

AZIONE B.1.3

Valutazione dei servizi ecosistemici attuali e mappatura dei suoli urbani nel centro abitato di Carpi

Progetto:	SOS4LIFE - Save Our Soil For Life
Azione:	B.1.3
Titolo report:	Valutazione dei servizi ecosistemici attuali e mappatura dei suoli urbani nel centro abitato di Carpi
Data report:	30/06/18
Deliverable	31/12/18 rev. 01

INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE.....	5
2. METODO	6
3. CARATTERISTICHE DEI SUOLI NEL VERDE URBANO E CARTA DEI SUOLI.....	16
3.1 Descrizione di alcune unità cartografiche urbane.....	20
3.2 Spazializzazione dei dati puntuali e allestimento di carte delle proprietà e funzioni dei suoli.....	22
4. SERVIZI ECOSISTEMICI DEI SUOLI URBANI	26
4.1 Riserva di carbonio (CST).....	27
4.2 Infiltrazione profonda di acqua (WAR).....	31
4.3 Biodiversità (BIO).....	38
4.3.1 La qualità ed indice di fertilità biologica (IBF).....	38
4.3.2 Indice QBS (Qualità biologica) e indici EcoMorfologici (EMI).....	41
5. CARTE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI DEI SUOLI URBANI	48
6. ALLEGATI: DESCRIZIONE PROFILI.....	59
7. BIBLIOGRAFIA	65
8. AUTORI.....	67
9. SOS4LIFE PROJECT PARTNERS.....	68

1. INTRODUZIONE

La sub-azione consiste nella definizione di una procedura di mappatura e caratterizzazione dei suoli liberi all'interno del perimetro urbano consolidato di un Comune (Carpi), nella definizione di un metodo per la valutazione, per quanto possibile quantitativa, dei SE dei suoli urbani coerente con l'approccio seguito a scala comunale (azione B1.2) e nella elaborazione di linee guida per la loro gestione.

La sub-azione B1.3 si collega logicamente con le altre subazioni della B1, applicando a scala urbana i concetti di valutazione dei Servizi Ecosistemici (SE) del suolo in ambiente urbano.

I suoli urbani sono suoli profondamente influenzati dalle attività umane. Sono composti da materiali differenti da quelli delle adiacenti aree agricole o naturali, per disturbo meccanico, apporto o asporto di materiale, contaminazione con materiale estraneo (plastiche, asfalto, inquinanti, ecc.). Sono il risultato di attività di urbanizzazione che comportano un sigillamento totale o parziale delle superfici (Morel et al.2005).

L'evoluzione di un suolo di ambiente urbano è controllato dagli stessi fattori dei suoli naturali, con una netta ed importante prevalenza del fattore antropico. Il rilevamento dei suoli urbani quindi segue gli stessi criteri di un rilevamento dei suoli in ambiente naturale o semi-naturale, ma tenendo conto che il disturbo antropico oltre ad essere prevalente agisce in tempi molto rapidi. Questo causa una forte eterogeneità nella distribuzione spaziale dei suoli che è problematico risolvere in una cartografia di dettaglio.

I terreni fortemente antropizzati sono classificati (FAO World Reference Base For Soil Resources, 2014) come:

- **Anthrosols:** sono terreni che mostrano un'elevata influenza umana e un alto contenuto di sostanza organica; derivano da un uso agricolo intensivo con aggiunta di materia organica, irrigazione e concimazione.
- **Technosols:** sono terreni che contengono molti artefatti, ossia il 20% o più nel profilo del terreno fino a 100 cm o sono sigillati da uno strato continuo indurito o contengono una geomembrana; sono il risultato di molte attività umane e sono presenti prevalentemente in aree urbane, industriali, strade, discariche e siti minerari.

I suoli urbani svolgono le stesse funzioni di un suolo naturale contribuendo alla fornitura di Servizi Ecosistemici. Tuttavia, il grado di disturbo cui sono sottoposti, il livello di sigillamento ed il tipo di copertura hanno un'influenza che è necessario descrivere nel dettaglio e tenere in considerazione.

Data la grande la grande variabilità dell'ambiente urbano e delle differenze fra diversi ambienti urbanizzati, non esistono ancora dei riferimenti standardizzati per il rilevamento e la cartografia dei suoli urbani. Esistono alcune esperienze, come la carta dei suoli della città di Berlino (https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_01.htm) o dell'isola di Staten, NY (<https://www.soilandwater.nyc/urban-soils.html>).

Nell'ambito del progetto SOS4LIFE è stata messa a punto una metodologia che prevede la definizione di unità di pedopaesaggio urbano, sulla base alla tipologia dei suoli "naturali" al di sotto del tessuto urbano, dalle tipologie urbanistiche e della copertura del suolo ed il rilevamento libero dei suoli non sigillati. Considerando che la gran parte dei SE in area urbana viene fornita da aree a verde, la valutazione semi quantitativa della funzionalità del suolo e dei relativi si è concentrata in giardini e parchi, aree agricole

intercluse o periurbane, verde sportivo e aiuole di superficie generalmente maggiore di 0.1 ha. Non sono stati considerati i giardini e le pertinenze privati, avendo verificato l'elevato grado di impermeabilizzazione degli stessi (vialetti, parcheggi, rampe di accesso ai garage, ecc.). Tuttavia, anche questi suoli, sia pur fortemente alterati, svolgono funzioni. I SE considerati, risultano quindi generalmente sottostimati per l'intera città.

L'attività è stata svolta da Regione ER e CNR Ibimet con la collaborazione del comune di Carpi e supporto del Tavolo Tecnico, attraverso scambio dati prevalentemente via mail.

2. METODO

Le attività si sono concentrate inizialmente sulla raccolta dei dati esistenti necessari alla definizione di unità di "pedopaesaggio urbano" capaci di descrivere la variabilità dei suoli dell'ambiente della città di Carpi e potenzialmente trasferibili ad altri ambiti urbani.

L'Ufficio tecnico del Comune di Carpi ha messo a disposizione di CNR Ibimet e Regione Emilia-Romagna i documenti di piano. In particolare sono stati forniti shapefile relativi a epoca di costruzione degli edifici e dei quartieri; tipologia urbanistica; reti tecnologiche.

A partire da queste cartografie, dalla carta dei suoli in scala 1:50000 della Regione Emilia-Romagna, della carta dell'uso del suolo di dettaglio (ed. 2008) e dall'esame di foto aeree multitemporali sono state definite le unità di paesaggio urbano come schematizzato in figura 1.

Sono state definite in via provvisoria 16 unità di pedopaesaggio urbano in base alle tipologie di suolo prevalenti e all'epoca di urbanizzazione delle diverse zone (tabella 1), corrispondente per lo più a differenti tipologie urbanistiche (centro storico, città ottocentesca, a maglia regolare ecc).

Sigla	Epoca di costruzione	Suoli
ACTL1	prima del 900	Cataldi 1
ACTL3	prima del 900	Cataldi 3
BCTL1	1901 - 1940	Cataldi 1
BCTL3	1901 - 1940	Cataldi 3
CCTL1	1941-1970	Cataldi 1
CTL3	1941-1970	Cataldi 3
CMDC3	1941-1970	Medicina 3
CSMB1	1941-1970	S. Omobono 1
DCTL1	1971-1990	Cataldi 1
DCTL3	1971-1990	Cataldi 3
DMDC3	1971-1990	Medicina 3
DSMB1	1971-1990	S. Omobono 1
DSMB1/SMB2	1971-1990	S. Omobono 1/2
ECTL3	dopo il 1990	Cataldi 3
EMDC3	dopo il 1990	Medicina 3
ESMB1/SMB2	dopo il 1990	S. Omobono 1/2

Tabella 1.
Unità provvisorie dei pedopaesaggi urbani di Carpi.

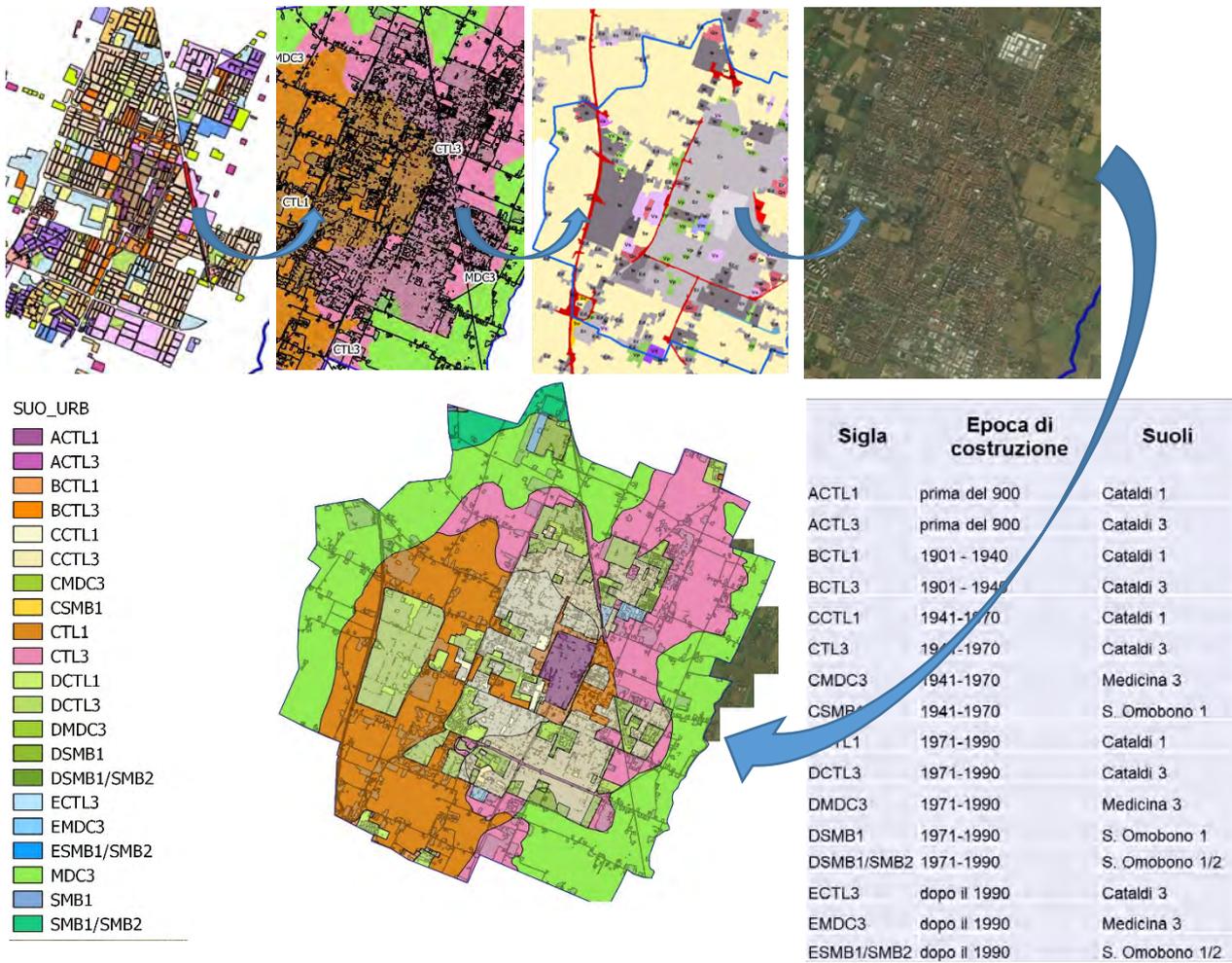


Figura 1. Processo di definizione delle unità cartografiche provvisorie

Le diverse unità sono state controllate in alcune uscite ricognizione da parte di CNR e Servizio Geologico della Regione, per verificarne la tipologia e l'accessibilità. In generale si è riscontrata una buona presenza di verde pubblico e di verde scolastico. Per quanto riguarda i giardini privati, si è constatato, specialmente nei quartieri più vecchi, un elevato tasso di impermeabilizzazione.



Figura 2. Esempi di verde privato

In generale la scelta di campionamento è caduta in aree verdi condominiali o giardini di ville, con la pregiudiziale della concessione del permesso.



Figura 3. Esempi di aiuole



Figura 4. Esempi di parco

Il rilevamento dei suoli urbani è stato eseguito dalla ditta I.ter soc.coop di Bologna mediante l'esecuzione di 185 trivellate. I campioni raccolti sono stati analizzati dalla ditta m.c.m. Ecosistemi s.r.l di Gariga di Podenzano (PC) per tessitura, calcare, pH, carbonio organico, capacità di scambio cationica (179 campioni) e per i metalli pesanti, Sb, As, Cr, Cu, Cd, Pb, Ni, Zn, V (40 campioni). 6 campioni sono stati analizzati in parallelo anche da ARPAE (laboratorio di Ravenna), al fine di validare la correttezza delle analisi.

I **185** siti sono stati distribuiti nell'area d'indagine con criteri differenti nell'area urbana e periurbana.

Nell'area urbana sono stati collocati **153** siti sulla base dell'unità cartografica di appartenenza e in funzione della presenza al suo interno di spazi non impermeabilizzati. Giocoforza la scelta è caduta principalmente su spazi verdi non occupati da edifici o strade quali parchi pubblici, giardini privati di dimensioni medio-grandi, verde sportivo, aree cortilive di pertinenza di scuole, aiuole spartitraffico, rotonde stradali, aree coltivate incluse, incolti, boschi ruderali, aree dismesse. La numerosità dei siti è stata determinata principalmente dall'estensione dell'unità cartografica e dalla sua frammentazione. Alcune unità cartografiche di piccole dimensioni non sono state campionate.

Nell'area periurbana sono stati collocati **32** siti, distribuiti con un criterio "a maglia" in base all'unità cartografica di appartenenza, all'uso del suolo (seminativo, vigneto, frutteto) e alla presenza di altri dati pregressi.

Ai fini della caratterizzazione ambientale i 185 campioni sono stati raggruppati in 6 categorie:

- 1) GP Giardini e parchi (102 osservazioni pedologiche con campionamento)

- 2) AG agricolo periurbano/intercluso (36 osservazioni pedologiche con campionamento)
- 3) SP aree sportive (17 osservazioni pedologiche con campionamento)
- 4) VI aree verdi in zona industriale (6 osservazioni pedologiche con campionamento)
- 5) RT rotonde e aiuole (22 osservazioni pedologiche con campionamento)
- 6) IN aree incolte urbane (9 osservazioni pedologiche con campionamento)

Nella figura sottostante sono riportati i siti di campionamento classificati per uso del suolo.

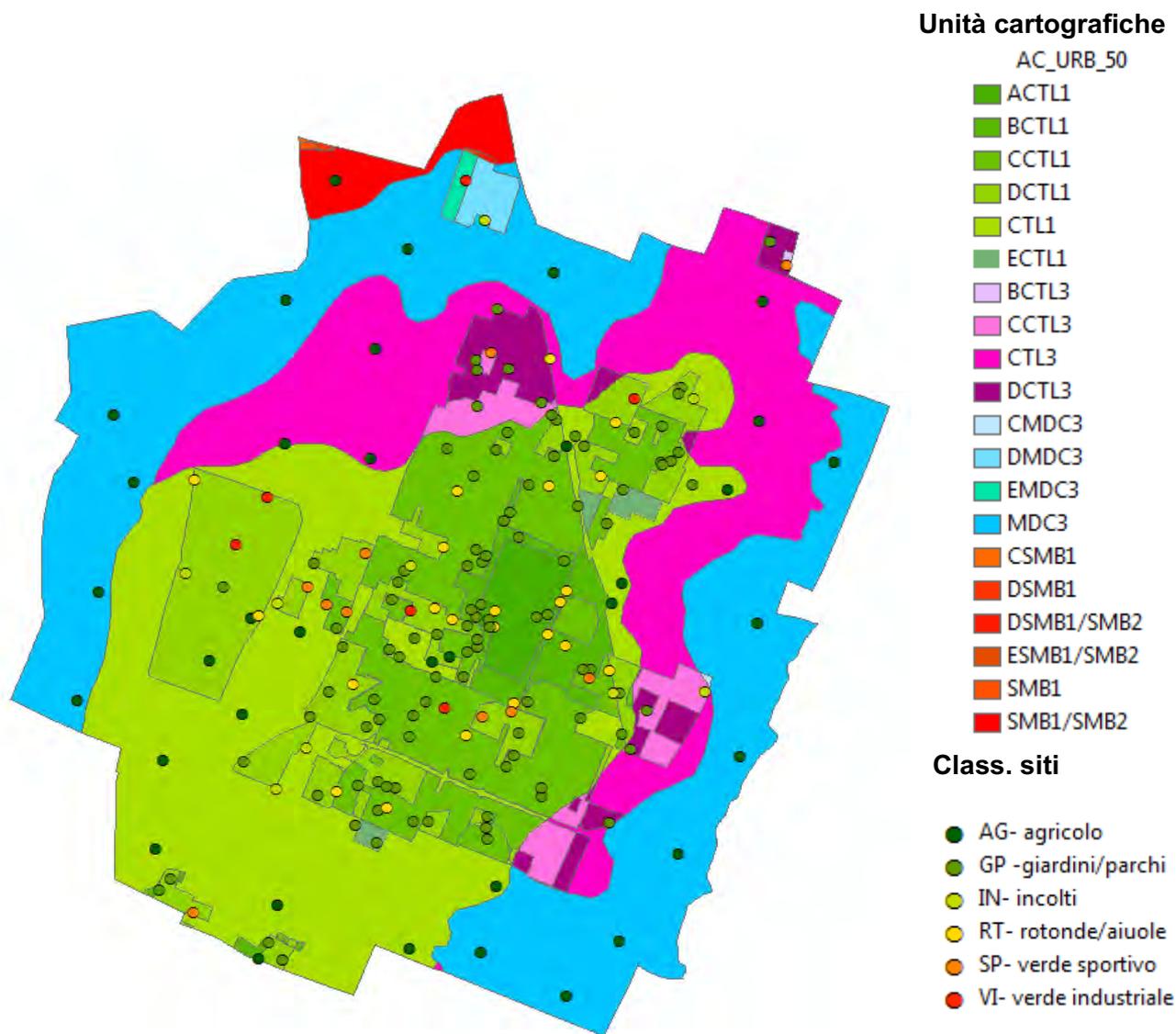


Figura 5. Collocazione dei punti di campionamento classificati per uso del suolo

Il rilevamento è iniziato il 18/10/2017 e si concluso il 3/12/2017. Nel primo periodo (ottobre) il campionamento è stato piuttosto difficoltoso a causa dell'estrema secchezza e compattezza dei suoli, dovuto un prolungato periodo di siccità per cui la massima profondità di campionamento si è attestata fra 20 e 40 cm. Dopo alcune piogge dei primi di novembre la situazione è migliorata, ma in ogni caso mai si è riusciti a raggiungere la profondità di 150 cm, sia per la presenza di ostacoli (mattoni, sassi o altro) o per il perdurare di condizioni di secchezza in profondità.

Data camp. n. oss.	Media profondità (cm)	Max profondità raggiunta (cm)
18/10/2017	7	40.7
19/10/2017	4	35
24/10/2017	7	46.4
26/10/2017	7	38.2
31/10/2017	9	56.8
01/11/2017	9	48.2
03/11/2017	10	40.8
04/11/2017	5	40
08/11/2017	9	50
10/11/2017	15	71.6
11/11/2017	10	53.4



Figura 6. Esempi di trivellate con materiale di riporto e tabella delle profondità raggiunte nella prima fase di rilevamento

I siti campionati sono stati poi ulteriormente classificati usando la **legenda della carta dell'uso del suolo regionale ed. 2018** (che corrisponde al IV livello del corine land cover).

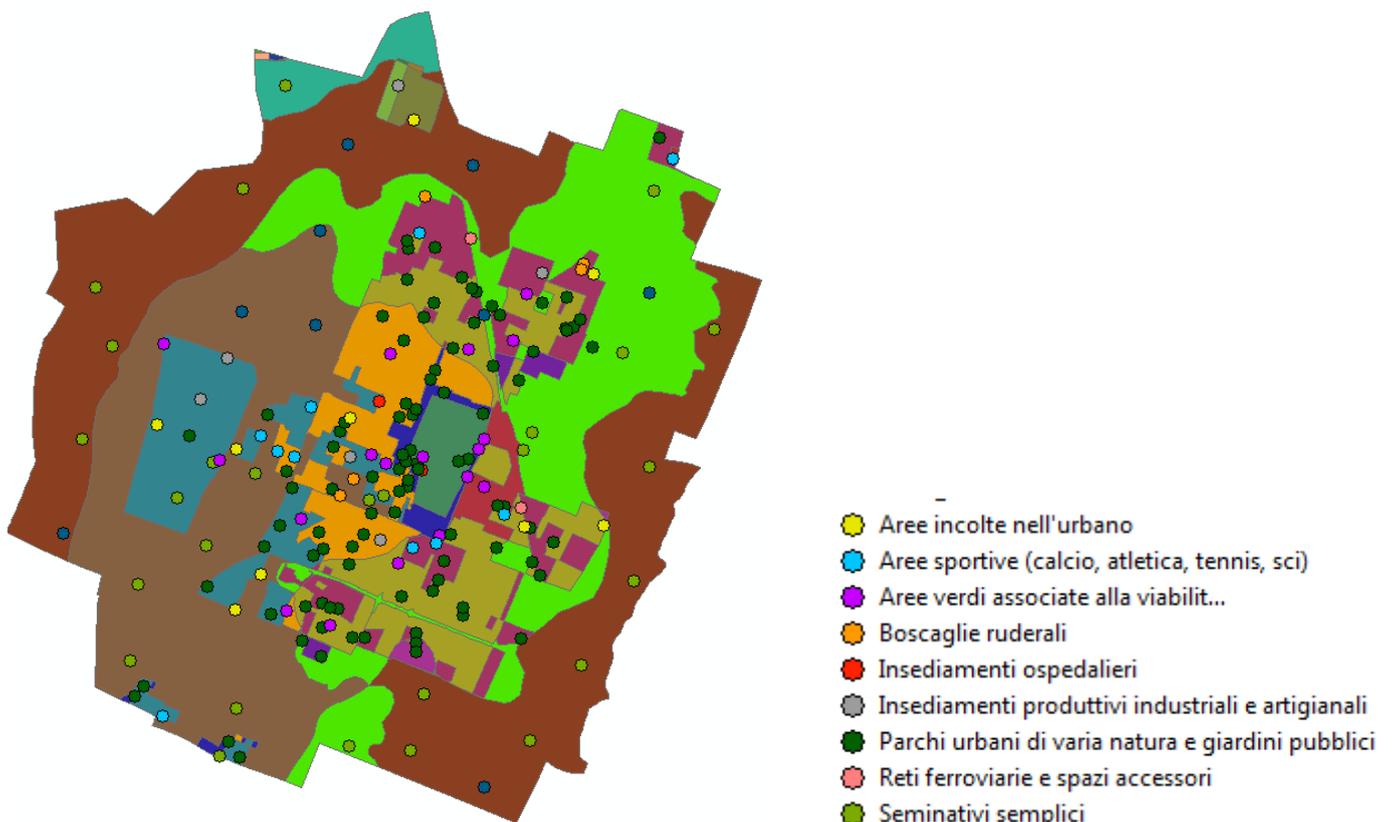


Figura 7. Siti di campionamento prima fase classificati in base all'uso del suolo

Ogni sito dispone di un set di fotografie che documentano: trivellata, copertura del suolo, materiali da riporto (quando presenti), vedute dell'area con 4 prospettive (N, S, E, O) e una foto panoramica.



Foto trivellata



Copertura suolo



Prospettiva Nord



Panoramica del sito

Figura 8. Esempio di foto che accompagnano un sito di campionamento

CAT	N	NAT_MAT	SIGLA	USO_2017	N. campioni	
					Analisi metalli	Analisi routinarie
AG	1	IN POSTO	Cf	Frutteti	0	2
	6	IN POSTO	Cv	Vigneti	3	10
	1	RIPORTO	Cv	Vigneti	0	3
	22	IN POSTO	Se	Seminativi semplici	6	38
	5	RIPORTO	Se	Seminativi semplici	1	2
	1	RIPORTO	Zo	Zone agricole eterogenee	0	0

CAT	N	NAT_MAT	SIGLA	USO_2017	N. campioni	
					Analisi metalli	Analisi routinarie
VI	6	RIPORTO	la	Insedimenti produttivi industriali e artigianali con spazi annessi	1	8
RT	2	RIPORTO	lo	Insedimenti ospedalieri	0	1
	2	RIPORTO	Rf	Reti ferroviarie e spazi accessori	0	3
	18	RIPORTO	Rv	Aree verdi associate alla viabilità	4	17
GP	96	RIPORTO	Vp	Parchi urbani di varia natura e giardini pubblici	22	67
	1	IN POSTO	Vp	Parchi urbani di varia natura e giardini pubblici	0	4
	4	RIPORTO	Br	Boscaglie ruderali	0	5
	1	IN POSTO	Br	Boscaglie ruderali	0	3
SP	9	RIPORTO	Vs	Aree sportive (calcio, atletica, tennis, sci)	1	5
	1	IN POSTO	Vs	Aree sportive (calcio, atletica, tennis, sci)	1	1
IN	7	RIPORTO	Vx	Aree incolte nell'urbano	3	6
	2	IN POSTO	Vx	Aree incolte nell'urbano	0	4
	185				42	179

Tabella 2. Elenco dei siti raggruppati per uso, materiali e analisi.

La scelta dei campioni da mandare alle analisi ha seguito criteri analoghi a quelli per il campionamento.

Metalli pesanti: in virtù del fatto che le aree agricole sono già caratterizzate dalla carta dei valori di fondo, i campioni da analizzare per i metalli pesanti sono stati concentrati numericamente in area urbana cercando di ripartirli nelle categorie più frequenti in modo uniforme. Sono stati considerati solo campioni superficiali (**21 in GP, 9 in AG, 4 in RT, 2 in SP, 1 in VI, 11 in IN**).

Analisi routinarie: 42 campioni dei metalli, 80 campioni in 2 profondità. Per il resto valutazioni sulla base del tipo di uso e della distribuzione areale.

Sono stati mandati alle analisi 117 siti, per un totale di **179** campioni, più un campione di controllo della rete di ring-test SILPA ceduto da ARPAE. In base alle analisi si conferma il sospetto che i suoli urbani (riporti e quant'altro) sono, nella stragrande maggioranza dei casi, rimescolamenti di suoli locali. Questo è particolarmente evidente guardando la distribuzione dell'**argilla** e del **calcare totale** negli orizzonti superficiale. Il trend è assolutamente comparabile con la carta dei suoli e con i suoli che si trovano nel periurbano.

Sulla base della descrizione di campagna e delle analisi i siti si differenziano in 2 categorie:

- in posto:** uso agricolo e talvolta parchi, là dove c'è una trivellata completa con una sequenza tipica dei suoli locali;
- riporti:** presenza di materiale come cocci, sassi, cemento, rifiuti e contenuto di carbonati in superficie non coerente con il trend dei suoli locali

Si è riscontrato che i riporti non sono limitati ai suoli urbani, ma sono stati riscontrati anche nei suoli agricoli.

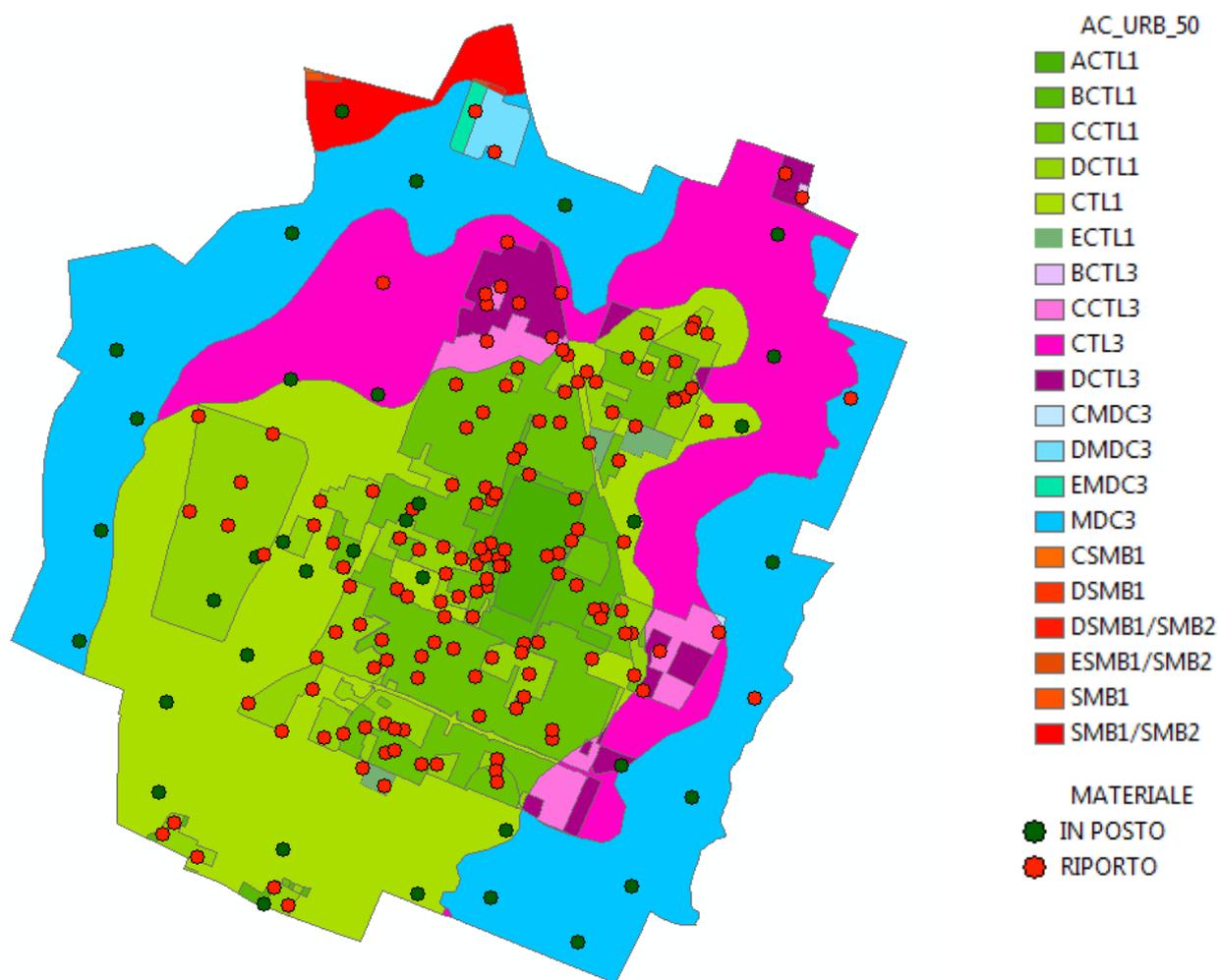


Figura 9. Classificazione dei siti in base al tipo di materiale (verde: in posto; rosso: riporti)

COD_FIN	SIGLA	USO_2014	Num	oss	Min	Max	Media	DevSt	Varianza
AG	Cf	Frutteti	1		1.27	1.27	1.27		
AG	Cv	Vigneti	6		1.08	2.15	1.46	0.41	0.17
AG	Se	Seminativi semplici	19		0.22	1.85	1.18	0.38	0.14
GP	Br	Boscaglie ruderali	4		2.10	4.09	2.66	0.96	0.92
GP	Vp	Parchi urbani di varia natura e giardini pubblici	50		0.75	3.71	2.04	0.67	0.44
IN	Vx	Aree incolte nell'urbano	6		0.85	1.99	1.43	0.43	0.19
RT	Io	Insedimenti ospedalieri	1		1.54	1.54	1.54		
RT	Rf	Reti ferroviarie e spazi accessori	2		0.73	0.93	0.83	0.14	0.02
RT	Rv	Aree verdi associate alla viabilità	12		1.21	3.37	2.46	0.64	0.41
SP	Vs	Aree sportive (calcio, atletica, tennis, sci)	6		0.90	3.28	1.74	0.85	0.72
VI	la	Insedimenti produttivi industriali e artigianali con spazi annessi	6		1.27	5.14	2.34	1.46	2.13

Tabella 3. Statistiche descrittive sul carbonio organico per categorie di uso

COD_FIN	N campioni	Min	Max	Media	DevSt	Varianza
VI	6	1.27	5.14	2.34	1.46	2.13
RT	15	0.73	3.37	2.18	0.82	0.68
GP	54	0.75	4.09	2.05	0.70	0.49
SP	6	0.90	3.28	1.74	0.85	0.72
IN	6	0.85	1.99	1.43	0.43	0.19
AG	26	0.22	2.15	1.25	0.39	0.15

Tabella 4. Statistiche descrittive sul carbonio organico % per macro-categorie di uso. (VI: Insediamenti produttivi industriali e artigianali con spazi annessi; RT: Aree verdi associate alla viabilità; GP: Parchi urbani di varia natura e giardini pubblici; SP: Aree sportive; IN: Aree incolte nell'urbano; AG: Seminativi semplici, frutteti, vigneti).

Se si guardano i valori medi per grandi categorie (Tabella 4) si può notare che, a parte il caso sorprendente delle aree industriali che risultano al primo posto (ma hanno un numero basso di campioni), si può notare che i parchi, i giardini privati, le boscaglie ruderali, le aiuole, le rotonde ecc. hanno un valore medio di CO del 2%, contro 1,25% delle aree agricole.

Per quanto riguarda le aree periurbane ad uso agricolo il contenuto di argilla e calcare è generalmente coerente con la carta dei suoli. Molto spesso il trend dei carbonati è in linea con quello dei suoli locali anche nel caso di riporti: questo implica che sono stati mantenuti in superficie strati di terreno superficiali (vedi es. parte centro-sud della zona industriale o la parte centro-ovest della città).

I valori più elevati di calcare totale che si riscontrano in ambito urbano (il trend in superficie dei suoli naturali è compreso fra 3 e 10%) sono dovuti probabilmente ai rimescolamenti in fase di riporto che ha posizionato in superficie gli strati più profondi, che sono di solito molto più calcarei (nei Bk dei suoli naturali il calcare varia da 16 a 23%). I ribaltamenti sono più frequenti nella parte Nord-Est e in quella centro-orientale (vedi figura 9).

In prima analisi si può affermare che, sulla base delle stime di campo, i **suoli presenti in area urbana non sono molto diversi da quelli presenti nell'area periurbana**, almeno per quanto riguarda la tessitura, colori e il contenuto di calcare. Visto che la stragrande maggioranza dei siti ricade in aree verdi è ragionevole pensare che i suoli presenti siano rimaneggiamento di suoli in situ o riporti provenienti da aree vicine. Molto spesso sono stati trovati frammenti di mattoni o scheletro che indicano chiaramente un rimaneggiamento antropico, ma talora si ha l'impressione (specialmente nei casi in cui la trivellata è riuscita ad arrivare in profondità), di trovare dei suoli con una certa riorganizzazione pedogenetica. Solo in un caso (Parco Unità d'Italia) si è trovato in 2 osservazioni un suolo chiaramente "alloctono" (forse proveniente dalle valli che si trovano nella zona Nord del comune di Carpi, fuori dall'area di indagine).

E' confermata la presenza di un **buon contenuto di sostanza organica** negli orizzonti superficiali (la copertura è quasi sempre un prato) e un **elevato grado di compattezza**, dovuto alle caratteristiche dei suoli (granulometrie con elevati contenuti di limo), le condizioni di umidità (suoli secchi) e all'uso (suoli frequentemente calpestati: il maggior grado di compattazione si è trovato ovviamente nei parchi giochi e nei cortili delle scuole).

3. CARATTERISTICHE DEI SUOLI NEL VERDE URBANO E CARTA DEI SUOLI

Dopo l'analisi dei risultati sono stati aperti 5 profili con uso di scavatore per meglio descrivere le caratteristiche dei suoli più diffusi su diverse tipologie di **verde urbano**, con misure finalizzate alla valutazione dei servizi ecosistemici dei suoli urbani e periurbani, che si aggiungono al profilo scavato nell'area che sarà soggetta al de-sealing. I profili sono stati classificati utilizzando la classificazione WRB ed. 2014, che si è dimostrata più adatta e versatile della Soil Taxonomy nella classificazione dei suoli urbani. In allegato la descrizione dei 6 profili.

Zona	Località	Descrizione e anno di allestimento	Sigla profilo	Classificazione WRB 2014	Note
Centro	Parco Vittime della Mafia	Ex area verde incolta (quasi bosco) in zona di bassura. Superficie ondulata, presenta alberi e arbusti e un'area giochi. Aperto al pubblico nel 2009.	E7425P1	Calcaric Regosols (Prototechnic, Transportic) over Stagnic Cambisols (Clayic)	Spessori elevati del materiale riportato, per compensare il dislivello rispetto al piano stradale. Il riporto è molto più grossolano rispetto al suolo originale. L'uso precedente a bosaglia è evidente dalla presenza di radici morte di grosse dimensioni
Nord	Area condominiale viale Ramazzini (dietro CONAD)	1996-2000 movimenti di terra	E7425P2	Calcaric Regosols (Prototechnic, Transportic) over Hypereutric Cambisols (Loamic)	Materiale riportato di diverso spessore e caratteristiche. Dal profilo emerge che il riporto è avvenuto in 2 fasi: lo strato più profondo è suolo rimescolato con materiale da cantiere (sassi, mattoni, cemento), lo strato superficiale è meno ricco di artefatti (probabilmente il vecchio topsoil "tenuto da parte"). Questa situazione è piuttosto frequente nelle trivellate.
Centro	Bosco della Cappuccina lato ovest cimitero	Bosco urbano in cui gli interventi antropici sono ridotti al minimo. Nel volo 1969-1973 era un vigneto; nel volo 1976-78 l'area è a seminativo. Nel 1994 è già bosco	E7425P3	Hypereutric Cambisols (Transportic) over Hypereutric Cambisols (Loamic)	Il suolo presenta un disturbo antropico che sembra più dovuto ad uno scasso che a un vero e proprio riporto. La T52 che si trova sempre nel parco più in là' somiglia molto al profilo e sembra ancora meno disturbata.
Centro	Parco della Resistenza	Realizzato a inizio anni '70 come sorta di orto botanico su un residuo di piantata esistente	E7425P4	Hypereutric Regosols (Transportic) over Haplic Calcisols (Siltic)	Qui si è trovato il suolo più simile a quello "originale". Il materiale riportato è poco e la sequenza degli orizzonti è quella tipica dei suoli Cataldi, anche se le due trivellate eseguite nel parco segnalano la presenza di mattoni fino a oltre 100 cm, per cui all'interno del parco la situazione non è omogenea
Sud	Parco Sandro Pertini	Uno dei più grandi parchi cittadini, con laghetto, area giochi, grossi esemplari arborei. Impianto fine anni '80	E7425P5	Hypereutric Cambisols (Transportic)	E' presente un riporto fino a 110 cm (deducibile dalla presenza di mattoni e dal colore omogeneo) con caratteristiche molto simili al suolo sepolto e con buona strutturazione.
Centro	Parcheggio ex Bocciofila Malatesta	Attualmente parcheggio asfaltato con alberature. E' l'area destinata al desealing	E5034Q3	Technosols	Suolo presente sotto il manto di asfalto consiste in materiale antropico di almeno 60 cm di spessore (prima sabbia, poi ciottoli e ghiaia di varia pezzatura misti a materiale terroso.

Tabella 5. Elenco profili



Figura 10. Immagini dei profili



Figura 11. Technosol presso il parco della Resistenza

L'apertura dei profili ha permesso di comprendere meglio le dinamiche dei riporti e di ipotizzare i suoli presenti nell'area urbana secondo il seguente schema:

SIGLA	Nome	WRB 2014	Caratteristiche	Sequenza orizzonti
urbano	IMPERMEABILIZZATO 100%: strade, case, parcheggi, cortili cementati, marciapiedi			
CRP	CARPI franco ghiaiosi	TECHNOSOLS	Mattoni >20% nella sezione di controllo (rotonde, vasche, aiuole, piccoli giardini)	$^{\wedge}\text{Cu} - (\text{Ab}) - \text{Bwb}$
LUC1	LUCREZIO over CTL1	Calcaric Regosols (Prototechnic, Transportic) over CTL1	Riporti con artefatti <20% recenti su suoli originali. In genere i riporti hanno tessiture FL-FLA, spessori variabili e valori di calcare totale > 10%. I valori di sostanza organica sono legati all'età del riporto e all'uso. Il suolo originario è in genere abbastanza profondo (raramente visto in trivellata)	$^{\wedge}\text{Au}-^{\wedge}\text{C} (\text{AB})\text{u} - (\text{Ab}) - \text{Bwb}$
LUC2	LUCREZIO over CTL3	Calcaric Regosols (Prototechnic, Transportic) over CTL3		$^{\wedge}\text{Au}-^{\wedge}\text{C} (\text{AB})\text{u} - (\text{Ab}) - \text{Bwb}$
LUC3	LUCREZIO over MDC3	Calcaric Regosols (Prototechnic, Transportic) over MDC3		$^{\wedge}\text{Au}-^{\wedge}\text{C} (\text{AB})\text{u} - (\text{Ab}) - \text{Bwb}$
MRX1	MARX argilloso limosi		Riporti argillosi	$^{\wedge}(\text{Au})-^{\wedge}\text{Cu}$
PET1	PERTINI over CTL1	Hypereutric Cambisols (Transportic) over CTL1	Riporti con artefatti <20% con sembianze di struttura (originata dal suolo di partenza).	$^{\wedge}\text{Au}-^{\wedge}\text{Bu} - - (\text{Ab}) - \text{Bwb}$
PET2	PERTINI over CTL3	Hypereutric Cambisols (Transportic) over CTL3		$^{\wedge}\text{Au}-^{\wedge}\text{Bu} - - (\text{Ab}) - \text{Bwb}$

SIGLA	Nome	WRB 2014	Caratteristiche	Sequenza orizzonti
BCP1	BOSCO CAPPUCINA franco limosi	Hypereutric Cambisols- Calcisol (simil CLT1)	Suoli apparentemente in posto, senza o con pochi artefatti solo in superficie, ma che probabilmente hanno avuto una sorta di disturbo; talvolta ricoperture superficiali (20-30 cm sopra il suolo originario)	A-Bw-Bk
BCP2	BOSCO CAPPUCINA franco argilloso limosi	Hypereutric Cambisols- Calcisol (simil CLT3)		A-Bw-Bk
BUD1	BUDRIONE over SMB1	Calcaric Regosols (Prototechnic, Transportic) over SMB1	Molto poco diffusi nell'area cartografata; maggiormente presenti se la carta fosse estesa all'intero comune.	[^] Au- [^] C (AB)u – (Ab) - Bwb

Tabella 6. Elenco suoli urbani

Le trivellate sono state riviste e, dove possibile, attribuite a queste categorie di suoli. La distinzione fra i suoli LUCREZIO e PERTINI in trivellata è molto difficile e di fatto i colori, le tessiture e i valori di calcare totale dei due tipi di riporti non sono molto differenti. Alcune trivellate sono state classificate come Technosols, sulla base della quantità di artefatti trovati e sulla loro collocazione. La stragrande maggioranza delle trivellate in ambiente urbano invece sono state classificate come Regosols, Cambisols e Calcisols.

La distinzione fra LUC1, LUC2 e LUC3 così come PET1 e PET2 è indicativa in quanto spesso le trivellate non hanno raggiunto il suolo sepolto e le tessiture di campagna spesso non collimano con le analisi di laboratorio. Da quanto visto in campagna le analisi di laboratorio in genere sottostimano l'argilla.

Suoli urbani		Suoli periurbani	
N. osservazioni	suolo	N. osservazioni	suolo
27	CRP	14	CTL1
31	LUC1	6	CTL3
18	LUC2	1	FSL1
13	LUC3	1	GLS1
3	MRX1	5	MDC3
9	PET1	3	MDC4
19	PET2	4	NVL1
21	BCP1	1	SGR1
7	BCP2	1	SMB1
7	/		

Tabella 7. Elenco osservazioni e ricollegamento ai suoli

La carta dei suoli è stata quindi rifatta utilizzando le unità cartografiche provvisorie, la carta dell'impermeabilizzato allestita dal comune di Carpi, la carta dell'impermeabilizzato ISPRA 2017, il modello digitale LIDAR, la visione di foto aeree di diverse annate (1943, 1954, 1969, 1976, 1994, 1996, 2000, 2003, 2006, 2008, 2011, 2014, 2018) e i punti campionamento. Vista la difficoltà di distinguere i suoli LUCREZIO da PERTINI si è scelto di classificare quasi tutto come LUCREZIO, considerando i suoli PERTINI come similar soil.

Non sempre l'età dell'abitato è congruente con la carta dei suoli. In certi casi influenza la % di suoli di tipo LUCREZIO e PERTINI che sono tipicamente collocati in parchi e grandi giardini e dei suoli CARPI che sono tipicamente presenti in giardini privati di piccole dimensioni, rotonde e piccole aiuole stradali, lungo i bordi della ferrovia ecc. Le uc sono quasi tutte associazioni in quanto la percentuale dell'impermeabilizzato può essere agevolmente definita; più difficile definire le percentuali di presenza nelle aree parzialmente permeabili fra i suoli CRP, LUC, PET e BCP. In certe UC si è scelto di indicare ugualmente i suoli LUC, PET o BCP anche se la loro % di distribuzione è inferiore a 25% per distinguerle da quelle unità cartografiche costituite da impermeabilizzato (urbano) per più del 90%. Per quanto poco diffusi questi suoli svolgono ancora in parte le loro funzioni ecosistemiche e sembra giusto segnalarlo.

BCP1-urbano	58.95%	21.27	0.68	SMB1/SMB2	17.71%	52.75	1.68
CRP-LUC2	49.87%	7.94	0.25			1963.64	62.48

Tabella 8. Elenco unità cartografiche e loro diffusione. La stima dell'impermeabilizzato deriva da incrocio con ISPRA 2018 (precisione 10m)

3.1 Descrizione di alcune unità cartografiche urbane

Ricadono nell'uc **urbano** l'area del centro storico e alcune aree industriali. La presenza di suoli "liberi" è ridottissima. Nel centro storico è confinata ad alcuni cortili interni e aiuole stradali e si ritiene che si tratti per lo più di Technosols; nelle aree industriali a pochi incolti rimasti fra i capannoni (suoli BCP o PET).

Dalle aree del centro le parti con più aree verdi sono state ritagliate a formare unità cartografiche con % maggiori di suoli non completamente impermeabilizzati: le più diffuse sono urbano-LUC1 (6.24%) e urbano-BCP1, urbano-CRP-PET0 e urbano-LUC0 che occupano superfici simili (poco più del 4% ciascuna). La quota di impermeabilizzato varia dal 60 a più del 90%, con valori comunque alti. Per la maggior parte di queste si ritiene che i suoli liberi siano prevalentemente BCP, LUC e PET che occupano tipicamente i parchi cittadini. Questi suoli svolgono ancora gran parte delle loro funzioni ecosistemiche, specialmente i suoli BCP che sono abbastanza simili ai suoli originari.

Le uc che presentano l'impermeabilizzato come prevalente occupano 1006 ha (87% dell'area urbana).

Il restante 13% dello spazio urbano è frammentato in tante unità cartografiche dove i suoli "liberi" occupano dal 37 all'87% della superficie. Le situazioni sono varie ma si tratta ancora di parchi urbani, grandi spazi condominiali, l'area libera intorno al cimitero, le situazioni di periferia ai bordi dell'urbano consolidato dove si stanno espandendo i nuovi quartieri e c'è una commistione fra urbano e territorio rurale. A parte casi specifici (ad es. lungo la ferrovia) la presenza dei Technosols (suoli CARPI) è più ridotta e limitata ai dintorni degli edifici, mentre prevalgono i suoli LUCREZIO, PERTINI e BOSCO CAPPUCINA.

Per quanto riguarda l'area periurbana il rilevamento ha confermato in pieno la presenza dei suoli descritti nella carta dei suoli 1:50.000, ossia CATALDI franco limosi, CATALDI franco argilloso limosi, MEDICINA argilloso limosi e NOVELLARA argillosi nella parte Nord-Ovest. È comunque notevole la presenza di urbanizzato anche in queste uc (da 11 al 23%) a conferma che gli edifici rurali, le strade, i piazzali e l'urbano sparso in generale "cubano" non poco anche nelle situazioni di suolo libero.



urbano-BCP1



urbano-CRP-PET0



Urbano-LUC0

Figura 13. Esempi di uc urbane a prevalenza di impermeabilizzato



LUC2/urbano



LUC1-urbano



BCP2-urbano

Figura 14. Esempi di uc urbane a minore presenza di impermeabilizzato

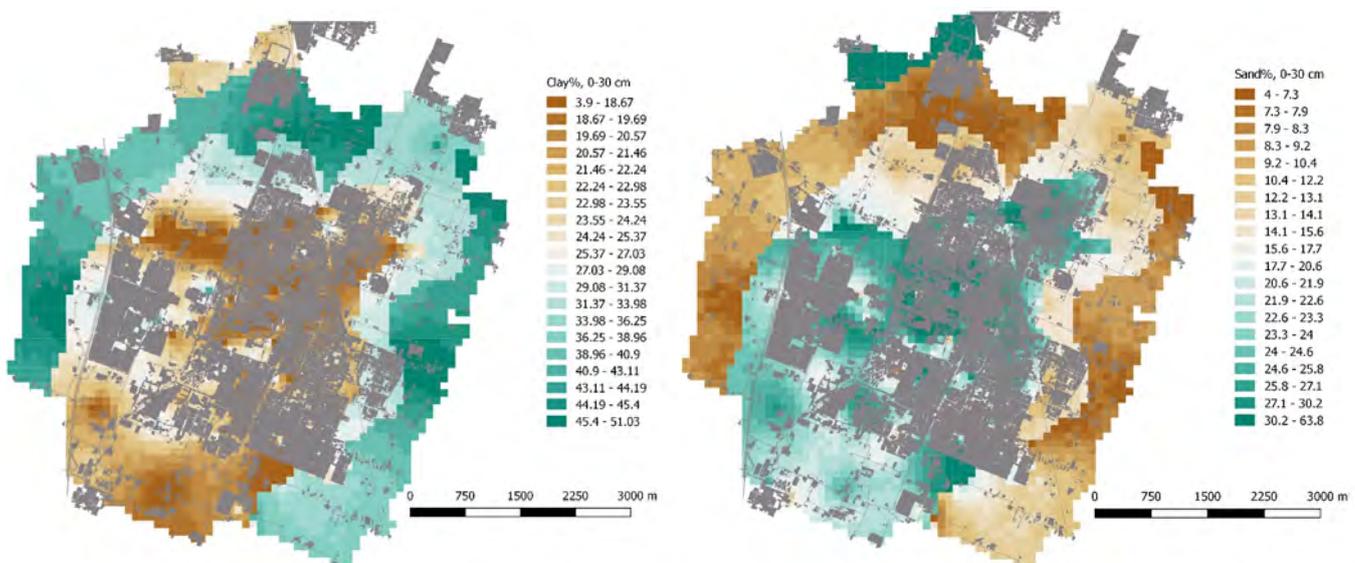
3.2 Spazializzazione dei dati puntuali e allestimento di carte delle proprietà e funzioni dei suoli

Come primo passo verso la realizzazione delle carte dei servizi ecosistemici dei suoli urbani, i dati puntuali di sabbia, limo, argilla, e C org sono stati interpolati con procedura geostatistica su un grid a maglia regolare di 100 m. La procedura si è articolata nelle seguenti fasi: i) attribuzione a ciascun punto della corrispondente unità della carta dei suoli 1.50,000 e calcolo del valore medio di ciascuna variabile per ciascuna delineazione; ii) calcolo della differenza tra valore osservato e valore medio (residuo) e normalizzazione dei residui; iii) stima e interpolazione del semivariogramma dei residui normalizzati; iv) implementazione di simulazioni gaussiane sequenziali via krigaggio ordinario e calcolo del valore medio del residuo (N =1000) in corrispondenza di ciascuna cella del grid; v) somma del residuo medio al valore medio della delineazione e restituzione cartografica. La medesima procedura è stata applicata anche alle misure di CaCO₃ e a quelle dei metalli pesanti (As, Cd, Cu Ni, Pb, Sb e Zn). I parametri dei semivariogrammi dei residui standardizzati di ciascuna variabile sono riportati nella seguente tabella.

Variabile	Nugget C ₀	Sill C ₁	Range a ₁ (m)	Sill C ₂	Range a ₂ (m)
Sabbia	0.23	0.45	384	0.31	1248
Limo	0.19	0.43	512	0.40	1440
Argilla	0.21	0.37	320	0.41	1920
C org. %	0.27	0.41	640	0.35	1120
CaCO ₃ %	0.18	0.49	630	0.32	2115
As	0.38	0.38	1056	0.21	2200
Cd	0.11	0.43	1147	0.38	2599
Cu	0.39	0.35	1106	0.29	2983
Ni	0.15	0.27	1272	0.54	3141
Pb	0.25	0.50	968	0.20	2420
Sb	0.21	0.59	1113	0.23	2332
Zn	0.16	0.49	1325	0.32	2279

Tabella 9. Parametri dei modelli dei semivariogrammi. Per tutte le variabili il modello è un doppio sferico con effetto nugget (varianza non spazialmente correlata); $\Gamma(h) = C_0 + C_1 Sph. (a_1) + C_2 Sph. (a_2)$; $Sph = \{C_i * [1.5|h|/a_i - 0.5 * (|h|/a_i)^3]\}$, se $|h| > a_i$, C_i altrimenti.

Le figure seguenti riportano le carte delle variabili dei suoli considerate nell'area di studio relativamente all'intervallo di profondità 0-30 cm.



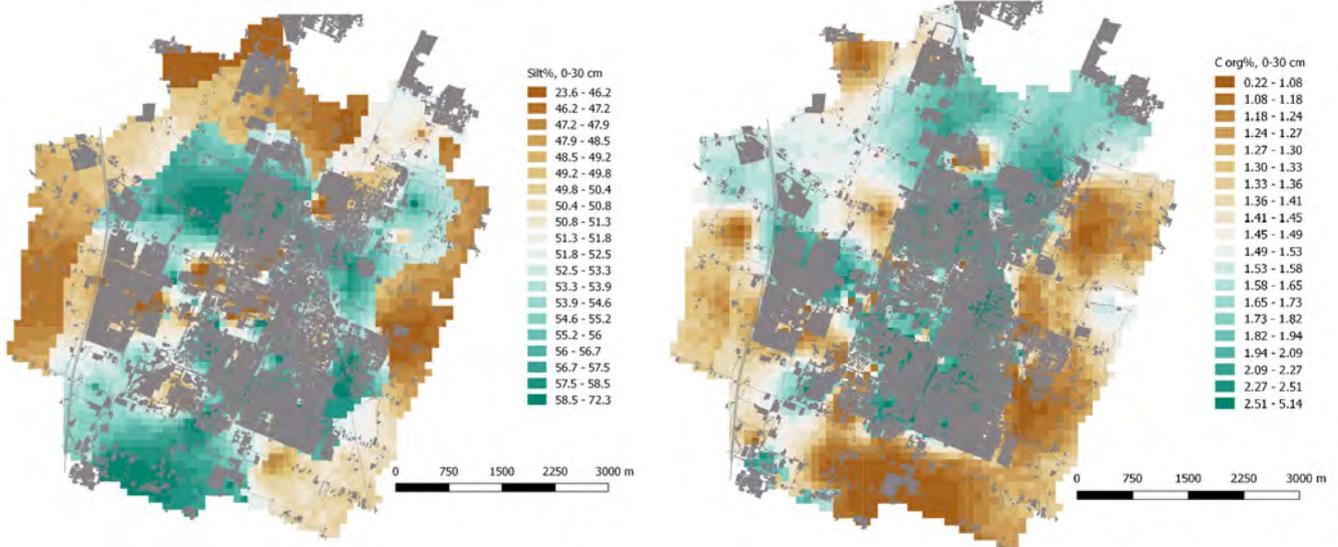
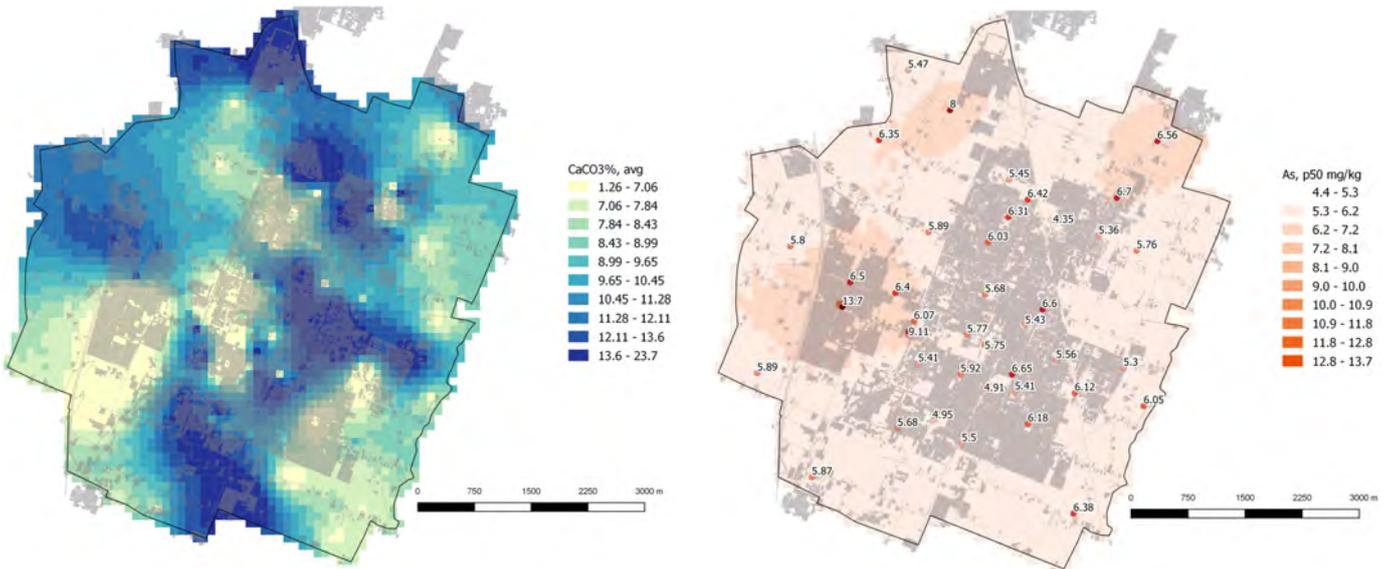


Figura 158. Carte dei valori stimati per argilla, sabbia, limo e C org % (0-30 cm) le celle del grid 100 m.



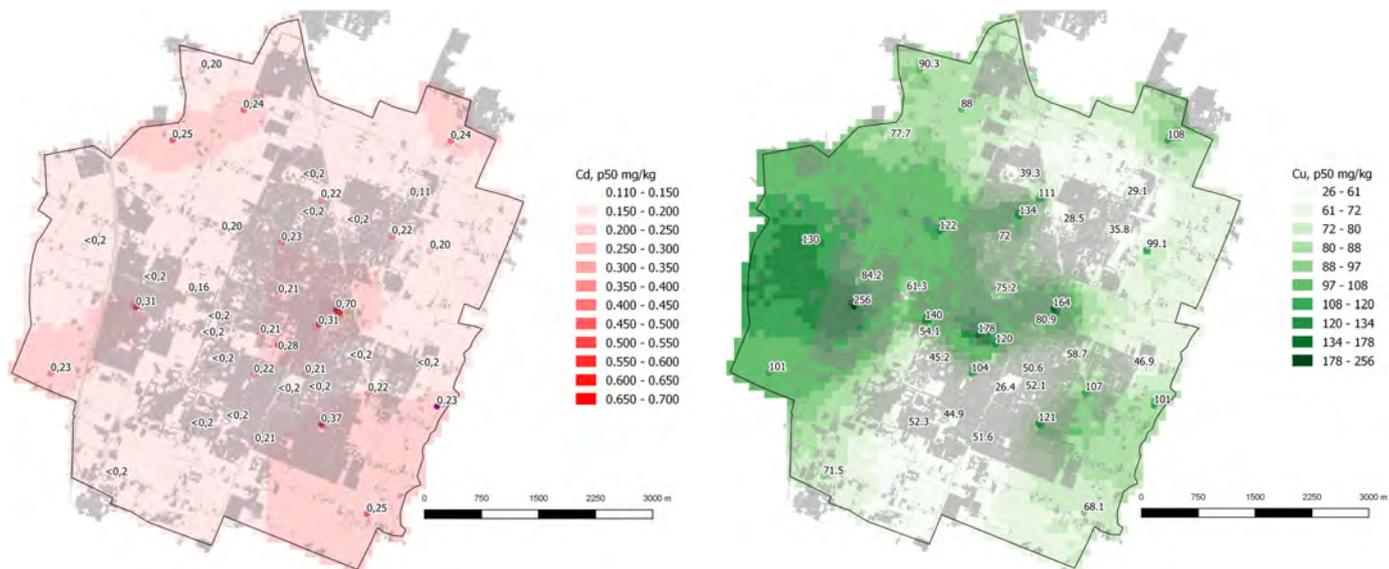
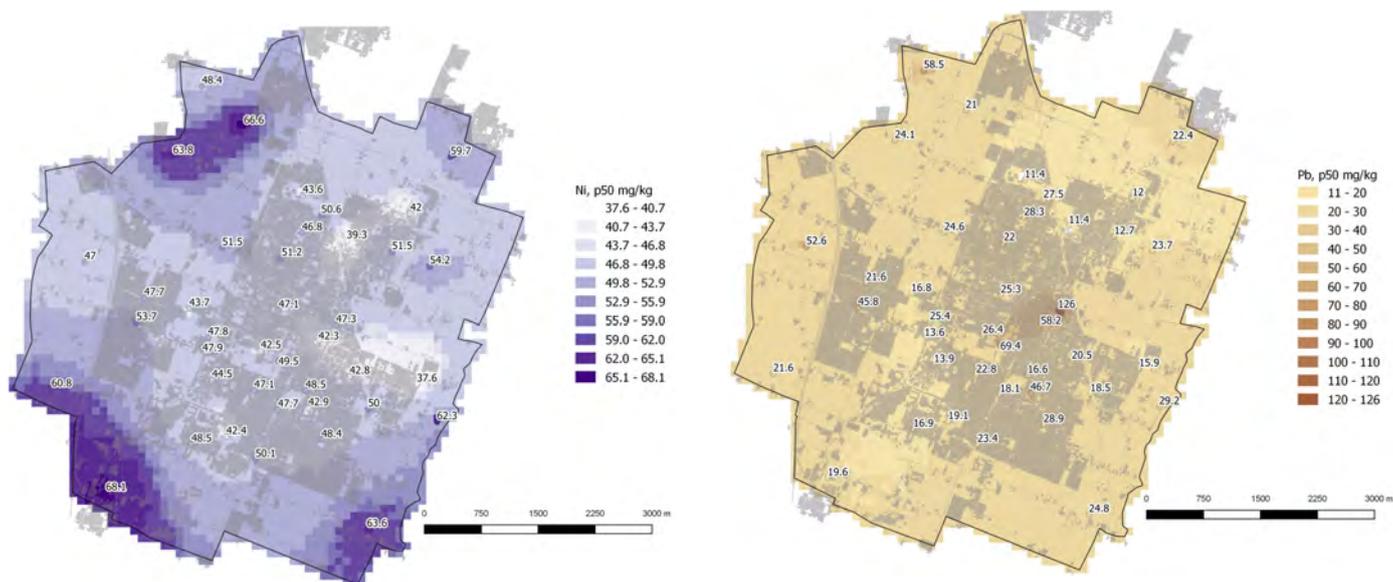


Figura 169. Carte dei valori stimati per CaCO₃, As, Cd e Cu (0-30 cm) le celle del grid 100 m.



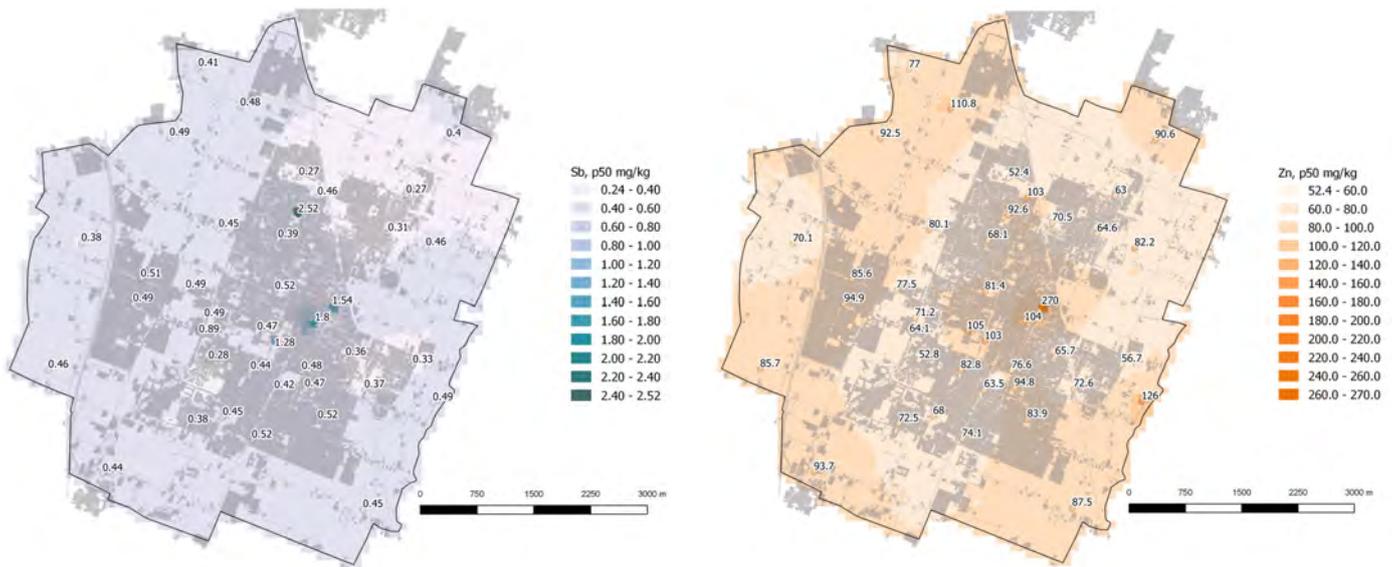


Figura 20. Carte dei valori stimati per Ni, Pb, Sb e Zn (0-30 cm) le celle del grid 100 m.

Nel caso di Pb e Zn si osservano localmente livelli superiori ai valori di soglia definiti dal D.lgs 152/06, mentre nel caso del Cu le aree con valori superiori a 120 mg kg^{-1} interessano un'area più estesa nella parte occidentale dell'area rilevata e cinque aree isolate per un totale di 130 ha.

4. SERVIZI ECOSISTEMICI DEI SUOLI URBANI

I suoli urbani svolgono importanti servizi ecosistemici: tra i principali, la regolazione del microclima, la regolazione dell'acqua, la mitigazione dell'inquinamento, il supporto alla biodiversità, lo stoccaggio di carbonio. In figura 21 è riportato uno schema che mostra i legami tra questioni ambientali, contesto urbano e servizi ecosistemici dei suoli.

Sebbene sia ben riconosciuta l'importanza delle aree verdi urbane, il contributo fornito dai suoli attraverso le loro funzioni generalmente viene del tutto ignorato.

Nell'ambito dell'azione B1.3 sono stati preliminarmente considerati alcuni SE oggetto di misure dirette sia in campo che in laboratorio: lo stoccaggio di carbonio (CST), la regolazione dell'acqua (WAR), e il supporto alla biodiversità (BIO).

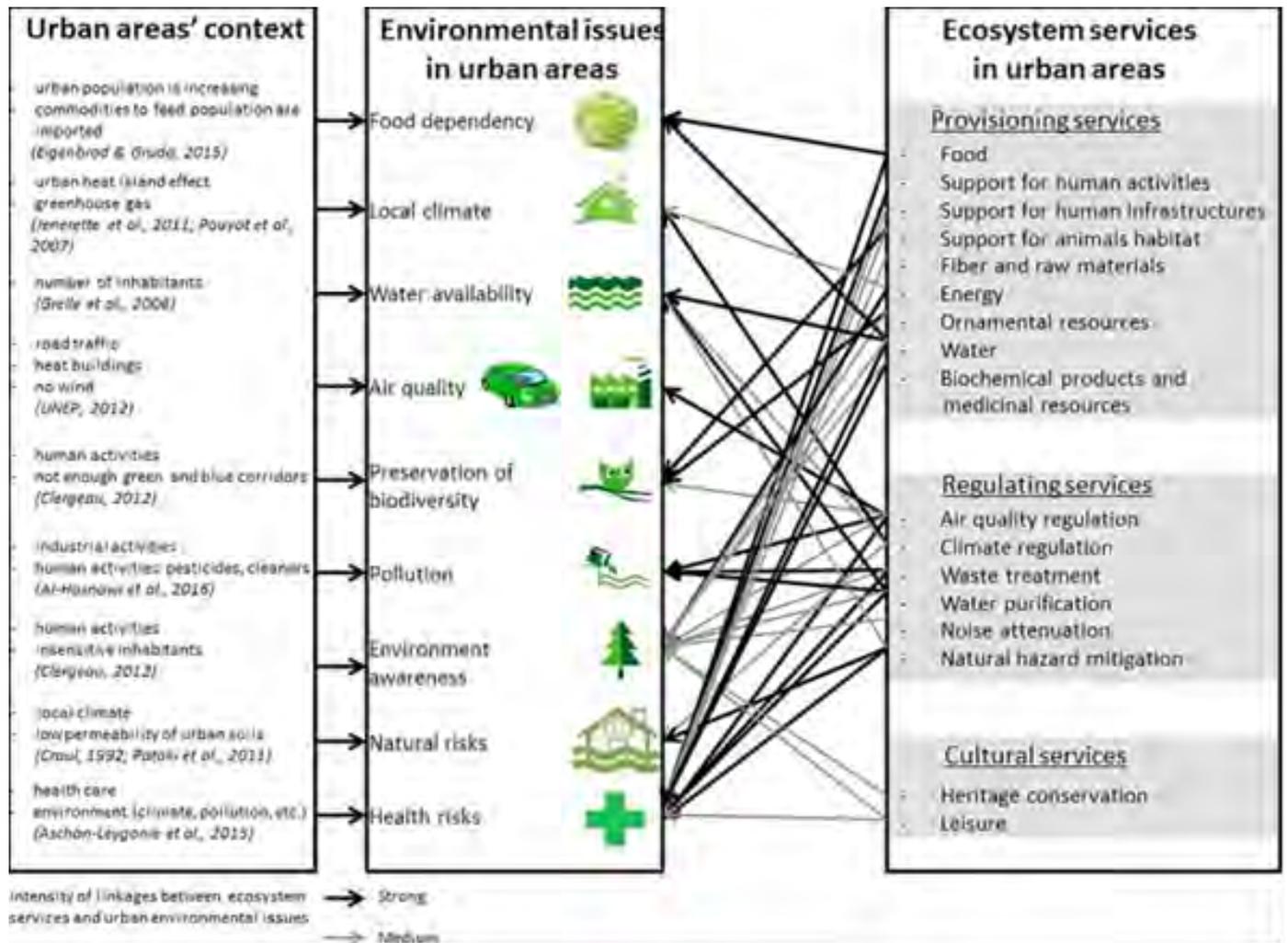


Figura 21. Servizi ecosistemici dei suoli urbani e legami con la domanda di benefici ambientali in aree urbane (fonte: Blanchart et al., 2018)

4.1 Riserva di carbonio (CST)

Lo stock di carbonio contenuto nel terreno espresso in Mg m^{-3} viene calcolato sulla base del contenuto in carbonio organico (CO) in volume % moltiplicato per la densità apparente (BD – Bulk Density; Mg m^{-3}) relativa dei primi 30 cm di suolo, che rappresentano la zona di terreno più suscettibile alla manipolazione antropica.

$$\text{CST} = \text{CO} \times 0.30 \times \text{BD} \times 100$$



Figura 22: Prelievo campioni per la densità apparente

I campioni (0-30 cm) sono stati prelevati in 19 siti (figura 23); in ciascun sito il campionamento è stato effettuato in triplice, e in tre siti il campionamento è stato ripetuto due volte, per un totale di 66 campioni. La maggior parte dei campioni proviene da parchi (Vp, N =42, 12 siti), a seguire aiuole e seminativi (Rv e Se, N = 9, tre siti ciascuno) e infine bosco (Br, N =6, un sito). Le statistiche descrittive relative alle misure di densità apparente, carbonio organico % e stock sono riportate in tabella 6. Rispetto ai suoli agricoli dell'area, si osservano densità apparente inferiori, e contenuti in C org. % maggiori; gli stock di C risultanti sono mediamente superiori a quelli tipici dei suoli agricoli dell'area (media 46.2 mg ha^{-1}).

	Media	N	Std.Dev.	Std.Err.	Min	P10	Q25	Mediana	Q75	P90	Max
Bulk density Mg m^{-3}	1.169	66	0.124	0.015	0.935	1.018	1.093	1.167	1.231	1.350	1.540
C org %	1.783	66	0.662	0.081	0.930	1.120	1.210	1.600	2.190	2.680	3.300
C stock Mg ha^{-1}	62.35	66	24.05	2.96	32.44	38.61	42.88	52.18	84.45	94.21	133.10

Tabella 10. Statistiche descrittive per densità apparente, carbonio organico e stock nei siti di campionamento-

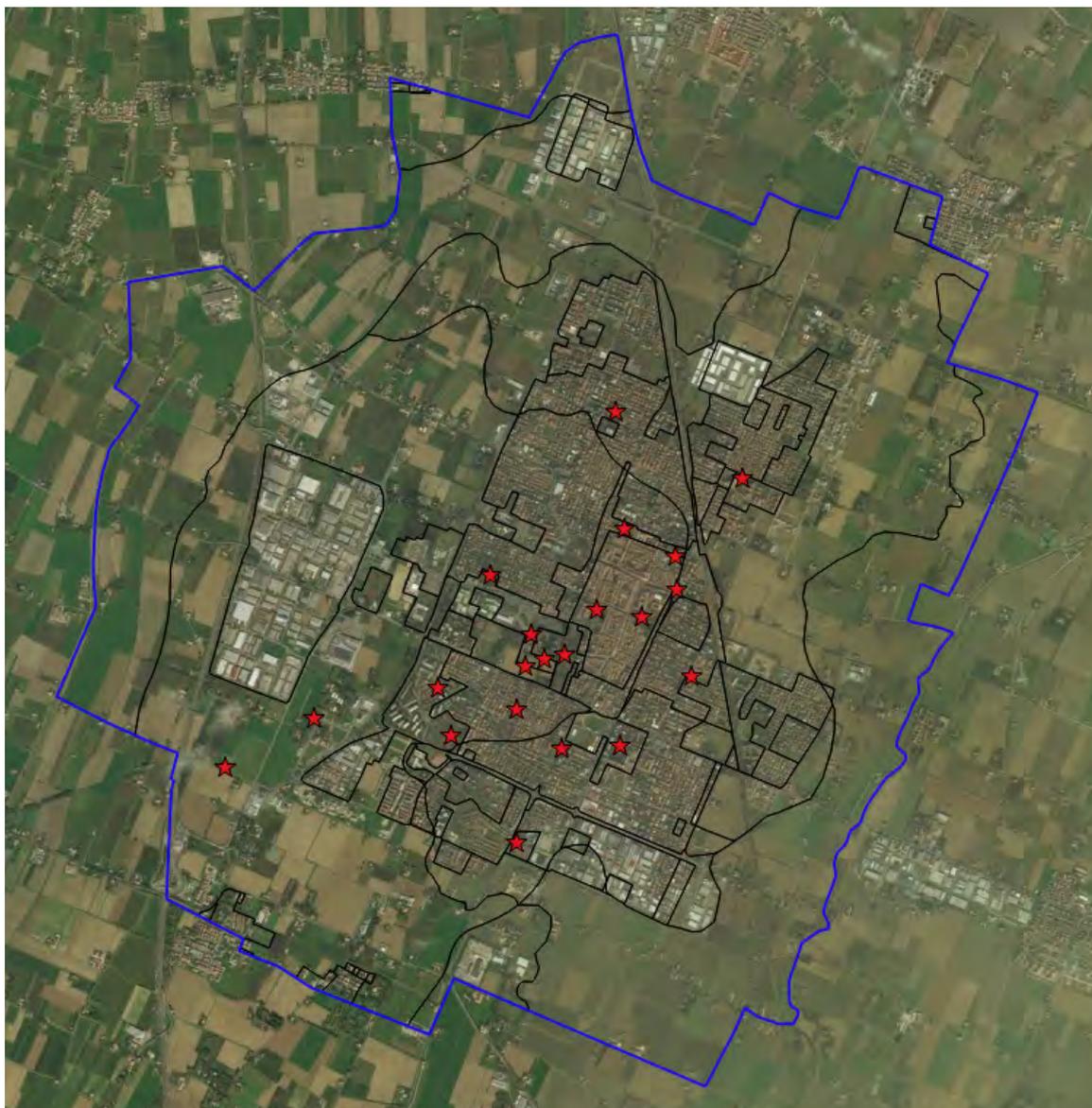


Figura 23: localizzazione dei siti di campionamento per la misura della densità apparente e dello stock di C.

I dati di densità apparente, carbonio organico e stock sono stati analizzati in termini di tipologia di categoria d'uso (Vp, parchi urbani e giardini pubblici; Se, seminativi; Rv, verde associato alla viabilità, in questo caso aiuole; e Br, bosco), e di tipologia di suolo urbano.

In termini di categoria d'uso, non si osservano differenze significative nei valori medi di densità apparente delle quattro classi considerate; differenze significative ($p < 0.05$) si osservano invece nei valori medi di C organico % (e conseguentemente nello stock), con il valore medio osservato per il bosco (3.04%) e per le aiuole (2.37%) significativamente più elevati di quelli osservati nei seminativi (1.42%). Il valore medio osservato nei parchi (1.81%) è significativamente inferiore a quello del bosco. In figura 15 sono riportati le medie, l'errore standard della media e gli intervalli di confidenza dello stock di carbonio nelle diverse categorie di verde considerato.

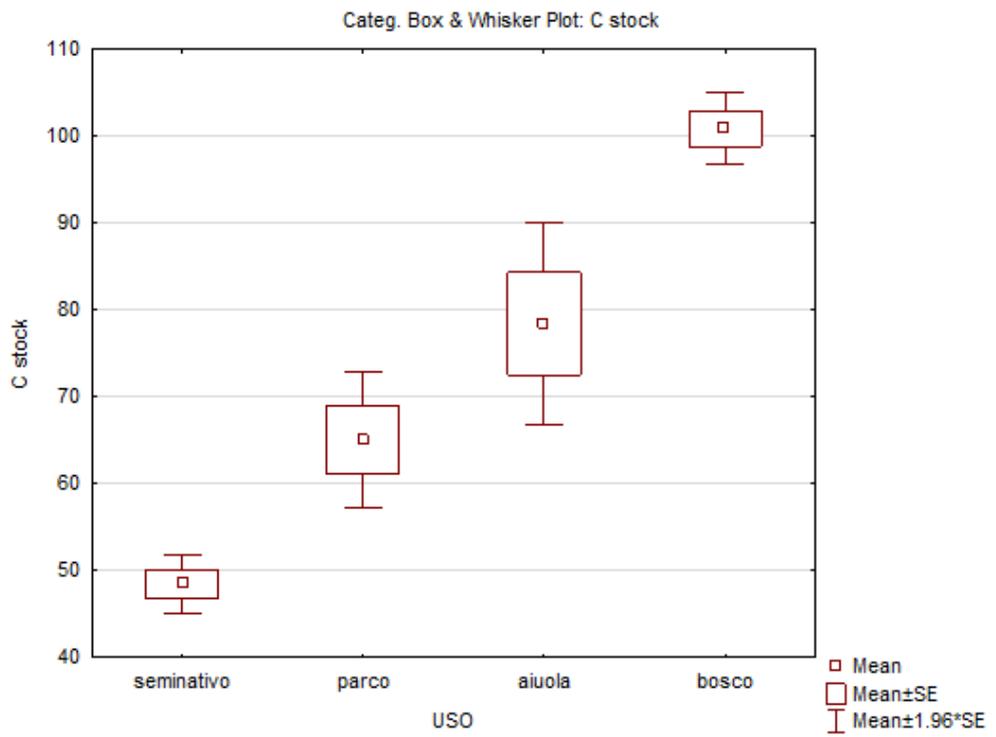


Figura 24. Valori medi (Mg ha⁻¹) ed intervalli di confidenza stock di C in funzione delle tipologie di verde.

Nella tabella 11 sono riassunte le statistiche descrittive dello stock di C nelle diverse tipologie di suoli campionati; i valori medi e i relativi intervalli di confidenza sono illustrati nella figura 25. I suoli Carpi (CRP), technosuoli disturbati, mostrano nei primi 30 cm uno stock di carbonio mediamente più elevato degli altri, dovuto ad un contenuto in carbonio organico generalmente alto (2.71%). I suoli Cataldi (CTL1), ad uso agricolo, mostrano invece uno stock inferiore agli altri tipi di suolo (1.47% mediamente), e congruente con le % trovate nei suoli agricoli della zona.

SUO_URB	C stock N	C stock Means	C stock Std.Dev.	C stock Std.Err.	C stock Minimum	C stock Maximum
BCP1	15	79.16	21.59	5.57	49.49	109.14
CRP	6	91.94	4.86	1.98	84.93	98.90
CTL1	6	46.23	4.12	1.68	41.86	52.92
LUC2	3	56.08	6.83	3.94	48.31	61.13
LUC3	15	63.93	34.38	8.88	32.44	133.10
PET1	6	79.38	10.72	4.38	65.80	94.21
PET2	15	57.16	21.43	5.53	37.18	98.10
All Grps	66	67.84	25.34	3.12	32.44	133.10

Tabella 11. Statistiche descrittive per C stock nelle unità di suolo urbano.

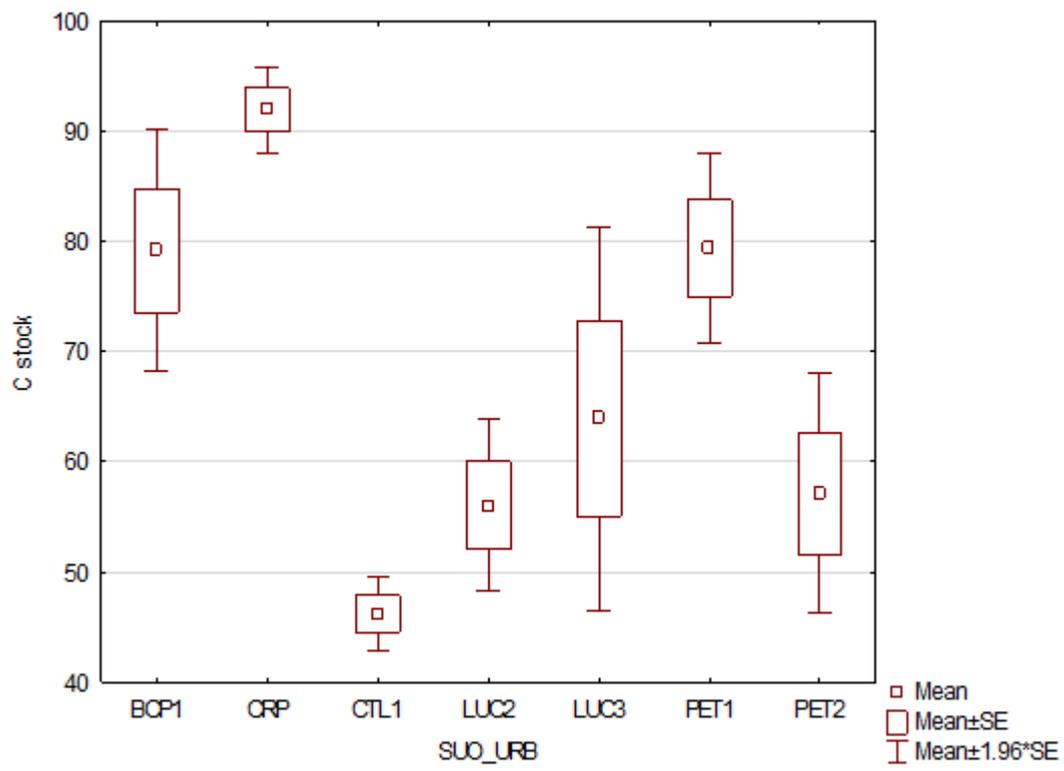


Figura 25. Valori medi e intervalli di confidenza dello stock di C ($Mg\ ha^{-1}$) nelle unità di suolo urbano.

4.2 Infiltrazione profonda di acqua (WAR)

Il suolo permette ad una frazione dell'acqua di precipitazione meteorica di infiltrarsi, regolando così il deflusso, il trasporto di sostanze nutritive, inquinanti e sedimenti e contribuendo alla ricarica delle falde acquifere sotterranee. La quantità di acqua che si infiltra dipende da vari fattori, tra le altre le condizioni di umidità, le caratteristiche della struttura del suolo (compresi le zolle dovute alle lavorazioni) oltre alla copertura del suolo e alla durata e intensità delle precipitazioni (Hillel, 1998). Il processo di infiltrazione dipende principalmente da tre parametri pedologici: la conducibilità idraulica satura (K_{sat} , $mm\ h^{-1}$), la distribuzione dimensionale dei pori e le condizioni di saturazione del terreno.

L'indicatore del potenziale del suolo nella regolazione dell'acqua piovana, WAR, può essere stimato come segue (Calzolari et al., 2016):

$$WAR_{0-1} = \log K_{sat_{0-1}} - PS_{le_{0-1}}$$

dove PS_{le} (punto di ingresso all'aria, mm) indica la distribuzione relativa tra micropori, dove l'acqua si muove per capillarità e macropori dove l'acqua si muove per gravità.

Nei 19 siti di campionamento della densità apparente e dello stock di C sono state effettuate misure di conducibilità idrica satura dell'orizzonte superficiale utilizzando il permeometro di Guelph. Lo strumento lavora con carico costante e vengono effettuate due misure in corrispondenza di valori di carico pari rispettivamente a 5 e 10 cm.

Dal punto di vista teorico, il sistema dei pori del suolo è considerato omogeneo ed isotropo, caratterizzato da pori continui. Adottando questo modello, e considerando un geometria cilindrica è possibile definire una velocità apparente (secondo la legge di Darcy) del fluido che è direttamente proporzionale all'area della sezione retta del cilindro ed alla differenza di potenziale idraulico alle sue estremità, ed inversamente proporzionale alla lunghezza del cilindro. Una delle numerose notazioni utilizzate per descrivere il fenomeno è la seguente:

$$Q/t = -KS * [(h_2 - h_1)/l]$$

dove Q/t è la quantità d'acqua infiltrata nel tempo t (cioè la portata) attraverso un cilindro di sezione S e lunghezza l sotto l'azione di una differenza di potenziale totale tra le due basi del cilindro h_1 e h_2 . K è un coefficiente di proporzionalità, ossia quanto questo corpo poroso conduce acqua. Questo coefficiente va determinato sperimentalmente come rapporto tra la velocità del flusso ed il gradiente del potenziale totale. Per effettuare direttamente la determinazione in campagna ci si serve del permeometro.

La misura viene effettuata all'interno di un foro scavato con apposita trivella fino alla profondità desiderata; il terreno asportato durante l'esecuzione del foro può essere utilizzato per la determinazione dell'umidità iniziale. La profondità del foro dipende dall'andamento degli orizzonti e, date le caratteristiche strutturali dello strumento, il foro dell'orizzonte superficiale deve avere una profondità minima di 15 cm.

Descrizione dello strumento.

Il permeometro di Guelph è costituito da un treppiede nel quale viene infilato il tubo corrispondente al cilindro esterno da immettere nel foro di misura, da un tubo interno al precedente e di lunghezza pari a tutto lo strumento, utile per l'aspirazione dell'aria, entrambi inseriti superiormente mediante supporto sagomato a tenuta stagna in quella parte dello strumento che funge da serbatoio per l'acqua. Al di sopra della parte costituente la riserva d'acqua (3.18 litri) vi sono un cilindro graduato (in cm) per poter impostare il livello del

carico idraulico da applicare e la parte finale del tubo d'aspirazione dell'aria. Un altro supporto sagomato ed a tenuta stagna contiene il foro per l'immissione dell'acqua e sostiene le parti terminali dell'apparecchiatura. Il fondo dello strumento, praticamente la parte a contatto col suolo è costituita da un anello in gomma tappato alla base e fessurato longitudinalmente nel quale è inserita la parte terminale del cilindro esterno. Questo anello è appositamente sagomato per permettere al tubo d'aspirazione dell'aria di poter fungere da tappo in fase di inizio prova e non far fuoriuscire l'acqua. L'intervallo di K_{fs} misurabile va da 36 a 0.0036 cm/ora, con un carico applicabile da 2.5 a 25 cm.



Figura 26. Componenti del permeametro di Guelph

Materiale necessario.

Oltre al permeametro ed al relativo corredo di supporto costituito dalla sonda per l'esecuzione del foro e dagli attrezzi per la pulizia dello stesso, sono necessarie alcune taniche di acqua. Nelle condizioni operative descritte bisogna avere una riserva idrica di circa 5 litri/prova. Sono inoltre necessari un imbuto adatto al foro di ricarica del permeametro, una vanghetta, alcuni sostegni per il fissaggio a terra del piedistallo (solamente per prove in zone declivi) e la solita cassetta contenente il materiale per i rilevamenti pedologici. Da non dimenticare macchina fotografica, cronometro, carta e penna.

Esecuzione di una prova.

Una volta individuato il sito, aperto il foro, posizionato lo strumento e rifornita di acqua la sua riserva, si è pronti per l'esecuzione della prova. Il terreno asportato durante l'esecuzione del foro potrà essere utilizzato per la determinazione dell'umidità iniziale dello stesso. Dopo aver prelevato il campione e controllato che il permeametro sia in posizione di lavoro (perpendicolare al terreno in caso di siti pianeggianti ed a piombo nel caso di aree declivi), alzare il tubo posto all'interno del cilindro graduato collocato sulla sommità dello strumento di 5 cm, attendere qualche istante, rilevare l'altezza dell'acqua all'interno della riserva e dare il via al cronometro. Rilevare l'altezza dell'acqua all'interno della riserva ogni minuto e riportare i dati su apposito modulo sino al raggiungimento della velocità di infiltrazione costante.

Mediamente nelle condizioni operative descritte ed in funzione dell'umidità del suolo di partenza, sono necessari dai 15 ai 30 minuti per l'esecuzione della singola determinazione, quindi complessivamente circa 60 minuti per un'intera prova.

In letteratura esistono diversi approcci computazionali per determinare il valore della K_{sat} a partire dalla velocità di flusso misurata sotto i due carichi, sia singolarmente che congiuntamente. Tra questi i più utilizzati per trattare le letture in corrispondenza dei singoli valori di carico sono: il metodo di Amoozegar e Warrick (1986), noto anche come *soluzione di Glover*, quello di Reynolds e Elrick (1990), noto come *half source solution*, e il metodo di Zang et al. (1998). Per il trattamento congiunto delle letture a 5 e 10 cm viene utilizzato il metodo di Reynolds et al. (1985). Questo ultimo approccio è quello solitamente utilizzato per determinare il valore di K_{sat} , tuttavia la letteratura scientifica ha più volte sottolineato la forte sensibilità del metodo alle condizioni di campagna che il più delle volte si allontanano dagli assunti teorici alla base del calcolo: il suolo viene infatti trattato come un mezzo poroso isotropo, rigido ed omogeneo pur essendo sostanzialmente anisotropo, deformabile ed eterogeneo. Per questo motivo ci si orienta nel considerare più rappresentativo della reale K_{sat} il valore medio ottenuto applicando tutti i metodi sopracitati a ciascun sito di misura, in analogia con i cosiddetti *ensemble approach* adottati nella modellistica climatologica ed idrologica.

Nella figura 27 è riportato l'istogramma delle frequenze dei valori di conducibilità idraulica espressi in mm/ora e le statistiche descrittive delle misure effettuate nei 19 siti selezionati e le statistiche descrittive dei valori ottenuti con i quattro metodi di stima sopra citati. I valori sottoposti ad analisi statistica sono stati quelli per i quali si è osservato un valore di $K_{sat\ 5\ cm} < K_{sat\ 10\ cm}$ e valori non negativi per le K_{sat} ottenute con il metodo di Reynolds et al. (1985).

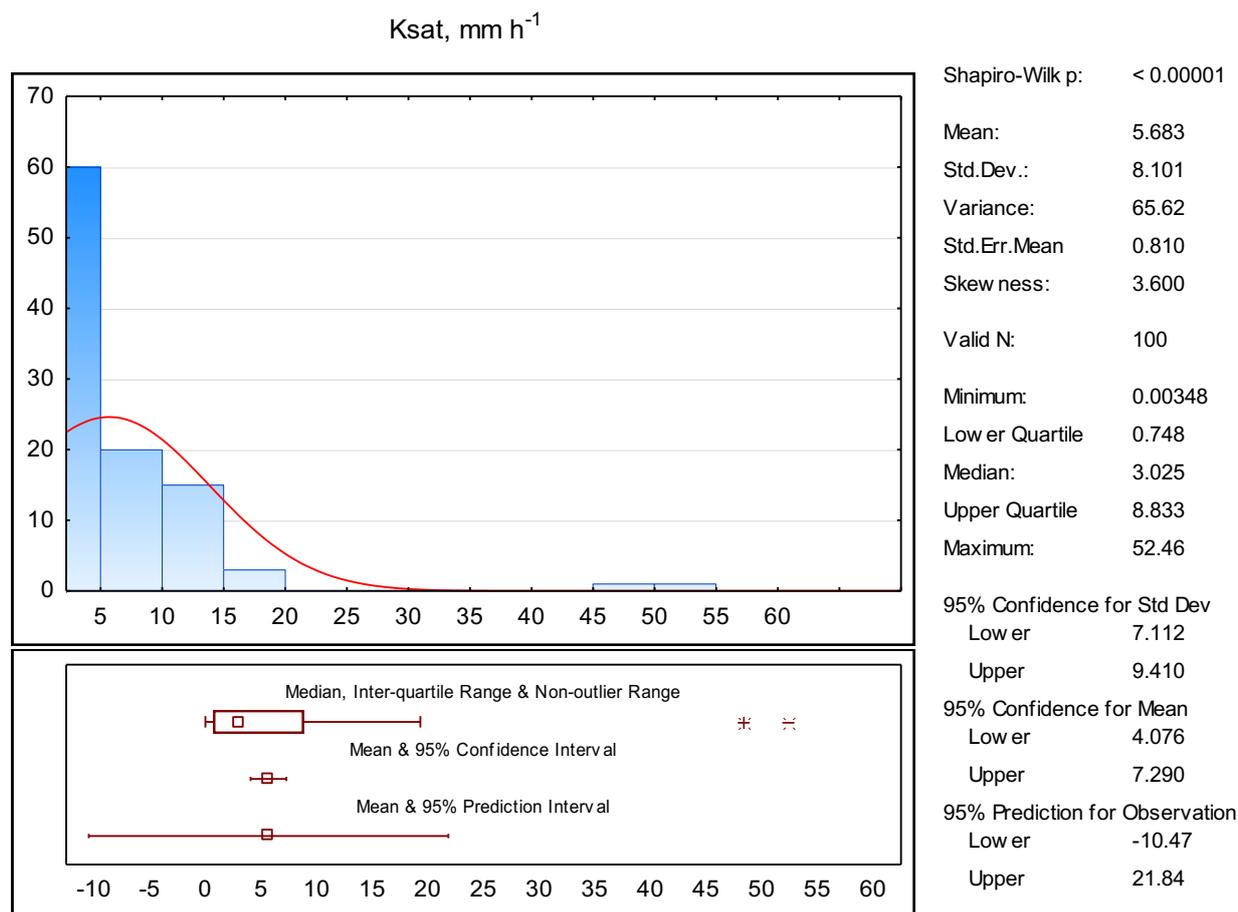


Figura 27. Istogramma delle frequenze, box e whisker plot e statistiche descrittive dei valori di Ksat (mm h⁻¹).

Nella tabella seguente (tabella 12) sono riportati i valori di Ksat in funzione della tipologia di uso del suolo osservata nel sito di campionamento. I valori medi osservati (fig. 28) non differiscono significativamente tra loro ma tuttavia sono in linea con quanto atteso in base all'uso del suolo e al grado di compattazione.

USO	Media	N	Std.Dev.	Std.Err.	Min	P10	Q25	Mediana	Q75	P90	Max
Parco	6.30	59	9.97	1.30	0.003	0.066	0.44	2.35	10.46	14.95	52.46
Agricolo	5.68	19	4.32	0.99	0.063	0.157	2.79	5.26	9.38	13.08	14.19
Aiuola	2.36	17	1.54	0.37	0.418	0.493	1.05	2.39	3.20	5.23	5.68
Foresta urbana	9.70	5	4.15	1.85	5.366	5.366	6.30	8.82	13.43	14.57	14.57
All Grps	5.68	100	8.10	0.81	0.003	0.164	0.75	3.02	8.83	13.70	52.46

Tabella 12. Statistiche descrittive per la Ksat (mm h⁻¹) in funzione dell'uso del suolo nei siti di misura.

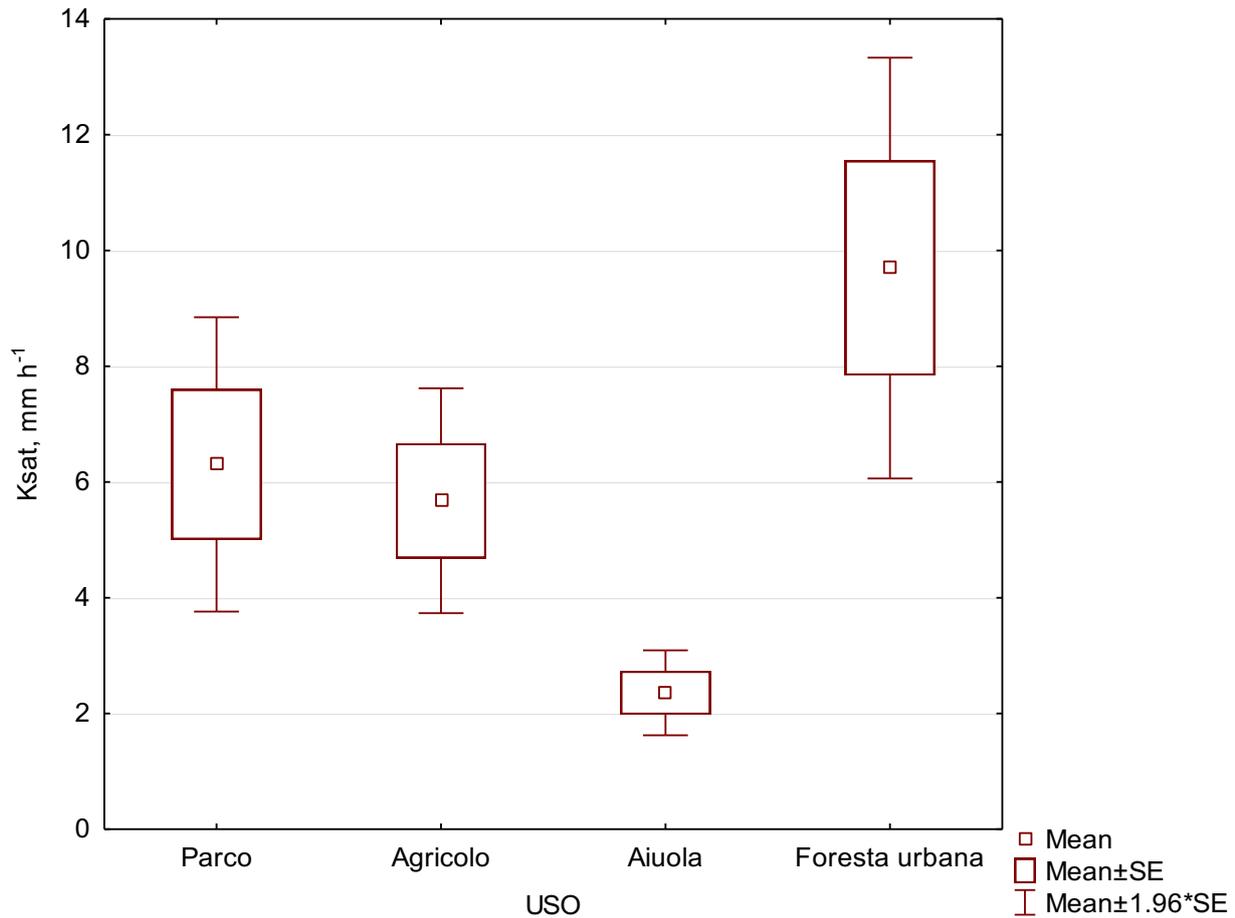


Figura 28. Valori medi e intervalli di confidenza per la Ksat (mm h⁻¹) in funzione dei diversi uso del suolo nei siti di misura.

Nella tabella seguente (tabella 13) sono riportati i valori di Ksat in funzione delle unità cartografiche della carta dei suoli urbani. In questo caso il valore relativo all'unità LUC3 (13.4 mm h⁻¹) è significativamente diverso ($p < 0.05$) dai valori osservati nelle unità PET1 (1.45 mm h⁻¹), CRP (1.70 mm h⁻¹) e BCP1 (3.91 mm h⁻¹). Tuttavia va tenuto presente che il valore medio dell'unità LUC3 è fortemente influenzato dalla misura relativa ad un sito di campionamento (T0010, Parco Vittime delle mafie), su probabile materiale di riporto caratterizzato da tessitura franco limosa/franca, con il 35% di sabbia ed il 50% di limo (con 39% limo grosso) ed il minor contenuto in argilla % osservato nei siti di misura (15.5%).

Unità	Media	N	Std.Dev.	Std.Err.	Min	P10	Q25	Mediana	Q75	P90	Max
BCP1	3.91	18	5.02	1.18	0.06	0.16	0.44	1.54	5.75	14.39	15.61
BCP2	2.53	7	0.87	0.33	1.05	1.05	1.64	2.84	3.30	3.40	3.40
CRP	1.70	12	2.05	0.59	0.00	0.01	0.11	0.62	2.80	5.23	5.68
LUC3	13.41	15	15.98	4.13	0.12	0.45	3.55	9.65	13.62	48.34	52.46
PET1	1.45	9	1.23	0.41	0.42	0.42	0.70	1.05	1.36	3.70	3.70

PET2	6.08	27	5.72	1.10	0.02	0.07	0.35	5.08	12.21	14.57	16.85
CTL1	6.79	12	4.13	1.19	1.11	2.79	3.21	6.13	9.63	13.08	14.19
All Grps	5.68	100	8.10	0.81	0.00	0.16	0.75	3.02	8.83	13.70	52.46

Tabella 13. Statistiche descrittive per la K_{sat} ($mm\ h^{-1}$) in funzione delle unità cartografiche della carta dei suoli urbani.

Nel grafico in figura 29 sono riportati i valori di K_{sat} per i singoli siti di misura. Nuovamente, anche in questo caso la sola differenza statisticamente significativa ($p < 0.05$) nei valori medi osservati è quella tra il sito T0010 e tutti gli altri.

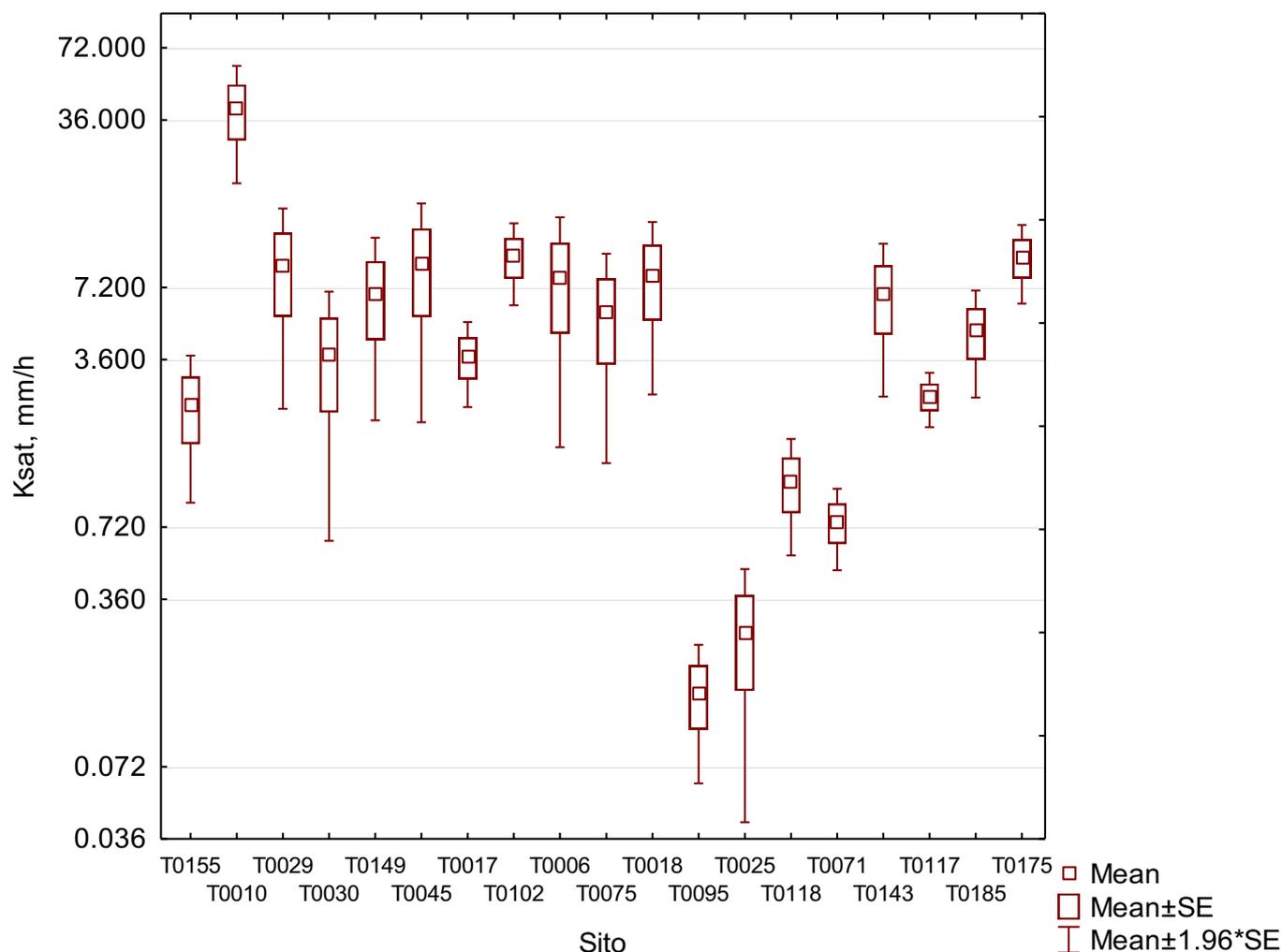


Figura 29. Valori medi e intervalli di confidenza per la K_{sat} ($mm\ h^{-1}$) nei 19 siti di misura.

La maggior parte dei siti (12) è caratterizzata da valori di conducibilità idrica satura moderatamente elevati, compresi tra 3.6 e 10 mmh^{-1} ; in quattro siti si osservano valori moderatamente bassi (tra 3.6 e 0.7 mmh^{-1}) e due i siti infine caratterizzati da bassi valori di conducibilità idrica satura, inferiori a 0.36 mmh^{-1} (tabella 14).

	Media	N	Std.Dev.	Std.Err.	Min	P10	Q25	Mediana	Q75	P90	Max
T0006	7.83	4	6.41	3.20	0.12	0.12	2.57	8.79	13.09	13.62	13.62
T0010	40.04	3	18.06	10.43	19.32	19.32	19.32	48.34	52.46	52.46	52.46
T0017	3.72	5	1.64	0.73	2.09	2.09	2.39	3.20	5.23	5.68	5.68
T0018	8.04	4	5.57	2.79	1.82	1.82	3.35	8.54	12.73	13.25	13.25
T0025	0.26	7	0.30	0.11	0.00	0.00	0.01	0.21	0.44	0.80	0.80
T0029	8.80	4	6.70	3.35	0.98	0.98	3.24	9.64	14.36	14.95	14.95
T0030	3.77	7	4.24	1.60	0.06	0.06	0.16	3.02	6.28	11.46	11.46
T0045	9.05	4	7.22	3.61	0.44	0.44	3.10	10.07	15.00	15.61	15.61
T0071	0.76	5	0.32	0.14	0.42	0.42	0.49	0.70	1.05	1.14	1.14
T0075	5.64	4	4.40	2.20	0.45	0.45	2.00	6.22	9.27	9.65	9.65
T0095	0.15	7	0.12	0.04	0.02	0.02	0.06	0.11	0.23	0.35	0.35
T0102	9.70	5	4.15	1.85	5.37	5.37	6.30	8.82	13.43	14.57	14.57
T0117	2.53	7	0.87	0.33	1.05	1.05	1.64	2.84	3.30	3.40	3.40
T0118	1.11	7	0.76	0.29	0.24	0.24	0.59	0.81	1.68	2.43	2.43
T0143	6.74	7	5.69	2.15	0.94	0.94	2.35	5.08	10.55	16.85	16.85
T0149	6.81	4	4.90	2.45	1.23	1.23	2.71	7.32	10.91	11.35	11.35
T0155	2.33	4	1.44	0.72	0.82	0.82	1.09	2.39	3.56	3.70	3.70
T0175	9.64	5	3.97	1.78	5.23	5.23	6.34	9.38	13.08	14.19	14.19
T0185	4.74	7	3.03	1.14	1.11	1.11	2.79	3.40	7.06	9.89	9.89
All Grps	5.68	100	8.10	0.81	0.00	0.16	0.75	3.02	8.83	13.70	52.46

Tabella 14. Statistiche descrittive per la K_{sat} ($mm\ h^{-1}$) nei 19 siti di misura.

4.3 Biodiversità (BIO)

4.3.1 La qualità ed indice di fertilità biologica (IBF)

La qualità del suolo viene definita nel 1993 da Doran e Parkin nel 1993 come "la capacità di interagire con l'ecosistema al fine di mantenere la produttività biologica, la qualità ambientale e promuovere la salute animale e vegetale".

Questa definizione presenta il suolo come un corpo dinamico, vivente e naturale capace di svolgere molti ruoli chiave nell'ecosistema terrestre. Questo corpo dinamico viene mosso ed alimentato dalla sua componente biologica che agisce come un piccolo e labile serbatoio di sostanze nutritive a lungo termine. La biomassa microbica del suolo e la respirazione piuttosto che la quantità totale di C organico, sono state suggerite come misure utili e sensibili al cambiamento della sostanza organica. Lo studio della relazione tra la biomassa microbica C (C_{mic}), il carbonio organico totale (TOC) e il quoziente metabolico, che è il tasso di CO_2 per unità di biomassa e tempo, possono fornire la comprensione dei cambiamenti biologici e chimici che si verificano sotto diverse pratiche agricole.

Per un valido confronto delle qualità del suolo tra le variazioni di clima, tipologia del suolo e gestione, sono state definite linee guida di riferimento e degli indicatori di qualità del suolo che consentono di interpretare le relazioni tra gli attributi del terreno misurati e le funzioni del suolo.

I parametri biochimici sono stati analizzati seguendo i metodi ISO 16072:2002 Metodo per saggiare la qualità del suolo – Metodi di laboratorio per determinare la respirazione microbica del suolo.

Campionamento

Per le analisi di tipo biochimico si utilizza un campione di suolo fresco e poco manipolato in cui la struttura e le proprietà metaboliche delle comunità microbiche presenti siano poco o affatto alterate. Per ottenere un campione medio, effettivamente rappresentativo di un appezzamento di suolo, si è scelto di effettuare un campionamento randomizzato in due diversi punti di prelievo. I campioni sono stati prelevati in 19 siti (figura 14). La maggior parte dei campioni proviene da parchi (Vp, N =42, 12 siti), a seguire aiuole e seminativi (Rv e Se, N = 9, tre siti ciascuno) e infine bosco (Br, N =6, un sito). Si è deciso di campionare tutti i suoli in primavera (Marzo –Aprile) evitando periodi di particolare piovosità. Per ogni campionamento si è compilata una scheda di campagna.

Una volta campionati i suoli sono stati setacciati freschi a <2mm e successivamente analizzati. I campioni che non sono stati processati nell'immediato sono stati conservati a -20°C.

Respirazione del suolo in laboratorio

La respirazione è stata misurata in laboratorio in seguito ad incubazione a 25°C di 15 grammi di terreno (replicato tre volte) in contenitori a tenuta ermetica con un contenuto di supporto 5 ml di 0,1 M NaOH (trappola alcalina per CO_2). Al quarto giorno di incubazione l'eccesso di NaOH è stato quindi titolato con 0,1 N di HCl. La mineralizzazione C cumulativa è stata calcolata sommando la quantità di C stimolata durante l'incubazione.



Figura 30. Un momento del campionamento e incubazione dei suoli per analisi di respirazione in laboratorio.

Biomassa microbica, e calcolo degli indici ecofisiologici (qCO_2) e (qM)

Il contenuto di biomassa microbica è stato determinato tramite il metodo del dosaggio dell'ATP con il metodo bioluminometrico. L'adenosina trifosfato (ATP) è stata estratta dal suolo come indicato da Ciardi e Nannipieri (1990). Venti millilitri di una soluzione estraente di acido solforico vengono aggiunti a 1 g di suolo, e il contenitore sigillato viene agitato in una vasca fredda. In seguito la miscela viene filtrata attraverso un filtro di cellulosa senza ceneri e viene usata un'aliquota per misurare il contenuto di ATP con un saggio luciferina-luciferasi con luminometro (Optocomp 1, MGM Instruments, Inc.). L'ATP è una molecola presente in tutte le cellule metabolicamente attive, siano di origine procariotica che eucariotica, in quanto fornisce l'energia necessaria per le diverse attività cellulari.

La quantità di C-CO₂ prodotta per unità di biomassa C microbica è stata determinata per calcolare il quoziente metabolico (qCO_2), mentre il quoziente microbico (qM) è stato calcolato come il rapporto tra la biomassa C microbica e il carbonio organico totale misurato.

Calcolo dell'indice sintetico di fertilità biologica (IBF)

Per ciascuno dei parametri descritti precedentemente sono stati fissati 5 intervalli di valori a ciascuno dei quali è stato assegnato il punteggio dell'intervallo a cui appartiene (Tabella 15); la somma algebrica dei punteggi per ciascun parametro dà origine alla scala di fertilità biologica riportata nella Tabella 15 (Benedetti et al., 2008).

Parametri utilizzati	Punteggio				
	1	2	3	4	5
Sostanza organica TOC*1.724	< 1,0	≥ 1,0 ≤ 1,5	> 1,5 ≤ 2,0	> 2,0 ≤ 3,0	> 3,0
Respirazione basale Cbas	< 5	≥ 5 ≤ 10	> 10 ≤ 15	> 15 ≤ 20	> 20
Respirazione cumulativa Ccum	< 100	≥ 100 ≤ 250	> 250 ≤ 400	> 400 ≤ 600	> 600
Carbonio microbico Cmic	< 100	≥ 100 ≤ 200	> 200 ≤ 300	> 300 ≤ 400	> 400
Quoziente metabolico qCO ₂	≥ 0,4	< 0,4 ≥ 0,3	< 0,3 ≥ 0,2	< 0,2 ≥ 0,1	< 0,1
Quoziente di mineralizzazione qM	< 1,0	≥ 1 ≤ 2	> 2 ≤ 3	> 3 ≤ 4	> 4

Classe di Fertilità	I	II	III	IV	V
	stanchezza allarme	stress preallarme	media	buona	alta
Punteggio IBF	6	7-12	13-18	19-24	25-30

Tabella 15. Valori attribuiti ai parametri di laboratorio e scala di classe di fertilità biologica

Le analisi dei parametri biochimici ed il calcolo della classe di fertilità dei suoli non ha riportato differenze all'interno degli usi dei suoli. Tutti i 19 suoli analizzati rientrano nella classe di fertilità media, anche se, all'interno di questa classe il range è molto ampio e sussistono delle differenze di valori tra i gruppi analizzati.

Uso	Suolo	Ubicazione	sito	CA MPI ON	SOM	punteggio IBF	C biomassa mic mg C	punteggio IBF	Respirazione cum mg/kg	punteggio IBF	Respirazione basale mg/kg	punteggio IBF	qCO ₂	punteggio IBF	qM	untaggio IB	IBF	CLASSE DI FERTILITÀ BIOLOGICA
parco	ACTL1	Catellani	E7425T0006	1	2.08483	4	163.3119	2	68.44866	1	2.852028	1	0.015156	5	0.565691	1	14	III
parco	BCTL1	Vittime della ma	E7425T0010	1	1.60239	3	132.2578	2	65.75238	1	2.739683	1	0.020881	5	0.707015	1	13	III
parco	BCTL3	Parco G.P.II	E7425T0018	1	2.08483	4	156.9322	2	77.60624	1	3.233593	1	0.023798	5	0.641374	1	14	III
aiuola	BCTL3	Dante Alighieri	E7425T0017	1	4.73825	5	321.3563	4	74.02109	1	3.084212	1	0.00911	5	0.269168	1	17	III
parco	CCTL1	Navigatori	E7425T0025	1	4.61764	5	308.7084	4	100.3057	1	4.179403	1	0.012763	5	0.374275	1	17	III
parco	CCTL1	Resistenza	E7425T0029	1	3.22201	5	219.8171	3	116.6373	1	4.859889	1	0.018526	5	0.623729	1	16	III
seminativo	DCTL1	Cimitero sud	E7425T0030	1	2.27436	4	162.4344	2	90.89724	1	3.787385	1	0.024944	5	0.688615	1	14	III
parco	CCTL3	Gianni Rodari	E7425T0045	1	3.77337	5	262.3617	3	60.17426	1	2.507261	1	0.010712	5	0.274768	1	16	III
aiuola	CCTL1	Fratelli Cervi	E7425T0071	1	4.54872	5	359.2633	4	78.19303	1	3.258043	1	0.008939	5	0.296186	1	17	III
parco	DCTL3	Sabbadina	E7425T0075	1	5.6859	5	416.6234	5	54.51799	1	2.271583	1	0.005863	5	0.165206	1	18	III
parco	DCTL1	Sandro Pertini	E7425T0095	1	1.92976	3	143.4621	2	79.43739	1	3.309891	1	0.020476	5	0.709262	1	13	III
bosco	DCTL1	Cappuccina	E7425T0102	1	2.10206	4	262.863	3	75.82744	1	3.159477	1	0.01128	5	0.621536	1	15	III
aiuola	DCTL3	Stoccolma	E7425T0116	1	2.96356	4	210.5279	3	66.81102	1	2.783793	1	0.013426	5	0.388436	1	15	III
parco	DCTL1	Pittori	E7425T0118	1	3.15309	5	245.023	3	73.58758	1	3.066149	1	0.012683	5	0.402118	1	16	III
parco	ACTL1	Parco del Bacino	E7425T0143	1	4.58318	5	327.3927	4	91.79968	1	3.824987	1	0.010826	5	0.345112	1	17	III
parco	ECTL3	Conad	E7425T0149	1	3.42877	5	263.2277	3	52.73734	1	2.197389	1	0.009189	5	0.265012	1	16	III
parco	ACTL1	San Rocco	E7425T0155	1	3.58384	5	283.5014	3	79.35356	1	3.306398	1	0.012194	5	0.381507	1	16	III
seminativo	ACTL1	Frignani	E7425T0175	1	2.53281	4	305.4822	4	71.58864	1	2.98286	1	0.012383	5	0.486998	1	16	III
seminativo	ACTL1	Zappiano	E7425T0185	1	2.55004	4	230.2553	3	77.60624	1	3.233593	1	0.015989	5	0.524366	1	15	III

Tabella 16. Parametri biochimici analizzati e rispettivi punteggi attribuiti per il calcolo della classe di fertilità

Differenze significative per uso del suolo si trovano per il qM (%) in cui i suoli ad uso aiuola hanno i valori significativamente (p<0.05) più bassi rispetto agli altri usi.

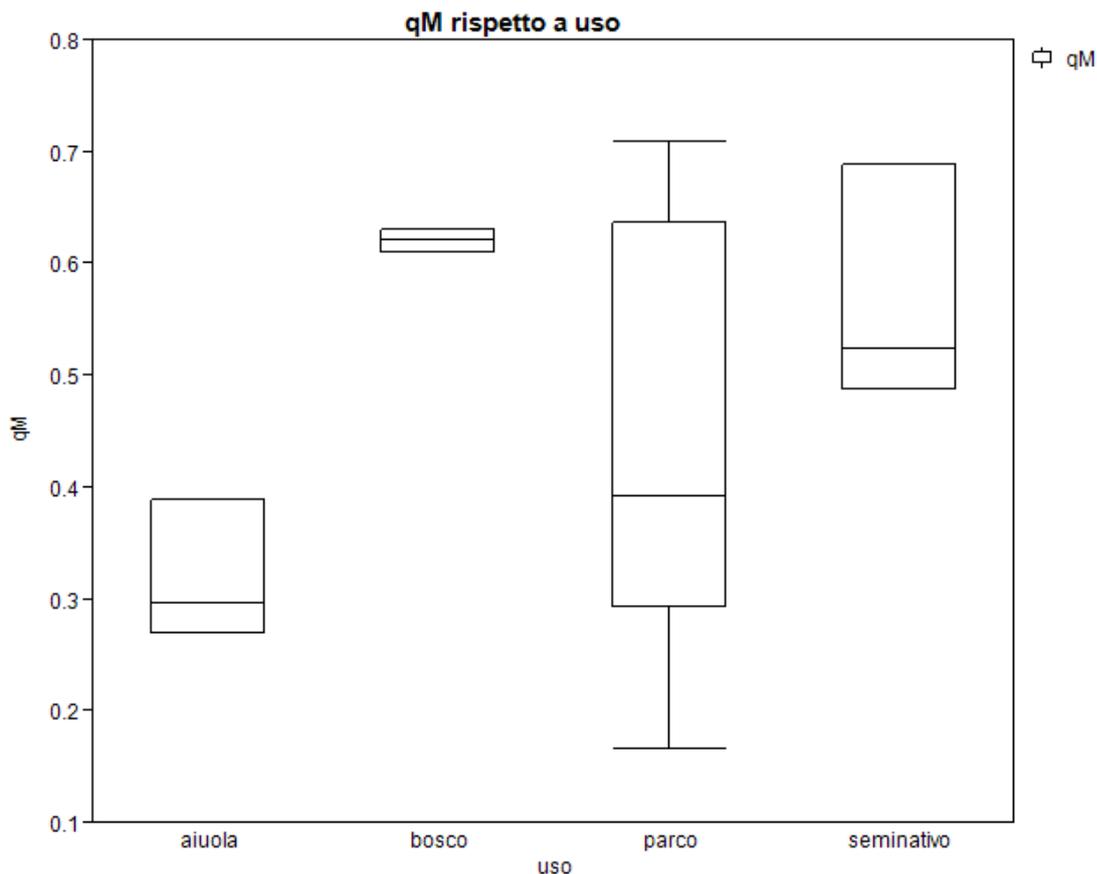


Figura 31. Valori medi qM(%) divisi per uso del suolo

4.3.2 Indice QBS (Qualità biologica) e indici EcoMorfologici (EMI)

Il QBS-ar è stato ideato nel 1998 dal Professor Vittorio Parisi e collaboratori dell'Università di Parma e valuta la qualità biologica di un suolo attraverso l'analisi di tutti i gruppi di micro artropodi presenti nel terreno (insetti, aracnidi, miriapodi, crostacei) che vengono utilizzati come bioindicatori. Questi organismi presentano una serie complessa di adattamenti alla vita nell'ambiente edafico e si dimostrano sensibili allo stato di sofferenza di un suolo che può derivare dalle lavorazioni agricole e dal compattamento dovuto al passaggio di uomini e mezzi.

Gli animali del suolo presentano gradi diversi adattamenti e conseguenze alla vita ipogea, come ad esempio la miniaturizzazione, l'anoftalmia (assenza degli organi visivi), l'allungamento e l'appiattimento del corpo, l'accorciamento delle appendici sensoriali e locomotorie, la riduzione o la scomparsa di alcune appendici come la furca (organo utilizzato per il salto) nei Collemboli o le ali metatoraciche nei Coleotteri, la presenza di organi sensoriali per recepire il grado di umidità come l'organo postantennale dei Collemboli, la depigmentazione o l'eventuale pigmentazione criptica per confondersi con le particelle di terra come negli

Acari, la riduzione o la scomparsa degli organi sensoriali che recepiscono le radiazioni luminose (Menta, 2012).

I vari gruppi sono definiti da forme biologiche caratterizzate dalla stessa serie di caratteri convergenti. Questi organismi si sono così adattati all'ambiente edafico che al di fuori di esso non possono più sopravvivere (Parisi et al., 2005).

I microartropodi hanno un ruolo importante nella catena del detrito e nel flusso energetico che accompagna gli ultimi stadi del ciclo della materia. Sono coinvolti nella triturazione e sminuzzamento dei residui vegetali, nella demolizione e traslocazione della sostanza organica, controllano e disperdono la microflora e la microfauna e sono predatori della micro e mesofauna (Menta, 2012). Si possono quindi considerare dei buoni bioindicatori. Il grado di adattamento delle forme biologiche alla vita nel suolo varia in base alla presenza e alla combinazione dei caratteri sopra citati e per quantificarlo si utilizza una scala di riferimento di punteggi chiamati EMI (Indici EcoMorfologici): per ogni carattere che evidenzia l'adattamento al suolo si attribuisce un punteggio, da un minimo di 1 ad un massimo di 20, a seconda che la forma considerata sia pochissimo o decisamente adattata al suolo. Nel QBS-ar non si fa riferimento tanto alla tassonomia, quanto piuttosto al tasso di adattamento al suolo, alla convergenza evolutiva.

Quando in un campione di pedofauna prelevato dal suolo sono presenti diverse forme biologiche appartenenti allo stesso gruppo, si tiene conto solamente del valore di EMI più alto riscontrato (EMI massimale). L'Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS-ar) è un punteggio totale attribuito a un campione di terreno, dato dalla somma di tutti i valori dei singoli EMI.

L'applicazione del metodo QBS-ar si articola in 5 cinque fasi: prelievo del campione, estrazione e conservazione dei microartropodi, determinazione delle forme biologiche contenute e infine calcolo dell'indice QBS-ar .

Prelievo del campione

I campionamenti, tutti avvenuti in primavera nel periodo di Marzo-Aprile, hanno tenuto conto delle informazioni sull'uso del suolo, i dati relativi alle medie della piovosità precedenti il campionamento nonché dell'umidità del terreno al momento del campionamento.

Sono stati prelevati tre repliche per ogni punto dei 19 siti campionati. Ogni singolo campione estratto (Figura 32) è costituito da tre distinte zolle cubiche di 10 cm di lato (repliche), raccolte in punti distanti tra i 5 e 10m di metri l'uno dall'altro, curando di comprendere la massima variabilità.

Dopo aver rimosso l'eventuale lettiera o copertura erbacea, i campioni sono riposti in buste di plastica in cui deve rimanere una riserva di aria.



Figura 32. Alcuni momenti relativi al campionamento per l'analisi QBS-ar, dalla sinistra rispettivamente seminativo, aiuola, parco.

Estrazione, conservazione e analisi del campione

Entro le 48 ore i campioni sono stati posizionati nell'estrattore Berlese (Figura 33), che consiste in un imbuto in cui viene posto un setaccio a maglie della rete di circa 2 mm, sotto il quale è posto un recipiente di raccolta. A 20 cm al di sopra di esso è posizionata una moderata sorgente di calore, generalmente una lampada da 40 watt, che provoca lo spostamento progressivo della pedofauna attiva verso il basso. La selettura viene fissata direttamente nel recipiente in glicerina e posta in frigo per la conservazione prima dell'analisi. Per il riconoscimento delle forme biologiche in essa contenute, la selettura è stata osservata e analizzata utilizzando un microscopio ottico Zeiss stereoscopico a luce riflessa ad ingrandimenti variabili (Figura 33). Ad ogni taxon è stato assegnato un punteggio utilizzando la scala di riferimento EMI.



Figura 33. Estrattore berlese per la raccolta della pedofauna ed un momento dell'analisi al microscopio per la determinazione dei taxa ed attribuzione degli EMI.

Calcolo del valore EMI

Come detto, gli EMI (Indici EcoMorfologici) non si basano sulla tassonomia in senso stretto, quanto sul principio secondo il quale tutti gli organismi del suolo, indipendentemente dall'origine embriologica, convergono verso una forma biologica (FB) che consenta il miglior adattamento all'ambiente. Alle forme che presentano il maggior grado di adattamento alle condizioni del suolo (edafiche), viene attribuito un punteggio EMI pari a 20, mentre a quelle che lo sono scarsamente è assegnato un punteggio pari a 1 (epiedafiche); tutte le forme biologiche caratterizzate da condizioni intermedie, presentano un punteggio pari al loro grado di specializzazione (emiedafiche). La tabella 17 riporta i punteggi di EMI assegnati ad ogni taxon (Parisi et al 2001).

TAXA	EMI	TAXA	EMI
Pseudoscorpioni	20	Ortotteri	1→ 20
Scorpioni	10	Embiotteri	10
Palpigradi	20	Fasmodei	1
Opilioni	10	Mantodei	1
Araneidi	1→ 5	Mecotteri	1→ 10
Acari	20	Isotteri	10
Isopodi	10	Blattari	5
Diplopodi	10→ 20	Psocotteri	1
Paupodi	20	Emitteri	1→ 10
Sinfili	20	Rafidiotteri	1→ 10
Chilopodi	10→ 20	Tisanotteri	1
Proturi	20	Coleotteri	1→ 20
Dipluri	20	Imenotteri	1→ 10
Collemboli	1→ 20	Ditteri	1→ 10
Microcorifi	10	Planipenni (larve)	10
Zigentomi	10	Lepidotteri (larve)	10
Dermatteri	1		

Tabella 17: Punteggio EMI dei principali taxa. Il simbolo → indica che per alcuni taxa il punteggio varia a seconda del grado di adattamento degli individui rinvenuti. Le larve dei Ditteri e dei Coleotteri sono considerate separatamente dagli adulti perché i due stadi vitali hanno ecologie differenti.

Il metodo non è quantitativo, quindi basta trovare un individuo di un gruppo per attribuire il punteggio assegnato. È importante ricordare che, poiché il QBS-ar misura e quantifica la potenzialità del suolo di una determinata area, non si esegue la media delle tre zolle, ma la sommatoria di tutte le forme di fauna edafica trovate (per quelle che si presentano in più zolle, si considera il punteggio più alto raggiunto). L'identificazione al microscopio ha riportato come gruppi più abbondanti gli imenotteri, collemboli, acari, larve, chilopodi, diplopodi.

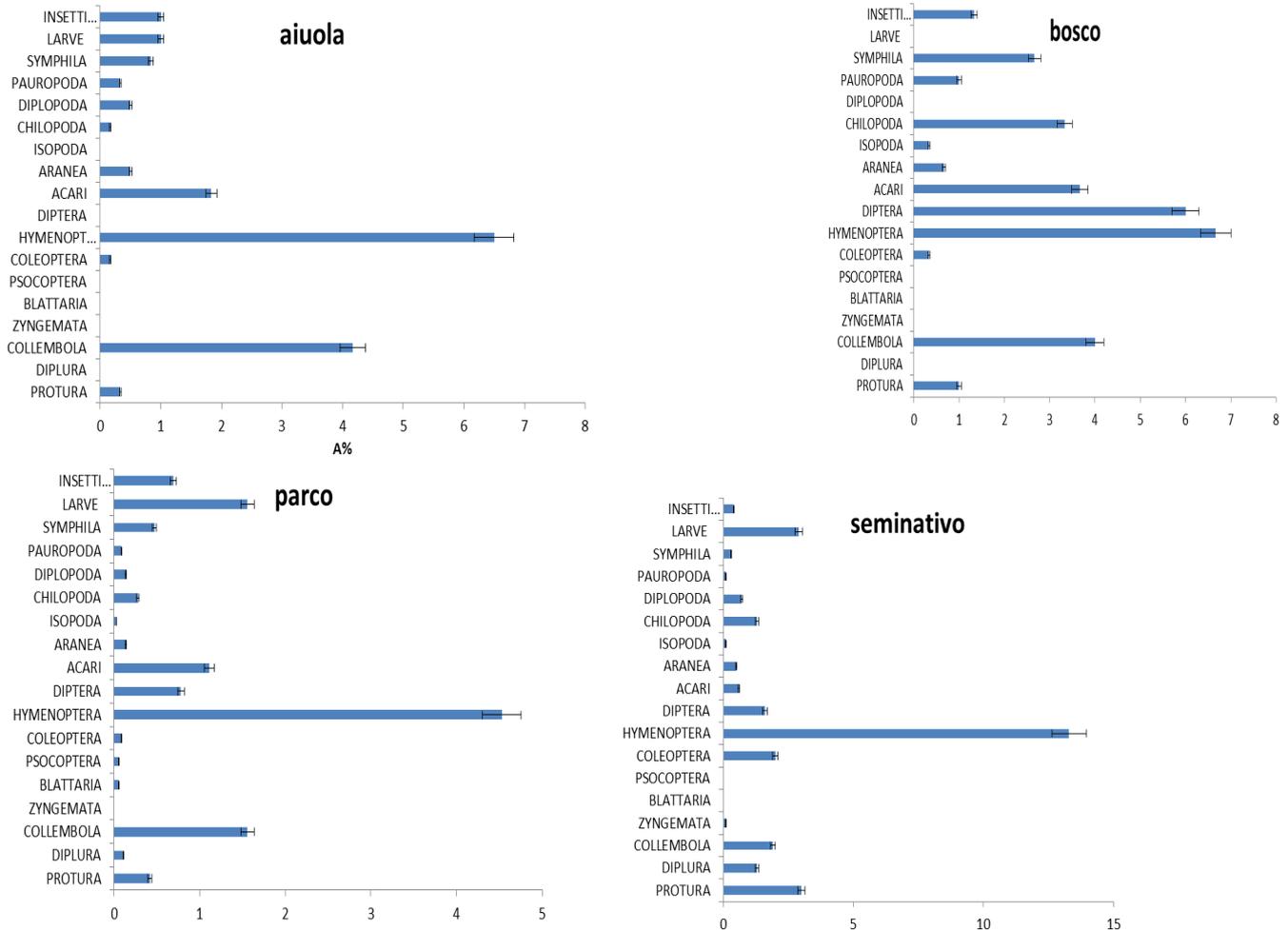


Figura 34. Abbondanza (%) media di ciascun taxa identificato e diviso per uso del suolo.

L'attribuzione dell'EMI massimale ed il calcolo del QBS-ar evidenzia differenze tra i siti che vengono sottolineate anche dall'uso a cui i suoli sono stati destinati. I valori più alti di QBs-ar si ritrovano per il bosco urbano e per il seminativo, mentre valori più bassi sono riportati per i parchi ed aiuole.

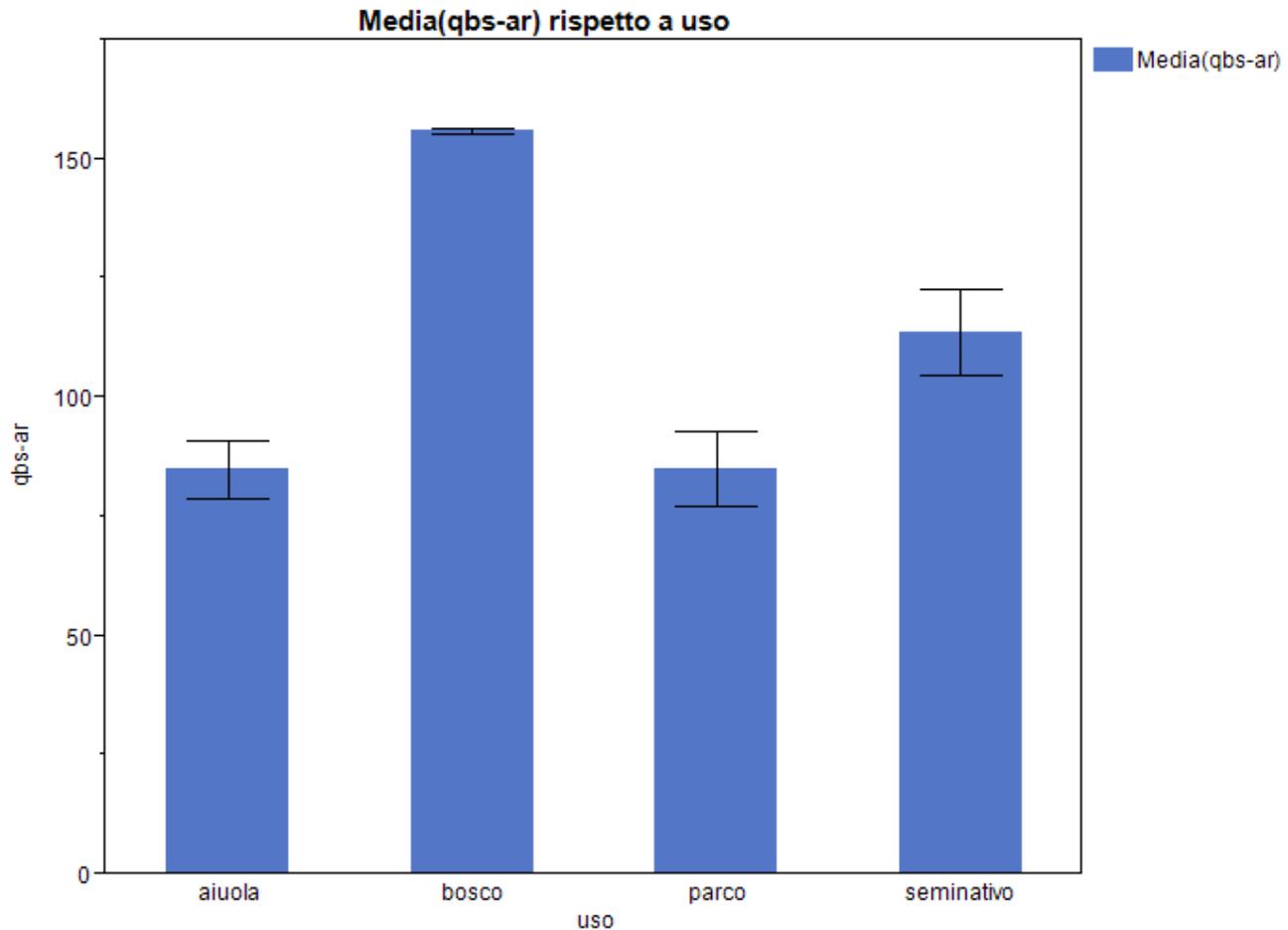


Figura 35. Valori medi del QBS-ar divisi per uso del suolo

Tramite l'identificazione dei taxon al microscopio è stato possibile calcolare l'indice di biodiversità di Shannon (H') per i siti in oggetto. L'indice di Shannon è un indice statistico che misura la diversità di una popolazione in termini di ricchezza. Maggiore è il valore e maggiore è il grado di diversità:

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$$

dove p_i è la proporzione occupata dalla i -esima specie

L'analisi che ha mostrato come ad un valore di QBS-ar più alto non corrisponde sempre un più alto valore di biodiversità (Fig. 36). Nel nostro caso infatti il seminativo ha un indice di Shannon più basso rispetto all'aiuola mentre il bosco ha valori di Shannon superiori a 3.

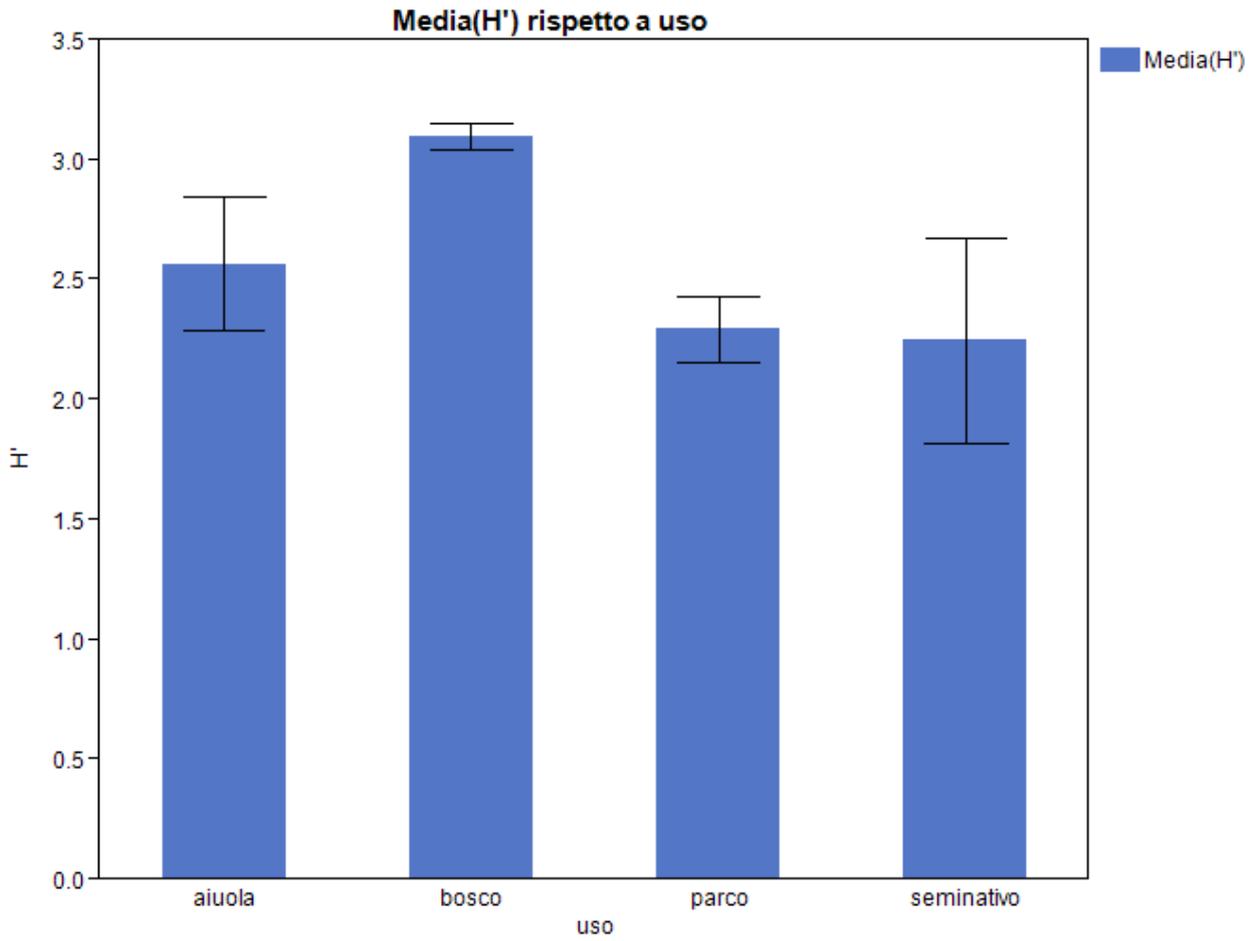


Figura 36. Valori medi dell'indice di biodiversità di Shannon per i diversi usi del suolo.

5. CARTE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI DEI SUOLI URBANI

In aggiunta alle misure dirette relative ai servizi di stoccaggio di carbonio (CST), regolazione dell'acqua (WAR), e supporto alla biodiversità (BIO) descritte nel paragrafo precedente, seguendo l'approccio metodologico illustrato nel rapporto dell'azione B 1.2 "MISURAZIONE A SCALA COMUNALE DEGLI IMPATTI DEL CONSUMO DEI SUOLI E VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI", i servizi ecosistemici dei suoli sono stati valutati sia puntualmente in corrispondenza di tutti i siti di campionamento che arealmente per tutto il territorio oggetto di valutazione. I servizi ecosistemici considerati sono: capacità depurativa (BUF), effetto sul microclima (CLI), stock di carbonio attuale (CST), riserva di acqua (WAS), infiltrazione profonda di acqua (WAR). A questi solo nel caso della valutazione areale si aggiunge la produttività agricola (PRO).

Nel caso della valutazione in corrispondenza dei punti di campionamento, sono stati utilizzati in input le tre frazioni tessiture, sabbia limo e argilla, contenuto in carbonio organico, pH, capacità di scambio cationico (0-30 cm). Le statistiche descrittive delle variabili misurate (N = 113) sono riassunte in tabella 18, mentre i valori medi e la deviazione standard delle stesse variabili per le unità della carta dei suoli urbani sono riportati in tabella 19.

	Media	Std.Dev.	Std err	Min.	P10	P25	P50	P75	P90	Max.	Skew.	Kurt.
Sabbia	23.15	11.77	1.11	1.00	9.80	16.00	23.40	28.10	36.00	77.60	1.11	4.00
Limo	52.97	9.03	0.85	16.50	43.50	48.10	54.30	58.40	63.00	71.80	-0.85	1.93
Argilla	23.88	8.70	0.82	5.00	16.80	19.20	22.30	24.90	32.40	59.40	1.84	4.54
pH	7.82	0.23	0.02	6.97	7.54	7.68	7.84	8.00	8.08	8.21	-0.63	0.65
C org	1.86	0.79	0.07	0.22	0.93	1.27	1.74	2.37	2.75	5.14	0.97	1.91
CSC	31.07	5.66	0.53	13.44	24.10	27.90	30.50	34.20	38.70	45.50	-0.07	0.62

Tabella 18. Statistiche descrittive delle variabili misurate (0-30 cm, N = 113).

Unità suolo	Num oss.	Sabbia		Limo		Argilla		pH		Corg		CSC	
		Media	Dev. std.	Media	Dev, std.	Media	Dev, std.	Media	Dev, std.	Media	Dev, std.	Media	Dev, std.
BCP1	13	28.99	16.61	48.86	12.91	22.14	5.61	7.76	0.23	2.11	0.73	30.41	4.21
BCP2	3	17.83	2.64	56.40	4.11	25.77	5.83	7.77	0.12	2.01	0.40	35.87	1.50
CRP	13	30.36	12.22	49.48	6.39	20.16	8.15	7.75	0.26	2.28	1.27	30.20	6.49
CTL1	14	19.74	6.37	58.01	5.58	22.23	2.04	7.95	0.20	1.24	0.38	29.96	2.25
CTL3	4	15.88	9.77	52.55	10.22	31.60	0.91	7.83	0.27	1.30	0.32	33.48	4.58
FSL1	1	32.00	0.00	46.10	0.00	21.80	0.00	7.80	0.00	0.88	0.00	33.40	0.00
GLS1	1	4.10	0.00	56.00	0.00	39.80	0.00	7.88	0.00	1.85	0.00	41.20	0.00
LUC0	2	23.00	4.24	54.50	1.56	22.55	2.76	8.01	0.08	1.64	0.22	23.10	9.33
LUC1	19	23.09	8.31	57.46	8.64	19.44	3.08	7.84	0.31	1.88	0.78	29.52	5.73
LUC2	7	26.19	7.33	50.83	9.23	22.99	5.17	7.73	0.20	2.11	0.44	29.40	3.76
LUC3	9	26.43	14.25	51.49	10.35	22.09	5.91	7.78	0.21	2.02	0.84	31.28	6.38
MDC3	3	2.97	0.49	50.50	1.31	46.60	1.47	7.86	0.14	1.37	0.19	38.27	4.48
MDC4	1	11.00	0.00	70.40	0.00	18.60	0.00	7.81	0.00	1.22	0.00	32.30	0.00
MRX1	1	4.70	0.00	56.40	0.00	38.90	0.00	7.69	0.00	2.31	0.00	44.70	0.00
NVL1	4	4.35	4.02	43.33	9.76	52.30	6.94	8.02	0.24	1.65	0.37	39.46	7.07
PET1	7	28.59	5.64	50.37	6.34	21.03	2.70	7.77	0.17	2.42	0.47	31.74	4.72
PET2	9	25.36	7.57	52.17	7.92	22.49	2.35	7.84	0.17	1.92	0.62	29.98	3.14
SGR1	1	25.90	0.00	56.70	0.00	17.40	0.00	7.73	0.00	0.85	0.00	17.90	0.00
SMB1	1	12.30	0.00	63.00	0.00	24.60	0.00	8.07	0.00	0.22	0.00	33.20	0.00

Tabella 19. Valori medi e deviazione standard delle variabili osservate in funzione delle unità della carta dei suoli urbani.

Al fine della valutazione dei servizi ecosistemici forniti dai suoli urbani nei siti di campionamento, è necessario stimare tramite l'utilizzo di pedofunzioni di trasferimento (PTF, Ungaro et al., 2005, 2014) le variabili in input richieste per il calcolo degli indicatori definiti per ciascun servizio. Le statistiche descrittive delle variabili stimate o derivate da cartografie esistenti come nel caso della profondità media della falda nel periodo estivo (N = 113) sono riassunte in tabella 20, mentre i valori medi e la deviazione standard delle stesse variabili per le unità della carta dei suoli urbani sono riportati in tabella 21.

	Media	Std.Dev.	Std err	Min	P10	P25	P50	P75	P90	Max	Skew.	Kurt.
BD, Mg m ⁻³	1.44	0.07	0.01	1.18	1.37	1.42	1.45	1.48	1.51	1.55	-1.57	3.70
WC333, vol/vol	0.35	0.04	0.00	0.06	0.32	0.33	0.35	0.36	0.38	0.46	-2.43	19.44
WC1500, vol/vol	0.24	0.04	0.00	0.03	0.20	0.22	0.24	0.25	0.29	0.36	-0.58	5.65
AWC30 vol/vol	0.11	0.02	0.00	0.03	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.17	0.36	3.94
AWC30_mm	47.14	6.75	0.63	12.36	40.04	43.76	46.88	49.96	54.31	70.81	-0.40	7.00
Ksat30, mm h ⁻¹	5.78	29.50	2.78	0.01	0.33	0.77	1.55	2.61	4.75	301.08	9.36	92.23
PSIe30, cm	65.40	26.01	2.45	30.18	39.39	48.85	60.28	72.60	96.00	145.35	1.58	2.47
Falda, cm	175.80	5.36	0.50	168.37	170.18	170.63	174.95	180.67	184.46	186.34	0.60	-1.04

Tabella 20. Statistiche descrittive delle variabili stimate via PTF o derivate da carte esistenti (0-30 cm, N = 113).

	Num	BD, Mgha ⁻¹		WC333		WC1500		AWC30		AWC30, mm		Ksat, mm h ⁻¹		PSIe, cm		Falda, cm	
		Oss	Means	Std.dev	Mean	Std.dev	Mean	Std.dev	Mean	Std.dev	Mean	Std.dev	Mean	Std.dev	Mean	Std.dev	Mean
BPC1	13	1.42	0.08	0.33	0.08	0.22	0.06	0.10	0.02	44.05	10.09	25.19	82.91	57.30	12.75	176.9	5.11
BPC2	3	1.45	0.03	0.36	0.01	0.25	0.01	0.11	0.01	48.30	3.84	0.91	0.37	75.73	9.98	178.9	7.64
CRP	13	1.42	0.09	0.33	0.04	0.21	0.04	0.12	0.02	50.78	5.89	10.47	25.08	54.60	21.88	176.9	5.51
CTL1	14	1.47	0.07	0.34	0.01	0.24	0.02	0.10	0.01	44.63	4.39	1.27	0.72	64.48	11.75	177.2	5.15
CTL3	4	1.50	0.05	0.36	0.01	0.27	0.02	0.09	0.01	39.31	3.03	0.41	0.29	90.58	32.36	180.4	5.88
FSL1	1	1.49	0.00	0.31	0.00	0.19	0.00	0.12	0.00	55.48	0.00	2.15	0.00	39.39	0.00	174.4	0.00
GLS1	1	1.42	0.00	0.41	0.00	0.30	0.00	0.10	0.00	44.43	0.00	0.15	0.00	134.52	0.00	169.8	0.00
LUC0	2	1.47	0.01	0.34	0.02	0.24	0.02	0.10	0.00	44.70	1.96	1.34	0.50	62.24	9.65	184.5	0.00
LUC1	19	1.46	0.06	0.34	0.01	0.23	0.02	0.11	0.02	48.39	5.44	2.59	2.92	60.83	13.87	174.2	5.01
LUC2	7	1.43	0.02	0.34	0.02	0.23	0.02	0.12	0.00	50.75	1.57	2.23	1.02	56.09	15.17	175.2	3.94
LUC3	9	1.44	0.05	0.34	0.04	0.22	0.04	0.12	0.02	51.23	9.20	5.03	9.41	59.09	22.66	174.5	6.06
MDC3	3	1.47	0.04	0.43	0.01	0.34	0.01	0.09	0.00	39.79	1.52	0.04	0.02	143.16	2.38	174.8	3.71
MDC4	1	1.48	0.00	0.35	0.00	0.25	0.00	0.09	0.00	41.18	0.00	0.84	0.00	67.76	0.00	175.6	0.00
MRX1	1	1.23	0.00	0.41	0.00	0.31	0.00	0.10	0.00	36.85	0.00	0.95	0.00	102.28	0.00	170.5	0.00
NVL1	4	1.47	0.03	0.44	0.02	0.34	0.01	0.10	0.01	45.35	5.04	0.02	0.01	123.03	35.87	172.1	3.72
PET1	7	1.41	0.03	0.34	0.01	0.22	0.02	0.12	0.02	51.15	7.17	3.08	1.92	51.46	11.47	173.5	5.33
PET2	9	1.42	0.08	0.34	0.02	0.24	0.02	0.11	0.01	46.01	3.22	2.98	2.71	53.22	13.51	176.2	6.53
SGR1	1	1.50	0.00	0.32	0.00	0.21	0.00	0.11	0.00	47.77	0.00	1.77	0.00	56.12	0.00	176.9	0.00
SMB1	1	1.54	0.00	0.35	0.00	0.25	0.00	0.09	0.00	43.05	0.00	0.35	0.00	77.50	0.00	171.9	0.00

Tabella 21. Valori medi e deviazione standard delle variabili osservate in funzione delle unità della carta dei suoli urbani.

Le tabelle seguenti riportano le statistiche descrittive degli indicatori dei cinque servizi ecosistemici considerati e di due indicatori di sintesi, il numero di *hotspot* e l'indice di qualità dei suoli. Il primo è dato, per

ciascun punto, dalla somma del numero di servizi il cui valore è superiore al 75° percentile della distribuzione osservata, il secondo dalla somma del valore dei cinque indicatori calcolati per ciascun punto di campionamento.

	Media	Std.Dev.	Std err	Min	P10	P25	P50	P75	P90	Max	Skew.	Kurt.
BUF	0.67	0.16	0.02	0.00	0.48	0.60	0.67	0.77	0.87	1.00	-0.98	2.77
CLI	0.61	0.27	0.03	0.00	0.18	0.40	0.67	0.83	0.91	1.00	-0.59	-0.81
WAS	0.69	0.11	0.01	0.00	0.60	0.65	0.69	0.73	0.80	1.00	-1.75	12.72
WAR	0.63	0.20	0.02	0.00	0.41	0.57	0.67	0.74	0.85	1.00	-1.34	2.15
CST	0.64	0.25	0.02	0.00	0.31	0.45	0.64	0.88	1.00	1.00	-0.10	-1.02
IQ	3.24	0.51	0.05	2.24	2.67	2.84	3.19	3.67	3.97	4.33	0.13	-0.90
HOT75	2.24	1.14	0.11	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	0.72	-0.17

Tabella 22. Statistiche descrittive degli indicatori dei servizi ecosistemici nei punti di campionamento (0-30 cm, N = 113).

Soil	Num Oss	BUF		CLI		WAS		WAR		CST		IQ		HOT75	
		Mean	Std.Dev	Mean	Std.Dev.	Mean	Std.Dev.								
BCP1	13	0.66	0.12	0.51	0.30	0.62	0.19	0.71	0.13	0.74	0.18	3.23	0.47	1.92	1.26
BCP2	3	0.80	0.03	0.47	0.38	0.75	0.07	0.55	0.07	0.75	0.15	3.32	0.54	3.00	1.00
CRP	13	0.65	0.18	0.61	0.26	0.66	0.10	0.73	0.18	0.72	0.32	3.36	0.62	2.92	1.44
CTL1	14	0.66	0.06	0.51	0.22	0.67	0.07	0.63	0.09	0.42	0.14	2.88	0.28	1.36	0.63
CTL3	4	0.74	0.12	0.27	0.29	0.74	0.03	0.43	0.20	0.46	0.12	2.64	0.40	2.00	0.82
FSL1	1	0.75	0.00	0.75	0.00	0.50	0.00	0.79	0.00	0.28	0.00	3.07	0.00	2.00	0.00
GLS1	1	0.92	0.00	0.88	0.00	0.88	0.00	0.17	0.00	0.67	0.00	3.51	0.00	4.00	0.00
LUC0	2	0.41	0.34	0.16	0.02	0.66	0.01	0.64	0.07	0.60	0.09	2.47	0.33	1.00	0.00
LUC1	19	0.63	0.19	0.70	0.24	0.68	0.04	0.67	0.11	0.66	0.24	3.33	0.54	2.05	1.03
LUC2	7	0.64	0.10	0.68	0.18	0.68	0.09	0.70	0.10	0.78	0.18	3.48	0.39	2.57	1.13
LUC3	9	0.68	0.17	0.72	0.26	0.68	0.11	0.69	0.18	0.69	0.26	3.45	0.46	2.78	0.97
MDC3	3	0.85	0.10	0.56	0.17	0.91	0.00	0.05	0.04	0.48	0.07	2.85	0.16	2.67	0.58
MDC4	1	0.72	0.00	0.54	0.00	0.71	0.00	0.59	0.00	0.43	0.00	2.99	0.00	1.00	0.00
MRX1	1	0.99	0.00	0.82	0.00	0.80	0.00	0.43	0.00	0.72	0.00	3.77	0.00	3.00	0.00
NVL1	4	0.87	0.16	0.76	0.12	0.94	0.06	0.11	0.15	0.60	0.15	3.28	0.11	3.25	0.50
PET1	7	0.70	0.12	0.78	0.27	0.69	0.03	0.74	0.08	0.86	0.12	3.76	0.42	2.86	1.07
PET2	9	0.65	0.09	0.59	0.30	0.67	0.03	0.72	0.10	0.68	0.25	3.32	0.42	1.89	0.93
SGR1	1	0.23	0.00	0.59	0.00	0.66	0.00	0.69	0.00	0.27	0.00	2.44	0.00	1.00	0.00
SMB1	1	0.74	0.00	0.72	0.00	0.71	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	2.67	0.00	1.00	0.00

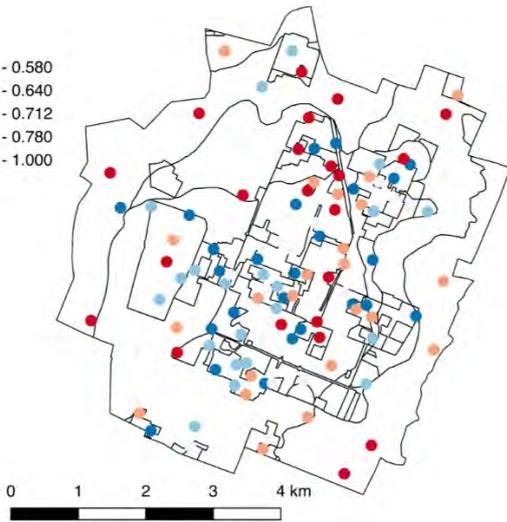
Tabella 21. Valori medi e deviazione standard degli indicatori dei servizi ecosistemici in funzione delle unità della carta dei suoli urbani.

In termini di sinergie e *trade-off* tra servizi nei siti di campionamento, BUF mostra una significativa correlazione negativa con WAR ($r = -0.37$) e sinergie con WAS ($r = 0.32$) e CST ($r = 0.38$); questi due tuttavia non sono significativamente correlati tra loro ($r = 0.01$). CLI è positivamente e significativamente correlato con CST ($r = 0.19$) e WAS ($r = 0.19$), mentre WAR e WAS sono negativamente correlati tra loro ($r = -0.74$). CST mostra infine una correlazione positiva e significativa con WAR ($r = 0.26$).

Le due figure seguenti mostrano i *classed postplot* degli indicatori dei cinque servizi ecosistemici considerati e dei due indicatori di sintesi; in tutti i casi le cinque classi in legenda sono definite in base ai ventili della distribuzione osservata per ciascuna variabile.

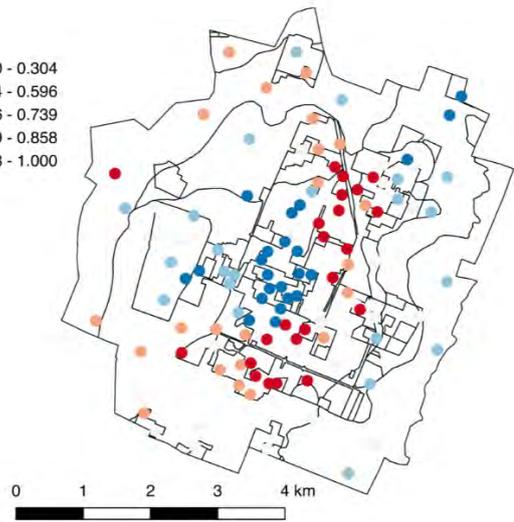
BUF

- 0.000 - 0.580
- 0.580 - 0.640
- 0.640 - 0.712
- 0.712 - 0.780
- 0.780 - 1.000



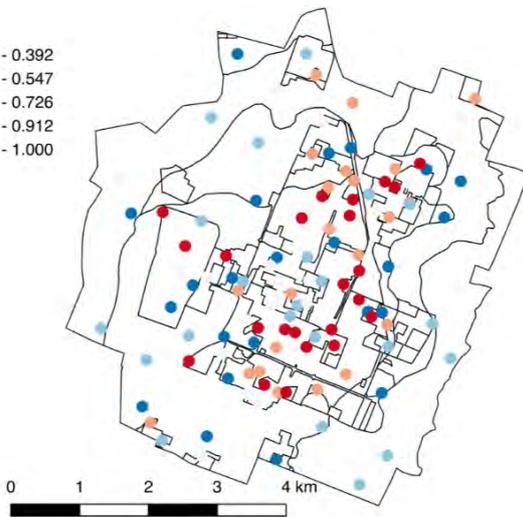
CLI

- 0.000 - 0.304
- 0.304 - 0.596
- 0.596 - 0.739
- 0.739 - 0.858
- 0.858 - 1.000



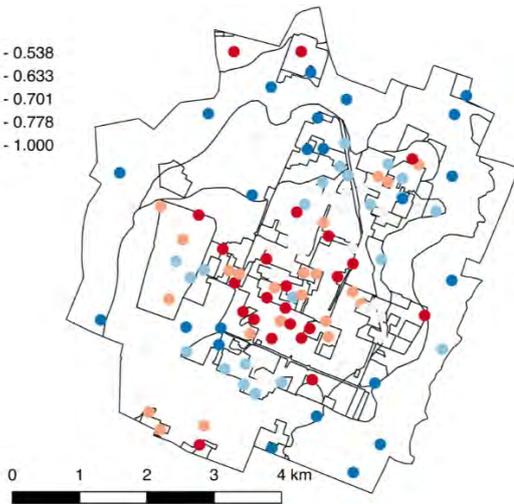
CST

- 0.000 - 0.392
- 0.392 - 0.547
- 0.547 - 0.726
- 0.726 - 0.912
- 0.912 - 1.000



WAR

- 0.000 - 0.538
- 0.538 - 0.633
- 0.633 - 0.701
- 0.701 - 0.778
- 0.778 - 1.000



WAS

- 0.000 - 0.638
- 0.638 - 0.675
- 0.675 - 0.698
- 0.698 - 0.744
- 0.744 - 1.000

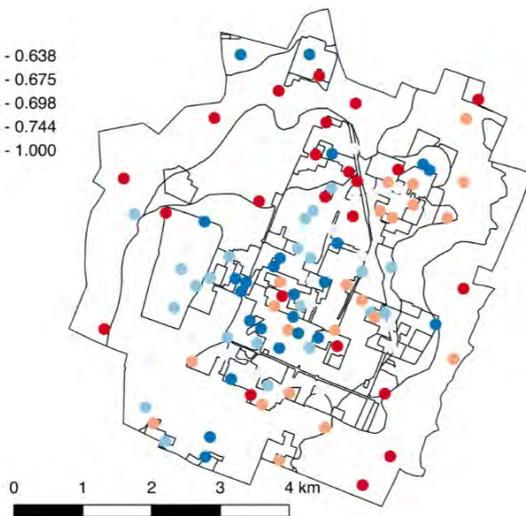


Figura 37. Classed post plot degli indicatori dei servizi ecosistemici dei suoli nei siti di campionamento (N = 113).

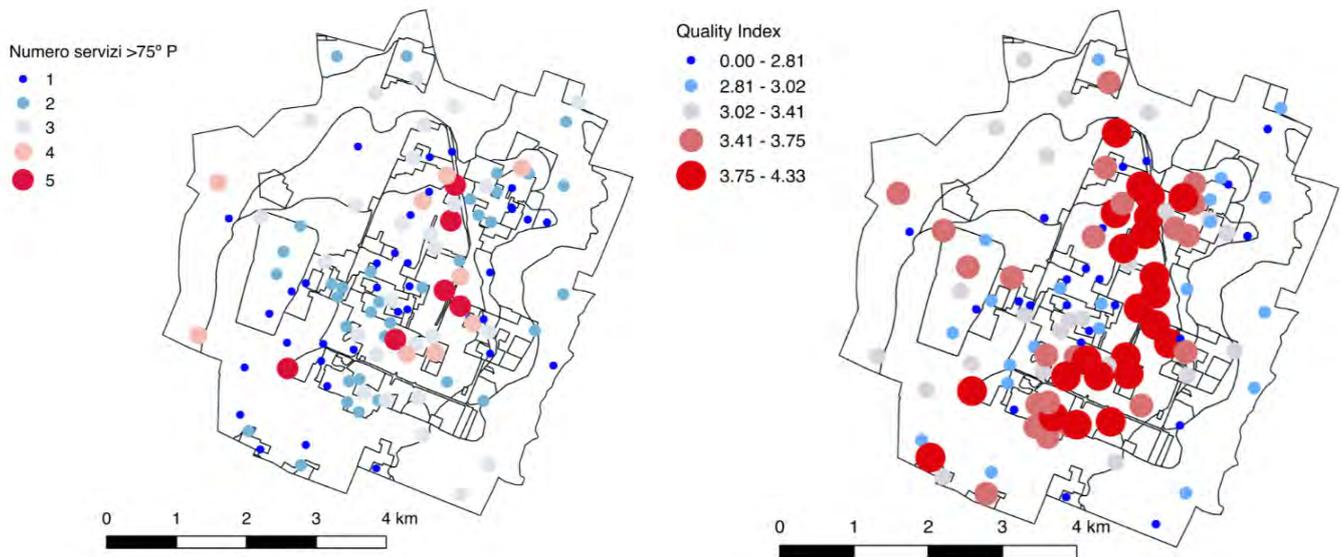


Figura 38. Classed post plot degli indici sintetici di qualità dei servizi ecosistemici dei suoli sei siti di campionamento (N = 113).

Nei post plot in figura 37 e 38 si possono osservare dei chiari trend che caratterizzano, nelle diverse unità della carta dei suoli, la differente capacità di fornire servizi ecosistemici, indicando anche come siano proprio i suoli delle aree verdi urbane a fornire nella maggior parte dei casi servizi di alta qualità rispetto ai suoli delle aree agricole periurbane, in virtù del loro contenuto in carbonio organico, generalmente maggiore di quello osservato nei suoli agricoli. Tuttavia anche la maggior parte dei suoli con servizi di qualità mediamente inferiore a quella dei suoli agricoli si ritrova all'interno del tessuto densamente urbanizzato, ad indicare situazioni di degradazione della qualità del suolo, dovute ad esempio a compattazione, e imputabili a pratiche di gestione non ottimali o alla presenza di materiale di riporto con caratteristiche sfavorevoli.

Al fine di fornire uno strumento di valutazione dei servizi ecosistemici dei suoli che copra in continuità l'intera area rilevata, i dati analitici disponibili sono stati utilizzati per stimare su un grid a maglia regolare di 100m le variabili in input richieste per il calcolo degli indicatori dei servizi ecosistemici selezionati (figura 39). A partire dagli elaborati relativi alle tre frazioni tessiturali e al contenuto in carbonio organico (vd. Paragrafo 3.2), sono state derivate applicando pedofunzioni di trasferimento le carte della densità apparente ($Mg\ ha^{-1}$), della conducibilità idrica satura ($mm\ h^{-1}$), della tensione all'ingresso della aria (cm) e della capacità di acqua disponibile (vol./vol.). A queste si aggiungono la carta della capacità di scambio cationica, derivata dalle misure effettuate nei siti di osservazioni, la carta della profondità media della falda superficiale (Barca et al., 2013; Calzolari and Ungaro, 2012) e la carta dello stock di carbonio organico 0-30 cm ($Mg\ ha^{-1}$).

Gli indicatori dei servizi ecosistemici sono stati calcolati applicando le relazioni descritte nel rapporto dell'azione B 1.2 "MISURAZIONE A SCALA COMUNALE DEGLI IMPATTI DEL CONSUMO DEI SUOLI E VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI"; una volta definito il valore degli indicatori in ciascuna cella del grid, correggendolo a posteriori per la percentuale di impermeabilizzazione (ISPRA, 2018), sono stati calcolati due indici sintetici di qualità dei suoli basati sulla loro capacità di fornire servizi ecosistemici: il numero di servizi con valore superiore al 75° percentile della distribuzione osservata per ciascun indicatore, e l'indice di qualità calcolato sommando i singoli indicatori.

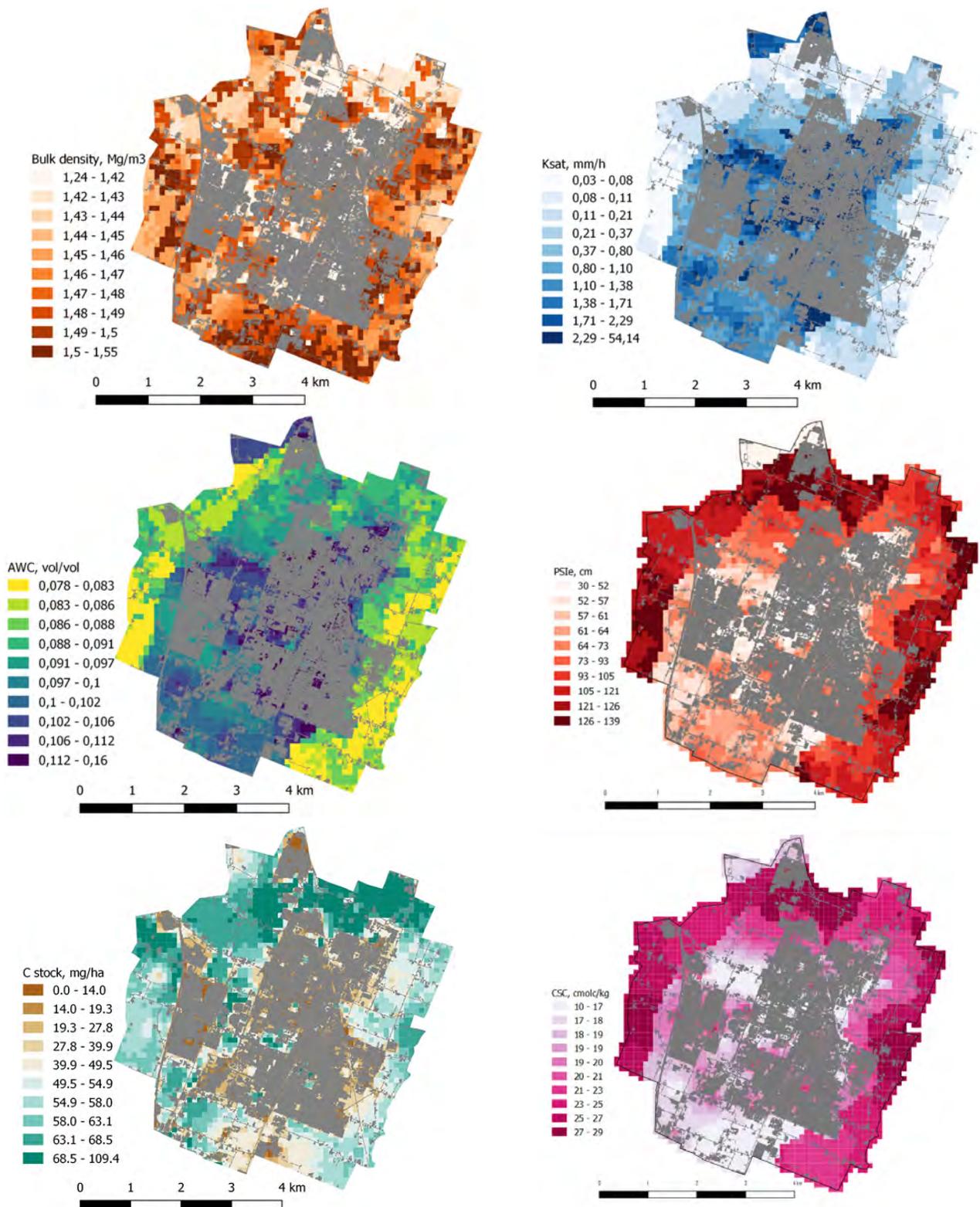


Figura 39. Carte delle proprietà dei suoli utilizzate per calcolare gli indicatori dei servizi ecosistemici.

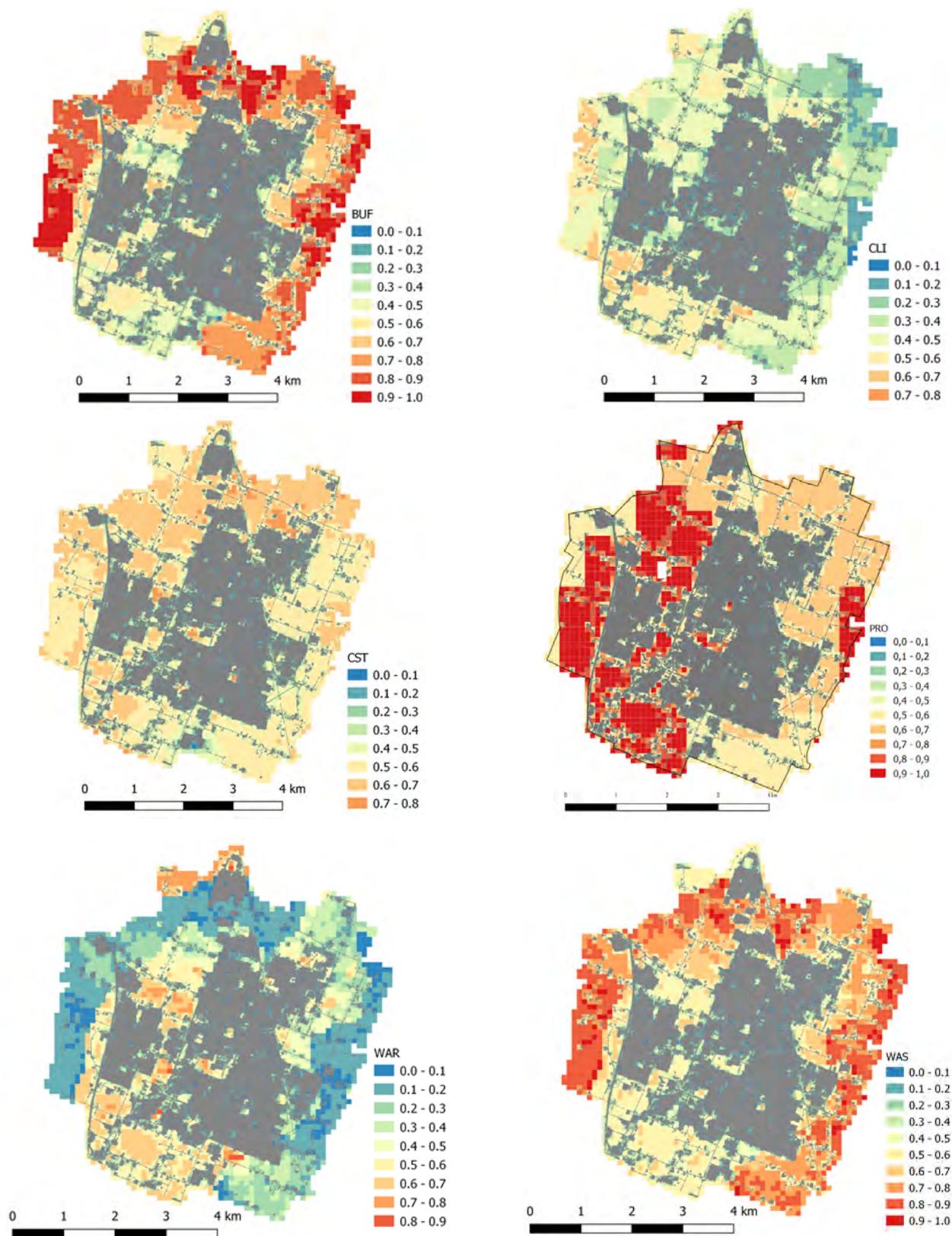


Figura 40. Carte degli indicatori dei servizi ecosistemici.

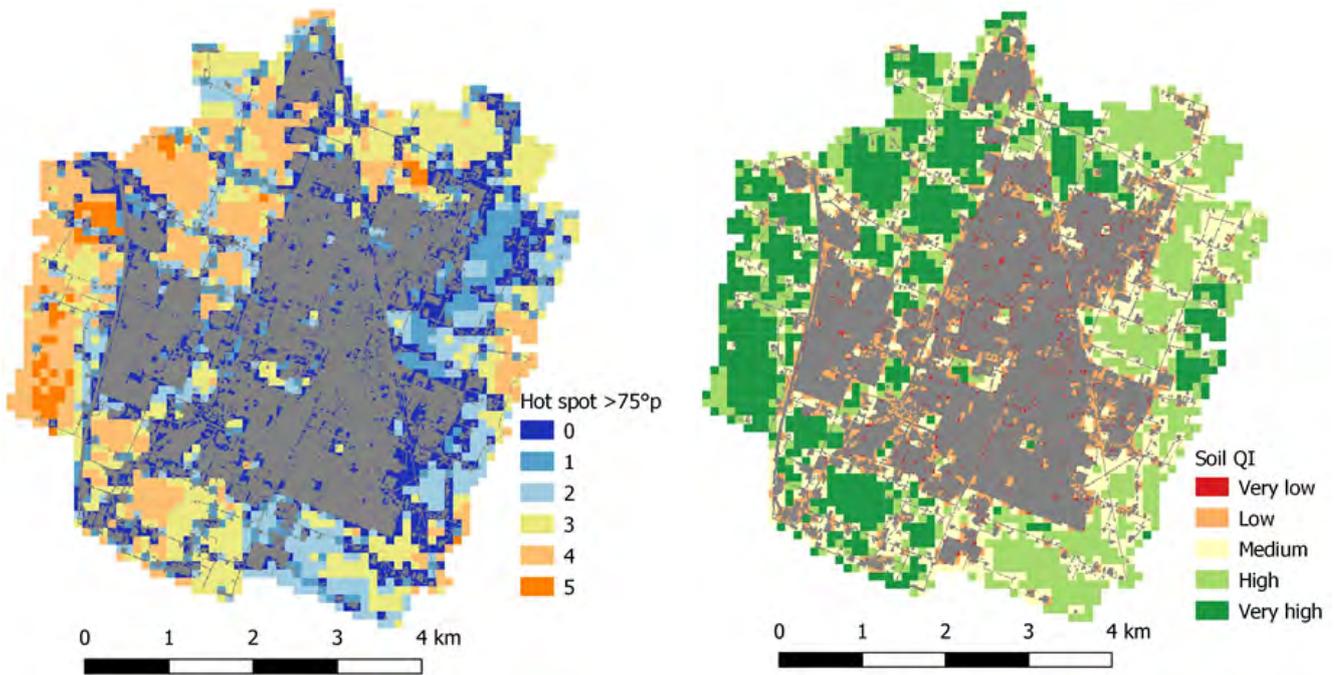


Figura 41. Carte degli indici sintetici di qualità dei servizi ecosistemici dei suoli .

Analizzando i risultati in termini delle unità cartografiche della carta dei suoli urbani, è possibile valutare unità per unità l'entità e la qualità dei servizi forniti e la presenza di sinergie e *trade-off* tra loro (fig. 41)

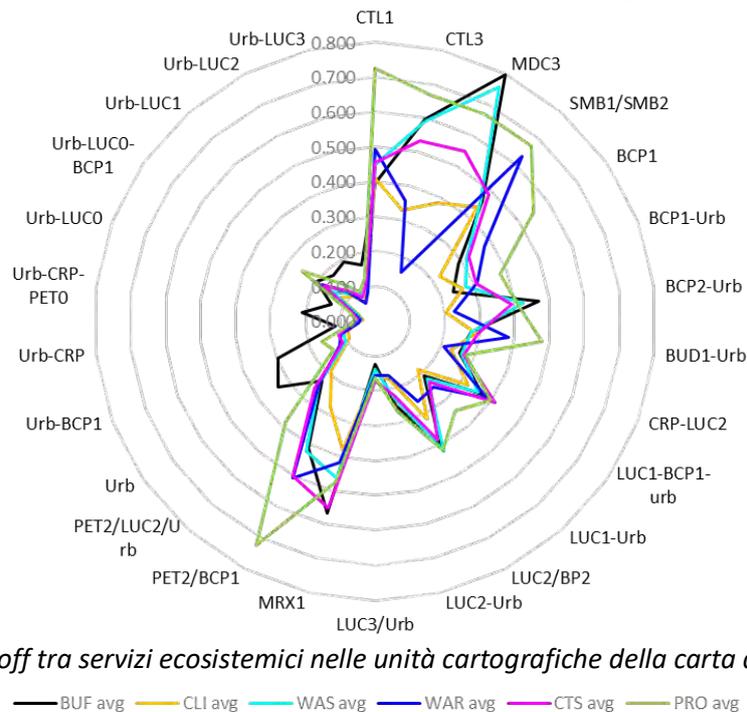


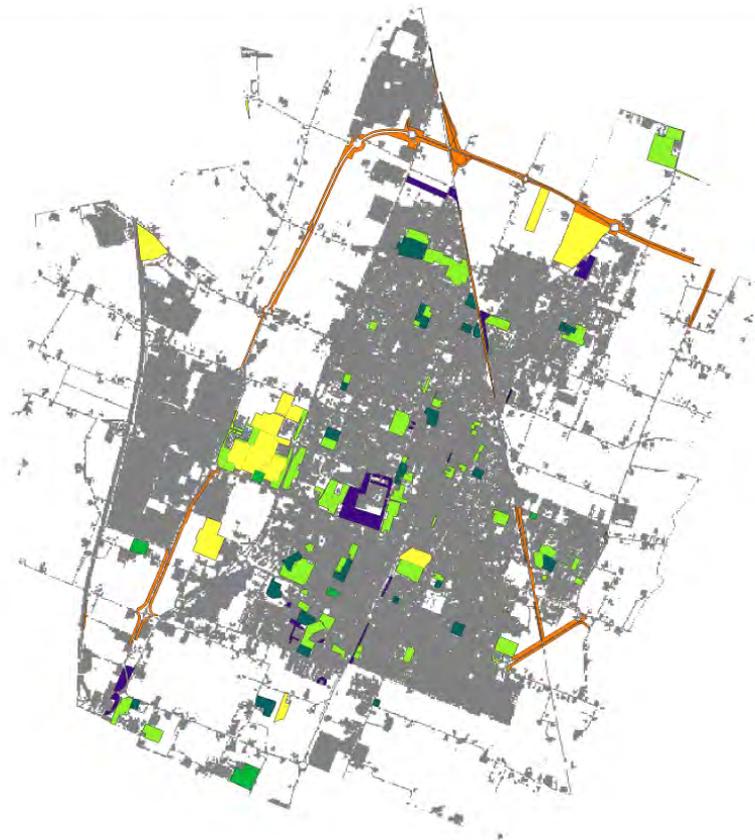
Figura 42. Sinergie e trade-off tra servizi ecosistemici nelle unità cartografiche della carta dei suoli urbani.

Nella tabella 22 sono riportati i valori medi dei cinque indicatori utilizzati per il calcolo degli indici di qualità sintetici, in numero di *hotspot* per unità cartografica, la densità degli *hotspot* per unità di superficie e il valore medio dell'indice di qualità; nella tabella le unità della carta dei suoli urbani sono state suddivise in termini di uso del suolo prevalente: agricolo, urbano con sigillamento <60% e urbano con sigillamento >60%. Da notare come suoli di qualità molto alta e alta in termini di fornitura di servizi ecosistemici siano presenti anche nel tessuto urbano con percentuale di impermeabilizzazione inferiore al 60%.

<i>Land use</i>	<i>SMU</i>	<i>ha</i>	<i>BUF</i>	<i>CLI</i>	<i>WAS</i>	<i>WAR</i>	<i>CTS</i>	<i>HotSpot</i>	<i>HotS/ha</i>	<i>IQ</i>
Cropland	CTL1	567	0.395	0.410	0.447	0.493	0.453	449	0.79	2.20
Cropland	CTL3	477	0.596	0.327	0.589	0.356	0.531	330	0.69	2.40
Cropland	MDC3	867	0.799	0.381	0.758	0.159	0.549	800	0.92	2.65
Cropland	SMB1/SMB2	53	0.462	0.439	0.452	0.632	0.486	48	0.91	2.47
Urban <60%	BCP1	3	0.287	0.225	0.318	0.377	0.325	3	1.18	1.53
Urban <60%	BCP1-Urb	21	0.239	0.265	0.274	0.310	0.306	10	0.47	1.39
Urban <60%	BCP2-Urb	28	0.468	0.204	0.424	0.226	0.391	9	0.32	1.71
Urban <60%	BUD1-Urb	1	0.275	0.289	0.274	0.383	0.296	1	1.21	1.52
Urban <60%	CRP-LUC2	8	0.257	0.230	0.262	0.210	0.270	1	0.13	1.23
Urban <60%	LUC1-BCP1-urb	24	0.371	0.322	0.358	0.389	0.413	16	0.66	1.85
Urban <60%	LUC1-Urb	29	0.209	0.185	0.222	0.250	0.234	2	0.07	1.10
Urban <60%	LUC2/BP2	10	0.404	0.318	0.421	0.262	0.385	3	0.30	1.79
Urban <60%	LUC2-Urb	32	0.250	0.174	0.225	0.162	0.220	3	0.09	1.03
Urban <60%	LUC3/Urb	8	0.124	0.151	0.139	0.156	0.171	0	0.00	0.74
Urban <60%	MRX1	6	0.566	0.382	0.463	0.418	0.552	2	0.36	2.38
Urban <60%	PET2/BCP1	12	0.410	0.276	0.420	0.507	0.502	9	0.75	2.11
Urban <60%	PET2/LUC2/Urb	33	0.229	0.190	0.241	0.240	0.258	6	0.18	1.16
Urban >60%	Urb	119	0.333	0.089	0.102	0.122	0.110	34	0.29	0.76
Urban >60%	Urb-BCP1	140	0.295	0.082	0.099	0.105	0.111	12	0.09	0.69
Urban >60%	Urb-CRP	67	0.115	0.057	0.071	0.048	0.071	0	0.00	0.36
Urban >60%	Urb-CRP-PET0	139	0.208	0.036	0.041	0.042	0.050	1	0.01	0.38
Urban >60%	Urb-LUC0	134	0.134	0.049	0.054	0.066	0.069	4	0.03	0.37
Urban >60%	Urb-LUC0-BCP1	37	0.202	0.118	0.149	0.184	0.178	6	0.16	0.83
Urban >60%	Urb-LUC1	168	0.177	0.096	0.105	0.114	0.114	6	0.04	0.61
Urban >60%	Urb-LUC2	121	0.191	0.060	0.087	0.059	0.080	4	0.03	0.48
Urban >60%	Urb-LUC3	38	0.165	0.093	0.097	0.088	0.109	2	0.05	0.55

Tabella 22. Valori medi degli indicatori dei servizi ecosistemici in funzione delle unità della carta dei suoli urbani.

In termini quantitativi, sono stati infine calcolati per le aree a verde pubblico presenti all'interno dell'area rilevata (figura 43) lo stock di carbonio (0-30 cm, Mg ha⁻¹, tabella 23) e la capacità di acqua disponibile (*Available Water Capacity*, AWC, m³, tabella 24).



- Sports and leisure facilities
- Public green
- Roadside and Railwayside green
- Environmental compensation areas
- Public green, schools
- Villas with park

Figura 43. Aree a verde pubblico e loro tipologie all'interno dell'area rilevata nel comune di Carpi.

Aree verdi	Cstock	Area	Cstock	C stock/ab	CO2eq	CO2 eq /ab
C stock 0-30 cm	Mg	Ha	Mg/ha	Mg	Mg	Mg
Verde sportivo	4041	51.2	78.9	0.06	14819	0.21
Area di riequilibrio ambientale	1407	16.9	83.2	0.02	5158	0.07
Verde pubblico	5212	64.7	80.6	0.07	19112	0.27
Verde scolastico	1832	22.6	81.2	0.03	6719	0.09
Verde stradale	2195	31.5	69.6	0.03	8049	0.11
Ville con parco	379	6.4	59.4	0.01	1388	0.02
Totale	15067	193.2	78.0	0.21	55246	0.78

Tabella 23. Stima dello stock di carbonio organico (0-30 cm) nei suoli urbani delle aree a verde pubblico all'interno dell'area rilevata nel comune di Carpi. Stock medio (0-30 cm) terreni agricoli nel territorio comunale: 43.4 Mg C ha⁻¹. Per il calcolo dello stock per abitante, è stato utilizzato il dato ISTAT (2017, 71060 ab.).

Available water storage capacity	Area Ha	AWC m3	AWC m3/ha	AWC m3/ab	AWC m3/albero	mm/m2
Verde sportivo	51.2	15488	302.4	0.218	0.456	30.2
Area di riequilibrio ambientale	16.9	5324	315.0	0.075	0.157	31.5
Verde pubblico	64.7	20024	309.6	0.282	0.589	31.0
Verde scolastico	22.6	7124	315.8	0.100	0.210	31.6
Verde stradale	31.5	8790	278.9	0.124	0.259	27.9
Ville con parco	6.4	1934	303.3	0.027	0.057	30.3
Totale	193.2	58682.0	303.7	0.826	1.726	30.4

Tabella 24. Stima della capacità di acqua disponibile (0-30 cm) nei suoli urbani delle aree a verde pubblico all'interno dell'area rilevata nel comune di Carpi. Per il calcolo dei m³ per abitante, è stato utilizzato il dato ISTAT (2017, 71060 ab.). Per il calcolo dei m³/albero sono stati considerati 34,000 alberi secondo quanto riportato dal censimento del verde pubblico del comune di Carpi.

6. ALLEGATI: DESCRIZIONE PROFILI

Sigla del profilo: **E7425P0001**

Localizzazione nella tavola CTR 1:25.000:201NE

Provincia di: Modena

Località: Carpi. Parco pubblico "Vittime delle Mafie"

Rilevatori: Francesca Staffilani, Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro

Data di descrizione: 20/06/2018

Uso del suolo: prato alberato

Classificazione Soil Taxonomy:

Classificazione WRB (2014): Calcaric Regosols (Prototechnic, Transportic) over Stagnic Cambisol (Clayic)

I colori si riferiscono al suolo umido salvo diversa indicazione

- ^Au1** 0 - 3 cm; umido, franco, scheletro assente; colore umido su facce di rottura da bruno a bruno scuro (10YR4/3); aggregazione principale granulare molto grossolana forte che si partisce in una aggregazione secondaria granulare media forte; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro lineare
- ^Au2** 3 - 30 cm; umido, franco, scheletro scarso fresco o leggermente alterato (mattoni e ciottoli arrotondati); colore umido su facce di rottura bruno giallastro scuro (10YR4/4); aggregazione principale poliedrica angolare grossolana moderata; con masse impoverite di Fe comuni di colore bruno grigio (2,5Y5/3) e con masse arricchite di Fe poche di colore bruno giallastro (10YR5/6); masse non cementate di carbonato di calcio irregolari poche a distribuzione casuale; macropori medi; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore diffuso lineare
- ^Cu** 30 - 60 cm; umido, franco sabbioso, scheletro scarso fresco o leggermente alterato (mattoni, ciottoli arrotondati e cemento); colore umido su facce di rottura bruno oliva chiaro (2.5Y5/4); aggregazione principale poliedrica angolare grossolana debole; con masse impoverite di Fe comuni di colore bruno grigiastro (2.5Y5/2) e con masse arricchite di Fe comuni di colore bruno giallastro (10YR5/4); masse non cementate di carbonato di calcio irregolari poche a distribuzione casuale, rivestimenti di sostanza organica, ferro e alluminio laminari poche su superfici naturali; macropori medi; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore diffuso lineare
- ^BCu** 60 - 90 cm; umido, franco argilloso, scheletro comune fresco o leggermente alterato (mattoni anche interi, cemento); colore umido su facce di rottura bruno oliva chiaro (2.5Y5/4); aggregazione principale poliedrica angolare grossolana moderata; con masse impoverite di Fe comuni di colore bruno grigiastro (2.5Y5/2) e con masse arricchite di Fe di colore bruno giallastro (10YR5/4); masse non cementate di carbonato di calcio irregolari poche a distribuzione casuale; macropori fini; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore abrupto lineare
- Ab 90 - 100 cm;** umido, argilloso limoso, scheletro scarso alterato (mattoncini); colore umido su facce di rottura bruno grigiastro molto scuro (2.5Y3/2); aggregazione principale lamellare molto grossolana forte che si unisce in una aggregazione secondaria poliedrica angolare grossolana forte; rivestimenti di sostanza organica, ferro e alluminio laminari poche su superfici naturali; facce di pressione; macropori fini; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro lineare



Bgb 100 - 110 cm; umido, argilloso limoso, scheletro assente; colore umido su facce di rottura bruno oliva (2.5Y4/4); aggregazione principale poliedrica angolare molto grossolana forte; con masse impoverite di Fe molte di colore bruno grigiastro scuro (2.5Y4/2) e con masse arricchite di Fe molte di colore bruno (10YR5/3); rivestimenti di sostanza organica, ferro e alluminio laminari su superfici naturali; facce di pressione; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore sconosciuto

Sigla del profilo: E7425P0002

Localizzazione nella tavola CTR 1:25.000:201NE

Provincia di: Modena

Località: Carpi. Parco condominiale di viale Ramazzini

Rilevatori: Francesca Staffilani, COSTANZA CALZOLARI, Fabrizio Ungaro

Data di descrizione: 20/06/2018

Uso del suolo: prato alberato

Classificazione Soil Taxonomy:

Classificazione WRB (2014): *Haplic Calcisols* (Prototechnic, Transportic) over Hypereutric Cambisols (Loamic)

I colori si riferiscono al suolo umido salvo diversa indicazione

^Au1 0 - 3 cm; umido, franco argilloso, scheletro scarso; colore umido su facce di rottura bruno grigiastro scuro (10YR4/2); aggregazione principale granulare media forte; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro lineare

^Au2 3 - 35 cm; umido, franco argilloso limoso, scheletro scarso; colore umido su facce di rottura da bruno a bruno scuro (10YR4/3); aggregazione principale poliedrica subangolare media forte che si unisce in una aggregazione secondaria poliedrica angolare grossolana debole; masse non cementate di carbonato di calcio irregolari comuni fini a distribuzione casuale, masse cementate di carbonato di calcio sferoidali a distribuzione casuale; macropori fini; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore abrupto lineare

^BCku 35 - 60 cm; umido, franco argilloso, scheletro frequente fresco o leggermente alterato (ciottoli e mattoni); colore umido su facce di rottura da bruno a bruno scuro (10YR4/3), colore umido secondario su facce di rottura bruno grigio (2,5Y5/3) con masse arricchite di Fe di colore bruno oliva chiaro (2.5Y5/4); aggregazione principale poliedrica subangolare media forte; di colore bruno oliva chiaro (2.5Y5/4); masse non cementate di carbonato di calcio irregolari frequenti fini a distribuzione casuale, masse cementate di carbonato di calcio sferoidali a distribuzione casuale; macropori fini; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro lineare

Bwb1 60 - 90 cm; umido, franco argilloso limoso, scheletro scarso molto alterato (mattoni); colore umido su facce di rottura bruno grigiastro scuro (2.5Y4/2) e secondario bruno grigio (2,5Y5/3); aggregazione principale prismatica grossolana moderata che si partisce in una aggregazione secondaria prismatica media forte; facce di pressione; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore diffuso lineare

Bwb2 90 - 130 cm; umido, franco argilloso limoso, scheletro scarso molto alterato; colore umido su facce di rottura bruno grigiastro scuro (2.5Y4/2); aggregazione principale poliedrica subangolare grossolana debole; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore sconosciuto



Sigla del profilo: E7425P0003

Localizzazione nella tavola CTR 1:25.000:201NE

Provincia di: Modena

Località: Carpi

Rilevatori: Francesca Staffilani, Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro

Data di descrizione: 20/06/2018

Uso del suolo: Bosco della Cappuccina

Classificazione WRB (2014): Hypereutric Regosols (Transportic) over Haplic Calcisols (Siltic)

I colori si riferiscono al suolo umido salvo diversa indicazione

A 0 - 5 cm; umido, franco limoso, scheletro assente; colore umido su facce di rottura bruno grigiastro scuro (10YR4/2); aggregazione principale granulare grossolana forte che si unisce in una aggregazione secondaria poliedrica subangolare grossolana forte; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro lineare

Apu1 5 - 35 cm; umido, franco limoso, scheletro scarso fresco o leggermente alterato (mattoni e sassi); colore umido su facce di rottura da bruno a bruno scuro (10YR4/3); aggregazione principale poliedrica subangolare grossolana forte; macropori fini; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore diffuso lineare

Apu2 35 - 70 cm; umido, franco limoso, scheletro scarso alterato (mattoni); colore umido su facce di rottura da bruno a bruno scuro (10YR4/3); aggregazione principale poliedrica subangolare grossolana forte; macropori fini; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro irregolare

Bk 70 - 95 cm; umido, franco limoso, scheletro assente; colore umido su facce di rottura bruno giallastro (10YR5/4); aggregazione principale poliedrica angolare grossolana moderata che si partisce in una aggregazione secondaria poliedrica angolare media moderata; masse non cementate di carbonato di calcio irregolari frequenti a distribuzione casuale, masse cementate di carbonato di calcio irregolari poche molto grossolane a distribuzione casuale; macropori fini ; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro lineare

BCkg 95 - 135 cm; umido, franco limoso, scheletro assente; colore umido su facce di rottura grigio bruno chiaro (10YR6/2); aggregazione principale poliedrica angolare grossolana debole; con masse arricchite di Fe molte di colore bruno giallastro (10YR5/6); masse cementate di carbonato di calcio irregolari poche a distribuzione casuale; macropori fini ; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore diffuso lineare

Cg 135 - 180 cm; umido, scheletro assente; colore umido su facce di rottura bruno grigiastro (10YR5/2); aggregazione assente: porosità interstiziale chiaramente visibile; con masse arricchite di Fe molte di colore bruno giallastro chiaro (10YR6/6) ; macropori fini ; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore sconosciuto



Sigla del profilo: E7425P0004

Localizzazione nella tavola CTR 1:25.000:201NE

Provincia di: Modena

Località: Carpi. Parco pubblico della Resistenza

Rilevatori: Francesca Staffilani, Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro

Data di descrizione: 21/06/2018

Uso del suolo: parco

Classificazione Soil Taxonomy:

Classificazione WRB (2014): Hypereutric Cambisols (Siltic, Transportic)

I colori si riferiscono al suolo umido salvo diversa indicazione

- A1 0 - 3 cm; umido, scheletro assente; colore umido su facce di rottura bruno grigiastro molto scuro (10YR3/2); aggregazione principale granulare molto grossolana forte che si partisce in una aggregazione secondaria poliedrica subangolare fine; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro lineare
- A2 3 - 12 cm; umido, franco argilloso, scheletro assente; colore umido su facce di rottura bruno grigiastro molto scuro (10YR3/2); aggregazione principale poliedrica subangolare grossolana forte che si unisce in una aggregazione secondaria poliedrica subangolare molto grossolana forte; macropori fini e macropori medi; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro lineare
- AB 12 - 45 cm; umido, franco argilloso, presenza di mattoni, colore umido su facce di rottura da bruno a bruno scuro (10YR4/3); aggregazione principale poliedrica angolare grossolana moderata; rivestimenti di sostanza organica, ferro e alluminio laminari su superfici naturali; macropori fini e macropori medi; Limite inferiore chiaro lineare
- Bw 45 - 80 cm; umido, franco limoso, scheletro assente; colore umido su facce di rottura bruno giallastro scuro (10YR4/4); aggregazione principale poliedrica subangolare grossolana debole; macropori fini e macropori medi; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro lineare
- Bk 80 - 140 cm; umido, franco limoso con una tasca più grossolana senza concrezioni a metà dell'orizzonte, scheletro assente; colore umido su facce di rottura bruno oliva (2.5Y4/4), colore umido su facce di rottura bruno oliva chiaro (2.5Y5/4); aggregazione principale poliedrica subangolare grossolana debole; con masse impoverite di Fe fini comuni di colore bruno grigiastro (2.5Y5/2) e con masse arricchite di Fe comuni di colore bruno giallastro (10YR5/6); masse non cementate di carbonato di calcio irregolari poche a distribuzione casuale, masse cementate di carbonato di calcio irregolari poche a distribuzione casuale; macropori fini e macropori medi; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore sconosciuto



Sigla del profilo: E7425P0005

Localizzazione nella tavola CTR 1:25.000:201NE

Provincia di: Modena

Località: Carpi

Rilevatori: Francesca Staffilani, Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro

Data di descrizione: 21/06/2018

Uso del suolo: Parco pubblico "Sandro Pertini"

Classificazione Soil Taxonomy:

Classificazione WRB (2014): Hypereutric Cambisols (Transportic) over Hypereutric Cambisols (Loamic)

I colori si riferiscono al suolo umido salvo diversa indicazione

^Au1 0 - 3 cm; umido, scheletro assente; colore umido su facce di rottura bruno grigiastro molto scuro (10YR3/2); aggregazione principale granulare grossolana forte che si unisce in una aggregazione secondaria poliedrica subangolare grossolana forte; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro lineare

^Au2 3 - 40 cm; umido, franco argilloso limoso, scheletro scarso (mattoni); colore umido su facce di rottura da bruno a bruno scuro (10YR4/3); aggregazione principale poliedrica subangolare grossolana forte che si unisce in una aggregazione secondaria poliedrica subangolare molto grossolana forte; con masse impoverite di Fe comuni di colore bruno grigiastro (2.5Y5/2); macropori fini e macropori medi; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore chiaro lineare

^ABu 40 - 80 cm; umido, franco limoso, scheletro scarso (sassi e mattoncini); colore umido su facce di rottura da bruno a bruno scuro (10YR4/3); aggregazione principale poliedrica angolare grossolana moderata; con masse impoverite di Fe comuni di colore bruno grigio (2,5Y5/3) e con masse arricchite di Fe comuni di colore bruno giallastro (10YR5/4); macropori fini; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore graduale lineare

^CBu 80 - 110 cm; umido, franco argilloso limoso, scheletro scarso (sassi e mattoncini); colore umido su facce di rottura da bruno a bruno scuro (10YR4/3), colore umido su facce di rottura bruno grigiastro scuro (10YR4/2); aggregazione principale poliedrica angolare grossolana debole; effervescenza all'HCl violenta, molto compatto. Limite inferiore chiaro lineare

Bwb1 110 - 125 cm; umido, franco argilloso, scheletro assente; colore umido su facce di rottura bruno grigiastro scuro (10YR4/2); aggregazione principale poliedrica angolare grossolana debole; effervescenza all'HCl violenta, molto consistente. Limite inferiore chiaro lineare

Bwb2 125 - 140 cm; umido, franco, scheletro assente; colore umido su facce di rottura bruno giallastro (10YR5/4); aggregazione principale poliedrica angolare grossolana debole; effervescenza all'HCl violenta. Limite inferiore sconosciuto



Sigla del profilo: E5034Q0003

Localizzazione nella tavola CTR 1:25.000:201NE

Provincia di: Modena

Localita': Carpi, ex Bocciofila Malatesta

Rilevatori: Nazaria Marchi, Fabrizio Ungaro, Silvia Baronti, Francesca Ugolini

Data di descrizione: 05/10/2016

Uso del suolo: area adibita a parcheggio, precedentemente area bocciofila poi dismessa

Classificazione WRB (2014):

I colori si riferiscono al suolo umido salvo diversa indicazione

^R 0-7 cm; asfalto dall'aspetto "recente"

^Cu1 7-35 cm; ghiaia e sabbia di allettamento

^2Cu2 35-60 cm; tessitura franco argilloso limosa (36% argilla, 5% sabbia) di colore marrone grigio scuro (10YR 4/2) con 30% di materiale di origine antropica costituito da piccoli ciottoli; presenza di radici anche grosse. Violenta effervescenza all'HCl, pH 8.



7. BIBLIOGRAFIA

- Amoozegar, A. and Warrick, A.W., 1986. Hydraulic conductivity of saturated soils: field methods. In: A. Klute (Editor), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. Am. Soc. of Agronomy, Madison, WI, pp. 735-770.
- Barca E., Calzolari C., Passarella G., Ungaro F., 2013. Predicting Shallow Water Table Depth at Regional Scale: Optimizing Monitoring Network in Space and Time. *Water Resources Management*, 27, 5171-5190.
- Benedetti, A., Mocali, S., 2009. Soil quality: key for sustainable production. *Italian Journal of Agronomy*, 4(1s), 13-22.
- Blanchart Anne, Séré Geoffroy, Johan Cherel, Gilles Warot, Stas Marie, Consalès Jean Noël, Morel Jean Louis, Schwartz Christophe, 2018. Towards an operational methodology to optimize ecosystem services provided by urban soils, *Landscape and Urban Planning*, 176, 1-9.
- 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.
- Calzolari C., Ungaro F. 2012. Predicting shallow water table depth at regional scale from rainfall and soil data. *Journal of Hydrology*, vol. 414–415, 374–387.
- Ciardi, C., Nannipieri, P., 1990. A comparison of methods for measuring ATP in soil. *Soil Biol. Biochem.* 22, 725–727
- Doran, J.W., Parking, T.B. 1994- Defining and Assessing soil quality, Soil Science Society of America, 677 Sogo e Rd., Madison WI53711, USA. In defining Soil Quality for a .sustainable Environmental . ISS special publication n. 35 .
- Guermandi, M, Tarocco, P. 2015. Carta dei suoli della pianura e di parte della collina Emiliano-romagnoloa in scala 1:50.000. Edizione 2015. Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Available at http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/carta_suoli_50k.pdf
- Menta, C., 2012. Soil fauna diversity-function, soil degradation, biological indices, soil restoration. Biodiversity conservation and utilization in a diverse world. InTech, 2012.
- Morel, J.L., Schwartz, C., Florentin L., de Kimpe, C., 2005. Urban soils. *Encyclopedia of Soils in the Environment*.
- Nannipieri, P., Grego, S., Ceccanti, B., Bollag, J. M., & Stotzky, G. (1990). Ecological significance of the biological activity in soil. *Soil biochemistry*, 6.

Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C., Mozzanica, E., 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, ecosystems & environment*, 105 (1-2), 323-333.

Reynolds, W. D., Elrick, D. E., 1990. Poned Infiltration from a single ring: I. Analysis of Steady Flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1233-1241.

Ungaro F., Calzolari C., Pistocchi A., Malucelli F., 2014. Modelling the impact of increasing soil sealing on runoff coefficients at re-gional scale: a hydro-pedological approach. *J. Hydrol. Hydromech.*, 62, 2014,1, 33-42

Ungaro, F., Calzolari, C., Busoni, E. 2005. Development of pedotransfer functions using a group method of data handling for the soil of the Pianura Padano-Veneta region of North Italy. Water retention properties. *Geoderma*, 124, 293-317.

Zhang, D., T. C. Wallstrom, and C. L. Winter, Stochastic analysis of steady state unsaturated flow in heterogeneous media: Comparison of the Brooks-Corey and Gardner-Russo models, *Water Resour. Res.*, 34(6), 1437–1449, 1998.

8. AUTORI

CNR Ibimet

Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro, Anita Maienza; collaborazione di Tullia Calogiuri, Nadia Lombardo

Regione Emilia-Romagna

Servizio Geologico Sismico e dei Suoli

Nazaria Marchi, Paola Tarocco

Comune di Carpi

Servizio Pianificazione e Sviluppo Urbanistico

Antonella Magnani, Stefano Marzolo

Hanno contribuito alle attività del Tavolo Tecnico Sub Azione B1.3

Comune di Carpi

Norberto Carboni, Attilio Palladino

Legambiente E.R.

Lorenzo Frattini

ANCE E.R.

Francesca Ferrari

Regione Emilia-Romagna

Servizio Geologico Sismico e dei Suoli

Francesco Malucelli

FMI

Claudio Maltoni



LIFE15 ENV/IT/000225

This project has received funding from the European Union's programme "LIFE Environment and Resource Efficiency"
Questo progetto ha ricevuto il finanziamento del programma dell'Unione Europea "LIFE -Ambiente ed Efficienza delle Risorse"

SOS4LIFE

SAVE OUR SOIL FOR LIFE



www.sos4life.it



Comune di Forlì



CITTÀ DI CARPI



SAN LAZZARO
DI SAVENA



ANCE | EMILIA ROMAGNA



Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per la BioEconomia



LEGAMBIENTE
emilia-romagna