificazione delle aree rurali alla scala di dettaglio	3a: verifica della qualità dei suoli agrari in base alle caratteristiche chimico-fisiche 3b: analisi delle funzioni ecosistemiche dei suoli 3c: formulazione di indirizzi di pianificazione per il recupero delle attitudini agricole pre-industriali	n. 1 livello informativo con la mappatura delle trasformazioni dell'uso del suolo e dei Servizi Ecosistemici delle aree agricole selezionate alla scala di dettaglio Proposta progettuale delle aree da riqualificare e indicazioni sugli interventi da realizzare

4 AREA DI STUDIO

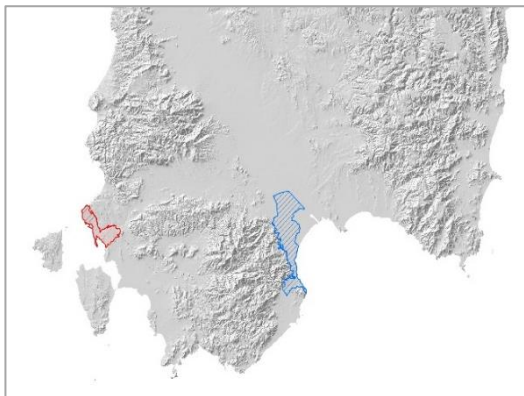


Figura 1: Localizzazione delle aree di studio

I territori indagati sono localizzati in due macroaree geografiche distinte, quella di Portovesme ricadente nel territorio di Portoscuso, San Giovanni Suergiu e Carbonia (in rosso nella Figura 1) e quella di Macchiareddu-Sarroch situata nei territori comunali di Assemini, Capoterra, Uta e Sarroch (in azzurro nella Figura 1). Entrambe ricadono all'interno del sito di bonifica di interesse nazionale «Sulcis - Iglesiente - Guspinese» (D.M. 28 Ottobre 2016 -

4

Ridefinizione della perimetrazione - GU Serie Generale n. 267 del 15-11-2016).

4.1 Cenni storici

I principali nuclei industriali della Sardegna si sono sviluppati dietro l'impulso di normative statali e regionali mirate a promuovere il rilancio dell'economia e dell'occupazione nel Mezzogiorno a partire dai primi anni '50.

Così, mentre la legislazione statale per il Mezzogiorno (Legge 634 del 1957) favoriva l'insorgenza di nuclei industriali soprattutto nella fascia costiera per attrarre iniziative commerciali legate al movimento marittimo, la legge regionale n. 22 del 1953 stabiliva anche l'istituzione di zone industriali di interesse regionale prevalentemente nelle zone interne dell'isola (come ad esempio Ottana).

Il **Polo industriale di Portovesme**, ubicato tra i centri urbani di Portoscuso e Paringianu, si estende per una superficie di circa 700 ettari.

Nato nell'ottica di una riconversione dell'industria mineraria del carbone e del piombo – zinco del Sulcis, il polo industriale di Portovesme si sviluppò tra il 1969 ed il 1972 per iniziativa di due enti pubblici: l'EFIM che investì in un polo integrato dell'alluminio, costituendo l'*Eurallumina* per la lavorazione della bauxite, l'*Alsar* per la produzione di alluminio primario, la *Sardal* per gli estrusi, la *Comsal* per i laminati e l'EGAM, che invece rilevò la gestione delle miniere rimaste aperte e realizzò nei primi anni '70 gli impianti per la lavorazione del piombo e dello zinco.

Negli anni '90 la liquidazione dell'EFIM e la ristrutturazione dell'ENI portarono gli impianti metallurgici di Portovesme alla privatizzazione, con la conseguente acquisizione da parte di multinazionali del settore (*Alcoa, Glencore, Rusal*).

La riconversione delle attività di estrazione del carbone, e la conseguente creazione della filiera energia-metallurgia dell'alluminio hanno comportato inoltre la realizzazione sul territorio di una centrale termoelettrica di grandi dimensioni per l'interconnessione con la rete nazionale, consentendo al polo industriale di diventare il più rilevante sito industriale nazionale di produzione di metalli non ferrosi, con rilevante rappresentatività economica a livello europeo.

Il concepimento e lo sviluppo delle filiere si basava sostanzialmente sulla disponibilità di risorse minerarie (carbone e minerali di piombo e zinco) già in quel tempo in declino nel territorio sardo e dunque destinate ad essere sostituite da materie prime di importazione, e sulla disponibilità di infrastrutture idonee al ricevimento delle materie prime (porto) e alla generazione di energia elettrica.

L'aspetto infrastrutturale costituiva, allora e ancora di più oggi, la condizione necessaria alla sostenibilità del sistema industriale, per via della presenza di attività produttive fortemente energivore e pertanto fortemente condizionate dalla disponibilità di energia elettrica a condizioni competitive.

Le problematiche relative all'adeguamento del costo dell'energia in linea con il mercato europeo e alla mancanza di infrastrutture logistiche adeguate hanno infatti progressivamente portato alla cessazione dell'attività di tutto il comparto dell'alluminio, a cui si è aggiunta anche la dismissione dell'attività estrattiva del carbone, determinando un significativo impatto negativo sul territorio in termini economici e sociali.

Il sistema integrato dell'**area industriale Macchiareddu-Sarroch**, invece, fa capo al Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari (CACIP) che ospita attualmente, insieme al più piccolo nucleo industriale di Elmas, non oggetto del presente studio, circa 375 imprese con oltre 8.000 addetti.

Il nucleo di industrializzazione di Macchiareddu ricade in massima parte nel Comune di Assemini. Lo sviluppo industriale in quest'area prese avvio nel 1962 quando la *Rumianca* vi si insediò su una superficie di 30 ettari per la produzione di cloruro di polivinile (PVC) sfruttando la vicinanza delle saline Contivecchi per la fornitura del cloruro di sodio come materia prima.

Gli effetti socio-economici di questa localizzazione, in aggiunta al concomitante sviluppo dell'industria petrolchimica a Sarroch, diedero origine a un imponente movimento immigratorio

indotto da aspettative occupazionali, contribuendo nel ventennio '61/'81 ad un incremento della popolazione asseminese del 78,30%.

La destrutturazione del settore primario è stata una diretta conseguenza dello sviluppo industriale, sia per la sottrazione dei terreni agricoli da destinare all'industria, sia per l'assorbimento della forza occupazionale verso i settori secondario e terziario.

Attualmente l'agglomerato di Macchiareddu si estende su un'area di 8.242,03 ha di cui 3.661,27 ha destinati ad attività produttive di grandi, piccole e medie industrie e altre attività di servizio alla produzione.

L'agglomerato industriale di Sarroch, rappresentato principalmente dalle strutture della S.A.RA.S. S.p.A. per la trasformazione di prodotti petroliferi, si estende fino al mare con una superficie complessiva di 734,56 ha. Le aree non ancora utilizzate sono prevalentemente destinate ad attività di servizio collegate alla raffineria. La società fu fondata il 24 maggio 1962 da Angelo Moratti con la denominazione di S.A.RA.S. (acronimo di Società Anonima Raffinerie Sarde) e inaugurata il 16 giugno 1966 alla presenza di Giulio Andreotti, allora ministro dell'Industria, commercio e artigianato. Sin dal principio la S.A.RA.S. ampliò i propri impianti, diventando, di fatto, una delle raffinerie più importanti in Europa, sia per la sua posizione strategica nel Mediterraneo, sia per volume di affari. Agli inizi degli anni '70 sorsero anche altre industrie, tra le quali la Polimeri Europa e lo stabilimento dell'Air Liquid, per la produzione di ossigeno liquido.

Del gruppo S.A.RA.S. fa parte anche la Sarlux, società che produce energia elettrica dal riutilizzo delle scorie della stessa raffineria.

5 WORK PACKAGE WP1

5.1 Obiettivi e risultati attesi

Gli obiettivi del **WP1 (Analisi delle trasformazioni del paesaggio agrario per effetto delle attività industriali)**, suddiviso in due fasi operative o Task, sono stati definiti in progetto nel seguente modo:

7

- **Task 1a:** analisi e perimetrazione degli usi agricoli pre-industriali e attuali attraverso la fotointerpretazione e l'ausilio di strati informativi dell'uso del suolo nelle aree prossime ai due poli industriali;
- **Task 1b:** confronto tra le due epoche, verifiche sul campo e perimetrazione esatta delle aree di indagine.

Come risultato dei due task è stata prevista la realizzazione di un livello informativo in cui individuare e computare 3 tipologie di aree rurali per ciascun territorio limitrofo ai poli industriali di Portovesme e di Macchiareddu-Sarroch:

AREE TRADIZIONALI: aree in cui è ancora presente l'uso agricolo

AREE DISMESSE: aree in cui l'uso agricolo è stato abbandonato

AREE CONSUMATE: superfici attualmente occupate da aree urbanizzate e infrastrutture industriali non più classificabili come aree agricole

5.2 Materiali e metodi

L'indagine delle trasformazioni d'uso del suolo è stata svolta attraverso la fotointerpretazione e la consultazione della Carta dell'uso e copertura del suolo della Sardegna (strutturata secondo il Progetto della Corine Land Cover, 2008) mediante metodologie GIS. Preliminarmente è stata delimitata l'area di indagine in base all'assetto morfologico dei territori, prediligendo le aree di pianura, e al perimetro dei consorzi industriali analizzati dal progetto.

I materiali di consultazione utilizzati per le indagini delle trasformazioni d'uso del suolo sono stati principalmente forniti dalla Regione Sardegna.

Per l'indagine sugli **usi pre-industriali** sono stati esaminati i seguenti documenti:

- Ortofoto relative agli anni 1954, 1968 e 1977 a risoluzioni spaziali crescenti. Per l'area che si estende nel territorio di Portoscuso si è reso necessario utilizzare principalmente le ultime due serie di ortofoto in quanto quelle del 1954, qualitativamente inferiori, non permettevano un'adeguata interpretazione degli usi; al contrario per l'area compresa prevalentemente nei territori di Assemini-Sarroch la scelta dell'ortofoto del 1954 è stata obbligata in quanto nel 1968 l'agglomerato industriale era già in avanzata fase di realizzazione.
- Cartografia IGM del 1968 (5^a edizione) in scala 1:25.000 in formato cartaceo.

Per l'indagine sugli **usi post-industriali** sono stati utilizzati i seguenti documenti:

- Ortofoto degli anni 2013, 2016 e 2019;
- Layer dell'uso del suolo della Sardegna in scala 1:25.000 (Corine Land Cover, 2008);
- DBMP10K (strato informativo della viabilità e dell'edificato urbano ed extra-urbano);
- Servizi web Google Maps e Google Earth utili per una migliore definizione dell'uso del suolo attuale.

Per definire la trasformazione dell'uso del suolo e delimitare le tre tipologie di aree rurali (tradizionali, dismesse e consumate), obiettivo finale del WP1, si è reso necessario accorpere preliminarmente gli usi identificati nelle due epoche in 3 macro categorie:

- **aree agricole** rappresentanti tutti gli elementi aventi un uso agricolo;
- **aree naturali e seminaturali** ovvero tutte le aree in cui insistono situazioni di naturalità e seminaturalità, come ad esempio gariga, macchia mediterranea, cespuglieti ed arbusteti, area a ricolonizzazione artificiale;

- **aree di non suolo** ovvero le aree dove non vi è suolo (es. specchi d'acqua) o dove la risorsa suolo è stata consumata dall'urbanizzazione e dall'industria, esclusa la viabilità extraurbana.

Successivamente nella fase di interpretazione e di delimitazione dei singoli poligoni d'uso, soprattutto per il periodo pre-industriale, sono state stabilite nuove e più ampie classi interpretative, non sempre corrispondenti a quelle della Corine Land Cover, utili alla perimetrazione di quelle aree difficilmente qualificabili a causa della scarsa definizione delle ortofoto. In particolare, le voci introdotte sono:

- **Coltivi:** si intendono le superfici coltivate classificate nella CORINE come “2.1. - Seminativi”, “2.2. - Colture permanenti” e “2.4. - Zone agricole eterogenee”, ad esclusione delle superfici di dettaglio uguale o maggiore (III livello) che si è riusciti, solo in alcuni casi, ad individuare mediante fotointerpretazione (ad es. oliveti e vigneti).
- **Incolti:** si intendono le superfici abbandonate da più di 5 anni in cui non si è ancora instaurata una vegetazione spontanea evoluta tali da poterle collocare in una delle classi di maggiore dettaglio previste dalla Corine. Per questo motivo sono stati ricompresi nella macro categoria delle aree naturali e seminaturali.
- **Dune e retrodune con copertura vegetale:** questa voce rappresenta le dune stabili o dune fossili, con particolare riferimento al territorio di Portoscuso, sulle quali si è impostata una vegetazione tipica di ambiente mediterraneo (ad es. *Juniperus sp.*) che corrispondente alla classe “3.3.1.3. - Aree dunali con copertura vegetale con ampiezza superiore a 25 m” della Corine. Se si considera la classe “3.3.1. - Spiagge, dune e sabbie” della Corine, che la collocherebbe nella categoria di “Non suolo” si è scelto di inserirla nella classe delle “Aree naturali e seminaturali” grazie ai Servizi Ecosistemici offerti dal suolo in questi ambienti rispetto alle spiagge costiere.
- **Vegetazione ripariale:** superfici accomunabili alla categoria “3.2.2.2. - Formazioni di ripa non arboree” sebbene si tratti di associazioni vegetali caratterizzate dalla presenza di tutti gli strati di vegetazione compreso quello arboreo (salici, pioppi, tamerici, ecc.).
- **Specchi d'acqua:** sotto questa voce sono state raggruppate tutte le superfici naturali o artificiali coperte da acque destinate o meno all'uso agricolo o ittico. Fanno parte di questa categoria tutti i “5. - Corpi idrici” siano essi “5.1. - Acque continentali” o “5.2. - Acque marittime” della Corine.
- **Aree urbane e antropizzate:** si intendono tutte le superfici appartenenti alla classe di primo livello della Corine “1. - Superfici artificiali”, ad esclusione della categoria “1.1.2.1. - Tessuto

agro-residenziale sparso e fabbricati rurali a carattere tipicamente agricolo o rurale” fatti ricadere nella voce “**Tessuto agro-residenziale**”.

- **Agrumeti**: si tratta di colture permanenti non presenti nella Corine e ricomprese nella classe di III livello “2.2.2. - Frutteti e frutti minori”.
- **Aree di esondazione fluviale**: con questa voce si intende un’area di esondazione fluviale di recente formazione. Nello specifico si riferisce ad un’area piuttosto estesa (circa 17 ettari) in prossimità del Rio Santa Lucia (area di Assemini-Sarroch) formatasi in occasione dell’esondazione dell’ottobre del 2018. Data l’estensione si è deciso di differenziarla dagli usi circostanti inserendola tra le aree naturali e seminaturali.

10

Un’ulteriore precisazione riguarda le voci “**3.2.1. - Aree a pascolo naturale**”, “**3.1.1.2.1. - Eucalipteti**” e “**3.1.1.2.2. - Sugherete**”, che appartengono al III livello della Corine (3. – Territori boscati ed altri ambienti seminaturali) e che invece sono state inserite nella macro categoria delle **aree agricole** in virtù del fatto che la maggior parte degli elementi individuati assolve ad una funzione produttiva.

La delimitazione dei poligoni dei diversi usi del suolo, realizzata attraverso il tool *Editor* di *ArcMap* 10.7.1, ha portato all’elaborazione della prima bozza di Carta d’Uso del suolo per entrambe le aree e per i due periodi analizzati. Successivamente, è stata avviata una verifica sul campo per l’aggiornamento degli usi attuali ottenuti nella prima fase di fotointerpretazione. Grazie all’utilizzo di tablet Android e dell’App *QField*, versione mobile del software *QGIS*, i dati tabellari realizzati nella prima bozza della Carta dell’Uso del suolo sono stati corretti direttamente in campo, mentre le delimitazioni degli elementi poligonali sono stati aggiornati in un secondo tempo su *ArcMap* desktop.

Successivamente si è proceduto, per entrambe le epoche, mediante una query sugli attributi tabellari dei due shapefile (1954/1968 e 2019), all’accorpamento degli usi nelle tre macro categorie sopracitate: aree agricole, aree naturali e seminaturali e aree di non suolo.

Infine, dalla sovrapposizione di ciascuno dei tre layer con quello delle aree agricole del 1954/1968 (*tool Intersect*), si è giunti alla realizzazione dello strato informativo di sintesi (Figura 2) con le seguenti tre tipologie:

AREE TRADIZIONALI: rappresentate dalla sovrapposizione del layer delle aree agricole del *pre-industriale* (1954/1968) con quello delle aree agricole attuali (2019)

AREE DISMESSE: risultate dalla sovrapposizione del layer delle aree agricole del *pre-industriale* (1954/1968) con quello delle aree naturali e seminaturali attuali (2019)

AREE CONSUMATE: ricavate dall'intersezione del layer delle aree agricole del *pre industriale* (1954/1968) con quello delle aree del non suolo attuale (2019)

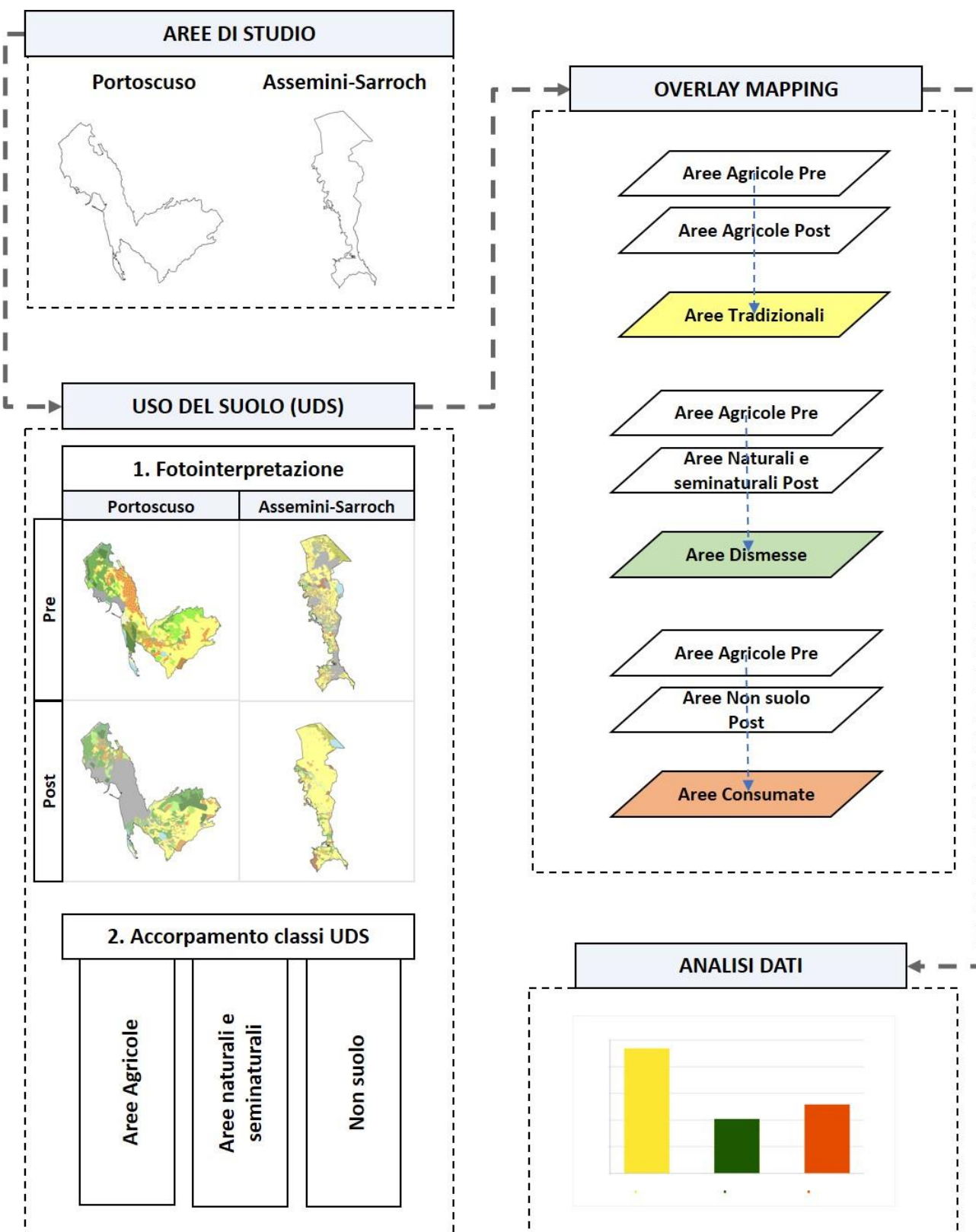


Figura 2: Schema della procedura utilizzata per la realizzazione dello strato informativo di sintesi

5.3 Task 1a - Analisi e perimetrazione degli usi agricoli pre-industriali e attuali

5.3.1 Area di Portoscuso

L'area oggetto di indagine occupa una superficie complessiva di 3.412,5 ha (Figura 3).

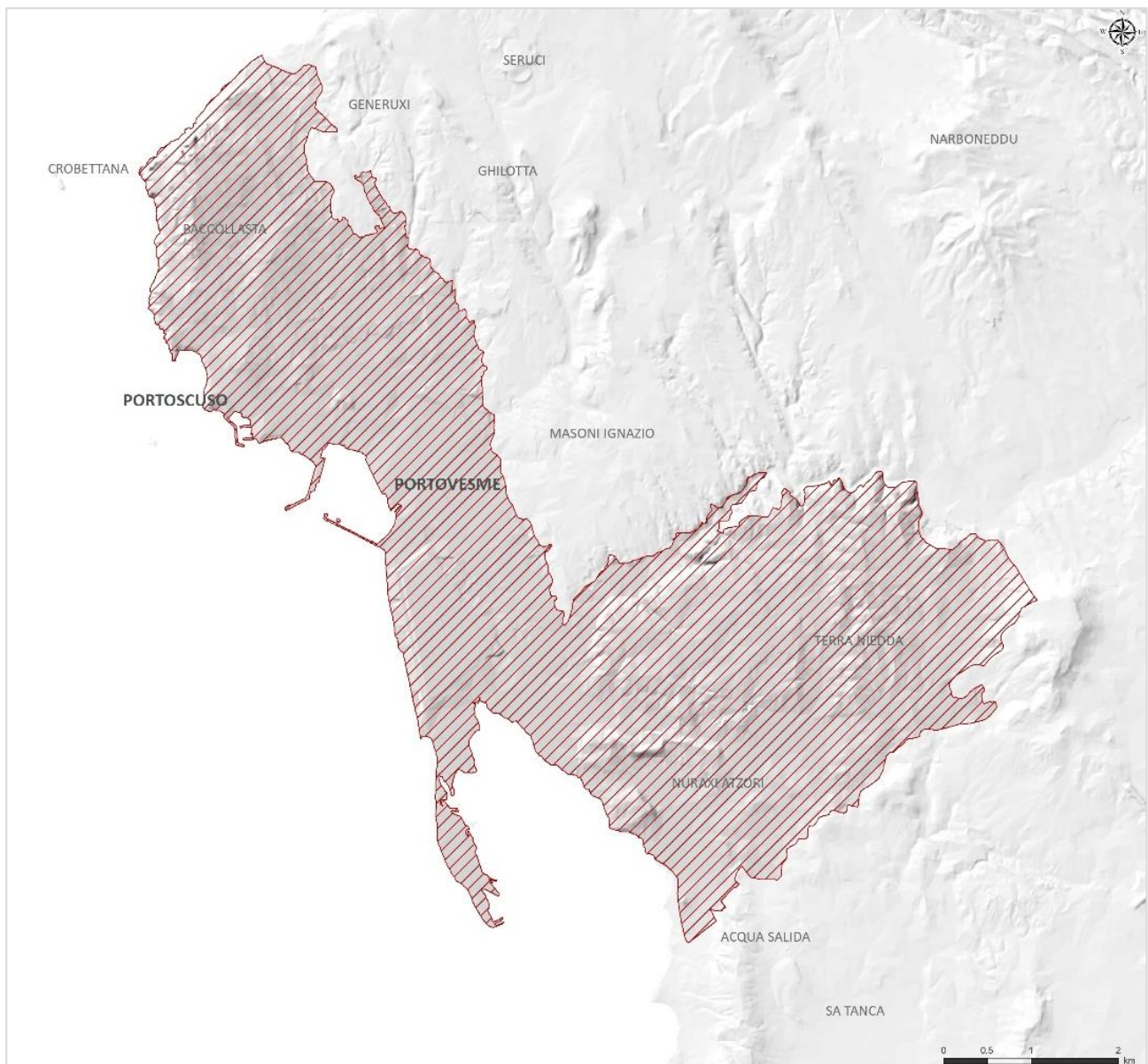


Figura 3: Area oggetto d'indagine

L'analisi degli usi relativa ai due periodi 1968 e 2019 è rappresentata nella Figura 4 e Figura 5.

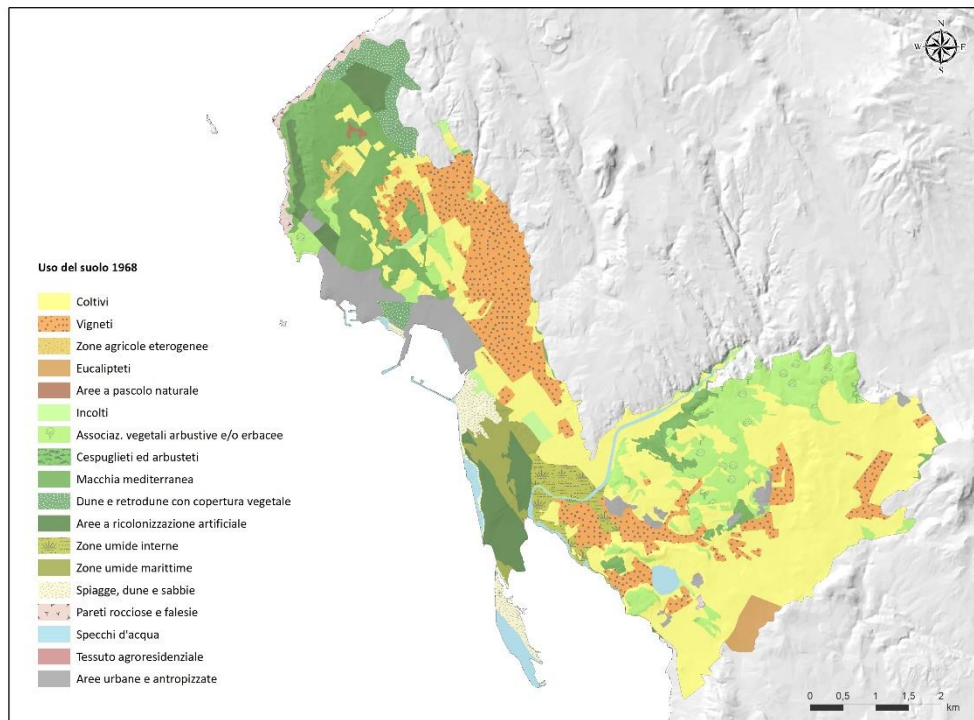


Figura 4: Carta dell'uso del suolo nel 1968

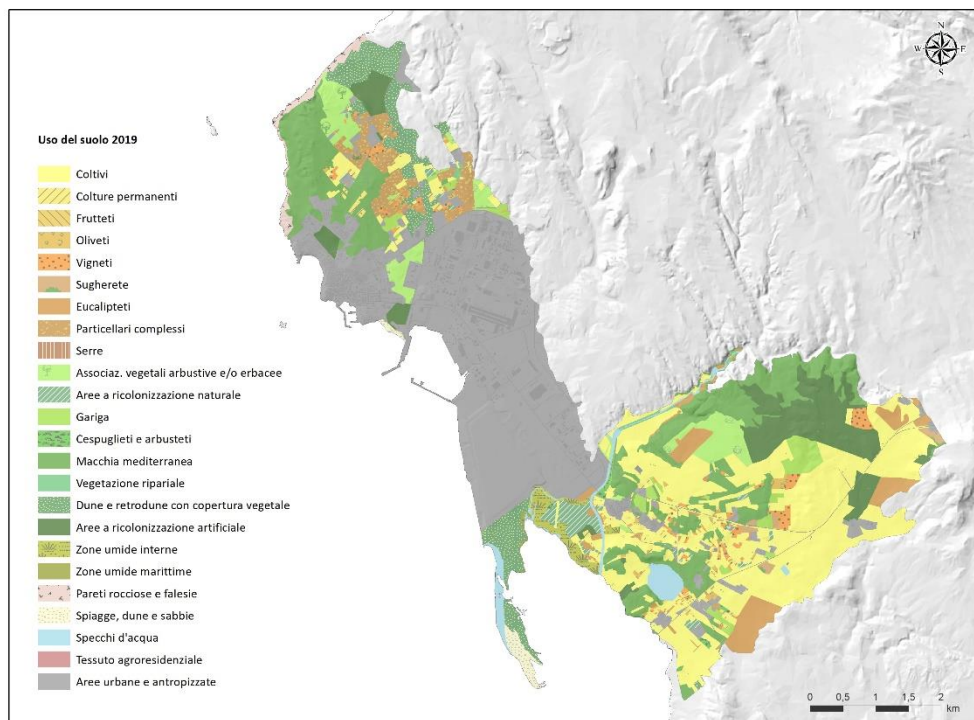


Figura 5: Carta dell'uso del suolo nel 2019

In riferimento al lavoro di fotointerpretazione e alla successiva fase di digitalizzazione, per l'uso del suolo del 1968 è stato generato un layer avente 225 elementi poligionali, ognuno dei quali è stato

qualificato secondo le voci di nuova istituzione e le classi della Corine Land Cover, raggiungendo, in alcuni casi, il V livello.

Anche al layer rappresentante **l'uso del suolo attuale**, che contiene invece 531 elementi, è stato associato il relativo attributo d'uso sempre secondo le classi di legenda della Corine Land Cover. Come era lecito aspettarsi, a causa del maggior dettaglio raggiunto con la fotointerpretazione delle immagini più recenti, le classi di legenda sono risultate più numerose rispetto a quello del periodo pre-industriale (ad esempio le zone agricole eterogenee sono state differenziate in usi singoli).

Le voci di legenda sono risultate rispettivamente 18 per l'anno 1968 e 24 per l'attuale (Tabella 2 e Tabella 3).



Panorama dell'area di Portoscuso

Tabella 2: Voci di legenda della Carta dell'uso del suolo dell'anno 1968

AREE AGRICOLE	AREE NATURALI E SEMINATURALI	AREE DI NON SUOLO
Aree a pascolo naturale	Aree a ricolonizzazione artificiale	Aree urbane e antropizzate
Coltivi	Associazioni vegetali arbustive e/o erbacee	Pareti rocciose e falesie
Eucalipteti	Cespuglieti ed arbusteti	Specchi d'acqua
Vigneti	Dune e retrodune con copertura vegetale	Spiagge, dune e sabbie
Zone agricole eterogenee	Incolti	Tessuto agro-residenziale
	Macchia mediterranea	
	Zone umide interne	
	Zone umide marittime	

Tabella 3: Voci di legenda della Carta dell'uso del suolo dell'anno 2019

AREE AGRICOLE	AREE NATURALI E SEMINATURALI	AREE DI NON SUOLO
Coltivi	Aree a ricolonizzazione artificiale	Aree urbane e antropizzate
Colture permanenti	Aree a ricolonizzazione naturale	Pareti rocciose e falesie
Eucalipteti	Associazioni vegetali arbustive e/o erbacee	Specchi d'acqua
Frutteti	Cespuglieti ed arbusteti	Spiagge, dune e sabbie
Oliveti	Dune e retrodune con copertura vegetale	Tessuto agro-residenziale
Particellari complessi	Gariga	
Serre	Macchia mediterranea	
Sugherete	Vegetazione ripariale	
Vigneti	Zone umide interne	
	Zone umide marittime	

5.3.2 Area di Assemini-Sarroch

L'area oggetto di indagine si estende per una superficie complessiva di 9.667 ha (Figura 6).



Figura 6: Area oggetto d'indagine.

L'analisi degli usi relativi ai due periodi è rappresentata nella Figura 7.

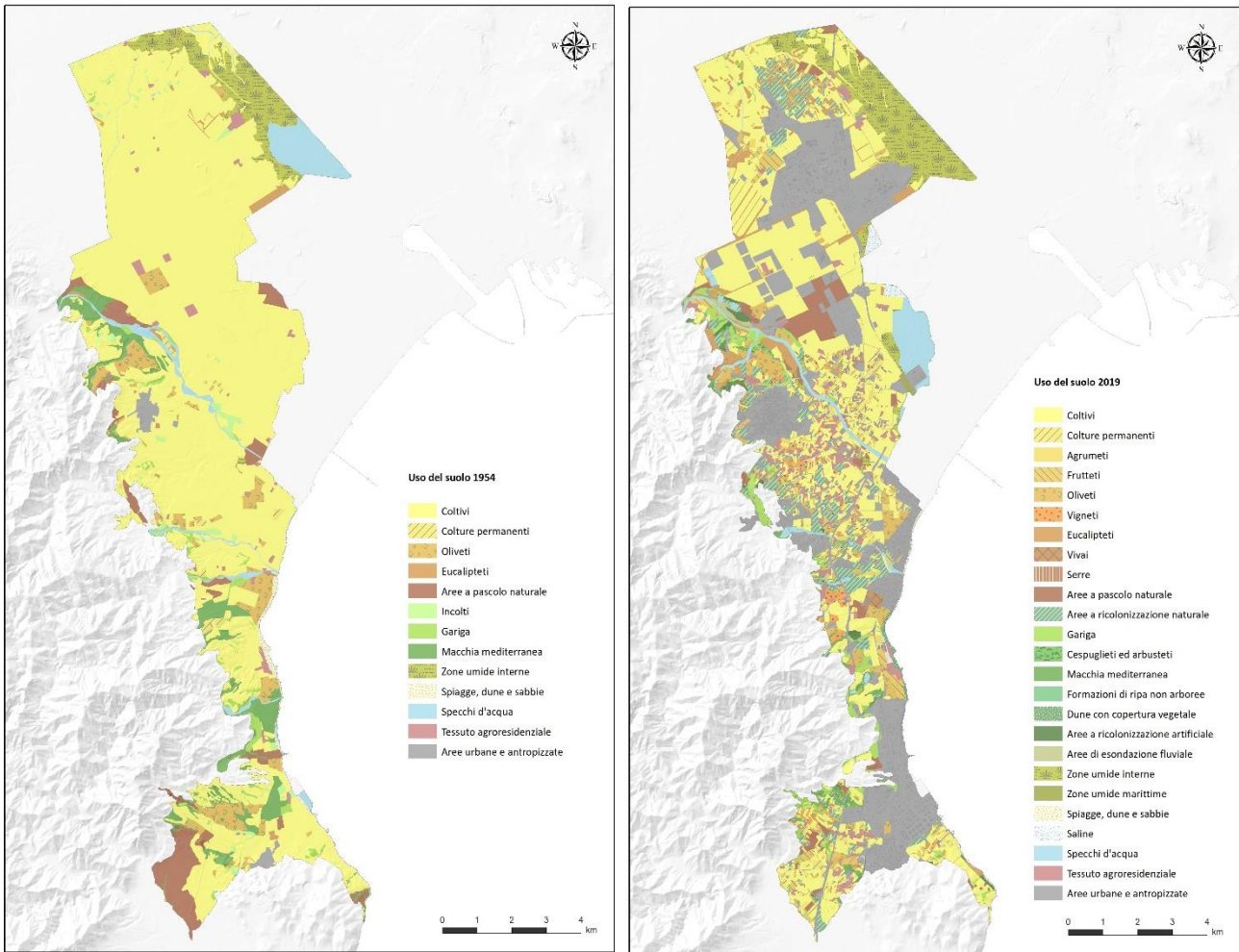


Figura 7: Carte dell'uso del suolo del 1954 e del 2019



Panorama dell'areale di Macchiareddu

Per l'uso del suolo del 1954 è stato generato un layer finale avente 370 elementi poligonali ognuno dei quali è stato qualificato con le classi della legenda Corine Land Cover, raggiungendo, in alcuni casi, il V livello, mentre il layer rappresentante l'uso del suolo attuale ne contiene 2.025. Dopo l'accorpamento nelle tre macro categorie (aree agricole, naturali e seminaturali

e di non suolo) e dopo le verifiche sul campo, le voci di legenda sono risultate rispettivamente 13 per l'anno 1954 e 24 per l'attuale (Tabella 4 e Tabella 5).

Tabella 4: Voci di legenda della Carta dell'uso del suolo dell'anno 1954

AREE AGRICOLE	AREE NATURALI E SEMINATURALI	AREE DI NON SUOLO
Aree a pascolo naturale	Gariga	Aree urbane e antropizzate
Coltivi	Incolti	Specchi d'acqua
Colture permanenti	Macchia mediterranea	Spiagge dune e sabbie
Eucalipteti	Zone umide interne	Tessuto agro-residenziale
Oliveti		

Tabella 5: Voci di legenda della Carta dell'uso del suolo dell'anno 2019

AREE AGRICOLE	AREE NATURALI E SEMINATURALI	AREE DI NON SUOLO
Agrumeti	Aree a ricolonizzazione artificiale	Saline
Aree a pascolo naturale	Aree a ricolonizzazione naturale	Specchi d'acqua
Coltivi	Aree di esondazione fluviale	Spiagge dune e sabbie
Colture permanenti	Cespuglieti ed arbusteti	Tessuto agro-residenziale
Eucalipteti	Dune con copertura vegetale	
Frutteti	Vegetazione ripariale	
Oliveti	Gariga	
Serre	Macchia mediterranea	
Vigneti	Zone umide interne	
Vivai	Zone umide marittime	

5.4 Task 1b - Confronto tra le due epoche

5.4.1 Area di Portoscuso

Dal confronto tra gli usi delle due epoche *pre* e *post industriale* è emerso che nel 1968 le **aree agricole** occupavano il 54,6 % della superficie totale pari a 1.862,4 ha, le **aree naturali e seminaturali** occupavano il 35,1 % pari a 1.198,5 ha e le **aree di non suolo** si estendevano per il 10,3 % su una superficie di 351,7 ha (Figura 8).

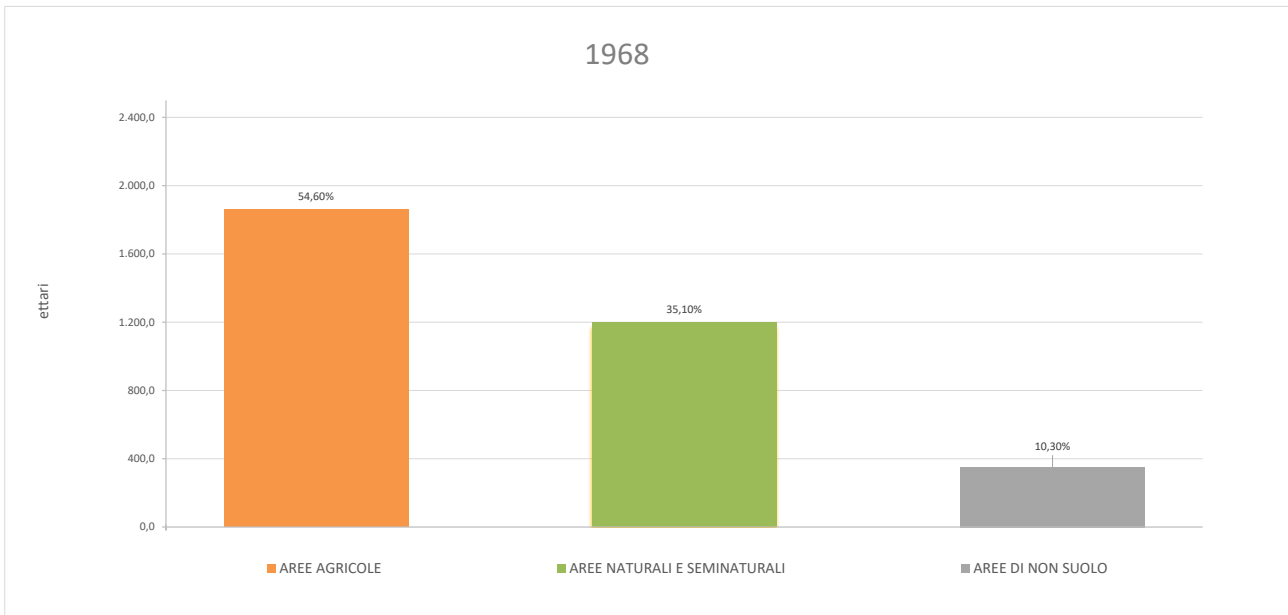


Figura 8: Superfici occupate dalle tre macro categorie di uso del suolo nell'area di Portoscuso nel 1968

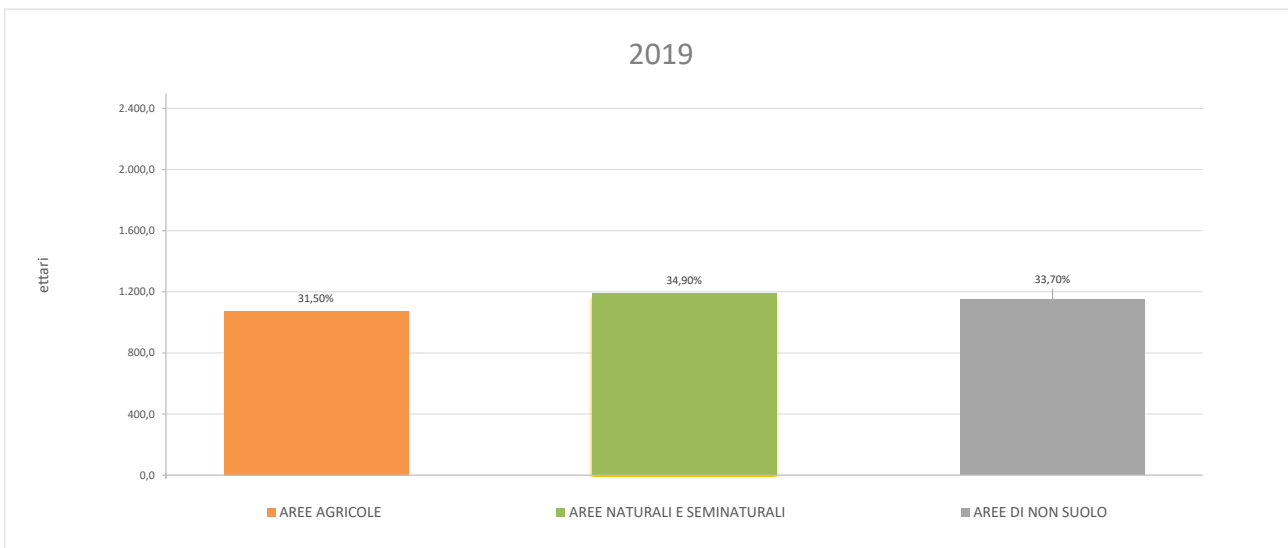


Figura 9: Superfici occupate dalle tre macro categorie di uso del suolo nell'area di Portoscuso nel 2019

Attualmente le **aree agricole** occupano il 31,5 % del territorio indagato pari a 1.074 ha, le **aree naturali e seminaturali** occupano il 34,9 % corrispondenti a 1.190,1 ha e le **aree di non suolo** occupano il 33,7 % pari a 1.148,5 ha (Figura 9).

Nella Tabella 6 e nella Tabella 7 sono riportate nel dettaglio le superfici occupate da ogni singolo uso rispettivamente per gli anni 1968 e 2019, espresse sia in ettari sia in percentuale calcolata sul totale dell'area occupata da ciascuna macro categoria.

Tabella 6: Superfici occupate dai singoli usi del suolo nell'area di Portoscuso nel 1968

AREE AGRICOLE			AREE NATURALI E SEMINATURALI			AREE DI NON SUOLO		
Uso	ha	%	Uso	ha	%	Uso	ha	%
Coltivi	1.270,2	68,2	Associazioni vegetali arbustive e/o erbacee	380,3	31,7	Aree urbane e antropizzate	177,3	50,4
Vigneti	539,8	29,0	Macchia mediterranea	370,2	30,9	Specchi d'acqua	78,7	22,4
Eucalipteti	37,0	2,0	Aree a ricolonizzazione artificiale	165,1	13,8	Spiagge dune e sabbie	66,1	18,8
Zone agricole eterogenee	12,1	0,6	Aree dunali coperte da vegetazione	97,8	8,2	Pareti rocciose e falesie	28,2	8,0
Area a pascolo naturale	3,3	0,2	Zone umide interne	79,7	6,7	Tessuto agro-residenziale	1,5	0,4
			Zone umide marittime	74,6	6,2			
			Incolti	30,1	2,5			
			Cespuglieti ed arbusteti	0,7	0,1			
Superficie Totale	ha 1.862,4		Superficie Totale	ha 1.198,5		Superficie Totale	ha 351,7	

Tabella 7: Superfici occupate dai singoli usi del suolo nell'area di Portoscuso nel 2019

AREE AGRICOLE			AREE NATURALI E SEMINATURALI			AREE DI NON SUOLO		
Uso	ha	%	Uso	ha	%	Uso	ha	%
Coltivi	773,3	72,0	Macchia mediterranea	491,2	41,3	Aree urbane e antropizzate	1.038,2	90,4
Eucalipteti	113,3	10,5	Aree a ricolonizzazione artificiale	239,8	20,1	Specchi d'acqua	61,6	5,4
Particellari complessi	88,1	8,2	Dune e retrodune con copertura vegetale	171,9	14,4	Pareti rocciose e falesie	27,0	2,3
Vigneti	48,0	4,5	Associazioni vegetali arbustive e/o erbacee	129,7	10,9	Spiagge, dune e sabbie	21,3	1,9
Colture permanenti	22,2	2,1	Gariga	64,1	5,4	Tessuto agro-residenziale	0,5	0,0
Oliveti	16,4	1,5	Aree a ricolonizzazione naturale	40,3	3,4			
Sugherete	12,3	1,1	Zone umide interne	35,5	3,0			
Serre	0,3	0,0	Cespuglieti e arbusteti	7,6	0,6			
Frutteti	0,03	0,0	Vegetazione ripariale	6,6	0,6			
			Zone umide marittime	3,4	0,3			
Superficie Totale	ha 1.074,0		Superficie Totale	ha 1.190,1		Superficie Totale	ha 1.148,5	

Dai dati sintetizzati nelle tabelle precedenti risulta evidente come i singoli usi del suolo abbiano subito profonde modificazioni nel tempo ed in particolare di come le aree coltivate a vite abbiano subito un notevole decremento, passando da circa 540 ettari nel 1968 a soli 48 ettari nel 2019.

Come si osserva nella Figura 10 le aree agricole hanno subito un decremento pari a 788,4 ha; le superfici perse a favore delle aree di non suolo sono state di 796,8 ha mentre le aree naturali e seminaturali hanno subito un leggero decremento pari a 8,4 ha.

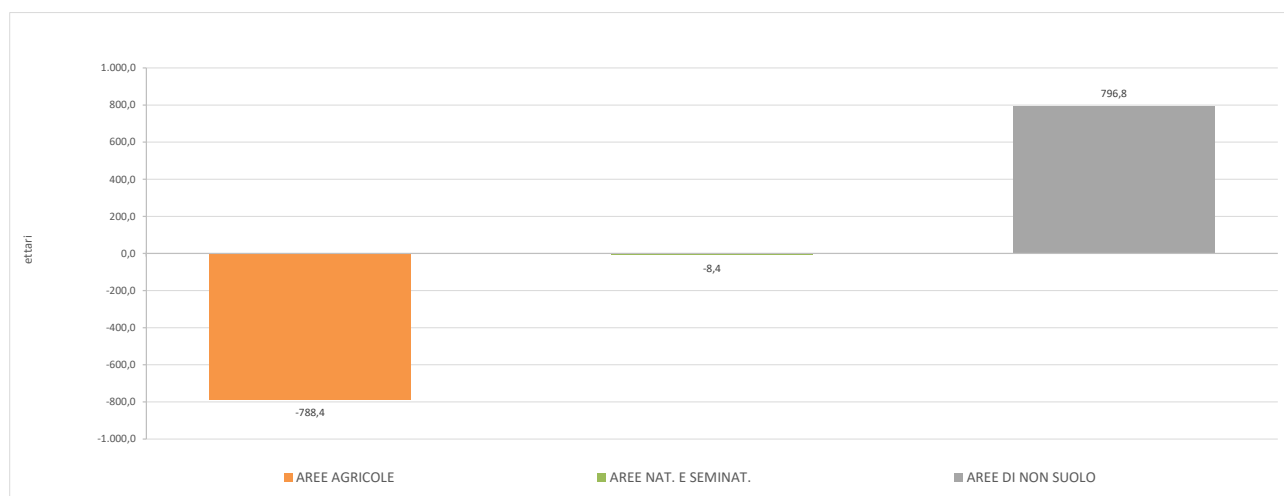


Figura 10: Variazioni in ettari delle macro categorie di uso dal 1968 al 2019 nell'area di Portoscuso

Dall'*intersect* dello shapefile delle aree agricole del 1968 con quello delle tre macro categorie del 2019 (agricole, naturali e seminaturali e non suolo), è stato ricavato lo strato informativo finale con l'indicazione delle tre tipologie di aree agricole: **tradizionali**, **dismesse** e **consumate** (Figura 11).

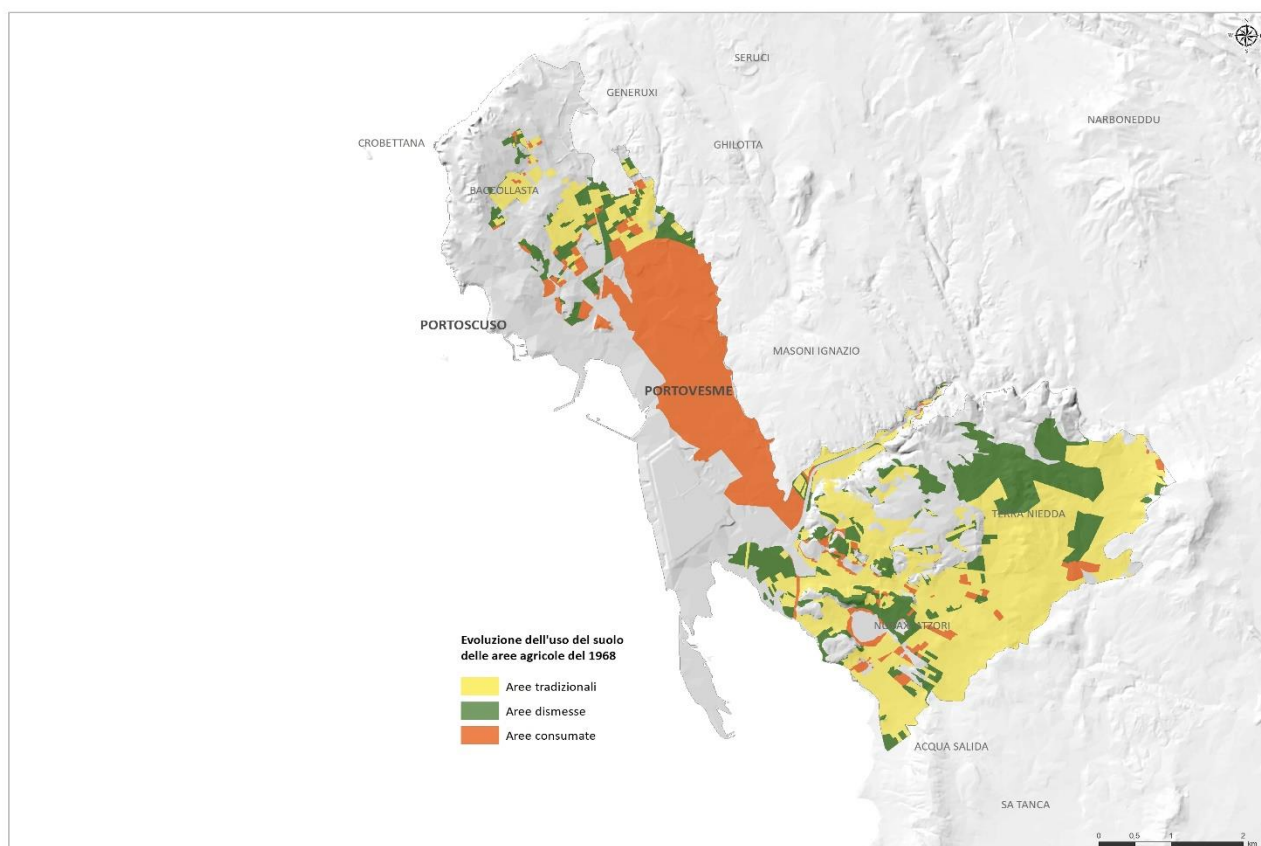


Figura 11: Carta dell'evoluzione delle aree agricole

La loro estensione in ettari è sintetizzata in Figura 12, mentre nella Figura 13 si riporta l'ulteriore distinzione in ciò che è stato consumato a causa dell'attività industriale rispetto al consumo dovuto ad altre attività antropiche (ad esempio urbanizzazione, cave, ecc.).

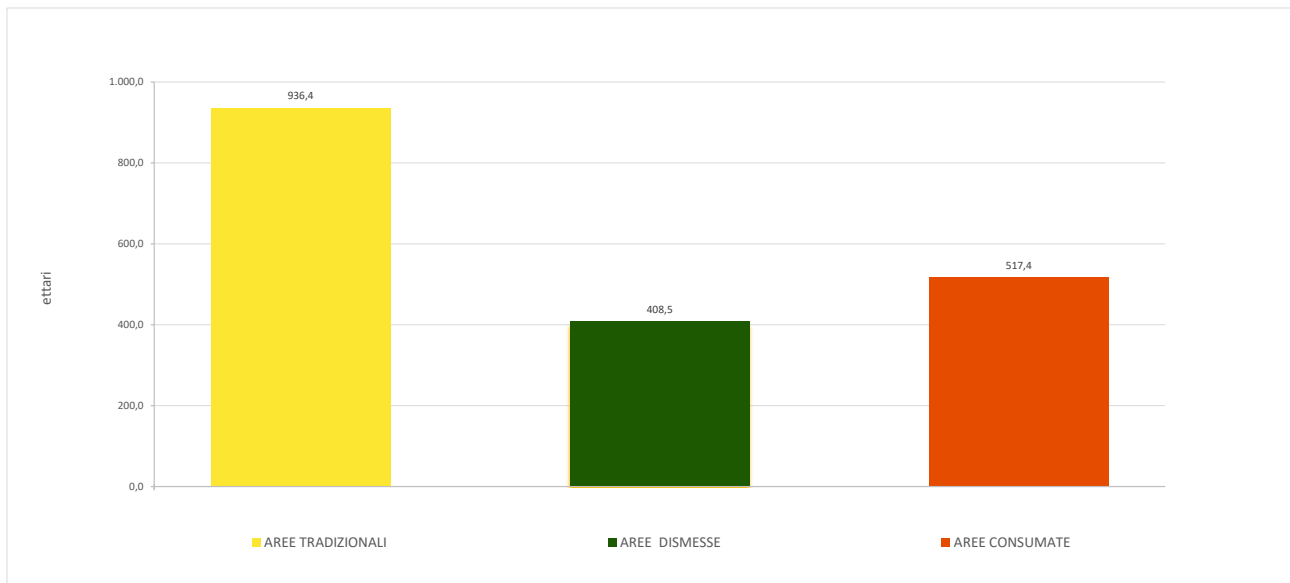


Figura 12: Evoluzione d'uso del suolo nelle due epoche 1968 e 2019

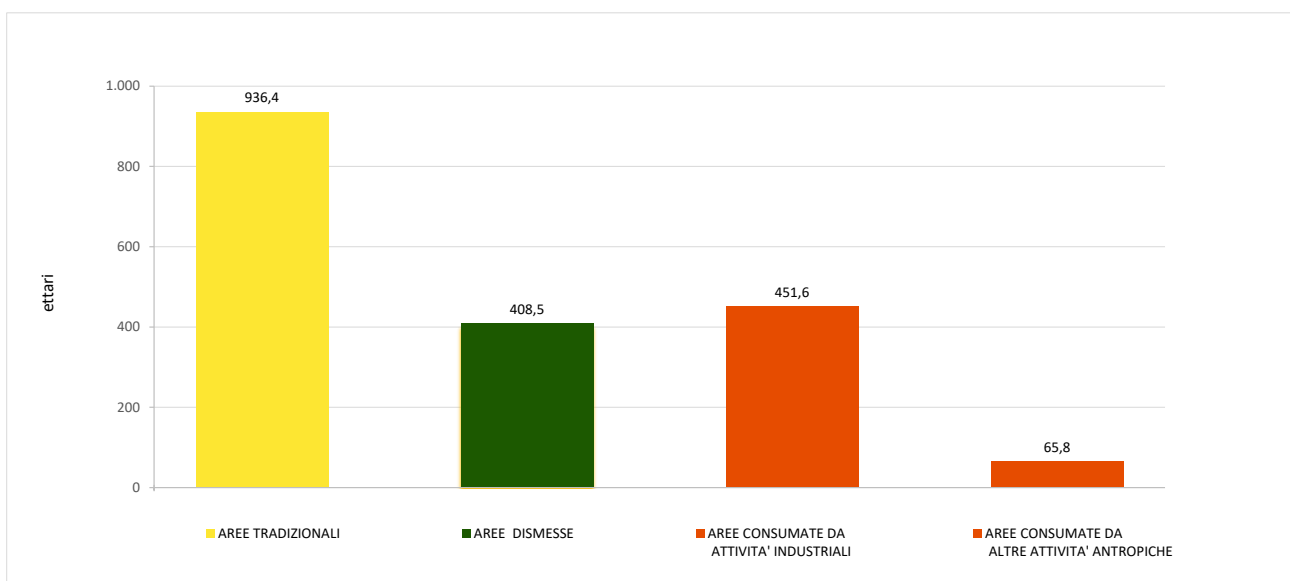


Figura 13: Evoluzione d'uso del suolo nelle due epoche 1968 e 2019 con l'ulteriore differenziazione per le aree consumate

Riepilogando le aree agricole dell'epoca *pre-industriale* si sono così trasformate:

AREE TRADIZIONALI: il 50,3 % continua ad avere una valenza agricola

AREE DISMESSE: il 21,9 % delle aree agricole sono state abbandonate ma permangono condizioni di seminaturalità

AREE CONSUMATE: il 27,8 % risulta attualmente occupato da infrastrutture industriali, urbane residenziali

5.4.2 Area di Assemini-Sarroch

Dal confronto tra gli usi delle due epoche *pre* e *post* industriale è emerso che nel 1954 le **aree agricole** occupavano l'81,5 % della superficie totale pari a 7.874,5 ha, le **aree naturali e seminaturali** occupavano il 12,1 % pari a 1.167,6 ha e le **aree di non suolo** si estendevano per il 6,5 % per una superficie di 624,9 ha (Figura 14).

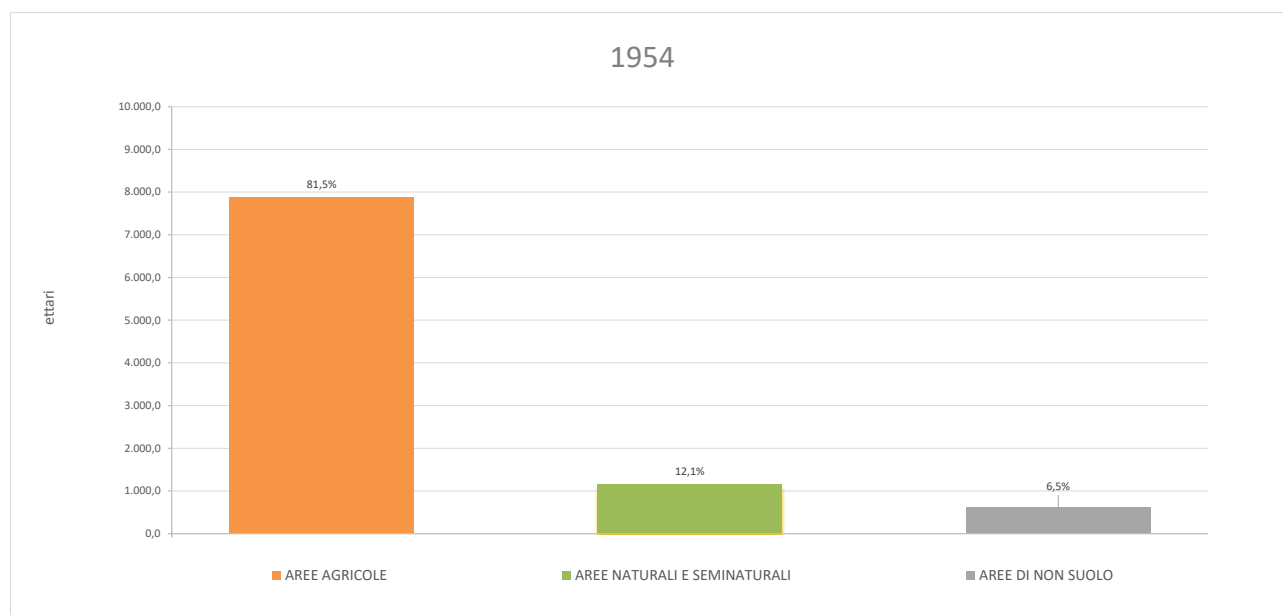


Figura 14: Superfici occupate dalle tre macro categorie di uso del suolo nell'area di Assemini-Sarroch nel 1954

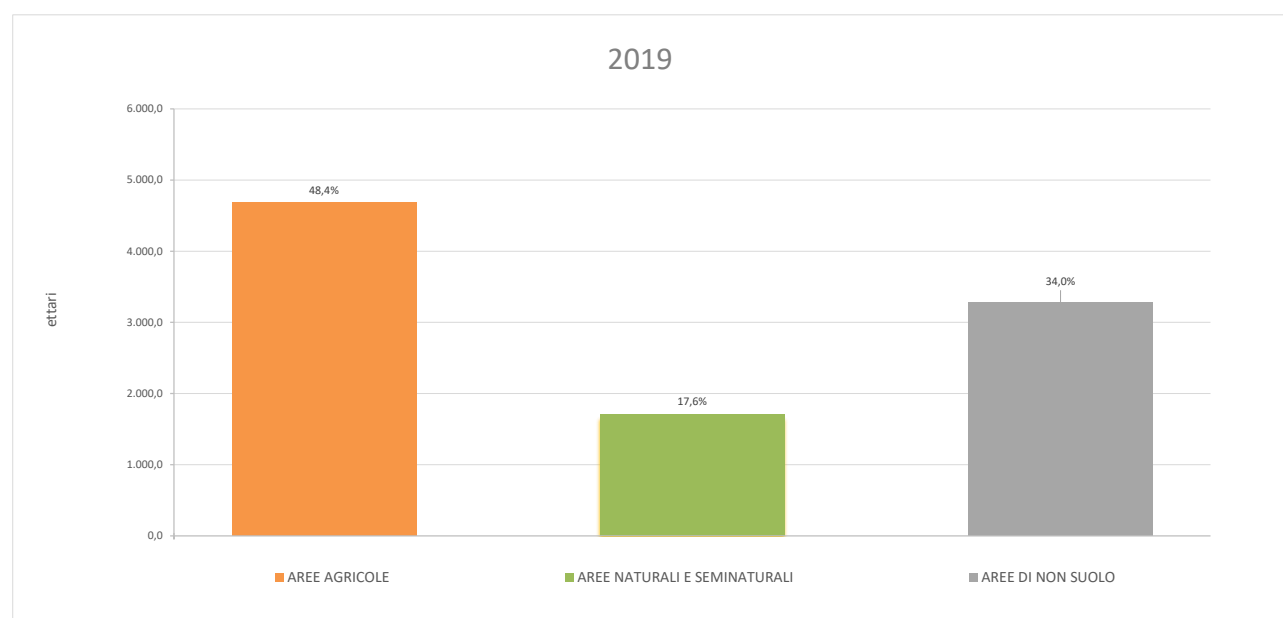


Figura 15: Superfici occupate dalle tre macro categorie di uso del suolo nell'area di Assemini-Sarroch nel 2019

Attualmente invece le **aree agricole** occupano il 48,4 % del territorio indagato pari a 4.679,1 ha, le **aree naturali e seminaturali** occupano il 17,6 % corrispondenti a 1.704,2 ha e le **aree di non suolo** occupano il 34 % pari a 3.283,7 ha (Figura 15).



Panorama dell'area di Macchiareddu

Nella Tabella 8 e nella Tabella 9 sono riportate nel dettaglio le superfici occupate da ogni singolo uso rispettivamente nel 1954 e nel 2019, espresse sia in ettari che in percentuale calcolata sulla superficie di ciascuna macro categoria di riferimento.

Tabella 8: Superfici occupate dai singoli usi del suolo nell'area di Assemini-Sarroch nel 1954

AREE AGRICOLE			AREE NATURALI E SEMINATURALI			AREE DI NON SUOLO		
Uso	ha	%	Uso	ha	%	Uso	ha	%
Coltivi	6.893,6	88	Macchia mediterranea	475,2	41	Specchi d'acqua	383,3	61
Pascolo naturale	443,7	6	Zone umide interne	441,6	38	Tessuto agro-residenziale	103,8	17
Oliveti	429,5	5	Gariga	144,3	12	Urbane antropizzate	79,0	13
Eucalipteti	60,2	1	Incolti	106,4	9	Spiagge, dune e sabbie	58,7	9
Colture permanenti	47,6	1						
Superficie Totale	ha 7.874,5		Superficie Totale	ha 1.167,6		Superficie Totale	ha 624,9	

Tabella 9: Superfici occupate dai singoli usi del suolo nell'area di Assemini-Sarroch nel 2019

AREE AGRICOLE			AREE NATURALI E SEMINATURALI			AREE DI NON SUOLO		
Uso	ha	%	Uso	ha	%	Uso	ha	%
Coltivi	3.016,3	64	Zone umide interne	692,3	41	Aree urbane e antropizzate	2563,8	78
Oliveti	389,1	8	Aree a ricolonizzazione naturale	547,9	32	Tessuto agro-residenziale	334,2	10
Eucalipteti	338,7	7	Gariga	235,8	14	Specchi d'acqua	333,1	10
Aree a pascolo naturale	285,8	6	Macchia mediterranea	98,5	6	Saline	37,2	1
Colture Permanenti	211,4	5	Ricolonizzazione artificiale	53,3	3	Spiagge, dune e sabbie	15,4	0
Vigneti	154,0	3	Cespuglieti e arbusteti	22,7	1			
Frutteti	134,3	3	Dune con copertura vegetale	19,4	1			
Serre	75,8	2	Aree di esondazione fluviale	17,8	1			
Agrumeti	51,5	1	Zone umide marittime	10,4	1			
Vivai	22,2	0	Vegetazione ripariale	6,0	0			
Superficie Totale	ha 4.679,1		Superficie Totale	ha 1.704,2		Superficie Totale	ha 3.283,7	

Come si osserva nella Figura 16, le aree agricole hanno subito un decremento di 3.195,4 ha, mentre le aree di non suolo sono aumentate di 2.658,8 ha e quelle naturali e seminaturali hanno subito un incremento di 536,6 ha.

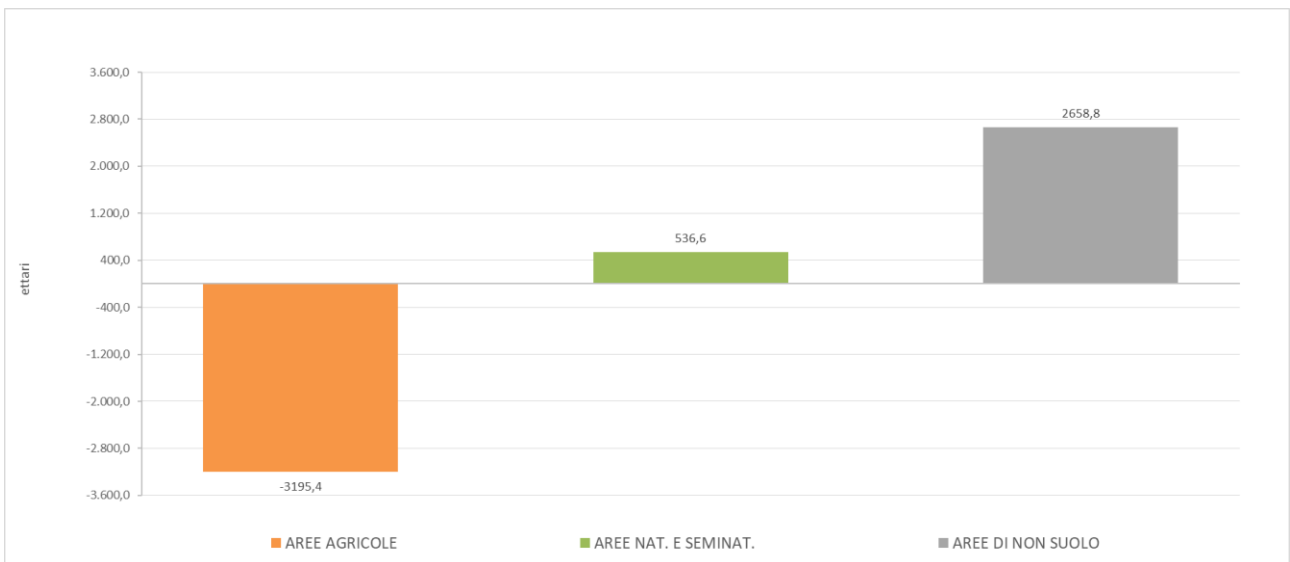


Figura 16: Variazioni in ettari delle tre macro categorie di uso suolo dal 1954 al 2019

Dall'*intersect* dello shapefile delle aree agricole del 1954 con quello delle tre macro categorie del 2019 (agricole, naturali e seminaturali e non suolo), è stato ricavato lo strato informativo finale con l'indicazione delle tre tipologie di aree agricole: **tradizionali**, **dismesse** e **consumate** (Figura 17).

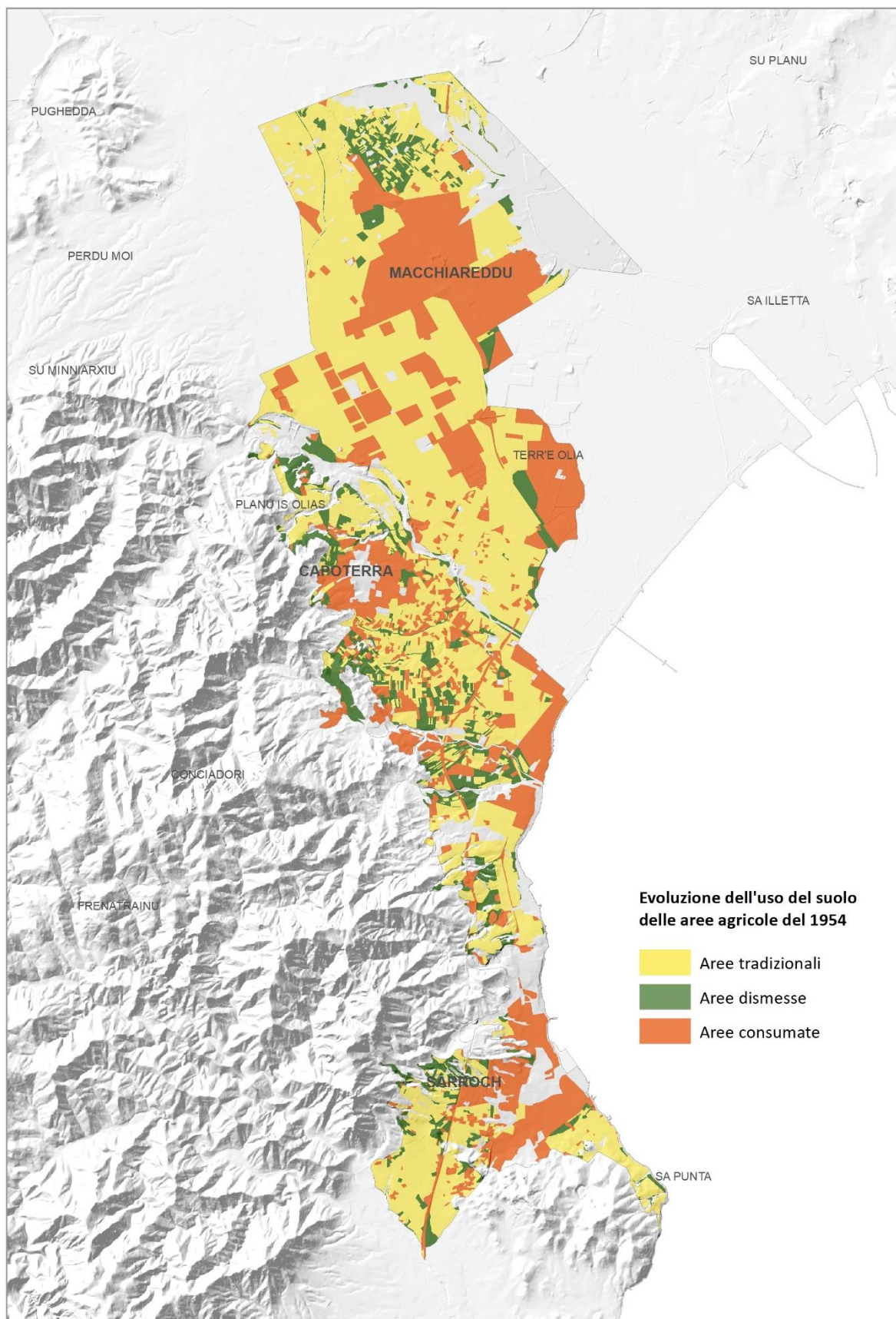


Figura 17: Carta dell'evoluzione delle aree agricole

Nella Figura 18 è rappresentata l'evoluzione dell'uso del suolo delle aree agricole dal 1954 al 2019.

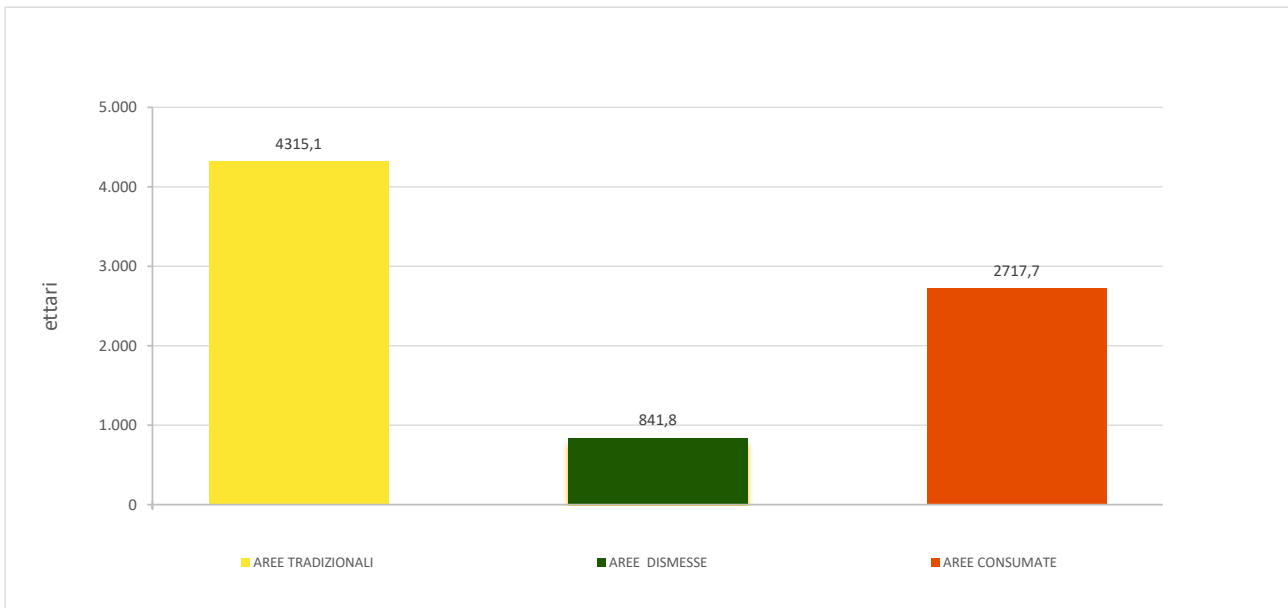


Figura 18: Trasformazioni d'uso del suolo delle aree agricole dal 1954 al 2019

Nella Figura 19 è stata riportata un'ulteriore distinzione di ciò che è stato consumato a causa dell'attività industriale rispetto al consumo dovuto ad altre attività antropiche (urbanizzazione, cave, ecc.).

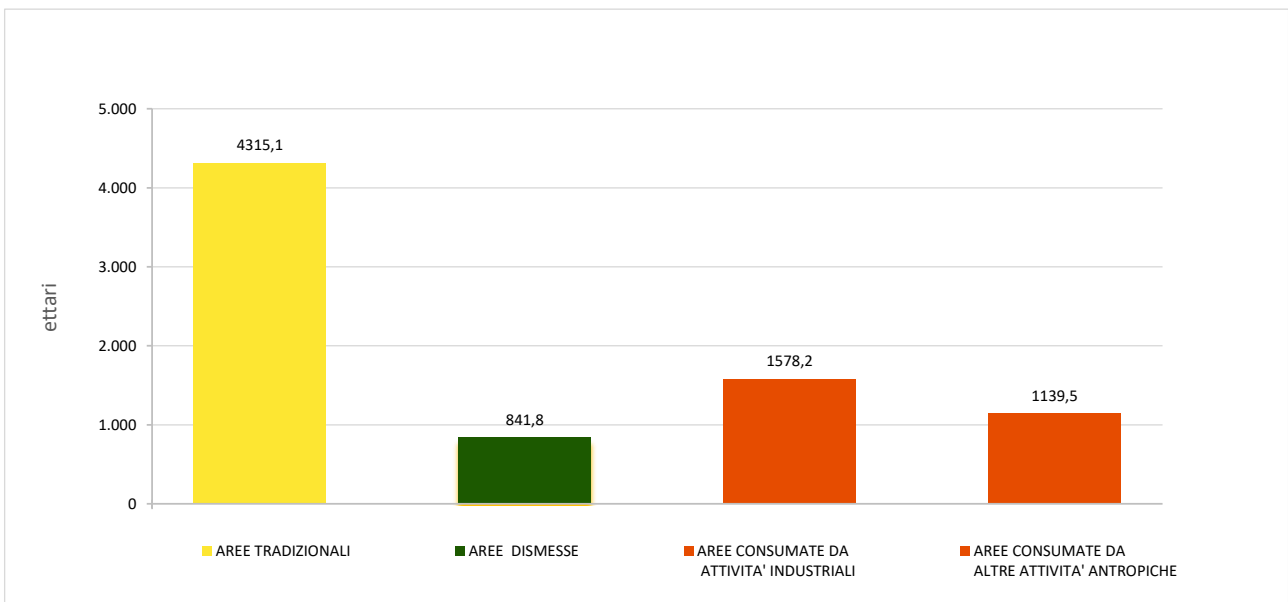


Figura 19: Trasformazioni d'uso del suolo nelle due epoche 1954 e 2019 con l'ulteriore differenziazione per le aree consumate

Riepilogando le aree agricole dell'epoca pre-industriale si sono così trasformate:

AREE TRADIZIONALI: il 54,8% continua ad avere una valenza agricola

AREE DISMESSE: il 10,7% delle aree agricole sono state abbandonate ma permangono condizioni di seminaturalità

AREE CONSUMATE: il 34,5% risulta attualmente occupato da infrastrutture industriali, urbane e antropizzate.

6 WORK PACKAGE WP2

6.1 Obiettivi e risultati attesi

Gli obiettivi del **WP2, Acquisizione di dati sui suoli e realizzazione della Carta delle Unità di terre**, sono stati riassunti nel progetto in tre fasi operative o Task, e precisamente:

- **Task 2a:** verifica, raccolta e organizzazione delle informazioni esistenti e dei dati bibliografici (profili pedologici, dati analitici, cartografie a varie scale, ecc.);
- **Task 2b:** rilievi sul campo e acquisizione di nuovi dati pedologici (descrizione e campionamento dei suoli, esecuzione analisi fisico-chimiche) nelle aree prive di dati;
- **Task 2c:** immissione dei dati nel Database dei Suoli della Sardegna (DBSS), elaborazione e interpretazione dei dati, creazione della Carta delle Unità di Terre, attribuzione delle classi di Capacità d'Uso e del valore dei Servizi Ecosistemici.

Il risultato finale del WP2 è stato la realizzazione di **n. 1 livello informativo** contenente le informazioni ottenute dai tre task e precisamente:

- **CARTA DELLE UNITA' DI TERRE**
- **CLASSI DI CAPACITA' D'USO**
- **VALORE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI**

6.2 Materiali e metodi

L'analisi dei dati pedologici presenti nelle aree di studio, incentrata nella ricerca bibliografica di profili, trivellate, minipit e campionamenti effettuati all'interno e nell'area limitrofa a quella di studio, ha prodotto risultati differenti tra le due aree. In particolare, l'area del polo industriale di Macchiareddu-Sarroch era stata oggetto di studio del Progetto CUT1 nel 2014, con la realizzazione della Carta delle Unità di Terre e di Capacità d'Uso dei suoli - 1° lotto, e di un numero consistente di osservazioni pedologiche, dati chimico-fisici e cartografie alla scala 1:50.000 (AA.VV., 2014). Nell'area di Portovesme la limitata disponibilità di informazioni pedologiche ha, al contrario, comportato la predisposizione di un nuovo programma d'indagine con descrizione di ulteriori profili, trivellate ed analisi. È stata in tal modo realizzata la carta delle Unità di Terre e della Capacità d'Uso

alla scala 1:50.000 *ex novo*, secondo la metodologia messa a punto con il progetto CUT1. Infine, per entrambe le aree, e per ciascuna Unità di Terre, è stato effettuato il calcolo dei Servizi Ecosistemici.

6.3 Task 2a - Verifica, raccolta e organizzazione delle informazioni esistenti

6.3.1.1 Area di Portoscuso

33



Panorama dell'area umida di Portoscuso

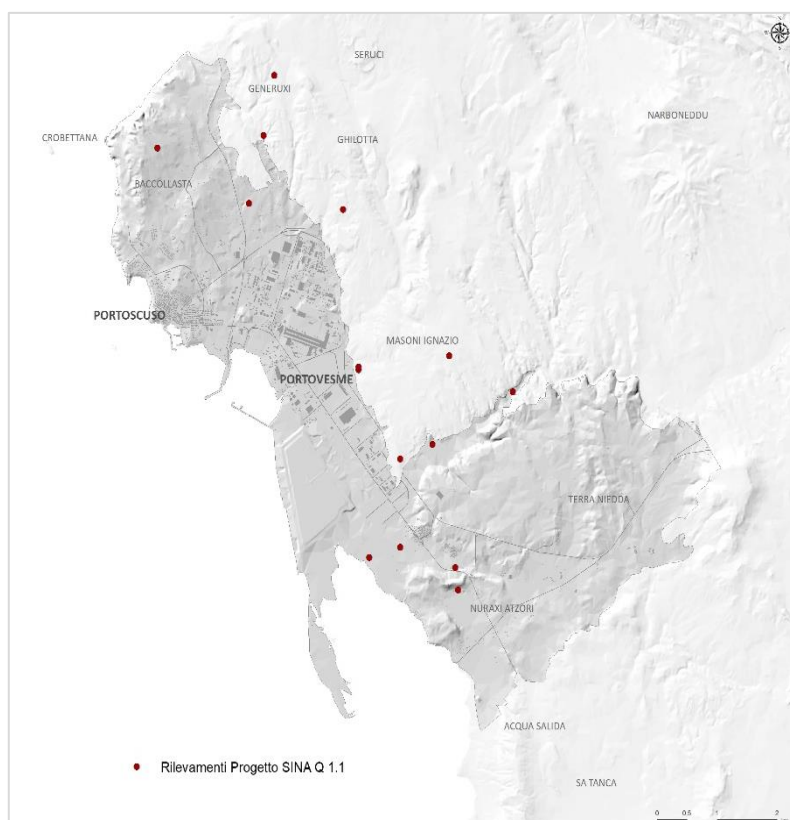


Figura 20: Ubicazione dei profili SINA Q1.1

Le limitate informazioni pedologiche disponibili sono riferite allo studio del monitoraggio ambientale del *topsoil* e delle acque di falda predisposto da ARPAS Sardegna e dal Ministero dell'Ambiente sin dai primi anni 2000, finalizzato alla ricerca dei metalli pesanti nella matrice suolo. Completamente assenti risultano invece le descrizioni degli orizzonti pedologici alle diverse profondità ed i relativi parametri chimico-fisici. L'unica fonte bibliografica in tal senso è stata fornita dal progetto *SINA Q1.1 - Monitoraggio del suolo e della vegetazione* realizzato dalla Società HYDROTER di Cagliari nel 1999 per la PROGEMISA. In tale studio erano presenti 14 profili (Figura 20) di cui 8 ricadenti all'interno dell'area di indagine e 7 esterni ma le cui informazioni sono state ugualmente utilizzate per caratterizzare le Unità di Terre.

6.3.2 Area di Assemini-Sarroch

Come anticipato in precedenza, l'area di Assemini-Sarroch è stata interessata dal Progetto CUT 1 che copre interamente la parte meridionale dell'area fino al territorio comunale di Domus de Maria, mentre per la porzione di territorio scoperta da rilievi, situata a NW dell'area, si è provveduto con una nuova indagine di caratterizzazione pedologica sul campo.

Dal DBSS è stato possibile estrapolare più di 60 informazioni articolate in: 37 profili con analisi, 10 minipit, 10 osservazioni, 2 trivellate ed 1 campionamento (Figura 21).

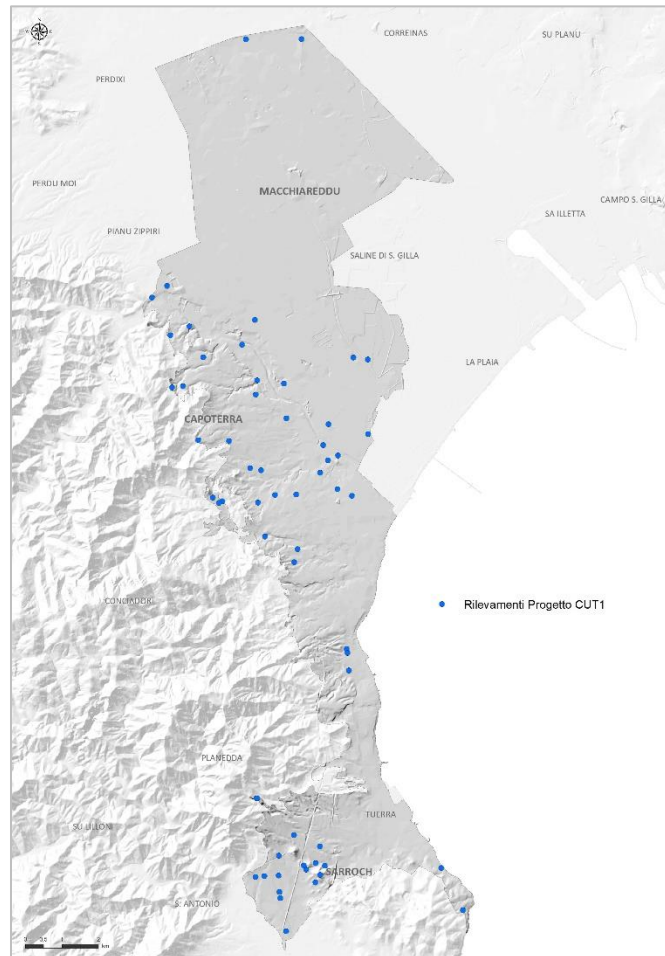


Figura 21: Localizzazione dei profili pedologici bibliografici

6.4 Task 2b - Rilievi sul campo e acquisizione di nuovi dati pedologici

6.4.1 Area di Portoscuso

Una volta censiti i dati bibliografici dell'area è stata organizzata una campagna di rilevamento pedologico, logisticamente basata su una prima bozza della carta delle Unità di Terre in cui tutte le unità identificate, ancora prive di informazioni pedologiche, potessero essere caratterizzate dalle informazioni descrittive ed analitiche da raccogliere in campo e successivamente sintetizzate nella legenda della carta finale. Tale bozza è stata realizzata utilizzando gli stessi strati informativi e le stesse metodiche applicate nel Progetto CUT1 e pubblicate nel Portale dei suoli Sardegna di AGRIS (<http://www.sardegnaportalesuolo.it/documentazione/relazioni-e-metodologie/>).

In particolare, è stato dapprima utilizzato il layer vettoriale delle fisiometrie, che suddivide il territorio in 7 sottoclassi, date dalla combinazione dei parametri morfometrici **pendenza**, **convessità (CV)** e **concavità (CC)** del rilievo (Tabella 10) e successivamente quello dei substrati pedogenetici (Figura 22):

Tabella 10: Suddivisione delle classi fisiometriche

ACCLIVITA'	SOTTOCLASSI FISIOGRAFICHE	
Superficie pianeggiante 0 (< 2,5%)	0	
Pendenza moderata 1 (2,5 – 15%)	+ 1 rilievo CV	- 1 rilievo CC
Pendenza forte 2 (15 – 35%)	+ 2 rilievo CV	-2 rilievo CC
Pendenza molto forte 3 (> 35%)	+ 3 rilievo CV	-3 rilievo CC

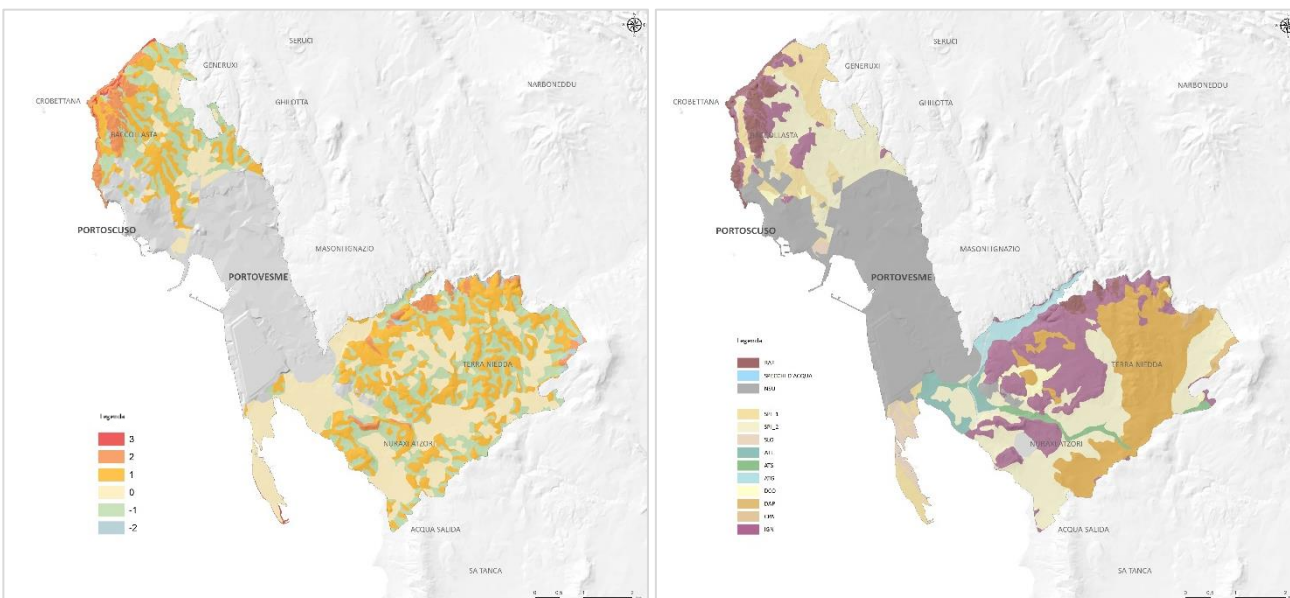


Figura 22: Carta delle Unità Fisiometriche e dei Substrati pedogenetici

Infine dalla sovrapposizione dei due layer è nata la bozza della Carta delle Unità di Terre (Figura 23), costituita da 12 Unità di Terre, ampiamente descritte nell'*Atlante monografico* allegato al progetto e nella "Tavola 03 Carta di Unità' delle Terre delle aree di Portoscuso e di Assemini – Sarroch", rappresentate in larga misura da depositi quaternari e secondariamente da vulcaniti ignimbriche.

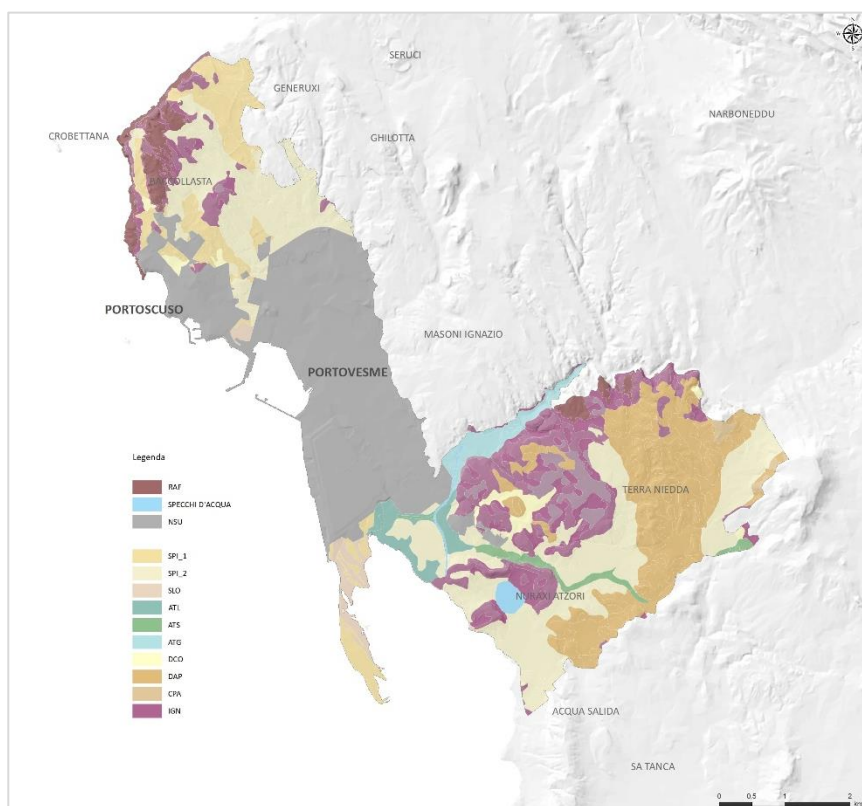


Figura 23: Carta delle Unità di Terre dell'area di Portoscuso

Un'ulteriore operazione di *overlay* ha permesso di delimitare le unità di *roccia affiorante e tasche di suolo*.

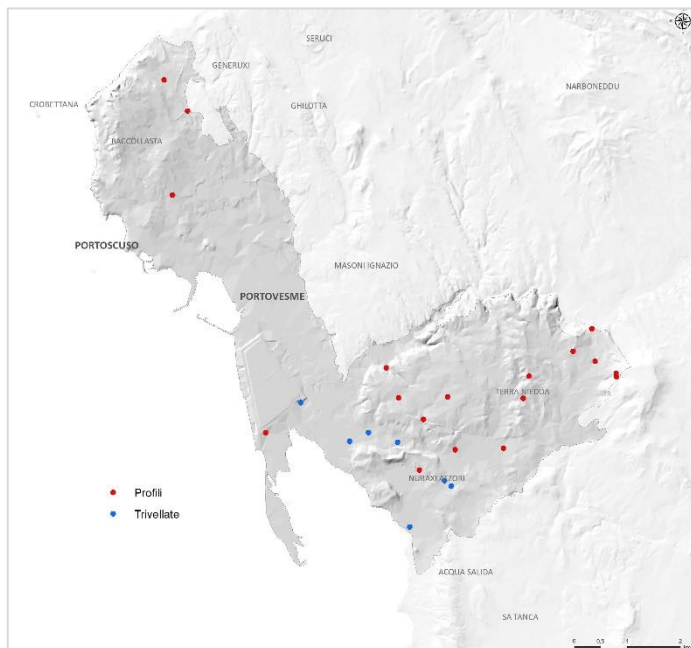


Figura 24: Ubicazione dei punti di campionamento

A partire dal mese di giugno del 2020 è stata avviata la fase di rilevamento pedologico con l'esecuzione di 17 profili e 7 trivellate, rispettivamente riportate in rosso ed in blu nella Figura 24. Nella Figura 25 un esempio di apertura di un profilo pedologico.

I campioni di suolo, prelevati per le determinazioni dei principali parametri pedologici e di quelli di interesse agronomico-applicativo, sono stati analizzati presso il laboratorio di analisi chimico-fisiche dell'Agenzia AGRIS (Tabella 11).

37

Le determinazioni analitiche sono state eseguite secondo le metodiche riportate nel Decreto Ministeriale 13/09/1999 "Approvazione dei Metodi di analisi chimica del suolo" pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n°248 del 21/10/1999 suppl. ordinario n°185. Per quanto riguarda invece la "Determinazione della capacità di campo" e la "Determinazione del punto di appassimento" la metodologia impiegata ha rispettato il Decreto Ministeriale 01/08/1997 "Approvazione dei metodi fisici di analisi del suolo" pubblicato su Gazzetta Ufficiale n°204 del 02/09/1997 suppl. ordinario n°173.



Figura 25: Stazione e profilo nell'area di Portoscuso

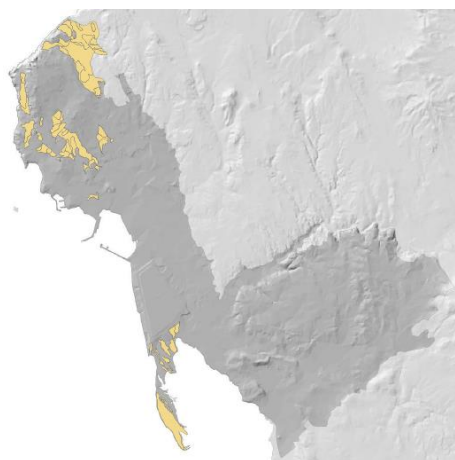
Infine i suoli sono stati classificati secondo le due principali classificazioni internazionali: la Soil Taxonomy dell'USDA (Soil Survey Staff, 2014) sino al livello di Sottogruppo e il W.R.B. (IUSS Working Group WRB, 2015) sino al secondo livello.

Tabella 11: Analisi svolte sui campioni di suolo prelevati

Set analitico standard
Granulometria (Argilla, Limo fine, Limo grosso, Sabbia grossa, Sabbia fine)
pH in acqua e pH in KCl
Calcare totale e Calcare attivo
Carbonio organico e inorganico, Sostanza organica
Azoto totale e rapporto C/N
Complesso di scambio (Calcio, Magnesio, Sodio e Potassio)
Tasso di Saturazione in Basi (TSB)
Capacità di Scambio Cationico (CSC)
Set analitico aggiuntivo
Basi di scambio con Bario Cloruro
Acidità complessiva
Acidità e Alluminio di scambio
Fosforo assimilabile, Potassio assimilabile, Sodio (ICP)
Boro solubile
Indice di disponibilità dei metalli in acqua regia
Microelementi assimilabili (in DTPA)
Capacità di campo (pF 2,5)
Punto di appassimento (pF 4,2)
Conducibilità elettrica (estr. 2:1)
Sali solubili totali (TDS)
Percentuale di Sodio Scambiabile (E.S.P.)
Sodio, Fosforo e Potassio totali
Scheletro
Metalli solubili in acqua regia
Indice di disponibilità dei metalli
Conducibilità pasta satura
Salinità
Acqua disponibile (AWC)
Densità apparente (DBD)

6.4.2 Descrizione delle unità di terre di Portoscuso

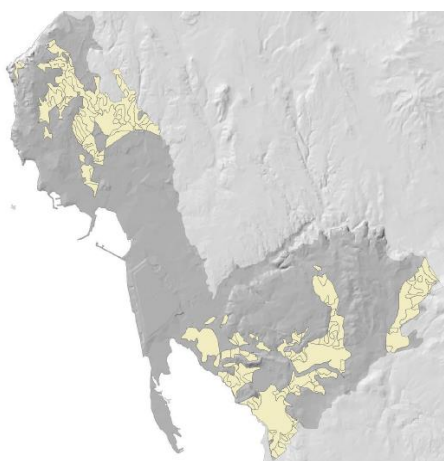
6.4.2.1 SABBIE LITORALI e DEPOSITI EOLICI OLOCENICI - SPI_1



39

L'unità è costituita da sabbie litorali e depositi eolici entrambi olocenici che danno luogo alla formazione di campi dunari, cordoni litoranei e spiagge. Queste aree presentano una copertura vegetale costituita da macchie psammofile (ginepreti) e nella parte nord anche da pinete artificiali. In questi ambienti i suoli sono caratterizzati prevalentemente da Dystric Xeropsamments con profilo A-C, tessitura sabbiosa, privi di scheletro ed eccessivamente drenati. Sono aree che difficilmente possono essere usate per finalità agricole, ricadono infatti nelle sottoclassi VIII_{w,s,e} classe di Land Capability a causa del drenaggio eccessivo, della bassa capacità di ritenzione idrica e dell'elevato rischio di erosione eolica.

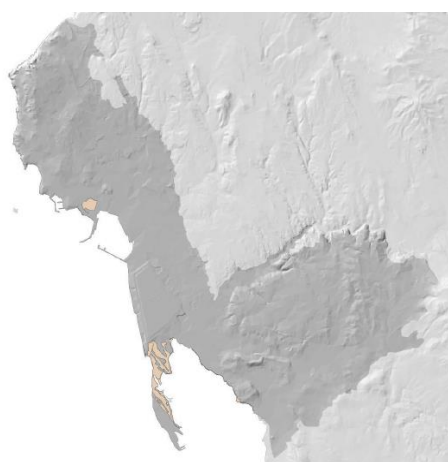
6.4.2.2 DEPOSITI DI SPIAGGIA PLEISTOCENICI - SPI_2



Nell'unità SPI_2 oltre ai depositi descritti nell'unità precedente si affiancano anche i depositi di spiaggia antichi e quelli pleistocenici. Queste aree sono caratterizzate da un prevalente uso agricolo, in particolare da seminativi non irrigui, sistemi particellari complessi e vigneti, localmente

rimboschimenti (eucalitteti) ed orti. I processi pedogenetici sono più spinti e determinano la formazione di suoli a profilo A-C e A-Bw-C con profondità elevata, tessitura grossolana, privi o quasi di scheletro, reazione da debolmente acida a neutra, saturazione in basi da bassa a molto bassa e sempre piuttosto eccessivamente drenati. Localmente sono stati rilevati suoli a profilo A-Bt-C, A-Btk-C, profondi, con tessitura più fine rispetto ai precedenti, aumento di scheletro e con una evidente riduzione del drenaggio. Nel primo caso i suoli predominanti sono rappresentati da Dystric Xeropsamments mentre nel secondo da Inceptic Haploxeralfs. Essi appartengono alle sottoclassi di LCC III_s-IV_s con limitazioni legate alla bassa ritenzione idrica, al drenaggio rapido ed alla salinità elevata.

6.4.2.3 SEDIMENTI LACUSTRI OLOCENICI - SLO



È costituita da sedimenti lacustri olocenici ubicati prevalentemente nella parte meridionale dell'agglomerato industriale ed in particolare nelle aree pianeggianti limitrofe alla laguna di Bau Cerbus. Si tratta di estensioni limitate coperte da vegetazione spontanea, a ricolonizzazione naturale, con la falda freatica salmastra e superficiale. In questo ambiente i suoli sono caratterizzati da un profilo di tipo A-C, sono generalmente profondi, con tessitura franco-sabbiosa, scheletro scarso, con una reazione da debolmente a moderatamente alcalina, una saturazione in basi molto alta e un buon drenaggio. I suoli, classificati come Typic Aquisalids, presentano importanti limitazioni legate talora al drenaggio eccessivo e alla scarsa capacità di ritenzione idrica; appartengono alle sottoclassi VI_s-VIII_{w,s} di LCC.

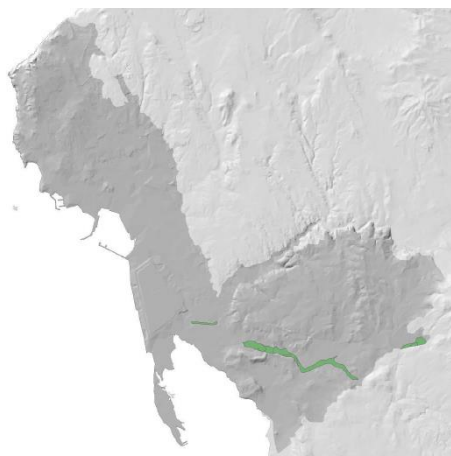
6.4.2.4 DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI LIMOSO-ARGILLOSI OLOCENICI - ATL



41

Rappresenta limitate superfici occupate da depositi alluvionali limoso-argillosi terrazzati olocenici ubicati alla foce del Rio Paringianu e sul bordo della laguna di Bau Cerbus in cui prevale l'uso naturale con vegetazione ripariale, mentre distante la costa prevale l'uso agricolo con seminativi ed orti. I suoli mostrano un profilo A-Cg con profondità moderatamente elevata, tessitura generalmente da franco-argillosa a franco-argillosa-limosa, reazione moderatamente alcalina, tasso di saturazione in basi da molto alto a medio in profondità, sono moderatamente drenati in superficie e mal drenati in profondità. Sono stati classificati come Typic Aquisalids e ricadono nella sottoclasse VI_s di LCC con limitazioni legate all'elevata salinità e sodicità dovute alla presenza di una falda salmastra oscillante entro i primi 100 cm di suolo.

6.4.2.5 DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI SABBIOSI OLOCENICI - ATS



L'unità è costituita da depositi alluvionali sabbiosi terrazzati olocenici ed occupano una parte limitata dell'area meridionale. L'uso è prevalentemente agricolo con seminativi non irrigui. I suoli

mostrano profilo Ap-C, sono profondi, hanno una tessitura grossolana tendenzialmente da franco-sabbiosa a sabbioso-franca, uno scheletro da frequente ad abbondante, una reazione neutra e sono da ben drenati a piuttosto eccessivamente drenati. Sono stati classificati come Xerofluvents (Mollic e Typic) e nella LCC appartengono alla sottoclasse III_s con le limitazioni maggiori dovute al drenaggio eccessivo e alla scarsa capacità di ritenzione idrica.

6.4.2.6 DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI GHIAIOSI OLOCENICI - ATG

42



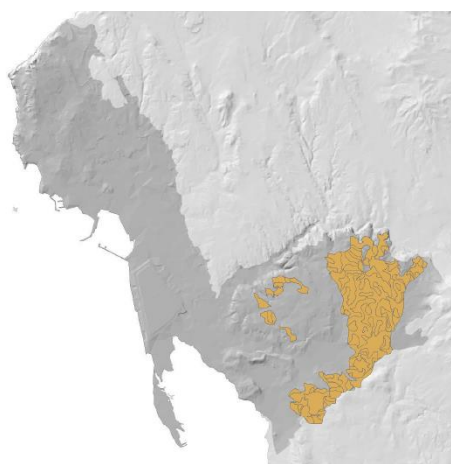
Si estende lungo le rive del Rio Paringianu ed è costituita da depositi alluvionali ghiaiosi terrazzati olocenici. Si tratta di terrazzi fluviali di I ordine ad utilizzazione prevalentemente agricola con seminativi non irrigui. I suoli mostrano un profilo Ap-Bw-C, profondi, una tessitura da franco-argillosa in superficie a sabbiosa e franco-sabbiosa in profondità, hanno uno scarso contenuto in scheletro e sono spesso ben drenati. Non presentano particolari limitazioni per cui sono suoli che ricadono in I classe della LCC e sono stati classificati come Fluventic Haploxerepts.

6.4.2.7 DEPOSITI COLLUVIALI OLOCENICI - DCO α



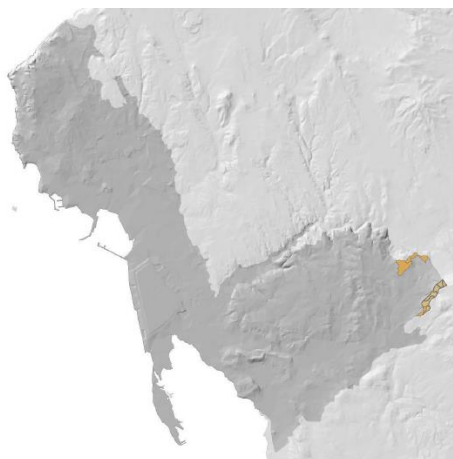
L'unità è caratterizzata dalla presenza di depositi colluviali olocenici che derivano direttamente dall'erosione delle formazioni ignimbriche; esse rappresentano le aree di raccordo tra le vulcaniti ignimbriche e le piane alluvionali determinando forme con pendenze più elevate rispetto alle unità precedenti. Si tratta di unità in cui l'uso prevalente è costituito da seminativi, vigneti e oliveti. I suoli mostrano un profilo Ap-Bw-C, sono profondi, hanno una tessitura da franco-sabbiosa ad argillosa in profondità e sono ben drenati. Si tratta di suoli che ricadono in II_s sottoclasse di LCC per eccesso di scheletro e sono classificati come Typic Haploxerepts.

6.4.2.8 DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI PLEISTOCENICI - DAP



L'unità è una delle più estese dell'area ed è costituita da depositi alluvionali pleistocenici con un uso prevalentemente agricolo con seminativi non irrigui, eucalitteti e, in misura minore, oliveti e macchia mediterranea. I caratteri dei suoli, a profilo Ap-Bt-C e A-Bt-2Btk, più rappresentativi sono: profondità moderatamente elevata, tessitura prevalentemente franco-argilloso-sabbiosa lungo tutto il profilo, localmente franco-sabbiosa negli orizzonti superficiali, scheletro da comune a frequente, reazione da neutra a moderatamente alcalina e infine si presentano da ben drenati a moderatamente ben drenati. Sono stati classificati come Ultic Haploxeralfs e nella LCC ricadono nelle sottoclassi II_s e IV_w con limitazioni legate rispettivamente allo scheletro superficiale talora elevato e al drenaggio moderato in profondità.

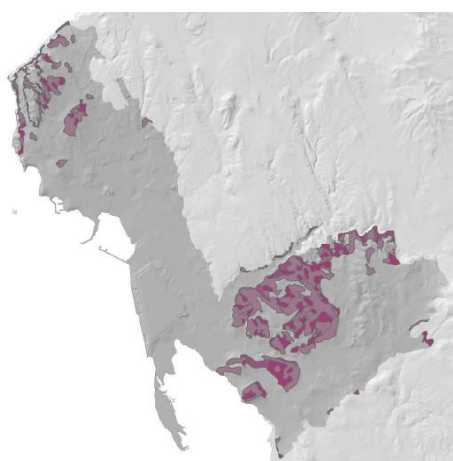
6.4.2.9 CONGLOMERATI POLIGENICI EOCENICI - CPA



44

L'unità è costituita da limitati affioramenti presenti nella parte orientale dell'area di conglomerati poligenici eocenici con arenarie di ambiente costiero; si differenziano in maniera schietta dalle unità precedenti in quanto danno luogo a morfologie articolate con versanti a pendenze elevate ed un uso del suolo rappresentato prevalentemente da macchia mediterranea ed in misura minore da seminativi. I suoli mostrano un profilo A-Bw-C, una profondità moderata e una tessitura franco-sabbiosa in profondità, lo scheletro è comune in superficie e assente in profondità e sono ben drenati; localmente sono presenti suoli con profilo A-R associati a roccia affiorante ed inclusioni di suoli con profili A-Bt-C, con profondità elevate, tessitura argillosa, uno scheletro dell'orizzonte superficiale da comune ad abbondante e un drenaggio moderato. I suoli sono rappresentati da consociazioni di Mollic Haploxeralfs e Humic Haploxerepts con inclusioni di Lithic Xerorthents. Gli Alfisuoli rientrano nella sottoclasse $VI_{s,e}$ di LCC mentre i secondi presenti in aree subpianeggianti nella II_s di LCC.

6.4.2.10 VULCANITI IGNIMBRITICHE - IGN



Le vulcaniti ignimbriche rappresentano le superfici più estese dell'area, sono composte da lave riolitiche e danno luogo a forme svariate: da pianori lavici a forme più complesse con versanti semplici e displuvi con pendenze comprese tra 15 e 35%. In queste aree prevalgono gli ambienti naturali e seminaturali con macchia mediterranea, rimboschimenti e limitati usi agricoli. I suoli tipici di questa unità, classificati come Lithic Xerortents, mostrano generalmente un profilo A-R con scarsa profondità, tessitura franco-sabbiosa, scheletro comune, reazione neutra, saturazione in basi alta e sono ben drenati; essi rientrano nella sottoclasse VIII_{s,e} di LCC con limitazioni maggiori legate alla pendenza, all'elevata rocciosità affiorante e all'abbondante pietrosità superficiale.

6.4.3 Area di Assemini-Sarroch

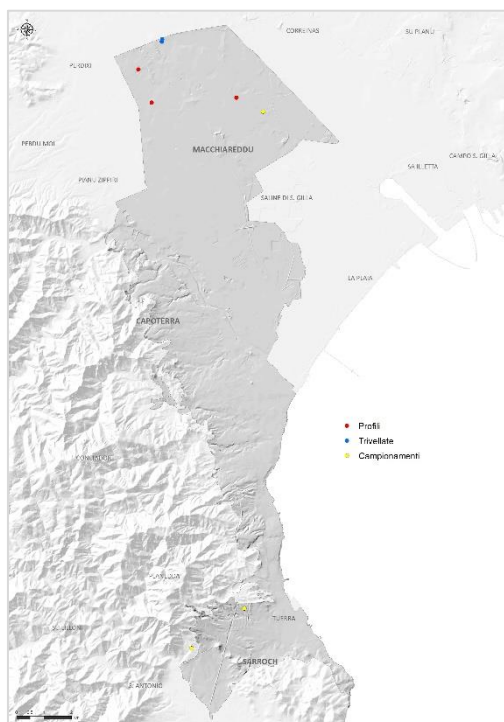


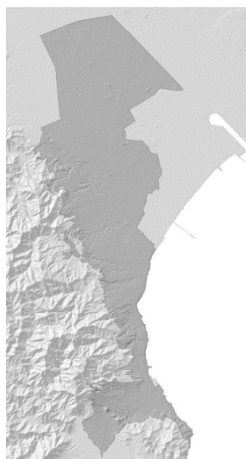
Figura 26: Ubicazione nuovi punti di campionamento

Per l'area di Assemini e Sarroch le informazioni pedologiche derivanti dal progetto CUT1 hanno permesso di limitare i rilievi in campo alla sola porzione di territorio a NW dell'area di studio (Figura 26). Sono state realizzate 5 osservazioni aggiuntive: 3 profili (in rosso) per caratterizzare i depositi alluvionali pleistocenici (DAP), 2 trivellate (in blu) eseguite sui depositi alluvionali limoso-argillosi recenti (ALO) e 3 campionamenti (in giallo) di cui 1 sui sedimenti lacustri olocenici (SLO) e 2 sui depositi alluvionali pleistocenici (DAP).

Di tutti gli orizzonti identificati e descritti sono stati prelevati i campioni per le consuete analisi di laboratorio e i suoli sono stati classificati.

6.4.4 Descrizione delle Unità di Terre di Assemini - Sarroch

6.4.4.1 SABBIE LITORALI e DEPOSITI EOLICI OLOCENICI - SPI_1



L'unità è costituita da depositi olocenici come le sabbie litorali, depositi eolici e da inclusioni di depositi di spiaggia olocenici e pleistocenici. Essi danno luogo alla formazione di campi dunari, cordoni litoranei e spiagge. Queste aree presentano una copertura vegetale costituita da macchie psammofile (ginepretti) su dune stabilizzate e talora con presenza di pinete artificiali. In questi ambienti i suoli sono caratterizzati prevalentemente da Typic Xeropsamments con profilo A-C, tessitura sabbiosa, privi di scheletro ed eccessivamente drenati. Sono aree che difficilmente

possono essere usate per finalità agricole, ricadono infatti nelle sottoclassi VIII_{s,c} di Land Capability a causa del drenaggio eccessivo e della bassa capacità di ritenzione idrica.

6.4.4.2 SEDIMENTI LACUSTRI OLOCENICI - SLO



47

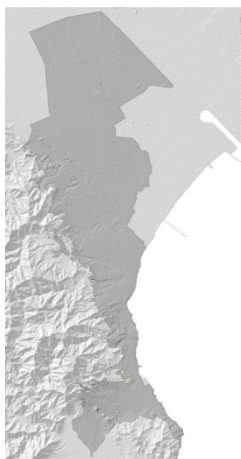
L'unità è costituita da sedimenti lacustri olocenici ubicati prevalentemente nella parte settentrionale dell'agglomerato industriale; si tratta di estensioni limitate limitrofe agli stagni costieri e coperte da vegetazione spontanea, a ricolonizzazione naturale, con la falda freatica salmastra e superficiale. In questo ambiente i suoli sono caratterizzati da un profilo di tipo A-C, in minor misura A-Bg-Cg, sono generalmente molto profondi, con tessitura da franco a argillosa, scheletro scarso, con una reazione da debolmente a moderatamente alcalina, una saturazione in basi molto alta e mal drenati. I suoli sono rappresentati da un'associazione di Typic Haplosalids e Typic Halaquepts; presentano importanti limitazioni legate al drenaggio molto lento, che può determinare frequenti ristagni idrici superficiali, e ad una salinità e sodicità talora elevate; appartengono alle sottoclassi V_{s,w} di LCC.

6.4.4.3 DEPOSITI COLLUVIALI OLOCENICI - DCO α



L'unità è caratterizzata dalla presenza di depositi colluviali olocenici che derivano direttamente dall'erosione di lave a composizione intermedio basica; esse rappresentano le aree di raccordo tra le lave dell'area di Sarroch e la costa, determinando forme con pendenze dolci che degradano fino al mare. Si tratta di unità in cui l'uso prevalente è costituito da seminativi in asciutto, oliveti, sistemi colturali e particellari complessi nonché aree naturali. I suoli nelle aree convesse mostrano un profilo Ap-C con profondità elevata, una tessitura franco argillosa, lo scheletro dell'orizzonte superficiale è scarso, la reazione da debolmente alcalina a moderatamente alcalina, la saturazione in basi da alta a molto alta e si presentano in genere moderatamente ben drenati. Nelle aree concave, oltre ai suoli simili ai precedenti, si osservano anche profili Ap-Bw-C con profondità elevata, con la tessitura sempre franco-argillosa, lo scheletro dell'orizzonte superficiale è scarso, la reazione da neutra a debolmente alcalina, la saturazione in basi alta e si presentano infine piuttosto mal drenati. I suoli ricadono in $II_{e,w,s}$ e $III_{s,w}$ sottoclasse di LCC, quelli delle aree convesse sono caratterizzati da un'associazione di Vertic Haploxerolls e Entic Haploxererts mentre quelli delle aree concave sono rappresentati da un'associazione di Vertic Haploxerolls, Dystric Xerorthents, Cumulic Ultic Haploxerolls e Typic Haploxerepts.

6.4.4.4 DEPOSITI COLLUVIALI OLOCENICI - DCO μ



Rappresentano i suoli formati sui depositi colluviali olocenici derivati dallo smantellamento delle rocce metamorfiche terrigene. Si tratta di aree a pendenze svariate che degradano verso la pianura con diversi usi del suolo, dall'agricolo con seminativi in asciutto, vigneti e oliveti, a quello naturale con gariga e macchia mediterranea. I suoli osservati sono rappresentati da una consociazione a profilo Ap-C o A-C con profondità elevata, una tessitura franco-sabbiosa, lo scheletro dell'orizzonte superficiale è comune, la reazione da moderatamente acida a debolmente acida, la saturazione in basi da bassa a media e si presentano in genere ben drenati. I suoli sono rappresentati da una

consociazione di Dystric Xerorthents; presentano importanti limitazioni legate all'eccessiva pietrosità superficiale e appartengono alla sottoclasse IV_s di LCC.

6.4.4.5 DEPOSITI COLLUVIALI OLOCENICI - DCO_γ



49

Sono limitate superfici di depositi colluviali olocenici formati dalla disaggregazione dei graniti; essi danno luogo a dei glacis che fanno da raccordo con la pianura dell'area di Sarroch e con un uso del suolo rappresentato da seminativi non irrigui e da ambienti seminaturali. Sono presenti associazioni di suoli a profilo A-Bw-C, A-C e A-Bw-2R, profondi con tessitura da franco-sabbiosa a sabbioso-franca, lo scheletro dell'orizzonte superficiale da comune a frequente, la reazione da moderatamente acida a debolmente acida, la saturazione in basi da bassa a media e sono piuttosto eccessivamente drenati. Sono stati classificati come Dystric Xeropsamments, Dystric Xerorthents e Typic Dystroxerepts e appartengono alle sottoclassi di LCC IV_s e V_s per l'elevato contenuto di pietrosità superficiale.

6.4.4.6 DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI LIMOSO-ARGILLOSI OLOCENICI - ALO



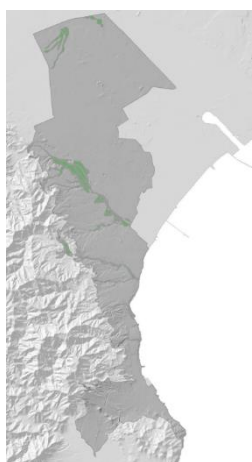
L'unità rappresenta i suoli formati sui depositi alluvionali limoso-argillosi olocenici; si tratta di aree pianeggianti con un uso prevalentemente agricolo con seminativi non irrigui. In questo contesto i suoli sono rappresentati da un'associazione a profilo A(p)-C con profondità elevata, la tessitura da argilloso-limoso a argilloso, privi o quasi di scheletro, la reazione da debolmente alcalina a fortemente alcalina ed un tasso di saturazione in basi da alto a molto alto; tutta l'unità presenta problemi di drenaggio. I suoli, classificati come un'associazione di: Vertic Xerofluvents, Halic Haploxererts e Typic Haplosalids, presentano limitazioni legate al drenaggio e, localmente, all'elevata salinità e per questo motivo rientrano in III_w e V_{s,w} sottoclasse di LCC.

6.4.4.7 DEPOSITI ALLUVIONALI SABBIOSI - ASO



I depositi alluvionali sabbiosi recenti occupano una parte limitata dell'area a prevalente uso agricolo con seminativi in asciutto. Sono caratterizzati da suoli a profilo A-Bw-C e A-C, profondi, con una tessitura da franco-sabbioso a sabbioso-franca, sono privi di scheletro, reazione debolmente alcalina, la saturazione in basi alta e sono piuttosto eccessivamente drenati. Sono stati classificati come Fluventic Haploxerepts e Typic Xerofluvents e presentano delle limitazioni legate all'eccessivo drenaggio interno e rientrano nella III_w sottoclasse di LCC.

6.4.4.8 DEPOSITI ALLUVIONALI GHIAIOSI OLOCENICI - AGO



51

L'unità è costituita da depositi alluvionali ghiaiosi olocenici situati in prossimità di piane alluvionali, nelle aree golenali dei letti di piena straordinaria delle piane costiere; si tratta di terreni in prevalenza incolti, pascolati e limitatamente con presenza di seminativi. È caratterizzata da un'associazione di suoli a profilo Ap-C, A-C e A-Bw-C, profondi con una tessitura da sabbiosa a franca, lo scheletro dell'orizzonte superficiale è comune, la reazione da moderatamente acida a neutra, la saturazione in basi da molto bassa a media e sono da moderatamente ben drenati a eccessivamente drenati. Sono stati classificati come Typic Xerofluvents, Dystric Xerorthents, Fluventic Dystroxerepts e Fluventic Humixerepts. Le limitazioni principali sono dovute ad un eccesso di scheletro dell'orizzonte superficiale e ad un eccessivo drenaggio, per questo motivo ricadono in $III_{s,w}$ e $IV_{s,w}$ sottoclasse di LCC.

6.4.4.9 DEPOSITI DI VERSANTE E DI FRANA ATTIVA OLOCENICI - DVO μ



I depositi di versante e di frana attiva olocenici derivati da rocce metamorfiche terrigene occupano limitate superfici con forme concave e pendenze comprese tra 2,5 e 5% in ambienti seminaturali e

a pascolo. I suoli sono costituiti da consociazioni a profilo A-Bw-C e A-C, profondi, la tessitura è da franco-sabbiosa a franca, lo scheletro è abbondante, la reazione da moderatamente acida a neutra, la saturazione in basi da bassa a media e si presentano ben drenati; sono stati classificati come Dystric e Typic Xerorthents, presentano limitazioni legate alla pietrosità superficiale e ricadono in V_s sottoclasse di LCC.

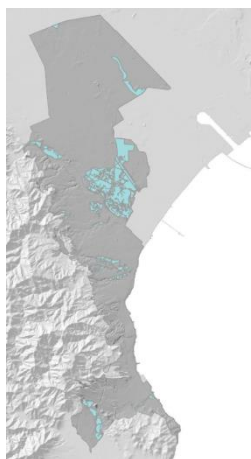
6.4.4.10 DEPOSITI DI VERSANTE E DI FRANA ATTIVA OLOCENICI - DVO_γ

52



I depositi di versante e di frana attiva olocenici derivati da granitoidi occupano superfici più estese rispetto ai precedenti con forme concave e convesse, pendenze comprese tra 2,5 e 15% ed un uso del suolo prevalente rappresentato da seminativi in asciutto, vigneti e colture temporanee associate a colture permanenti. I suoli mostrano un profilo Ap-Bw-C e Ap-C, sono profondi, la tessitura è da franco-sabbiosa a sabbioso-franca, lo scheletro dell'orizzonte superficiale è abbondante, la reazione da moderatamente acida a neutra, la saturazione in basi da bassa a media e sono piuttosto eccessivamente drenati. I suoli sono costituiti da un complesso di Dystric Xerorthents, Dystric Xeropsamments e Entic Humixerepts e rientrano nella sottoclasse VI_s-V_s di LCC a causa dell'elevata pietrosità superficiale, a tratti per una debole erosione idrica incanalata e per la capacità di acqua disponibile molto bassa.

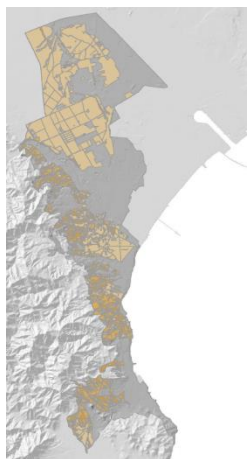
6.4.4.11 DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI GHIAIOSI OLOCENICI - ATG



53

Una parte importante dell'area industriale di Macchiareddu è occupata dai depositi alluvionali ghiaiosi olocenici, ubicati prevalentemente nei terrazzi fluviali di I ordine, nelle aree pianeggianti e subpianeggianti, o compresi nei tratti di piane alluvionali costiere. L'uso del suolo è rappresentato prevalentemente da un'utilizzazione agricola non specializzata, a prevalenza di seminativi e, subordinatamente, da colture legnose (agrumeti, vigneti); localmente vi sono terreni a riposo, talvolta pascolati. È presente un'associazione di suoli a profilo Ap-Bw-C e Ap-C, profondi, con tessitura da franco-sabbiosa a franco-argillosa-sabbiosa, con scheletro dell'orizzonte superficiale abbondante, la reazione varia da moderatamente acida a neutra, la saturazione in basi da media a alta e sono ben drenati. In questa unità le limitazioni maggiori sono da ricondurre all'erosione idrica laminare debole, alla frequente pietrosità superficiale, all'abbondante scheletro nell'orizzonte superficiale e ad un drenaggio interno eccessivo; per questi caratteri i suoli rientrano nelle sottoclassi di LCC III_{s,e}, IV_s, IV_{s,w} e III_{s,w}.

6.4.4.12 DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI PLEISTOCENICI - DAP



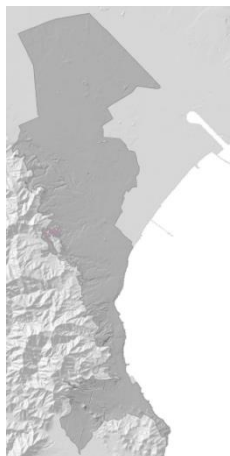
I depositi alluvionali antichi pleistocenici occupano quasi il 50% del territorio studiato, risultando l'unità più estesa soprattutto nella porzione nord-orientale dell'area. Qui costituiscono l'apice dell'ampia conoide che, dal punto di confluenza tra il Rio Gutturreddu e il Rio Gutturu Mannu, si apre sino allo stagno di Cagliari, mentre nel tratto meridionale si estendono lungo la fascia pedemontana dei rilievi paleozoici degradanti verso la costa con morfologie ondulate alternate a livellate. Da un punto di vista pedologico l'unità raggruppa i suoli più antichi ed evoluti dell'area, con caratteristiche di bassa fertilità e importanti caratteri limitanti l'uso agricolo quali l'elevato contenuto in scheletro. L'utilizzo agricolo persiste principalmente nell'area pedemontana ad eccezione delle aree a maggior pendenza dove sono presenti aree a ricolonizzazione naturale con limitate estensioni di gariga. Gli usi prevalenti sono rappresentati dai seminativi non irrigui e in minor misura da oliveti, vigneti e frutteti, mentre nell'area di Macchiareddu i suoli, essendo stati maggiormente interessati dall'occupazione di infrastrutture industriali, hanno subito nel tempo un graduale abbandono delle attività agricole. Il profilo pedologico tipo è caratterizzato dalla presenza di uno o più orizzonti argillici profondi, spesso con la presenza delle tipiche figure di ossidoriduzione o gley (profilo Ap-Bt-C e A-Btg-C) dovute alla bassa porosità e allo scarso drenaggio. La tessitura prevalente è la franco-sabbiosa o franco-argillo-sabbiosa in superficie e l'argillosa in profondità, il pH varia dal subacido al neutro, la saturazione in basi da alta a bassa. I suoli appartengono in prevalenza ai sottogruppi Typic, Ultic e Aquic Palexeralfs, in minor misura ai grandi gruppi dei Rhodoxeralfs e Haploxeralfs. La loro classe di capacità d'uso varia dalla IV alla VIII in funzione della posizione fisiografica, per cui appartengono alla sottoclasse VIII_e tutti i suoli localizzati nelle aree a pendenza >35% (ove il maggior limite è costituito dall'elevato rischio di erosione) e alle sottoclassi IV_w, V_w, in minor misura III_w, i suoli delle aree pianeggianti il cui limite d'uso è costituito prevalentemente dalla difficoltà di drenaggio e a tratti dall'elevata pietrosità superficiale (sottoclassi IV_s, VI_s).

6.4.4.13 LAVE A COMPOSIZIONE INTERMEDIO-BASICA - LIB



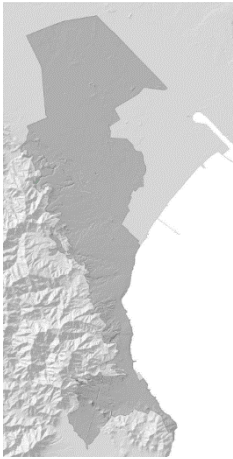
L'unità delle lave a composizione intermedio-basica è diffusa solamente nella parte più meridionale dell'area e costituisce meno dell'1% del territorio studiato, sviluppandosi prevalentemente su morfologie di versante con pendenze comprese nelle classi 2,5-15% e 15-35%. Nelle aree più acclivi l'uso prevalente è costituito da una copertura vegetale naturale della macchia mediterranea con limitate superfici occupate da cespuglieti ed arbusteti e dal pascolo naturale. In tali aree l'unità è rappresentata da consociazioni di suoli a profilo A-R, A-Cr e A-Bw-Cr, generalmente di scarsa profondità, a tratti elevata in corrispondenza delle superfici concave con accumuli detritici e colluviali. Lo scheletro è scarso in superficie e da comune a frequente in profondità. Nelle aree subpianeggianti, con pendenze <2,5% o di poco superiori, vi è un uso prevalentemente agricolo con seminativi in asciutto e, secondariamente, sistemi colturali e particellari complessi. In tali aree si rinvencono suoli più profondi, con frequenti accumuli di carbonati secondari e con profilo A-Bk-C, A-Ck e A-Bw-C, localmente con caratteristiche vertiche (profilo A-p-Bssk-C). In tutti i casi la tessitura varia dalla franco-sabbiosa alla franco-sabbiosa-argillosa, il pH da neutro a subalcalino, il drenaggio da buono a mediocre in profondità e la saturazione in basi da alta a molto alta. Da un punto di vista tassonomico i suoli meno profondi e classificati per la maggior parte come Lithic Ultic Haploxerolls e Lithic Xerorthents e appartengono alle sottoclassi VIII_{s,e} della LCC con limitazioni dovute al rischio di erosione e all'elevata pietrosità superficiale. I suoli più profondi sono invece classificati come un complesso di Typic Haploxerepts, Typic Dystroxerepts, Entic Haploxerolls, Calcic Haploxerolls e Vertic Calcixerolls e appartengono in prevalenza alle sottoclassi III_w, IV_s e VI_{s,e} della LCC con limitazioni dovute localmente alla pietrosità superficiale frequente, alla profondità utile per le radici da molto scarsa a scarsa e alla capacità di acqua disponibile molto bassa.

6.4.4.14 PLUTONITI A COMPOSIZIONE INTERMEDIO-ACIDA - PLU



L'unità è caratterizzata dalla presenza di plutoniti a composizione intermedio-acida, gneiss, porfiriche, inequigranulari ed equigranulari a grana da fine a grossa; occupano una parte limitata dell'area di studio, meno dell'1%, su morfologie di versante con pendenze comprese nelle classi 2,5-15% e 15-35%; queste ultime sono caratterizzate prevalentemente da un uso del suolo costituito da vegetazione naturale con macchia mediterranea e aree occupate da ricolonizzazione artificiale. I suoli sono costituiti da consociazioni a profilo A-Bw-Cr e A-Bw-C, con profondità elevate per le aree concave e scarsa per quelle convesse, la tessitura varia da franco-sabbiosa a franco-sabbiosa-argillosa mentre lo scheletro dell'orizzonte superficiale è compreso tra assente e frequente. La reazione è neutra, la saturazione in basi da alta a molto alta ed il drenaggio da buono a piuttosto mal drenati. Nelle aree con pendenze inferiori al 15% prevalgono gli usi agricoli con seminativi in asciutto e secondariamente con sistemi colturali e particellari complessi. L'unità è costituita da un complesso di suoli a profilo Ap-R, Ap-Cr-R e Ap-Bssk-C con profondità elevate per le aree concave e scarsa per quelle convesse. La tessitura varia da franco-sabbiosa a franco-sabbiosa-argillosa e franco-argillosa mentre lo scheletro dell'orizzonte superficiale è compreso tra scarso a comune. Il pH varia da neutro a fortemente alcalino, la saturazione in basi da media a molto alta mentre il drenaggio è compreso tra buono e piuttosto mal drenati. I suoli delle aree convesse sono classificati per la maggior parte come Lithic Ultic Haploxerolls e Lithic Xerorthents, mentre quelli più profondi delle aree concave sono invece classificati come un complesso di Lithic Xerorthents, Typic Haploxerepts, Lithic Ultic Haploxerolls e Cumulic Ultic Haploxerolls. Per entrambe le aree i suoli appartengono alle sottoclassi VIII₅ della LCC con limitazioni dovute all'elevata pietrosità superficiale.

6.4.4.15 METAMORFITI - MET



Le metamorfite presenti nell'area di studio occupano una estensione molto limitata della parte nord occidentale dell'abitato di Capoterra. Si tratta di aree caratterizzate da ambienti naturali e seminaturali con prevalenza di macchie e boscaglie a sclerofille a differente grado evolutivo, talvolta pascolate. Queste unità, soprattutto quelle a basse pendenze maggiormente presenti nell'area, ospitano un complesso di suoli a profilo A-Bw-C, A-C e Ap-C a profondità elevate nelle forme concave e ridotte in quelle convesse, con una tessitura da sabbioso-franca a franca e lo scheletro dell'orizzonte superficiale da frequente ad abbondante. Essi mostrano un pH da acido a debolmente acido, la saturazione in basi da bassa a media e ben drenati. I suoli sono stati classificati come un complesso di Dystric Xerorthents e Lithic Xerorthents ed appartengono alle sottoclassi VIII_s della LCC con limitazioni dovute all'elevata pietrosità superficiale ed alla scarsa profondità utile per le radici e Sottoclassi incluse IV_s, IV_w, V_s e VI_s.

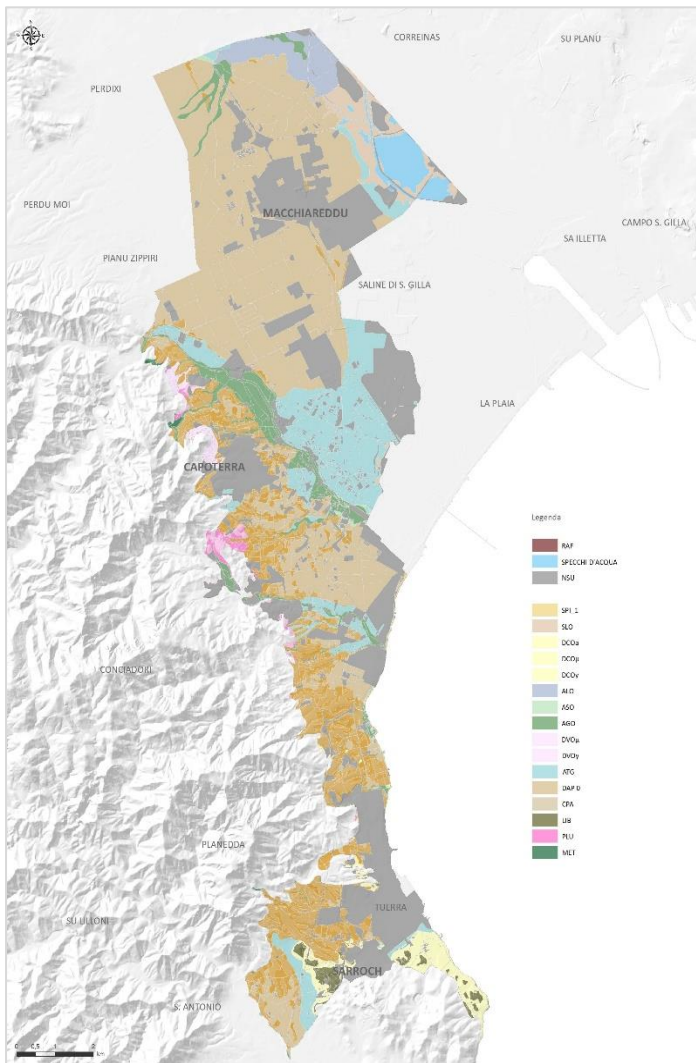
6.5 Task 2c

6.5.1 Immissione dei dati nel DBSS e realizzazione della Carta delle Unità di Terre

L'ultima fase di lavoro prevista dal WP2 ha riguardato, per entrambe le aree, l'immissione dei dati nel DBSS, la loro elaborazione e interpretazione, la stesura finale della Carta delle Unità di Terre e l'attribuzione delle classi di Capacità d'Uso e dei valori dei Servizi Ecosistemici.

The screenshot shows the DBSS web interface. The top navigation bar includes 'Stazione', 'Orizzonti', 'Stazioni', 'Superficie', 'Uso', 'Morfologia', 'Geologia', 'Qualità', 'Servizi', 'Allegati', 'Salva', and 'Annulla'. The 'CARATTERI DELLA STAZIONE' section contains fields for 'tipo' (profilo), 'numero' (1), 'coordinate WGS84' (448992, 4340582), 'metodo coordinato' (proveniente da GPS, oppure geografiche convertite), 'sezione' (9 - altro naturale), 'codice originale' (P01_BSP), and 'Unità di Terra'. The 'CARATTERI GENERALI' section includes 'data' (03/06/2020), 'rilevatore' (Fanni Stefania), 'rilevatore 2' (Marrone Vittorio Alessandro), 'regione storica' (Sulcis), 'Regione storica di appartenenza', and 'comune' (Portoscuso). The right-hand panel shows 'Qualità' indicators: 'Land capability' (VIII), 'Soil suitability' (I), and a list of indicators with status icons (e.g., Impedimento, Criteri medici, Fitosanitario, Rischio, Ottimi, Olio/Monofiti, Agrumi, Viti, Pascolo).

Figura 27: Schermata dei dati inseriti nel DBSS



La fase di inserimento dei dati è consistita dapprima nella creazione nel DBSS del progetto denominato "AGRISO22" (Figura 27) e successivamente nell'immissione dei dati relativi a 28 profili, 26 trivellate e 3 campionamenti. Sono stati immessi i caratteri rilevati in campagna della stazione, dei singoli orizzonti identificati e le relative analisi chimico-fisiche. Attraverso l'algoritmo presente nel DBSS è stato possibile inoltre determinare in automatico, per ciascun profilo e trivellata completi di descrizione ed analisi, la classe di Land Capability del suolo. E' stata infine realizzata la Carta delle Unità di Terre secondo la metodologia CUT (Figura 28). Ad ogni unità sono state associate tutte le informazioni riguardanti la geologia, la morfologia, l'uso del suolo, i caratteri fisico-chimici delle osservazione pedologiche, la classificazione USDA e WRB, la classe di Land Capability e le principali limitazioni dei suoli. Tutte le informazioni sono state sintetizzate nella "Tavola 03 Carta di Unità' delle Terre delle aree di Portoscuso e di Assemini – Sarroch e nell'Atlante monografico allegati al progetto.

6.5.2 I Servizi Ecosistemici

6.5.2.1 Introduzione

I Servizi Ecosistemici rappresentano i benefici che il genere umano riceve dagli ecosistemi (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) e nell'ultimo decennio sono stati posti al centro dell'attenzione in dibattiti sull'economia globale ed il benessere dell'umanità (Stanley et al., 2014). In questo contesto i suoli giocano un ruolo fondamentale perché sono coinvolti in tutti i processi che regolano il funzionamento degli ecosistemi, tanto che diversi autori affermano che per stimare quantitativamente i Servizi Ecosistemici è necessario partire proprio dallo studio dei suoli (Bouma, 2014; Rutgers et al., 2012).

6.5.2.2 I Servizi Ecosistemici forniti dal suolo (SEs)

Le funzioni e i servizi del suolo sono stati oggetto di molti studi significativi e indagini approfondite da parte della comunità scientifica della scienza del suolo per oltre cinquant'anni, e la consapevolezza della multifunzionalità dei suoli era ben consolidata prima che il concetto di Servizi Ecosistemici fosse diventato popolare (Baveye et al., 2016). Il suolo svolge molteplici e poliedriche funzioni: produce biomassa e cibo, fornisce materie prime, è sede delle attività umane ed archivio storico e archeologico, è riserva di biodiversità, serbatoio di Carbonio e regolatore del ciclo dell'acqua e degli elementi biochimici (Calzolari et al., 2015). Questo concetto è strettamente legato al concetto di qualità del suolo, definito da Doran e Parkin (1994) come "la capacità di un terreno di funzionare, all'interno di un ecosistema e di un determinato uso del suolo, per sostenere la produttività, mantenere la qualità ambientale, e promuovere la salute delle piante e degli animali". Anche se il concetto di multifunzionalità del suolo era già presente in questa definizione, la difficoltà di trovare indicatori in grado di descriverne la complessità rimane una questione critica (Brevik, 2009; Karlen et al., 1997; Olarieta et al., 2011). Il Millennium Ecosystem Assessment (2005) fornisce un quadro generale per descrivere i Servizi Ecosistemici, distinguendoli in quattro categorie: supporto, fornitura o approvvigionamento, regolazione e servizi culturali. Anche se lo schema originale non riconosce esplicitamente il ruolo dei suoli come fornitori di servizi (o disservizi) ecosistemici, diversi scienziati del suolo stanno colmando questa lacuna, collegando i concetti di suolo come capitale naturale, funzioni del suolo, e servizi erogati (Baveye et al., 2016; Bouma, 2014; Dominati et al., 2010; Hewitt et al., 2015; Robinson et al., 2009; Robinson et al., 2012; McBratney et al., 2014). Il suolo come capitale naturale, costituito dalle sue proprietà (Dominati et al., 2010),

cioè dallo stock di massa ed energia, e loro organizzazione (Robinson et al., 2009), fa parte del patrimonio ambientale (Costanza et al., 1997) e attraverso le sue molteplici funzioni contribuisce alle quattro categorie di Servizi Ecosistemici definite dal Millennium Ecosystem Assessment (2005): (1) **supporto**: sostenendo le piante, gli animali e le attività umane; (2) **regolazione**: attraverso i cicli idrologico e biogeochimici (Carbonio incluso) che si svolgono nel suolo e con la sua capacità tampone, per esempio per lo smaltimento sostenibile dei rifiuti; (3) **approvvigionamento**: come fonte di materie prime e di produzione di biomassa; e (4) **culturale**: come archivio del patrimonio archeologico e come parte fondamentale del paesaggio (Dominati et al, 2010; Robinson et al., 2009).

Le funzioni che il suolo svolge, e i Servizi Ecosistemici (SEs) a queste collegati, variano nello spazio, in relazione alle caratteristiche dei suoli, e nel tempo, in relazione alle condizioni (climatiche, gestionali, ecc.) al contorno: suoli diversi forniscono servizi diversi e/o di qualità diversa (Calzolari et al., 2015).

Il passaggio da un quadro teorico ad un approccio operativo è tuttavia ancora problematico, per una serie di questioni. In primo luogo, la molteplicità delle funzioni del suolo ed i relativi Servizi Ecosistemici ha come controparte le molteplici aspettative e percezioni dei diversi utenti del suolo. Inoltre, anche se vi è un crescente interesse per quantificare economicamente i servizi del suolo (Malucelli et al., 2014), ce ne sono alcuni difficili da monetizzare, come ad esempio quelli relativi alla salute pubblica, alla qualità dell'acqua, alla valenza spirituale e culturale, all'educazione. Inoltre, i suoli e le loro proprietà variano nello spazio (e nel tempo), in relazione all'uso che se ne fa e all'ambiente esterno. Questo può portare a conflitti e contraddizioni nei processi di pianificazione territoriale.

Nella Figura 29 è riportato lo schema generale che lega il suolo ai Servizi Ecosistemici (Calzolari et al., 2017).

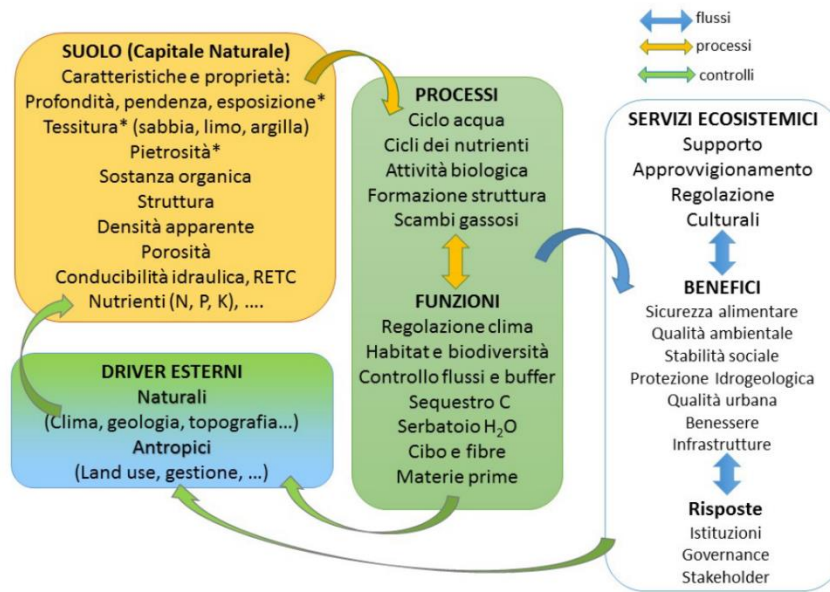


Figura 29: Schema generale che lega il suolo ai Servizi Ecosistemici (Calzolari et al., 2017)

6.5.2.3 Ricerca bibliografica per il calcolo dei Servizi Ecosistemici

Come lavoro di riferimento è stato utilizzato quello pubblicato da Greiner et al. (2017), che ha analizzato oltre 400 pubblicazioni scientifiche nelle quali il ruolo del suolo nei Servizi Ecosistemici veniva almeno menzionato. Da tutte queste pubblicazioni sono state selezionate quelle che facevano riferimento almeno ad un Servizio Ecosistemico relativo al suolo. La ricerca è stata poi ristretta escludendo le pubblicazioni che potenzialmente utilizzavano la modellazione dinamica o si concentravano su suoli specifici, come i suoli allagati nelle zone umide e sulla costa o i suoli forestali, oppure si concentrassero sulla biodiversità del suolo. Infine, sono state selezionate le pubblicazioni che mettessero in relazione le principali proprietà del suolo e i suoi processi con le funzioni del suolo e collegassero quest'ultime ai Servizi Ecosistemici, secondo lo schema riportato nella Figura 30 (Greiner et al., 2017):

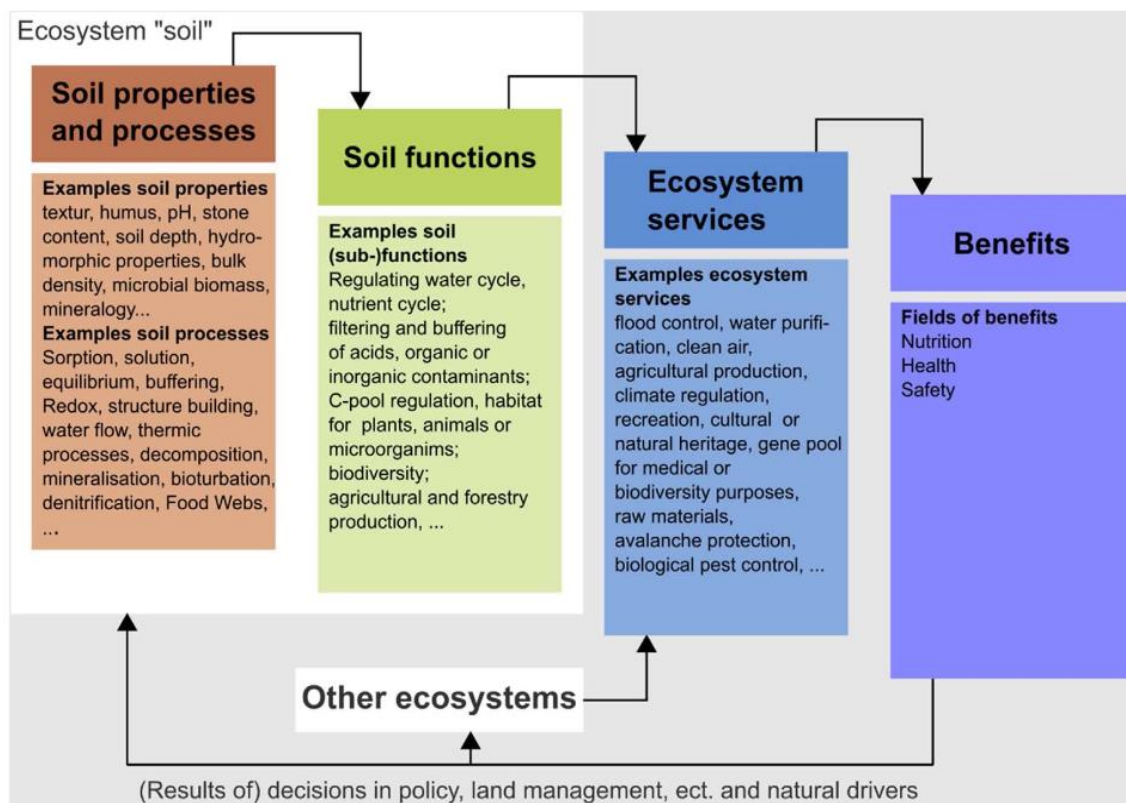


Figura 30: Valutazione dei contributi delle funzioni del suolo ai Servizi Ecosistemici (Greiner et al., 2017)

Complessivamente, i metodi di valutazione del suolo proposti nelle varie pubblicazioni considerate sono stati classificati in uno dei tre approcci seguenti:

- A. Metodi con uso di indicatori.

Utilizzo di indicatori del suolo derivati dalle principali proprietà chimiche, fisiche e biologiche che fungono da proxy semplificati e unidimensionali per le funzioni o la qualità del suolo.

- B. Metodi statici.

Metodi statici che utilizzano regole o formule empiriche semplificate per quantificare le funzioni del suolo. I metodi statici valutano la capacità generale di un suolo di svolgere una funzione specifica, ma gli impatti dell'uso e delle pratiche di gestione non sono presi in considerazione. I metodi statici sono particolarmente adatti nella pianificazione dell'uso sostenibile della risorsa suolo.

- C. Metodi dinamici.

I metodi semi-dinamici o dinamici includono i processi del suolo, il clima e altri fattori ambientali specifici del sito, nonché le variazioni temporali e spaziali nell'uso e delle sue pratiche di gestione. Questi metodi comprendono studi di modellizzazione del suolo e dell'ambiente,

nonché modelli biofisici sviluppati in diverse sottodiscipline (ad es. ciclo dei nutrienti, ciclo dell'acqua e degrado del suolo), tenendo conto dei processi fisici, chimici e biologici del suolo stesso.

Considerando le finalità del presente progetto di ricerca, si è ritenuto di poter adottare il metodo statico proposto da Calzolari et al. (2016).

6.5.2.4 Calcolo dei Servizi Ecosistemici del suolo

La metodologia utilizzata per la valutazione dei SEs è quella proposta da Calzolari et al. (2016). Per poterla applicare alla realtà territoriale sarda, e in particolare agli areali del Progetto, si è reso necessario preliminarmente scegliere quali SEs calcolare in considerazione delle finalità e dei dati disponibili (Tabella 12:).

Ogni Servizio Ecosistemico è stato descritto tramite indicatori basati sulle proprietà del suolo misurate o stimate quantitativamente a partire dai dati presenti nel DBSS, che avessero le informazioni utili al calcolo (dati di input).

Tabella 12: Servizi Ecosistemici, funzioni e indicatori del suolo adottati

Categoria	Contributo del suolo	Funzioni	Indicatori	Dati di input	Codice
Supporto	Habitat per gli organismi del suolo	Riserva di biodiversità	Habitat potenziale per gli organismi del suolo	- Uso del suolo, - Densità apparente, - Carbonio organico	BIO
Regolazione	Ritenzione e rilascio di nutrienti ed inquinanti; Attenuazione naturale (potenziale)	Accumulo, filtraggio e trasformazione di nutrienti, sostanze ed acqua	Capacità di scambio cationico, Reazione del suolo, Profondità di radicamento	- Carbonio organico, - Contenuto in argilla, - pH, - Profondità del suolo	BUF
Regolazione	Sequestro del Carbonio (potenziale)	Riserva di Carbonio	Sequestro potenziale di Carbonio organico	- Carbonio organico, - Densità apparente	CST
Approvvigionamento	Approvvigionamento alimentare (potenziale)	Produzione di biomassa	Carta della Capacità d'Uso	- Classi e sottoclassi di Capacità d'Uso	PRO
Regolazione (supporto)	Regimazione dell'acqua- Conservazione dell'acqua (potenziale)	Accumulo, filtraggio e trasformazione di nutrienti, sostanze ed acqua	Contenuto idrico alla capacità di campo, Presenza di falda	- Capacità di campo - Profondità del suolo	WAS

Il passo successivo è stato quello di attribuire ad ogni Unità di Terre un unico valore per ciascun Servizio Ecosistemico individuato. In alcuni casi, laddove si è osservato che la fisiometria determinasse una influenza sulla tipologia di suoli, i SEs sono stati differenziati per singola Unità fisiometrica.

Per ciascuna osservazione si è proceduto al calcolo del valore di ogni servizio attraverso formule ben definite nella metodologia cui si è fatto riferimento (Calzolari et al., 2016).

I risultati così ottenuti, per ogni indicatore, sono stati standardizzati come numeri nell'intervallo da 0 a 1 (Wu et al., 2013) ricorrendo a una normalizzazione dell'intervallo come segue:

$$X_i 0-1 = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

dove $X_i 0-1$ è il valore standardizzato [0-1], X_i è il valore considerato, $X_{\max}$ e $X_{\min}$ sono rispettivamente il valore massimo e minimo del set di dati riferito all'intera area di ogni variabile considerata.

Il valore massimo osservato viene posto uguale a 1, mentre il valore 0 indica il valore minimo e non l'assenza del servizio ed entrambi sono riferiti esclusivamente al territorio in esame.

Infine, per ottenere un unico valore da attribuire a ciascuna Unità di Terre è stata fatta la media aritmetica dei valori ottenuti per tutte le osservazioni della stessa Unità di Terre. Le procedure di calcolo utilizzate per ogni Servizio Ecosistemico vengono descritte qui di seguito.

BIO - Habitat per gli organismi del suolo

Evidenzia il contributo potenziale del suolo come habitat per la pedofauna attraverso la sua funzione di riserva di biodiversità. Per la sua determinazione sono stati utilizzati il valore medio ponderato del Carbonio organico a 30 cm, il valore medio ponderato della densità apparente a 30 cm e il valore per ciascuna unità di uso del suolo. Non avendo a disposizione il valore del QBS-ar, parametro utilizzato per il calcolo nella metodologia di Calzolari et al. (2016), si è deciso di sostituirlo con l'uso del suolo, attribuendo un valore differente alle tre macro categorie di uso: aree naturali e seminaturali, aree agricole e aree di non suolo, rispettivamente il valore di 1 (alto), 0,5 (medio) e 0 (basso) (Tabella 13). Il motivo di quest'ultima scelta nasce dal fatto che, come è noto, la biodiversità della pedofauna cresce progressivamente all'aumentare dell'integrità del suolo stesso.

Tabella 13: Parametri e formula per la determinazione del Servizio Ecosistemico BIO

S.E.	Dati di input	Formula	Profondità
BIO	- Uso del suolo (1; 0,5; 0) - Densità apparente (BD)(Mg*m⁻³) - Carbonio organico (OC) (%)	$BIO_{0-1} = (LogOC_{0-1} - BD_{0-1}) + \text{Uso del suolo}_{0-1}$	0-30 cm

BUF - Capacità depurativa del suolo

Definito come un Servizio Ecosistemico di regolazione, esso mette in risalto il contributo potenziale del suolo come regolatore dei nutrienti, degli inquinanti e dello stoccaggio idrico attraverso la sua funzione di accumulo, filtraggio e trasformazione.

Il Servizio Ecosistemico BUF è stato ottenuto utilizzando come dati di input il valore medio ponderato della capacità di scambio cationico a 100 cm, il valore medio ponderato della percentuale di scheletro presente a 100 cm e il valore medio ponderato del pH in acqua a 30 cm. I valori ottenuti dalla formula sono stati, anche in questo caso, normalizzati in modo tale da ottenere un valore compreso tra 0 e 1 (Tabella 14).

Tabella 14: Parametri e formula per la determinazione del Servizio Ecosistemico BUF

S.E.	Dati di input	Formula	Profondità
BUF	- $CSC = 6,332 + 0,404 * \text{argilla} + 1,690 * OC$ ($R^2 = 0,75$) - pH - scheletro (sk) (%; $\varnothing > 2$ mm)	$BUF_{0-1} = \text{Log CSC (pH; sk)}_{0-1}$ con pH < 6,5 riduzione di 0,25 o 0,5 in base alla CSC e di 0,25 per scheletro > 30 %	0-100 cm 0-30 cm (pH)

CST – Sequestro potenziale del Carbonio organico

E' un Servizio Ecosistemico di regolazione che evidenzia il contributo potenziale del suolo nella sua capacità di sequestrare il Carbonio organico.

Il calcolo del CST è stato ottenuto utilizzando come dati di input il valore medio ponderato del Carbonio organico a 30 cm e il valore medio ponderato della densità apparente alla stessa profondità (Tabella 15).

Tabella 15: Parametri e formula per la determinazione del Servizio Ecosistemico CST

S.E.	Dati di input	Formula	Profondità
CST	- Carbonio organico (OC) (%) - Densità apparente (BD) ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	$CST_{0-1} = \log (OC * BD)_{0-1}$	0-30 cm

PRO – Produzione biomassa

Categorizzato come un Servizio Ecosistemico di approvvigionamento, mette in luce il ruolo potenziale del suolo di produrre biomassa a fini agro-alimentari associato alla classe di Capacità d’Uso.

Per l’attribuzione del valore alla singola unità si è proceduto anche in questo caso al calcolo della media e non è stato necessario normalizzare i dati come per gli altri SEs dato che il loro valore era già compreso tra 0 e 1 (Tabella 16).

Tabella 16: Parametri e formula per la determinazione del Servizio Ecosistemico PRO

S.E.	Dati di input	Valori attribuiti alle classi							
PRO	Classi di Capacità d’Uso VALORI	I	I-II	II	II-I	II-III	II-III-IV	II-IV	III
		1	0,95	0,8	0,9	0,7	0,65	0,55	0,6
		III-II	III-II-IV	III-IV	III-VI	IV	IV-II	IV-III	IV-V
		0,65	0,57	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	0,35
		IV-VI	V	V-II	VI	VI-IV	VII	VIII	
		0,27	0,3	0,4	0,2	0,25	0,1	0	

WAS – Regimazione e immagazzinamento dell’acqua

Categorizzato come un Servizio Ecosistemico di regolazione, esso evidenzia il contributo potenziale del suolo nel controllo dello scorrimento superficiale delle acque e delle inondazioni.

Come indicatore per l’immagazzinamento potenziale di acqua del suolo si è considerato il contenuto volumetrico di acqua alla capacità di campo (WCFC, m^3/m^3).

Per ottenere la misura volumetrica dell’acqua, come richiesto dalla formula, si è moltiplicata la misura gravimetrica, dato di cui si aveva la disponibilità, per la densità apparente. Al valore stimato è stato poi sottratto il volume occupato dallo scheletro (Tabella 17).

Tabella 17: Parametri e formula per la determinazione del Servizio Ecosistemico WAS

S.E.	Dati di input	Formula	Profondità
WAS	- WCFC (CC, -33 kPa, vol/vol) - Profondità media della falda superficiale - Scheletro (sk) ($\varnothing > 2$ mm, vol/vol)	$WAS_{0-1} = (WCFC * 1-sk)_{0-1}$ falda più profonda di 100 cm	0-100 cm

6.5.2.5 Risultati e discussioni

6.5.2.5.1 Area di Portoscuso

Il calcolo dei SEs ha interessato solo il 69% dell'intera superficie poiché il restante 31% è costituito dal *Non suolo*, rappresentato dalle delimitazioni NSU (non suolo), RAF (roccia affiorante) e LAGHI della Carta delle Unità di Terre.

Per quanto concerne il Servizio Ecosistemico **BIO** (Figura 31), i suoli più rappresentati (32,8%) appartengono alla classe 0,2-0,4. I suoli della classe più bassa (0-0,2, Unità di Terre DAP, DCO, ATS e CPA 1 e -1) e quelli della classe più alta (0,8-1, Unità di Terre IGN 0 e 1) occupano rispettivamente il 17,95% e il 9,87% dell'area.

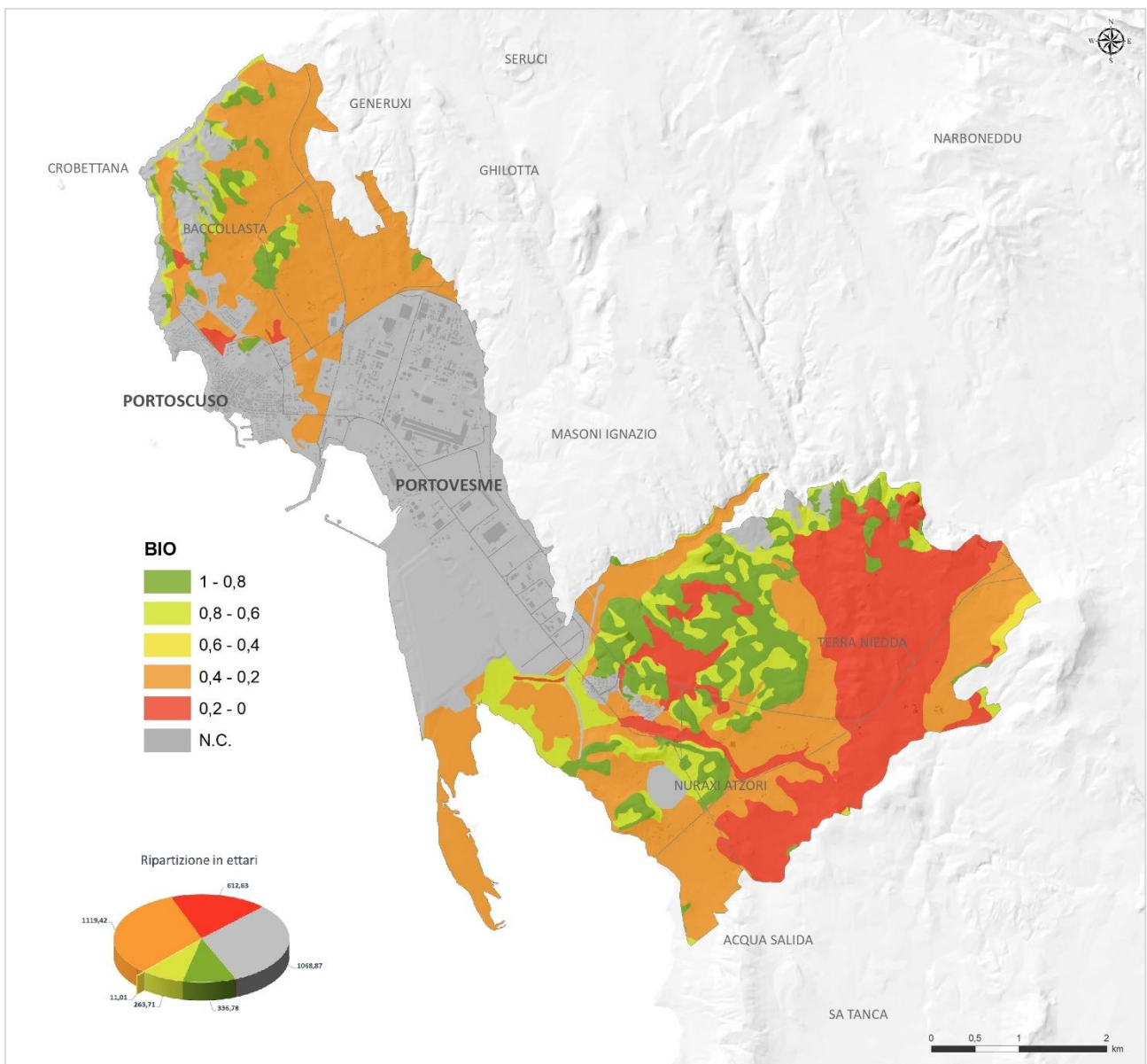


Figura 31: Distribuzione del Servizio Ecosistemico BIO

Per il Servizio Ecosistemico **BUF** (Figura 32), la maggior parte dei suoli (23,76%) ricade nella classe 0,2-0,4, mentre i suoli della classe più bassa (0-0,2, Unità di Terre IGN 0 e 1) e quelli della classe più alta (0,8-1, Unità di Terre CPA 2 e -2) occupano rispettivamente il 9,86% e lo 0,32% della superficie dell'area di studio.

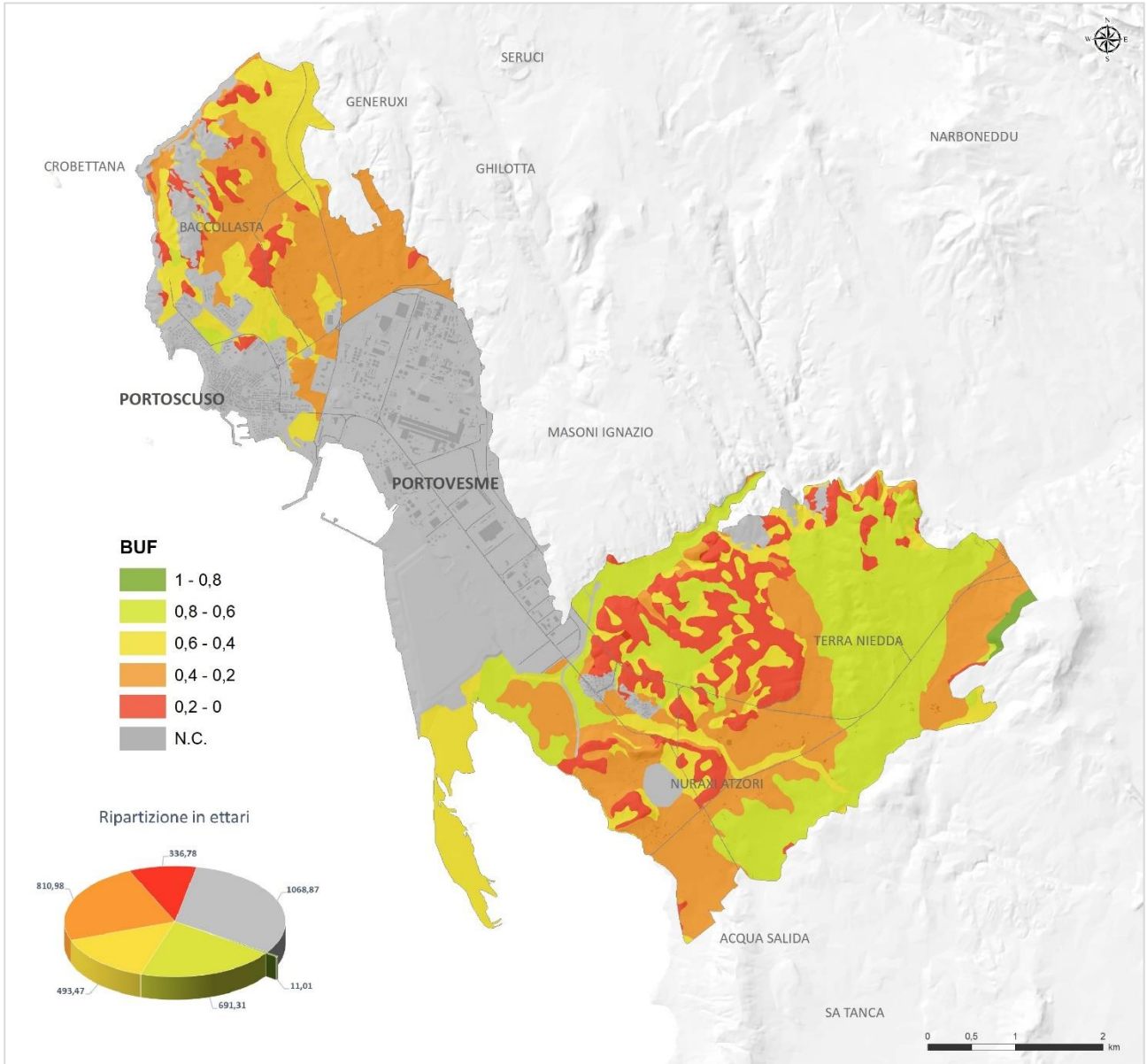


Figura 32: Distribuzione del Servizio Ecosistemico BUF

Anche per il Servizio Ecosistemico **CST** (Figura 33), l'area è prevalentemente rappresentata da suoli appartenenti alla classe 0,2-0,4, mentre le classi più bassa (0-0,2, Unità di Terre SPI_1, IGN 0 e 1) e più elevata (0,8-1, Unità di Terre ATL) sono rappresentate da suoli che si estendono rispettivamente sul 16,74% e sull' 1,72% dell'area. Questo Servizio Ecosistemico è fortemente condizionato dall'uso del suolo e dallo spessore dei suoli. La classe più elevata riguarda i suoli ubicati in zone umide interne con copertura vegetale tipica di questi ambienti.

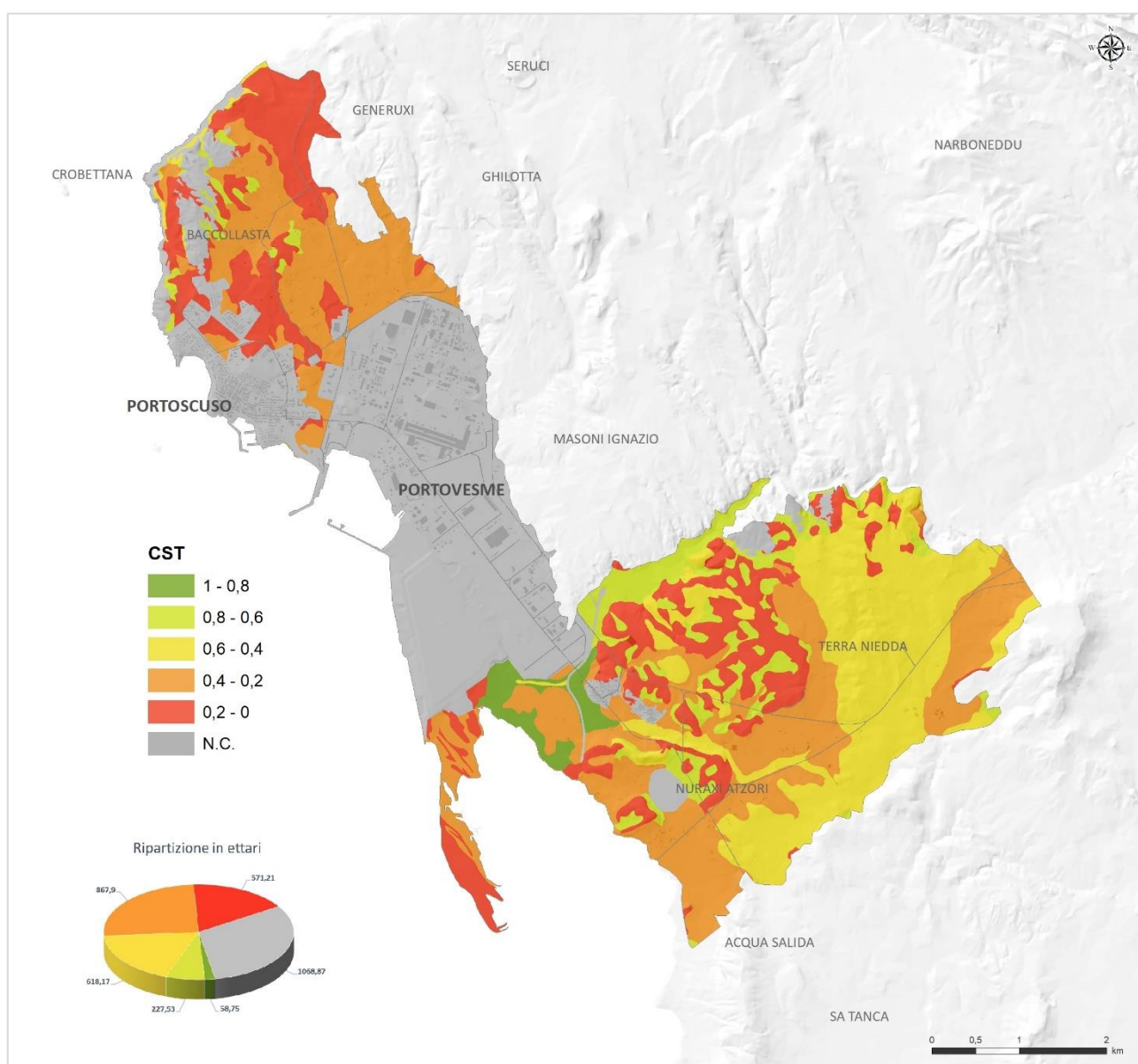


Figura 33: Distribuzione del Servizio Ecosistemico CST

Per quanto concerne il Servizio Ecosistemico di approvvigionamento alimentare (**PRO**) (Figura 34), si è fatto riferimento alla Classificazione di Capacità d'Uso predisposta ed utilizzata nel Progetto CUT1. Il dato input utile al calcolo (classe di Capacità d'Uso) è stato estrapolato in ambiente GIS attraverso una sovrapposizione spaziale tra il layer dei profili del dataset e lo shapefile delle Classi di Capacità d'Uso. Relativamente a questo Servizio Ecosistemico, le classi più rappresentate

nell'area mostrano valori da 0,4 a 0,6 e occupano il 38,99% della superficie. I suoli appartenenti a quest'ultima sono potenzialmente adatti ad un uso agricolo (III-IV classe di Capacità d'Uso). I suoli migliori appartengono all'Unità di Terra ATG (I-II classe di Capacità d'Uso) con un'estensione pari a 59,53 ettari ovvero l'1,74% dell'intera area, mentre quelli peggiori (VI-VIII classe di Capacità d'Uso) alle Unità di Terra ATL, IGN (tutte le fisiometrie), CPA (2,-2), SLO e SPI_1, e occupano 897,37 ettari ovvero il 26,3% dell'area.

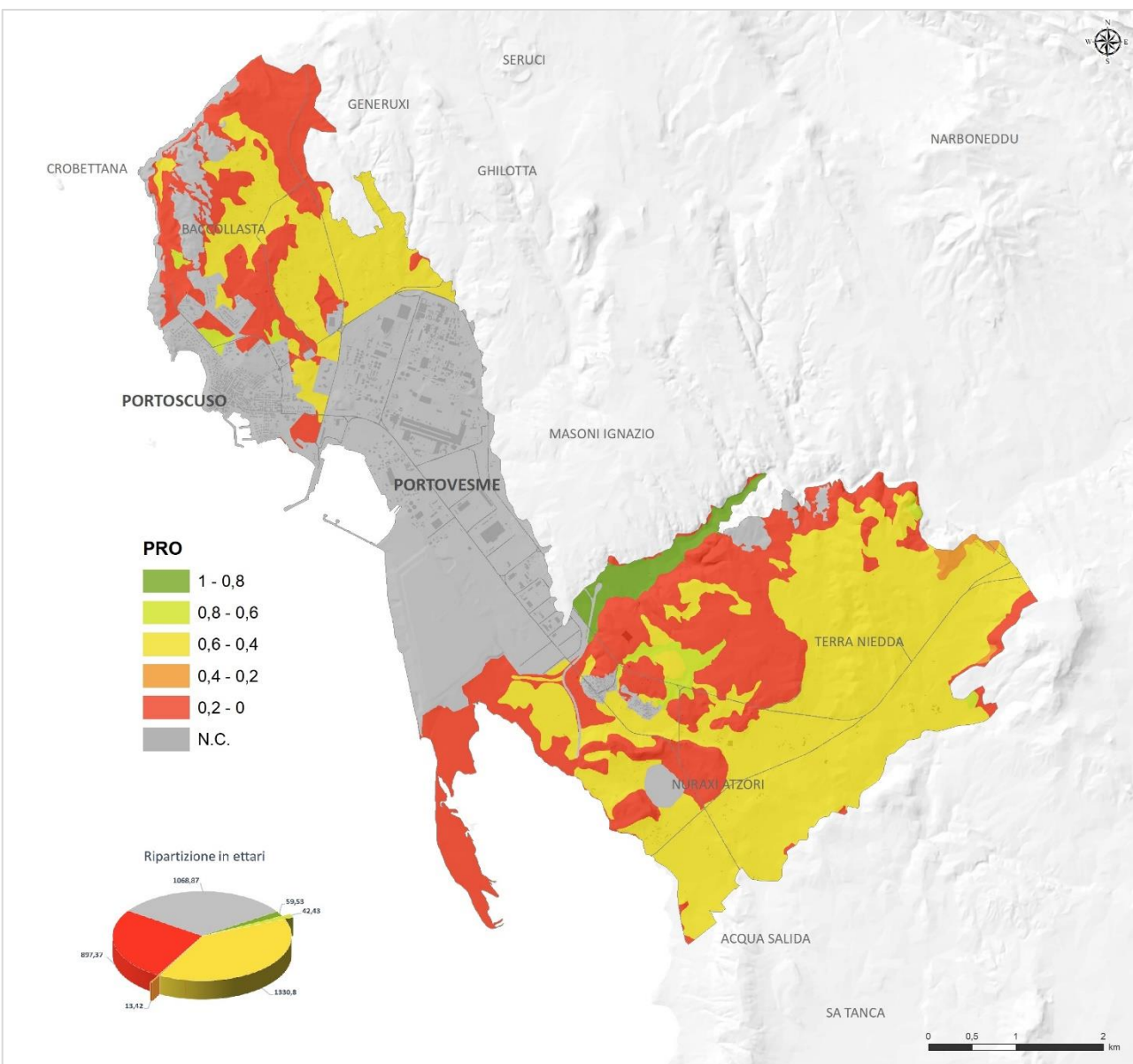


Figura 34: Distribuzione del Servizio Ecosistemico PRO

Il Servizio Ecosistemico **WAS** è fornito principalmente dai suoli che ricadono nella classe 0,2-0,4 (23,84% dell'area) (Figura 35). I suoli della classe più bassa (0-0,2, Unità di Terre IGN -1, -2, 0, 1, 2 e 3, e SPI_1) e quelli della classe più alta (0,6-0,8, Unità di Terre ATG, ATL, CPA -1, -2, 1 e 2, DAP e DCO) occupano rispettivamente il 22,74% e il 20,58% dell'area.

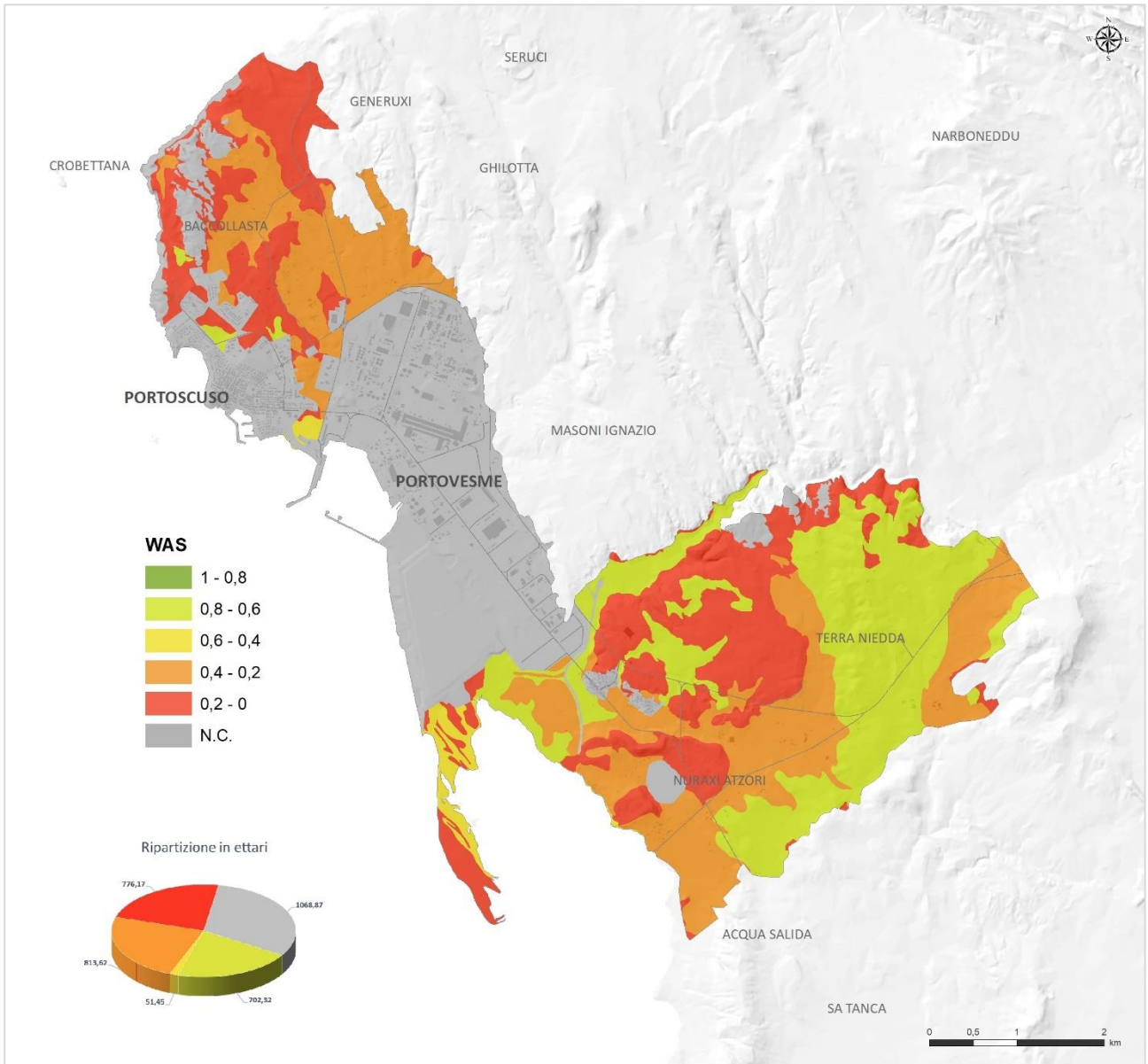


Figura 35: Distribuzione del Servizio Ecosistemico WAS

6.5.2.5.2 Area di Assemini-Sarroch

Il calcolo dei SEs ha interessato solo il 69% dell'intera superficie mentre il restante 31% è costituito dal *Non suolo* rappresentato dalle delineazioni NSU, dalla roccia affiorante (RAF), dalle sabbie oloceniche (SPI), e dai canali e laghi della Carta delle Unità di Terre. Le unità aventi una superficie inferiore a 0,05 ha (CPA, PLU 0 e LIB -3) non sono state oggetto di analisi in quanto non cartograficamente rappresentabili e accorpate a delineazioni vicine caratterizzate da pedopaesaggi simili.

Relativamente al Servizio Ecosistemico **BIO** (Figura 36), la maggior parte dei suoli (56,3%) ricade nella classe 0,2-0,4, mentre i suoli della classe più bassa (0-0,2, Unità di Terre ASO e PLU 1) e quelli della classe più alta (0,8-1, Unità di Terre MET -3) occupano rispettivamente lo 0,3% e lo 0,01% dell'area.

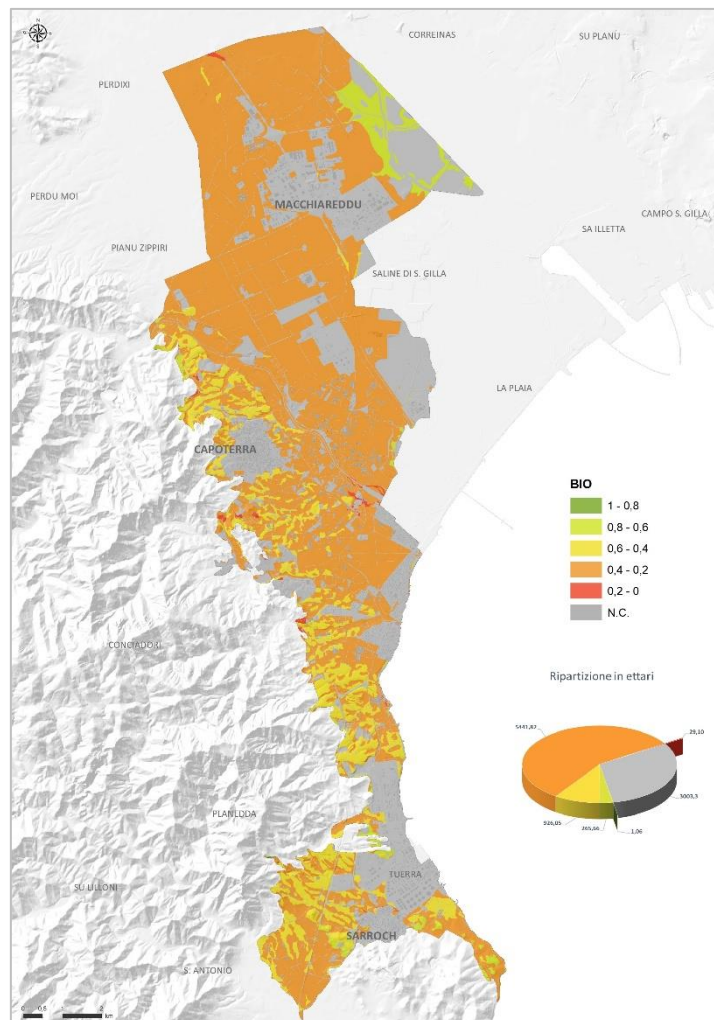


Figura 36: Distribuzione del Servizio Ecosistemico BIO

Anche per il Servizio Ecosistemico **BUF** (Figura 37) la classe più rappresentata è quella compresa tra 0,2-0,4 (52,9% dell'area), mentre i suoli della classe più bassa (0-0,2, Unità di Terre DAP -1 e -2, MET -1, 1 e 2, e PLU 3) e quelli della classe più alta (0,8-1, Unità di Terre DAP 2 e 3, DCO α , SLO e LIB 0) occupano rispettivamente lo 0,05% e il 4,5% dell'area.

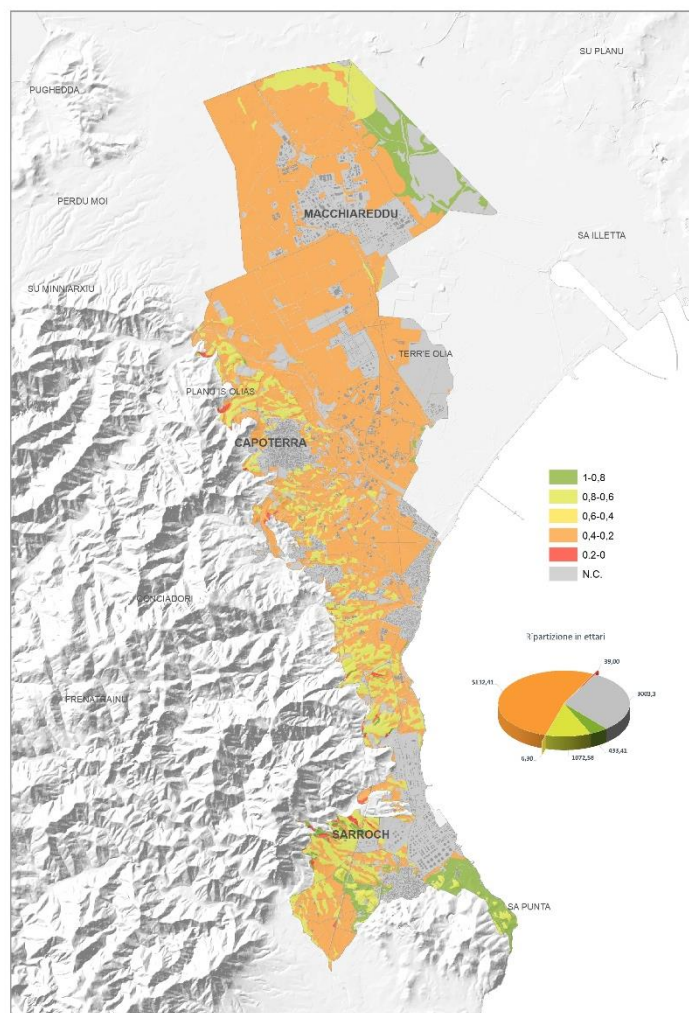


Figura 37: Distribuzione del Servizio Ecosistemico BUF

Anche per quanto concerne il Servizio Ecosistemico **CST** (Figura 38) la classe 0,2-0,4 comprende la maggior parte dei suoli dell'area (60,25%), le cui classi più bassa (0-0,2, Unità di Terre AGO, ASO e PLU 1) e più elevata (0,8-1, Unità di Terre DVO μ e MET -2) sono rappresentate da suoli che si estendono rispettivamente sul 4,2% e sullo 0,08% dell'area. La classe più elevata ricade in suoli con copertura a macchia mediterranea.

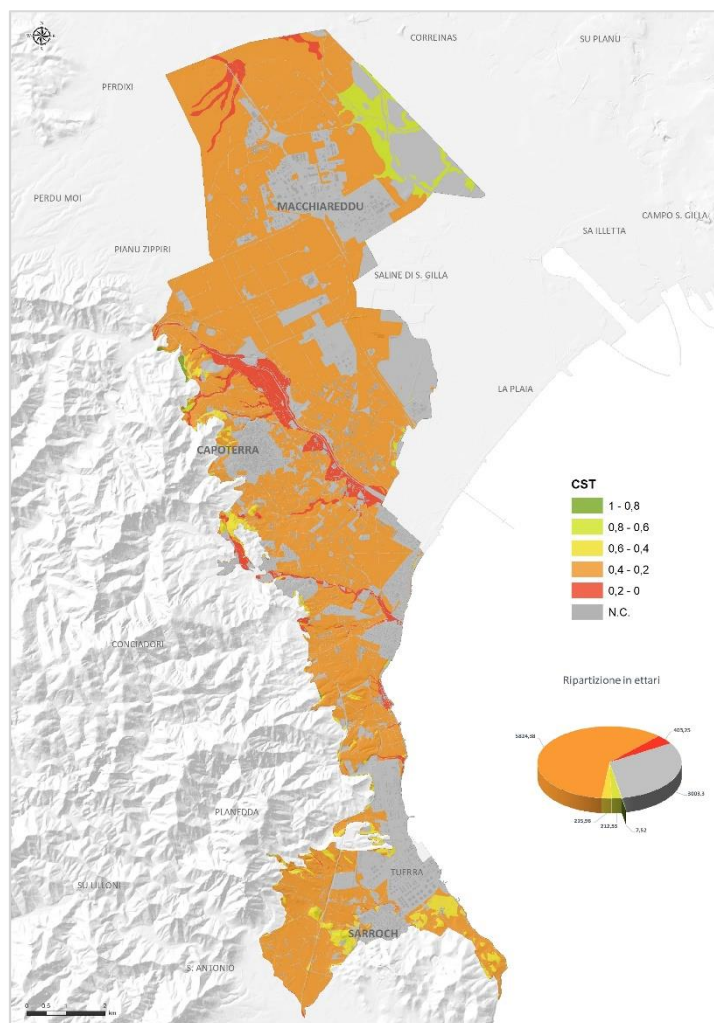


Figura 38: Distribuzione del Servizio Ecosistemico CST

Per quanto concerne il Servizio Ecosistemico di approvvigionamento alimentare (**PRO**) (Figura 39), si è fatto riferimento alla Carta di Capacità d'Uso del Progetto CUT1, sulla quale ricadono quasi tutti i profili su cui si è basata l'indagine. Il dato di input utile al calcolo (classe di Capacità d'Uso) è stato estrapolato attraverso una sovrapposizione spaziale tra il layer dei profili del dataset e lo shapefile delle Classi di Capacità d'Uso. In relazione a questo Servizio Ecosistemico il territorio mostra come più della metà (56,5%) della sua superficie sia potenzialmente adatta ad un uso agricolo (III-IV classe di Capacità d'Uso). I suoli migliori sono ascrivibili alle Unità di Terre LIB (1, -1) (classi III-II di Capacità d'Uso), aventi un'estensione pari a 41,55 ha ovvero lo 0,43% dell'intera area.

I suoli peggiori (VI-VII-VIII classe di Capacità d'Uso) occupano 150,41 ha, ovvero l'1,5% dell'area, e sono ascrivibili alle Unità di Terre MET, PLU (escluso PLU -1), LIB -2, 2 e 3, DVO μ -2, DVO γ -1, -2 e -3, DAP 2 e 3, e DCO γ .

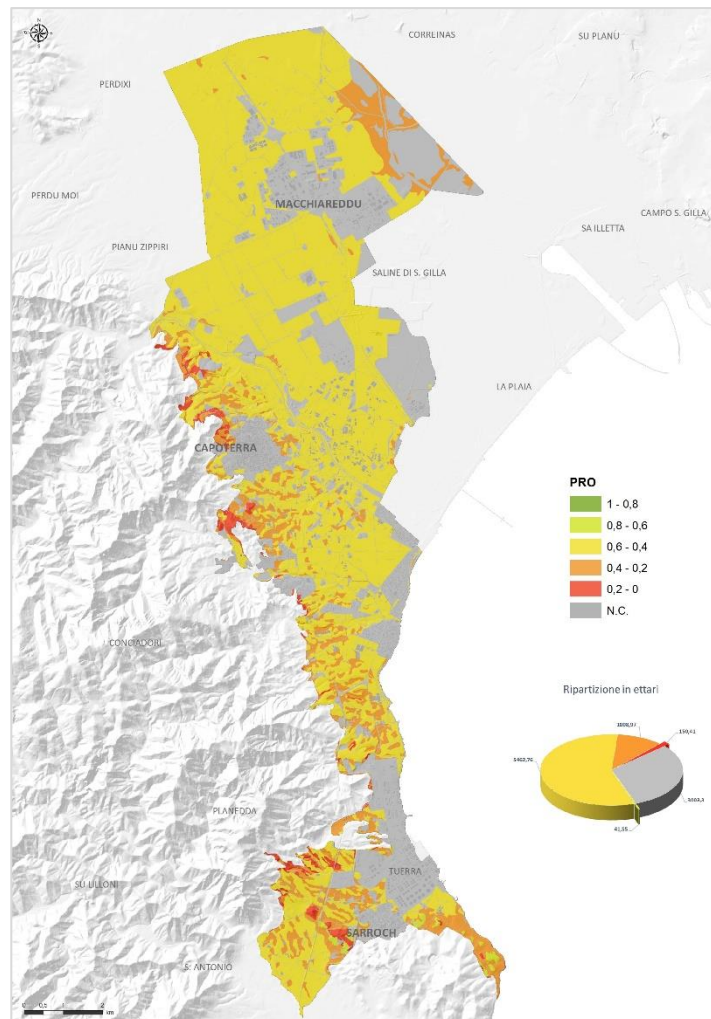


Figura 39: Distribuzione del Servizio Ecosistemico PRO

Il Servizio Ecosistemico **WAS** (Figura 40) è fornito principalmente dai suoli che ricadono nella classe 0,4-0,6 (46,06% dell'area). I suoli della classe più bassa (0-0,2, Unità di Terre DCO α , esclusi i DCO α 0, DCO μ , LIB, esclusi i LIB 0, MET, esclusi i MET -2, PLU -2, -3 e 3) e quelli della classe più alta (0,8-1, Unità di Terre SLO e DCO α 0) occupano rispettivamente il 2,7% e il 2,5% dell'area.

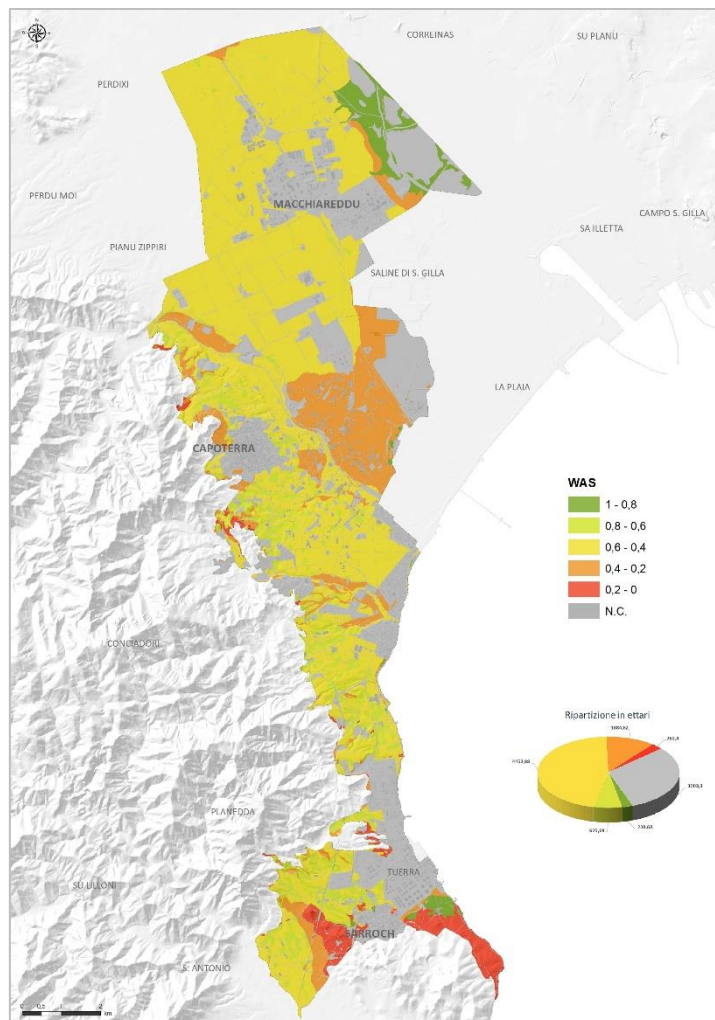


Figura 40: Distribuzione del Servizio Ecosistemico WAS

6.5.2.6 L'importanza di quantificare i Servizi Ecosistemici offerti dal suolo

Con l'analisi svolta sui SEs nelle due aree di studio si è voluto indicare un percorso metodologico in grado di collegare gli studi pedologici alle politiche di prevenzione e tutela della risorsa suolo da parte delle comunità locali, al fine di evitare che i processi di degrado impattino negativamente sull'economia e il benessere dei cittadini. Infatti, per investire nella prevenzione e nel ripristino di suoli degradati è quanto mai necessario conoscerne a fondo il loro stato di salute.

Come specificato nella recente comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo COM (2021) 699 del 17 novembre 2021 *Strategia dell'UE per il suolo per il 2030. Suoli sani a vantaggio delle persone, degli alimenti, della natura e del clima*, **per suolo in buona salute si intende il suolo che presenta buone condizioni chimiche, biologiche e fisiche e può dunque fornire in modo continuativo il maggior numero possibile di SEs.**

Nel corso degli ultimi anni la conoscenza dei suoli e il riconoscimento del loro valore è diventato un tema prioritario delle politiche ambientali europee, connesso in particolar modo all'ampio quadro di azioni strategiche che l'U.E. sta mettendo in campo nella lotta per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici. Conoscere il valore dei Servizi Ecosistemici dei suoli di un territorio è il primo passo da compiere per *“affrontare le grandi sfide relative al raggiungimento della neutralità climatica e della resilienza ai cambiamenti climatici, grazie allo sviluppo di una (bio)economia pulita e circolare, all'inversione della perdita di biodiversità, alla salvaguardia della salute umana, all'arresto della desertificazione e all'inversione del degrado dei terreni”.*

Pertanto il calcolo dei SEs per una valutazione preliminare delle funzioni dei suoli nelle aree di studio ha costituito la finalità principale e conclusiva del presente progetto.

Tuttavia, con i dati attualmente disponibili, si è voluto contemplare un possibile sviluppo dell'analisi, che può essere oggetto di uno studio futuro in virtù degli obiettivi a medio termine che la Commissione Europea raccomanda a tutti gli Stati membri dell'U.E., tra i più importanti dei quali vi è:

- *Ripristinare vaste superfici di ecosistemi degradati e ricchi di Carbonio, compresi i suoli.*

Pratiche di gestione del suolo sostenibili, continue e mirate possono contribuire significativamente al conseguimento della neutralità climatica, aumentando il livello di Carbonio immagazzinato nei suoli minerali.

- *Ottenere buone condizioni ecologiche e chimiche nelle acque di superficie e buone condizioni chimiche e quantitative nelle acque sotterranee entro il 2027.*

Dato il suo ruolo cruciale nel ciclo dell'acqua, il suolo è anche un alleato indispensabile per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Un'elevata capacità di ritenzione idrica nei suoli riduce l'effetto delle inondazioni e limita l'impatto negativo della siccità.

Con i dati relativi ai due SEs precedentemente valutati, ossia il servizio CST (Sequestro potenziale del Carbonio organico) e il servizio WAS (Regimazione e immagazzinamento dell'acqua), è stato possibile realizzare un'ulteriore elaborazione interpretativa delle potenzialità dei suoli di ciascuna delle Unità di Terre (UdT) presenti nelle due aree di studio:

1. lo stoccaggio di Carbonio organico espresso in tonnellate per ettaro;
2. la capacità di ritenzione idrica potenziale espressa in m³/ha.

Per l'area di Portoscuso i risultati dello stoccaggio di Carbonio organico sono riportati in Tabella 18 ed in Figura 41 ed i dati della Capacità di ritenzione idrica potenziale in Tabella 19 ed in Figura 42:

Tabella 18: Stoccaggio potenziale del Carbonio organico per ciascuna Unità di Terra

UNITÀ DI TERRE	STOCK C.O. (t/ha)	UNITÀ DI TERRE	STOCK C.O. (t/ha)
ATL	807	ATS	116
IGN-1, IGN-2	365	DCO	94
ATG	222	SLO	82
CPA-2, CPA2	190	SPI_2	81
IGN2, IGN3	174	IGN0, IGN1	42
CPA-1, CPA1	143	SPI_1	40
DAP	141		

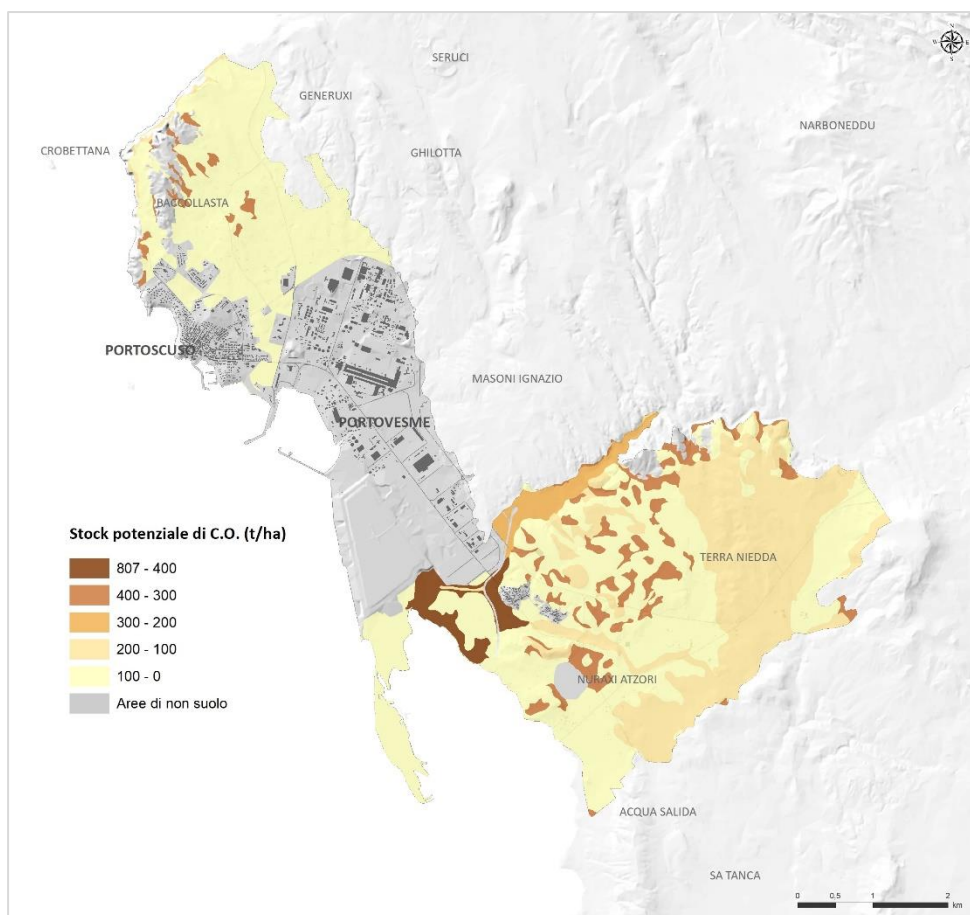


Figura 41: Carta dello stoccaggio potenziale del Carbonio organico

Tabella 19: Capacità di ritenzione idrica potenziale espressa in m³/ha per ciascuna Unità di Terra

UNITÀ DI TERRE	RITENZIONE IDRICA (m ³ /ha)	UNITÀ DI TERRE	RITENZIONE IDRICA (m ³ /ha)
ATL	2.978	ATS	1.155
DCO	2.848	SPI_2	1.005
CPA -2, CPA2	2.841	IGN 0, IGN1	310
CPA -1, CPA1	2.521	SPI_1	267
DAP	2.504	IGN -1, IGN-2	183
ATG	2.458	IGN 2, IGN3	68
SLO	1.622		

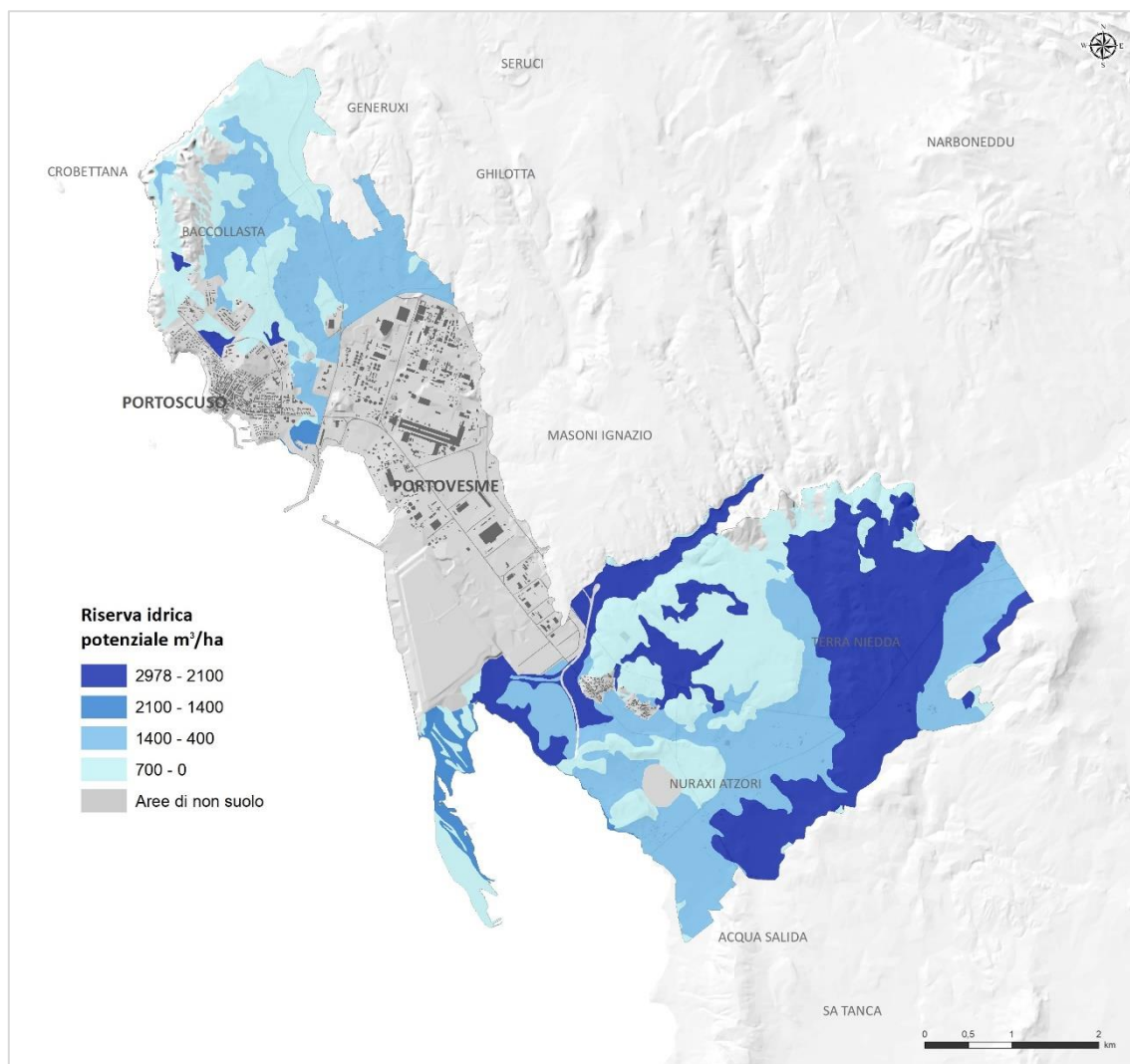


Figura 42: Carta della riserva idrica potenziale

Infine, per l'area di Assemini-Sarroch i risultati dello stoccaggio di Carbonio organico sono riportati in Tabella 20 ed in Figura 43 mentre i dati della Capacità di ritenzione idrica potenziale sono stati riassunti in Tabella 21 e in Figura 44:

Tabella 20: Stoccaggio del Carbonio organico per ciascuna Unità di Terra

UNITÀ DI TERRE	STOCK C.O. (t/ha)	UNITÀ DI TERRE	STOCK C.O. (t/ha)
MET -2	669	PLU -3	137
DVO μ -2	416	DCO α 0	136
DVO μ (1, -1, 2)	395	DAP -2, DAP -3	136
MET -1	333	ALO	131
MET -3	323	ATG	119
SLO	320	LIB 0	114
MET 3	319	DAP 2, DAP 3	108
DCO γ	299	MET 2	108
LIB -2	276	DCO α (1, -1, 2, -2, 3)	101
DCO μ	206	DVO γ (1, 2, 3)	99
LIB 2	195	PLU-1	98
PLU -2	172	DAP 0	92
PLU 2	165	DAP-1	84
LIB 3	152	MET 1	80
LIB 1, LIB -1	151	ASO	77
PLU 3	149	AGO	69
DAP 1	139	PLU 1	60
DVO γ (-1, -2, -3)	138		

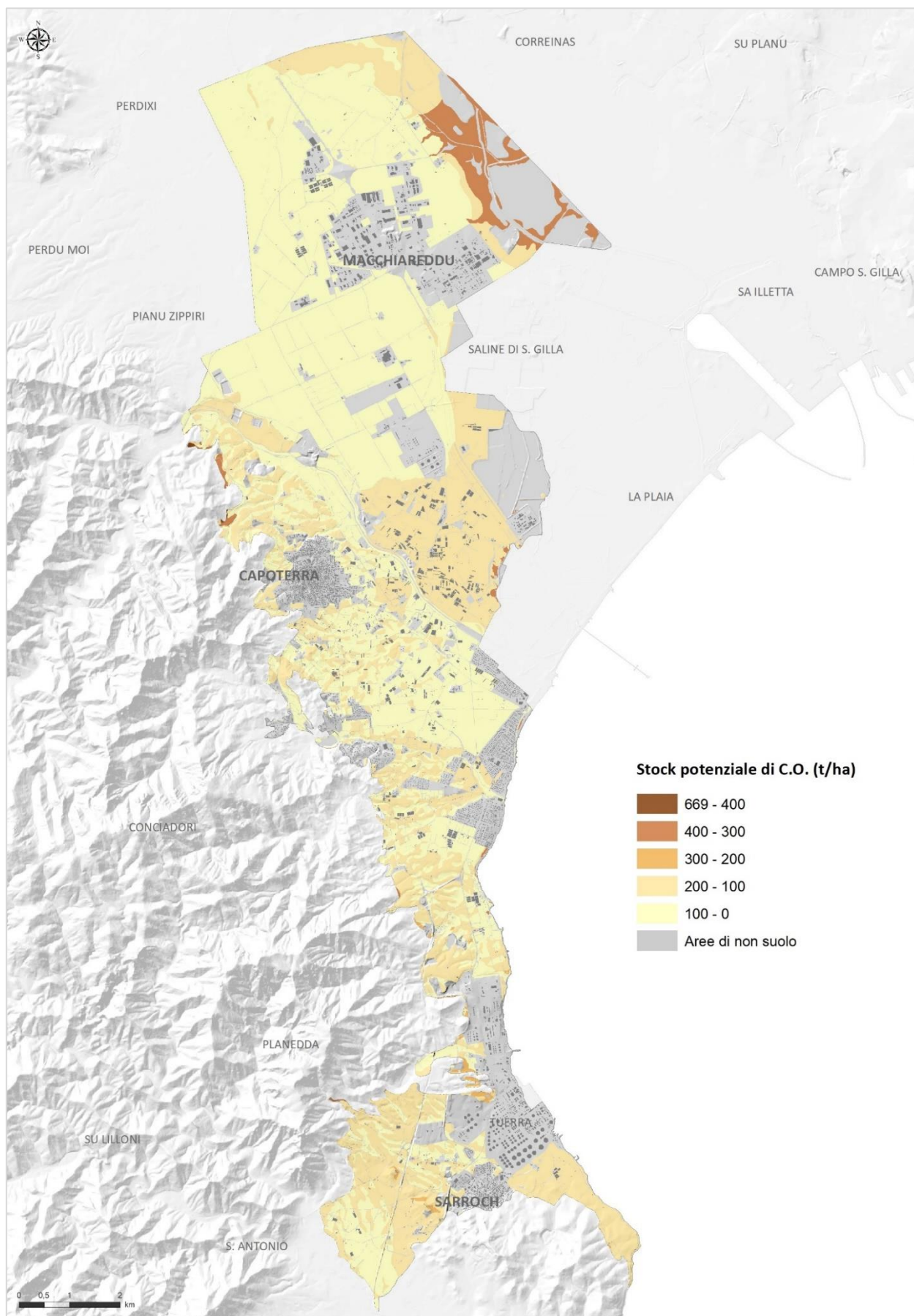


Figura 43: Carta dello stoccaggio potenziale del Carbonio organico

Tabella 21: Capacità di ritenzione idrica potenziale espressa in m³/ha per ciascuna Unità di Terra

UNITÀ DI TERRE	RITENZIONE IDRICA (m³/ha)	UNITÀ DI TERRE	RITENZIONE IDRICA (m³/ha)
SLO	3.299	DVOy (1, 2, 3)	861
DCOα 0	2.916	LIB 0	797
DAP 2, DAP 3	2.641	MET -2	719
PLU 2	2.530	DCOμ	631
DAP -1	2.401	DCOα (1, -1, 2, -2, 3)	448
DAP 0	1.968	LIB -2	400
DAP 1	1.811	PLU -2	360
PLU 1	1.744	LIB 2	346
AGO	1.653	MET 3	244
ALO	1.481	LIB 1, LIB -1	221
DVOμ (1, -1, 2)	1.350	MET -3	196
ATG	1.311	MET -1	139
DVOy (-1, -2, -3)	1.299	PLU -3	136
ASO	1.143	LIB 3	132
DVOμ -2	1.141	PLU 3	54
DAP -2, DAP -3	1.043	MET 1	48
PLU -1	888	MET 2	32
DCOy	876		

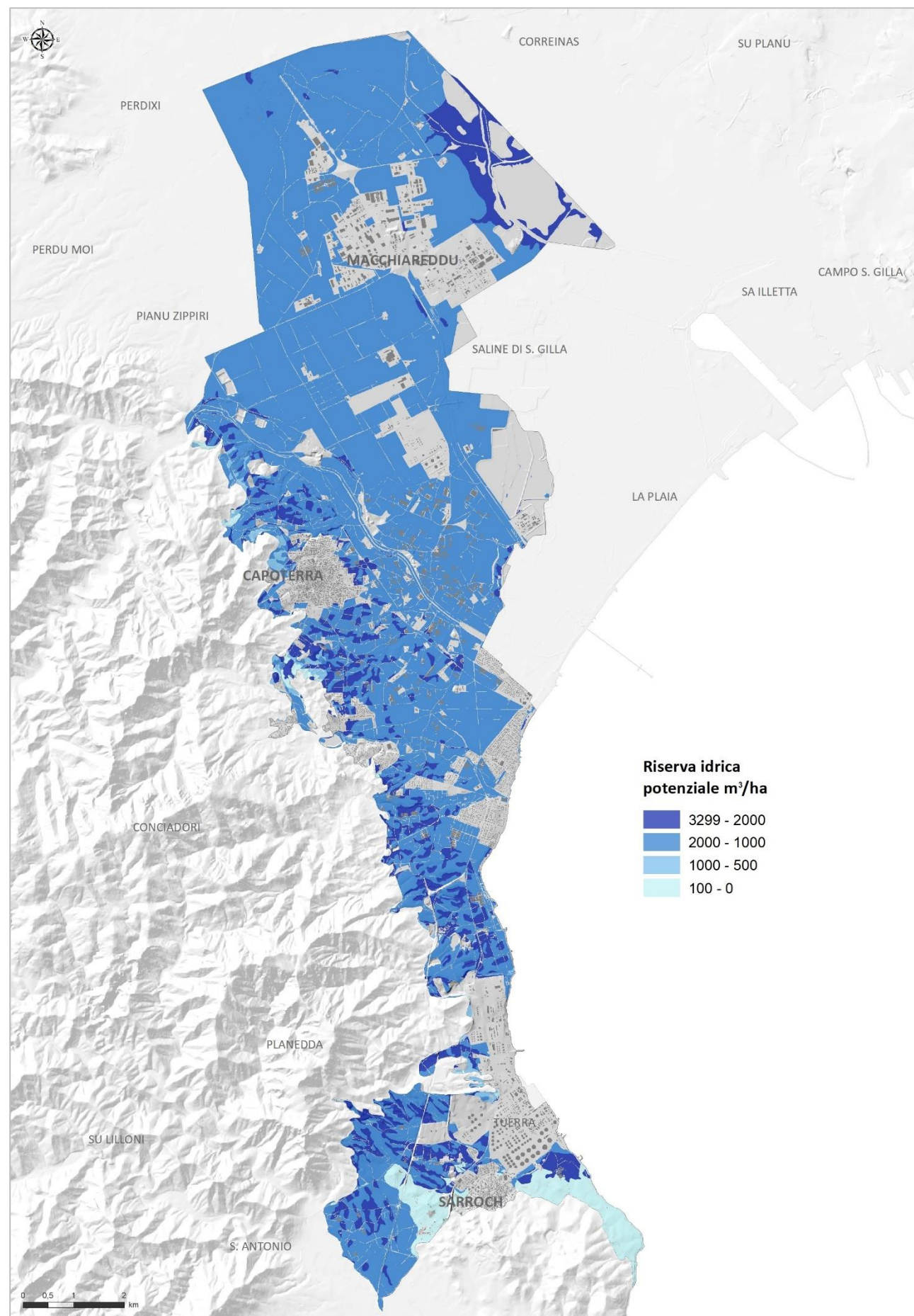


Figura 44: Carta della riserva idrica potenziale

La quantificazione di entrambi i servizi in rapporto alle Unità di Terre rappresenta una fonte informativa aggiuntiva sulle proprietà dei suoli che arricchisce le conoscenze necessarie alla formulazione di indirizzi pianificatori nella logica di sostenibilità ambientale e di salvaguardia della risorsa suolo dal consumo e dalla sua degradazione.

Grazie a queste valutazioni quantitative è possibile, infatti, eseguire stime biofisiche ed economiche sugli impatti che i processi di degrado, quali il consumo, producono sul territorio in termini di perdita delle funzioni e dei Servizi Ecosistemici offerti dal suolo.

7 WORK PACKAGE WP3

7.1 Obiettivi e risultati attesi

Gli obiettivi del **WP3, Valutazione dei Servizi Ecosistemici forniti dal suolo per la pianificazione delle aree rurali alla scala di dettaglio**, sono stati riassunti nel progetto in tre fasi operative o Task, e precisamente:

87

- **Task 3a:** verifica della qualità dei suoli agrari in base alle caratteristiche chimico-fisiche (dati disponibili e/o derivati da nuove acquisizioni);
- **Task 3b:** analisi delle funzioni ecosistemiche dei suoli e attribuzione del valore ai terreni agricoli;
- **Task 3c:** formulazione di indirizzi di pianificazione finalizzati al recupero delle attitudini agricole pre-industriali.

Il risultato finale del WP3 è stato la realizzazione di un livello informativo con la mappatura dei Servizi Ecosistemici forniti dai suoli delle aree agricole alla scala di dettaglio e l'indicazione di proposte di riqualificazione.

DELIMITAZIONE DELL'AREA DI DETTAGLIO

STUDIO DELLA QUALITA' DEI SUOLI

PROPOSTE DI RIQUALIFICAZIONE DELLE ANTICHE VOCAZIONI AGRICOLE

7.2 Materiali e metodi

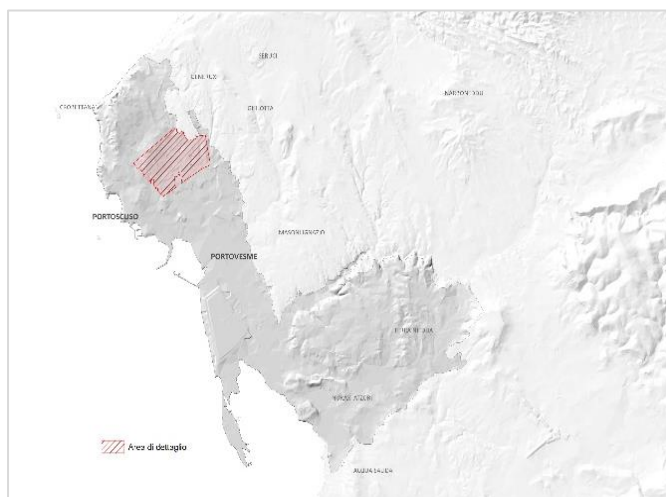


Figura 45: Area di dettaglio

L'ultima fase del progetto è stata finalizzata ad individuare un'area limitrofa agli impianti industriali, un tempo a prevalente utilizzazione agricola e attualmente in parte dismessa, su cui effettuare un'indagine di maggior dettaglio per verificare la possibilità di un recupero dell'antica vocazione agricola. La scelta è ricaduta all'interno del comune di Portoscuolo, in una porzione di territorio di circa 180 ettari ad est del centro abitato e a nord dell'area industriale (Figura 45).



Panorama dell'area di Portovesme

Nell'epoca pre-industriale quest'area risultava prevalentemente interessata da un uso agricolo specializzato (vigneti), trasformatasi oggi in un'area caratterizzata da un tessuto rurale fortemente frammentato e costituito da campi dismessi con ridotte superfici ad uso agricolo (particellari complessi) o agro-residenziale (Figura 46). A conferma di queste valutazioni vi è anche il vigente Piano Urbanistico Comunale di Portoscuolo che classifica l'area come sottozona E3/2c, ovvero un'area "caratterizzata da un elevato frazionamento fondiario che è contemporaneamente utilizzabile per scopi agricolo-produttivi e per scopi residenziali connessi all'attività agricola". Il riconoscimento delle potenzialità produttive dell'area da parte del Comune ha contribuito a

rafforzare il nostro proposito di arricchire il patrimonio informativo sui suoli ai fini di una più puntuale formulazione di indirizzi pianificatori. I criteri con cui si è proceduto all'indagine di dettaglio hanno ricalcato le attività svolte nel WP2 contemplando, per lo studio dei suoli, sia una fase di campo che una di laboratorio. Analogamente, lo schema di valutazione dei Servizi Ecosistemici forniti, messo a punto nel WP2 alla scala territoriale, è stato qui applicato a livello di dettaglio 1:10.000.

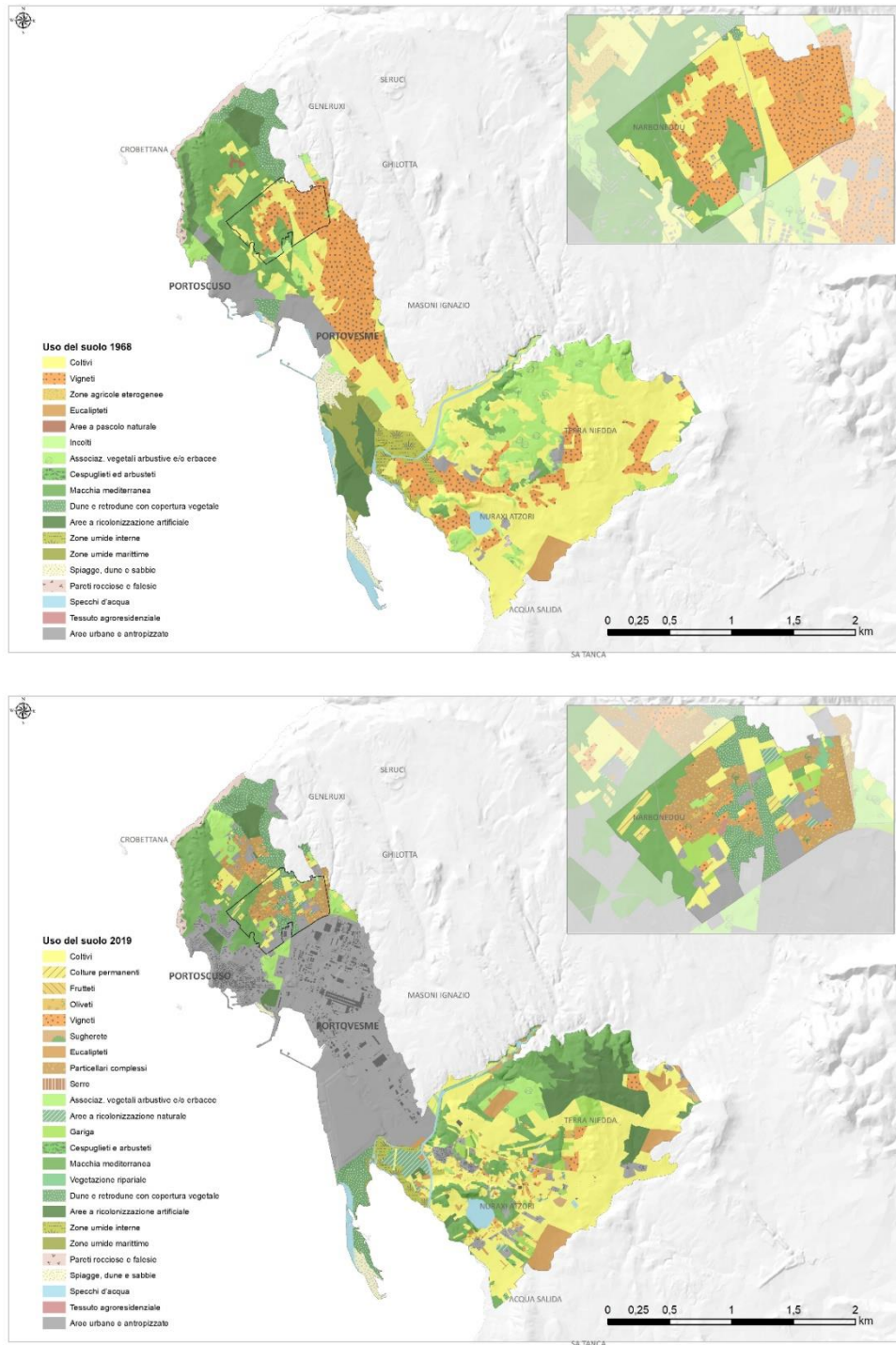


Figura 46: Nel riquadro l'area di dettaglio indagata e le relative Carte di uso del suolo del 1968 e 2019.

7.3 Task 3a - Verifica della qualità dei suoli agrari in base alle caratteristiche chimico-fisiche

La contaminazione del suolo da metalli pesanti è un problema mondiale dovuto all'accumulo di tali composti nell'ambiente che mettono in pericolo la salute umana, le piante e gli animali. I metalli pesanti sono normalmente presenti in natura, ma l'espansione dell'industria ha portato a concentrazioni superiori a quelle ammissibili. Essi sono non biodegradabili e tossici, anche a concentrazioni molto basse e i loro effetti potenzialmente nocivi sono dovuti alla persistenza nell'ambiente e al bioaccumulo negli organismi. La gravità dell'effetto dipende dal tipo di metallo pesante. Così, mentre alcuni di essi (ad esempio Mn, Fe, Co, Ni e Zn) a concentrazioni molto basse sono essenziali per gli organismi viventi, altri (Cd, Pb e Hg) sono tossici anche in quantità in tracce (Raffa et al., 2021). I suddetti metalli pesanti rappresentano una categoria di inquinanti che possiede proprietà chimico-fisiche tali da essere in grado di fissarsi alla matrice suolo. La condizione di vulnerabilità dei suoli delle aree situate in prossimità di insediamenti industriali ancora attivi rende problematico il mantenimento del loro valore agricolo in quanto continuamente esposti al rischio di inquinamento ambientale.

Con questo studio ci si è proposti di analizzare e comparare, in particolare, la concentrazione dei metalli pesanti in aree a differente uso del suolo, prendendo come riferimento le due principali categorie di uso indagate con il WP1: aree dismesse e aree tradizionali.

Tra tutti i metalli analizzati è stata rivolta una specifica attenzione al Cd, Pb e Zn poiché costituiscono i principali prodotti di emissione della vicina Portovesme S.r.l., unica industria nell'area ancora in attività.

La legislazione italiana (D. Lgs. 152/2006) definisce per il suolo le concentrazioni soglia di contaminazione pari a 2 mg/kg, 100 mg/kg e 150 mg/kg rispettivamente per Cd, Pb e Zn. Le massime concentrazioni ammissibili dettate dalla norma si riferiscono ai contenuti totali, ma in studi di questo tipo è importante analizzare anche le concentrazioni delle forme assimilabili, ovvero delle quote biodisponibili che mettono a maggior rischio la salute umana.

A tale scopo nell'area di dettaglio si è proceduto ad intensificare i campionamenti realizzando ulteriori 8 profili e 17 trivellate (rispettivamente in rosso ed in blu in Figura 47) che hanno anche consentito di confermare la distribuzione dei suoli secondo le Unità di Terre già identificate durante i rilievi del WP2 (Figura 23). Oltre alle consuete analisi fisico-chimiche, il contenuto di metalli pesanti nei nuovi campioni è stato determinato sia nella forma totale (o pseudototale - estrazione in acqua regia) sia in quella assimilabile (estrazione in DTPA).

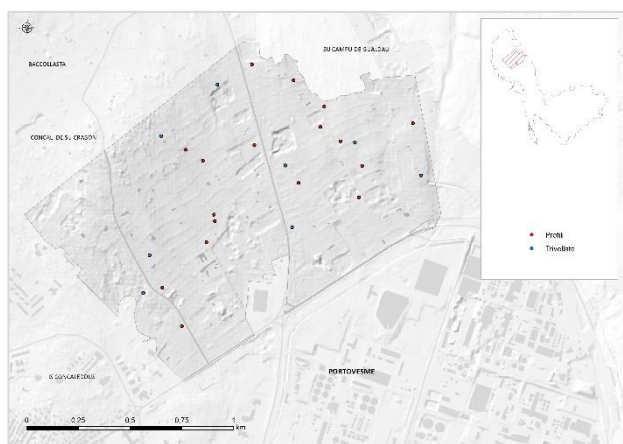


Figura 47: Ubicazione dei punti di campionamento

Nella gran parte dei campioni analizzati, la concentrazione dei metalli pesanti Cd, Pb e Zn, valutata sull'intero profilo (0-100 cm), presenta livelli sotto i limiti di legge. Tuttavia, se si considera il topsoil, ovvero lo spessore del suolo fino a 30 cm (profondità media utile alle radici), la maggior parte dei punti rivela concentrazioni maggiori della soglia prevista dal D.Lgs. 152/2006 (in rosso nella Tabella 22).

Tabella 22: Media delle concentrazioni di Cd, Pb e Zn nella forma pseudo-totale (estrazione in acqua regia) nei suoli per i punti di campionamento a diverse profondità (a 100 cm e 30 cm)

Profili	Cd (mg/kg)		Pb (mg/kg)		Zn (mg/kg)	
	da 0 a 100 cm	da 0 a 30 cm	da 0 a 100 cm	da 0 a 30 cm	da 0 a 100 cm	da 0 a 30 cm
P-1	1,2	2,4	32,9	61,5	66,9	121,5
P-19	1,9	6,1	75,5	243,9	140,2	445,7
P-20	1,2	3,1	41,2	102,0	74,9	171,9
P-21	2,4	3,4	90,8	91,1	185,4	217,3
P-22	1,8	5,2	52,0	133,6	154,3	388,3
P-23	0,5	1,3	18,0	37,2	48,4	113,0
P-24	1,3	2,3	38,0	64,3	73,6	117,3
P-25	0,7	1,5	18,1	43,7	43,1	95,8
T-08	1,1	2,0	27,2	45,8	62,9	103,0
T-09	1,8	3,8	54,8	130,6	96,8	184,5
T-10	0,7	1,9	28,3	72,2	63,9	125,8
T-11	2,2	4,7	62,9	136,0	116,0	240,0
T-12	0,8	1,2	27,4	40,7	64,1	91,8
T-13	1,0	1,9	38,6	69,0	65,0	109,0
T-14	1,1	1,1	46,1	46,1	108,0	108,0
T-15	1,0	2,9	32,7	78,6	78,2	176,6
T-16	1,9	4,8	53,1	124,8	119,6	270,9
T-17	0,6	0,4	22,6	17,3	72,9	54,1
T-18	1,7	2,7	57,9	87,7	104,1	157,2
T-19	0,8	1,6	25,3	45,6	61,6	105,3
T-20	0,8	2,5	29,1	76,9	68,7	171,1
T-21	1,9	4,0	45,4	104,0	114,4	275,6
T-22	1,7	5,2	49,5	141,1	108,5	295,6
T-23	2,3	6,1	55,3	155,7	96,3	264,0
T-24	1,7	3,0	36,2	74,6	93,9	171,7

Le figure successive (Figura 48, Figura 49 e Figura 50) mostrano i valori delle concentrazioni dei metalli pesanti considerati (media $\pm$ err.st), mediati ogni 10 cm nelle due aree di riferimento (dismesse e tradizionali).

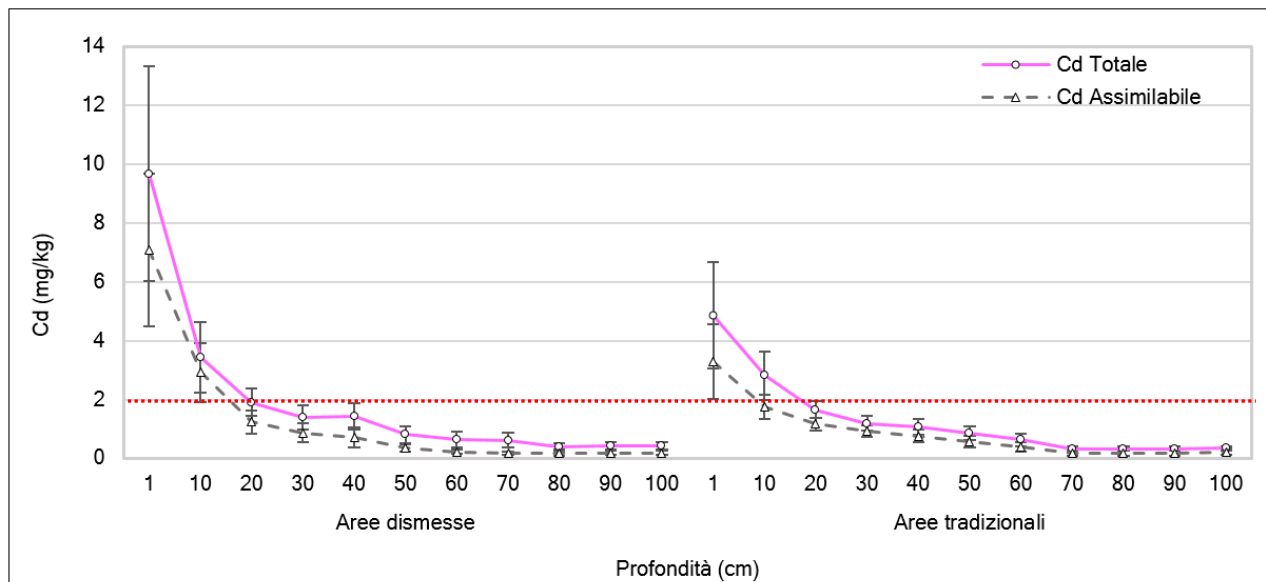


Figura 48: Andamento delle concentrazioni di Cd (media $\pm$ err.st) vs profondità (cm); in rosso il limite delle concentrazioni soglia previste dal D.Lgs.

152/2006

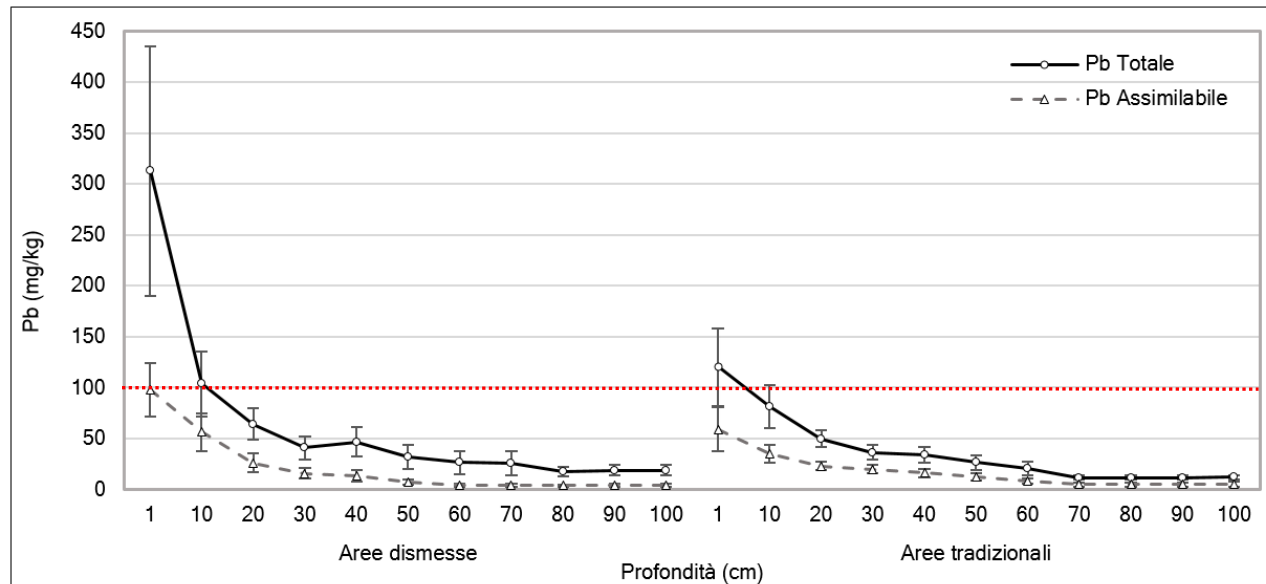


Figura 49: Andamento delle concentrazioni di Pb (media $\pm$ err.st) vs profondità (cm); in rosso il limite delle concentrazioni soglia previste dal D.Lgs.

152/2006

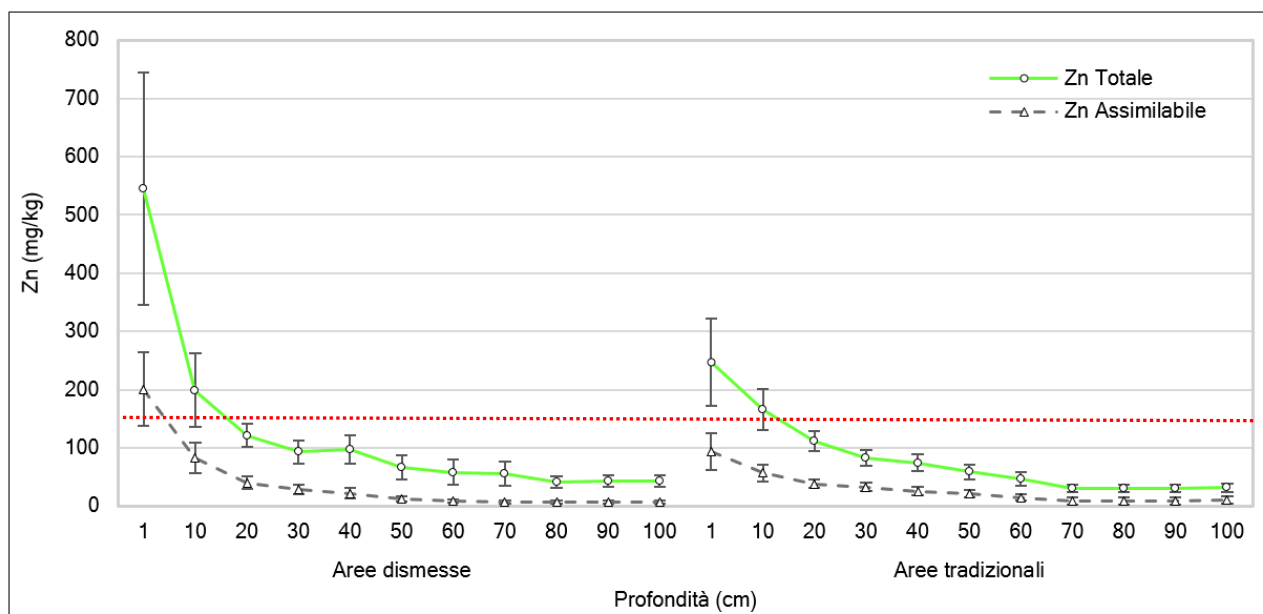


Figura 50: Andamento delle concentrazioni di Zn (media $\pm$ err.st) vs profondità (cm); in rosso il limite delle concentrazioni soglia previste dal D.Lgs. 152/2006

Come evidente, solo il Cd supera la concentrazione soglia sia nella forma totale che in quella assimilabile nei primi 10-20 cm di suolo, il Pb supera di poco la soglia solo nella forma totale mentre lo Zn supera di poco entrambe solamente nelle aree dismesse.



Aree dismesse in agro di Portoscuso



Per tutti i metalli, inoltre, si osserva che i valori medi (media $\pm$ err.st) sono più alti nelle aree dismesse rispetto alle tradizionali (Figura 51), e che la concentrazione degli inquinanti in queste ultime è ripartita più omogeneamente. Il diverso comportamento è dovuto verosimilmente alle normali pratiche agronomiche di coltivazione che tendono a ridurre le differenze all'interno degli orizzonti interessati.

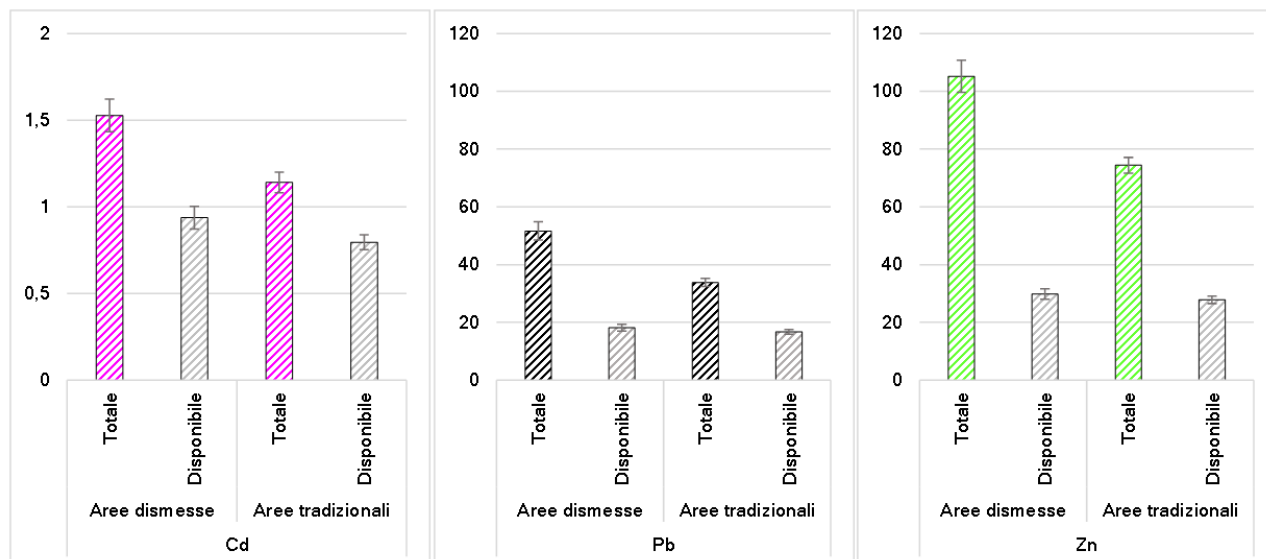


Figura 51: Concentrazione media di Cd, Pb e Zn (totali e disponibili) (media $\pm$ err.st vs Aree dismesse e tradizionali) nello spessore 0-100 cm

Nella Figura 52 e nella Tabella 23 si mostra l'influenza della distanza dei punti di campionamento da un punto centrale, scelto arbitrariamente all'interno dell'area industriale come ipotetica fonte di emissione di inquinanti, sulle concentrazioni di Cd, Pb e Zn, a conferma dell'ipotesi che all'aumentare della distanza dal polo industriale le concentrazioni di tali metalli pesanti diminuiscono. In particolare, il grafico di Figura 52 mostra, tramite le regressioni lineari, le relazioni tra le concentrazioni (nei primi 30 cm di suolo) di Cd, Pb e Zn nei vari punti di campionamento e la loro distanza rispetto al centroide della zona industriale.

L'analisi sin qui illustrata sembrerebbe confermare i due processi di dinamica degli inquinanti già noti nell'area:

1. le emissioni in atmosfera di elementi gassosi (e.g. biossido di zolfo, ossidi di azoto, piombo, zinco, cadmio e particolato) riconducibili alle attività industriali generano un accumulo superficiale sul suolo per ricaduta degli aerosol (Fadda et al., 2010);
2. all'aumentare della distanza dal polo industriale le concentrazioni dei metalli tendono a diminuire.

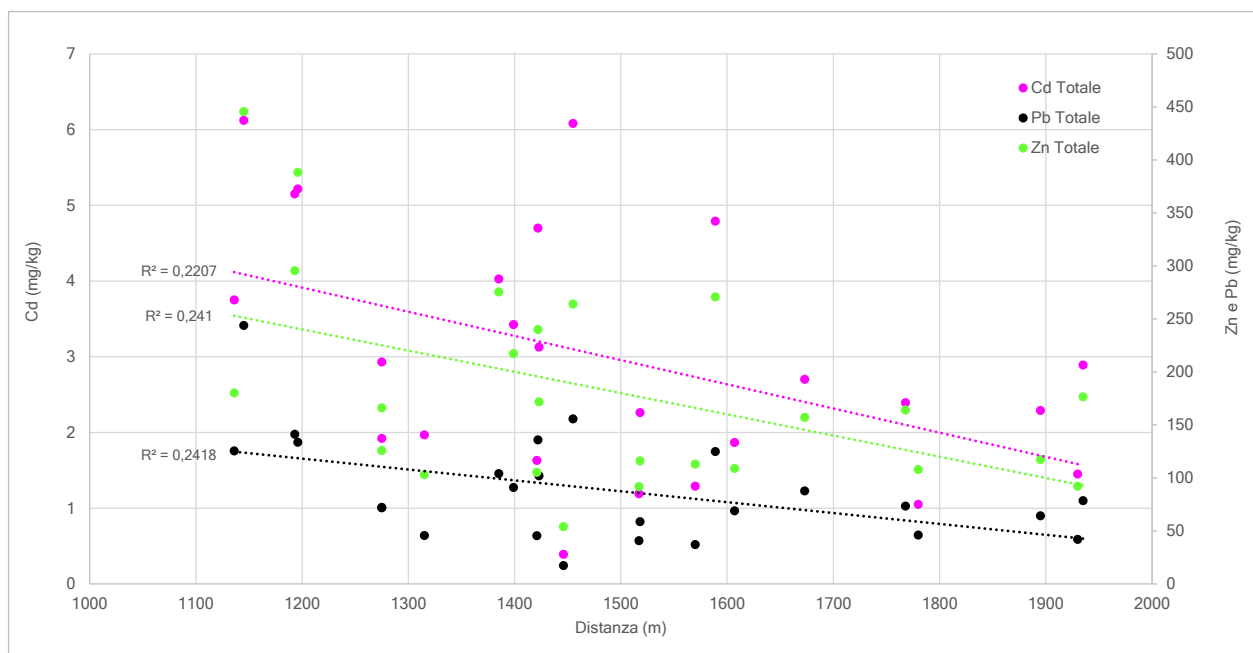


Figura 52: Andamento delle concentrazioni di Cd, Pb e Zn (media in mg/kg) nei primi 30 cm di suolo rispetto alla distanza (m) dal polo industriale di Portovesme

Tabella 23: Riepilogo delle statistiche delle regressioni lineari della Figura 52

Variabile y	Variabile x	R ²	Intercetta	Variabile x 1	g.l.	p-value
Cadmio	Distanza	0,22	7,745661	-0,00319	24	0,017811
Piombo	Distanza	0,24	241,2207	-0,10256	24	0,012546
Zinco	Distanza	0,24	480,481	-0,20024	24	0,012699

Infine, l'elevata correlazione tra gli elementi considerati (Figura 53 e Tabella 24) costituisce un'ulteriore conferma dell'ipotesi che essi derivino da un'unica fonte di emissione.

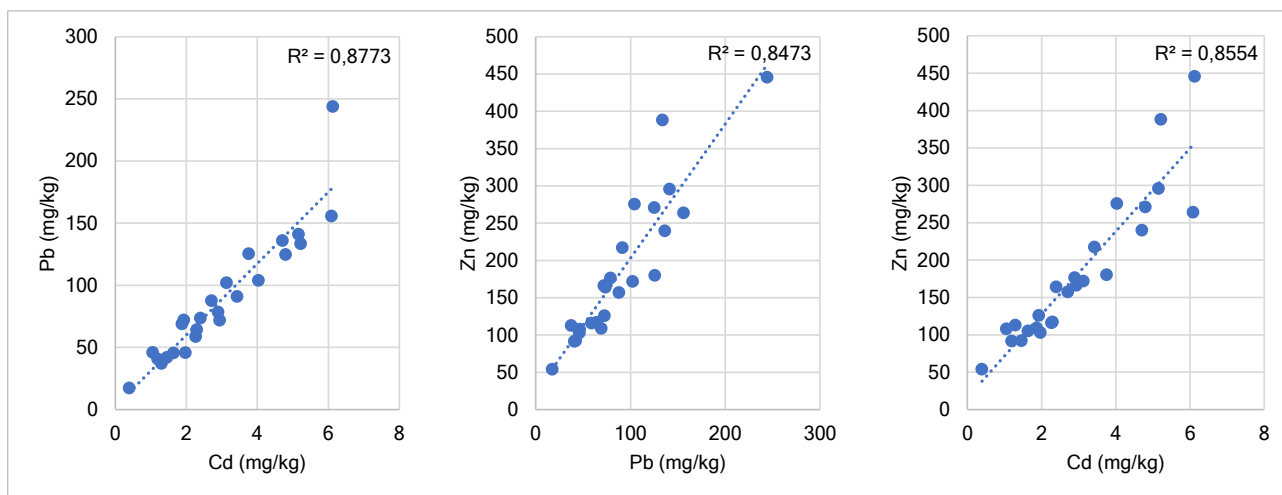


Figura 53: Correlazione delle concentrazioni (mg/kg) degli elementi considerati, da sinistra a destra, rispettivamente Pb vs Cd, Zn vs Pb, Zn vs Cd

Tabella 24: Riepilogo delle statistiche delle regressioni lineari della Figura 53

Variabile y	Variabile x	R ²	Intercetta	Variabile x 1	g.l.	p-value
Piombo	Cadmio	0,88	2,502909	28,7453	24	5,8E-12
Zinco	Piombo	0,85	22,99294	1,799889	24	7,28E-11
Zinco	Cadmio	0,86	16,26603	55,50018	24	3,88E-11

7.4 Task 3b - Analisi dei Servizi Ecosistemici dei suoli

L'area dal punto di vista pedologico si presenta piuttosto uniforme. In essa infatti si estendono i depositi eolici olocenici, campi dunali e sabbie litorali (Unità di Terre SPI_1) e i depositi eolici olocenici e subordinatamente pleistocenici (Unità di Terre SPI_2). I suoli sono caratterizzati da profondità elevata, tessitura da sabbiosa a sabbioso-franca, da ben drenati a eccessivamente drenati. Nell'area è anche marginalmente presente l'Unità delle vulcaniti ignimbriche (Unità di Terre IGN) caratterizzata da suoli poco evoluti, profondità scarsa, tessitura franco-sabbiosa e ben drenati.

L'estensione areale delle prime due Unità di Terre e l'omogeneità dei caratteri pedologici si riflette in larga misura anche sui valori altrettanto simili dei SEs; solo per il servizio CST è stata riscontrata una certa variabilità imputabile ai differenti caratteri pedologici osservati nelle diverse classi di fisiometria (+1, 0, -1).

Nel Servizio Ecosistemico **BIO** (Figura 54), la maggior parte dei suoli (55,17%) ricadono nella classe più bassa (0,2-0,4 Unità di Terre SPI_2 -1 e SPI_2 0), mentre i suoli della classe più alta (0,8-1, Unità di Terre IGN -1 e IGN +1) occupano il 6,49% dell'area.

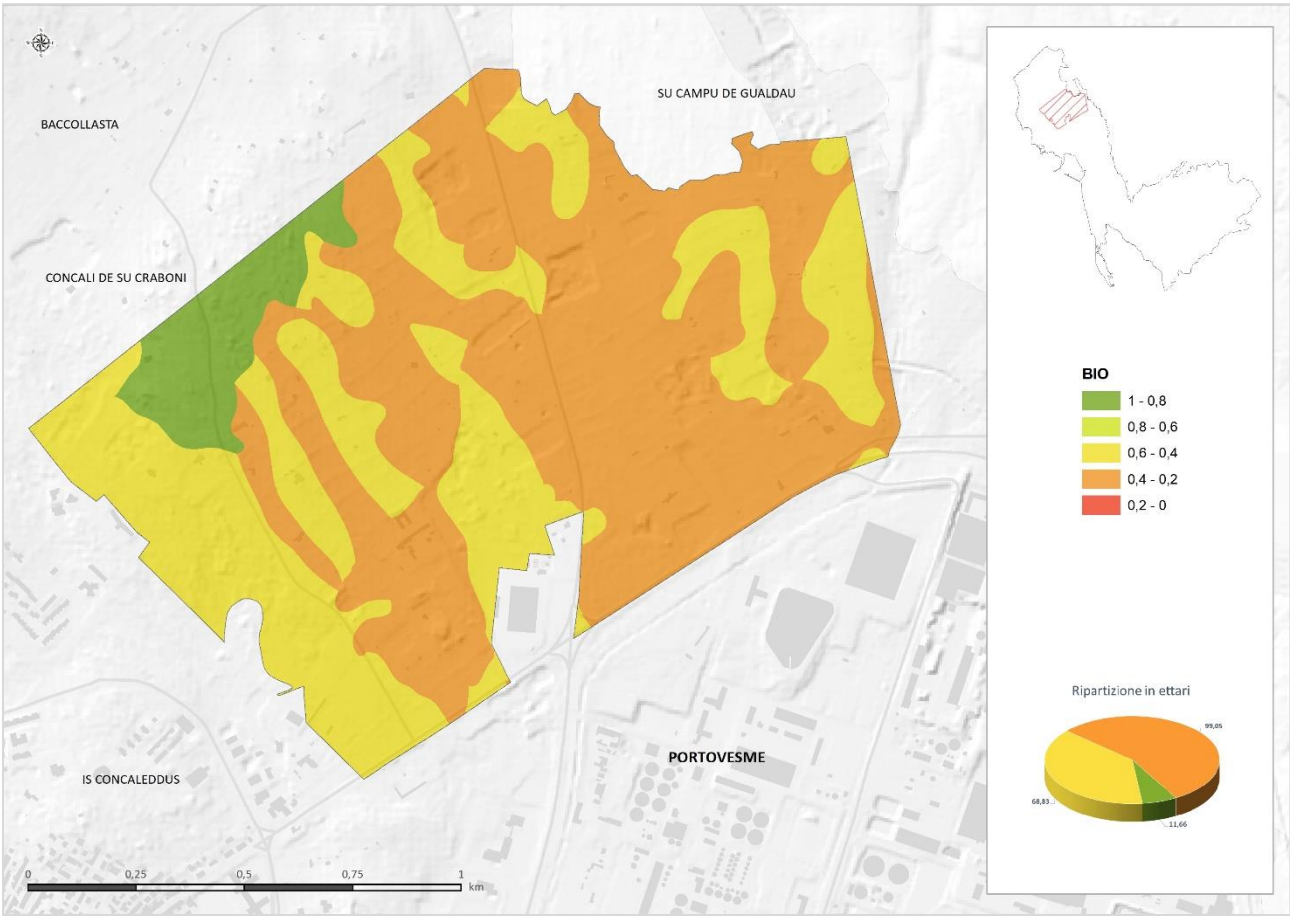


Figura 54: Distribuzione del Servizio Ecosistemico BIO

Il Servizio Ecosistemico **BUF** (Figura 55) è fornito quasi esclusivamente dai suoli che ricadono nella classe più alta (0,6-0,8 Unità di Terre IGN-1, SPI_1, SPI_2 -1, SPI_2 0 e SPI_2 +1) che occupano il 94,51% dell'area. I suoli della classe più bassa (0-0,2, Unità di Terre IGN +1) si estendono su una superficie pari al 5,49% dell'area.

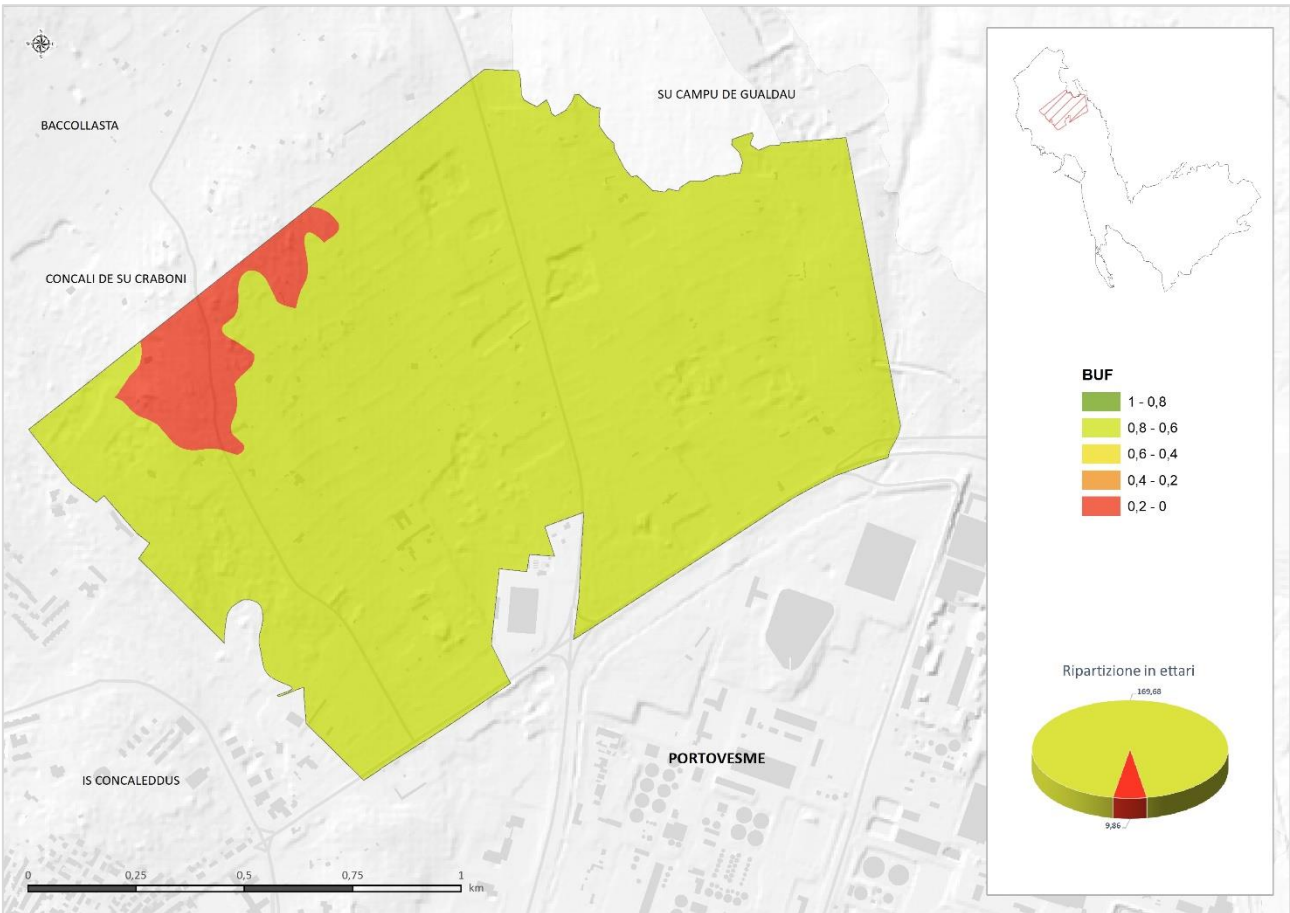


Figura 55: Distribuzione del Servizio Ecosistemico BUF

Inerentemente al Servizio Ecosistemico **CST** (Figura 56), la classe più bassa 0,2-0,4 (Unità di Terre IGN +1, SPI_2 0, SPI_2 -1 e SPI_1) comprende la maggior parte dei suoli dell'area (79,13%). I suoli della classe più elevata (0,8-1, Unità di Terre IGN-1) si estendono sull' 1% dell'area. Anche per l'area di dettaglio la classe più elevata ricade in suoli a copertura naturale, e più precisamente a macchia mediterranea.

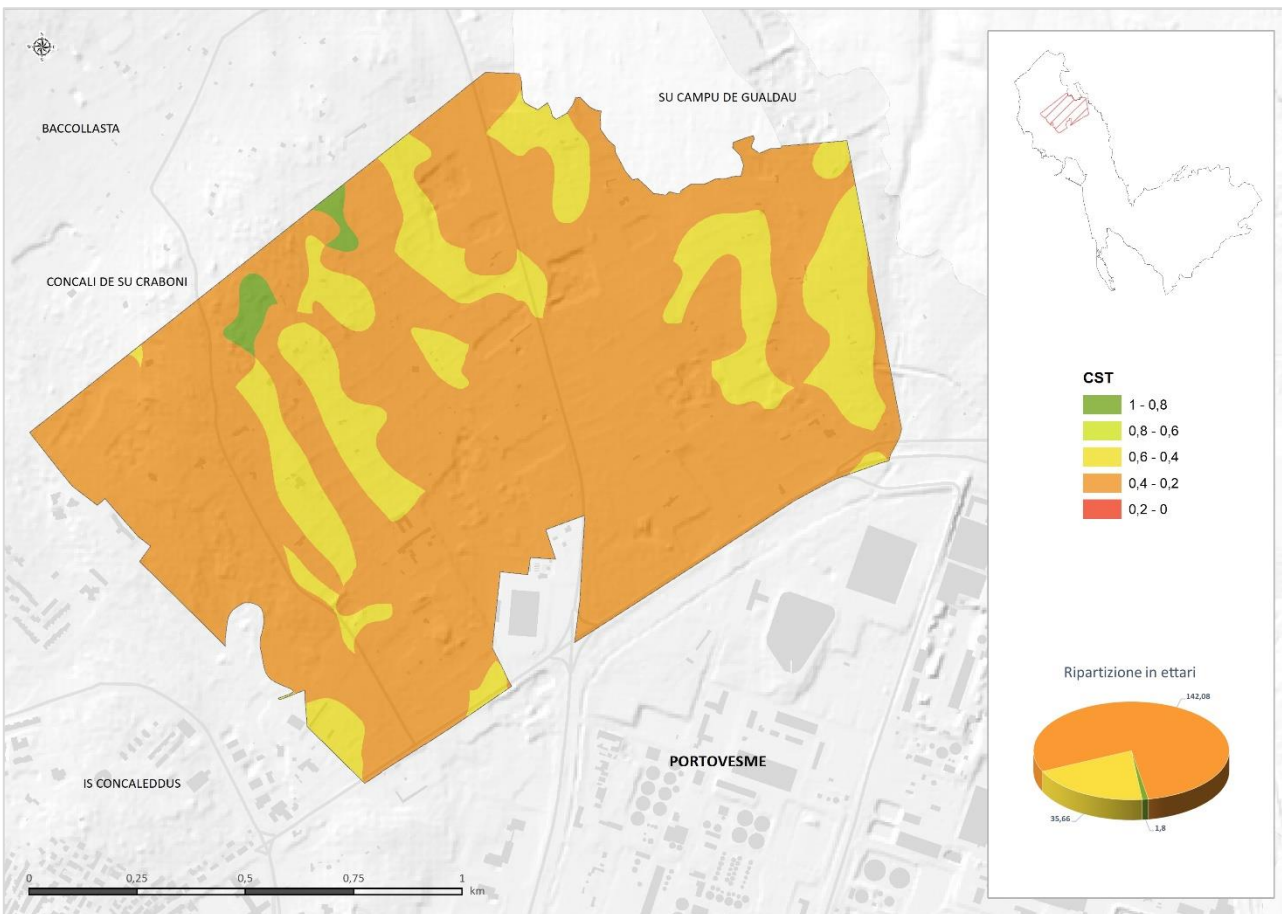


Figura 56: Distribuzione del Servizio Ecosistemico CST

In Tabella 25 viene riportato lo stoccaggio di Carbonio organico espresso in tonnellate per ettaro per i suoli di ciascuna delle Unità di Terra presenti nell'area.

Tabella 25: Stoccaggio potenziale del Carbonio organico per ciascuna Unità di Terra

UNITÀ DI TERRE	FISIOGRAFIA	STOCK POTENZIALE C.O. t/ha
IGN -1	-1	364,78
SPI_2	1	108,46
SPI_2	-1	63,83
SPI_2	0	57,20
SPI_1	1, 0 e -1	49,39
IGN 1	0	39,95

In Figura 57 viene riportata la distribuzione geografica dello stoccaggio potenziale di Carbonio organico nell'area di dettaglio

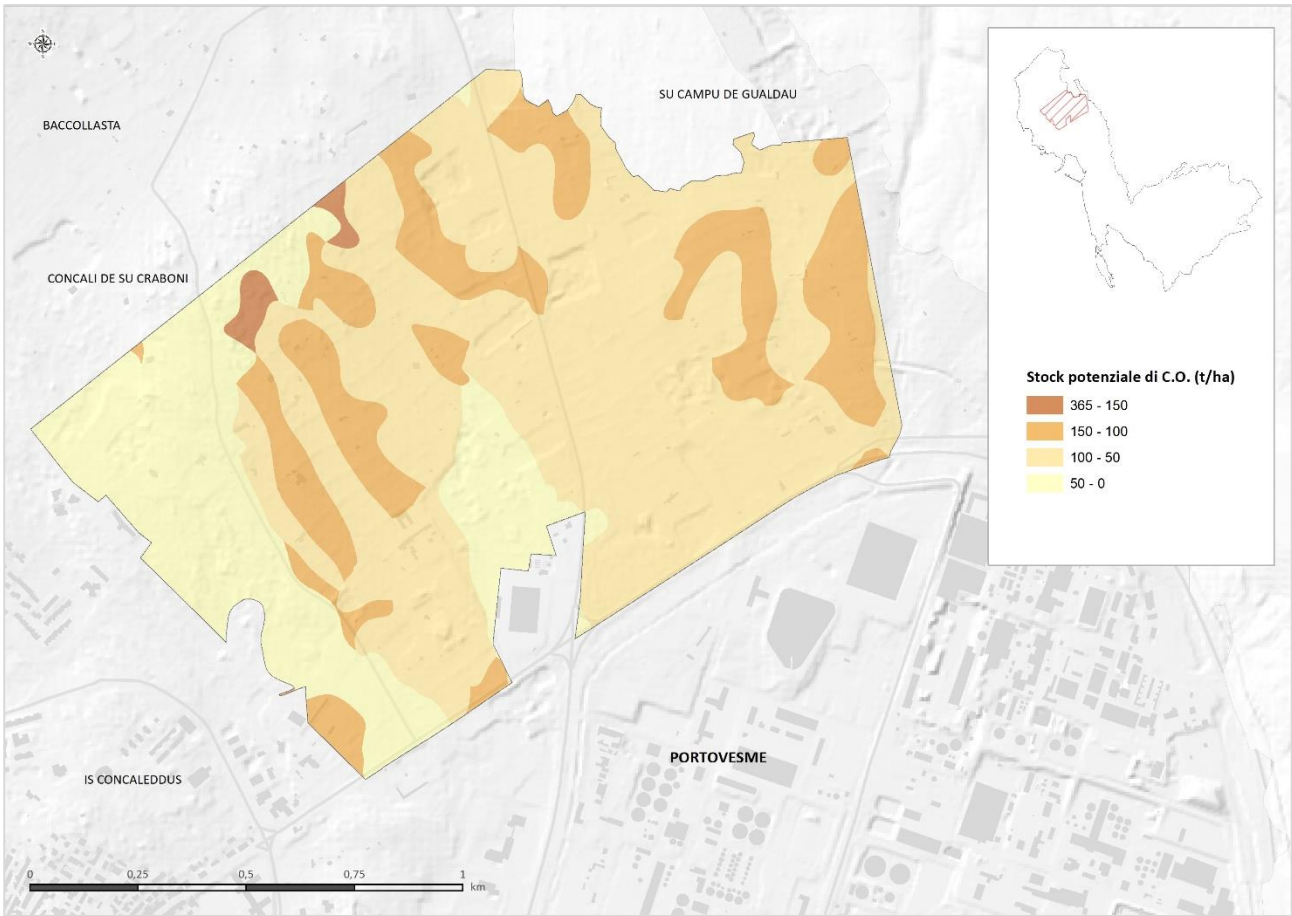


Figura 57: Distribuzione dello Stoccaggio potenziale del Carbonio organico

Per il Servizio Ecosistemico di approvvigionamento alimentare (**PRO**) (Figura 58) l'area si presenta omogenea su tutta la superficie e le Unità di Terre presentano tutti valori simili e compresi tra 0,4-0,6.

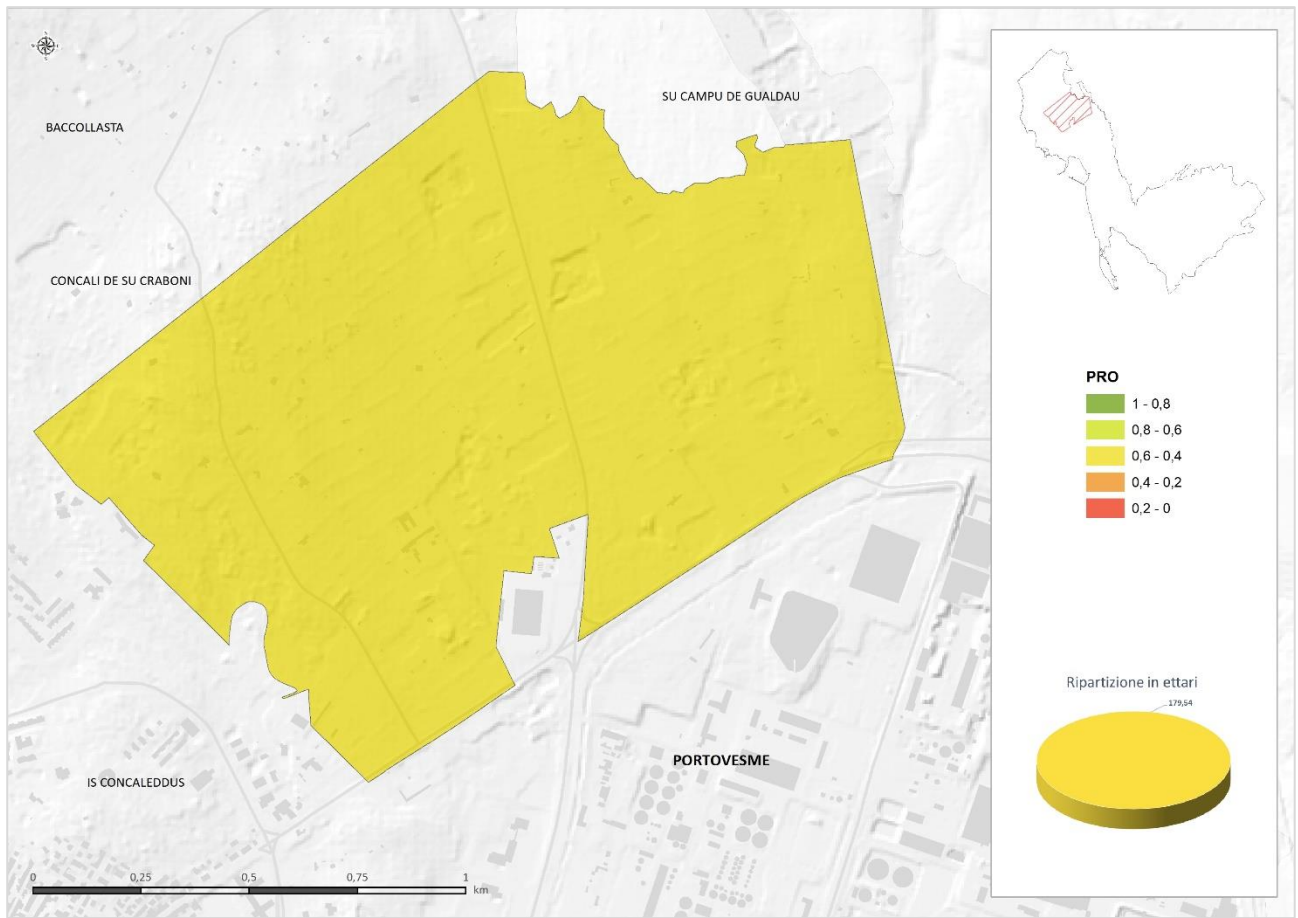


Figura 58: Distribuzione del Servizio Ecosistemico PRO

Il Servizio Ecosistemico **WAS** (Figura 59) è fornito principalmente dai suoli che ricadono nella classe 0,4-0,6 (55,17% dell'area). I suoli della classe più bassa (0-0,2, Unità di Terre IGN +1) e quelli della classe più alta (0,6-0,8, Unità di Terre SPI_2 +1) occupano rispettivamente il 5,49% e il 19,86% dell'area.

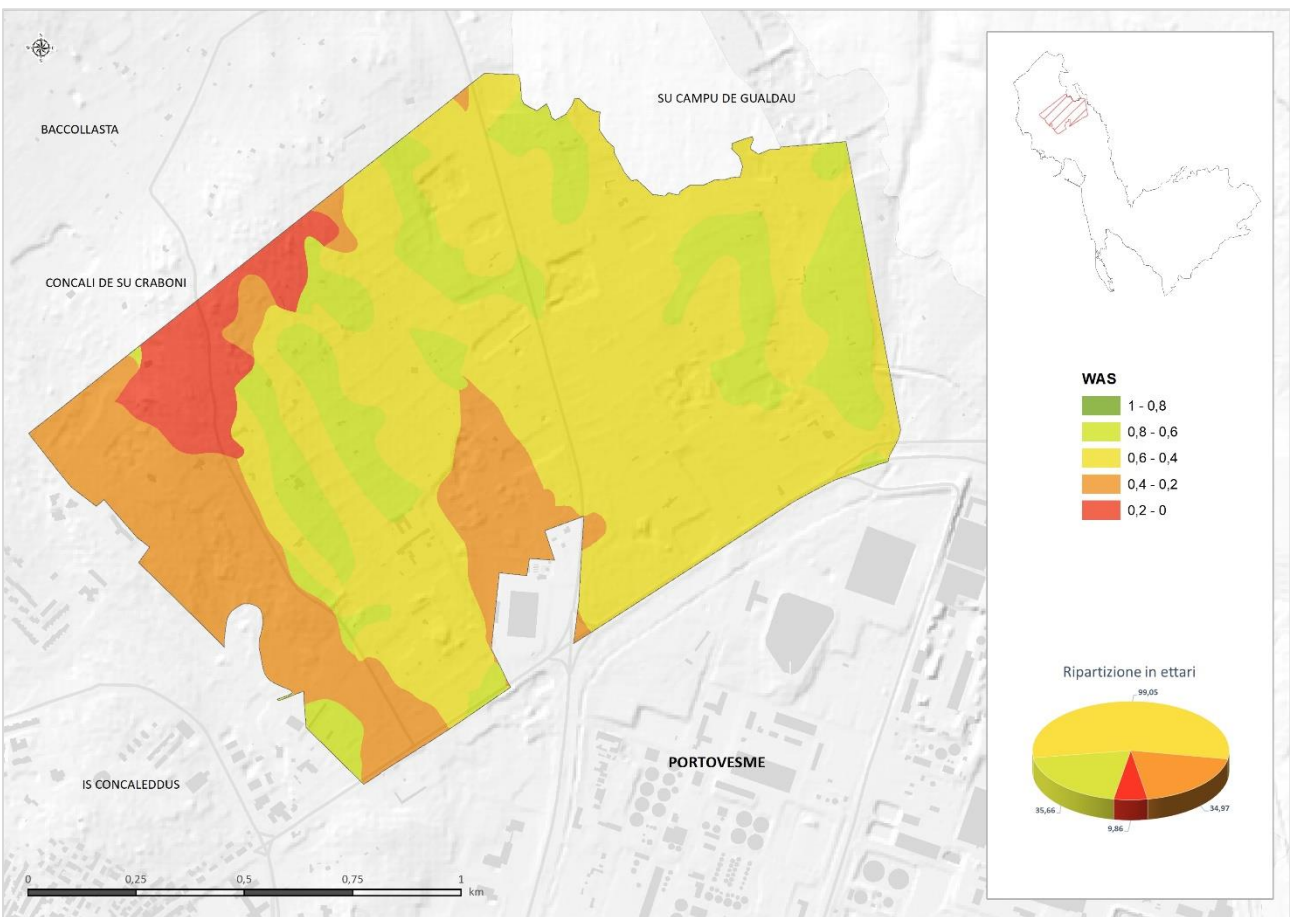


Figura 59: Distribuzione del Servizio Ecosistemico WAS

In Tabella 26 viene riportato l'approvvigionamento idrico espresso in metri cubi per ettaro per i suoli di ciascuna delle Unità di Terre presenti nell'area.

Tabella 26: Capacità di ritenzione idrica potenziale espressa in m³/ha per ciascuna Unità di Terra

UNITÀ DI TERRE	FISIOGRAFIA	RITENZIONE IDRICA (m ³ /ha)
SPI_2	1	440
SPI_2	-1	400
SPI_2	0	300
SPI_1	1, 0, -1	260
IGN -1	-1	180
IGN 1	1	20

In Figura 60 viene riportata la distribuzione geografica della capacità di ritenzione idrica potenziale nell'area di dettaglio.

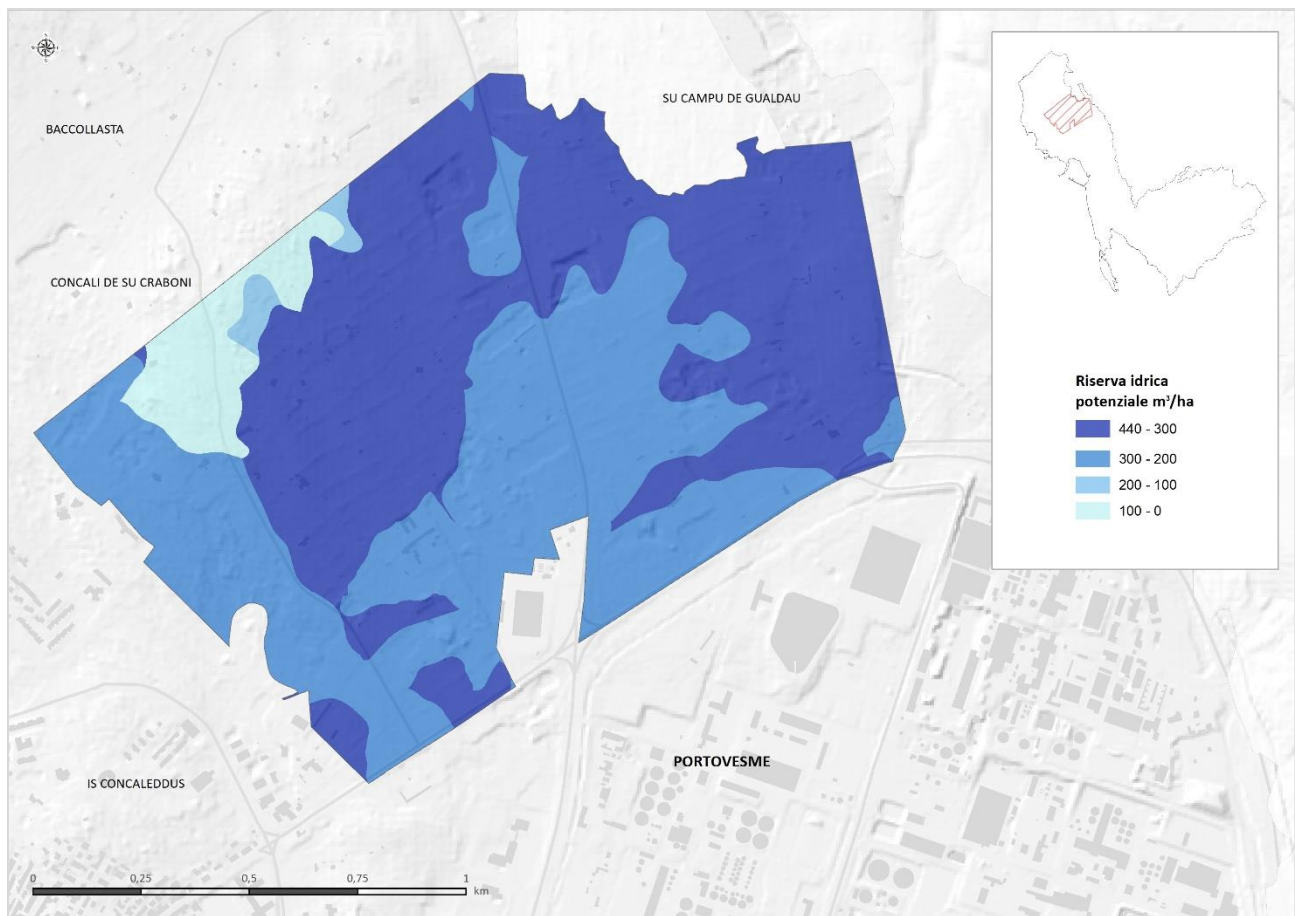


Figura 60: Distribuzione geografica della capacità di ritenzione idrica potenziale

7.5 Task 3c - Indirizzi di pianificazione per il recupero delle attitudini agricole pre-industriali

L'ampia disponibilità di conoscenze sia a scala territoriale che di dettaglio delle trasformazioni dell'uso del suolo e delle caratteristiche dei suoli sin qui acquisite, ha permesso di ipotizzare una riqualificazione del paesaggio rurale attraverso il recupero degli antichi valori agricoli. Condizione necessaria perché questo si realizzi è la graduale riduzione delle emissioni inquinanti che causano la moderata contaminazione riscontrata nello spessore superficiale dei suoli.

L'analisi storica dell'uso del suolo dell'area di dettaglio ha messo in luce che a distanza di cinquant'anni le profonde modifiche indotte dall'espansione urbana e industriale hanno determinato un consumo di circa 24 ettari di suolo ed alla dismissione di oltre 42 ettari di aree agricole. Nel 1968 la principale e più diffusa coltura specializzata risultava essere la vite estesa approssimativamente su 87 ettari (Figura 61) mentre le altre colture occupavano solamente circa 45 ettari. Della superficie viticola iniziale del periodo pre industriale rimangono solo 6 ettari, 48 ettari frazionati in altri usi agricoli (aree tradizionali), circa 19 ettari abbandonati (aree dismesse) mentre 14 ettari sono stati consumati (Figura 62).

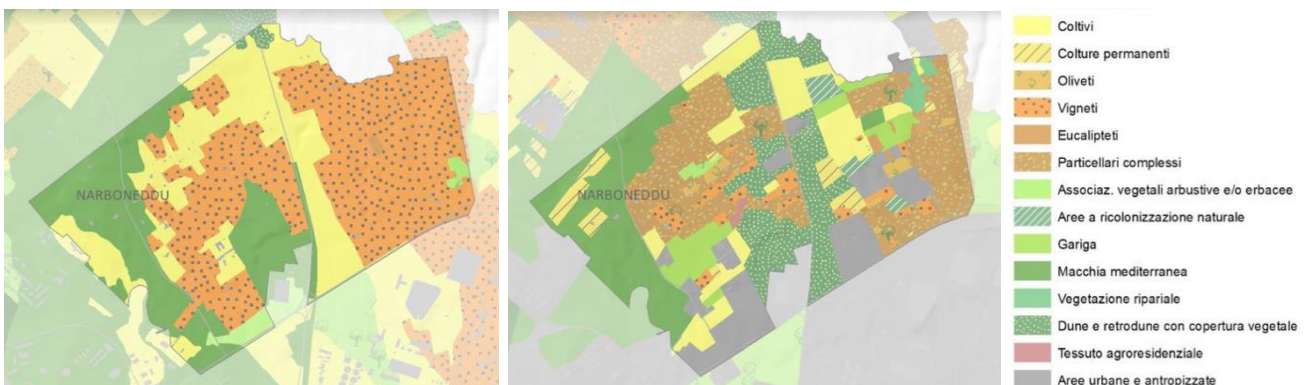


Figura 61: Evoluzione dell'uso del suolo dell'area di dettaglio

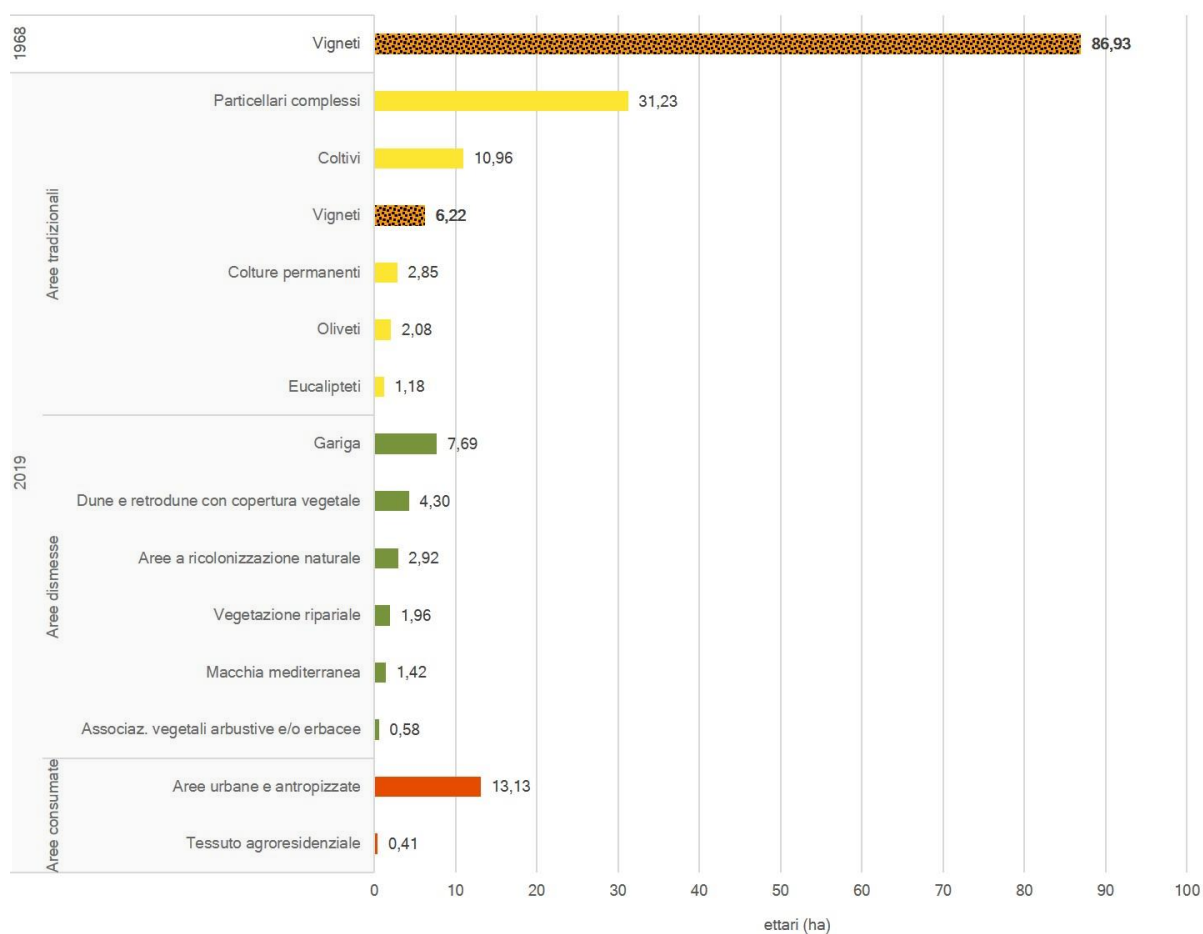


Figura 62: Evoluzione delle aree coltivate a vigneto nel 1968

Dal rilevamento pedologico di dettaglio è risultato che la porzione di territorio limitrofa all'area industriale di Portovesme è quasi interamente interessata da suoli appartenenti all'Unità di Terra SPI_2, ovvero da suoli sviluppatasi su depositi eolici del Quaternario recente (Olocene) in aree pianeggianti e subpianeggianti. Si tratta di suoli che presentano severe limitazioni all'uso agricolo per alcune caratteristiche intrinseche, tra cui le più importanti sono il drenaggio rapido e la bassa ritenzione idrica derivante dalla tessitura sabbiosa.

Pertanto il primo passo per formulare un'ipotesi di destinazione d'uso dell'area perindustriale compatibile con la vocazionalità storica del territorio è stato quello di andare a verificare la suscettività alla vite secondo il metodo di classificazione territoriale della Land Suitability Evaluation (FAO, 1976)¹.

¹ Si ricorda che la classificazione di Land Suitability stabilisce la suscettività di un suolo ad uno specifico uso in base ad una scala di giudizi così definita:

- S1** suoli altamente adatti
- S2** suoli moderatamente adatti
- S3** suoli marginalmente adatti
- N** suoli non adatti

Tutti i profili dei suoli analizzati rientrano nella classe S3 – suoli marginalmente adatti alla vite le cui principali limitazioni, come già detto, sono da ricondurre al drenaggio rapido, alla bassa AWC (Available Water Capacity) ed alla tessitura sabbiosa.

Tale risultato è perfettamente in linea anche con l'indagine effettuata sui SEs da cui si evince che, a causa del basso valore del servizio PRO, la riconversione ad usi agricoli di quest'area vede necessariamente ridotta la scelta delle possibili colture. Pertanto, nell'ambito di quelle in asciutto o con occasionale necessità di un'irrigazione di soccorso, la vite risulta sicuramente la più idonea.

E' evidente che nell'ottica di una riqualificazione agricola di quest'area, seppure caratterizzata da un'elevata frammentazione degli appezzamenti, andrebbe prioritariamente previsto il ripristino della coltivazione della vite su tutti i suoli delle aree attualmente dismesse, possibilmente preceduta da un progetto di ricomposizione fondiaria, laddove esistano le condizioni, per dare una maggiore impronta alla riconversione e indurre quindi un uso agricolo specializzato più duraturo anche nel futuro.

8 CONCLUSIONI

L'obiettivo generale del progetto è stato quello di analizzare le modifiche dell'uso del suolo avvenute con l'avvento dell'industria nelle aree di Portovesme e di Macchiareddu-Sarroch al fine di verificare le potenzialità produttive ancora esistenti nei suoli limitrofi ai poli industriali e formulare ipotesi di riqualificazione delle aree agricole abbandonate.

107

Per ciascuno dei due siti è stata definita un'area rappresentativa entro cui eseguire l'analisi con tecniche GIS delle trasformazioni d'uso e l'indagine pedologica alla scala territoriale 1:50.000.

Da un punto di vista metodologico lo studio è stato articolato in tre fasi di lavoro o Working Packages, di cui i primi due comuni a entrambe le aree:

- WP1 analisi e mappatura degli usi del suolo in epoca pre-industriale e attuale e loro confronto;
- WP2 caratterizzazione pedologica delle aree rappresentative, comprensiva della classificazione di capacità d'uso dei suoli e del calcolo del valore di cinque Servizi Ecosistemici offerti dai suoli;
- WP3 indagini sui suoli alla scala di dettaglio 1:10.000 in una limitata porzione del territorio agricolo di Portoscuso per valutare la possibilità di recupero delle aree abbandonate limitrofe agli impianti industriali.

Risultati del WP1. Le indagini eseguite hanno evidenziato come negli ultimi sessant'anni ci sia stata una consistente contrazione degli usi agricoli in entrambe le aree di studio, a cui è corrisposto l'incremento di suoli consumati per industrializzazione e urbanizzazione. In particolare:

- nell'area di PORTOSCUSO tra il 1968 e il 2019 le aree agricole hanno subito un decremento di 788,4 ettari mentre le aree consumate sono aumentate di 796,8 ettari su una superficie complessiva studiata pari a 3.412,5 ettari;
- nell'area di ASSEMINI-SARROCH tra il 1954 e il 2019 le aree agricole hanno subito un decremento di 3.195,4 ettari mentre le aree consumate sono aumentate di 3.283,7 ettari su una superficie complessiva studiata pari a 9.667 ettari.

Per ciascun sito le analisi sulle trasformazioni d'uso sono state inoltre espresse e cartografate secondo tre tipologie d'area (aree tradizionali, dismesse e consumate) i cui risultati sono stati:

- per l'area di PORTOSCUSO
AREE TRADIZIONALI: il 50,3% continua ad avere una valenza agricola

AREE DISMESSE: il 21,9% delle aree agricole sono state abbandonate ma permangono condizioni di seminaturalità

AREE CONSUMATE: il 27,8% risulta attualmente occupato da infrastrutture industriali e urbane residenziali

- per l'area di ASSEMINI-SARROCH

AREE TRADIZIONALI: il 54,8% continua ad avere una valenza agricola

AREE DISMESSE: il 10,7% delle aree agricole sono state abbandonate ma permangono condizioni di seminaturalità

AREE CONSUMATE: il 34,5% risulta attualmente occupato da infrastrutture industriali e urbane residenziali

Risultati del WP2. Sono consistiti nella realizzazione delle Carta delle Unità delle Terre dei due siti, mediante l'utilizzo sia di dati pedologici pregressi sia di dati acquisiti con nuovi rilievi sul campo.

Per ciascuna area di studio è stato prodotto un *layer* in formato *shapefile* con tutte le informazioni raccolte sulla base delle metodologie di rilevamento e di restituzione cartografica predisposte e consolidate in occasione del progetto *Carta delle Unità di Terre e della capacità d'uso dei suoli alla scala 1:50.000 – 1° lotto (AA.VV., 2014)*.

Lo strato informativo prodotto consente di visionare, per ogni Unità di Terra interrogata:

- la descrizione del substrato pedogenetico;
- la descrizione delle morfologie su cui ricadono i suoli;
- la descrizione dell'uso e della copertura del suolo;
- la descrizione delle principali caratteristiche morfologiche e proprietà chimico-fisiche dei suoli;
- la classificazione tassonomica dei suoli a livello di sottogruppo della Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014);
- la classificazione tassonomica dei suoli al secondo livello del World Reference Base for soil resources (IUSS Working Group WRB, 2015);
- la/le sottoclasse/i di capacità d'uso dei suoli;
- le principali limitazioni d'uso dei suoli;
- indicazioni sugli interventi funzionali alla conservazione dei suoli;
- il valore dei cinque Servizi Ecosistemici calcolati per i suoli.

I cinque SEs sono stati sintetizzati in Tabella 27:

Tabella 27: Servizi Ecosistemici e funzioni del suolo

Categoria	Contributo del suolo	Funzioni	Codice
Supporto	Habitat per gli organismi del suolo	Riserva di biodiversità	BIO
Regolazione	Ritenzione e rilascio di nutrienti ed inquinanti; Attenuazione naturale (potenziale)	Accumulo, filtraggio e trasformazione di nutrienti, sostanze ed acqua	BUF
Regolazione	Sequestro del Carbonio (potenziale)	Riserva di Carbonio	CST
Approvvigionamento	Approvvigionamento alimentare (potenziale)	Produzione di biomassa	PRO
Regolazione (supporto)	Regimazione dell'acqua-Conservazione dell'acqua (potenziale)	Accumulo, filtraggio e trasformazione di nutrienti, sostanze ed acqua	WAS

Per rappresentare la distribuzione territoriale dei cinque servizi nelle due aree di studio è stata prodotta una mappatura distinta dalla Carta delle Unità di Terre attraverso l'elaborazione di 10 *layer* in formato *shapefile*, che ha implicato i seguenti passaggi:

- ad ogni profilo pedologico presente all'interno delle Unità di Terre è stato attribuito un valore per ciascun servizio utilizzando le formule di calcolo indicate dalla metodologia di *Calzolari et al. (2016)* a cui si è fatto riferimento;
- i valori ottenuti sono stati successivamente mediati aritmeticamente e normalizzati in modo che al termine del processo di calcolo ogni Unità di Terra risultasse caratterizzata da un valore unico compreso tra 0 e 1, dove 1 indica il valore massimo del servizio e lo 0 il valore minimo e non la sua assenza. I valori ottenuti non vanno intesi come valori assoluti ma riferiti esclusivamente al territorio in esame;
- al fine di facilitare la lettura interpretativa e avere una visione immediata delle variabilità spaziale di ogni Servizio Ecosistemico, le mappe prodotte sono state categorizzate in 5 classi con intervallo di 0,2 punti ciascuna.

Come risultato più significativo si evidenzia che, in entrambe le aree, i valori dei SEs siano risultati tendenzialmente bassi essendo rappresentati soprattutto dalle classi 0,2-0,4 e 0,4-0,6. I valori

rientranti nella classe più alta (intervallo 0,8-1) sono stati registrati solamente per estensioni limitate e più precisamente:

- nell'area di PORTOSCUSO la classe d'intervallo 0,8-1 più estesa è rappresentata dal servizio BIO, che occupa circa il 10% dell'area e interessa suoli derivati da substrati vulcanici la cui copertura predominante è data da vegetazione naturale a macchia più o meno evoluta. I servizi PRO, CST e BUF occupano cumulativamente solo il 4% circa dell'area, interessando suoli sviluppati su differenti substrati e morfologie, mentre il servizio WAS non rientra mai nella classe massima;
- nell'area di ASSEMINI-SARROCH i valori cumulativi di tutti e cinque i servizi relativi alla classe 0,8-1 occupano solamente il 7,04% dell'area con i valori più alti espressi dai servizi BUF (4,5%) e WAS (2,5%) prevalentemente ascrivibili ai suoli dell'unità di terra SLO (suoli sviluppati su sedimenti lacustri olocenici caratterizzati da alti contenuti di argilla).

Risultati del WP3. Dato l'obiettivo del WP, ossia la verifica delle possibilità di recupero dell'antica vocazione agricola di un'area perindustriale, è stata realizzata una caratterizzazione pedologica di dettaglio in una porzione di territorio di circa 180 ettari a nord dell'insediamento di Portovesme. I rilievi eseguiti hanno contemplato un ulteriore calcolo dei SEs già valutati alla scala territoriale e l'esecuzione delle analisi dei metalli pesanti su nuovi campioni di suolo.

In particolare sono state comparate le concentrazioni dei metalli pesanti Cd, Pb e Zn, in quanto principali prodotti di emissione della vicina Portovesme S.r.l., in aree a differente uso del suolo, prendendo come riferimento le due categorie d'uso indagate nel WP1 *aree dismesse e aree tradizionali*.

Per tutti e tre i metalli sono stati rilevati valori di concentrazione superiori alla soglia prevista dal D.Lgs. 152/2006 nello strato più superficiale del suolo (in media i primi 10 cm) che avvalga l'ipotesi di un'origine della contaminazione da *follow up*. I valori medi delle concentrazioni sono risultati più alti nelle aree dismesse rispetto alle tradizionali dove, verosimilmente, le normali pratiche agronomiche di coltivazione hanno omogeneizzato e ridotto le differenze dei contenuti dei metalli all'interno del profilo del suolo. Si è osservato, infine, come all'aumentare della distanza dal polo industriale le concentrazioni di Cd, Pb e Zn diminuiscano, così come esista un'elevata correlazione tra i tre elementi, a conferma dell'ipotesi che attualmente l'inquinamento derivi da un'unica fonte di emissione.

I risultati del calcolo dei SEs hanno grosso modo ricalcato quelli ottenuti dall'indagine territoriale, ovvero mostrato una generale predominanza delle classi di valore basso e medio (0,2-0,4 e 0,4-0,6).

Considerando che l'area di dettaglio è pedologicamente omogenea, con suoli ricompresi quasi totalmente nell'unità di terra SPI (suoli sviluppati su depositi eolici olocenici caratterizzati da un'elevata componente sabbiosa) e in minor misura con suoli sviluppati su substrati vulcanici (unità IGN), i risultati hanno evidenziato come solo due servizi mostrino valori ascrivibili alla classe più alta 0,8-1, ossia il BIO e il CST che occupano rispettivamente il 6,49% e l'1% dell'area indagata.

Il servizio PRO, ritenuto il più interessante ai fini di un recupero della vocazione agricola dell'area in quanto indica il contributo del suolo per un potenziale approvvigionamento alimentare, è rappresentato unicamente dalla classe intermedia 0,4-0,6 corrispondente, in base alla metodologia applicata, alla IV-III classe di Capacità d'uso.

Alla luce dei suddetti risultati, oltre a quelli derivati dall'analisi sulle trasformazioni d'uso effettuate nel WP1, le indicazioni sulla riqualificazione di quest'area agricola sono state così sinteticamente espresse:

- a causa del modesto valore del servizio PRO, la riconversione ad usi agricoli di quest'area vede necessariamente ridotta la scelta delle possibili colture. Pertanto, nell'ambito di quelle in asciutto o con occasionale necessità di un'irrigazione di soccorso, la vite risulta sicuramente la più idonea, a condizione di una graduale riduzione delle fonti inquinanti, causa del moderato grado di contaminazione riscontrato nello spessore superficiale dei suoli;
- la vocazionalità storica alla vite è dimostrata anche dall'analisi degli usi del passato da cui si è ricavato come la vite rappresentasse la coltura più diffusa nel periodo pre-industriale occupando 87 ettari sui 180 complessivi indagati. Di questi 87 ettari attualmente permangono solo 6 ettari di superfici vitate mentre, dei restanti 81 ettari, 14 sono stati consumati, 19 abbandonati e 48 frazionati in altri usi agricoli;
- nell'ottica di una riqualificazione agricola di quest'area, seppure caratterizzata da un'elevata frammentazione degli appezzamenti, andrebbe prioritariamente previsto il ripristino della coltivazione della vite su tutti i suoli attualmente abbandonati, possibilmente preceduta da un progetto di ricomposizione fondiaria, laddove esistano le condizioni, per dare una maggiore impronta alla riconversione e indurre quindi un uso agricolo specializzato più duraturo anche nel futuro.

Come considerazione finale si evidenzia l'importanza dello studio svolto quale metodologia in grado di collegare gli studi pedologici alle politiche di prevenzione e tutela della risorsa suolo da parte delle comunità locali.

Una ricca fonte informativa sui suoli quale quella prodotta, tra cui la valutazione preliminare delle funzioni dei suoli attraverso il calcolo dei SEs, getta le basi per ulteriori studi e approfondimenti delle indagini in virtù degli obiettivi a medio termine che la Commissione Europea raccomanda a tutti gli Stati membri dell'U.E. con la recente comunicazione al Parlamento Europeo COM(2021) 699 del 17 novembre 2021 (*Strategia dell'UE per il suolo per il 2030. Suoli sani a vantaggio delle persone, degli alimenti, della natura e del clima*).

112

Tra le raccomandazioni risalta il ripristino di vaste superfici di ecosistemi degradati per aumentare il livello di Carbonio immagazzinato nei suoli minerali come azione strategica da mettere in campo per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici.

Grazie alle valutazioni effettuate, pertanto, è possibile predisporre e sviluppare successive indagini finalizzate alla quantificazione, in termini biofisici ed economici, della perdita delle funzioni offerte dal suolo (tra cui la capacità di immagazzinare Carbonio) a causa di processi di degrado quali il consumo di suolo per industrializzazione e urbanizzazione.

ATTIVITÀ INTEGRATIVE

(NOTA N° PROT. 12844 DEL 14.09.2022)

9 SERVIZI ECOSISTEMICI SU SCALA REGIONALE

Lo studio dei SE, descritto ampiamente nella prima fase, ha riguardato l'analisi dei Servizi Ecosistemici del suolo (SEs) riferendoli alle aree di Portoscuso e Assemini-Sarroch. Il metodo così strutturato, tuttavia, non ha permesso di confrontare le due aree tra di loro né di rapportarle a potenziali studi successivi in altri contesti territoriali a livello regionale. Pertanto, l'**obiettivo principale** del lavoro è stato quello di normalizzare i diversi valori dei SEs a livello regionale partendo dai dati contenuti nel Database dei Suoli della Sardegna (DBSS). In aggiunta, sono stati calcolati nuovi servizi e sviluppati nuovi indicatori nelle pedo-funzioni, ossia, oltre ai servizi BIO, PRO, WAS, BUF e CSP (di cui si richiama per esteso la descrizione dell'acronimo in Tabella 28), sono stati calcolati i seguenti servizi:

- SUPPORTO ALL'INFRASTRUTTURAZIONE (SUP)
- REGOLAZIONE CLIMATICA LOCALE (CLI)
- INFILTRAZIONE DI ACQUA (WAR)

Il lavoro è stato svolto in diverse fasi descritte di seguito.

9.1 Fase 1.

La valutazione dei SEs a scala regionale ha riguardato l'analisi delle proprietà pedologiche, fisiche e chimiche, rilevate nel corso di diversi lavori di ricerca che si sono susseguiti negli anni e archiviate nel DBSS. Sul dataset utilizzato è stata operata una riorganizzazione ed omologazione dei dati in base alle variabili pedologiche necessarie per il calcolo dei SEs, come riportate in Tabella 28. Le statistiche descrittive dei dati utilizzati sono riportati in Tabella 29, mentre in Figura 63 si mostrano alcuni esempi dei dati pedologici utilizzati per la costruzione del dataset.

Tabella 28. Variabili del suolo utilizzate per il calcolo dei Servizi Ecosistemici.

CATEGORIA DI SEs ^a	SEs	Variabili del Suolo
SUPPORTO	BIO Indicatore per la riserva di biodiversità	
	SUP Indicatore per il supporto all'infrastrutturazione umana	
APPROVVIGIONAMENTO	PRO Indicatore per la produzione di cibo*	
	WAS Indicatore del potenziale del suolo nell'immagazzinamento dell'acqua	
REGOLAZIONE	BUF Indicatore per lo stoccaggio e trasformazione di sostanze nutritive e depurazione dell'acqua da sostanze inquinanti	
	CLI Indicatore della regolazione climatica locale	
	CSP Indicatore del sequestro potenziale del carbonio nel suolo	
	WAR Indicatore della regolazione del deflusso idrico, del trasporto di nutrienti, inquinanti e sedimenti e della ricarica delle acque sotterranee	

^aclassificazione sulla base di MAE, 2005 * la valutazione del PRO si effettua con l'assegnazione della classe della capacità d'uso dei suoli, pertanto nello schema vengono riportati i parametri pedologici legati alla Land Capability

CO: Carbonio Organico, DBD: Densità Apparente, CSC: Capacità di Scambio Cationico, PSI_e: Potenziale di Ingresso dell'Aria; K_{sat}: Conduttività Idraulica Saturata; AWC: capacità d'acqua disponibile ; WT: profondità della falda freatica superficiale; WC33: tenore volumetrico di acqua del suolo a 33 kPa di tensione; WC1500: tenore volumetrico di acqua del suolo a 1500 kPa di tensione.

Tabella 29. Statistiche descrittive dei dati utilizzati per il calcolo dei SEs derivanti dal DBSS.

Variabili	Unità di misura	n° Campioni*	Media	Dev. Std.	Minimo	Mediana	Massimo	Asimetria	Curtosi
Sabbia	%	2170	55,15	18,76	4,80	55,40	97,30	-0,09	-0,48
Limo	%	2170	25,16	12,36	0,43	24,00	76,10	0,67	0,79
Argilla	%	2170	19,69	12,02	0,20	16,70	68,90	1,02	0,82
Scheletro	%	1994	14,33	15,01	0,00	10,00	75,00	1,25	1,16
pH (H ₂ O)	-	2125	6,9	1,07	4,2	6,9	9,4	-0,14	-1,08
CO	%	1894	1,63	1,32	0,01	1,28	22,1	2,46	10,23
DBD	Mg/m	2057	1,38	0,08	1,12	1,39	1,58	-0,18	-0,44
CSC	cmol/kg	2032	20,00	10,29	2,20	18,30	83,53	1,16	2,12
PSI _e	cm	2170	118,09	74,66	2,66	140,19	199,62	-0,32	-1,43
K _{sat}	mm/h	2170	1,97	7,26	0,00	0,13	90,17	6,75	56,01
AWC	mm/m	2057	138,94	39,45	41,76	140,83	233,22	-0,15	-0,51
WT	cm	234	136,58	64,76	10,00	140,00	>250	0,26	-0,66
WC ₃₃	vol/vol	2170	0,19	0,07	0,03	0,19	0,40	0,18	-0,40
WC ₁₅₀₀	vol/vol	2170	0,08	0,03	0,01	0,08	0,19	0,19	-0,41

CO: Carbonio Organico, DBD: Densità Apparente, CSC: Capacità di Scambio Cationico, PSI_e: Potenziale di Ingresso dell'Aria; K_{sat}: Conduttività Idraulica Saturata; AWC: capacità d'acqua disponibile; WT: profondità della falda freatica superficiale; WC33: tenore volumetrico di acqua del suolo a 33 kPa di tensione;

ID: AGRIS019 P5



Comune

Curcuris

Coordinate (WGS84)

X: 485940

Y: 4400024





Variabili	Unità di misura	Valore
Sabbia	%	47,90
Limo	%	28,40
Argilla	%	23,70
Scheletro	%	2,00
pH (H ₂ O)	-	8,2
CO	%	9,07
DBD	Mg/m	1,35
CSC	cmol/kg	26,40
PSI _e	cm	105,37
K _{sat}	mm/h	0,02
AWC	mm/m	157,66
WT	cm	-
WC ₃₃	vol/vol	0,22
WC ₁₅₀₀	vol/vol	0,10

ID: AGRIS001 2ASOb_P11



Comune

Villaputzu

Coordinate (WGS84)

X: 552811

Y: 4364602





Variabili	Unità di misura	Valore
Sabbia	%	36,30
Limo	%	47,50
Argilla	%	16,20
Scheletro	%	<1
pH (H ₂ O)	-	8,7
CO	%	13,40
DBD	Mg/m	1,31
CSC	cmol/kg	17,00
PSI _e	cm	67,01
K _{sat}	mm/h	0,19
AWC	mm/m	171,84
WT	cm	100,00
WC ₃₃	vol/vol	0,24
WC ₁₅₀₀	vol/vol	0,12

Figura 63. Esempi di dati pedologici puntuali utilizzati per la costruzione del dataset per il calcolo dei SEs.

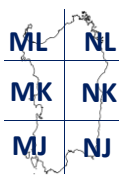
Seconda Fase

9.2 Fase 2.

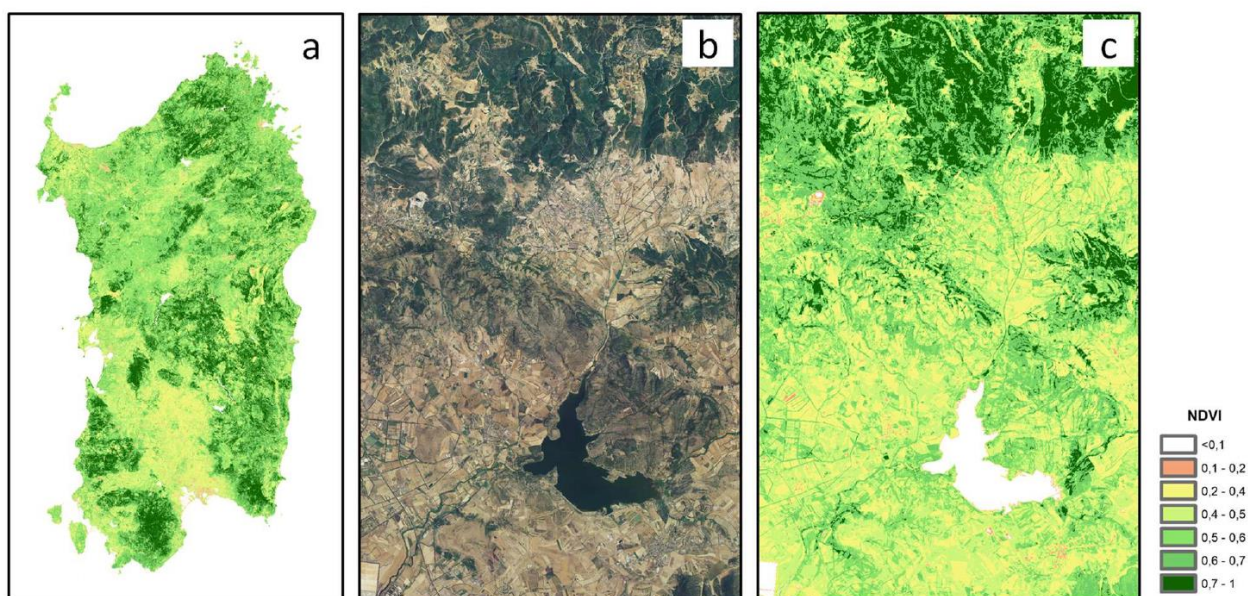
Il passo successivo alla costruzione del dataset è stato quello di integrare le informazioni sulle proprietà dei suoli con quelle sugli aspetti gestionali del territorio. Questi ultimi, pur essendo un elemento chiave della valutazione per alcuni SEs, vengono spesso estrapolati da carte di uso del suolo (come, ad esempio, la Corine Land Cover) con scale non adeguate e attribuendo pesi arbitrari alle diverse classi di copertura. Infatti, all'interno della stessa classe di uso del suolo vi può essere una gestione della biomassa differente che è fortemente legata alla fornitura dei SEs. Pertanto, analogamente ad altri lavori consultati, si è valutato il grado di copertura del suolo attraverso il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Questo è un indice spettrale ampiamente utilizzato nei monitoraggi dell'uso del suolo che, stimando la radiazione fotosinteticamente attiva della vegetazione, permette di discriminare la variabilità gestionale con un'alta risoluzione sia spaziale che temporale. In Tabella 30 viene riportata la suddivisione mensile delle immagini satellitari derivanti da Sentinel-2 (EarthExplorer (usgs.gov) utilizzate per il calcolo del valore dell'NDVI medio annuale (Figura 64) poi impiegato nel calcolo dei SEs.

Tabella 30. Ripartizione mensile delle immagini spettrali utilizzate per lo strato informativo dell'NDVI medio annuale.

SEZIONI	MESI											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
MJ	1	1	1	3	1	5	1	3	1	1	1	1
MK	1	2	1	3	1	4	1	1	1	1	1	1
ML	1	2	1	4	1	2	1	4	1	1	1	1
NJ	1	1	1	3	1	4	1	2	1	1	1	1
NK	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1
NL	1	1	1	2	1	3	1	2	1	1	1	1



Le immagini riportano i valori NDVI mensili (risoluzione 10x10 m) ottenute tramite le bande spettrali delle immagini satellitari di Sentinel-2, previa correzione radiometrica. Le immagini satellitari (n. 108) hanno una copertura di nuvole <2% e ricadono in diversi anni: 2016 (n. 1), 2017 (n. 12), 2018 (n. 6), 2019 (n. 20), 2020 (n. 12), 2021 (n. 24), 2022 (n. 33).



a. Inquadramento dei valori medi annuali di NDVI (risoluzione 10x10 m) ottenuti tramite media dei valori mensili;
b. Ortofoto 2019 di un'area campione; c. Valori NDVI annuali di un'area campione.

Figura 64. NDVI medio regionale (risoluzione 10x10m)

9.3 Fase 3.

Questa Fase ha riguardato la standardizzazione su scala normalizzata (0-1) dei SEs attraverso lo sviluppo delle seguenti pedofunzioni, dove il valore zero risultato dal calcolo non indica l'assenza del servizio considerato ma il suo valore minimo su scala regionale.

○ **RISERVA DI BIODIVERSITÀ (BIO)**

L'indicatore BIO identifica il servizio offerto dai suoli di costituire un habitat per gli organismi e di conservarne la biodiversità. La pedofunzione tiene conto dei parametri Carbonio organico, densità apparente e indice NDVI come segue:

$$BIO_{0-1} = \left\{ \left\{ \frac{[\log(CO)_{0-1} - DBD_{0-1}]/1,89288958077597}{0,583617369307452} \right\} * NDVI \right\}$$

$$\log(CO)_{0-1} = \left\{ \frac{[\log(CO) + 2,33968546298722]}{3,42247083330367} \right\}$$

$$DBD_{0-1} = \left\{ \frac{[DBD - 1,123]}{0,457} \right\}$$

CO= Carbonio Organico (%) riferito a 30 cm

DBD= Densità apparente (Mg/m³) riferito a 100 cm

NDVI= Normalized Difference Vegetation Index, valore annuale - SE (NDVI<0; 0)

Se il contatto litico con il suolo avviene entro i 100 cm, il valore di BIO della formula, andrà mediato ponderalmente in base allo spessore, tenendo come valore 0 lo strato litico.

○ **SUPPORTO ALL'INFRASTRUTTURAZIONE (SUP)**

L'indicatore SUP identifica il servizio offerto dai suoli di supportare le attività umane e le infrastrutture. La pedofunzione tiene conto dei parametri del suolo: sostanza organica, conducibilità idraulica, scheletro e frazioni granulometriche Sabbia e Argilla nel seguente modo:

$$SUP_{0-1} = \left\{ \left[\log(K_{sat})_{0-1} + Sh_{0-1} + S_{0-1} - A_{0-1} \right] + 0,892901668712718 \right\} / 2,67707433457074$$

$$\log(K_{sat})_{0-1} = \left\{ \left[\log(K_{sat}) + 3,31488513375377 \right] / 5,40326952886132 \right\}$$

$$Sh_{0-1} = \left\{ Sh / 75 \right\}$$

$$S_{0-1} = \left\{ \left[S^{-4,8} \right] / 97,3 \right\}$$

$$A_{0-1} = \left\{ \left[A^{-2,6} \right] / 68,9 \right\}$$

Per $SO > 30\%$, $SUP = 0$

K_{sat} = conducibilità idraulica satura (mm/h) riferito a 100 cm

Sh = scheletro (%) riferito a 100 cm

S = sabbia (%) riferito a 100 cm

A = argilla (%) riferito a 100 cm

SO = Sostanza organica (%) per 30 cm

Se il contatto litico con il suolo avviene entro i 100 cm, il valore di SUP della formula, andrà mediato ponderalmente in base allo spessore, tenendo come valore 1 lo strato litico.

○ **PRODUTTIVITÀ (PRO)**

L'indicatore PRO esprime la capacità dei suoli di produrre alimenti (e biomassa in genere). Il suo calcolo è basato sulla classificazione dei suoli in termini di capacità d'uso (Land Capability Classification), ovvero sulla valutazione della loro attitudine a sostenere gli usi agricoli con una scelta più o meno ampia di colture. Le classi di LCC sono state standardizzate secondo il seguente schema:

$PRO_{0-1} = \text{CLASSE DI LAND CAPABILITY (LCC)}$

LCC	I	II/III	II	III/II	II/III	II/III/IV	II/IV	III	III/II	III/II/IV
Score	1	0.95	0.8	0.9	0.7	0.65	0.55	0.6	0.65	0.57
LCC	III/IV	III/VI	IV	IV/II	IV/III	IV/VI	V	V/II	VI/IV	VIII
Score	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.27	0.3	0.4	0.25	0

○ **RISERVA DI ACQUA (WAS)**

L'indicatore WAS esprime la capacità potenziale del suolo nell'immagazzinare acqua. Il suo calcolo tiene conto del contenuto volumetrico di acqua alla capacità di campo e dello scheletro del suolo e, se presente, della profondità della falda freatica come segue:

$$WAS_{0-1} = \{WC_{330-1} * [1 - Sh_{0-1}]\}$$

Senza falda superficiale entro i 100 cm

$$WAS_{0-1} = \{WC_{330-1} * [1 - Sh_{0-1}]\} * \{WT/100\}$$

Con falda superficiale entro i 100 cm

$$WC_{330-1} = \{[WC_{33} - 3,7771175] / 36,7603075\}$$

$$Sh_{0-1} = \{Sh / 75\}$$

WC₃₃= capacità di campo (vol/vol) riferita a 100 cm

Sh= scheletro (%) riferito a 100 cm

WT= profondità superficiale della falda freatica (cm)

Se il contatto litico con il suolo avviene entro i 100 cm, il valore di WAS della formula, andrà mediato ponderalmente in base allo spessore, tenendo come valore 0 lo strato litico.

○ **CAPACITÀ DEPURATIVA (BUF)**

L'indicatore BUF esprime la capacità di stoccaggio e di trasformazione di sostanze nutritive e di depurazione dell'acqua da sostanze inquinanti. I parametri utilizzati per la sua stima sono la Capacità di Scambio Cationico e il contenuto di scheletro, oltre la profondità della falda, se presente:

$$BUF_{0-1} = [\log(CSC)_{0-1} * X1 * Y2]$$

Senza falda superficiale entro i 100 cm

$$BUF_{0-1} = [\log(CSC)_{0-1} * X1 * Y2] * \{WT/100\}$$

Con falda superficiale entro i 100 cm

$$\log(CSC)_{0-1} = \{[\log(CSC) - 0,342422680822206] / 1,57941980058365\}$$

X1 = se pH ≤ 6,5 e CSC ≥ 10 = 0,75 ;

Y1 = se sk ≥ 30 = 0,75 ;

X1 = se pH ≤ 6,5 e CSC < 10 = 0,5;

Y1 = se sk < 30 = 1

X1 = se pH > 6,5 = 1

CSC= capacità di scambio cationico (cmol/kg) riferito a 100 cm

Sh= scheletro (%) riferito a 100 cm

pH= reazione del suolo (pH in H₂O) riferito a 30 cm

WT= profondità superficiale della falda freatica (cm)

Se il contatto litico con il suolo avviene entro i 100 cm, il valore di BUF della formula, andrà mediato ponderalmente in base allo spessore, tenendo come valore 0 lo strato litico.

○ **REGOLAZIONE CLIMATICA LOCALE (CLI)**

L'indicatore CLI esprime il contributo del suolo al microclima locale e considera la risposta potenziale del terreno alla domanda di evapotraspirazione in termini di capacità in acqua disponibile (AWC). La pedofunzione tiene conto, inoltre, della profondità della falda, se presente, come segue:

$$CLI_{0-1} = (\log(AWC)_{0-1} + WT_{0-1})$$

$$AWC = (WC_{33} - WC_{1500})$$

AWC= capacità d'acqua disponibile

WC₃₃= tenore volumetrico di acqua nel suolo a 33 kPa di tensione riferito a 100 cm

WC₁₅₀₀= tenore volumetrico di acqua nel suolo a 1500 kPa di tensione riferito a 100 cm

WT= profondità superficiale della falda freatica (cm)

○ **SEQUESTRO POTENZIALE DEL CARBONIO ORGANICO (CSP)**

L'indicatore CSP esprime la capacità del suolo a contenere e a conservare Carbonio. I parametri di calcolo considerati nella pedofunzione sono il Carbonio organico e la densità apparente:

$$CSP_{0-1} = [\log \prod (OC; DBD)]_{0-1}$$

CO= Carbonio Organico (%) riferito a 30cm

DBD= Densità apparente (Mg/m³) riferito a 30cm

Se il contatto litico con il suolo avviene entro i 30 cm, il valore di CSP della formula, andrà mediato ponderalmente in base allo spessore, tenendo come valore 0 lo strato litico.

○ **INFILTRAZIONE DI ACQUA (WAR)**

L'indicatore WAR esprime la capacità del suolo di regolazione del deflusso idrico, del trasporto di nutrienti, inquinanti e sedimenti e della ricarica delle acque sotterranee. La sua stima è basata sulle proprietà di conducibilità idraulica e di porosità del suolo e sul fattore pendenza della stazione che può favorire o meno l'infiltrazione.

$$WAR_{0-1} = \left\{ \frac{[\log(K_{sat})_{0-1} - PSIE_{0-1}] + 0,706777592958765}{1,70677759295876} \right\} * \left\{ \frac{100 - pz}{100} \right\}$$

$$\log(K_{sat})_{0-1} = \left\{ \frac{[\log(K_{sat}) + 3,31488513375377]}{5,40326952886132} \right\}$$

$$PSIE_{0-1} = \left\{ \frac{[PSIE - 2,658]}{198,970467780527} \right\}$$

K_{sat} = conducibilità idraulica satura (mm/h) riferito a 100 cm

PSI_e = Punto di ingresso dell'aria (cm) riferito a 100 cm

p_z = pendenza (%)

Se il contatto litico con il suolo avviene entro i 100 cm, il valore di WAR della formula, andrà mediato ponderalmente in base allo spessore, tenendo come valore 0 lo strato litico.

9.4 Fase 4.

Il passo successivo ha riguardato l'attribuzione dell'Indice di Qualità dei suoli (IQ) sulla base dell'analisi degli otto SEs. L'Indice di Qualità dei suoli (IQ), calcolato come somma dei singoli servizi, esprime il grado generale di fornitura dei SEs ed è classificato in classi di qualità, in base al punteggio finale (score):

SCORE	CLASSE	QUALITÀ
5-8	I	MOLTO ALTA
3-5	II	ALTA
2-3	III	MEDIA
1-2	IV	BASSA
0-1	V	MOLTO BASSA

Mettendo a confronto le UdT nel loro complesso, sia dell'area di Portoscuso che di Assemini-Sarroch, l'analisi dei SEs mostra che ciascuna UdT è differente dalle altre in termini di fornitura dei singoli servizi (Tabella 31).

La Tabella 32 invece considera separatamente le due aree di studio e mostra quanto i singoli servizi siano tra loro confrontabili ed omogenei, con valori di IQ pressoché identici.

Tabella 31. Ripartizione dei SEs in base alla superficie delle UdT

UdT	Ha	BIO		SUP		PRO		WAS		BUF		CLI		CSP		WAR		IQ
		media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media
AEO	781	0,233	0,089	0,620	0,143	0,500	<0,001	0,078	0,027	0,317	0,022	0,158	0,039	0,371	0,084	0,299	0,008	2,576
AGO	455	0,264	0,105	0,645	0,189	0,500	<0,001	0,160	<0,001	0,290	<0,001	0,300	<0,001	0,369	0,095	0,130	<0,001	2,657
ALO	226	0,404	0,114	0,568	0,112	0,450	<0,001	0,330	<0,001	0,400	<0,001	0,340	<0,001	0,377	0,071	0,280	<0,001	3,149
ARO	8	0,261	0,108	0,634	0,206	0,600	<0,001	0,160	<0,001	0,290	<0,001	0,300	<0,001	0,389	0,089	0,130	<0,001	2,764
ASO	22	0,339	0,129	0,548	0,111	0,600	<0,001	0,230	<0,001	0,270	<0,001	0,380	<0,001	0,365	0,085	0,210	<0,001	2,942
ATG	1392	0,304	0,156	0,609	0,155	0,546	0,141	0,204	0,095	0,324	0,080	0,340	0,071	0,357	0,087	0,181	0,072	2,865
ATL	58	0,361	0,149	0,496	0,216	0,200	<0,001	0,330	<0,001	0,270	<0,001	0,340	<0,001	0,312	0,144	0,262	0,027	2,570
ATS	38	0,358	0,121	0,498	0,189	0,599	0,010	0,230	<0,001	0,160	<0,001	0,380	<0,001	0,410	0,078	0,201	0,010	2,837
CPA	25	0,541	0,187	0,338	0,187	0,458	0,296	0,373	0,083	0,672	0,084	0,545	0,083	0,420	0,063	0,388	0,187	3,736
DAP	4852	0,339	0,155	0,564	0,177	0,456	0,075	0,242	0,077	0,311	0,116	0,401	0,073	0,376	0,082	0,233	0,052	2,921
DCO	48	0,339	0,163	0,493	0,116	0,791	0,049	0,270	<0,001	0,450	<0,001	0,450	<0,001	0,368	0,085	0,631	0,012	3,792
DCOa	206	0,190	0,078	0,737	0,216	0,601	0,189	0,080	<0,001	0,260	<0,001	0,230	<0,001	0,357	0,122	0,120	0,013	2,576
DCOμ	12	0,310	0,098	0,612	0,271	0,390	<0,001	0,170	<0,001	0,190	<0,001	0,270	<0,001	0,399	0,087	0,090	<0,001	2,430
DVOy	2	0,493	0,144	0,639	0,184	0,350	<0,001	0,100	<0,001	0,310	<0,001	0,390	<0,001	0,422	0,070	0,210	<0,001	2,914
DVO	2	0,498	0,044	0,690	<0,001	0,500	<0,001	0,120	<0,001	0,310	<0,001	0,390	<0,001	0,400	<0,001	0,170	<0,001	3,078
DVOμ	6	0,569	0,160	0,475	0,275	0,400	<0,001	0,182	0,071	0,332	0,071	0,481	0,062	0,453	0,069	0,408	0,094	3,299
DVOy	56	0,462	0,123	0,565	0,233	0,228	0,055	0,144	0,031	0,293	0,025	0,414	0,039	0,432	0,068	0,201	0,013	2,738
IGN	625	0,347	0,146	0,561	0,182	0,000	<0,001	0,199	0,025	0,394	0,047	0,324	0,043	0,383	0,096	0,252	0,040	2,460
LIB	76	0,147	0,061	0,681	0,237	0,355	0,218	0,162	0,062	0,226	0,062	0,179	0,056	0,393	0,088	0,097	0,036	2,240
MET	12	0,127	0,076	0,511	0,455	0,072	0,086	0,060	0,035	0,081	0,027	0,105	0,049	0,456	0,089	0,108	0,063	1,520
PLU	94	0,256	0,056	0,736	0,327	0,096	0,019	0,063	0,011	0,129	0,003	0,178	0,014	0,441	0,062	0,118	0,022	2,017
PRL	4	0,233	0,186	0,508	0,238	0,000	<0,001	0,202	0,024	0,405	0,046	0,311	0,027	0,315	0,142	0,152	0,006	2,126
RAF	48	0,094	0,030	0,691	0,235	0,000	<0,001	0,100	<0,001	0,100	<0,001	0,100	<0,001	0,415	0,065	0,100	<0,001	1,599
SAO	2	0,068	0,063	0,690	<0,001	0,000	<0,001	0,010	<0,001	0,350	<0,001	0,030	<0,001	0,263	0,052	0,370	<0,001	1,780
SLO	235	0,358	0,188	0,423	0,141	0,255	0,088	0,458	0,061	0,536	0,069	0,509	0,020	0,296	0,132	0,389	0,089	3,225
SPI	239	0,172	0,089	0,614	0,215	0,000	<0,001	0,014	0,012	0,345	0,053	0,033	0,024	0,351	0,113	0,279	0,041	1,808
GENERALE	9524	0,314	0,134	0,582	0,098	0,424	0,236	0,211	0,110	0,322	0,128	0,344	0,141	0,371	0,047	0,230	0,127	2,798

123

Tab 32. Ripartizione dei SEs in base all'area di studio

Aree di studio	Ha	BIO	SUP	PRO	WAS	BUF	CLI	CSP	WAR	IQ
Assemini-Sarroch	7054	0,308	0,607	0,466	0,223	0,293	0,354	0,375	0,231	2,800
Portoscuso	2470	0,329	0,534	0,320	0,208	0,401	0,302	0,378	0,252	2,785
GENERALE	9524	0,314	0,582	0,424	0,211	0,322	0,344	0,371	0,230	2,798

Nelle Figure 65, 66 e 67 sono rappresentate le mappe degli indicatori ecosistemici del suolo mentre le Figure 68 e 69 riportano l'offerta media del servizio per ciascuna unità e area di studio.

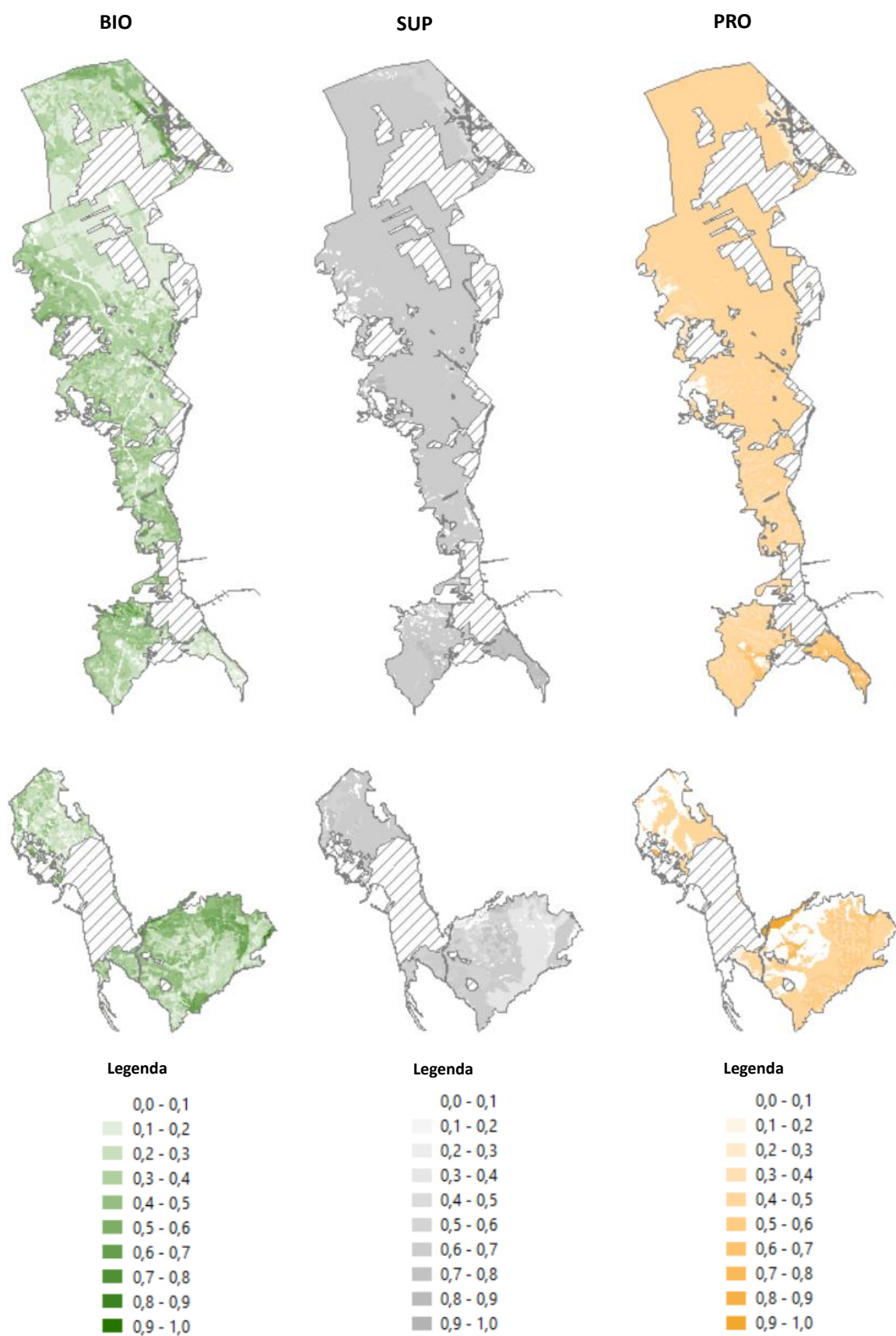


Figura 65. Mappe degli indicatori ecosistemici del suolo. Si riportano rispettivamente da sinistra a destra il servizi BIO (biodiversità degli organismi del suolo), SUP (supporto infrastrutture) e PRO (produttività agricola); Assemini-Sarroch (in alto) Portoscuso (in basso).

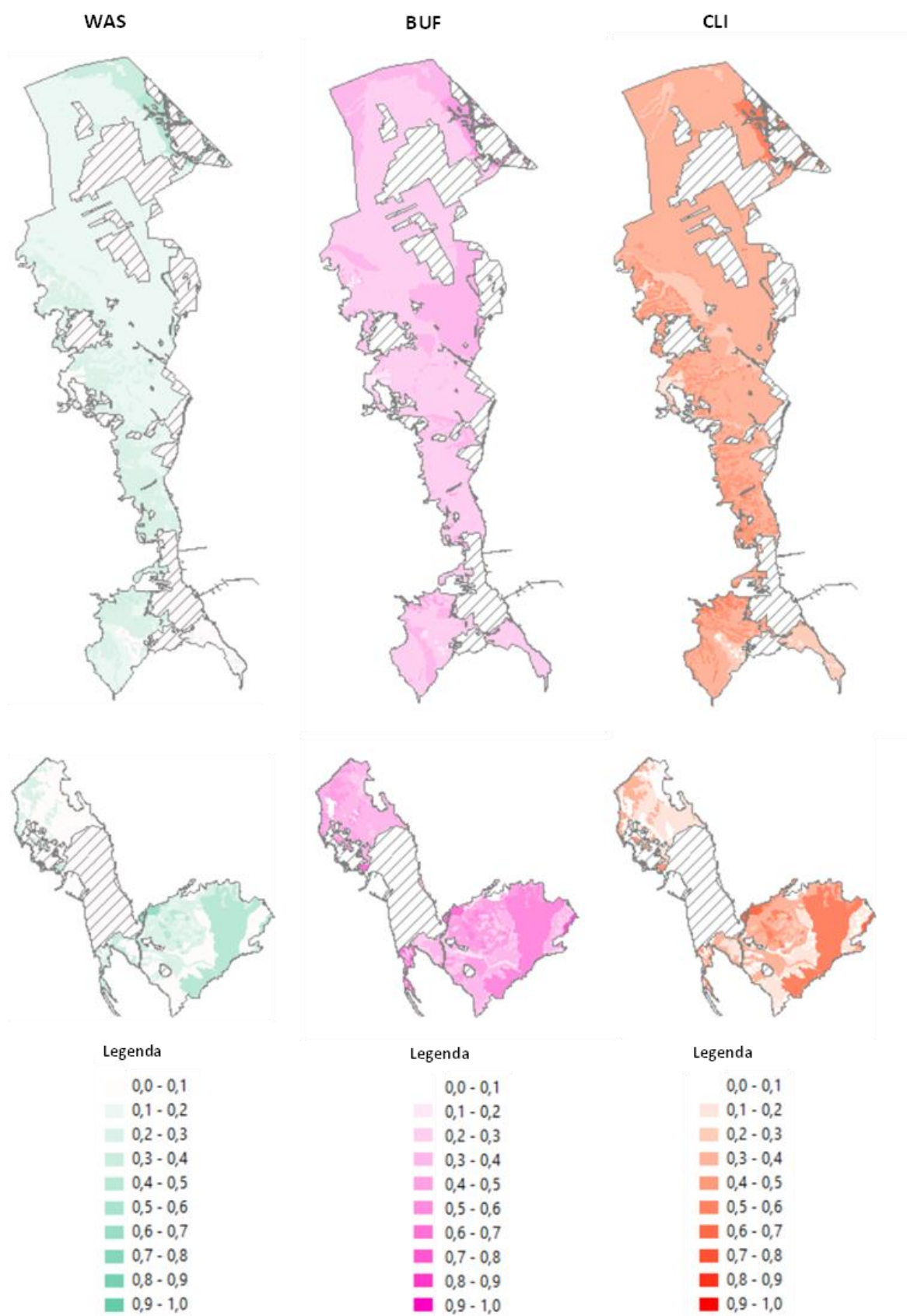


Figura 66. Mappe degli indicatori ecosistemici del suolo. Si riportano rispettivamente da sinistra a destra il servizi WAS (riserva di acqua), BUF (capacità depurativa) e CLI (effetto sul microclima); Assemini-Sarroch (in alto) Portoscuso (in basso).

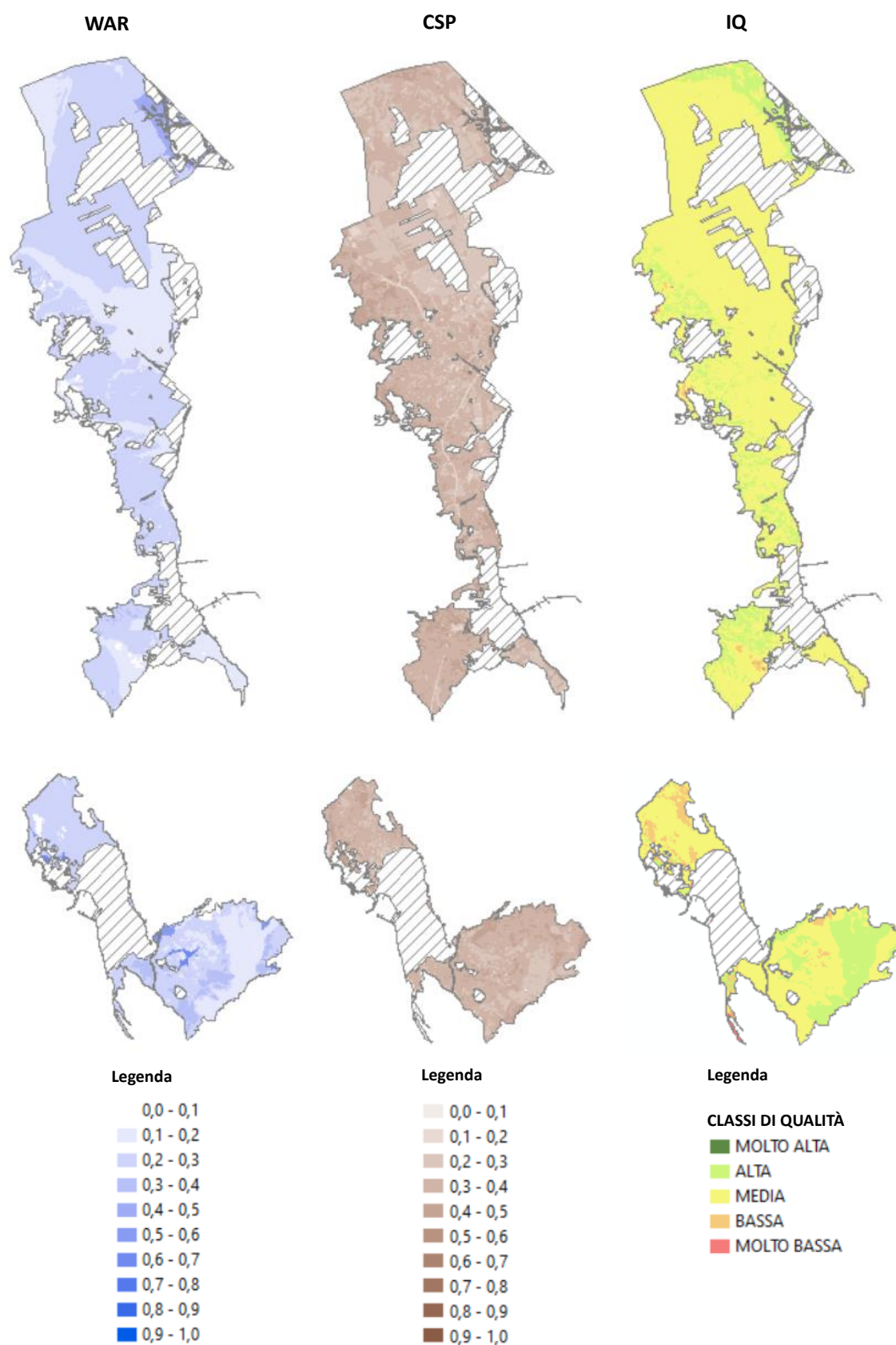


Figura 67. Mappe degli indicatori ecosistemici del suolo. Si riportano rispettivamente da sinistra a destra i servizi CSP (stock di carbonio potenziale) e WAR (infiltrazione profonda di acqua) e IQ (indice di qualità dei suoli); Assemini-Sarroch (in alto) Portoscuso (in basso).

AREA DI PORTOSCUSO

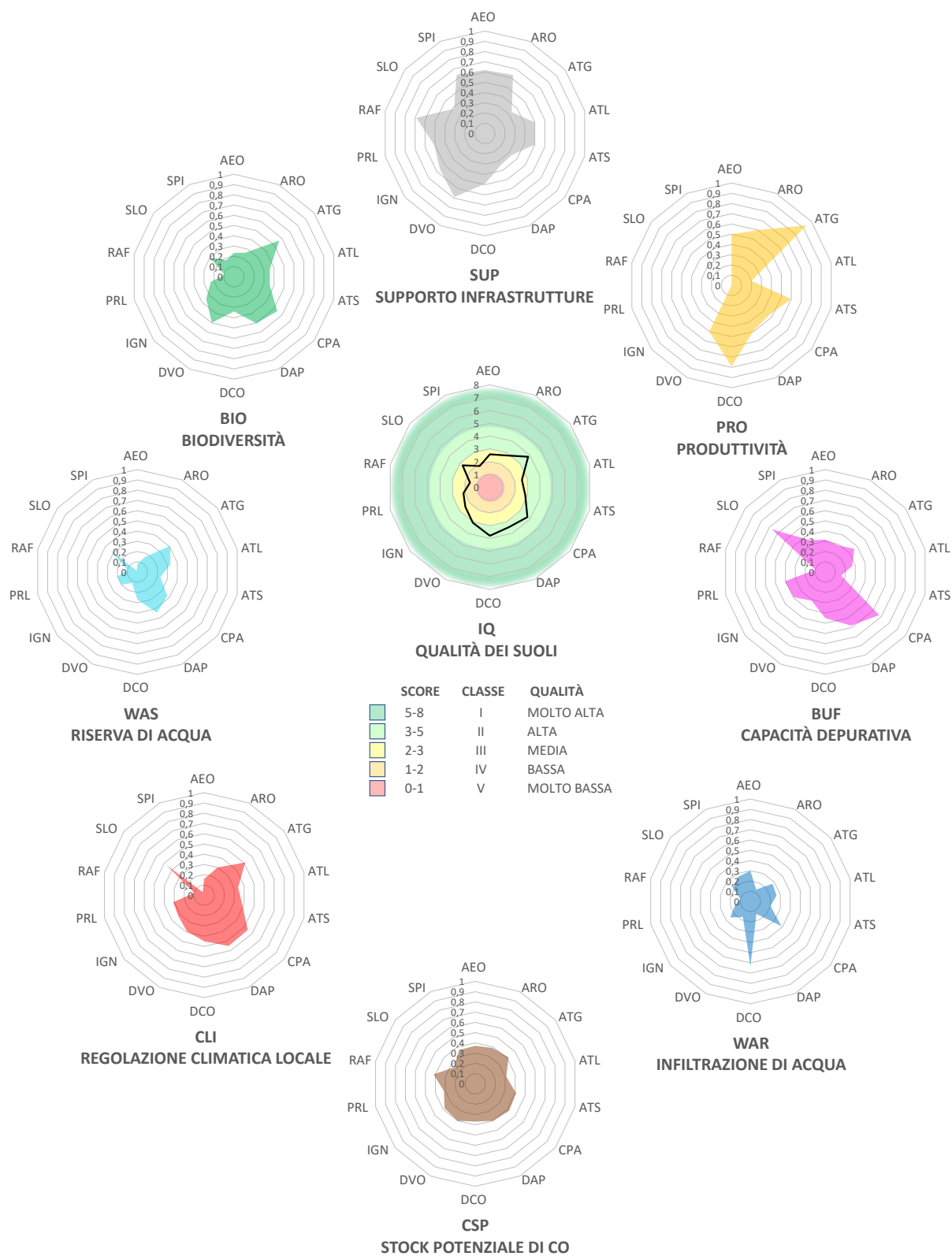


Figura 68. Ripartizione dei SEs per UdT per l'area di studio di Portoscuso

AREA DI ASSEMINI-SARROCH

128

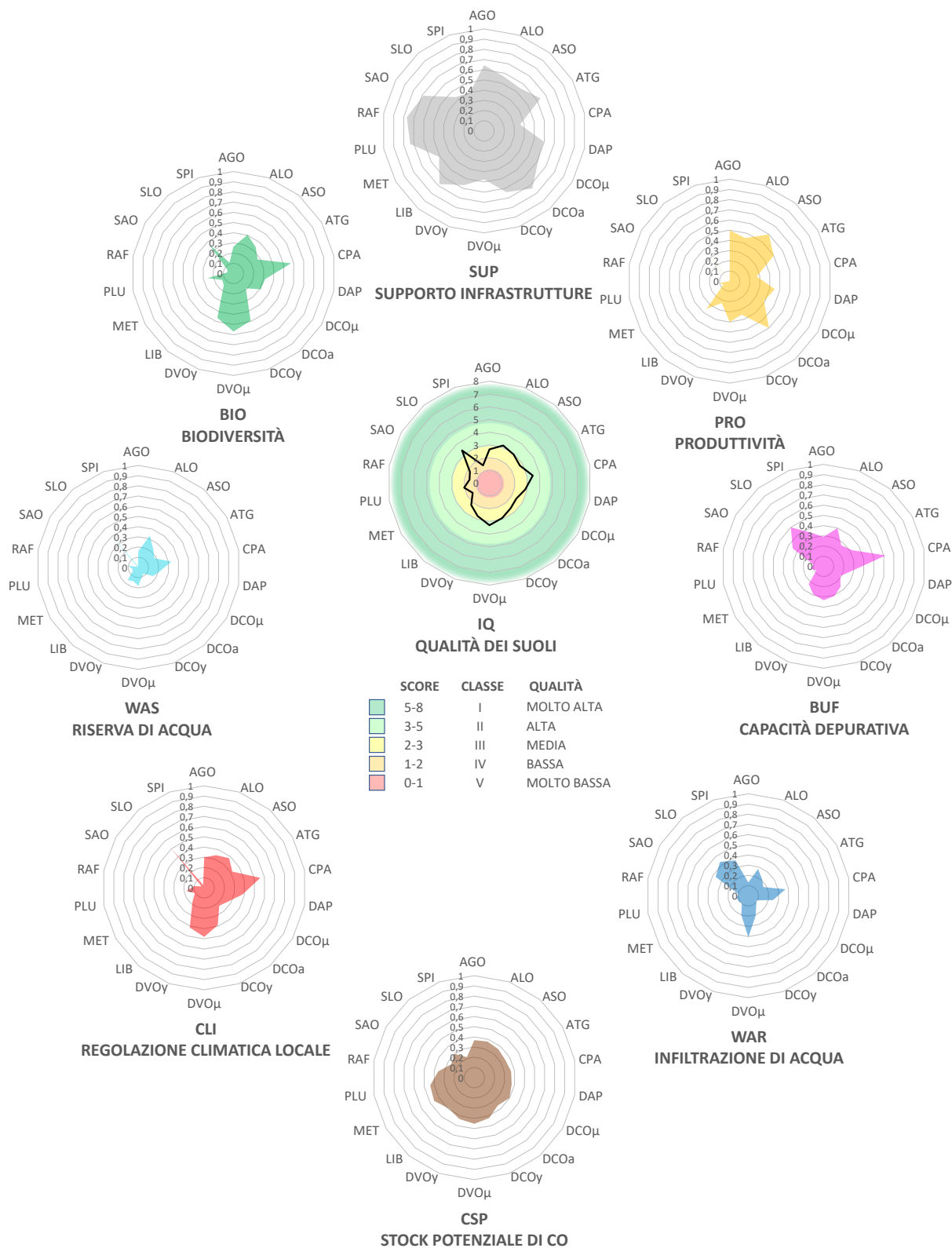


Figura 69. Ripartizione dei SEs per UdT per l'area di studio di Assemini- Sarroch.

Dall'analisi dei dati vengono individuati chiari modelli nella fornitura dei SEs, collegati alle diverse tipologie di Unità di Terre (UdT) e di gestione. I dati mostrano che gli indicatori di ciascuno SEs sono in grado di discriminare le varie UdT. In particolare, la biodiversità degli organismi del suolo (BIO, con media globale di 0,31), che è per definizione legata all'uso del suolo, è significativamente più alto nelle zone con alto grado di copertura, tipiche delle aree naturali e semi-naturali, soprattutto in presenza di suoli profondi con una buona riserva idrica.

Per quanto riguarda il potenziale sostegno alle infrastrutture umane (SUP), l'indice presenta valori piuttosto omogenei tra le UdT (con media globale di 0,58), anche se tendenzialmente superiori nei suoli caratterizzati da un'alta densità apparente (e.g. SPI, AEO); per contro i valori più bassi si riscontrano nelle unità con suoli a elevato contenuto di argilla (e.g. CPA).

La potenziale fornitura di cibo (PRO) dei suoli delle aree di studio si attesta su valore medi (media 0,43), ma esistono sostanziali differenze tra i suoli ricadenti nelle diverse unità di terre, con valori che diminuiscono all'aumentare delle limitazioni d'uso; infatti, nelle UdT a più bassa capacità d'uso (classe VII e VIII), caratterizzate da suoli poco profondi e/o con scarsa riserva idrica, specialmente in condizioni morfologiche acclivi, l'indicatore assume valori bassi o nulli (e.g. IGN, MET, SPI).

Lo stoccaggio potenziale dell'acqua da parte del suolo (WAS, media globale 0,21) ha evidenziato come le UdT con suoli a più alto contenuto in sabbia (e.g. SPI, SAO) abbiano i valori più bassi, risultanti dalla bassa capacità di ritenzione idrica, mentre i suoli delle unità con alto contenuto in limo (e.g. SLO e ALO) mostrano il più alto potenziale di stoccaggio dell'area di studio.

La capacità depurativa (BUF, con media globale di 0,32) è significativamente più elevata in UdT con suoli profondi e dotati di una frazione granulometrica fine elevata (e.g. CPA e DCO). Al contrario, il BUF è più basso nei suoli in aree con presenza di affioramenti rocciosi e tasche di suolo (e.g. MET e RAF).

Il potenziale contributo dei suoli alla regolazione del microclima (CLI, media globale 0,34), essendo condizionato dalle proprietà di ritenzione idrica del suolo, mostra i valori più elevati nelle unità con suoli profondi e con tessiture più fini (e.g. CPA e DCO), conseguentemente i suoli con bassa AWC, tipici delle unità SPI e SAO, mostrano i valori più bassi dell'indicatore.

Il potenziale sequestro del carbonio organico da parte del suolo, CSP, è mediamente basso nelle aree di studio (media 0,37) tranne che nelle aree a vegetazione naturale, le cui limitazioni di lavorabilità agronomiche dei suoli, negli anni hanno favorito lo sviluppo di una fitta copertura a macchia che, unitamente ad alcune proprietà del suolo (come l'elevato contenuto delle frazioni fini) ha contribuito ad incrementare lo stock di carbonio organico.

Il potenziale di regolazione e infiltrazione profonda dell'acqua (WAR, media globale 0,23) mostra valori alti nei suoli profondi, a tessitura fine e con un buon contenuto di carbonio organico (e.g. DCO) e valori inferiori nelle unità a componente terrigena (e.g. DCO_μ).

In Figura 70 si riporta il correlogramma dei SEs prendendo come unità elementari dell'analisi le combinazioni univoche di valori dei SEs, derivate dal processo di overlay, in ambiente GIS, dei diversi servizi che hanno identificato porzioni di territorio differenziate nelle aree di studio.

Per quanto riguarda le sinergie, il servizio BIO ha mostrato le maggiori correlazioni positive con i servizi WAS e CLI.

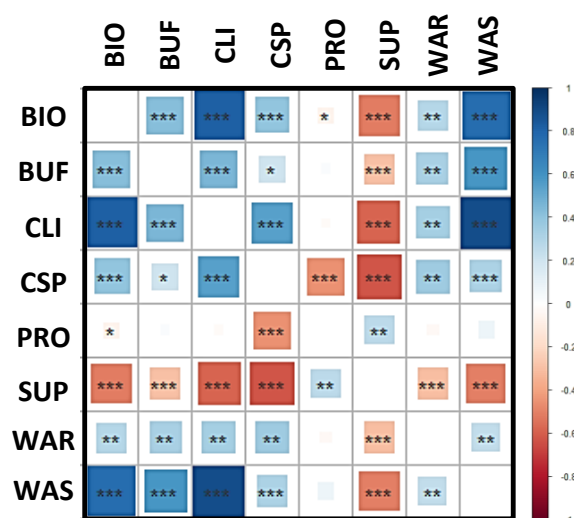


Figura 70. Correlogramma dei SEs

*** ($p < 0,001$) ** ($p < 0,01$) * ($p < 0,05$)

Correlazioni negative sono state osservate tra SUP e tutti gli altri servizi (ad esclusione del PRO). Infatti, l'infrastrutturazione spesso provoca la perdita completa di altre funzioni del suolo ma, in alcune unità di terre, le proprietà dei suoli potrebbero favorire sia la produzione che l'infrastrutturazione agricola nelle medesime aree.

10 CONCLUSIONI

Secondo la definizione del MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005), i Servizi Ecosistemici (SE) sono “i benefici che le persone ottengono dagli ecosistemi” e si possono distinguere in quattro grandi categorie: **supporto alla vita** (es. formazione del suolo, creazione di habitat, conservazione della biodiversità genetica, ciclo dei nutrienti, produzione di cibo e cicli idrologici); **approvvigionamento** (es. cibo, acqua, materie prime, materiali da costruzione, risorse genetiche); **regolazione** (es. controllo dell’erosione, regolazione del clima e della qualità dell’aria, controllo del ciclo dell’acqua, servizio d’impollinazione, mitigazione dei rischi naturali); **valori culturali** (es. estetici, intellettuali, ricreativi, religiosi), categoria quest’ultima non affrontata nel presente lavoro).

131

A partire dalla fine degli anni Novanta, il concetto di Servizi Ecosistemici ha ottenuto una crescente affermazione soprattutto per il supporto che, grazie alla loro valutazione, possono dare nell’indirizzare processi decisionali di gestione delle risorse naturali e di pianificazione del territorio.

In questo studio sono state affrontate le modalità di calcolo dei SEs dei suoli della Sardegna attraverso la determinazione di idonee pedofunzioni applicabili a livello regionale, in linea con altri progetti europei in materia di tutela del suolo, tra cui il progetto SOIL4LIFE – Save Our Soil For Life, focalizzato in particolare sulla quantificazione dei Servizi Ecosistemici del suolo (SEs).

Un giusto percorso per ridurre il consumo e l’urbanizzazione di suoli agricoli (che ricorre spesso a danno dei più fertili) deve avere, come obiettivo prioritario, la quantificazione biofisica e poi economica dei SEs (Assennato et al., 2018) affinché i decisori delle politiche di governo del territorio dispongano di strumenti oggettivi su cui basare il buon uso della risorsa suolo.

Il presente studio rappresenta il primo passo di tale percorso, avendo definito gli aspetti di quantificazione biofisica dei SEs come **momento** precursore della successiva quantificazione economica, col fine ultimo di favorire la razionalizzazione della destinazione d’uso dei suoli sardi.

Il punto di partenza imprescindibile è costituito da una buona conoscenza delle caratteristiche pedologiche della regione, tanto più se si considera l’estrema variabilità dei suoli della Sardegna, supportata da un’adeguata disponibilità di dati.

La principale fonte informativa dell’analisi svolta è stata fornita dagli oltre 5100 dati pedologici presenti al 31/03/2023 nel Data Base dei Suoli della Sardegna (DBSS) che hanno consentito di normalizzare i SEs su scala regionale e standardizzare le pedofunzioni sviluppate.

Nello studio sono stati considerati otto Servizi Ecosistemici forniti dal suolo:

BIO biodiversità degli organismi del suolo

BUF capacità depurativa

CLI effetto sul microclima

CSP stock di carbonio potenziale

PRO produttività agricola

SUP supporto infrastrutture

WAS riserva di acqua

WAR infiltrazione profonda di acqua

Ciascun servizio è stato descritto tramite indicatori basati su proprietà misurate (o stimate quantitativamente), poi standardizzati da 0 a 1 per l'intero territorio regionale, in modo da poter essere impiegati anche in contesti territoriali diversi dalle aree studiate.

Al termine della quantificazione di ogni servizio è stato determinato un Indice di Qualità dei suoli IQ, ottenuto come somma degli indicatori, per avere un quadro di sintesi della fornitura dei SEs dei suoli delle aree di studio (Portoscuso e Assemini-Sarroch); entrambe si attestano su valori globali medi di fornitura dei SEs, con differenze significative per porzioni omogenee di territorio, identificate dalle Unità di Terre.

Il più importante risultato ottenuto dall'analisi svolta è stato quello di aver predisposto un metodo di valutazione dei SEs ripetibile e applicabile ai suoli dell'intera regione, con l'ovvia condizione che si disponga di un adeguato numero dei parametri pedologici utilizzati per il calcolo delle pedofuzioni.

11 BIBLIOGRAFIA

Assennato, F., Braca, G., Calzolari, C., Capriolo, A., di Leginio, M., Giandon, P., .. & Munafò, M. (2018). Mappatura e valutazione dell'impatto del consumo di suolo sui Servizi Ecosistemici: proposte metodologiche per il Rapporto sul consumo di suolo. Soil consumption, territorial dynamics and ecosystem services.

AA.VV., 2014. "Carta delle Unità delle Terre e della Capacità d'Uso dei suoli – Primo Lotto", Agris Sardegna, Laore Sardegna, Università di Cagliari, Università di Sassari, Assessorato EE.LL. Finanze e Urbanistica della R.A.S. Disponibile online: <http://www.sardegnageoportale.it/>

Agenzia Europea dell'Ambiente, 2006. Corine Land Cover.
https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_17

Baveye, P.C., Baveya, J., Gowdy, J., 2016. Soil "Ecosystem" Services and Natural Capital: Critical Appraisal of Research on Uncertain Ground. *Frontiers in Environmental Science*, June 2016, Vol. 4, Article 41.

Bouma, J., 2014. Soil science contributions towards Sustainable Development Goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177, 111-120.

Brevik, E.C., 2009. Soil Health and Productivity. In *Soils, Plant Growth and Crop Production*. W. Verheye (Ed.). *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, EOLSS Publishers, Oxford, UK.

Calzolari, C., Ungaro, F., Bazzocchi, S., 2017. Strumenti operativi per un consumo di suolo netto a scala comunale. Il progetto SOS4LIFE. In: *Acidiacono A., Di Simine D., Oliva, F., Ronchi S., Salata S. (curatori), La dimensione europea del consumo di suolo e le politiche nazionali. Rapporto 2017*. INU Edizioni Srl, Roma. pp. 161-164.

Calzolari, C., Ungaro, F., Campeol, A.M., Filippi, N., Guermandi, M., Malucelli, F., Marchi, N., Staffilani, F., Tarocco, P., 2015. La valutazione dei Servizi Ecosistemici forniti dal suolo per la pianificazione del territorio. In: *Munafò M., Marchetti, M. (curatori), Recuperiamo terreno. Analisi e prospettive per la gestione sostenibile della risorsa suolo*. FrancoAngeli Editore, Milano. pp. 138-151.

Calzolari, C., Ungaro, F., Filippi, N., Guermandi, M., Malucelli, F., Marchi, N., Staffilani, F., Tarocco, P., 2016. A methodological framework to assess the multiple contributions of soils to ecosystem services delivery at regional scale. *Geoderma* 261, 190-203.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P., Van Den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystems services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.

Decreto Legislativo 03/04/2006, n. 152. Norme in materia ambientale. (GU Serie Generale n.88 del 14-04-2006 - Suppl. Ordinario n. 96).

Dominati, E., Patterson, M., Mackay, A., 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics* 69, 1858-1868.

Doran, J.W., Parkin, B.T., 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.

ECC COM(2021) 699 final, 2021. Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni. <https://pdc.mite.gov.it/sites/default/files/norme/COM%282021%29%20699%20final.pdf>

Fadda, M., Demurtas, S., Kerki, J., Onnis, O., 2010. Polo industriale di Portovesme analisi, prospettive e proposte.

FAO, 1976. A Framework for Land Evaluation, Soil Bulletin n. 32, Rome.

Greiner, L., Keller, A., Grêt-Regamey, A., Papritz, A., 2017. Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services. Land Use Policy 69, 224-237.

Hewitt, A., Dominati, E., Webb, T., Cuthill, T., 2015. Soil natural capital quantification by the stock adequacy method. Geoderma 241–242, 107–114.

IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

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 Sci. Soc. Am. J. 61, 4-10.

Malucelli, F., Certini, G., Scalenghe, R., 2014. Soil is brown gold in the Emilia-Romagna region, Italy. Land Use Policy 39, 350-357.

McBratney, A., Field, D.J., Koch, A., 2014. The dimensions of soil security. Geoderma 213, 203-213.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Island Press, Washington, DC.

Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare – D.M. 01/03/2019, n. 46, Regolamento relativo agli interventi di bonifica, di ripristino ambientale e di messa in sicurezza, d'emergenza, operativa e permanente, delle aree destinate alla produzione agricola e all'allevamento, ai sensi dell'articolo 241 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. (GU Serie Generale n.132 del 07-06-2019)

Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare – D.M. 28/10/2016, Ridefinizione della perimetrazione del sito di bonifica di interesse nazionale «Sulcis - Iglesiente - Guspinese». (GU Serie Generale n.267 del 15-11-2016).

Ministero delle politiche agricole e forestali – D.M. 13/09/1999, Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo". (GU Serie Generale n.248 del 21-10-1999 - Suppl. Ordinario n. 185).

Ministero delle politiche agricole e forestali – D.M. 01/08/1997, Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi fisica del suolo". (GU Serie Generale n.204 del 02-09-1997 - Suppl. Ordinario n. 173).

Olarieta, J.R., Rodríguez-Ochoa, R., Ascaso, E., 2011. Soil quality: a step back in land evaluation. In Proceedings of the International Conference "Land Quality and Land Use Information in the European Union", Keszthely, Hungary, 26-27 May, 2011.

Raffa, C. M., Chiampo, F., Shanthakumar, S., 2021. Remediation of Metal/Metalloid-Polluted Soils: A Short Review. *Applied Sciences*, 11 (9), 4134.

Robinson, D., Hockley, N., Dominati, E., Lebron, I., Scow, K., Reynolds, B., Emmett, B., Keith, A., de Jonge, L., Schjøning, P., Moldrup, P., Jones, S., Tuller, M., 2012. Natural capital, ecosystem services and soil change: why soil science must embrace an ecosystems approach. *Vadose Zone Journal* 11(1), 6 pp.

Robinson, D.A., Lebron, I., Vereecken, H., 2009. On the definition of the natural capital of soils: a framework for description, evaluation, and monitoring. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 1904-1911.

Rutgers, M., Van Wijnen, H.J., Schouten, A.J., Mulder, C., Kuiten, A.M., Brussaard, L., Breure, A.M., 2012. A method to assess ecosystem services developed from soil attributes with stakeholders and data of four arable farms. *Sci. Total Environ.* 415, 39-48.

SIRA - Regional Environmental Information System Sardinia Administration. Available on line: <https://portal.sardegnaasira.it/web/sardegnaambiente/territorio-e-suolo>

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

Stanley, T.A., Anne, D.G., Dale J.B., Joshua J.L., 2014. Perception, acquisition and use of ecosystem services: Human behavior, and ecosystem management and policy implications. *Ecosystem Services* 10, 180-186.

Wu, J., Feng, Z., Gao, Y., Peng, J., 2013. Hotspot and relationship identification in multiple landscape services: a case study on an area with intensive human activities. *Ecol. Indic.* 29, 529-537.

Immagini satellitari scaricate da [EarthExplorer \(usgs.gov\)](https://earthexplorer.usgs.gov) per la creazione dello strato informativo NDVI medio annuale dalle Sardegna.

N	Data	Sezione	ID	N	Data	Sezione	ID
1	13-01-2022	MJ	L1C_T32SMJ_A025359_20220113T101258	55	30-06-2022	ML	L1C_T32TML_A036670_20220630T102108
2	23-01-2022	NJ	L1C_T32SNJ_A025502_20220123T101218	56	23-06-2017	NJ	L1C_T32SNJ_A010458_20170623T101121
3	23-01-2022	MK	L1C_T32TMK_A025502_20220123T101218	57	28-06-2019	NJ	L1C_T32SNJ_A012060_20190628T101844
4	17-01-2018	ML	L1C_T32TML_A004524_20180117T102341	58	12-06-2022	NJ	L1C_T32SNJ_A027504_20220612T101520
5	23-01-2022	NK	L1C_T32TNK_A025502_20220123T101218	59	22-06-2021	NJ	L1C_T32SNJ_A031336_20210622T101416
6	09-01-2020	NL	L1C_T32TNL_A023757_20200109T101402	60	12-06-2022	NK	L1C_T32TNK_A027504_20220612T101520
7	13-02-2019	MJ	L1C_T32SMJ_A019038_20190213T101610	61	22-06-2021	NK	L1C_T32TNK_A031336_20210622T101416
8	28-02-2019	NJ	L1C_T32SNJ_A010344_20190228T101631	62	28-06-2019	NL	L1C_T32TNL_A012060_20190628T101844
9	18-02-2019	MK	L1C_T32TMK_A010201_20190218T101421	63	13-06-2019	NL	L1C_T32TNL_A020754_20190613T101027
10	28-02-2019	MK	L1C_T32TMK_A010344_20190228T101631	64	17-06-2022	NL	L1C_T32TNL_A036484_20220617T101601
11	16-02-2019	ML	L1C_T32TML_A019081_20190216T102131	65	17-07-2022	MJ	L1C_T32SMJ_A036913_20220717T100925
12	15-02-2021	ML	L1C_T32TML_A029520_20210215T102741	66	12-07-2022	NJ	L1C_T32SNJ_A027933_20220712T101909
13	28-02-2019	NK	L1C_T32TNK_A010344_20190228T101631	67	17-07-2022	MK	L1C_T32TMK_A036913_20220717T100925
14	13-02-2019	NK	L1C_T32TNK_A019038_20190213T101610	68	20-07-2022	ML	L1C_T32TML_A036956_20220720T101819
15	13-02-2019	NL	L1C_T32TNL_A019038_20190213T101610	69	17-07-2022	NK	L1C_T32TNK_A036913_20220717T100925
16	24-03-2020	MJ	L1C_T32SMJ_A015921_20200324T101650	70	17-07-2022	NL	L1C_T32TNL_A036913_20220717T100925
17	25-03-2019	NJ	L1C_T32SNJ_A019610_20190325T101055	71	02-08-2017	MJ	L1C_T32SMJ_A011030_20170802T101051
18	09-03-2022	MK	L1C_T32TMK_A035054_20220309T101722	72	17-08-2019	MJ	L1C_T32SMJ_A012775_20190817T101605
19	02-03-2022	ML	L1C_T32TML_A034954_20220302T102050	73	06-08-2021	MJ	L1C_T32SMJ_A023071_20210806T101207
20	15-03-2017	NK	L1C_T32TNK_A009028_20170315T101214	74	22-08-2017	NJ	L1C_T32SNJ_A011316_20170822T101057
21	29-03-2021	NL	L1C_T32TNL_A021212_20210329T101256	75	26-08-2020	NJ	L1C_T32SNJ_A027046_20200826T101345
22	14-04-2017	MJ	L1C_T32SMJ_A009457_20170414T101350	76	12-08-2018	MK	L1C_T32TMK_A007484_20180812T101124
23	08-04-2021	MJ	L1C_T32SMJ_A021355_20210408T101857	77	05-08-2017	ML	L1C_T32TML_A011073_20170805T102535
24	08-04-2022	MJ	L1C_T32SMJ_A035483_20220408T101901	78	15-08-2017	ML	L1C_T32TML_A011216_20170815T102513
25	29-04-2018	MK	L1C_T32TMK_A014891_20180429T101859	79	10-08-2019	ML	L1C_T32TML_A012675_20190810T102030
26	08-04-2021	MK	L1C_T32TMK_A021355_20210408T101857	80	14-08-2021	ML	L1C_T32TML_A032094_20210814T102609
27	18-04-2022	MK	L1C_T32TMK_A035626_20220418T101908	81	22-08-2017	NK	L1C_T32TNK_A011316_20170822T101057
28	22-04-2018	ML	L1C_T32TML_A014791_20180422T102115	82	26-08-2020	NK	L1C_T32TNK_A027046_20200826T101345
29	11-04-2020	ML	L1C_T32TML_A025087_20200411T102438	83	22-08-2017	NL	L1C_T32TNL_A011316_20170822T101057
30	16-04-2022	ML	L1C_T32TML_A026689_20220416T102458	84	26-08-2020	NL	L1C_T32TNL_A027046_20200826T101345
31	26-04-2022	ML	L1C_T32TML_A026832_20220426T101916	85	16-09-2019	MJ	L1C_T32SMJ_A013204_20190916T101024
32	29-04-2018	NJ	L1C_T32SNJ_A014891_20180429T101859	86	15-09-2020	NJ	L1C_T32SNJ_A027332_20200915T101550
33	18-04-2022	NJ	L1C_T32SNJ_A035626_20220418T101908	87	05-09-2021	MK	L1C_T32TMK_A023500_20210905T101615
34	28-04-2021	NJ	L1C_T32SNJ_A021641_20210428T101657	88	23-09-2021	ML	L1C_T32TML_A032666_20210923T102742
35	29-04-2018	NK	L1C_T32TNK_A014891_20180429T101859	89	05-09-2020	NK	L1C_T32TNK_A027189_20200905T101637
36	18-04-2022	NK	L1C_T32TNK_A035626_20220418T101908	90	15-09-2020	NL	L1C_T32TNL_A027332_20200915T101550
37	14-04-2017	NL	L1C_T32TNL_A009457_20170414T101350	91	15-10-2021	MJ	L1C_T32SMJ_A024072_20211015T101504
38	18-04-2022	NL	L1C_T32TNL_A035626_20220418T101908	92	15-10-2021	NJ	L1C_T32SNJ_A024072_20211015T101504
39	23-05-2022	MJ	L1C_T32SMJ_A027218_20220523T101625	93	08-10-2020	ML	L1C_T32TML_A027661_20201008T102029
40	23-05-2022	NJ	L1C_T32SNJ_A027218_20220523T101625	94	15-10-2021	NK	L1C_T32TNK_A024072_20211015T101504
41	23-05-2022	MK	L1C_T32SMK_A027218_20220523T101625	95	15-10-2021	NL	L1C_T32TNL_A024072_20211015T101504
42	23-05-2022	ML	L1C_T32SML_A027218_20220523T101625	96	15-10-2021	MK	L1C_T32TMK_A024072_20211015T101504
43	23-05-2022	NK	L1C_T32SNK_A027218_20220523T101625	97	19-11-2021	MJ	L1C_T32SMJ_A033481_20211119T101416
44	23-05-2022	NL	L1C_T32SNL_A027218_20220523T101625	98	30-11-2019	NJ	L1C_T32SNJ_A023185_20191130T101406
45	13-06-2017	MJ	L1C_T32SMJ_A010315_20170613T101608	99	07-11-2020	ML	L1C_T32TML_A028090_20201107T102337
46	18-06-2019	MJ	L1C_T32SMJ_A011917_20190618T101307	100	19-11-2021	NK	L1C_T32TNK_A033481_20211119T101416
47	28-06-2019	MJ	L1C_T32SMJ_A012060_20190628T101844	101	19-11-2021	MK	L1C_T32TMK_A033481_20211119T101416
48	12-06-2022	MJ	L1C_T32SMJ_A027504_20220612T101520	102	19-11-2021	NL	L1C_T32TNL_A033481_20211119T101416
49	17-06-2022	MJ	L1C_T32SMJ_A036484_20220617T101601	103	30-12-2019	MJ	L1C_T32SMJ_A023614_20191230T101423
50	13-06-2017	MK	L1C_T32TMK_A010315_20170613T101608	104	19-12-2021	NJ	L1C_T32SNJ_A033910_20211219T101431
51	13-06-2019	MK	L1C_T32TMK_A020754_20190613T101027	105	19-12-2021	MK	L1C_T32TMK_A033910_20211219T101431
52	12-06-2022	MK	L1C_T32TMK_A027504_20220612T101520	106	28-12-2016	ML	L1C_T32TML_A007927_20161228T102428
53	17-06-2022	MK	L1C_T32TMK_A036484_20220617T101601	107	19-12-2021	NK	L1C_T32TNK_A033910_20211219T101431
54	30-06-2020	ML	L1C_T32TML_A026231_20200630T102422	108	19-12-2021	NL	L1C_T32TNL_A033910_20211219T101431