

## AZIONE B.1.2

# Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo di suoli nei comuni partner

Azione:	SOS4LIFE - Save Our Soil For Life
Titolo report:	B.1.2
	Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena
Data report:	30/06/18 31/12/18 rev. 01
Deliverable	19

## INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE.....	4
2. LISTA DI ABBREVIAZIONI.....	5
3. METODOLOGIA DI STIMA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI DEL SUOLO.....	6
3.1 Habitat per gli organismi del suolo (BIO) .....	8
3.2 Capacità depurativa (BUF) .....	8
3.3 Effetto sul (micro) clima (CLI) .....	8
3.4 Stock di carbonio attuale (CST).....	9
3.5 Produzione di alimenti (PRO) .....	9
3.6 Riserva di acqua (WAS) e infiltrazione profonda di acqua (WAR).....	10
4. LE CARTE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI DEI SUOLI .....	11
4.1 Impatto del consumo del suolo .....	11
4.1.1. San Lazzaro di Savena .....	11
4.1.2. Forlì .....	23
4.1.3. Carpi.....	35
5. METODOLOGIA PER IL COMPUTO DELLO STOCK DI CARBONIO NEI SUOLI DELLE AREE VERDI (ARTIFICIALI E NON AGRICOLE) COMUNALI.....	43
6. QUANTIFICAZIONE DELLA PERDITA DI SERVIZI ECOSISTEMICI: STIME BIOFISICHE ED ECONOMICHE .....	50
6.1. METODO.....	50
6.1.1. Produttività agricola (PRO).....	50
6.1.2. Riserva idrica dei suoli (WAS).....	52
6.1.3. Infiltrazione di acqua (WAR).....	52
6.1.4. Stock di carbonio (CST).....	52
6.1.5. Regolazione del microclima (CLI).....	53
6.1.6. Filtro e rimozione inquinanti (BUF).....	53
6.1.7. Supporto alla biodiversità (BIO) .....	54
6.2 RISULTATI.....	55
6.2.1. San Lazzaro di Savena .....	55
6.2.2. Forlì .....	56
6.2.3. Carpi.....	57
7. BIBLIOGRAFIA.....	58
8. AUTORI .....	61

## 1. INTRODUZIONE

La sub-azione B1.2 si lega strettamente con la sub azione B1.1 "elaborazione del quadro conoscitivo locale delle dinamiche di consumo e di impermeabilizzazione del suolo", che ha fornito i dati relativi al consumo e alla impermeabilizzazione del suolo nei tre comuni, e l'evoluzione storica del consumo.

L'azione B1.2 prevedeva la stima a livello comunale degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo di suolo negli ultimi decenni in termini di perdita di Servizi Ecosistemici (SE) quali: produzione agricola, regimazione idraulica superficiale, regolazione del microclima, supporto alla biodiversità, stoccaggio di carbonio organico, effetto tampone e filtro di contaminanti.

L'attività svolta da Regione e CNR Ibimet con la collaborazione dei 3 Comuni coinvolti si è avvalsa del supporto del Tavolo Tecnico convocato in concomitanza delle riunioni del tavolo tecnico B1.1 e/o attraverso scambio dati (prevalentemente via mail) con i membri del tavolo B1.2.

Per valutare le perdite di servizi ecosistemici conseguenti ai diversi scenari di consumo elaborati in B1.1, anche sulla base di quanto risultato dalla sub-azione A1.2, è stata riadattata al livello locale una metodologia già utilizzata a livello regionale, avvalendosi del database regionale relativo ai suoli e all'uso del suolo. Tale metodologia consente di valutare contemporaneamente le diverse funzioni del suolo soggiacenti ai vari SE. Al contempo, in base al tipo di urbanizzazione ed al grado di disturbo/impermeabilizzazione che ne deriva, la metodologia consente di stimare le perdite in termini di funzionalità dei suoli conseguenti all'urbanizzazione stessa.

La metodologia può essere così sintetizzata. Le proprietà del suolo, quali ad esempio tessitura, contenuto in carbonio organico, pH, densità apparente, e conducibilità idraulica, ne determinano la funzionalità: habitat per i microrganismi, capacità depurativa, produttività agricola, regolazione del microclima, regolazione dei flussi idrici, immagazzinamento di carbonio. Attraverso le sue funzioni il suolo contribuisce ai servizi ecosistemici.

Le informazioni di base sul suolo sono disponibili per tutta la Regione Emilia-Romagna (a livello di dettaglio diverso per la pianura e la collina/montagna).

La stima degli impatti del consumo dei suoli in termini di perdita di SE si basa sull'assunto che il suolo è alla base di molteplici servizi ecosistemici che vengono sottratti alla collettività nel momento in cui si consuma suolo.

Sono state quindi valutate le perdite di servizi ecosistemici conseguenti allo scenario di consumo ipotizzato sulla base delle previsioni urbanistiche di ogni comune partecipante al progetto.

Di seguito viene descritta in dettaglio la metodologia seguita per la definizione dei servizi ecosistemici resi dal suolo basata sui dati pedologici disponibili, sugli indicatori e sulla cartografia dell'uso del suolo al 2008 aggiornata con risoluzione a maggior dettaglio (area minima 1500 m<sup>2</sup> vs. gli originali 15000 m<sup>2</sup>) nel 2017.

## 2. LISTA DI ABBREVIAZIONI

SE	Servizi Ecosistemici
SGSS	Servizio Geologico Sismico e di Suolo
RETC	Curva di ritenzione idrica
CEC	Capacità di Scambio Cationico
QBS	Qualità Biologica del Suolo
QBSar	Qualità Biologica del Suolo - microartropodi
GHG	Gas serra
BIO	Biodiversità degli organismi del suolo
BUF	Capacità depurativa
CLI	Regolazione del microclima
CST	Carbon stock totale
PRO	Produzione agricola
SUP	Supporto infrastrutture
WAS	Riserva di acqua
WAR	Infiltrazione profonda di acqua
AWC	Capacità di acqua disponibile
WT	Falda ipodermica (water table)
WCFC	Contenuto idrico a capacità di campo
PTF	Funzione di pedotrasferimento (pedotransfer function)
KSat	Conducibilità idrica satura
PSIe	Tensione al punto di ingresso all'aria

### 3. METODOLOGIA DI STIMA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI DEL SUOLO

Le proprietà del suolo, tessitura, contenuto in carbonio organico, pH, densità apparente, conducibilità idraulica, eccetera, ne determinano la funzionalità: habitat per i microorganismi, capacità depurativa, produttività agricola, regolazione del microclima, regolazione dei flussi idrici, immagazzinamento di carbonio. Attraverso le sue funzioni il suolo contribuisce ai servizi ecosistemici. Lo schema concettuale che lega le proprietà del suolo (il capitale naturale) alle sue funzioni e ai servizi ecosistemici è un adattamento del modello "a cascata" (Haines-Young and Potschin, 2013) riportato nella figura 1

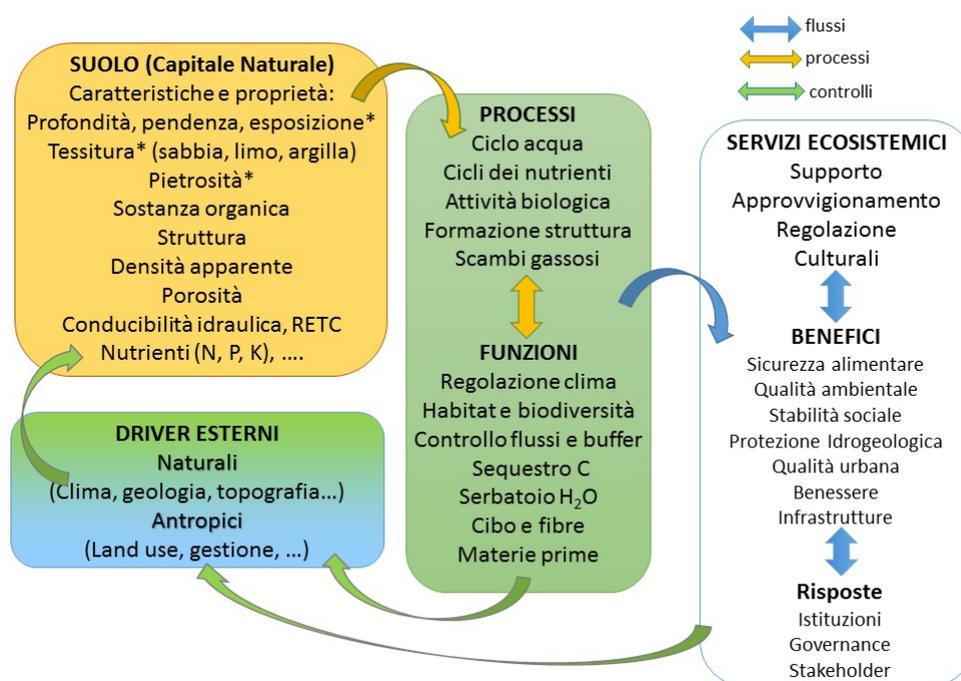


Figura 1. Servizi ecosistemici del suolo: modello a cascata.

Le informazioni di base sul suolo sono disponibili per tutta la Regione Emilia-Romagna; in pianura e bassa collina il dettaglio informativo corrisponde a una scala 1:50.000. È inoltre disponibile la carta della capacità d'uso dei suoli che classifica il territorio regionale in 8 classi di attitudine decrescente alla produzione agricola (le prime 4) e forestale o al pascolo (le ultime 4).

Tra le altre, sono presenti informazioni necessarie per la valutazione delle funzioni del suolo: profondità, tessitura (contenuto % in sabbia, limo, argilla), contenuto in carbonio organico %, pH, capacità di scambio cationica. A partire da queste, vengono calcolate alcune proprietà complesse, come la conducibilità idraulica del suolo, la densità apparente, il contenuto in acqua disponibile. Per il calcolo vengono utilizzate pedofunzioni di trasferimento calibrate sui suoli della pianura emiliano-romagnola, e implementate nella banca dati dei suoli regionali.

Il metodo considera le seguenti funzioni/servizi (Calzolari et al., 2016): biodiversità degli organismi del suolo (BIO); capacità depurativa (BUF); effetto sul microclima (CLI); stock di carbonio attuale (CST); produttività agricola (PRO); supporto infrastrutture (SUP); riserva di acqua (WAS); infiltrazione profonda di acqua (WAR). Lo schema seguito per definire e calcolare gli indicatori ed infine cartografare le singole funzioni alla base dei diversi servizi è rappresentato nella figura 2.

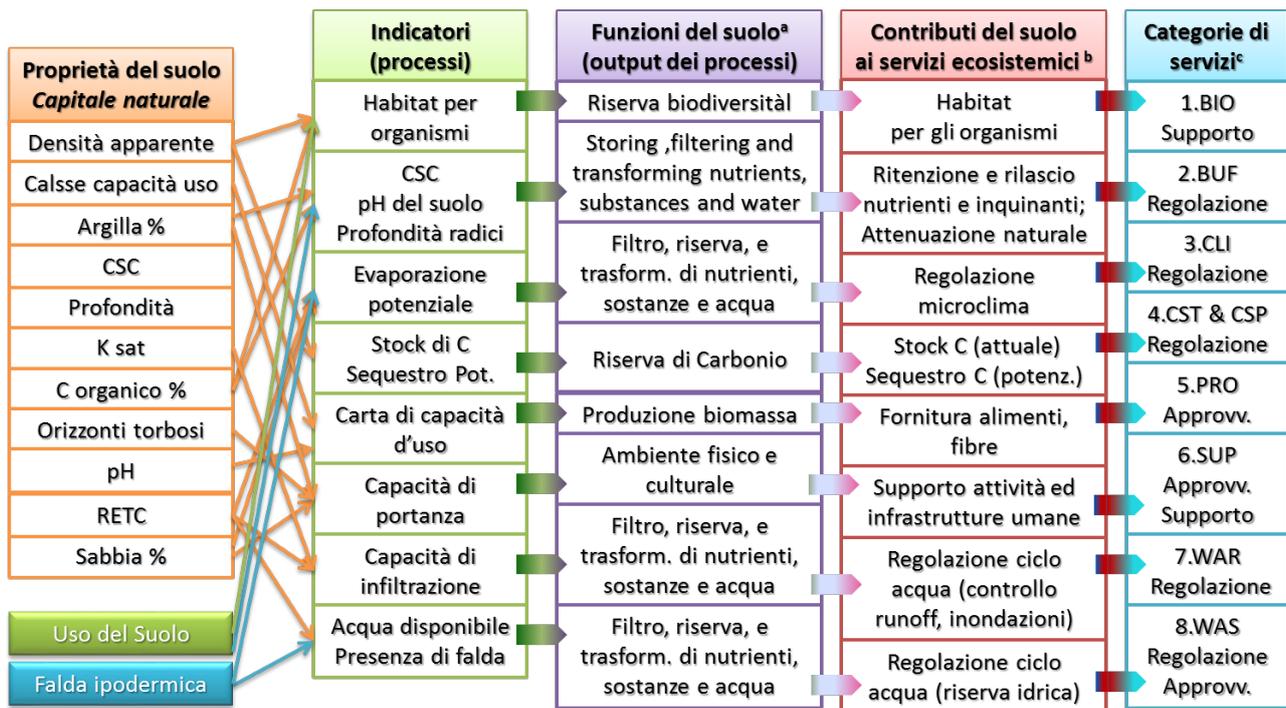


Figura 2. Definizione degli indicatori per i servizi ecosistemici del suolo. CSC: capacità di scambio cationico; K sat: conducibilità idrica saturata; RETC: parametri di ritenzione idrica. <sup>a</sup>CEC, 2006; <sup>b</sup>Dominati et al., 2010; <sup>c</sup>MAE, 2005.

Ogni servizio del suolo è descritto tramite indicatori basati sulle proprietà del suolo misurate o stimate quantitativamente a partire dai dati presenti nella banca regionale dei suoli presso il SGSS. Per confrontare tra loro i diversi indicatori, questi sono standardizzati come numero da 0 a 1, facendo pari a 1 il valore massimo osservato nel territorio del comune considerato e 0 il valore minimo. Il valore 0 non indica che il servizio è assente ma che è il minimo relativo nell'area comunale. Per il calcolo di alcuni indicatori (CLI, BUF, WAS) è necessario utilizzare l'informazione relativa alla distribuzione e profondità della falda ipodermica (WT). Questa, realizzata con la collaborazione del CNR Ibimet, è disponibile presso il SGSS per tutta la pianura emiliano-romagnola; i valori di profondità di falda (media annua e medie stagionali) sono relativi a quadrati di 1 km x 1km. Le elaborazioni sono state effettuate con due diversi approcci cartografici. Nel primo caso, il supporto per l'elaborazione è l'unità cartografica (contenente una o più unità tipologiche di suolo): per ogni poligono della carta dei suoli è stato considerato ogni servizio presente, ed il contributo relativo di ciascuna delle unità tipologiche presenti al suo interno. Nel secondo caso, per le aree di pianura, l'elaborazione ha riguardato i valori delle proprietà del suolo su un grid con celle di dimensioni di 500m x 500m. Le informazioni pedologiche necessarie in entrambi i casi sono disponibili sul sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/suoli/cartografie>).

### 3.1 Habitat per gli organismi del suolo (BIO)

Gli organismi del suolo forniscono importanti servizi ecosistemici (Jeffery et al., 2010). Questi includono la conservazione e il ciclo delle sostanze nutritive e inquinanti, la decomposizione e il ciclo della sostanza organica del suolo, il controllo biologico dei parassiti. Tra gli organismi del suolo, la micro fauna del suolo è stata utilizzata come indicatore della qualità del suolo; il suo ruolo include la frammentazione della lettiera, la formazione di macropori, la bioturbazione. In particolare, la presenza e la diversità dei microartropodi del suolo è stata recentemente utilizzata in vari lavori (Gardi et al. 2008; Menta et al., 2008; Parisi et al., 2005; Yan et al., 2012) L'indice QBS ("Qualità Biologica del Suolo"), sviluppato in Italia (Parisi, 2001; Parisi et al., 2005) come indice per la valutazione della qualità biologica del suolo si basa sul numero di gruppi di microartropodi edafici presenti nel suolo. Il concetto alla base è che maggiore è il numero di gruppi di microartropodi (ar) rappresentati da specie fortemente adattate maggiore è la qualità del suolo e maggiore è il QBSar (Parisi et al., 2005).

Sulla base di dati di letteratura (Menta et al., 2008) vengono definite tre classi qualitative per il QBSar legate all'utilizzo del suolo: Alta (QBS-ar, 150-250) per prati/pascoli permanenti, aree di torba e boschi; Media (QBSar, 100-150) per i terreni agricoli dove vengono praticate rotazioni con prati e lavorazioni minime; e Bassa (QBSar, 60-100) per altri usi del terreno. Il QBSar in aree impermeabilizzate o fortemente antropizzate è posto uguale 0 (Prokop et al, 2011).

Nel nostro approccio, la classifica qualitativa di QBSar è utilizzata come proxy per il calcolo dell'Indicatore BIO. I dati relativi all'utilizzo del suolo sono ricavati dalla carta dell'uso del suolo, disponibile in scala di dettaglio (ed. 2008 aggiornata con risoluzione a maggior dettaglio nel 2017). Considerando solo le proprietà del suolo, è ipotizzato che i terreni ricchi di materia organica e non compattati siano potenzialmente in grado di ospitare un pool di biodiversità relativamente elevato. Come indicatore del potenziale del suolo per la conservazione della biodiversità del suolo, BIO, viene dunque considerata la densità apparente del terreno (BD,  $\text{Mg m}^{-3}$ ) e il contenuto in carbonio organico (OC,%) dei primi 30 cm (entrambi trasformati in Log), combinati con il QBSar (Alto = 1; Medio = 0,5; Basso = 0,25) come segue:

$$\text{BIO } 0-1 = (\text{Log OC } 0-1 - \text{BD } 0-1) + \text{QBSar } 0-1 \quad (1)$$

### 3.2 Capacità depurativa (BUF)

L'indicatore per la capacità di attenuazione naturale dei suoli si basa sul sistema di valutazione utilizzato dal SGSS dell'Emilia-Romagna (Regione Emilia-Romagna, 1995).

Questo schema considera la capacità di scambio cationico del suolo, CSC ( $<10 \text{ cmol kg}^{-1} > 10 \text{ cmol kg}^{-1}$ ), il pH ( $<6,5, > 6,5$ ) dell'orizzonte arato, la profondità del suolo alla roccia o ad una falda superficiale ( $> 100\text{cm}, <100\text{cm}$ ) e il contenuto di scheletro ( $>35\%, <35\%$ ) entro i primi 100 cm.

$$\text{BUF } 0-1 = \text{Log CSC (pH, sk) } 0-1 * (\text{profondità del suolo}/100) \quad (2)$$

### 3.3 Effetto sul (micro) clima (CLI)

Gli ecosistemi regolano il clima globale e locale agendo come fonte o serbatoio di gas serra (GHG), influenzando l'albedo e regolando l'evapotraspirazione (Smith et al., 2012). Localmente, la vegetazione influenza il microclima, in particolare in ambienti urbani, fornendo l'ombreggiatura e la regolazione della temperatura e dell'umidità. Oltre a influenzare il ciclo dell'acqua, l'evapotraspirazione è collegata linearmente al calore latente. Questo significa che quanto più elevata è l'evapotraspirazione, tanta maggiore energia viene utilizzata per convertire l'acqua dalla

fase liquida a quella gassosa e minore energia resta disponibile in forma di calore sensibile, che svolge un ruolo importante nel determinare la temperatura dell'aria (Schwarz et al., 2011).

Per valutare il contributo del suolo al microclima locale si considera la risposta potenziale del terreno alla domanda di evapotraspirazione in termini di capacità in acqua disponibile (AWC) fino ad una profondità di riferimento di 100 cm. Nel caso di presenza di falda entro i 3 metri (WT), si tiene anche conto del suo potenziale contributo all'evaporazione del suolo e alla regolazione del microclima. L'indicatore CLI è stato calcolato come segue:

$$CLI\ 0-1 = \log\ AWC\ 0-1 + WT\ 0-1 \quad (3)$$

### 3.4 Stock di carbonio attuale (CST)

Lo stock di carbonio contenuto nel terreno espresso in  $Mg\ m^{-3}$  viene calcolato sulla base del contenuto in carbonio organico in volume % (SOC) moltiplicato per la densità apparente (BD,  $Mg\ m^{-3}$ ) misurati fino a fino a 100 cm.

$$CST0-1 = \log\ (SOC * BD)\ 0-1 \quad (4)$$

### 3.5 Produzione di alimenti (PRO)

La valutazione della capacità di produrre alimenti (e biomassa in genere) si basa sulla classificazione dei suoli in termine di capacità d'uso (Land Capability Classification, LCC), originariamente sviluppata dal Servizio di Conservazione del Suolo del Dipartimento dell'Agricoltura statunitense (Klingebiel e Montgomery, 1961) e adattata alle condizioni locali dal SGSS della Regione (Guermandi, 2000). La carta di LCC è disponibile in scala 1: 50.000 (Regione Emilia Romagna, 2010) per le aree di pianura e di collina. Circa il 56% della superficie della pianura si trova in classi con poche (o nessuna) limitazione (I, II, I / II, II / I) per la produzione agricola. Le aree con terreni che rientrano in classi non considerate idonee per uso agricolo rappresentano meno del 2% della superficie totale e sono principalmente imputabili alla classe V. Negli altri casi la scelta delle colture possibili è in qualche modo limitata in misura diversa. Le classi LCC sono state standardizzate seguendo lo schema presentato nella tabella 1.

Classe di capacità d'uso	Indice [0- 1]	Classe di capacità d'uso	Index [0- 1]
I	1	III/IV	0.50
I/II	0.95	III/VI	0.30
II	0.80	IV	0.40
II/I	0.90	IV/II	0.52
II/III	0.70	IV/III	0.50
II/III/IV	0.65	IV/VI	0.27
II/IV	0.55	V	0.30
III	0.60	V/II	0.35
III/II	0.65	VI/IV	0.25
III/II/IV	0.57	VIII	0.00

Tabella 1. Valore dell'indicatore per la produttività agricola (PRO) in funzione della classe di capacità d'uso.

### 3.6 Riserva di acqua (WAS) e infiltrazione profonda di acqua (WAR)

Tra le funzioni di regolazione del suolo, quelle che riguardano il ciclo dell'acqua contribuiscono a fornire servizi ecosistemici fondamentali, come il controllo delle inondazioni e delle siccità (Daily et al., 1997; CEC, 2006). Come indicatore del potenziale del suolo nell'immagazzinamento di acqua, (WAS), si considera il contenuto volumetrico di acqua alla capacità di campo (WCFC,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ). Il WCFC è calcolato utilizzando una PTF calibrata sui suoli dell'Emilia Romagna (Ungaro et al., 2005), i cui input sono la struttura del terreno, il contenuto di carbonio organico e la densità apparente, per una profondità di riferimento di 100 cm. Al valore così stimato si sottrae il volume occupato dallo scheletro ( $sk$ ,  $\text{vol vol}^{-1}$ ). In caso di presenza di falda superficiale (WT) nel primo m di terreno, è stata presa in considerazione la sua profondità media per ulteriormente diminuire il potenziale complessivo del terreno per l'immagazzinamento dell'acqua. WAS è calcolato come segue:

$$\text{WAS0-1} = (\text{WCFC} * (1 - sk) * (\text{WT}/100)) \quad (7)$$

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 ( $K_{\text{sat}}$ ,  $\text{mm h}^{-1}$ ), la distribuzione dimensionale dei pori e le condizioni di saturazione del terreno. L'indicatore del potenziale del suolo nella regolazione dell'acqua piovana, WAR, è quindi stimato come segue:

$$\text{WAR0-1} = \log K_{\text{sat0-1}} - \text{PSIe0-1} \quad (8)$$

dove PSIe (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.

## 4. LE CARTE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI DEI SUOLI

Per ognuna delle funzioni stimate come spiegato in precedenza sono state realizzate delle carte per il territorio comunale di Forlì, San Lazzaro di Savena e di Carpi.

Per supportare le decisioni in materia di pianificazione urbanistica e le connesse politiche di limitazione e mitigazione del consumo di suolo, ed es. in funzione dell'obiettivo omogeneo del consumo di suolo netto zero entro il 2050, obiettivo richiesto dall'Unione Europea, possono essere utili carte di sintesi relative alla "qualità" del suolo che tengano conto dell'insieme dei servizi forniti e del loro livello.

Per la costruzione di una mappa della qualità dei suoli abbiamo utilizzato due approcci differenti che forniscono diverse informazioni.

Nel primo caso si utilizza il concetto di "Hotspots" definiti qui come aree che forniscono più servizi ecosistemici di valore normalizzato maggiore del 75° percentile della distribuzione osservata per ciascuno dei servizi considerati. Per ogni poligono si evidenzia quindi il numero di servizi ecosistemici di maggior valore presenti. Poiché possono essere diverse le domande di servizi offerti dal suolo, in relazione alle necessità, può essere inoltre utile conoscere dove sono localizzati i suoli che forniscano servizi di altissimo valore (con punteggi maggiori del 90° percentile) differenziando per i diversi servizi. Questo può aiutare ad esempio a stabilire il "divieto di utilizzo" dei suoli migliori per la produzione agricola in aree rurali (carta PRO) o i suoli più permeabili per la regimazione delle precipitazioni in aree urbane (carta WAR).

Un altro criterio seguito è stato quello di usare la somma dei diversi valori di tutti i servizi ecosistemici considerati, riscalandola poi sull'intervallo da 1 a 0. Gli intervalli delle classi di qualità del suolo sono definiti o in base ai percentili della distribuzione osservata o utilizzando intervalli di ampiezza uguale prestabilita (ad esempio 0.2). Ne risultano quindi 5 classi di "qualità": Classe 1, >80° percentile, Classe 2 <80° e > 60°, Classe 3 <60° e > 40°, Classe 4 <40° e > 20°, Classe 5 <20°.

### 4.1 Impatto del consumo del suolo

#### 4.1.1. San Lazzaro di Savena

Il comune di San Lazzaro di Savena ha una superficie di circa 44 kmq. Il territorio urbanizzato, calcolato dall'ISPRA (dato 2016; [www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo](http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo)) risulta di circa 5 kmq, pari all' 11% del territorio comunale (Fig. 3, aree grigie), principalmente nelle aree di pianura (limite rosso tratteggiato). La percentuale sale al 28% (12 kmq) considerando il suolo consumato come definito nell'ambito dell'azione B1.1, valutando perciò tutte le aree che risultano trasformate da agricole o naturali in superfici urbanizzate (non necessariamente impermeabilizzate). Questo include anche le aree trasformate in ambito agricolo (corti e fabbricati rurali), la nuova viabilità pubblica così come da progetti approvati e le aree assoggettate a Piani Urbanistici attuativi approvati per i quali sia già stata sottoscritta la relativa convenzione urbanistica (Fig. 3, aree azzurre). Il calcolo effettuato da ISPRA considera, normalmente, le sole superfici impermeabilizzate. Il dato ISPRA è pertanto più correttamente confrontabile con la superficie impermeabilizzata determinata a livello comunale nell'ambito dell'Azione B1.1 e pari a 7,4 Kmq, corrispondenti al 16,70% del territorio comunale (dato riferito al 31/12/2016).

## AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

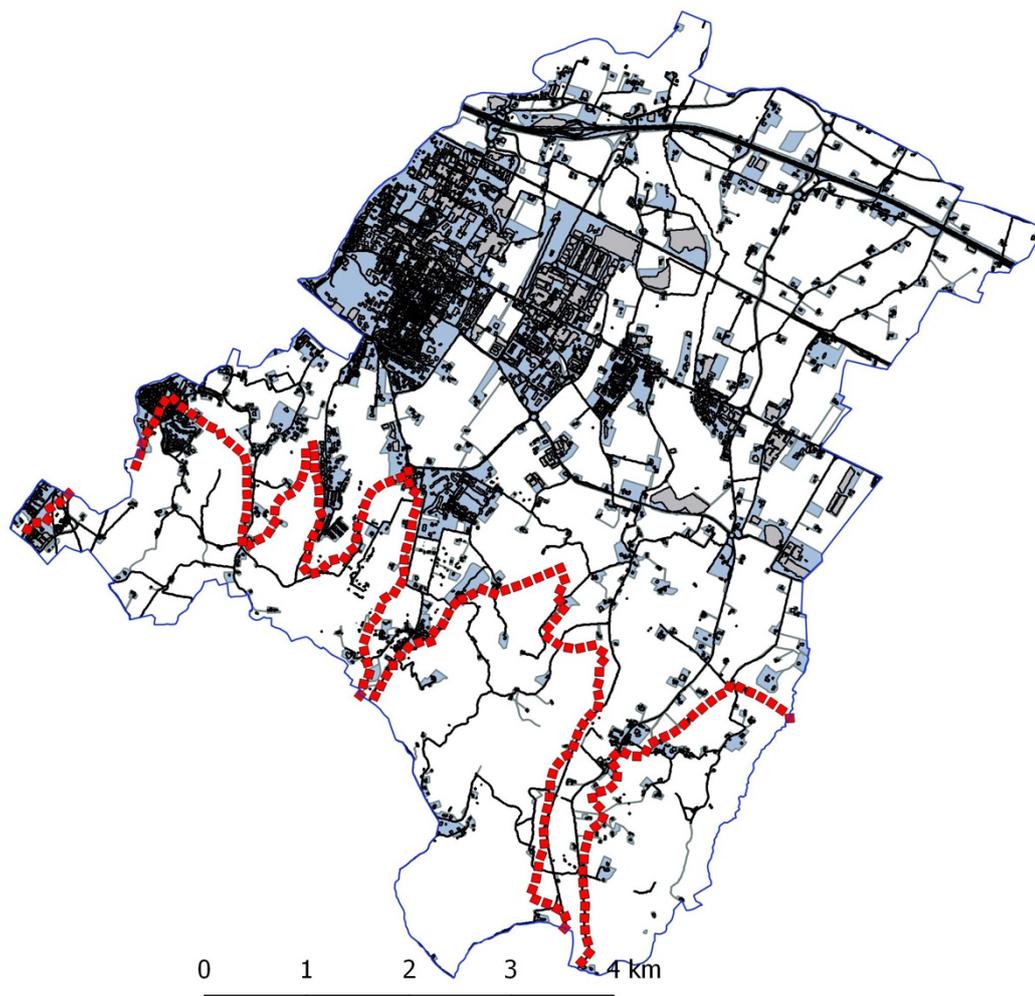


Figura 3. San Lazzaro di Savena: aree urbanizzate secondo ISPRA (in grigio) e trasformate o in trasformazione (in azzurro). In rosso tratteggiato il limite tra pianura e collina.

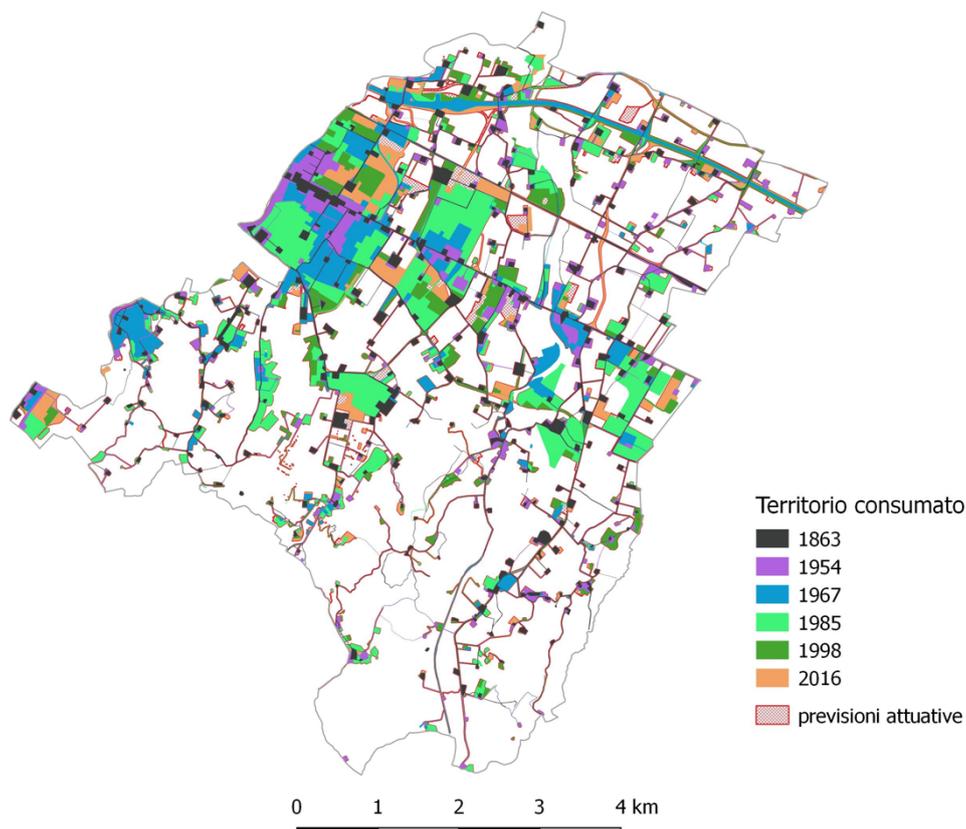
Per valutare l'impatto del consumo di suolo sui servizi ecosistemici forniti dal suolo occorre considerare la qualità dei suoli consumati, risultante dalle loro diverse proprietà, e le loro funzioni. Per calcolare gli indicatori delle diverse funzioni alla base dei servizi nelle delimitazioni della carta pedologica in scala 1:50.000, sono stati utilizzati i dati relativi a 89 profili di suolo (siti benchmark) per un totale di 194 orizzonti estratti dalla banca dati pedologica regionale. Le statistiche descrittive dei dati utilizzati sono riportate nella tabella 2. In funzione dell'occorrenza delle diverse tipologie di suolo all'interno delle delimitazioni della carta pedologica sono stati calcolati indicatori ponderati per ciascuna delimitazione in modo da stimare il livello medio di fornitura di servizi ecosistemici per ciascuna di esse.

In figura 4 è riportata la carta dell'evoluzione del consumo di suolo dal 1863 (vedi deliverable B1.1) ad oggi; la carta riporta anche le previsioni attuative previste dallo strumento urbanistico generale comunale.

Questi strati informativi sono stati utilizzati per la valutazione della perdita dei diversi servizi ecosistemici dei suoli nel periodo 1863-2016. Per quest'ultima data è anche disponibile una stima del livello di impermeabilizzazione in funzione della trasformazione occorsa, evidenziato nella figura 5.

Variabili (N = 194)	Media	Minimo	Massimo	Dev. Stand.
Scheletro, %	3.68	0.00	37.50	7.06
Sabbia, %	21.17	3.24	71.24	14.77
Limo, %	45.63	7.99	69.45	10.76
Argilla, %	32.26	3.53	51.00	9.82
Carbonio organico, %	0.82	0.19	6.79	0.86
Densità apparente*, Mg m <sup>-3</sup>	1.49	0.24	1.65	0.16
pH	7.76	6.10	8.40	0.53
Capacità di scambio cationica* (meq/100g)	20.19	7.94	28.37	4.22
Contenuto idrico a -333 cm*, vol/vol	0.35	0.07	0.67	0.07
Contenuto idrico a -15000 cm*, vol/vol	0.26	0.04	0.55	0.07
Capacità di campo*, vol/vol	0.53	0.02	0.66	0.09
Acqua disponibile*, mm	130.30	7.15	188.06	30.61
Profondità media falda estiva, cm	260.96	229.19	300.00	33.52
Porosità*, vol/vol	0.44	0.38	0.91	0.06
Conducibilità idrica satura*, mm/h	6.60	0.01	164.81	24.49
Tensione di ingresso all'aria*, cm	78.93	5.13	138.37	33.42

Tabella 2. Statistiche descrittive dei dati utilizzati per il calcolo degli indicatori. \*Dato stimato da pedofunzione. I valori si riferiscono ai dati ponderati sui 100 cm di profondità.



AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

Figura 4. San Lazzaro di Savena: evoluzione storica del consumo di suolo.

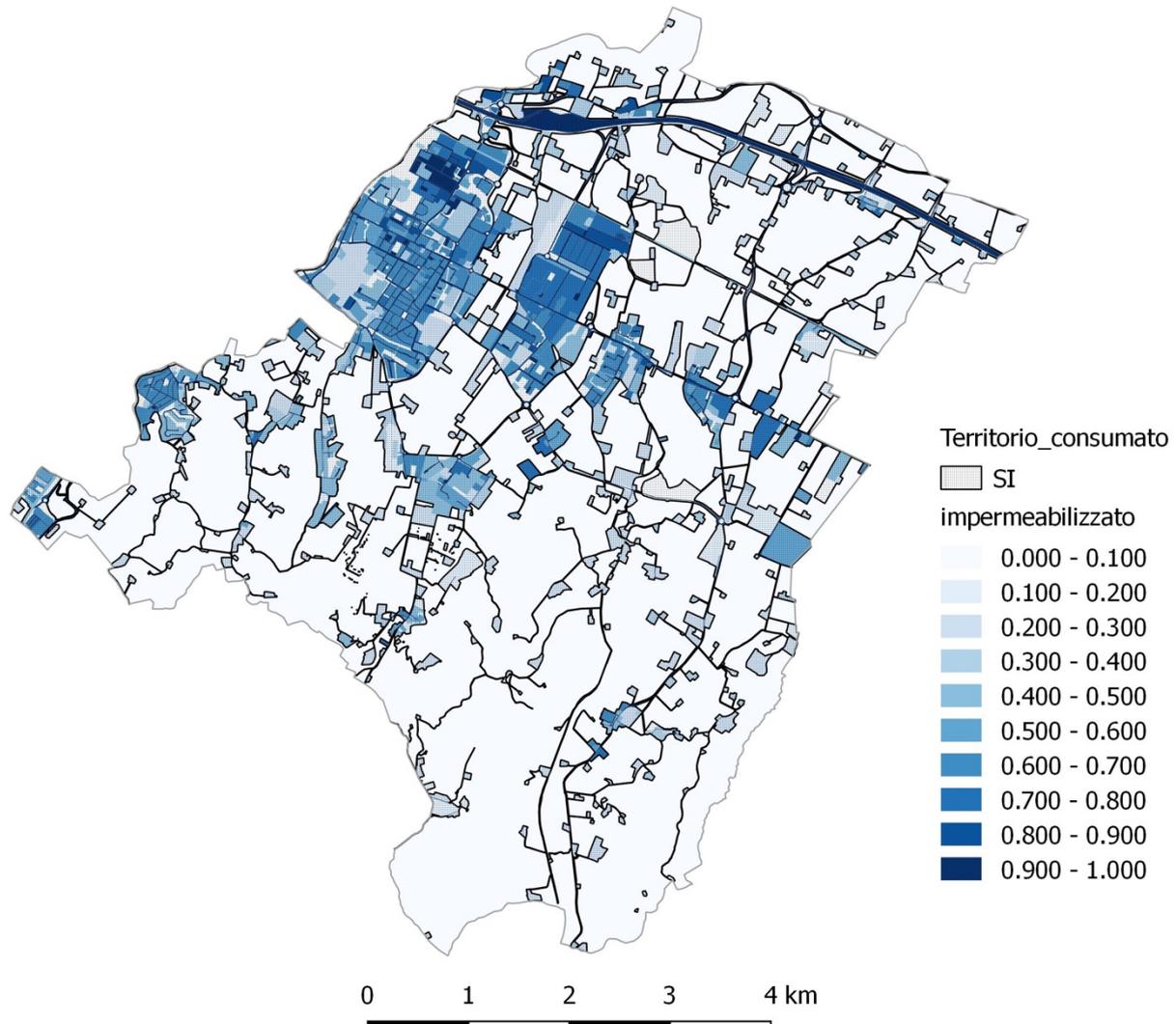


Figura 5. San Lazzaro di S.: indice di impermeabilizzazione dei suoli.

Nella figura 6 sono riportate le carte dei servizi ecosistemici forniti dai suoli del comune di San Lazzaro. Lo strato informativo relativo all'urbanizzazione (*sealing*) è quello fornito dal comune di San Lazzaro ed è relativo al 2016.

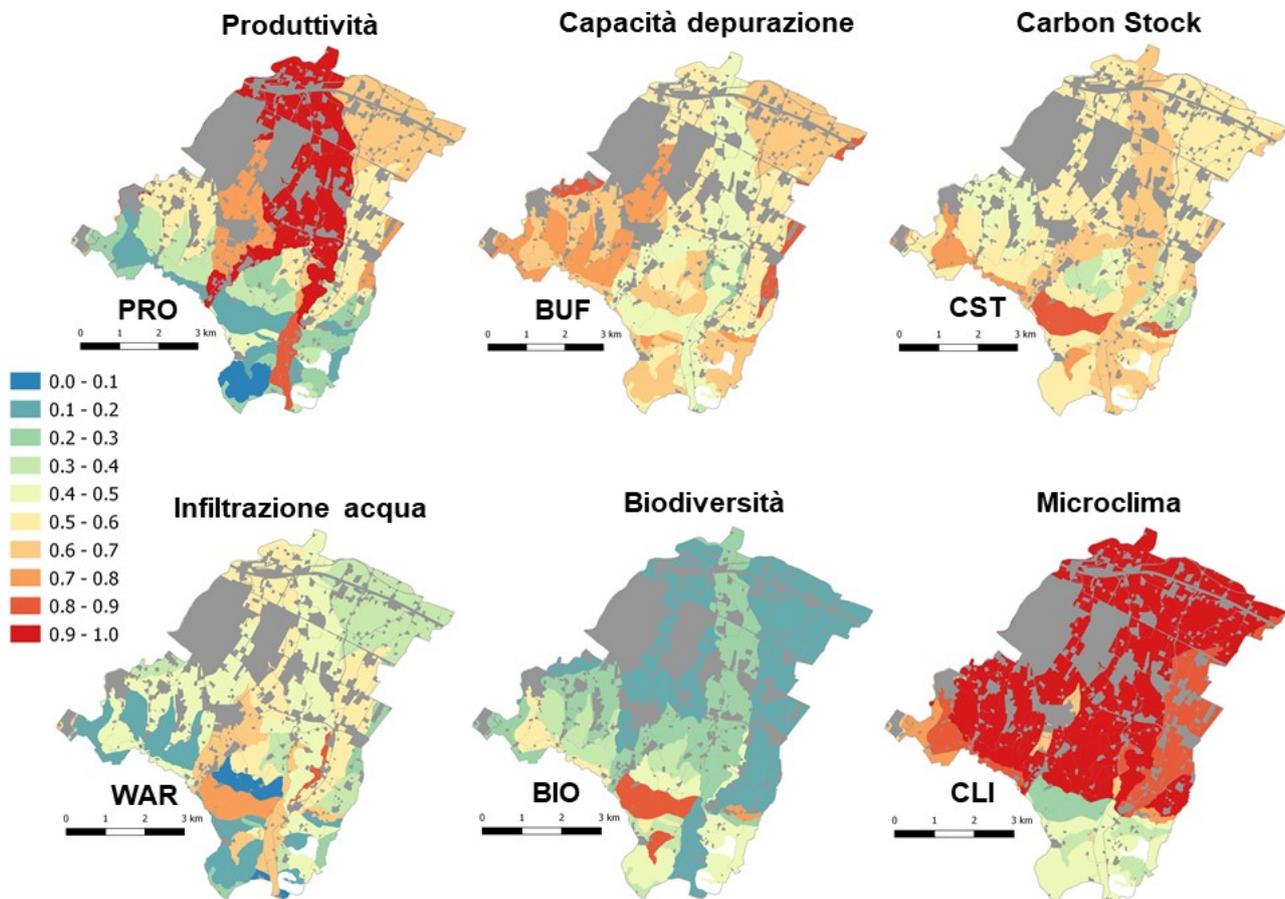


Figura 6. San Lazzaro di S.: servizi ecosistemici dei suoli.

Nella figura 7 è riportata la carta della qualità dei suoli definita come il numero dei servizi ecosistemici da questi forniti con valore superiore al 75° percentile della distribuzione osservata, e la localizzazione delle unità cartografiche i cui suoli forniscono singoli servizi con valore superiore al 90° percentile della distribuzione osservata nel territorio comunale.

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

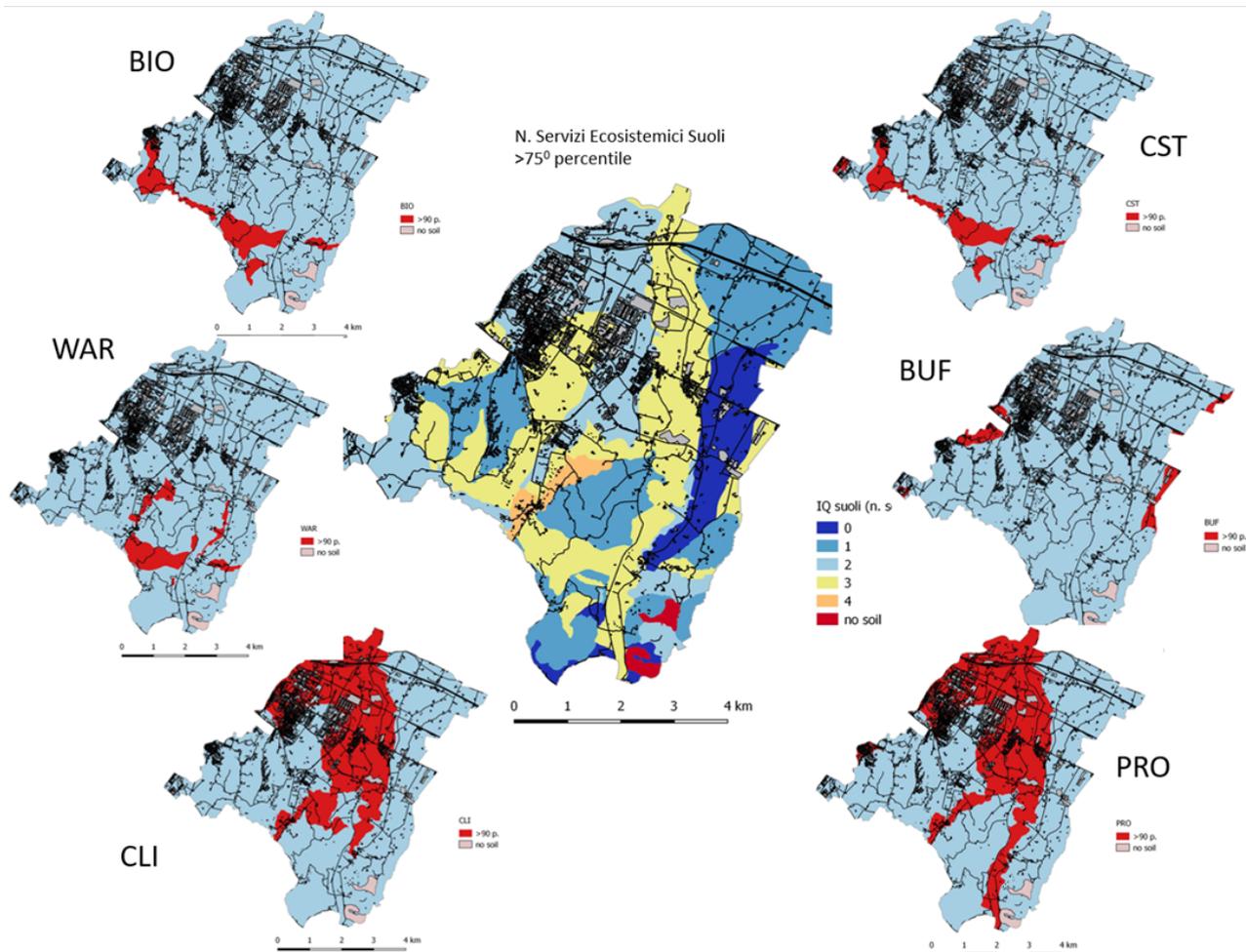


Figura 7. San Lazzaro di S.: carta degli hotspot (al centro) e carte dei servizi ecosistemici con valore superiore al 75° percentile della distribuzione osservata nel territorio comunale.

La figura seguente (figura 8) rappresenta invece l'indice di qualità dei suoli ottenuto sommando i valori dei singoli indicatori normalizzati, e riscaldando infine la somma nell'intervallo 1-0. I limiti delle classi sono posti in corrispondenza dei cinque ventili della distribuzione statistica osservata. In termini di qualità del suolo come sopra definita, il consumo di suolo interessa diversamente le diverse classi (figura 10 e tabella 2).

	Consumo (ha)	% su area	% su consumato	% su classe
Classe 1 (molto alta)	991	22.16%	78.89%	38.79%
Classe 2 (alta)	229	5.11%	18.20%	17.90%
Classe 3 (media)	28	0.62%	2.22%	8.02%
Classe 4 (bassa)	7	0.15%	0.53%	5.15%
Classe 5 (molto bassa)	2	0.04%	0.15%	1.65%
Totale	1255.54	28.10%	100.00%	

Tabella 2. San Lazzaro di S.: consumo di suolo (anno 2016) per classi di qualità del suolo.

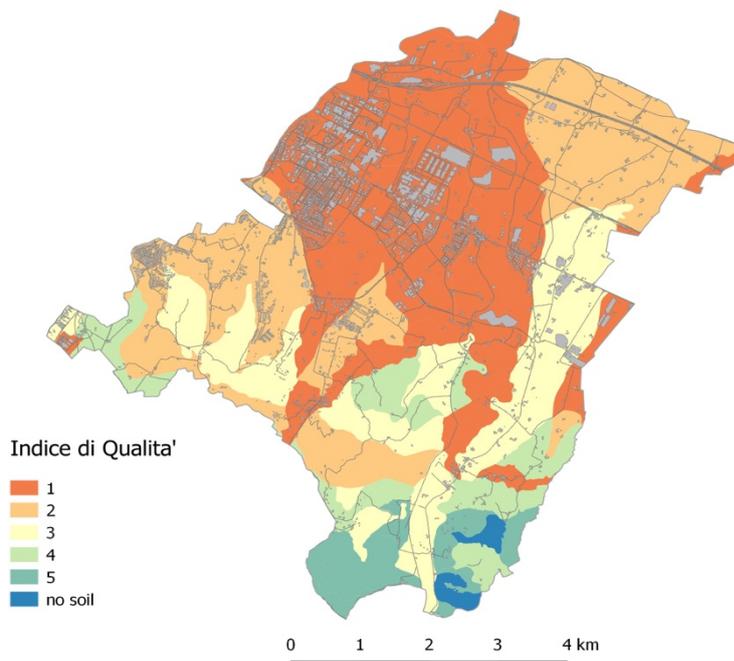


Figura 8. San Lazzaro di S.: indice sintetico di qualità del suolo (1: molto alta, 2: alta, 3: media, 4: bassa, 5: molto bassa) definito in base al contributo dei servizi ecosistemici considerati.

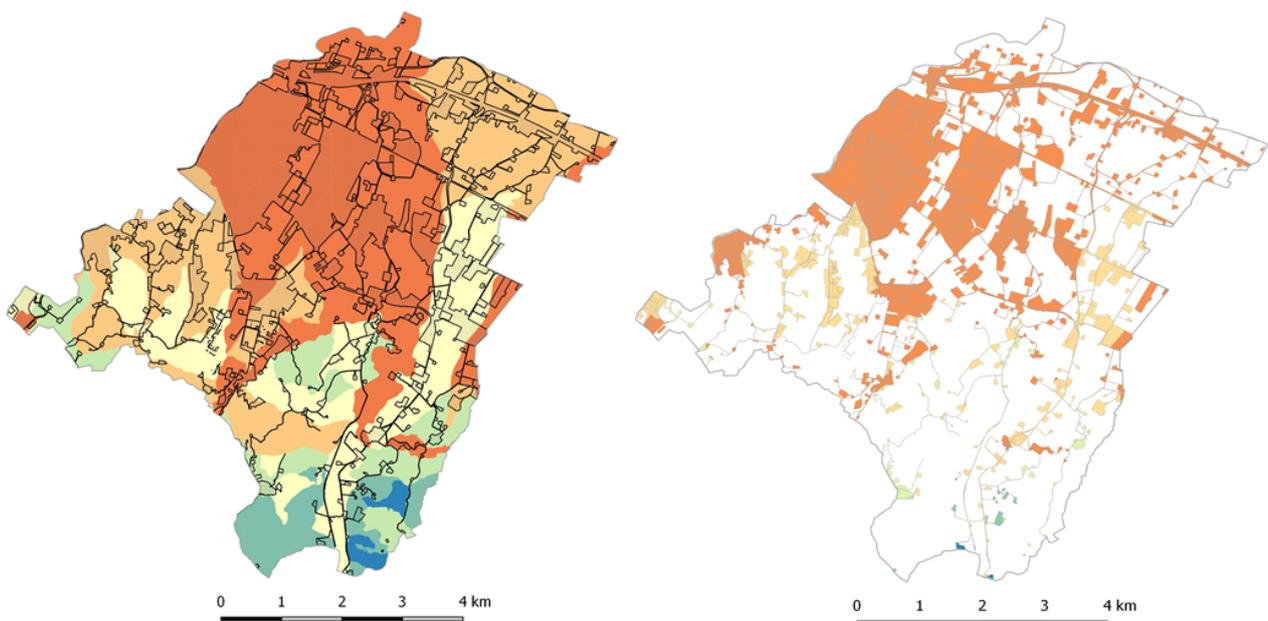


Figura 9. San Lazzaro di S.: consumo di suolo per classi di qualità del suolo definite in base ai servizi ecosistemici considerati.

Dei circa 12 kmq di suolo consumato il 78% interessa i suoli di alta qualità, suoli di pianura, profondi con ottime caratteristiche di fertilità chimico-fisica. Considerando la situazione attuale si è perso circa il 40% dei suoli di prima classe, e quasi il 18% dei suoli di seconda classe.

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

Considerando l'evoluzione del consumo di suolo nel tempo per ciascuna classe di qualità, si ha l'andamento riportato nel grafico in figura 10.

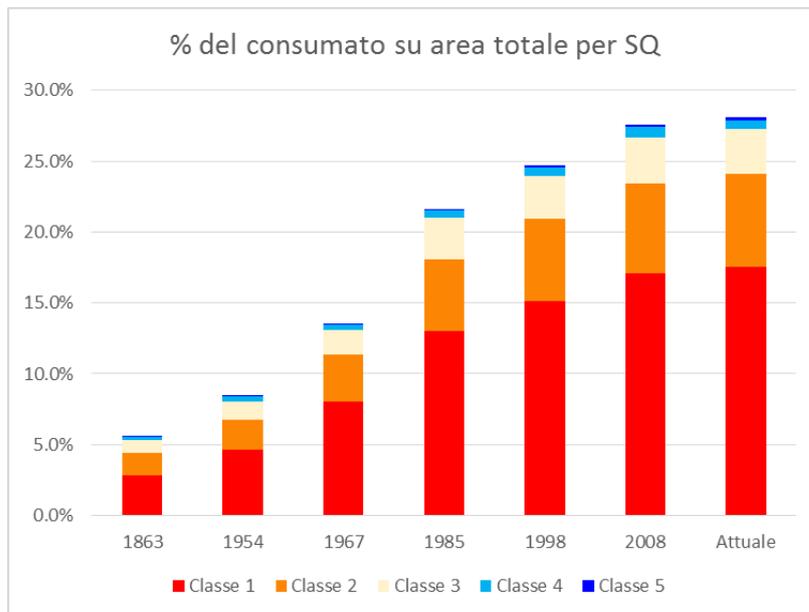


Figura 10. San Lazzaro di S.: l'evoluzione del consumo di suolo nel tempo per ciascuna classe di qualità.

In termini di impatto sui diversi servizi ecosistemici forniti dal suolo si ha l'andamento riportato nella figura 11 e nella tabella 3: la perdita media di servizi ecosistemici va dal circa 30% della capacità produttiva (PRO) al 18% del supporto alla biodiversità (BIO).

SE	Suolo	2017	diff.
PRO	0.447	0.312	-30%
BUF	0.554	0.418	-24%
CLI	0.620	0.466	-25%
WAS	0.789	0.597	-24%
WAR	0.372	0.274	-26%
CST	0.525	0.404	-23%
BIO	0.286	0.234	-18%

Tabella 3. Variazione nella fornitura di servizi ecosistemici.

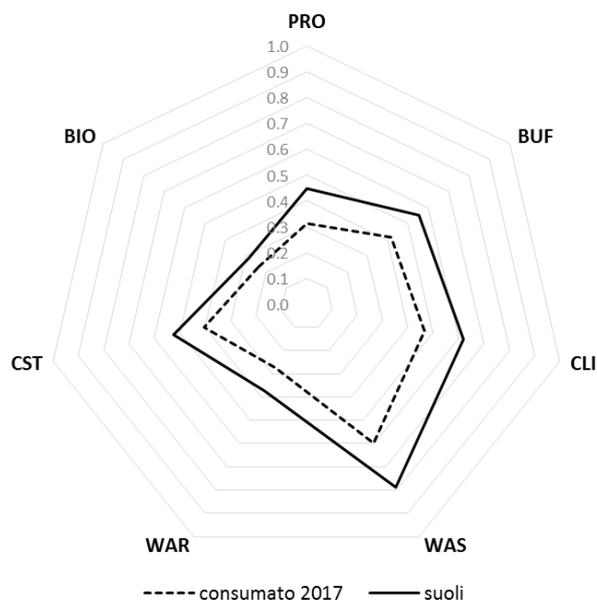


Figura 11. Perdita di servizi ecosistemici

La situazione è però assai differenziata tra la pianura e la collina, come riportato dalla tabella 4 e dalla figura 12. Mentre in pianura si è perso, ad esempio, quasi il 40% della potenzialità produttiva e dello stock di carbonio, le percentuali scendono in collina rispettivamente al 10% e al 9%.

SE	Suolo Pianura			Suolo Collina		
	2017	diff.		2017	diff.	
PRO	0.678	-38%	0.420	0.233	-10%	0.208
BUF	0.613	-37%	0.386	0.499	-10%	0.450
CLI	0.833	-34%	0.553	0.423	-10%	0.382
WAS	0.920	-35%	0.593	0.669	-10%	0.601
WAR	0.536	-35%	0.350	0.221	-9%	0.200
CST	0.541	-37%	0.342	0.510	-9%	0.464
BIO	0.221	-31%	0.152	0.346	-10%	0.312

Tabella 4. Variazione nella fornitura di servizi ecosistemici in pianura e collina.

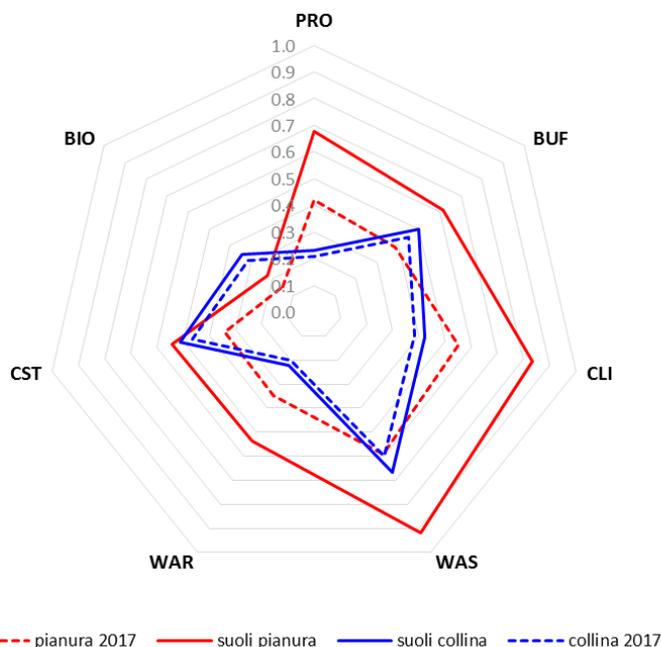


Figura 12. Perdita di servizi ecosistemici in pianura e in collina

In funzione del grado di impermeabilizzazione del consumato, alcune funzioni possono potenzialmente ancora essere svolte dai suoli. Il coefficiente di impermeabilizzazione è stato quindi utilizzato per stimare la funzionalità dei suoli in ambiente urbanizzato. Occorre precisare che si tratta di una stima parziale, dato che si considera solo la permeabilità residua, senza valutazioni sul livello di possibile inquinamento ambientale o altri fattori limitanti. Considerando che la capacità produttiva (PRO) di tutto il territorio consumato venga persa al 100%, e che gli altri servizi si riducano in modo proporzionale al grado di impermeabilizzazione, si ottengono i seguenti valori medi dei SE (tabella 5) e le seguenti cartografie (figura 13). Per controllo, e come riferimento a livello nazionale, è stato considerato anche il dato ISPRA relativo al consumo di suolo (*sealing*). Dalla tabella si vede che, a parte l'ovvio caso della produttività, le elaborazioni per gli altri SE non si discostano di molto tra l'impermeabilizzato stimato da ISPRA e quello utilizzato in questo studio.

Servizi ecoistemic	Suoli	Impermeabilizzato	Differenza	ISPRA
PRO	0.447	0.312	-30%	0.392
BUF	0.554	0.510	-8%	0.498
CLI	0.620	0.561	-10%	0.558
WAS	0.789	0.726	-8%	0.711
WAR	0.372	0.330	-11%	0.333
CST	0.525	0.481	-9%	0.475
BIO	0.286	0.277	-3%	0.264

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

Tabella 5. San Lazzaro di S.: perdita di servizi ecosistemici in funzione del grado di impermeabilizzazione del suolo.

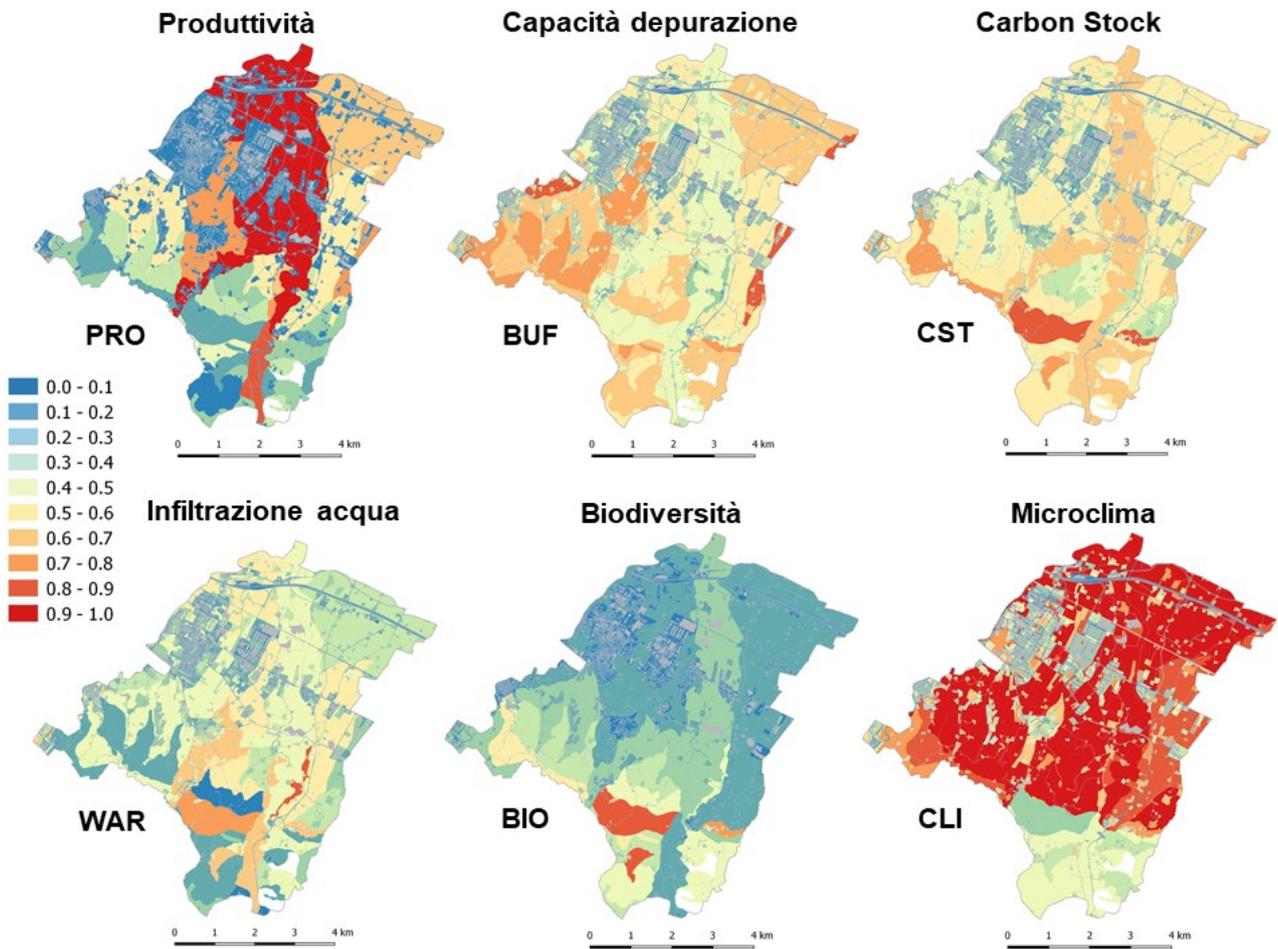


Figura 13. San Lazzaro di S.: carte dei servizi ecosistemici in funzione del grado di impermeabilizzazione del suolo.

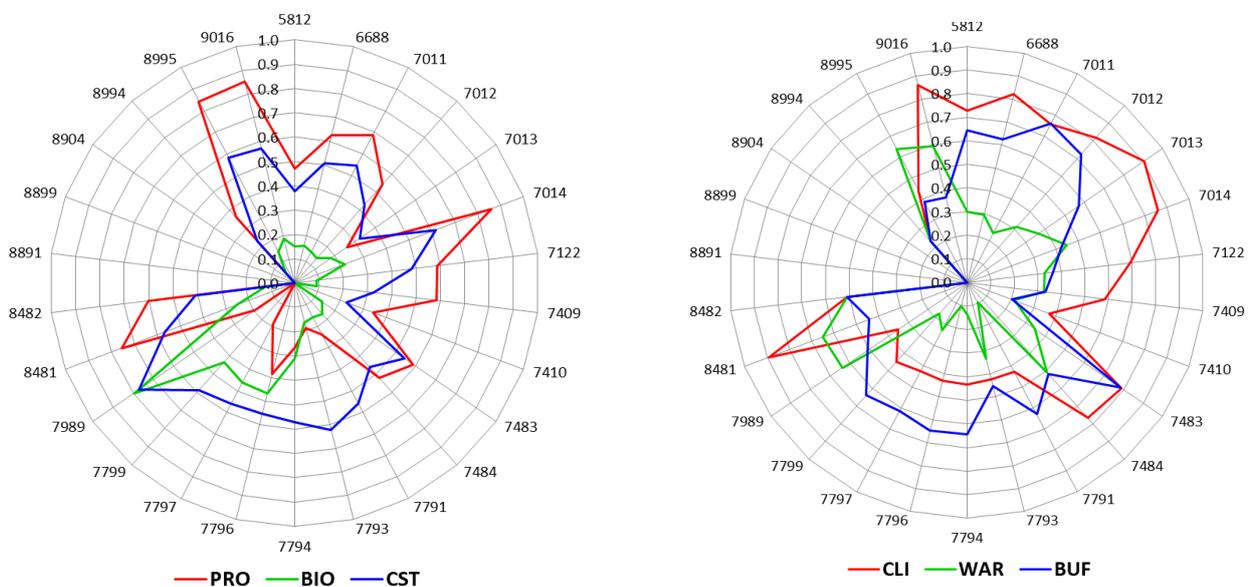


Figura 14. San Lazzaro di S.: Sinergie e trade-off tra i SE nelle diverse delineazioni dei suoli comunali.

Num	GISID	ha	BUF	CLI	WAS	WAR	CST	BIO
1	5812	64.3	0.645	0.726	0.778	0.298	0.378	0.151
2	6688	492.0	0.626	0.822	0.890	0.294	0.508	0.158
3	7011	57.7	0.760	0.757	0.850	0.237	0.546	0.143
4	7012	16.8	0.726	0.818	0.894	0.313	0.428	0.135
5	7013	52.9	0.571	0.906	0.863	0.364	0.322	0.180
6	7014	598.2	0.424	0.858	0.836	0.449	0.615	0.219
7	7122	1.5	0.366	0.693	0.629	0.328	0.480	0.090
8	7409	721.8	0.333	0.585	0.607	0.325	0.325	0.092
9	7410	0.7	0.203	0.369	0.378	0.213	0.225	0.000
10	7483	16.3	0.786	0.789	0.882	0.344	0.545	0.135
11	7484	336.6	0.518	0.765	0.614	0.508	0.462	0.169
12	7791	8.7	0.630	0.426	0.572	0.095	0.558	0.159
13	7793	18.7	0.452	0.423	0.814	0.333	0.622	0.167
14	7794	13.1	0.644	0.432	0.648	0.137	0.572	0.310
15	7796	22.2	0.647	0.430	0.637	0.104	0.554	0.466
16	7797	23.8	0.614	0.423	0.522	0.229	0.560	0.462
17	7799	97.5	0.639	0.450	0.355	0.179	0.588	0.436
18	7989	25.6	0.508	0.353	0.831	0.636	0.773	0.796
19	8481	51.8	0.439	0.893	0.442	0.651	0.568	0.254
20	8482	61.7	0.507	0.507	0.747	0.507	0.409	0.121
21	8891	20.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	8899	24.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	8904	0.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	8994	25.7	0.233	0.233	0.378	0.233	0.229	0.051
25	8995	92.7	0.386	0.437	0.901	0.638	0.581	0.146
26	9016	82.0	0.371	0.863	0.869	0.594	0.569	0.187
27	9466	25.0	0.248	0.803	0.913	0.813	0.359	0.448
28	9467	22.7	0.386	0.733	0.890	0.636	0.736	0.655
29	9468	121.1	0.644	0.774	0.904	0.396	0.682	0.535
30	9469	129.3	0.454	0.291	0.960	0.709	0.798	0.804
31	9528	194.0	0.756	0.909	0.969	0.195	0.528	0.317
32	9529	233.9	0.559	0.803	0.823	0.350	0.410	0.251
33	9530	273.6	0.563	0.685	0.718	0.301	0.402	0.111
34	9737	15.2	0.401	0.401	0.438	0.401	0.467	0.150
35	9738	8.0	0.399	0.215	0.452	0.236	0.272	0.130
36	9839	84.3	0.618	0.894	0.981	0.038	0.564	0.398
37	10067	8.1	0.680	0.680	0.986	0.680	0.515	0.296
38	10068	60.4	0.603	0.881	0.918	0.379	0.394	0.261
39	10069	19.5	0.191	0.809	0.627	0.595	0.506	0.271
40	10070	77.8	0.497	0.948	0.908	0.556	0.337	0.307

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

41	10071	81.2	0.602	0.387	0.857	0.405	0.678	0.425
Num	GISID	ha	BUF	CLI	WAS	WAR	CST	BIO
42	10249	15.9	0.779	0.436	0.977	0.148	0.561	0.201
43	10578	17.2	0.507	0.435	0.750	0.240	0.587	0.332
44	10579	1.9	0.685	0.685	0.993	0.685	0.518	0.367
45	10711	11.5	0.421	0.444	0.644	0.130	0.590	0.424
46	11220	44.0	0.645	0.425	0.939	0.176	0.509	0.376
47	11221	71.8	0.722	0.697	0.956	0.179	0.523	0.230
48	11222	5.3	0.776	0.455	0.995	0.251	0.438	0.506
49	11223	0.7	0.687	0.425	0.934	0.217	0.452	0.463
50	11224	0.3	0.528	0.291	0.647	0.124	0.358	0.347
51	11225	5.0	0.376	0.448	0.557	0.026	0.599	0.128
52	11229	9.4	0.711	0.447	0.995	0.156	0.591	0.592
53	11230	7.5	0.552	0.375	0.800	0.441	0.678	0.340

Tabella 6. S. Lazzaro: Indicatori di servizi ecosistemici in funzione del grado di impermeabilizzazione del suolo per le delimitazioni della carta dei suoli di San Lazzaro di Savena.

#### 4.1.2. Forlì

Il comune di Forlì ha una superficie di circa 228 kmq. Il territorio urbanizzato, così come calcolato nel rapporto 2017 dell'ISPRA ([www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo](http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo)) risulta di 31 kmq, pari al 14% del territorio comunale (fig.15, aree grigie). Considerando il suolo consumato come definito nell'ambito dell'azione B1.1, valutando perciò tutte le aree che risultano trasformate da agricole o naturali in superfici urbanizzate (non necessariamente impermeabilizzate) -includendo anche le aree trasformate in ambito agricolo (corti e fabbricati rurali), la nuova viabilità pubblica così come da progetti approvati e le aree assoggettate a Piani Urbanistici attuativi approvati per i quali sia già stata sottoscritta la relativa convenzione urbanistica – la superficie risulta pari a circa 55 km<sup>2</sup> (24% del territorio comunale, Fig. 15, aree azzurre). Il dato ISPRA è tanto più correttamente confrontabile con la superficie impermeabilizzata determinata a livello comunale nell'ambito dell'Azione B1.1 e pari a 32,3 Km<sup>2</sup>, corrispondenti al 14,16% del territorio comunale (dato riferito al 31/12/2016).

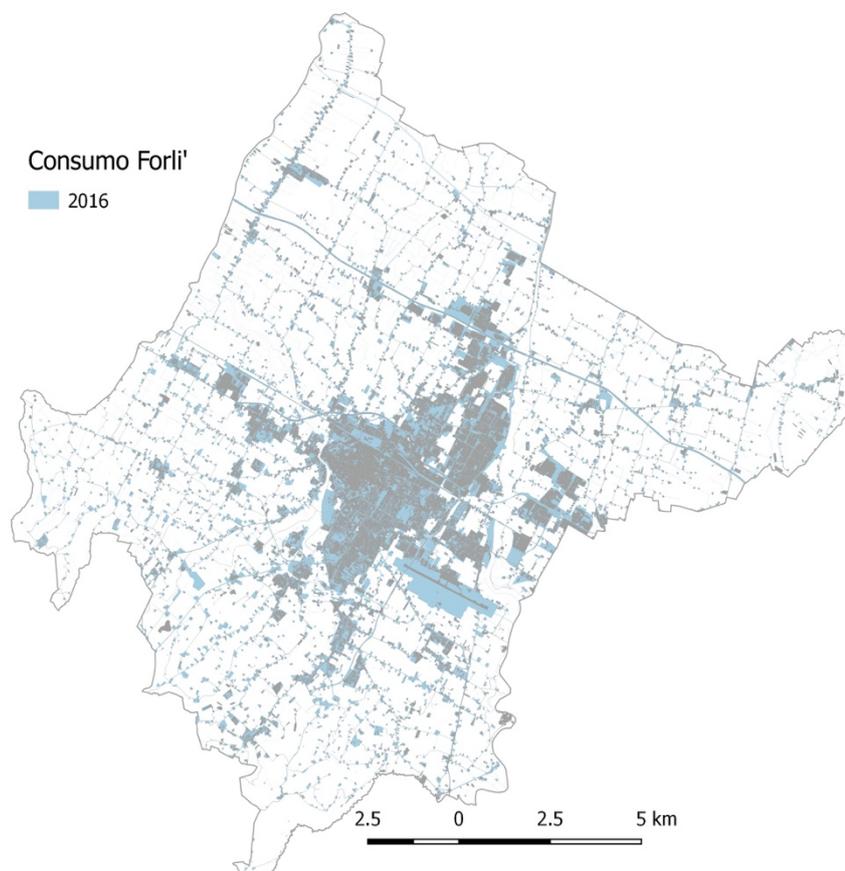


Figura 15. Forlì: aree urbanizzate secondo ISPRA (in grigio) e trasformate o in trasformazione (in azzurro).

In figura 16 è riportata la carta della dinamica del consumo di suolo nel territorio del comune di Forlì dal 1860 al 2016.

## AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

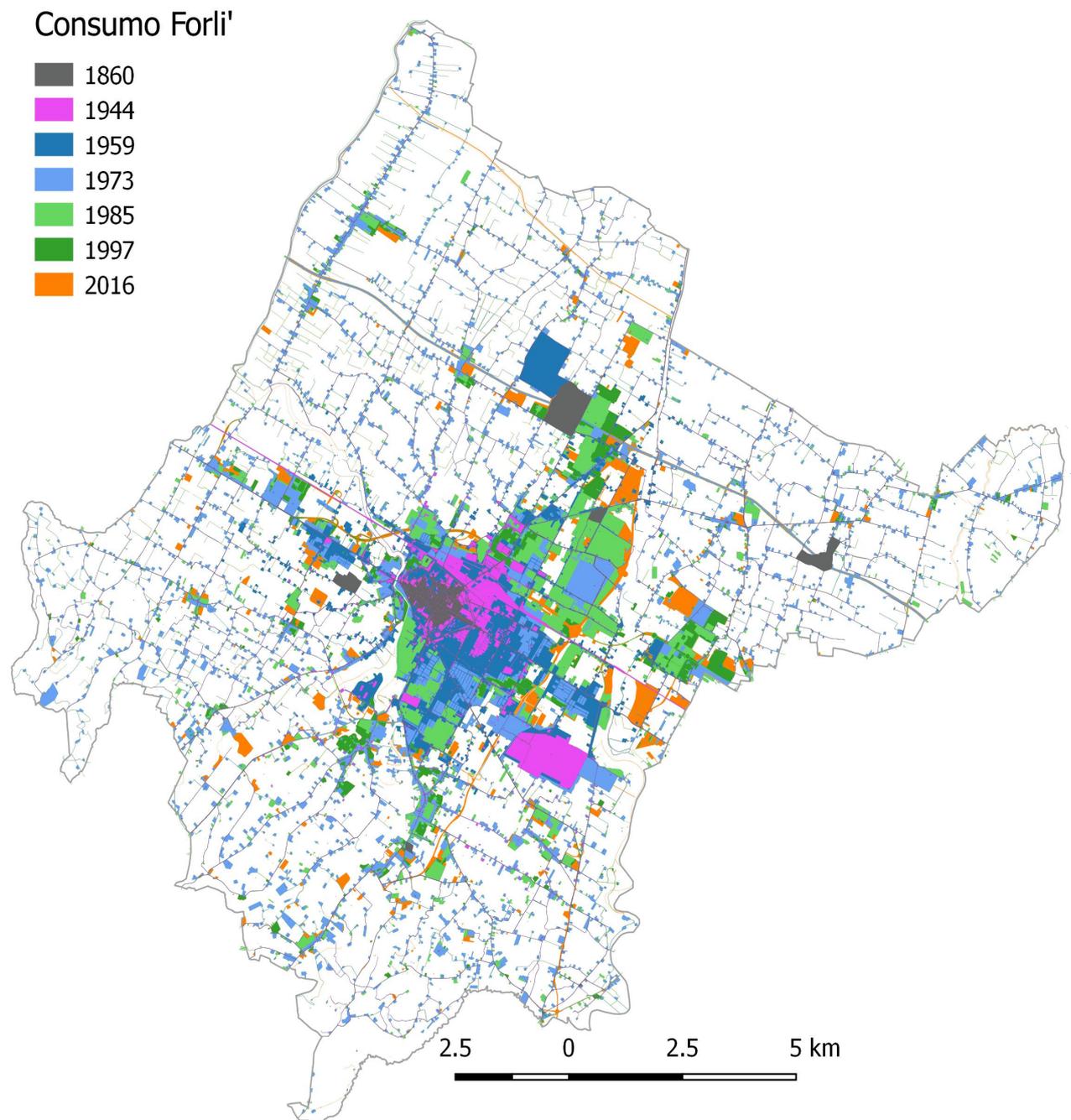


Figura 16. Forlì: evoluzione storica del consumo di suolo.

Per calcolare gli indicatori delle diverse funzioni alla base dei servizi nelle delimitazioni della carta pedologica in scala 1:50.000, sono stati utilizzati i dati relativi a 120 profili di suolo (siti benchmark) per un totale di 354 orizzonti estratti dalla banca dati pedologica regionale. Le statistiche descrittive dei dati utilizzati sono riportate nella tabella 6. In funzione dell'occorrenza delle diverse tipologie di suolo all'interno delle delimitazioni della carta pedologica sono stati calcolati indicatori ponderati per ciascuna delimitazione in modo da stimare il livello medio di fornitura di servizi ecosistemici per ciascuna di esse.

Variabili (N = 245)	Media	Minimo	Massimo	Dev. Stand.
Scheletro, %	1.04	0.00	37.50	5.82
Sabbia, %	18.91	1.30	88.25	13.64
Limo, %	49.36	9.03	67.00	9.16
Argilla, %	31.57	2.73	57.00	9.40
Carbonio organico, %	0.73	0.18	1.52	0.27
Densità_apparente*, Mg m <sup>-3</sup>	1.50	1.20	1.62	0.07
pH	7.82	5.70	8.60	0.38
Capacità di scambio cationica* (meq/100g)	20.26	7.94	30.99	3.89
Contenuto idrico a -333 cm*, vol/vol	0.35	0.10	0.45	0.05
Contenuto idrico a -15000 cm*, vol/vol	0.26	0.06	0.36	0.05
Capacità di campo*, vol/vol	0.09	0.04	0.13	0.01
Acqua disponibile*, mm	137.68	57.83	199.36	21.13
Profondità media falda estiva, cm	237.83	215.63	300.00	19.60
Porosità*, vol/vol	0.43	0.39	0.55	0.03
Conducibilità idrica saturata*, mm/h	0.43	0.00076	21.93	1.89
Tensione di ingresso all'aria*, cm	83.63	10.64	147.58	31.94

Tabella 7. Statistiche descrittive dei dati utilizzati per il calcolo degli indicatori. \*Dato stimato da pedofunzione. I valori si riferiscono ai dati ponderati sui 100 cm di profondità.

Nella figura 17 sono riportate le carte dei servizi ecosistemici forniti dai suoli del comune di Forlì. Nella figura 18 è riportata la carta della qualità dei suoli definita come il numero dei servizi ecosistemici da questi forniti con valore superiore al 75° percentile della distribuzione osservata, e la localizzazione delle unità cartografiche i cui suoli forniscono singoli servizi con valore superiore al 90° percentile della distribuzione osservata nel territorio comunale. La figura 18 rappresenta invece l'indice di qualità sintetica dei suoli.

In termini di impatto sui servizi ecosistemici forniti dal suolo (tabella 7) si ha una diminuzione media che va dal 22% della capacità produttiva al 18% della potenzialità di biodiversità del suolo. In termini quantitativi, si sono persi circa 4200 ha di suoli altamente produttivi (Classe 1 e 2 di capacità d'uso), pari a circa il 28% del totale degli stessi. Ipotizzando una produzione media potenziale di 8 t/ha di frumento, è andata persa la possibilità di produrre circa 33,700 t l'anno di frumento (la produzione media di frumento in Emilia Romagna è di circa 282,000 t; dati ISTAT).

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

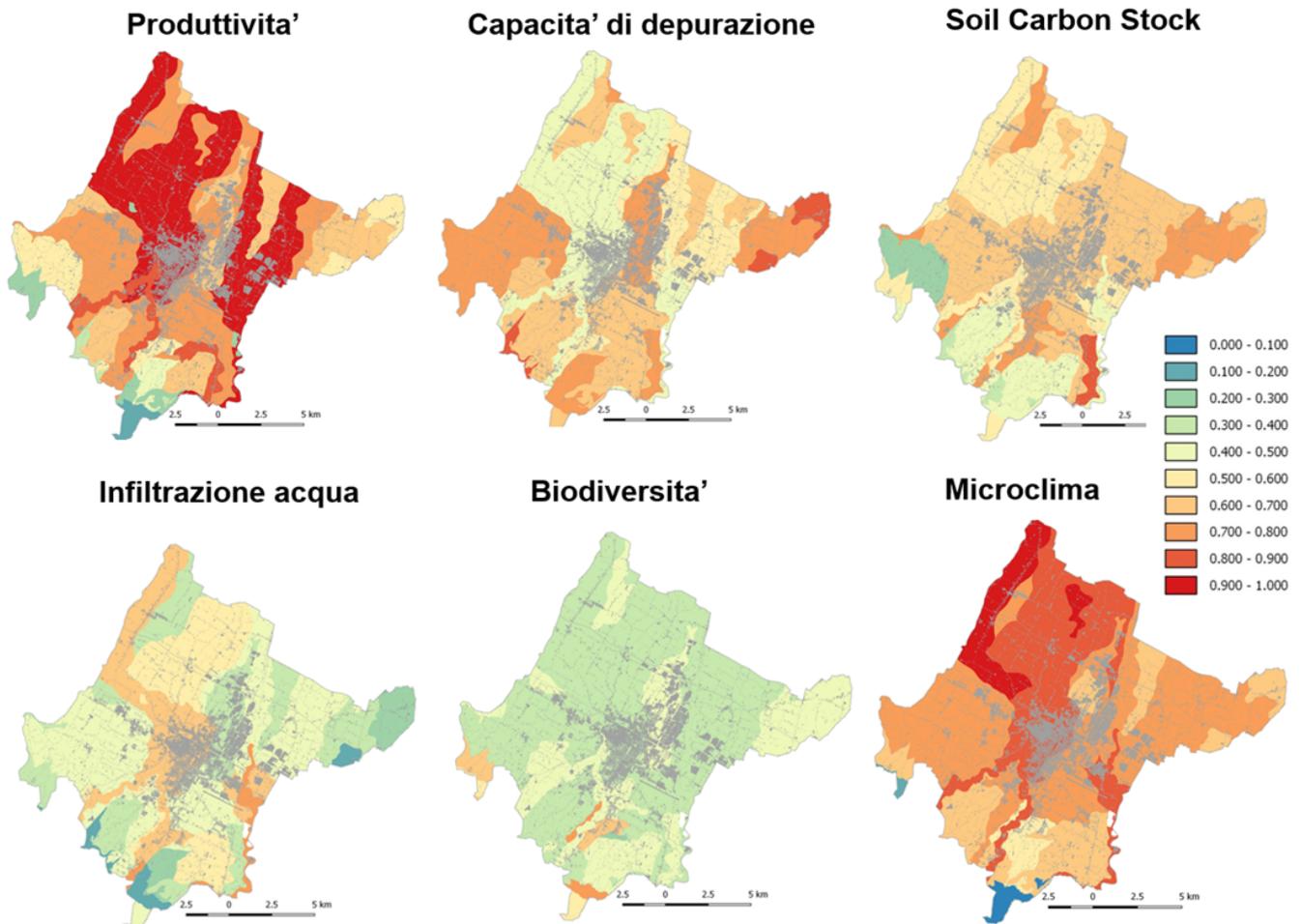


Figura 17. Forlì: carte dei servizi ecosistemici dei suoli comunali.

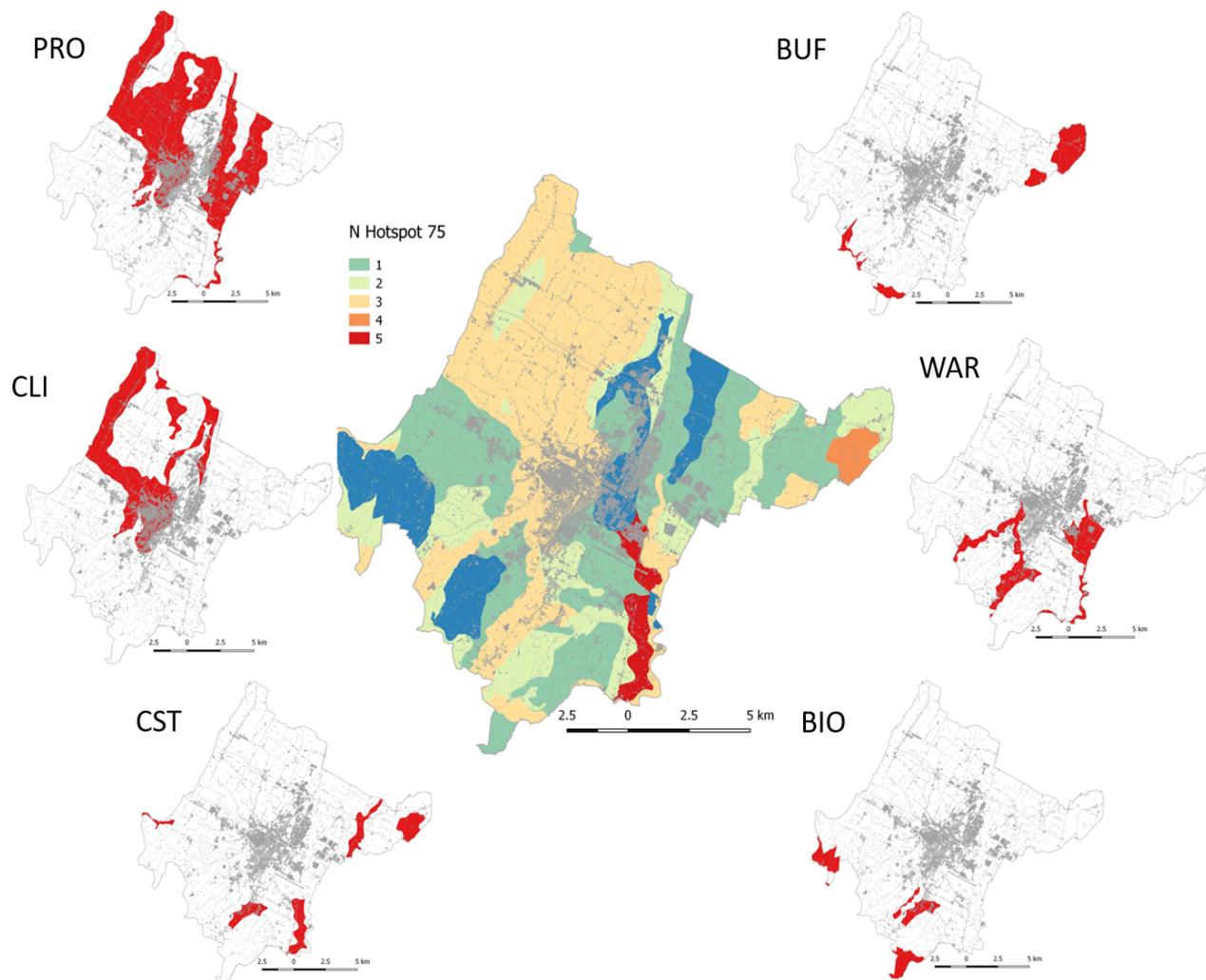


Figura 18. Forlì: indice sintetico di qualità del suolo definito come numero di servizi con indice sopra il 75° percentile, e carte dei servizi ecosistemici con valore superiore al 90° percentile della distribuzione osservata nel territorio comunale.

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

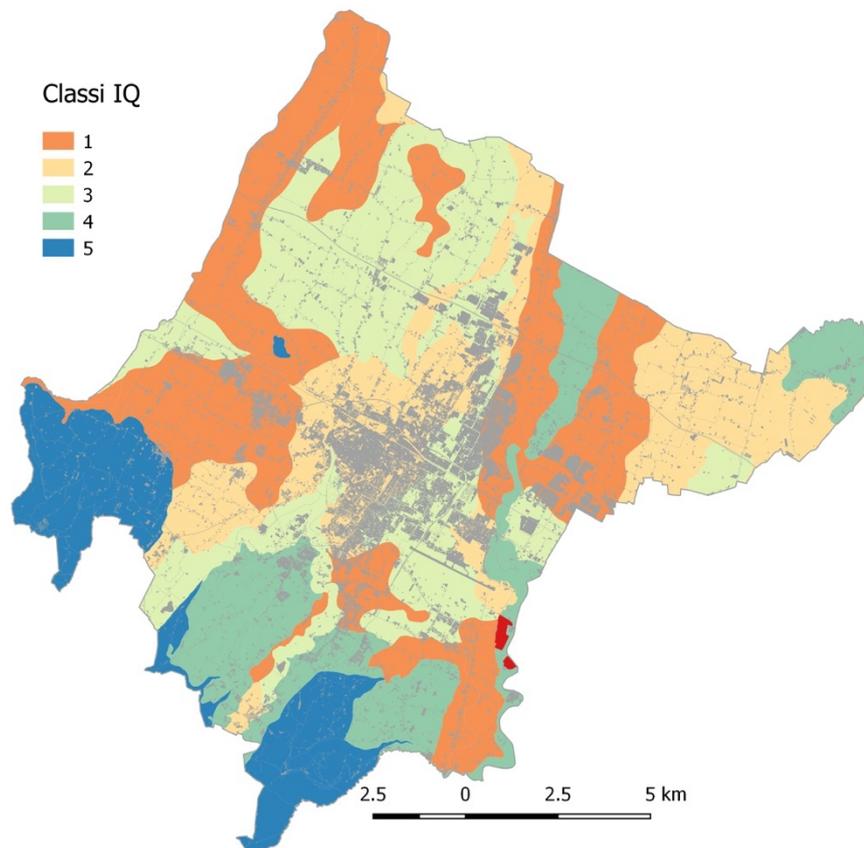


Figura 19 Forlì: indice sintetico di qualità del suolo (1: molto alta, 2: alta, 3: media, 4: bassa, 5: molto bassa) definito in base al contributo dei servizi ecosistemici considerati.

Come si può vedere in tabella 8, il consumo di suolo interessa diversamente le diverse classi (figura 20 e tabella 8).

	Consumo (ha)	% su area	% su cons	% su classe
Classe 1	1435	6,3%	25,9%	21,7%
Classe 2	1653	7,2%	29,9%	34,8%
Classe 3	1697	7,4%	30,7%	29,4%
Classe 4	542	2,4%	9,8%	16,9%
Classe 5	206	0,9%	3,7%	8,3%
Totale	5533	24,3%	100%	

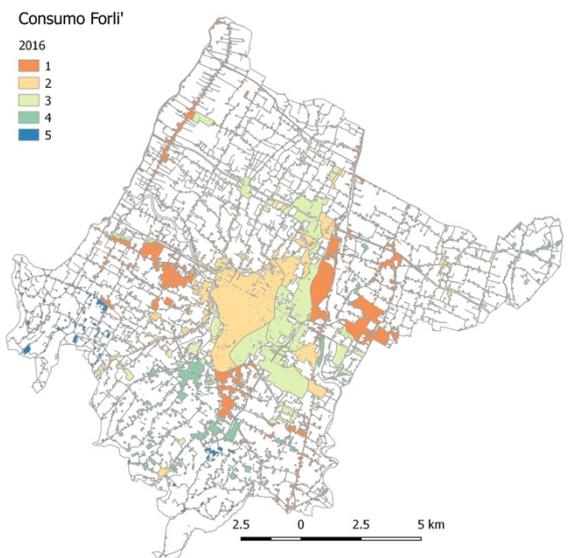


Tabella 8. Forlì: consumo di suolo per classi di qualità del suolo.

Figura 20. Forlì: consumo di suolo per classi di qualità di suolo

Dei circa 55 kmq di suolo consumato il 78% interessa i suoli di alta qualità, suoli di pianura, profondi con ottime caratteristiche di fertilità chimico-fisica. Considerando la situazione attuale si è perso circa il 21% dei suoli di prima classe, e più del 34% dei suoli di seconda classe. Ipotizzando una produzione media potenziale di 8 t/ha di frumento l'anno, è andata persa la possibilità di produrre circa 33,700 t di frumento (pari al fabbisogno calorico di tutti i 117,427 abitanti di Forlì per 447 giorni). Considerando l'evoluzione storica del consumo di suolo per ciascuna classi di qualità, si ha l'andamento riportato nel grafico in figura 21.

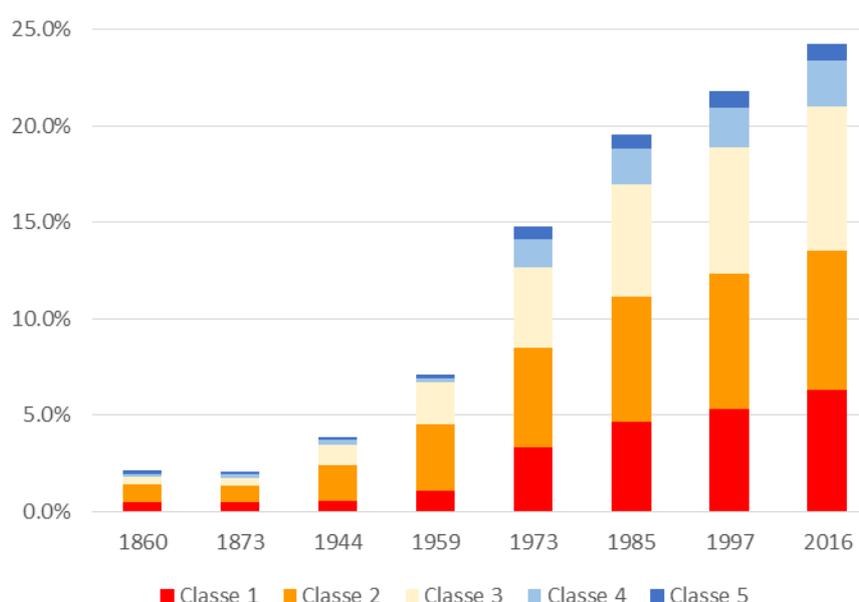


Figura 21. Forlì: l'evoluzione del consumo di suolo nel tempo per ciascuna classe di qualità (% del consumato su area totale per classe di SQ).

In termini di impatto sui diversi servizi ecosistemici forniti dal suolo si ha l'andamento riportato in figura 22 e nella tabella 9: la perdita media di SE va dal circa 22% della capacità produttiva (PRO) al 18% del supporto della biodiversità (BIO). In tabella è anche riportato il dato ISPRA come riferimento a livello nazionale.

Servizi Ecosistemici	Suolo nudo	Impermeabilizzato	Differenza	ISPRA	Differenza
PRO	0.696	0.542	-22%	0.638	-8%
BUF	0.660	0.536	-19%	0.612	-7%
CLI	0.676	0.537	-21%	0.613	-9%
WAS	0.719	0.584	-19%	0.665	-8%
WAR	0.428	0.336	-22%	0.386	-10%
CST	0.599	0.479	-20%	0.549	-8%
BIO	0.422	0.345	-18%	0.391	-7%

Tabella 9. Forlì: variazione nella fornitura di servizi ecosistemici in seguito ad impermeabilizzazione.

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

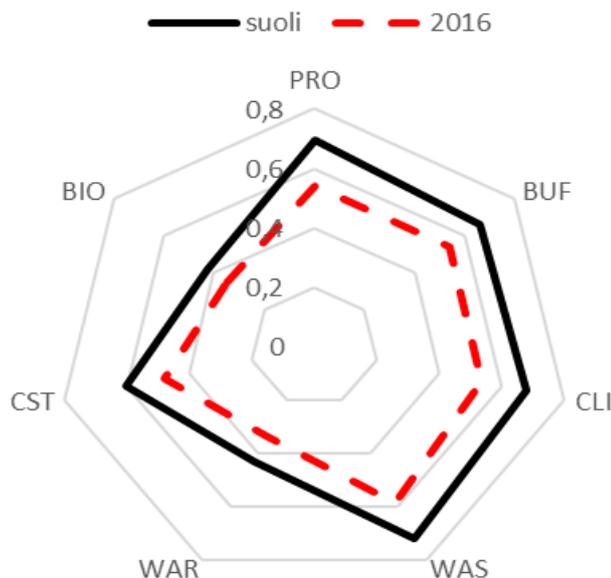


Figura 22. Forlì: perdita di servizi ecosistemici al 2016.

Utilizzando il coefficiente di impermeabilizzazione associato all'informazione sul consumo attuale di suolo, si ottengono i valori medi dei SE riportati in tabella 10 e le seguenti cartografie (figura 23). Per controllo, e come riferimento a livello nazionale, è stato considerato anche il dato ISPRA relativo al consumo di suolo (*sealing*). Dalla tabella si vede che anche in questo caso le elaborazioni per i diversi SE non si discostano di molto tra l'impermeabilizzato stimato da ISPRA e quello utilizzato in questo studio.

Servizi ecosistemici	Suoli	Consumato	Diff.	Impermeabilizzato	Diff.	ISPRA	Diff.
<b>PRO</b>	0.70	0.54	-22%	0.54	-22%	0.64	-8%
<b>BUF</b>	0.66	0.54	-19%	0.60	-9%	0.61	-7%
<b>CLI</b>	0.68	0.54	-21%	0.61	-10%	0.61	-9%
<b>WAS</b>	0.72	0.58	-19%	0.66	-9%	0.66	-8%
<b>WAR</b>	0.43	0.34	-22%	0.38	-10%	0.39	-10%
<b>CST</b>	0.60	0.48	-20%	0.54	-10%	0.55	-8%
<b>BIO</b>	0.42	0.34	-18%	0.39	-9%	0.39	-7%

Tabella 10. Forlì: perdita di servizi ecosistemici in funzione del grado di impermeabilizzazione del suolo.

In figura 24 sono riportate le sinergie e i trade-off tra i SE nelle diverse delineazioni della carta dei suoli di Forlì'. In tabella 11, sono riportati i valori degli indicatori per delineazione.



## AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

GISID	SIGLA_UC	ha	Imp	PRO	BUF	CLI	WAS	WAR	CST	BIO
6402	CTL4-MDC1	781.0	0.052	0.66	0.69	0.67	0.73	0.35	0.68	0.40
6403	MDC2	341.9	0.071	0.74	0.71	0.58	0.73	0.29	0.80	0.42
6406	MDC1	299.2	0.022	0.65	0.76	0.69	0.81	0.25	0.73	0.44
6407	SMB1	1916.8	0.192	0.81	0.46	0.60	0.56	0.38	0.54	0.30
6408	PRD1/LBA1	849.4	0.431	0.40	0.41	0.41	0.43	0.23	0.39	0.24
6409	SMB1/VIL2	2383.8	0.057	0.94	0.42	0.78	0.58	0.52	0.54	0.32
6410	PRD1	494.8	0.024	0.78	0.65	0.79	0.76	0.31	0.70	0.40
6413	LBA1/PRD1	503.2	0.040	0.67	0.63	0.66	0.73	0.36	0.58	0.38
6554	LBA1	370.0	0.046	0.57	0.77	0.64	0.80	0.25	0.62	0.42
6556	SMB2-PRD1	551.6	0.101	0.72	0.51	0.75	0.62	0.45	0.60	0.33
6559	SMB1	1490.8	0.050	0.95	0.45	0.87	0.60	0.58	0.51	0.31
6560	PRD1/LBA2	67.9	0.032	0.68	0.71	0.81	0.76	0.32	0.67	0.39
6561	SMB2/PRD1	0.8	0.040	0.67	0.73	0.75	0.82	0.17	0.79	0.39
6613	SMB2	268.8	0.050	0.76	0.57	0.71	0.66	0.45	0.70	0.36
6614	CTL3	323.2	0.268	0.59	0.55	0.49	0.57	0.23	0.50	0.30
6615	PRD3	220.8	0.258	0.59	0.45	0.69	0.48	0.42	0.49	0.24
6616	SMB2	258.8	0.079	0.74	0.58	0.73	0.70	0.32	0.63	0.36
6617	SMB2	177.4	0.090	0.64	0.66	0.67	0.71	0.31	0.63	0.37
6746	MDC1	151.0	0.042	0.57	0.81	0.62	0.88	0.16	0.64	0.45
6751	MFA1-CDV2	1001.4	0.042	0.57	0.71	0.72	0.76	0.39	0.22	0.35
6752	SAD1/BGT1	510.5	0.042	0.67	0.64	0.65	0.51	0.49	0.45	0.43
6753	TEG2/RNV1	342.9	0.078	0.83	0.61	0.63	0.64	0.48	0.61	0.36
6759	BEL1/LAM1	603.1	0.064	0.84	0.40	0.77	0.51	0.64	0.55	0.39
6823	BEL1	212.8	0.265	0.70	0.46	0.59	0.46	0.46	0.39	0.23
6858	CTL4	28.2	0.016	0.79	0.71	0.75	0.73	0.40	0.70	0.41
6933	TEG2/RNV1	77.6	0.133	0.69	0.56	0.57	0.60	0.39	0.64	0.39
7079	BEL1/LAM1	388.7	0.049	0.90	0.42	0.78	0.51	0.71	0.43	0.35
7096	REM1/CTL4	1321.1	0.132	0.69	0.64	0.65	0.62	0.42	0.58	0.34
7097	TEG2/RNV1	55.8	0.016	0.79	0.74	0.73	0.76	0.33	0.75	0.42
7098	SAD1/BGT1	587.7	0.033	0.64	0.65	0.66	0.74	0.38	0.44	0.39
7099	BGT1	456.2	0.140	0.69	0.59	0.61	0.62	0.37	0.41	0.28
7100	CDV2-MFA1	35.3	0.049	0.57	0.63	0.60	0.75	0.39	0.47	0.47
7121	CTL4/REM2/SGR2	41.9	0.127	0.79	0.48	0.67	0.58	0.46	0.54	0.34
7173	BEL1	215.3	0.177	0.78	0.40	0.63	0.49	0.55	0.43	0.29
7336	GRZ1/BOR1/RNV1	72.5	0.023	0.78	0.61	0.58	0.48	0.58	0.67	0.72
7337	CDV2-MFA1	370.2	0.044	0.43	0.74	0.56	0.78	0.28	0.40	0.41
7620	TEG2	317.9	0.232	0.61	0.48	0.56	0.54	0.38	0.55	0.34
7621	CTL4/REM2/SGR2	814.5	0.230	0.62	0.50	0.57	0.53	0.37	0.50	0.30
7627	BGT1	43.2	0.096	0.72	0.56	0.63	0.63	0.43	0.40	0.25
7645	MDC1	113.3	0.054	0.64	0.74	0.72	0.73	0.41	0.51	0.37
7669	CDV2-MFA1	24.2	0.044	0.38	0.73	0.09	0.74	0.36	0.38	0.36

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

7683	DOG1/AGE1/GRI3	166.3	0.008	0.27	0.69	0.60	0.77	0.37	0.44	0.49
<b>GISID</b>	<b>SIGLA_UC</b>	<b>ha</b>	<b>Imp</b>	<b>PRO</b>	<b>BUF</b>	<b>CLI</b>	<b>WAS</b>	<b>WAR</b>	<b>CST</b>	<b>BIO</b>
7714	DEM/BAN3/DOG0	152.3	0.036	0.39	0.79	0.64	0.85	0.17	0.30	0.29
7717	DOG1/AGE1/GRI3	280.2	0.020	0.26	0.71	0.68	0.79	0.30	0.55	0.62
7887	BAN4/SOG/ZR/TRS2	4.9	0.016	0.26	0.77	0.10	0.85	0.16	0.58	0.62
8220	BEL1	1401.2	0.414	0.56	0.27	0.49	0.34	0.37	0.38	0.22
8221	CTL4	71.2	0.238	0.72	0.46	0.58	0.52	0.39	0.45	0.25
8222	RNV1	128.0	0.033	0.77	0.62	0.63	0.68	0.41	0.68	0.47
8223	TEG2	455.0	0.065	0.75	0.57	0.70	0.65	0.46	0.65	0.38
8485	GRZ1/BOR1/RNV1	243.5	0.183	0.45	0.44	0.41	0.34	0.56	0.61	0.55
8856	LAM1	65.2	0.052	0.76	0.47	0.76	0.50	0.72	0.44	0.35
9000	CTL4	0.3	0.152	0.68	0.63	0.57	0.66	0.24	0.55	0.30
9020	GRG1	18.9	0.025	0.29	0.43	0.88	0.60	0.58	0.55	0.30
9514	BAN3/DEM	122.8	0.011	0.27	0.77	0.61	0.87	0.12	0.33	0.31
9515	BAN3/DEM	60.7	0.020	0.25	0.74	0.12	0.77	0.30	0.43	0.50
9519	ZR/BAN4/SOG	140.1	0.006	0.18	0.78	0.08	0.85	0.19	0.47	0.79
9792	BAN3/DEM/CTU	142.4	0.016	0.20	0.62	0.04	0.63	0.49	0.54	0.56
14029	SMB2-PRD1	261.9	0.031	0.78	0.63	0.76	0.69	0.44	0.67	0.37

Tabella 11. Forlì: Indicatori di servizi ecosistemici in funzione del grado di impermeabilizzazione del suolo per le delimitazioni della carta dei suoli di Forlì.

### 4.1.3. Carpi

Il comune di Carpi ha una superficie di circa 131 kmq. Il territorio urbanizzato, così come calcolato nel rapporto 2017 dell'ISPRA ([www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo](http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo)) risulta di 19 kmq, pari al 14.5% del territorio comunale (Fig. 23, aree grigie). Considerando il suolo consumato come definito nell'ambito dell'azione B1.1, valutando perciò tutte le aree che risultano trasformate da agricole o naturali in superfici urbanizzate (non necessariamente impermeabilizzate) - includendo anche le aree trasformate in ambito agricolo (corti e fabbricati rurali), la nuova viabilità pubblica così come da progetti approvati e le aree assoggettate a Piani Urbanistici attuativi approvati per i quali sia già stata sottoscritta la relativa convenzione urbanistica – la superficie risulta pari a circa 26 km<sup>2</sup> (19.5% del territorio comunale, Fig. 23, aree azzurre). Il dato ISPRA è tanto più correttamente confrontabile con la superficie impermeabilizzata determinata a livello comunale nell'ambito dell'Azione B1.1 e pari a 16,6 Km<sup>2</sup>, corrispondenti al 12,63% del territorio comunale (dato riferito al 31/12/2016).

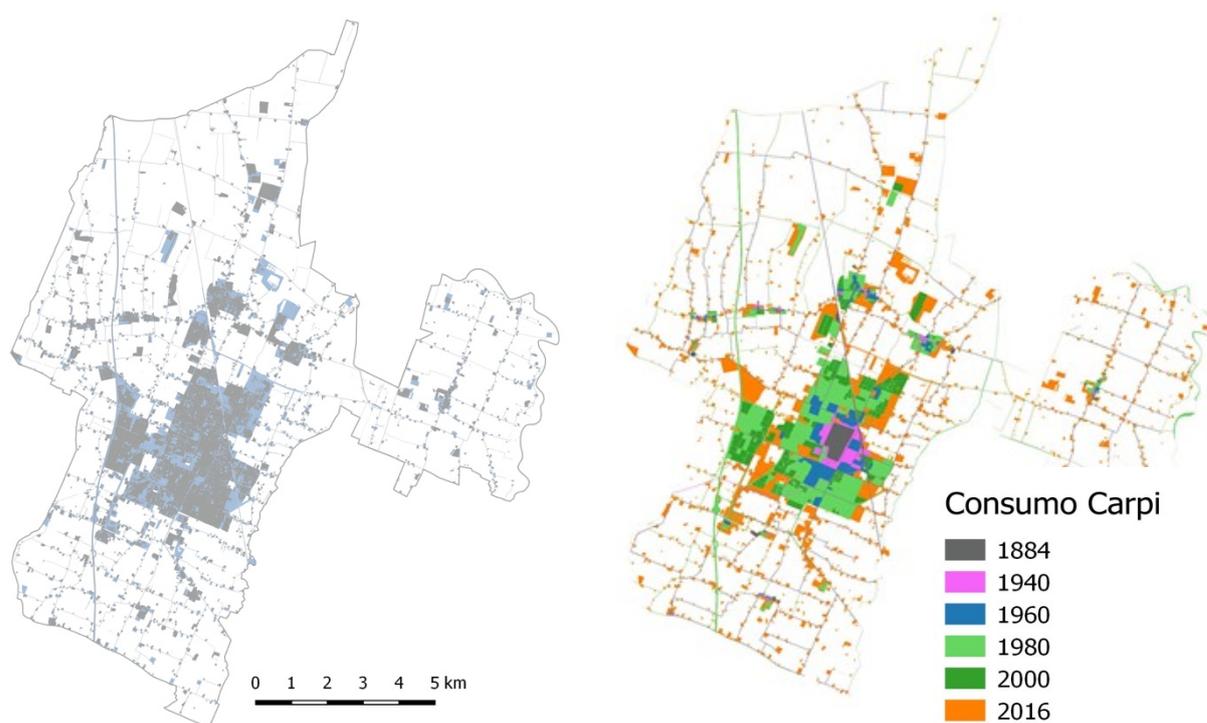


Figura 25. Carpi: aree urbanizzate (sin.) secondo ISPRA (in grigio) e trasformate o in trasformazione (in azzurro) e evoluzione del consumo di suolo 1884-2016 (des.).

In figura 25 è riportata anche la carta del consumo di suolo dal 1884 al 2016. Nel valutare l'andamento temporale del consumo di suolo del comune di Carpi occorre però considerare che negli strati informativi a disposizione degli uffici comunali gli edifici rurali non vengono considerati nel computo. Questo rende difficoltosa la valutazione quantitativa dell'evoluzione del consumo. Per calcolare gli indicatori delle diverse funzioni alla base dei servizi nelle delineazioni della carta pedologica in scala 1:50.000, sono stati utilizzati i dati relativi a 71 profili di suolo (siti benchmark) per un totale di 206 orizzonti estratti dalla banca dati pedologica regionale. Le statistiche descrittive dei dati utilizzati sono riportate nella tabella 12. In funzione dell'occorrenza delle diverse tipologie di suolo all'interno delle delineazioni della carta pedologica sono stati calcolati indicatori ponderati per

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

ciascuna delineazione in modo da stimare il livello medio di fornitura di servizi ecosistemici per ciascuna di esse. In figura 26 sono riportate le carte dei servizi ecosistemici forniti dai suoli del comune di Carpi.

Variabili (N = 97)	Media	Minimo	Massimo	Dev. Stand.
Scheletro, %	0.00	0.00	0.00	0.00
Sabbia, %	18.08	1.98	62.85	13.30
Limo, %	48.20	19.60	65.65	9.47
Argilla, %	33.62	13.96	67.96	12.75
Carbonio organico, %	0.95	0.33	1.62	0.26
Densità apparente *, Mg m <sup>-3</sup>	1.49	1.23	1.61	0.06
pH	7.91	7.40	8.50	0.21
Capacità di scambio cationica* (meq/100g)	21.45	11.85	36.32	5.49
Contenuto idrico a -333 cm*, vol/vol	0.36	0.19	0.51	0.06
Contenuto idrico a -15000 cm*, vol/vol	0.27	0.11	0.38	0.06
Capacità di campo*, vol/vol	0.10	0.08	0.13	0.01
Acqua disponibile*, mm	142.11	105.21	187.87	23.27
Profondità media falda estiva, cm	189.36	164.66	223.07	17.39
Porosità*, vol/vol	0.24	0.00	4.90	0.67
Conducibilità idrica satura*, mm/h	84.05	26.29	146.11	33.87
Tensione di ingresso all'aria*, cm	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 12. Statistiche descrittive dei dati utilizzati per il calcolo degli indicatori. \*Dato stimato da pedofunzione. I valori si riferiscono ai dati ponderati sui 100 cm di profondità.

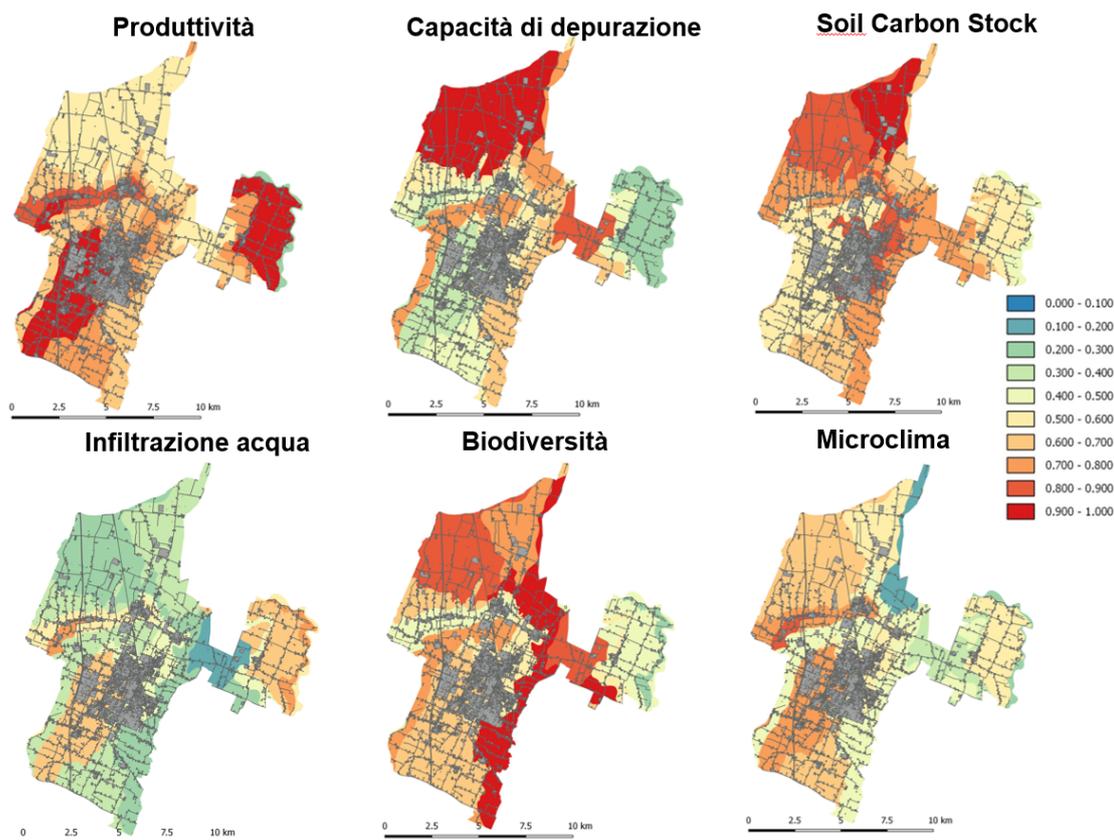


Figura 26. Carpi: carte dei servizi ecosistemici dei suoli comunali.

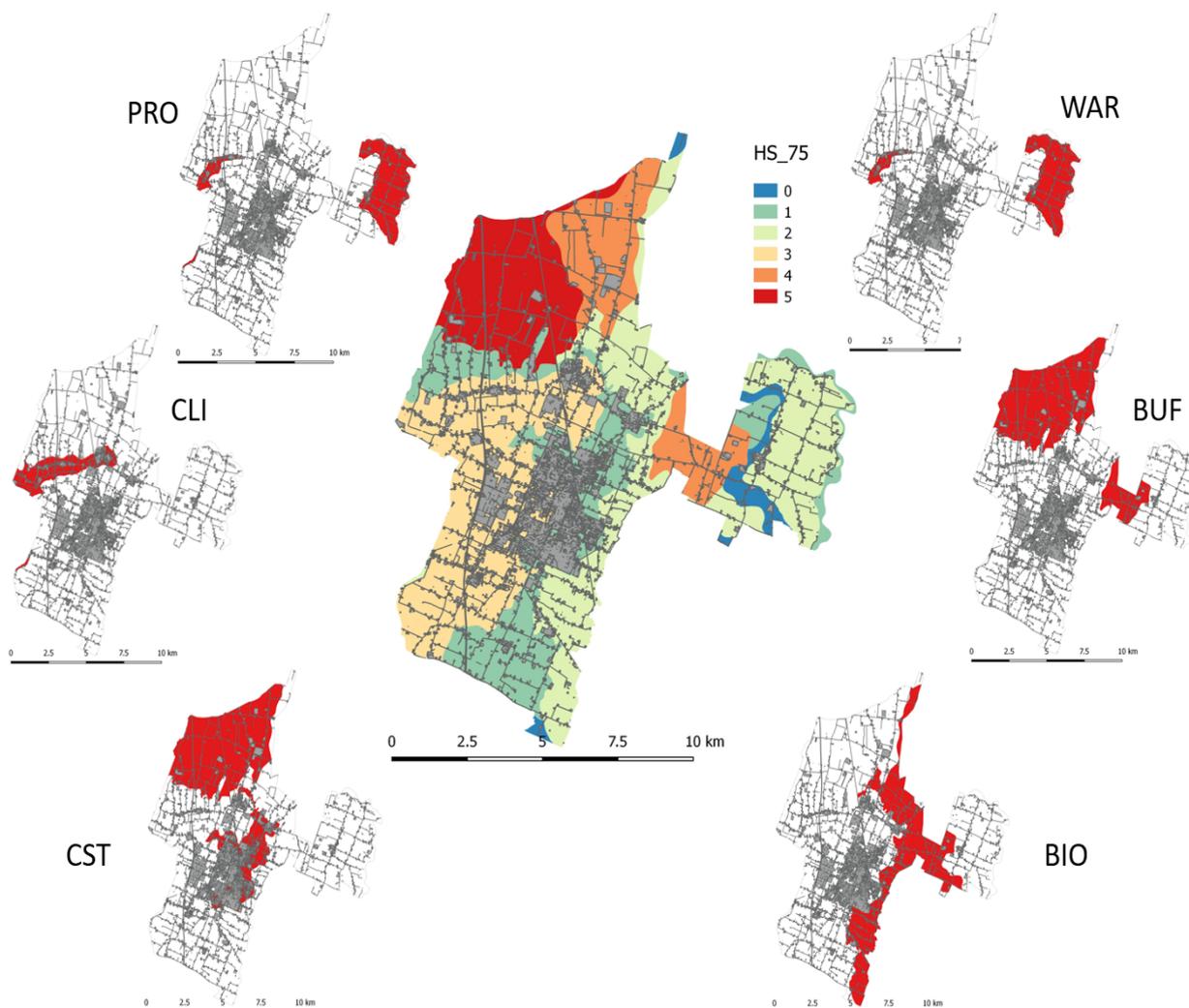


Figura 27 Carpi: indice sintetico di qualità del suolo definito come numero di servizi con indice sopra il 75° percentile, e carte dei servizi ecosistemici con valore superiore al 90° percentile della distribuzione osservata nel territorio comunale.

In figura 27 è riportata la carta della qualità dei suoli definita come il numero dei servizi ecosistemici da questi forniti con valore superiore al 75° percentile della distribuzione osservata, e la localizzazione delle unità cartografiche i cui suoli forniscono singoli servizi con valore superiore al 90° percentile della distribuzione osservata nel territorio comunale. La figura 28 rappresenta invece l'indice di qualità sintetica dei suoli, mentre in tabella 14 sono riportati i valori di consumo dei suoli di diverse classi di qualità.

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

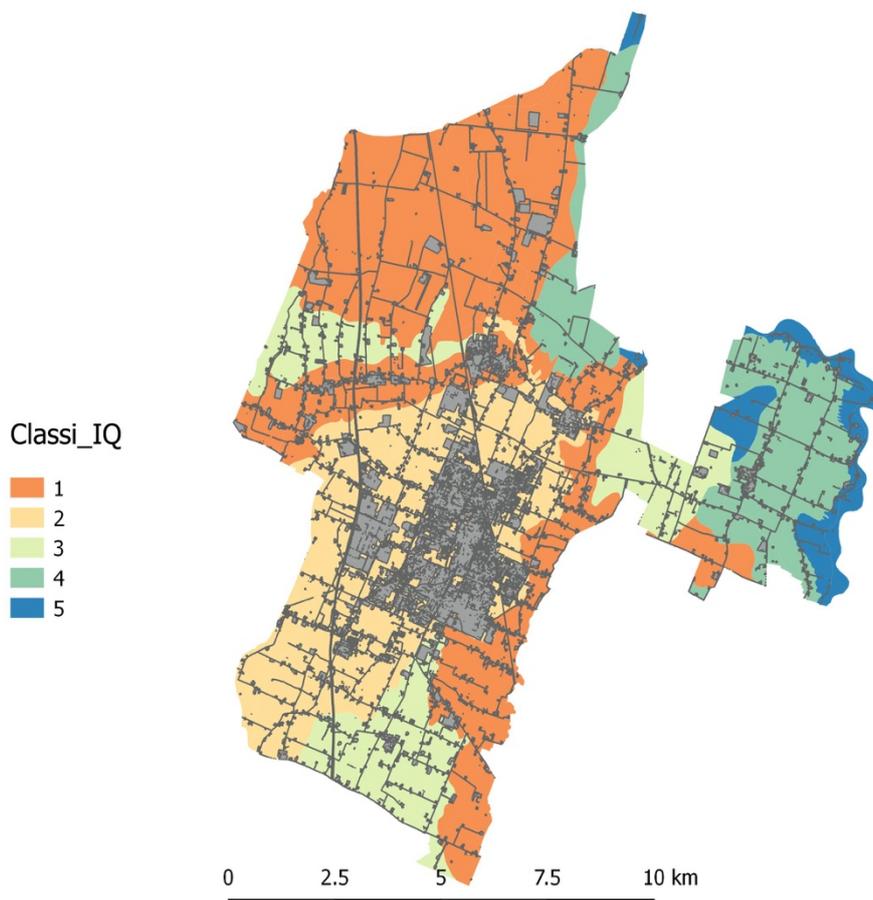


Figura 28. Carpi: indice sintetico di qualità del suolo (1: molto alta, 2: alta, 3: media, 4: bassa, 5: molto bassa) definito in base al contributo dei servizi ecosistemici.

	Consumo (ha)	% su area	% su cons	% su classe
Classe 1 (molto alta)	534.19	4.10%	20.80%	10.40%
Classe 2 (alta)	1667.21	12.70%	65.00%	43.30%
Classe 3 (media)	184.8	1.40%	7.20%	9.80%
Classe 4 (bassa)	147.1	1.10%	5.70%	8.80%
Classe 5 (molto bassa)	30	0.20%	1.20%	5.00%
Totale	2563.3	19.5%	100.0%	

Tabella 14. Carpi: consumo di suolo per classi di qualità di suolo.

Dei circa 25 kmq di suolo consumato il 42% circa interessa i suoli di alta qualità agricola, suoli di pianura, profondi con ottime caratteristiche di fertilità chimico-fisica. Considerando la situazione attuale si è perso circa il 10% dei suoli appartenenti alla prima classe, e circa il 43% dei suoli di seconda classe. Considerando tutto il consumo di suolo, l'impatto sui diversi servizi ecosistemici ha l'andamento riportato nella figura e 28 nella tabella 9: la perdita media di SE va dal circa 15% della capacità produttiva (PRO) al 12% della capacità di depurazione (BUF).

Servizi ecosistemici	Suolo	2016	diff.
PRO	0.760	0.644	-15%
BUF	0.546	0.478	-12%
CLI	0.489	0.406	-17%
WAS	0.560	0.487	-13%
WAR	0.420	0.354	-16%
CST	0.670	0.576	-14%
BIO	0.642	0.560	-13%

Tabella 15. Carpi: variazione nella fornitura di servizi ecosistemici.

La stima dell'impatto del consumo di suolo sui servizi ecosistemici considerando il livello di impermeabilizzazione fornisce i valori riportati in tabella 15 e graficamente rappresentati in figura 28. Per controllo, e come riferimento a livello nazionale, è riportato il dato ISPRA (*sealing*).

Servizi ecosistemici	Suolo	Impermeabilizzato.	diff.	ISPRA
<b>PRO</b>	0.760	0.644	-15%	0.676
<b>BUF</b>	0.546	0.511	-6%	0.495
<b>CLI</b>	0.489	0.444	-9%	0.428
<b>WAS</b>	0.560	0.522	-7%	0.506
<b>WAR</b>	0.420	0.385	-8%	0.372
<b>CST</b>	0.670	0.621	-7%	0.601
<b>BIO</b>	0.642	0.600	-7%	0.582

Tabella 16. Carpi: variazione nella fornitura di servizi ecosistemici ed effetto dell'impermeabilizzazione.

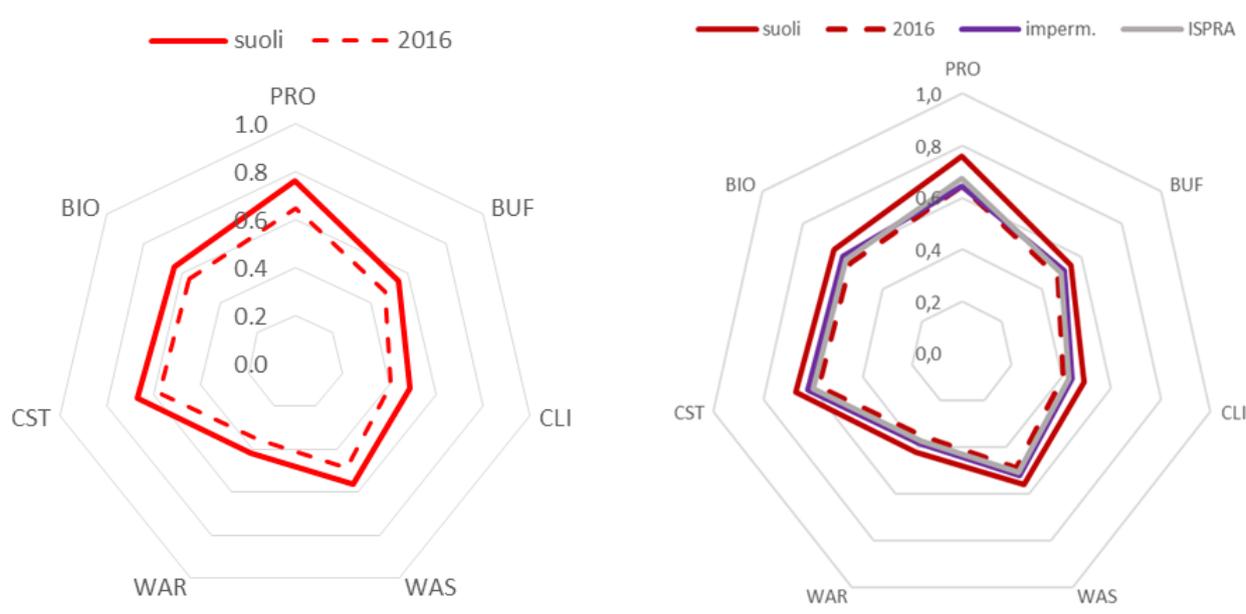


Figura 29. Comune di Carpi: perdita di servizi ecosistemici (sin), effetto impermeabilizzazione e confronto con il dato ISPRA.

#### AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

La figura 30 mostra il grado di impermeabilizzazione dei suoli, mentre in figura 31 infine sono riportate le carte di alcuni SE, regolazione del microclima (CLI), stoccaggio di carbonio (CST), regolazione dell'infiltrazione dell'acqua (WAR), capacità di depurazione (BUF) dell'area urbana di Carpi valutati utilizzando il livello di impermeabilizzazione del suolo.

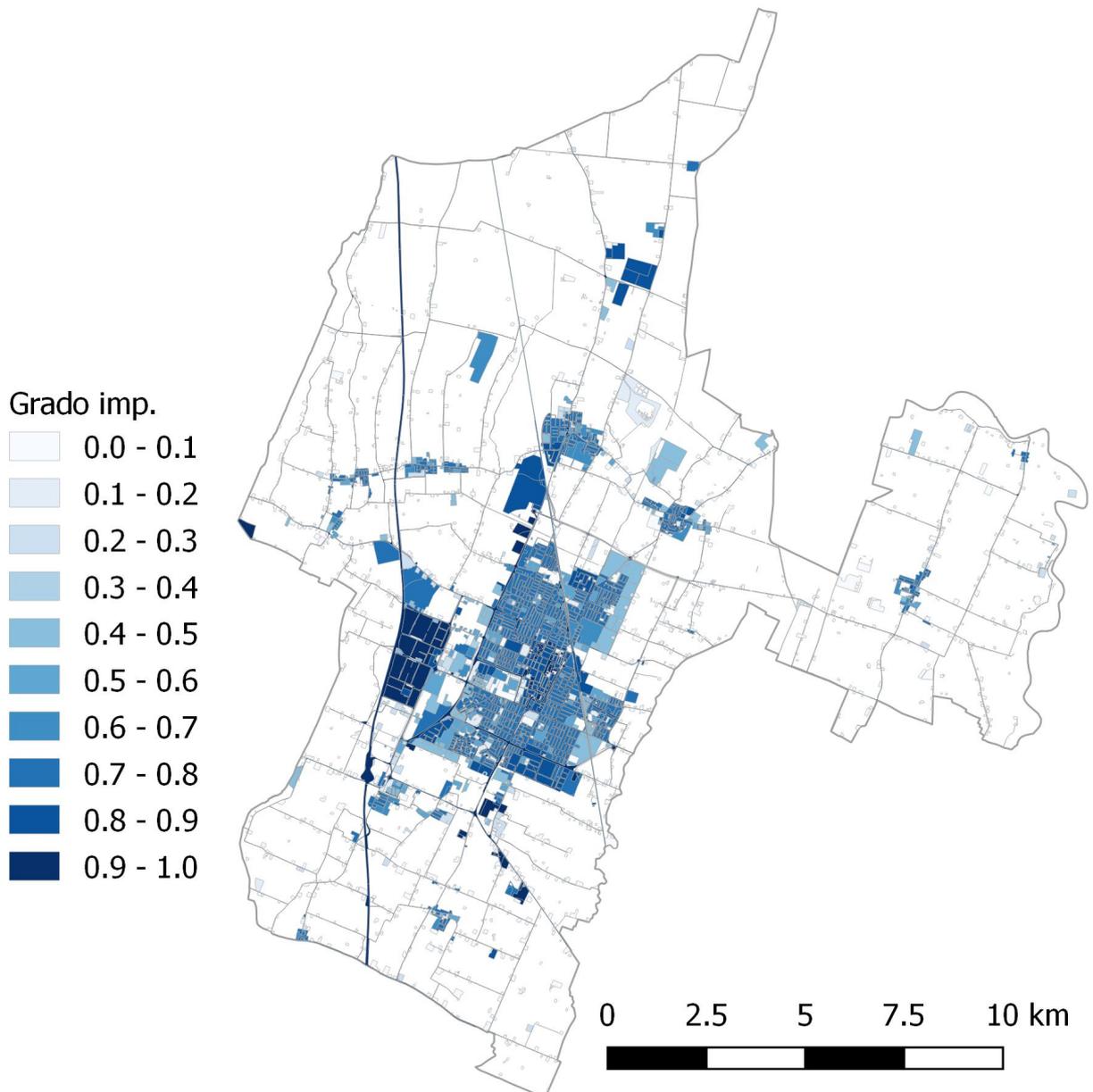


Figura 30. Comune di Carpi: grado di impermeabilizzazione dei suoli.

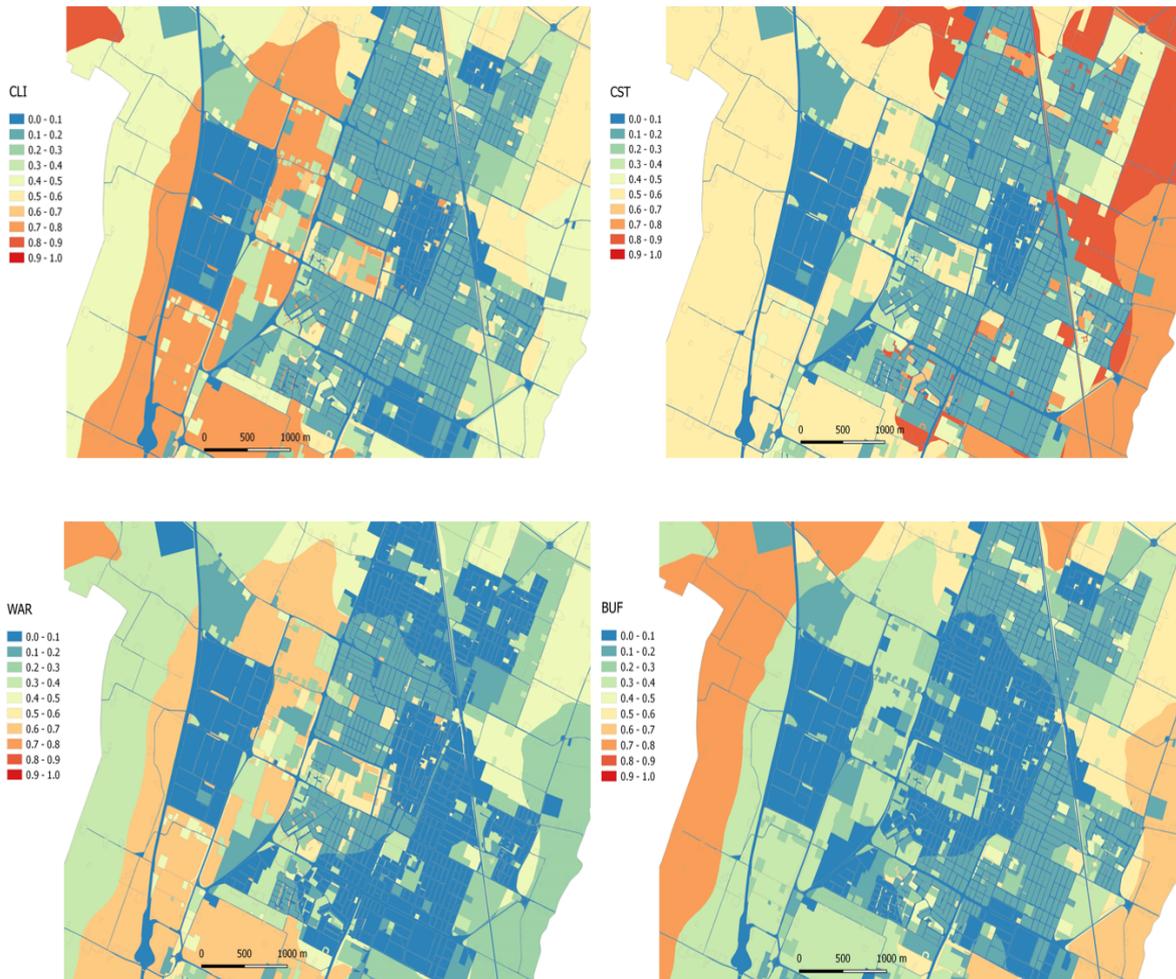


Figura 31. Comune di Carpi: effetto dell'impermeabilizzazione del suolo su alcuni servizi ecosistemici.

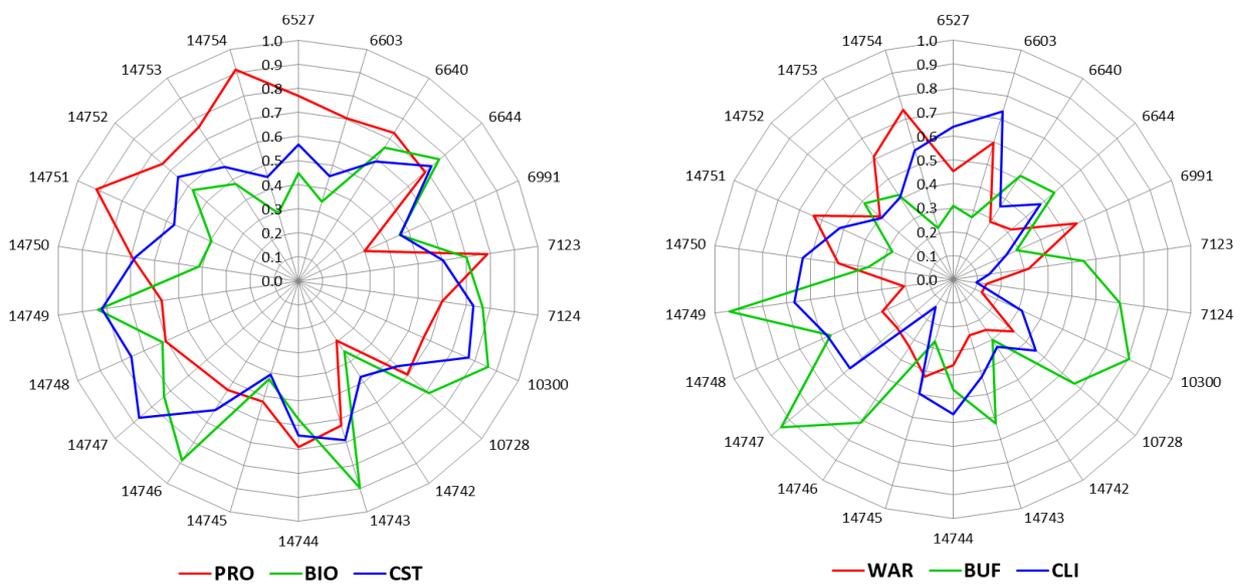


Figura 32. Carpi: Sinergie e trade-off tra i SE nelle diverse delineazioni dei suoli comunali.

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

XID_DELIN	UC_50	ha	PRO	BUF	CLI	WAS	WAR	CST	BIO
6527	CTL1	15.6	0.767	0.307	0.639	0.443	0.452	0.566	0.448
6603	SMB1	193.7	0.705	0.272	0.732	0.347	0.594	0.454	0.343
6640	CTL3	11.1	0.729	0.515	0.363	0.578	0.287	0.589	0.656
6644	CTL3-MDC3	30.6	0.690	0.556	0.478	0.555	0.319	0.727	0.770
6991	SCN5	162.2	0.299	0.290	0.245	0.317	0.563	0.463	0.459
7123	PIS1	29.1	0.789	0.547	0.153	0.570	0.319	0.604	0.700
7124	GLS2	1.5	0.600	0.700	0.099	0.671	0.139	0.728	0.770
10300	RSD1	538.4	0.569	0.806	0.313	0.689	0.132	0.771	0.861
10728	MDC3	918.7	0.594	0.667	0.455	0.546	0.333	0.542	0.714
14742	CTL3	1172.7	0.293	0.302	0.337	0.317	0.251	0.475	0.348
14743	MDC3	1580.7	0.628	0.629	0.424	0.595	0.242	0.690	0.897
14744	CTL3	828.3	0.691	0.463	0.565	0.508	0.359	0.644	0.577
14745	CTL1	1746.0	0.524	0.270	0.497	0.313	0.425	0.406	0.427
14746	BEG1	486.0	0.538	0.713	0.137	0.479	0.336	0.637	0.888
14747	RAMz	1057.6	0.547	0.944	0.566	0.861	0.308	0.870	0.733
14748	PRD1/LBA1	496.9	0.603	0.561	0.574	0.567	0.323	0.757	0.616
14749	BEG1	1708.7	0.569	0.940	0.667	0.947	0.207	0.819	0.837
14750	SMB1/SMB2	578.4	0.692	0.355	0.633	0.428	0.482	0.679	0.414
14751	SMB1	924.2	0.917	0.278	0.518	0.415	0.639	0.564	0.395
14752	SMB2	258.3	0.740	0.487	0.392	0.514	0.403	0.658	0.577
14753	PRD1	145.9	0.761	0.420	0.410	0.458	0.610	0.562	0.480
14754	SMB1/SEC1	262.6	0.916	0.223	0.562	0.369	0.738	0.449	0.292

Tabella 17. Carpi: Indicatori di servizi ecosistemici in funzione del grado di impermeabilizzazione del suolo per le delimitazioni della carta dei suoli di Forlì.

## 5. METODOLOGIA PER IL COMPUTO DELLO STOCK DI CARBONIO NEI SUOLI DELLE AREE VERDI (ARTIFICIALI E NON AGRICOLE) COMUNALI

Il presente paragrafo illustra una proposta di procedura per la stima del C organico stoccato nei suoli delle aree verdi dei tre comuni oggetto di studio ed applicabile anche ad altri comuni della regione. I dati in ingresso sono quelli disponibili presso il portale della cartografia pedologica del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della regione Emilia-Romagna <http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/>; lo strato informativo utilizzato, prodotto nel 2015 del CNR IBiMet in collaborazione con i SGSS regionale, si trova nella sezione carte applicative ([http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/carte\\_tematiche.jsp?tem=2#tem2](http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/carte_tematiche.jsp?tem=2#tem2)) con la dicitura “Carbonio organico immagazzinato nei suoli di pianura tra 0-30 cm. 2a edizione”. La procedura può essere quindi replicata in qualsiasi comune della regione (per la collina e la montagna è disponibile un altro strato informativo). La carta, in scala 1:50,000 contiene le stime dello stock di C immagazzinato nei primi 30 cm di suolo; il valore è riferito a celle di 500 x 500 m di lato; la procedura di stima a partire da dati puntuali è descritta in dettaglio in un documento disponibile al seguente indirizzo: [http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/NOTE\\_ILLUSTRATIVE\\_stockCO30\\_pianura.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/NOTE_ILLUSTRATIVE_stockCO30_pianura.pdf).

Le aree verdi artificiali e non agricole (definiti come “Spazi ricoperti prevalentemente da vegetazione compresi o nel tessuto urbano o associati ad edifici di interesse storico anche al di fuori delle aree urbane. Ne fanno parte i parchi urbani di varia natura, le ville comunali, i giardini pubblici e privati”) sono derivate dalle carte di uso del suolo (CORINE, ed. 2014) aggiornate al 2018 e rese disponibili ai partner del progetto dal Servizio Statistica, Comunicazione, Sistemi inf. geografici, Educ. alla sostenibilità, e Partecipazione della Regione Emilia Romagna. Nei tre comuni oggetto di studio si trovano le seguenti tipologie di aree verdi (cui è stata aggiunta la classe 1241, aeroporti commerciali, presente a Forlì con un’ampia superficie di suolo permanentemente inerbato):

Tipologia aree verdi	Sigla	Codice CORINE	Indice impermeabilizzazione*
Aree verdi associate alla viabilità	Rv	1223	-
Aeroporti commerciali	Fc	1241	0.30
Parchi	Vp	1411	0.10
Ville	Vv	1412	0.10
Aree incolte nell’urbano	Vx	1413	0.10
Aree sportive	Vs	1422	0.22
Campi da golf	Vg	1424	0.05
Ippodromi e spazi associati	Vi	1425	0.05
Autodromi e spazi associati	Va	1426	0.20
Cimiteri	Vm	1430	0.40

\* Corticelli et al., 2008

Tabella 18. Tipologie di aree verdi presenti nei tre comuni oggetto di studio.

AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

Le figure seguenti mostrano la distribuzione delle tipologie delle aree verdi nei tre comuni e la distribuzione spaziale del carbonio organico stoccato nei primi 30 cm di suolo.

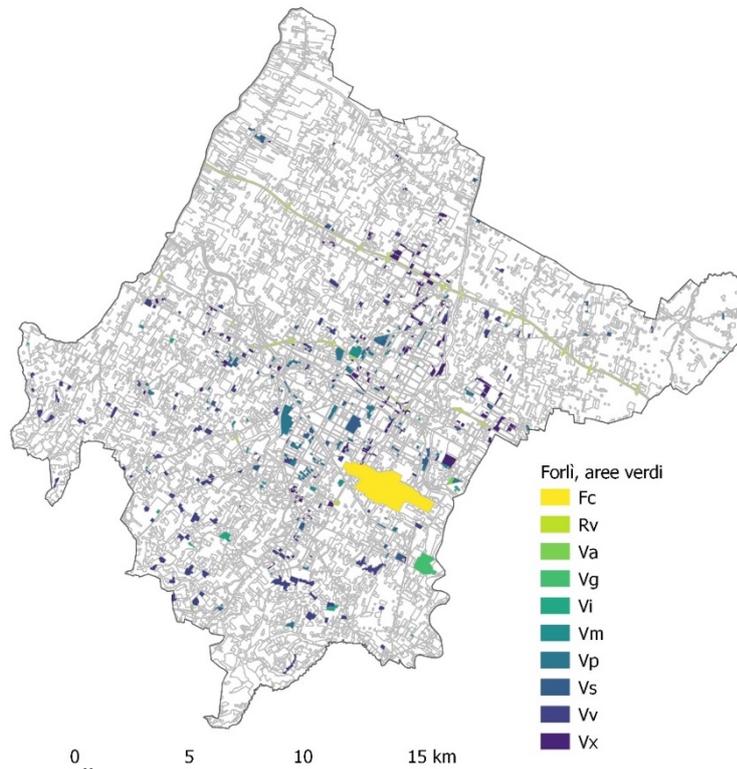


Figura 33. Forlì: aree verdi

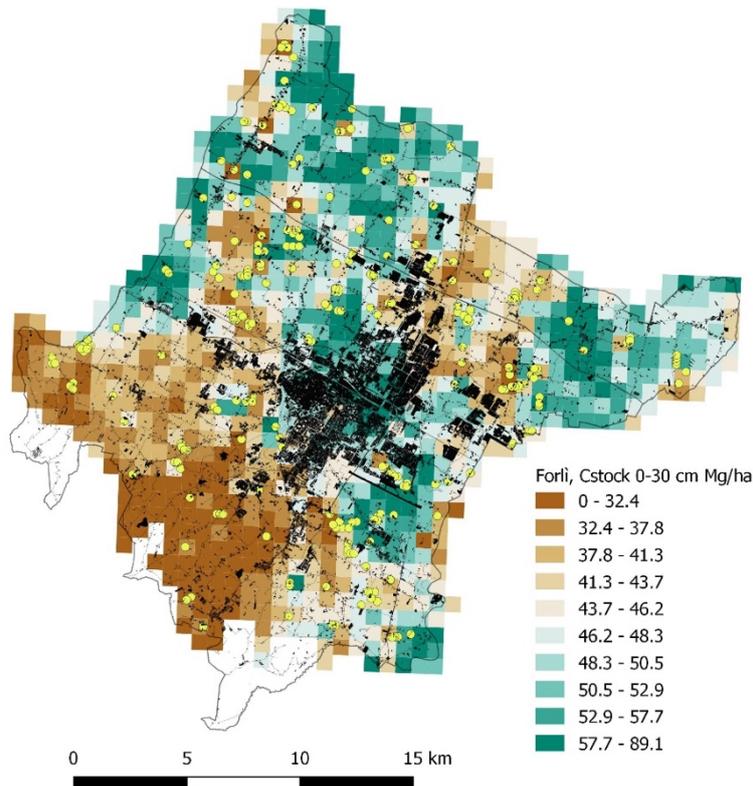


Figura 34. Forlì: stock di C organico nei primi 30 cm di suolo (e dati puntuali disponibili).

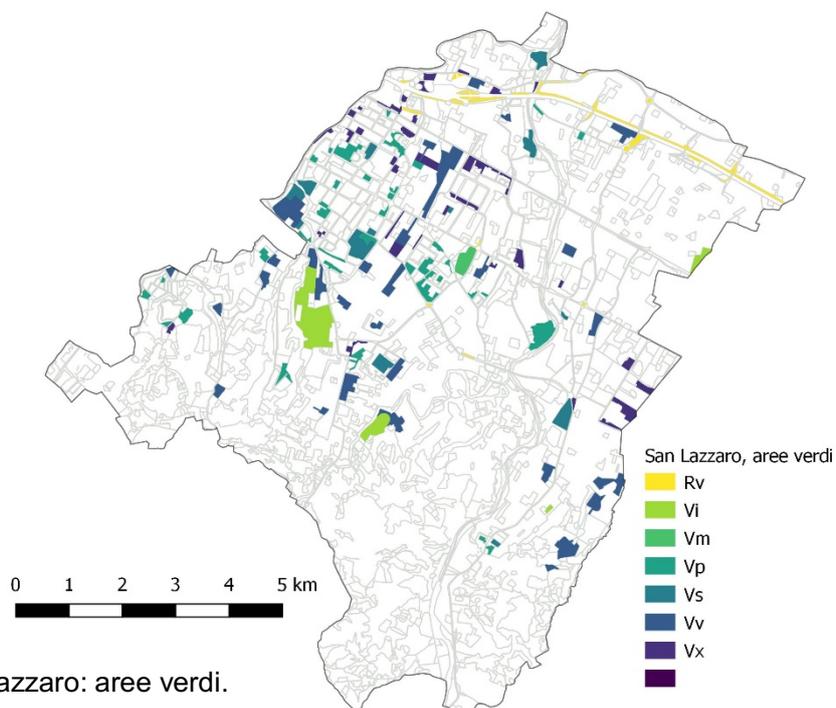


Figura 35. San Lazzaro: aree verdi.

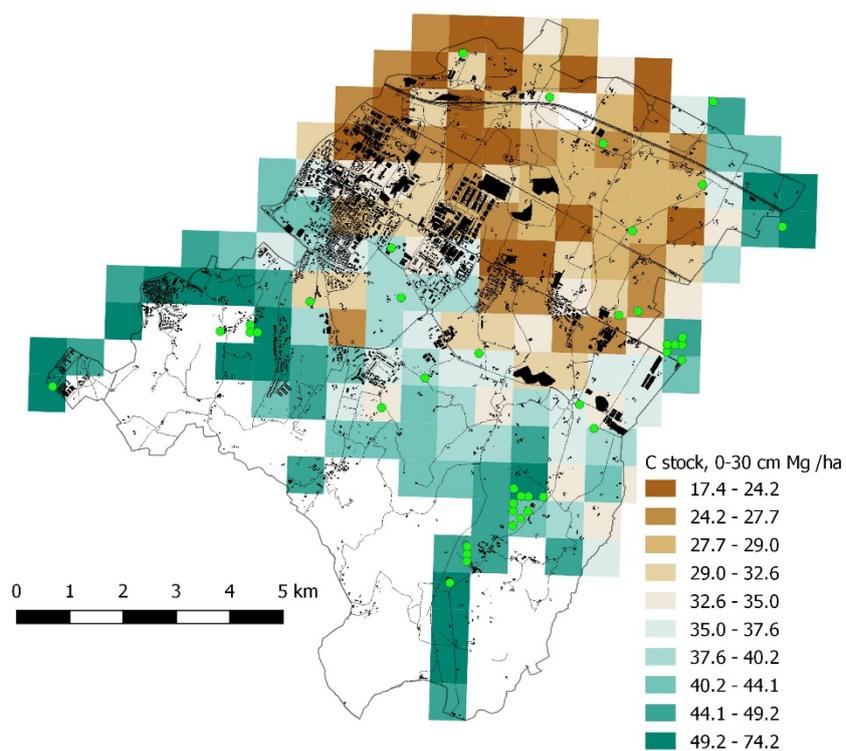


Figura 36. San Lazzaro: stock di C organico nei primi 30 cm di suolo (e dati puntuali disponibili).

## AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

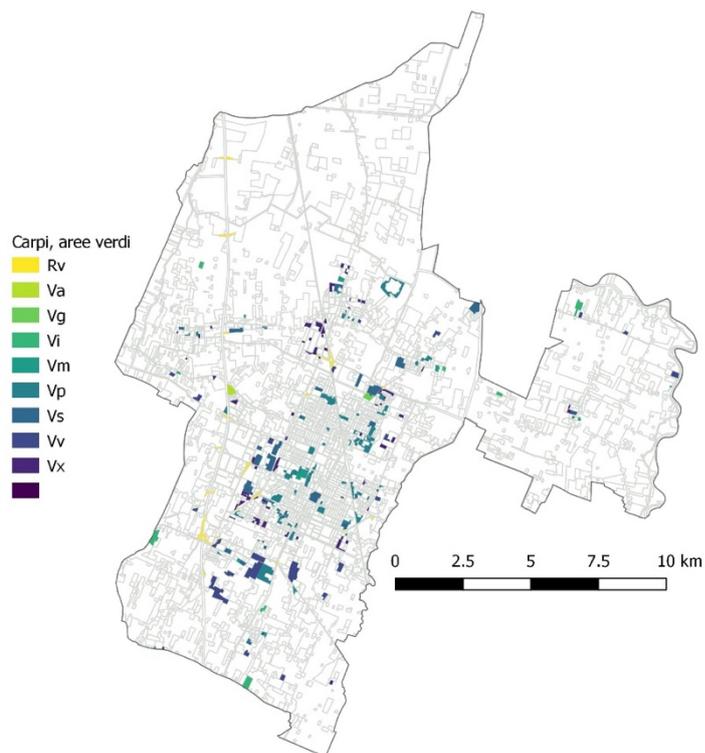


Figura 37. Carpi: aree verdi.

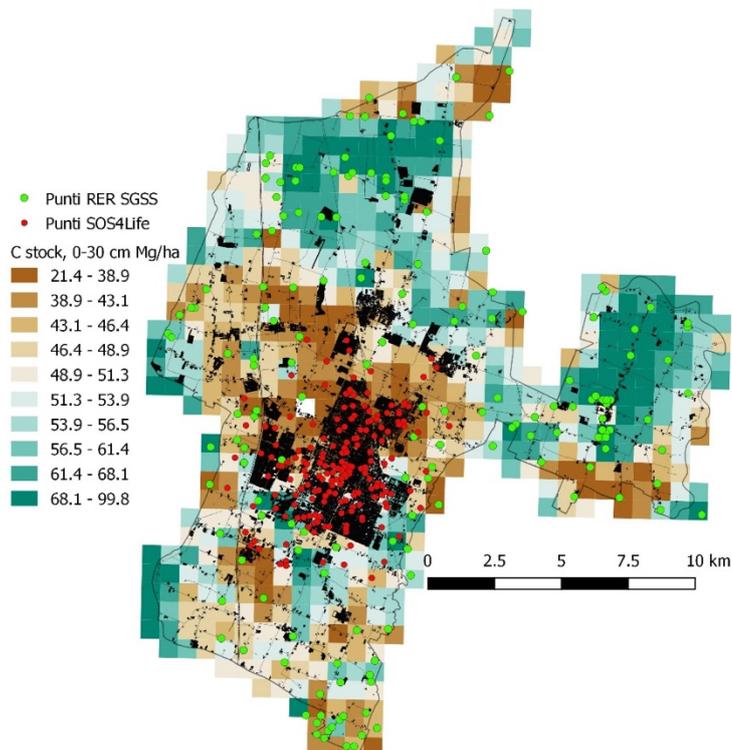


Figura 38. Carpi: stock di C organico nei primi 30 cm di suolo (e dati puntuali disponibili).

Dall'intersezione dei due strati informativi, aree verdi e stock di C stimato, sono stati ottenuti i dati riportati nelle tabelle seguenti per ciascun comune.

Tipologia aree verdi	C org %	BD Mg/ha	Share area	Area ha	Share stock	Cstock tot Mg	CO2eq tot Mg	Cstock Mg/ha	CO2eq Mg/ha
Aree verdi associate alla viabilità	1.101	1.487	6.4%	57.3	6.5%	2815.6	10323.8	49.16	180.3
Aeroporti commerciali	1.217	1.485	22.6%	204.0	26.5%	11421.9	41880.3	56.00	205.3
Parchi	1.062	1.492	15.3%	137.8	15.5%	6683.6	24506.7	48.49	177.8
Ville	0.869	1.470	20.6%	186.0	16.9%	7293.6	26743.3	39.21	143.8
Aree incolte nell'urbano	1.033	1.481	17.8%	160.7	17.3%	7438.3	27273.9	46.30	169.8
Aree sportive	1.076	1.503	9.0%	80.9	9.3%	4014.1	14718.3	49.64	182.0
Campi da golf	1.096	1.441	3.3%	30.2	3.3%	1407.1	5159.4	46.63	171.0
Ippodromi e spazi associati	0.823	1.485	1.8%	16.4	1.4%	616.1	2259.1	37.64	138.0
Autodromi e spazi associati	0.957	1.534	0.4%	3.7	0.4%	165.1	605.2	44.95	164.8
Cimiteri	1.028	1.490	2.7%	24.5	2.8%	1200.2	4400.8	49.02	179.7
<b>Totale verde pubblico</b>	<b>1.029</b>	<b>1.485</b>	<b>100.0%</b>	<b>901.3</b>	<b>100.0%</b>	<b>43055.7</b>	<b>157870.9</b>	<b>47.77</b>	<b>175.2</b>

Tabella 19. Forlì: C org%, densità apparente (BD), superfici e stock di C nelle aree verdi del territorio comunale.

Tipologia aree verdi	C org %	BD Mg/ha	Share area	Area ha	Share stock	Cstock tot Mg	CO2eq tot Mg	Cstock Mg/ha	CO2eq Mg/ha
Aree verdi associate alla viabilità	0.63	1.513	6.39%	18.4	5.42%	538.9	1975.8	29.32	107.51
Parchi	0.81	1.517	16.66%	47.9	16.87%	1676.6	6147.5	35.00	128.33
Ville	0.78	1.503	33.26%	95.6	34.74%	3454.0	12664.8	36.13	132.46
Aree incolte nell'urbano	0.65	1.522	14.45%	41.5	12.62%	1254.3	4598.9	30.20	110.74
Aree sportive	0.77	1.517	12.92%	37.1	12.79%	1271.1	4660.6	34.23	125.53
Ippodromi e spazi associati	0.84	1.477	14.21%	40.9	15.33%	1524.1	5588.4	37.30	136.77
Cimiteri	0.81	1.544	2.11%	6.1	2.24%	222.3	814.9	36.70	134.56
<b>Totale aree verdi</b>	<b>0.73</b>	<b>1.512</b>	<b>100.00%</b>	<b>287.5</b>	<b>100.00%</b>	<b>9941.2</b>	<b>36451.1</b>	<b>34.58</b>	<b>126.80</b>

Tabella 20. San Lazzaro: C org%, densità apparente (BD), superfici e stock di C nelle aree verdi del territorio comunale.

Tipologia aree verdi	C org %	BD Mg/ha	Share area	Area ha	Share stock	Cstock tot Mg	CO2eq tot Mg	Cstock Mg/ha	CO2eq Mg/ha
Aree verdi associate alla viabilità	1.11	1.485	5.35%	18.8	5.39%	917.5	3364.3	48.93	179.41
Parchi	1.06	1.468	28.75%	100.8	28.86%	4915.1	18022.1	48.77	178.83
Ville	1.17	1.467	19.38%	67.9	20.44%	3480.4	12761.5	51.22	187.82
Aree incolte nell'urbano	1.12	1.463	14.73%	51.7	15.33%	2610.3	9571.3	50.54	185.31
Aree sportive	1.02	1.466	20.70%	72.6	18.86%	3211.4	11775.2	44.25	162.26
Campi da golf	0.76	1.415	0.98%	3.4	0.63%	107.9	395.6	31.41	115.17
Ippodromi e spazi associati	1.23	1.444	5.64%	19.8	6.02%	1024.7	3757.4	51.80	189.93
Autodromi e spazi associati	1.18	1.363	1.20%	4.2	1.19%	203.3	745.5	48.42	177.53
Cimiteri	1.10	1.493	3.27%	11.5	3.29%	559.5	2051.6	48.76	178.78
<b>Totale complessivo</b>	<b>1.09</b>	<b>1.469</b>	<b>100.0%</b>	<b>350.6</b>	<b>100.0%</b>	<b>17030.3</b>	<b>62444.4</b>	<b>48.58</b>	<b>178.11</b>

Tabella 21. Carpi: C org%, densità apparente (BD), superfici e stock di C nelle aree verdi del territorio comunale.

## AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

I dati presentati nelle tabelle 2-4 vanno infine corretti per la percentuale di impermeabilizzazione; in assenza di documenti di piano dettagliati o di altri strati informativi appositamente redatti, si possono utilizzare in prima approssimazione i valori riportati nella tabella 18.

Tipologia aree verdi	Cstock_IMP Mg	Media Mg/ha	C stock/ab Mg	CO2eq_IMP Mg	Media Mg/ha	CO2 eq /ab Mg
Aree verdi associate alla viabilità (Rv)	2815.59	49.2	0.024	10323.8	180.3	0.088
Aeroporti commerciali (Fc)	7995.33	39.2	0.068	29316.2	143.7	0.249
Parchi (Vp)	6015.28	43.6	0.051	22056.0	160.0	0.187
Ville (Vv)	6564.26	35.3	0.056	24069.0	129.4	0.204
Aree incolte nell'urbano (Vx)	6694.51	41.7	0.057	24546.5	152.8	0.208
Aree sportive (Vs)	3130.99	38.7	0.027	11480.3	142.0	0.097
Campi da golf (Vg)	1336.74	44.3	0.011	4901.4	162.4	0.042
Ippodromi e spazi associati (Vi)	585.31	35.8	0.005	2146.2	131.1	0.018
Autodromi e spazi associati (Va)	132.04	36.0	0.001	484.2	131.9	0.004
Cimiteri (Vm)	720.13	29.4	0.006	2640.5	107.8	0.022
<b>Totale aree verdi</b>	<b>35990.20</b>	<b>39.9</b>	<b>0.305</b>	<b>131964.1</b>	<b>146.4</b>	<b>1.119</b>

Tabella 22. Forlì: stock di C nelle aree verdi del territorio comunale corretti per il grado di impermeabilizzazione. Lo stock per abitante e la CO<sub>2</sub> equivalente sono riferiti al dato ISTAT 2016 (117,946); m<sup>2</sup> aree verdi/Ab. 76.4 (59.1 senza Fc).

Tipologia aree verdi	Cstock_IMP Mg	Media Mg/ha	C stock/ab Mg	CO2eq_IMP Mg	Media Mg/ha	CO2 eq /ab Mg
Aree verdi associate alla viabilità (Rv)	538.9	29.3	0.017	1975.8	107.5	0.061
Parchi (Vp)	1508.9	31.5	0.047	5532.8	115.5	0.171
Ville (Vv)	3108.6	32.5	0.096	11398.3	119.2	0.353
Aree incolte nell'urbano (Vx)	1128.8	27.2	0.035	4139.0	99.7	0.128
Aree sportive (Vs)	1118.5	30.1	0.035	4101.3	110.5	0.127
Ippodromi e spazi associati (Vi)	1447.9	35.4	0.045	5309.0	129.9	0.164
Cimiteri (Vm)	133.4	22.0	0.004	489.0	80.7	0.015
<b>Totale aree verdi</b>	<b>8985.1</b>	<b>31.3</b>	<b>0.28</b>	<b>32945.3</b>	<b>114.6</b>	<b>1.02</b>

Tabella 23. San Lazzaro: stock di C nelle aree verdi del territorio comunale corretti per il grado di impermeabilizzazione. Lo stock per abitante e la CO<sub>2</sub> equivalente sono riferiti al dato ISTAT 2016 (32,333); m<sup>2</sup> aree verdi/Ab. 88.9.

La densità media del C organico nei suoli delle aree a verde urbano è pari a 39.9, 31.3 e 43.4 Mg/ha rispettivamente per Forlì, San Lazzaro e Carpi; lo stock medio per abitante è uguale a 0.31, 0.28 e 0.21 Mg rispettivamente per Forlì, San Lazzaro e Carpi, corrispondenti a 1.1, 1.0 e 0.8 Mg di CO<sub>2</sub> equivalenti per abitante.

I valori di stock ottenuti vanno indicativamente considerati come probabili stime per difetto poiché basate su valori sperimentali relativi a suoli agricoli. Questi sono infatti solitamente caratterizzati da contenuti in carbonio organico inferiori a quelli potenzialmente osservabili a aree a verde pubblico in ambiente urbano.

Va tuttavia tenuto presente che esistono numerosi fattori che possono significativamente influire sullo stock di carbonio in entrambe le situazioni: pratiche agricole conservative, apporti di sostanza organica, età e tipologia dell'area a verde pubblico, presenza di materiali di riporto, grado di disturbo, grado di copertura vegetale, presenza o meno di alberature, modalità di gestione del manto erboso (irrigazione, sfalci, concimazioni). I valori ottenuti sono tuttavia da considerare coerenti con le non

molte indicazioni reperibili in letteratura, sintetizzate dalla tabella 25.

Tipologia aree verdi	Cstock_IMP	Media	C stock/ab	CO2eq_IMP	Media	CO2 eq /ab
	Mg	Mg/ha	Mg	Mg	Mg/ha	Mg
Aree verdi associate alla viabilità (Rv)	917.5	48.9	0.013	3364.3	179.4	0.047
Parchi (Vp)	4423.6	43.9	0.062	16219.9	160.9	0.228
Ville (Vv)	3132.4	46.1	0.044	11485.3	169.0	0.162
Aree incolte nell'urbano (Vx)	2349.3	45.5	0.033	8614.1	166.8	0.121
Aree sportive (Vs)	2826.1	38.9	0.040	10362.2	142.8	0.146
Campi da golf (Vg)	102.5	29.8	0.001	375.8	109.4	0.005
Ippodromi e spazi associati (Vi)	973.5	49.2	0.014	3569.5	180.4	0.050
Autodromi e spazi associati (Va)	162.6	38.7	0.002	596.4	142.0	0.008
Cimiteri (Vm)	335.7	29.3	0.005	1231.0	107.3	0.017
<b>Totale aree verdi</b>	<b>15223.2</b>	<b>43.4</b>	<b>0.21</b>	<b>55818.5</b>	<b>159.2</b>	<b>0.79</b>

Tabella 24. Carpi: stock di C nelle aree verdi del territorio comunale corretti per il grado di impermeabilizzazione. Lo stock per abitante e la CO2 equivalente sono riferiti al dato ISTAT 2016 (71,060); m2 aree verdi/Ab. 49.3.

Fonte	Località	Tipologia	SOC Mg ha <sup>-1</sup>
Takahashi et al., 2008	Tokyo (Giappone)	Prato urbano	82
Takahashi et al., 2008	Tokyo (Giappone)	Bosco urbano	79
Kaye et al., 2005	Fort Collins (USA)	Prato urbano	48-73
Livesley et al., 2016	Melbourne (Australia)	Campo da golf	50-712
Weissert et al., 2016	Auckland (Nuova Zelanda)	Bosco urbano	27-108
Yoon et al., 2016	Seoul (Sud Korea)	Parco urbano	22.4
Yoon et al., 2016	Daugu (Sud Korea)	Parco urbano	23.4
Yoon et al., 2016	Daejeong (Sud Korea)	Parco urbano	12.8
Raciti et al., 2012	Boston (USA)	Verde urbano	36-42
Vasenev et al., 2013	Mosca (Russia)	Verde urbano	28.1-70.7
Pouyat et al., 2002	New York (USA)	Verde urbano	35-50
Pouyat et al., 2009	Denver (USA)	Verde urbano	45
Pouyat et al., 2009	Baltimore (USA)	Verde urbano	60-80
Beesley, 2012	Liverpool (UK)	Verde urbano	10-50
Edmonson et al, 2014	Leicester (UK)	Verde urbano	38
Sun et al, 2010	Kaifeng (China)	Verde urbano	8.7-50.1
CNR Ibimet	Carpi	Verde urbano	32-101

Tabella 25. Stock di carbonio organico in suoli di aree verdi urbane.

## 6. QUANTIFICAZIONE DELLA PERDITA DI SERVIZI ECOSISTEMICI: STIME BIOFISICHE ED ECONOMICHE

Il presente paragrafo illustra una prima ipotesi di valutazione quantitativa dei SE esaminati e dell'impatto del consumo di suolo su di essi. La valutazione economica dei servizi ecosistemici segue prassi ed approcci differenti a seconda del servizio considerato: in alcuni casi, ad esempio lo stock di carbonio, la metodologia è consolidata e condivisa, in altri casi, ad esempio la regolazione del microclima o la purificazione dell'acqua si stanno sperimentando modalità diverse di valutazione. In questo lavoro, i valori unitari di riferimento adottati sono per quasi tutti i servizi considerati quelli del rapporto 2018 Consumo di Suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici redatto da ISPRA.

Sono stati elaborati i dati per sette servizi ecosistemici: la produttività agricola, PRO, la capacità di riserva idrica, WAS, e la capacità di regolazione delle acque superficiali (infiltrazione), WAR, il carbon stock dei suoli, CST, la regolazione del microclima, CLI, la capacità depurativa nei confronti degli inquinanti, i BUF, e l'habitat per la biodiversità, BIO (tabella 26).

Servizio ecosistemico	Sigla	Unità di misura biofisica	Unità di misura economica
<b>Stoccaggio e sequestro di carbonio</b>	<b>CST</b>	t/ha	€/t
<b>Qualità degli habitat</b>	<b>BIO</b>	-	€/ha
<b>Produzione agricola</b>	<b>PRO</b>	t/ha	€/t
<b>Regolazione del microclima</b>	<b>CLI</b>	m <sup>3</sup>	€/ha (VAM)
<b>Disponibilità di acqua</b>	<b>WAS</b>	m <sup>3</sup>	€/KWh
<b>Regolazione del regime idrologico</b>	<b>WAR</b>	m <sup>3</sup>	€/m <sup>3</sup>
<b>Purificazione dell'acqua</b>	<b>BUF</b>	-	€/m <sup>3</sup> /anno
			€/ha/anno

Tabella 26 Unità di misura biofisiche ed economiche dei servizi ecosistemici considerati.

Per WAS, WAR, CLI, BUF e CST si considera che l'impatto del consumo di suolo sia pari al livello di impermeabilizzazione delle superfici, tenendo conto che suoli disturbati continuano comunque a stoccare carbonio e ad immagazzinare e trasmettere acqua. Per quanto riguarda la produzione agricola e la fornitura di habitat per la biodiversità invece si considera annullata a prescindere dal livello di impermeabilizzazione.

Ai fini della valutazione economica della perdita di servizi ecosistemici del suolo, sono stati considerati come anni di riferimento il 1985 ed il 2016 a Forlì e San Lazzaro di Savena, e il 1980 ed il 2016 a Carpi.

### 6.1. METODO

#### 6.1.1. Produttività agricola (PRO)

Per quantificare il valore della produttività agricola, e dell'impatto del consumo di suolo su di essa, si sono utilizzati due approcci distinti, entrambi pesati sulla classificazione di capacità d'uso dei suoli (Guermandi, 2000, tabella 1). Nel primo caso è stata considerata la produzione potenziale di frumento tenero (*Triticum aestivum*), che è mediamente pari a 83 q/ha nei territori della pianura emiliano-romagnola (Regione Emilia-Romagna, 2014). Considerando che le produzioni raggiungano i 90 q/ha nei suoli migliori, di classe 1 di capacità d'uso, la produzione potenziale di frumento tenero

è stata calcolata con:

$$q/ha = 90 * \text{classe capacità di uso (PRO)}$$

Nel secondo caso sono invece stati utilizzati i Valori Agricoli Medi (VAM, in euro) forniti dall’Agenzia delle Entrate per i diversi comuni italiani e per i diversi usi del suolo, così come fatto dall’ISPRA a livello nazionale (ISPRA, 2018). Alle diverse classi di uso del suolo (versione 2008 aggiornata con risoluzione a maggior dettaglio nel 2017) è stato quindi attribuito il valore agricolo medio definito dall’agenzia delle entrate. Il VAM nelle zone attualmente non agricole,  $VAM_{est}$ , è stato calcolato tramite regressione lineare tra VAM e indice PRO:

$$VAM_{est} = a + b*PRO$$

I coefficienti delle equazioni sono riportate nelle tabelle 27, 28 e 29, per San Lazzaro, Forlì e Carpi rispettivamente.

Regression Summary for Dependent Variable: VAM (impermeabile_SAN LAZZARO_perdite_quantificate)						
R= .44833892 R <sup>2</sup> = .20100779 Adjusted R <sup>2</sup> = .20053807 F(1,1701)=427.93 p						
N=1703	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(1701)	p-value
Intercept			9166.54	780.148	11.74975	0.000000
PRO	0.448339	0.021673	24277.88	1173.609	20.68651	0.000000

Tabella 27. Coefficienti della regressione tra PRO e VAM, comune di San Lazzaro.

Regression Summary for Dependent Variable: VAM (consumato_SE_FORLI_quantificato)						
R= .48369330 R <sup>2</sup> = .23395921 Adjusted R <sup>2</sup> = .23376761 F(1,3998)=1221.0 p						
N=4000	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(3998)	p-value
Intercept			16451.66	502.6469	32.73005	0.00
PRO	0.483693	0.013842	21934.45	627.7132	34.94343	0.00

Tabella 28. Coefficienti della regressione tra PRO e VAM, comune di Forlì.

Regression Summary for Dependent Variable: VAM (consumato_SE_CARPI_quantificato)						
R= .25775279 R <sup>2</sup> = .06643650 Adjusted R <sup>2</sup> = .06562329 F(1,1148)=81.697 p						
N=1150	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(1148)	p-value
Intercept			16354.11	2114.101	7.735727	0.000000
PRO	0.257753	0.028517	23729.53	2625.347	9.038625	0.000000

Tabella 29. Coefficienti della regressione tra PRO e VAM, comune di Carpi.

Ai fini della valutazione economica sono stati utilizzati due diversi approcci: il primo basato sul valore agricolo medio (VAM, €/ha) stimato nei tre comuni in funzione delle diverse classi di uso del suolo, e il secondo basato sulla stima della mancata resa in t/ha di frumento tenero, assumendo un valore pari a 205,95 €/t (ISMEA Novembre 2018).

### 6.1.2. Riserva idrica dei suoli (WAS)

La quantità di acqua potenzialmente contenuta nel suolo, a disposizione quindi per la crescita delle piante (AWC), è stata valutata come il contenuto volumetrico di acqua alla capacità di campo (WC\_FC, mm m<sup>-1</sup>) meno il contenuto idrico volumetrico in acqua al punto di appassimento (WC\_WP). Il WC\_FC e il WC\_WP sono stati calcolati utilizzando PTF calibrate sui suoli dell'Emilia Romagna (Ungaro et al., 2005), i cui input sono la struttura del terreno, il contenuto di carbonio organico e la densità apparente. La PTF è stata applicata a tutti i profili di suoli caposaldo dei tre comuni considerati, ottenendo per ogni tipo di suolo il volume di acqua potenzialmente contenuto fino ad una profondità di 100 cm. Conoscendo la distribuzione quantitativa dei diversi suoli nelle diverse delineazioni di suolo è quindi possibile avere una stima dei m<sup>3</sup> di acqua potenzialmente immagazzinati ad ettaro:

$$\text{m}^3 \text{ acqua/ha} = (\text{AWC mm m}^{-1} / 1000) * 10000$$

Per ognuna delle delineazioni della carta dei suoli sono stati calcolati i m<sup>3</sup> di acqua in relazione alle loro superfici. I valori medi di AWC in mm m<sup>-1</sup> sono pari a 135.7, 140 e 123.3 per Forlì, Carpi e San Lazzaro di Savena rispettivamente,

Per il rapporto ISPRA 2018, la valutazione economica si è basata sui costi stimati (Reddy, 2015) pari a US\$0.04/m<sup>3</sup> e US\$ 0.93/m<sup>3</sup> al 2012, che convertiti in euro ed attualizzati al 2015 corrispondono a €0.03-0.71/m<sup>3</sup>. Nei tre comuni oggetto di studio, ai fini della valutazione economica è stato considerato un costo unitario di 0.33 €/m<sup>3</sup> pari alla redditività stimata dell'acqua distribuita dal Canale Emiliano Romagnolo (CER) nell'anno 2015 (Solimando, 2016).

### 6.1.3. Infiltrazione di acqua (WAR)

La quantità di acqua potenzialmente infiltrata nel suolo (m<sup>3</sup>/anno), che non va ad incidere sul sistema di drenaggio per l'allontanamento delle acque superficiali e che è a disposizione quindi per la ricarica della falda, è stata stimata per ciascun comune considerando la pioggia media annua e la conducibilità idrica satura media dei suoli presenti sul territorio di ciascun comune. Le precipitazioni medie annue sono pari a 687, 778 e 764 mm rispettivamente per Forlì, Carpi e San Lazzaro di Savena; i valori medi di conducibilità idrica satura sono pari a 11.08, 15.39 e 38.00 mm/giorno rispettivamente per Forlì, Carpi e San Lazzaro di Savena.

In termini di valutazione economica, una meta analisi recente (Jónsson e Davíðsdóttir, 2016, in ISPRA, 2018) riporta diversi valori economici associabili al servizio di regolazione idrica del suolo: da 62 a 126 id\$/ha/yr come presso di mercato per il servizio di regolazione del ciclo delle acque, da 30 a 1175 id\$/ha/yr per il controllo idrologico del territorio attraverso varie voci di costo (difensivi, fornitura, danno, edonici, disponibilità a pagare, sostituzione, e benefit transfer). I valori del costo per unità di volume o massa variano da 0 e 49 id\$/t/anno e tra 3.2 e 20 id\$/m<sup>3</sup>/anno, con un valore medio di 11.34 id\$/m<sup>3</sup>/anno corrispondente a 8.74 €/m<sup>3</sup>/anno.

### 6.1.4. Stock di carbonio (CST)

Per ogni profilo di suolo caposaldo è stato calcolato lo stock di carbonio dei primi 100 a partire dalla seguente formula:

$$\text{CST (Mg m}^{-3}\text{) /ha} = \text{SOC \%} * \text{BD (Mg m}^{-3}\text{)} * 100 * (1-sk)$$

dove SOC è il contenuto in carbonio organico % del suolo sui 100 cm, BD è la densità' apparente media dei primi 100 cm (Mg m<sup>-3</sup>), e sk è il contenuto in scheletro (particelle > 2mm, vol/vol). Lo stock attribuito a ciascuna delineaazione deriva quindi dalla media ponderata degli stock relativi alle diverse UTS presenti al suo interno in funzione della loro incidenza in termini areali.

Per la valutazione economica del servizio di stoccaggio e sequestro di carbonio nel suolo esistono diversi approcci, ma due sono quelli più utilizzati (ISPRA, 2018): uno basato sul costo sociale (SCC), l'altro sul valore di mercato dei permessi di emissione. Il costo sociale considera, a livello globale, i danni evitati grazie al sequestro di CO<sub>2</sub>. Questo tipo di costo è molto variabile a causa dell'incertezza della stima.

Il rapporto ISPRA 2018 fa riferimento ai valori aggiornati, utilizzati da US EPA (Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, United States Government, 2016), che per il 2015 indicano un valore di 36 \$/t (dollari 2007 per tonnellata di CO<sub>2</sub>), corrispondente a un valore di 33.18 €/t CO<sub>2</sub> (2015), che in termini di C corrisponde a 101.85 €/t C. Un' analisi dei valori di letteratura sul costo sociale del sequestro di carbonio (Tol, 2005) indica un valore medio su studi selezionati, utilizzando una pesatura proposta dall'autore, pari a 122 \$/t C. Per il 2018 utilizzando il riferimento della meta analisi di Tol, il valore indicato è di 122 \$/t C (2005), pari a 121.45 €/t riferito al 2015.

In termini di prezzo di mercato per i permessi di emissione, il rapporto ISPRA 2018, fa riferimento ad un prezzo di mercato per la valutazione dello stock sul periodo 2012-2017 è quello al 2015 di 6,3 €/tCO<sub>2</sub>eq, ovvero di 23 €/tC.

Questi sono i valori adottati per la stima del valore del servizio di stoccaggio di C nei suoli dei tre comuni oggetto di studio.

### 6.1.5. Regolazione del microclima (CLI)

Il contributo diretto del suolo alla regolazione del microclima si basa sulla sua capacità di immagazzinare acqua disponibile per i processi evapotraspirativi al cui conseguenza è quella di abbassare sensibilmente la temperatura mitigando così l'effetto isola di calore. Ai fini della quantificazione del servizio e della sua valutazione economica sono stati calcolati per i suoli di ciascun comune i m<sup>3</sup> di acqua disponibile (dato dalla differenza tra il contenuto idrico a capacità di campo e quello al punto di appassimento), considerandola come riserva idrica potenzialmente evapotraspirabile e calcolando quindi il costo energetico necessario alla sua evaporazione (€/Kwh). Il calcolo ha assunto un dispendio energetico di 2.4346 GJ/m<sup>3</sup> equivalenti a 674.4 KWh. Per potenze contrattuali fino a 6 kW, il costo dell'elettricità varia da 0,19 €/kWh a 0,48 €/kWh, tutto compreso (servizi di rete, accise, iva). Secondo quanto riportato dall'Eurostat, il prezzo finito al kWh dell'energia elettrica (costo comprensivo, dunque, di spese e imposte) è, in media, pari a 0.2080 €/kWh.

### 6.1.6. Filtro e rimozione inquinanti (BUF)

Il servizio di purificazione delle acque svolto dal suolo tramite processi fisico-chimici è un servizio di regolazione e come molti di questi, la sua valutazione si basa sul calcolo di un costo di sostituzione, solitamente facendo riferimento alla rimozione di fosforo e azoto.

La forbice di valori unitari riportata in letteratura è tuttavia molto ampia, in funzione dei carichi, della tecnologia applicata e delle condizioni pedo-ambientali. Jónsson e Davíðsdóttir (2016, in ISPRA, 2018) in un recente lavoro di meta analisi riportano valori compresi tra 544-6402 id\$/ha/yr (2012) per il filtraggio e decontaminazione, che corrispondono a 415 - 4887 €/ha/anno (2015).

### **6.1.7. Supporto alla biodiversità (BIO)**

Questo servizio è da considerarsi come un indice della biodiversità complessiva, e in quanto tale secondo alcune classificazioni rientra nella categoria dei cosiddetti servizi di supporto, o nei servizi di regolazione e mantenimento secondo altre.

Per quanto riguarda il valore economico da associare a questo servizio, si fa riferimento alle valutazioni di Costanza et al. (1997, 2014) che fornisce il valore economico a scala globale di 17 servizi ecosistemici, tra cui anche gli habitat, suddivisi in 16 biomi. La stima più aggiornata rivista da Costanza et al. nel 2014, fa riferimento al lavoro di de Groot et al. (2012). Considerato l'uso del suolo prevalente nei tre comuni oggetto di studio, i valori di riferimento considerato per la valutazione economica del servizio è stato quello relativo a superfici agricole intensive, pari a 260,2 €/ha. Nel caso del comune di San Lazzaro, considerata la presenza di aree collinari ad utilizzo agricolo estensivo, per le quali è proposto un valore economico per unità di superficie più elevato, pari a 520,4 €/ha, è stata calcolata una media ponderata in funzione delle superfici impermeabilizzate nei due ambienti.

## 6.2 RISULTATI

### 6.2.1. San Lazzaro di Savena

I risultati in termini di variazione (suolo nudo vs. suolo edificato al 2016) in m<sup>3</sup> di acqua disponibile, di Mg di C stoccato nel suolo, di produzioni di frumento (q) e di VAM (€) per il comune di San Lazzaro sono riportati in tabella 30. Poiché il comune ha una consistente area in zona collinare (vedi figura 3), sono stati anche valutate le variazioni negli stock di capitale naturale differenziati per le zone. Con il consumo di suolo si sono persi 40 milioni di euro circa di valore agricolo medio e la capacità di produrre circa 9000 tonnellate di frumento l'anno. A livello comunale, i suoli hanno perso la capacità di stoccare circa 60,000 tonnellate di carbonio e di immagazzinare circa 680,000 metri cubi di acqua.

SAN LAZZARO	suoli	2016	delta	%
WAS, comune m <sup>3</sup>	4694472.0	4009035.1	685436.9	-15%
WAS collina, m <sup>3</sup>	1017600.6	988377.5	29223.1	-3%
WAS pianura, m <sup>3</sup>	3676871.4	3020657.5	656213.8	-18%
SOC, comune ton	496238.0	436538.2	59699.8	-12%
SOC, collina, ton	161341.9	156571.1	4770.8	-3%
SOC, pianura, ton	334896.1	279967.1	54929.0	-16%
VAM, comune, euro	123839381.8	83668779.0	40170602.8	-32%
VAM, collina, euro	13280783.2	12357230.81	923552.391	-7%
VAM, pianura, euro	110558598.6	71311548.16	39247050.4	-35%
Frumento, comune, q	263724.4	173414.5	90309.9	-34%
Frumento, collina, q	24909.2	23157.7	1751.4	-7%
Frumento, pianura, q	238815.2	150256.8	88558.4	-37%

Tabella 30. Valutazione degli stock e impatto del consumo di suolo al 2016, San Lazzaro di S.

SE	Descrizione/Unità	1985	Valore	2016	Valore	Differenza
	C stock (Mg)					
CST	prezzo mercato	450211.9	€ 10,354,873.58	436538.2	€ 10,040,378.90	-€ 314,494.68
	C stock (Mg)					
CST	costo sociale	450211.9	€ 54,678,234.64	436538.2	€ 53,017,566.00	-€ 1,660,668.64
PRO	VAM, euro	92869487.8	€ 92,869,487.81	83668779.0	€ 83,668,778.97	-€ 9,200,708.84
	Frumento, q	194099.2	€ 39,974,726.65	173414.5	€ 35,714,723.45	-€ 4,260,003.20
CLI	AWC, m <sup>3</sup>	5293933.2	€ 742,590,141.95	4707558.0	€ 660,338,162.22	-€ 82,251,979.73
WAR	m <sup>3</sup> infiltrati	2676.5	€ 21,947.11	2456.8	€ 20,145.37	-€ 55,853.89
WAS	AWC, m <sup>3</sup>	5293933.2	€ 1,746,997.96	4707558.0	€ 1,553,494.12	-€ 193,503.84
BUF	min	3503.2	€ 1,453,845.39	3215.6	€ 1,334,492.60	-€ 3,699,936.66
	max	3503.2	€ 17,109,833.48	3215.6	€ 15,705,209.26	-€ 43,543,351.01
BIO		3503.2	€ 1,101,448.45	3215.6	€ 1,011,025.53	-€ 90,422.92
					<b>Differenza</b>	
				<b>Min</b>		<b>-€ -97,467,569.19</b>

## AZIONE B.1.2

Valutazione dei servizi ecosistemici e stima degli impatti economici e ambientali conseguenti al consumo e all'impermeabilizzazione dei suoli nei comuni di Forlì, Carpi e S.Lazzaro di Savena

**Max** -€ 137,310,983.54

Tabella 31. Comune di San Lazzaro di Savena: valutazione economica della perdita in servizi ecosistemici tra il 1985 ed il 2016.

La tabella 31 riporta la valutazione economica per i sette servizi considerati relativamente ai cambiamenti occorsi in termini di consumo di suolo tra il 1985 ed il 2015 nel comune di San Lazzaro di Savena; la perdita stimata oscilla tra i 97.5 ed i 137.3 milioni di €.

### 6.2.2. Forlì

I risultati per il comune di Forlì sono riportati in tabella 32: con il consumo di suolo si sono persi 194 milioni di euro circa di valore agricolo medio e la capacità di produrre circa 370,000 tonnellate di frumento l'anno. Considerando il consumo di suolo del periodo 1997-2016 (pari a circa 570 ha), nel comune di Forlì è andata persa la possibilità di stoccare circa 3,8 milioni di m<sup>3</sup> di acqua e sono state perse 319,000 tonnellate di carbonio. La tabella 33 riporta la valutazione economica per i sette servizi considerati relativamente ai cambiamenti occorsi in termini di consumo di suolo tra il 1985 ed il 2016; la perdita stimata a livello comunale oscilla tra i 97.9 ed i 246.2 milioni di €.

FORLÌ'	suoli	2016	delta	%
<b>WAS, comune m<sup>3</sup></b>	77225749.3	73430510.7	3795238.7	-5%
<b>SOC, comune ton</b>	2442377.9	2123500.8	318877.1	-13%
<b>VAM, comune, euro</b>	784084384.4	589810384.4	194273999.9	-25%
<b>Frumento, comune, q</b>	1649939.9	1274415.3	375524.6	-23%

Tabella 32. Valutazione degli stock e impatto del consumo di suolo al 2016, Forlì.

SE	Descrizione/Unità	1985	Valore	2016	Valore	Differenza
	C stock (Mg)					
<b>CST</b>	prezzo mercato	2185198.7	€ 50,259,570.57	2123500.8	€ 48,840,519.24	-€ 1,419,051.34
	C stock (Mg)					
<b>CST</b>	costo sociale	2185198.7	€ 265,392,384.61	2123500.8	€ 257,899,176.58	-€ 7,493,208.03
<b>PRO</b>	VAM, euro	627399457.7	€ 627,399,457.74	594028017.5	€ 594,028,017.49	-€ 33,371,440.25
	Frumento, q	1347073.6	€ 277,429,807.72	1274415.3	€ 262,465,825.69	-€ 14,963,982.03
<b>CLI</b>	AWC, m <sup>3</sup>	29741098.7	€ 4,171,840,821.62	29446626.0	€ 4,130,534,574.35	-€ 41,306,247.27
<b>WAR</b>	m <sup>3</sup> infiltrati	12616.6	€ 103,456.28	11881.1	€ 97,425.22	-€ 186,962.93
<b>WAS</b>	AWC, m <sup>3</sup>	29741098.7	€ 9,814,562.56	29446626.0	€ 9,717,386.57	-€ 97,175.99
<b>BUF</b>	min	18364.8	€ 7,621,393.12	17294.2	€ 7,177,098.23	-€ 13,773,141.68
	max	18364.8	€ 89,693,696.38	17294.2	€ 84,464,934.31	-€ 162,091,623.99
<b>BIO</b>		18364.8	€ 4,778,521.66	17294.2	€ 4,499,954.12	-€ 278,567.54
						<b>Differenza</b>
					<b>Min</b>	-€ 97,925,795.03
					<b>Max</b>	-€ 246,244,277.34

Tabella 33. Comune di Forlì: Valutazione economica della perdita in servizi ecosistemici tra il 1985 ed il 2016.

### 6.2.3. Carpi

In tabella 34 sono riportati i risultati per il comune di Carpi. Con il consumo di suolo si sono persi al 2016 circa 87 milioni di euro di valore agricolo medio e la capacità di produrre circa 191,000 tonnellate di frumento. Lo stock di C organico è diminuito di 226.5 Mg e la capacità di immagazzinamento idrico di 7.9 milioni di m<sup>3</sup>.

CARPI	suoli	2016	delta	%
WAS, comune m <sup>3</sup>	75731649.3	67742394.7	7989254.6	-11%
SOC, comune ton	2044885.0	1818398.0	226487.0	-11%
VAM, comune, euro	412942532.6	325078576.3	87863956.3	-21%
Frumento, comune, q	895916.1	704677.5	191238.6	-21%

Tabella 34. Valutazione degli stock e impatto del consumo di suolo, Carpi.

La tabella 35 riporta la valutazione economica per i sette servizi considerati relativamente ai cambiamenti occorsi in termini di consumo di suolo tra il 1980 ed il 2016 nel comune di Carpi; la perdita stimata a livello comunale oscilla tra i 228.3 ed i 448.6 milioni di €. Nel valutare queste cifre, ben superiori a quelle degli altri due comuni, va tenuto presente che nel caso del comune di Carpi la perdita di servizi dovuti al consumo di suolo tra il 1980 ed il 2016 è stata in parte sopravvalutata poiché la maggior parte dell'edificato (case e strade) insistente sul territorio rurale e periurbano già al 1980 è stato calcolato solo nelle coperture relative al 2016.

SE	Descrizione/Unità	1980	Valore	2016	Valore	Differenza	
CST	C stock (Mg) prezzo mercato	1941992.6	€ 44,665,828.72	1818398.0	€ 41,823,154.24	-€ 2,842,674.48	
CST	C stock (Mg) costo sociale	1941992.6	€ 235,854,995.56	1818398.0	€ 220,844,438.37	-€ 15,010,557.19	
PRO	VAM, euro	373026164.8	€ 373,026,164.81	325078576.3	€ 325,078,576.28	-€ 47,947,588.53	
CLI	Frumento, q	809036.9	€ 166,621,154.12	704677.5	€ 145,128,338.73	-€ 21,492,815.39	
WAR	AWC, m <sup>3</sup>	17676398.9	€ 2,479,502,297.14	16464215.3	€ 2,309,466,991.46	-€ 170,035,305.68	
WAR	m <sup>3</sup> infiltrati	12616.6	€ 103,456.28	11881.1	€ 97,425.22	-€ 186,962.93	
WAS	AWC, m <sup>3</sup>	17676398.9	€ 5,833,211.63	16464215.3	€ 5,433,191.06	-€ 400,020.57	
BUF	min	11982.8	€ 4,972,845.83	10584.0	€ 4,392,343.87	-€ 17,995,560.77	
BUF	max	11982.8	€ 58,523,804.87	10584.0	€ 51,692,066.14	-€ 211,783,900.77	
BIO		11982.8	€ 3,117,914.42	10584.0	€ 2,753,946.68	-€ 363,967.74	
						<b>Differenza</b>	
						<i>Min</i>	-€ 228,327,864.75
						<i>Max</i>	-€ 448,570,977.89

Tabella 35. Comune di Carpi: Valutazione economica della perdita in servizi ecosistemici tra il 1980 ed il 2016.

Dalle stime effettuate per i sette servizi ecosistemici considerati, risulta che il valore medio totale per unità di superficie dei servizi per i suoli non sigillati è pari a 265541, 309578 e 290881 €/ha rispettivamente per San Lazzaro (3216 ha), Forlì (17924 ha) e Carpi (10584 ha).

## 7. BIBLIOGRAFIA

Beesley, L., 2012. Carbon storage and fluxes in existing and newly created urban soils. *J. Environ. Manage.* 104, 158–165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.024>

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.

CEC. Thematic strategy for soil protection. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels: Commission of the European Communities; 2006. COM 2006/231.

Costanza R., de Groot R., Sutton P., van der Ploeg S., Anderson S. J., Kubiszewski I., Farber S., Turner R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26 (2014) 152–158.

Costanza, R., d'Arge, R., Groot, R. de, Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387.

Daily, G. C., Matson, P. A., and Vitousek, P. M. (1997). "Ecosystem services supplied by soil," in *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, ed G. C. Daily (Washington, DC: Island Press), 113–132.

De Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L.C., ten Brink, P., van Beukering, P., 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services* 1, 50–61.

Dominati, E., Patterson, M., Mackay, A., 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics* 69, 1858-1868, doi:10.1016/j.ecolecon.2010.05.002.

Edmondson, J.L., Davies, Z.G., McCormack, S.A., Gaston, K.J., Leake, J.R., 2014. Land-cover effects on soil organic carbon stocks in a European city. *Sci. Total Environ.* 472, 444–453. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.025>.

Gardi C, Menta C, Montanarella L, Cenci R., 2008. Main threats to soil biodiversity: the case of agricultural activities impacts on soil microarthropods. In Toth, G., Montanarella, L., Rusco, E. (Eds): *Threats to Soil In Europe* pp. 100–110. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Guermandi M., 2000. Schemi attualmente in uso: considerazioni e proposte. - SINA Progetto operativo "Carta pedologica in aree a rischio ambientale". Sottoprogetto: "Criteri di valutazione della Capacità d'uso dei suoli". [http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio\\_pdf/suoli/Criteri\\_valutazione\\_Capacit\\_duso\\_suoliSINA\\_Maggio\\_2000.pdf](http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio_pdf/suoli/Criteri_valutazione_Capacit_duso_suoliSINA_Maggio_2000.pdf), last accessed January 2015

Haines-Young, R., Potschin, M., 2013. CICES V4.3-Report Prepared following Consultation 440 on CICES Version 4, August–December 2012. EEA Framework contract no. 441 EEA/IEA/09/003.

Hillel, D., 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press, San Diego (CA), USA, 771 pp.

Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, United States Government, 2016. Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866 (May 2013, Revised August 2016)

ISPRA, 2018. Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2018, ISPRA Rapporti 288/2018, 280 PP.

Jeffery, S., Gardi, C., Jones, A., Montanarella, L., Marmo, L., Miko, L., Ritz, K., Peres, G., Rombke, J., Van Der Putten, W. H. (eds.), 2010. European Atlas of Soil Biodiversity. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 128 pp.

Jónsson, J.Ö.G., Davíðsdóttir, B. 2016. Classification and valuation of soil ecosystem services . *Agricultural Systems* 145 (2016) 24–38

Kaye, J.P., McCulley, R.L., Burke, I.C., 2005. Carbon fluxes, nitrogen cycling, and soil microbial communities in adjacent urban, native and agricultural ecosystems. *Glob. Chang. Biol.* 11 (4), 575–587. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00921.x>.

Klingelbiel, A.A., Montgomery, P.H., 1961. Land capability classification. USDA Agricultural Handbook 210, US Government printing Office, Washington, DC.

Livesley, S.J.; Ossola, A.; Threlfall, C.G.; Hahs, A.K.; Williams, N.S.G., 2016 Soil carbon and carbon/nitrogen ratio change under tree canopy, tall grass, and turf grass areas of urban green space. *J. Environ. Qual.*, 45, 215–223.

Menta, C., Leoni A., 2008. Microartropodi e collemboli come indicatori di qualità del suolo: gli indici QBS-ar e QBS-c. Workshop APAT 2008 Biodiversità dei suoli italiani: indicatori ed applicazioni

Millenium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. Current State and Trends: Findings of the Conditions and Trends Working Group. In Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. (eds.): *Ecosystems and Human Well-being*. Island Press, Washington DC, USA.

Parisi V., 2001. La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. *Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense"* 37, 97-106.

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, 323-333, doi:10.1016/j.agee.2004.02.002 verso una normativa italiana

Pouyat, R.V., Groffman, P.M., Yesilonis, I.D., Hernandez, L., 2002. Soil carbon pools and fluxes in urban ecosystems. *Environ. Pollut.* 116, 107–118. [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00263-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00263-9).

Pouyat, R.V., Yesilonis, I.D., Golubiewski, N.E., 2009. A comparison of soil organic carbon stocks between residential turf grass and native soil. *Urban Ecosyst.* 12 (1), 45–62. <http://dx.doi.org/10.1007/s11252-008-0059-6>.

Prokop G., Jobstmann H., Schönbauer A., 2011: Overview on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects in EU-27. European Commission, Technical Report - 2011-50,

<http://ec.europa.eu/environment/soil/sealing.htm>, doi:10.2779/15146, last accessed January 2015

Raciti, S.M., Hutyra, L.R., Finzi, A.C., 2012. Depleted soil carbon and nitrogen pools beneath impervious surfaces. *Environ. Pollut.* 164, 248–251. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2012.01.046>.

Regione Emilia Romagna, 1995. Normativa tecnica generale- Carta dei suoli regionale scala 1:50,000. Ufficio Pedologico - Servizio Cartografico, Regione Emilia-Romagna, Bologna, 189 pp.

Regione Emilia Romagna, 2010. Carta della capacità d'uso dei suoli ai fini agricoli e forestali della pianura emiliano-romagnola in scala 1:50,000. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, Regione Emilia Romagna; [http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/CAPACITA\\_USO.pdf](http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/CAPACITA_USO.pdf), last accessed January 2015.

Schwarz, N., Bauer, A., Haase, D., 2011. Assessing climate impacts of planning policies - An estimation for the urban region of Leipzig (Germany). *Environmental Impact Assessment Review* 31, 97-111, doi:10.1016/j.eiar.2010.02.002.

Smith, R.E., Parlange, J.Y., 1978. A Parameter-Efficient Hydrologic Infiltration Model. *Water Resources Research* 14, 533-538, doi:10.1029/WR014i003p00533.

Solimando, D. 2016. Canale emiliano-romagnolo: il beneficio irriguo nel 2015. *Rivista Agricoltura – Periodico della Regione Emilia-Romagna*, Febbraio - Marzo 2016 Anno 44, n.2-3, pp. 20-21

Takahashi, T.; Amano, Y.; Kuchimura, K.; Kobayashi, T., 2008. Carbon content of soil in urban parks in Tokyo, Japan. *Landsc. Ecol. Eng.*, 4, 139–142.

Tol R.S.J., 2005. The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. *Energy Policy* 33, 2064-2074.

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, doi:10.1016/j.geoderma.2004.05.007.

Vasenev, V.I., Stoorvogel, J.J., Vasenev, I.I., 2013. Urban soil organic carbon and its spatial heterogeneity in comparison with natural and agricultural areas in the Moscow Region. *Catena* 107, 96–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.02.009>

Weissert, L.F.; Salmond, J.A.; Schwendenmann, L., 2016. Variability of soil organic carbon stocks and soil CO<sub>2</sub> efflux across urban land use and soil cover types. *Geoderma*, 271, 80–90.

Yan, S., Singh, A.N., Fu, S., Liao, C., Wang, S. Li, Y., Cui, Y., Hu, L., 2012. A soil fauna index for assessing soil quality, *Soil Biology and Biochemistry* 47, 158-165, doi:10.1016/j.soilbio.2011.11.014

Yoo, T.K., Seo, K.W., Park, G.S., Son, Y.M., Son, Y., 2016 Surface soil carbon storage in urban green spaces in three major South Korean cities. *Forests*, 115-126.

## **8. AUTORI**

### **CNR Ibimet**

**Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro; collaborazione di Tullia Calogiuri**

### **Regione Emilia-Romagna**

Servizio Geologico Sismico e dei Suoli

**Nazaria Marchi, Paola Tarocco**

### **Comune di Forlì**

Servizio Urbanistica - Unità Riqualificazione urbana

**Stefano Bazzocchi, Marco Barlotti**

### **Comune di Carpi**

Servizio Pianificazione e Sviluppo Urbanistico

**Antonella Magnani, Stefano Marzolo**

### **Comune di San Lazzaro di Savena**

Area Programmazione e Gestione del Territorio

Settore Pianificazione e Controllo del Territorio - Servizio SIT

**Fabrizio Lombardo**

## **Hanno contribuito alle attività del Tavolo Tecnico Sub Azione B1.2**

### **Comune di Forlì**

Gioia Sanbenedetto

### **Comune di Carpi**

Norberto Carboni, Attilio Palladino

### **Comune di San Lazzaro di Savena**

Cosetta Giovannini

### **Legambiente E.R.**

Lorenzo Frattini

### **ANCE E.R.**

Francesca Ferrari

### **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"



[www.sos4life.it](http://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