

## AZIONE B.1.3

# Linee guida per la valutazione dei servizi ecosistemici dei suoli in ambito urbano e azioni concrete per la loro gestione

Azione:	SOS4LIFE - Save Our Soil For Life
Titolo report:	B.1.3
	Linee guida per la valutazione dei servizi ecosistemici dei suoli in ambito urbano e azioni concrete per la loro gestione
Data report:	31/12/18
Deliverable	23

## INDICE GENERALE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI DEI SUOLO .....	5
2.1	Valutazione dei servizi ecosistemici tramite indicatori.....	5
2.2	Cartografia dei suoli urbani.....	8
2.2.1	Rilevamento ad hoc dei suoli urbani.....	8
2.2.2	Uso dell'informazione pedologica esistente.....	11
2.2.3	Tutorial per la consultazione dei siti web in Emilia-Romagna e scaricamento dati.....	12
3	GESTIONE .....	16
4	BIBLIOGRAFIA.....	18
5	ALLEGATO I. PEDOFUNZIONI DI TRASFERIMENTO.....	21
5.1	Densità apparente.....	21
5.2	Conducibilità idrica saturo .....	26
5.3	Pressione di ingresso all'aria.....	28
5.4	Capacità di acqua disponibile (AWC) .....	30
5.4.1	Stima contenuto idrico ( $m^3/m^3$ ) tensione 333 cm .....	30
5.4.2	Stima contenuto idrico ( $m^3/m^3$ ) tensione 15000 cm .....	31
5.5	Capacità di scambio cationico .....	31
5.6	Bibliografia .....	32
6	ALLEGATO II. modalita' DI CALCOLO DEI SERVIZI ECOSISTEMICI.....	33
6.1	Calcolo con elaborazioni locali .....	33
6.2	Calcolo con uso della carta dei suoli e dei profili di riferimento.....	33
6.3	Calcolo con uso di carte tematiche raster o vettoriali a tiles.....	33
6.4	Bibliografia .....	34
7	ALLEGATO III. DEFINIZIONE E CALCOLO DELL'INDICE QBS-AR.....	35
8	AUTORI .....	37

# 1 INTRODUZIONE

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

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

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

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

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

Data la grande la grande variabilità dell'ambiente urbano e delle differenze fra diversi ambienti urbanizzati, non esistono ancora dei riferimenti standardizzati per il rilevamento e la cartografia dei suoli urbani. Esistono alcune esperienze, come la carta dei suoli della città di Berlino ([https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_01.htm](https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_01.htm)) o dell'isola di Staten, NY (<https://www.soilandwater.nyc/urban-soils.html>).

Nell'ambito del progetto SOS4LIFE è stata messa a punto una metodologia che prevede la definizione di unità di pedopaesaggio urbano, sulla base alla tipologia dei suoli "naturali" al di sotto del tessuto urbano, dalle tipologie urbanistiche e della copertura del suolo ed il rilevamento libero dei suoli non sigillati. Considerando che la gran parte dei SE in area urbana viene fornita da aree a verde, la valutazione semi quantitativa della funzionalità del suolo e dei relativi servizi si concentra in giardini e parchi, aree agricole intercluse o periurbane, verde sportivo e aiuole di superficie generalmente maggiore di 0.1 ha. Non sono considerati i giardini e le pertinenze privati, avendo verificato l'elevato grado di impermeabilizzazione degli stessi (vialetti, parcheggi, rampe di accesso ai garage, ecc.). Tuttavia, anche questi suoli, sia pur fortemente alterati, svolgono funzioni. I SE considerati, risultano quindi generalmente sottostimati per l'intera città.

## 2 VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI DEI SUOLO

### 2.1 Valutazione dei servizi ecosistemici tramite indicatori

I metodi per il calcolo degli indicatori sono descritti nel deliverable di progetto (Azione B1.2) "Misurazione a scala comune degli impatti del consumo dei suoli e valutazione dei servizi ecosistemici" e nell'articolo "A methodological framework to assess the multiple contributions of soils to ecosystem services delivery at regional scale" (Calzolari et al. 2106, in inglese), entrambi disponibili sul sito SOS4LIFE (<http://www.sos4life.it/documenti/>). I servizi ecosistemici considerati, le funzioni del suolo alla loro base e i dati di input necessari per la loro valutazione sono riassunti in Tabella 1.

SE <sup>a</sup>	Contributo del suolo ai SE <sup>b</sup>	Funzioni del suolo <sup>c</sup>	Indicatori	Input data	Code
<b>Supporto</b>	Habitat per gli organismi del suolo	Riserva di Biodiversità	Habitat potenziale for gli organismi del suolo	Uso del suolo Densità apparente Carbonio organico	<b>BIO</b>
<b>Regolazione</b>	Ritenzione e rilascio dei nutrienti e degli inquinanti Capacità depurative (potenziale)	Riserva, filtraggio e trasformazione delle sostanze nutritive e dell'acqua	CSC Reazione del suolo	C organico Contenuto in argilla pH (0-30) Profondità media della falda superficiale	<b>BUF</b>
<b>Regolazione</b>	Regolazione microclima (potenziale)	Riserva, filtraggio e trasformazione delle sostanze nutritive e dell'acqua	Evaporazione potenziale dal suolo	Acqua disponibile Profondità media della falda superficiale	<b>CLI</b>
<b>Regolazione</b>	Sequestro di carbonio (potenziale)	Pool di carbonio	Sequestro di carbonio (attuale)	C organico e densità apparente (0-30 cm)	<b>CST</b>
<b>Approvvigionamento</b>	Approvvigionamento di cibo (potenziale)	Produzione di biomassa	Carta della capacità d'uso dei suoli	Classe di capacità d'uso e integradi	<b>PRO</b>
<b>Regolazione</b>	Regolazione dell'acqua /controllo ruscellamento - alluvioni (potenziale)	Riserva, filtraggio e trasformazione delle sostanze nutritive e dell'acqua	Capacità di infiltrazione	Conducibilità idrica satura Punto di ingresso all'aria	<b>WAR</b>
<b>Regolazione (Approvvigionamento)</b>	Regolazione dell'acqua - riserva idrica (potenziale)	Riserva, filtraggio e trasformazione delle sostanze nutritive e dell'acqua	Water content at field capacity Presence of water table	Capacità di campo (-33 kPa) Profondità media della falda superficiale	<b>WAS</b>

Tabella 1. Servizi ecosistemici, funzioni del suolo dati di input necessari per la stima. aMEA 2005; bDominati et al. 2010; cEuropean Commission (EC), 2006.

I risultati del calcolo per ciascun indicatore sono standardizzati come numeri nell'intervallo da 0 a 1 (Wu et al., 2013) come segue:

$$X_{i0-1} = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

dove  $X_{i0-1}$  e' il valore standardizzato [0-1],  $X_i$  e' il valore attuale,  $X_{\min}$  e  $X_{\max}$  sono rispettivamente il massimo ed il minimo di ogni variabile considerata. Il valore massimo osservato nel territorio considerato viene posto uguale a 1, ed il valore 0 non indica il minimo relativo nell'area considerata. È

di fondamentale importanza quindi adattare la valutazione alla scala di indagine e all'obiettivo delle analisi, in quanto i risultati saranno profondamente influenzati dal grado di variabilità osservato nelle proprietà del suolo misurate e stimate, le cui gamme sono fortemente dipendenti dalla scala e diverso per ogni variabile. Le **procedure di calcolo** per ciascun indicatore sono riepilogate in Tabella 2.

Code	Input data	Calculation																																												
<b>BIO</b>	QBS <sub>ar</sub> in funzione dell'uso del suolo prevalente (alto= 1; medio= 0.5; basso= 0.25) Densità apparente, BD (mg ha <sup>-1</sup> ) Carbonio org., OC (%)	$BIO_{0-1} = (\text{LogOC}_{0-1} - \text{BD}_{0-1}) + \text{QBS}_{ar\ 0-1}$																																												
<b>BUF</b>	CSC (cmolc/kg) in funzione di OC (%) e argilla (%) CSC = 6.332 + 0.404 argilla + 1.690 OC (R <sup>2</sup> = 0.75) pH contenuto in frammenti grossolani, sk (%) Profondità media della falda superficiale, WT (cm)	$BUF_{0-1} = \text{Log CSC (pH; sk)}_{0-1}$ <i>con pH&lt;6.5 riduzione di 0.25 or 0.5 in base a CSC e di 0.25 per scheletro&gt;30%</i>  <i>con falda (WT) profonda meno di 100 cm</i> $BUF_{0-1} = \text{Log CSC (pH; sk)}_{0-1} * \text{WT}/100$																																												
<b>CLI</b>	Contenuto in acqua disponibile, AWC (vol/vol) AWC = WC <sub>FC</sub> - WC <sub>WP</sub> Profondità media della falda superficiale, WT (cm)	$CLI_{0-1} = \text{logAWC}_{0-1} + \text{WT}_{0-1}$																																												
<b>CST</b>	Carbonio organico, OC (%) Densità apparente, BD (Mg m <sup>-3</sup> )	$CST_{0-1} = \text{log (OC * BD)}_{0-1}$																																												
<b>PRO</b>	Classe di capacità d'uso e intergradi	<table border="1"> <thead> <tr> <th>LCC</th> <th>I</th> <th>III</th> <th>II</th> <th>II/I</th> <th>II/III</th> <th>II/III/IV</th> <th>II/IV</th> <th>III</th> <th>III/II</th> <th>III/III/IV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Score</td> <td>1</td> <td>0.95</td> <td>0.8</td> <td>0.9</td> <td>0.7</td> <td>0.65</td> <td>0.55</td> <td>0.6</td> <td>0.65</td> <td>0.57</td> </tr> <tr> <th>LCC</th> <th>III/IV</th> <th>III/VI</th> <th>IV</th> <th>IV/II</th> <th>IV/III</th> <th>IV/VI</th> <th>V</th> <th>V/II</th> <th>VI/IV</th> <th>VIII</th> </tr> <tr> <td>Score</td> <td>0.5</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.27</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.25</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	LCC	I	III	II	II/I	II/III	II/III/IV	II/IV	III	III/II	III/III/IV	Score	1	0.95	0.8	0.9	0.7	0.65	0.55	0.6	0.65	0.57	LCC	III/IV	III/VI	IV	IV/II	IV/III	IV/VI	V	V/II	VI/IV	VIII	Score	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.27	0.3	0.4	0.25	0
LCC	I	III	II	II/I	II/III	II/III/IV	II/IV	III	III/II	III/III/IV																																				
Score	1	0.95	0.8	0.9	0.7	0.65	0.55	0.6	0.65	0.57																																				
LCC	III/IV	III/VI	IV	IV/II	IV/III	IV/VI	V	V/II	VI/IV	VIII																																				
Score	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.27	0.3	0.4	0.25	0																																				
<b>WAR</b>	Conducibilità idrica satura, Ksat (mmh <sup>-1</sup> ) Punto ingresso all'aria, PSle (cm)	$WAR_{0-1} = \text{logKsat}_{0-1} - \text{PSle}_{0-1}$																																												
<b>WAS</b>	Capacità di campo (-33 kPa), WCFC (vol/vol) Profondità media della falda superficiale, WT (cm) Sk, frammenti grossolani (Ø >2 mm, vol/vol)	$WAS_{0-1} = (\text{WC}_{FC} * 1 - \text{sk})_{0-1}$ falda più profonda di 100 cm, e $WAS_{0-1} = (\text{WC}_{FC} * 1 - \text{sk}) * \text{WT}/100$ con falda entro 100 cm																																												

Tabella 2. Procedure di calcolo per gli indicatori dei servizi ecosistemici basati sul suolo

Per quanto riguarda **BIO**, sono state definite tre classi qualitative per QBSar basate su dati provenienti dalla letteratura (Menta et al., 2008) e in base all'uso prevalente del suolo:

- Alta (QBS-ar, 150-250) per prati e pascoli permanenti, boschi e torbiere;
- Media (QBS-ar, 100-150) per terreni agricoli in rotazione con prati e minima lavorazione;
- Bassa (QBS-ar, 60-100) per altri usi del suolo.

QBS-ar in aree impermeabilizzate o fortemente antropizzate è uguale a 0 (Prokop et al, 2011).

Per la valutazione di **PRO** sono state utilizzate come proxy della produzione agricola la classe di **Capacità d'uso (LCC)** e i diversi intergradi, trasformando la scala ordinale originale in una continua con un punteggio compreso tra 1 e 0. La classificazione in termini di capacità d'uso fu originariamente sviluppata dal Soil Conservation Service del Dipartimento di Agricoltura degli Stati Uniti (Klingebiel e Montgomery, 1961) e adattata alle condizioni locali del suolo (Guermandi, 2000). La mappa LCC è disponibile in scala 1:50.000 (Regione Emilia-Romagna, 2010) per le aree in pianura.

Per la valutazione degli indicatori **BUF**, **CLI** e **WAS**, viene considerata la presenza di una falda entro 100 cm di profondità. La profondità dei terreni alluvionali è sempre superiore a 100 cm, ma la presenza di una falda può ridurre localmente la profondità di radicazione; in questo caso è stata presa in considerazione la profondità della falda nei primi 100 cm di terreno per ridurre sia la capacità protettiva del suolo e la sua potenzialità di riserva idrica. Questa informazione è stata ricavata dalla profondità media a lungo termine della mappa della falda superficiale (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** 1) disponibile per le pianure dell'Emilia-Romagna (Barca et al., 2014; Calzolari e Ungaro, 2012).

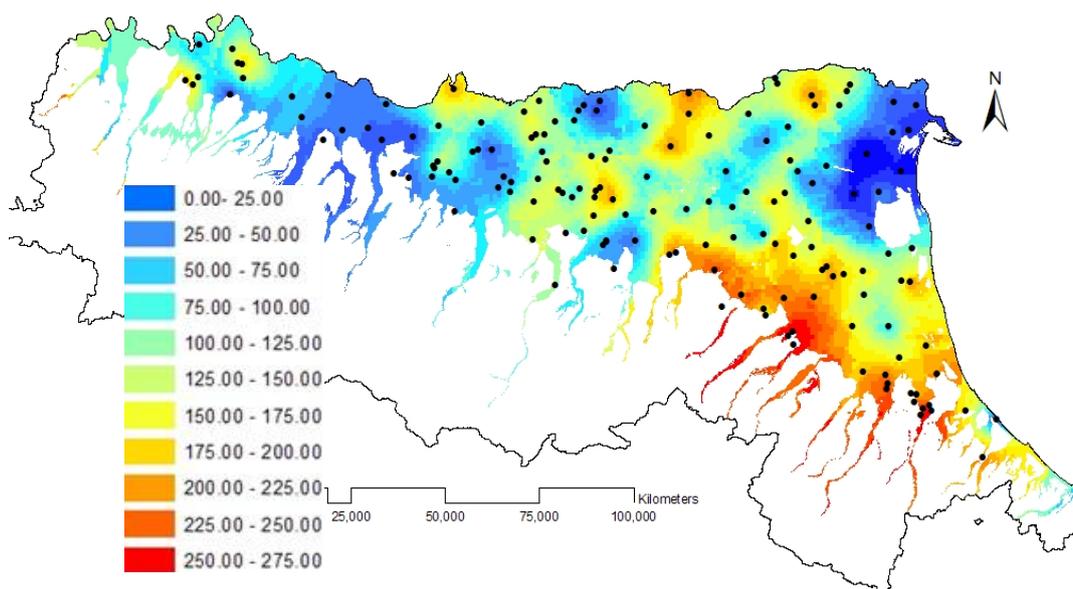


Figura 1. Profondità media (lungo termine) della falda superficiale.

Ipotizzando che i terreni sigillati dall'urbanizzazione non siano in grado di fornire alcun servizio ecosistemico, avendo perso la loro multifunzionalità, si suggerisce di utilizzare la mappa, aggiornata annualmente, del consumo di suolo fornita dall'ISPRA (<http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/consumo-di-suolo-dinamiche-territoriali-e-servizi-ecosistemici.-edizione-2018>) con una risoluzione di 10 m per ponderare i valori degli indicatori.

$$\text{Indicatore}_{\text{finale}} = \text{Indicatore} * \text{URB}_{0-1}$$

dove  $\text{URB}_{0-1}$  è la frazione di impermeabilizzato nell'area considerata.

Il calcolo dei servizi ecosistemici dei suoli urbani si può fare con tre modalità:

1. rilevamento ad hoc con osservazioni pedologiche, campionamento, analisi e successiva elaborazione dei dati per la definizione dei SE;
2. utilizzo della carta dei suoli e dei profili di riferimento analizzati fino ad 1,5 m di profondità (vedi deliverable azione B1.2);
3. utilizzo di carte tematiche derivate dalla carta dei suoli in formato raster o vettoriale ad elementi quadrati finiti.

## 2.2 Cartografia dei suoli urbani

La conoscenza dei suoli, delle loro proprietà e della loro distribuzione all'interno del territorio urbanizzato è necessaria ai fini della valutazione e dell'eventuale cartografia dei loro servizi ecosistemici (SE).

In funzione dello scopo dell'indagine e della disponibilità di risorse, i dati sui suoli necessari alla valutazione possono derivare da rilevamenti pedologici ad hoc dei suoli urbani o da cartografie e banche dati preesistenti

### 2.2.1 Rilevamento ad hoc dei suoli urbani

A causa dell'alta variabilità dei suoli urbani e delle loro caratteristiche, non è possibile definire in modo preciso le tipologie di suolo nelle aree urbane. Occorre adattare le tecniche standard del rilevamento pedologico prevedendo protocolli specifici per l'ambiente urbano.

Partendo dal presupposto che lo sviluppo dei suoli urbani sia fortemente influenzato dalle attività umane, possiamo definire "unità di pedopaesaggio urbane" tenendo conto dei "suoli naturali" sottostanti la città e la sua struttura urbanistica, grado di impermeabilizzazione e uso del suolo. Un esempio relativo alla città di Carpi è mostrato in Figura 2.2.

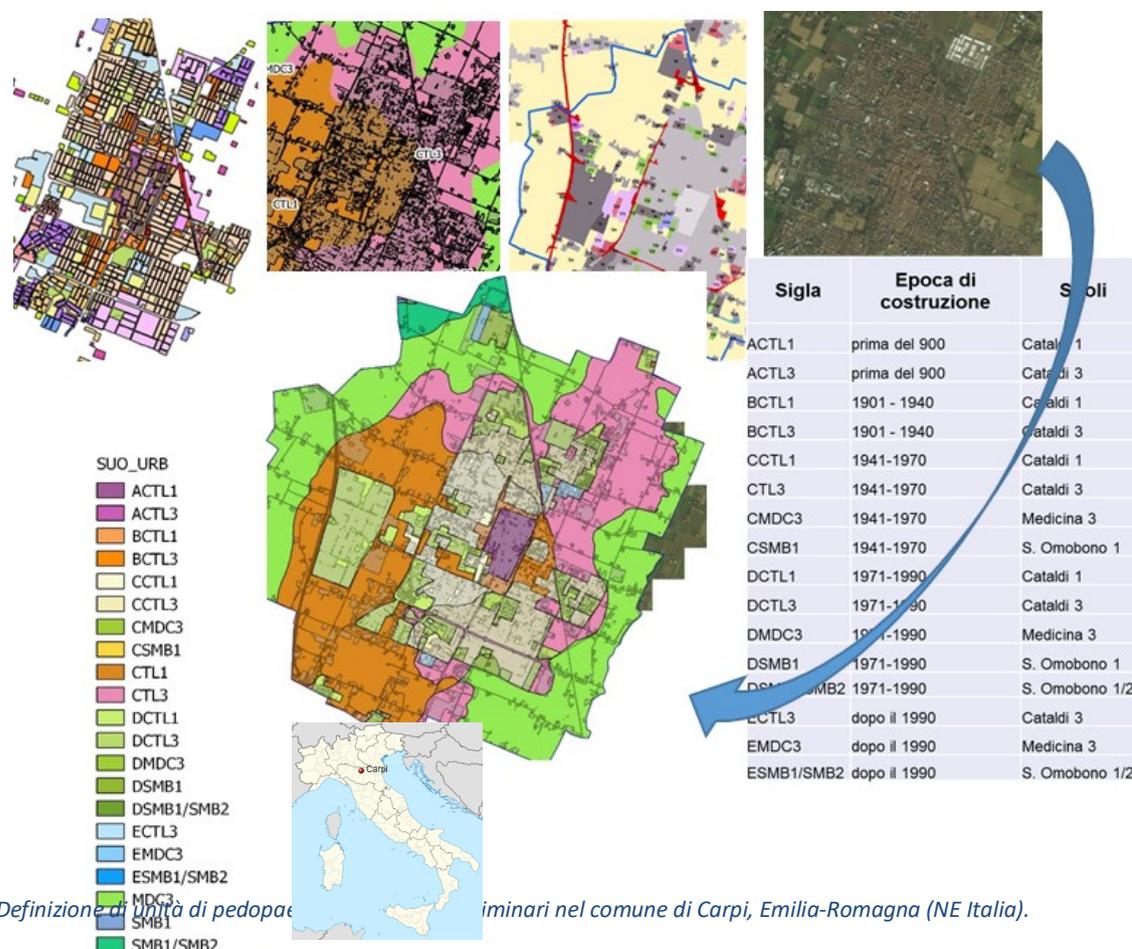


Figura 2. Definizione di unità di pedopaesaggio preliminari nel comune di Carpi, Emilia-Romagna (NE Italia).

In questo caso, le diverse tipologie urbanistiche sono state sovrapposte alla carta dei suoli (1:50.000) ottenendo un certo numero di unità di pedopaesaggio urbano preliminari. I suoli delle aree verdi devono quindi essere caratterizzati in base all'unità di appartenenza, tenendo conto dei principali tipi di

uso del suolo, ad es. i) agricoltura urbana, ii) giardini e parchi; iii) verde sportivo; iv) spazi verdi industriali; v) rotonde, aiuole e verde stradale; vi) aree abbandonate.

Per quanto riguarda il **campionamento del suolo**, occorre effettuare un numero congruo di osservazioni nelle diverse unità (almeno 3-5) in modo da avere una copertura delle diverse condizioni del suolo all'interno del tessuto urbano. Il numero di osservazioni per unità cartografica sarà proporzionale all'area delle unità (campionamento casuale stratificato) e dipenderà anche dai vincoli nelle risorse. L'accessibilità ai siti di campionamento deve essere verificata in anticipo, poiché è molto probabile che non tutte le aree verdi siano accessibili ai rilevatori. La scelta dei siti di campionamento ricade quindi su spazi verdi non occupati da edifici o strade come parchi pubblici, giardini privati di medie dimensioni, campi sportivi, verde scolastico, e di corte appartenenti a scuole, aiuole, bordi stradali e rotonde, aree agricole urbane, boschi ruderali e aree incolte. Si consiglia di corredare ciascun sito di campionamento con una serie di fotografie che documentano: la trivellata di suolo, copertura del suolo, eventuale presenza di materiale di riporto, e viste dell'area con diverse orientazioni (N, S, E, O) e una foto panoramica.

Le trivellate di suolo devono essere descritte seguendo gli standard di rilevamento del suolo come, ad esempio, del manuale fornito dal Servizio del suolo dell'Emilia-Romagna

(<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/temi/suoli/Pubblicazioni-on-line-sul-Suolo>).

La profondità della trivellata dovrebbe raggiungere 150 cm, a meno che non si incontrino ostacoli (ghiaia, contatto litico o paralitico, condizioni estremamente secche, manufatti artificiali). La raccolta dei campioni di terreno deve differenziare l'orizzonte di superficie (0-30 cm) dagli orizzonti sottostanti; il numero di campioni per sito di campionamento dipenderà dalla disponibilità delle risorse e dagli obiettivi specifici della valutazione (ad esempio cartografia dei suoli urbani, valutazione dei servizi ecosistemici).

L'apertura di **profili pedologici** è richiesta solo per scopi di mappatura dei suoli urbani, in quanto la loro descrizione in campo e le analisi possono fornire le informazioni necessarie per evidenziare la relazione tra materiali del suolo in situ e materiale di apporto antropico. In questo modo è possibile valutare la natura, il grado e l'entità effettiva del disturbo del suolo a causa di diverse attività antropiche e il modo in cui ciò potrebbe influire sulla fornitura di servizi ecosistemici. Il numero di profili (da scavare appositamente o mediante sfruttamento di buche già aperte per lavori stradali, cantieri edili, posa di tubature ecc.) dipende dal numero e dall'area delle unità di paesaggio urbano e dai dati analitici delle trivellate. Inoltre, i dati supporteranno la definizione di **unità cartografiche di suolo urbano**; i suoli possono essere classificati secondo il sistema WRB (IUSS - Working Group WRB, 2014), più adatto e versatile della Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) nella classificazione dei suoli urbani. Le unità cartografiche della carta dei suoli urbano finale saranno il risultato di una revisione delle unità preliminari sulla base delle evidenze derivanti dai risultati analitici e dalla descrizione dei profili di suolo, eventualmente supportata dalle informazioni disponibili sull'uso / copertura del suolo, grado di impermeabilizzazione, modello digitale del terreno e serie storiche di immagini aeree.

La valutazione dei servizi ecosistemici forniti dai suoli urbani, sia qualitativi che quantitativi, si basa sulla disponibilità dei **dati analitici** del suolo, di campo e di laboratorio, per la definizione di indicatori di qualità (Blanchart et al., 2018) A questo scopo, è necessario un set di dati analitici di laboratorio che comprenda almeno:

- i) **tessitura del suolo** (almeno tre frazioni, sabbia, limo e argilla) e **scheletro** ( $\varnothing > 2$  mm),
- ii) **contenuto di carbonio organico** del suolo
- iii) **pH**.

In base alla disponibilità di risorse e all'obiettivo della valutazione, ulteriori analisi di routine del suolo possono riguardare il contenuto in azoto totale, carbonato di calcio, la capacità di scambio cationico, le

basi di scambio (Ca, Mg, Na e K), la saturazione in basi, la percentuale di Na scambiabile e la concentrazione di metalli pesanti (tabella 3). Tra i parametri elencati, la **capacità di scambio cationico** (CSC) è necessaria per la valutazione di un indicatore, ma può essere stimata tramite pedofunzioni (PTF) da argilla e contenuto di carbonio organico. Tutte le analisi devono essere conformi ai metodi analitici standard ufficiali (DM 13/09/1999, Approvazione dei "Metodi ufficiali delle analisi chimiche del suolo").

Parametro	Unità di misura	Metodo	Riferimento
Sabbia 2000-100µm	%	Setaccio	D.M. 13/09/1999. Metodo II.5
Sabbia 100- 50µm	%	Setaccio	D.M. 13/09/1999. Metodo II.5
Sabbia 2000-50 µm*	%		
Limo 50-20µm	%	Pipetta o idrometro	D.M. 13/09/1999. Metodo II.5, II.6
Limo 20-2µm	%	Pipetta o idrometro	D.M. 13/09/1999. Metodo II.5, II.6
Limo 50-2 µm*	%		
Argilla <2µm*	%	Pipetta o idrometro	D.M. 13/09/1999. Metodo II.5, II.6
pH *	-	in H2O 1:2,5	D.M. 13/09/1999. Metodo III.1
CaCO3 totale	%	Gas volumetrico	D.M. 13/09/1999. Metodo V.1
CaCO3 attivo	%	Droineau	D.M. 13/09/1999. Metodo V.2
C Organico *	%	Analizzatore elementare	D.M. 13/09/1999. Metodo VII.1
N Totale	per mille	Kjeldhal or analizzatore elementare	D.M. 13/09/1999. Metodo XIV.3 o XIV.1
CSC**	meq/100g	BaCl2 pH 8,1 per suoli calcarei, NH4 acetato per suoli acidi	D.M. 13/09/1999. Metodo XIII.2, XIII.1
Ca Scambiabile	meq/100g	BaCl2 pH 8,1 per suoli calcarei, NH4 acetato per suoli acidi	D.M. 13/09/1999. Metodo XIII.5 XIII.4
Mg Scambiabile	meq/100g	BaCl2 pH 8,1 per suoli calcarei, NH4 acetato per suoli acidi	D.M. 13/09/1999. Metodo XIII.5 XIII.4
K Scambiabile	meq/100g	BaCl2 pH 8,1 per suoli calcarei, NH4 acetato per suoli acidi	D.M. 13/09/1999. Metodo XIII.5 XIII.4
Na Scambiabile	meq/100g	BaCl2 pH 8,1 per suoli calcarei, NH4 acetato per suoli acidi	D.M. 13/09/1999. Metodo XIII.5 XIII.4
SBT saturazione in basi totale	-	Parametro derivato = basi di scambio/CSC *100	
ESP Na Scambiabile %	-	Parametro derivato = Na /CSC *100	
Metalli pes. (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Zn)	mg/kg	Estrazione in aqua regia + ICP-MS	UNI-EN 13346:2002 / EPA 6020 EPA 3051A 2007 /EPA 6020 EPA 3051A 2007 /EPA 6010 UNI EN 16174:2012 B+UNI EN 16171:2016

Tabella 3. Parametri del suolo, metodi analitici e riferimenti. \*: richiesto per la stima degli indicatori dei servizi ecosistemici.

\*\* : richiesto per la stima degli indicatori dei servizi ecosistemici, ma derivabile via PTF.

Tra le misure di campo, sarebbe preferibile misurare la **densità apparente** del topsoil mediante il metodo del cilindretto e la **conducibilità idrica satura** usando strumentazione di facile utilizzo (ad esempio usando un permeometro a doppio carico). Questi valori possono anche essere stimati facendo ricorso a **pedofunzioni (PTF)** utilizzando come input le frazioni tessiturali del suolo e il contenuto di carbonio organico. Allo stesso modo è possibile stimare le proprietà di ritenzione idrica necessarie per la valutazione dei servizi ecosistemici del suolo, vale a dire la **tensione di ingresso dell'aria** (cm) e il **contenuto di acqua disponibile** (AWC vol./vol.) dato dalla differenza tra il contenuto idrico del suolo alla capacità di campo, WCFC, e al punto di appassimento, WCWP. A tale scopo, si raccomanda di ricorrere a PTF calibrate localmente quando disponibili (ad esempio Ungaro et al., 2005; Ungaro et al., 2014).

Nell'allegato I sono riportati i chiaro gli algoritmi delle pedofunzioni di trasferimento per il calcolo dei

parametri da inserire nella formulazione degli indicatori dei servizi ecosistemici.

Per quanto riguarda la biodiversità del suolo si consiglia di usare l'indice di **qualità biologica del suolo QBS-ar**, che è definito sulla base dei microartropodi presenti (Parisi, 2001). Questi organismi presentano una complessa serie di adattamenti all'ambiente edafico, sono sensibili allo stato di stress di un suolo e possono essere utilizzati come bio-indicatori di qualità.

Il **campionamento per QBS-ar** deve tenere conto delle informazioni sull'uso del suolo, dei dati sulle medie delle precipitazioni precedenti al periodo di campionamento e dell'umidità del suolo al momento del campionamento. In ogni sito di campionamento vengono prese tre repliche costituite da zolle cubiche di 10 cm di lato, raccolte in punti distanti da 5 a 10 metri, cercando di coprire il più possibile la variabilità osservata. Dopo aver rimosso i resti organici o la copertura erbacea, i campioni vengono collocati in sacchetti di plastica in cui deve rimanere una riserva d'aria. È importante procedere all'estrazione dei micro-artropodi entro 24 ore dal campionamento.

Un'informazione utile per caratterizzare e cartografare il suolo urbano è la valutazione del grado di **impermeabilizzazione** del suolo di ciascuna unità cartografica. La valutazione può essere basata sulla documentazione tecnica comunale, se disponibile, o ricorrendo al più recente aggiornamento della mappa di copertura del suolo CORINE (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download>) o, ancora meglio, alla carta dell'impermeabilizzazione del suolo aggiornata annualmente dall'ISPRA con una risoluzione di 10 m (<http://groupware.sinanet.isprambiente.it/uso-copertura-e-consumo-di-suolo/library/consumo-di-suolo/carta-nazionale-consumo-suolo>).

## 2.2.2 Uso dell'informazione pedologica esistente

Nel caso che il comune non abbia la capacità di procedere ad uno studio di dettaglio come quello descritto sopra è possibile fare una valutazione dei servizi ecosistemici utilizzando dati preesistenti ossia cartografie tematiche a poligoni oppure a celle (raster o tiles) sulle quali saranno effettuati calcoli automatici utilizzando i dati di ogni singolo strato. Per fare ciò sono necessari i seguenti strati informativi:

STRATO CARTOGRAFICO	Base del calcolo	NOTE
Carta dei <b>suoli</b> di dettaglio o di semi-dettaglio (scala 1:25.000-1:50.000)	Profili capisaldo o profili di riferimento	
Carta di <b>capacità d'uso</b> di dettaglio o di semi-dettaglio (scala 1:25.000-1:50.000)		Richiesta per l'indicatore PRO
Carta <b>dell'uso del suolo</b> di dettaglio o di semi-dettaglio (scala 1:25.000-1:50.000)		CORINE LAND COVER 4°livello. Richiesta per l'indicatore BIO
<b>Profili di riferimento</b> per ogni suolo con analisi di tessitura, carbonio organico e CSC		Sono da usare insieme alla carta dei suoli. Necessari nel caso non siano disponibili gli strati informativi di seguito elencati.
Carta della <b>tessitura e scheletro</b> (topsoil e subsoil)	Basi cartografiche esistenti	
Carta di contenuto del <b>carbonio organico</b> (topsoil e subsoil)		
Carta dello <b>stock di carbonio organico</b> (topsoil e subsoil)		Questo dato può essere calcolato a partire dalla carta del contenuto in carbonio organico e con PTF per il calcolo della densità apparente

Carta del <b>pH</b> (topsoil)		
Profondità media della <b>falda superficiale</b>		Nel caso di aree di pianura

Tabella 4..Elenco degli strati necessari per la costruzione dei servizi ecosistemici. Le carte del topsoil e subsoil possono essere sostituite da una carta unica che riunisce topsoil e subsoil (es. strato 0-100 cm)

Nell'allegato II sono descritti i diversi metodi che possono essere utilizzati e gli strati informativi necessari.

Molte regioni italiane hanno questo tipo di informazioni: ad esempio le regioni Emilia-Romagna<sup>1</sup>, Veneto<sup>2</sup>, Piemonte<sup>3</sup>, Lombardia<sup>4</sup>, Toscana<sup>5</sup>, Campania<sup>6</sup> ecc. Alcune regioni dispongono di questi dati solo per la scala 1:250.000 come ad esempio Basilicata<sup>7</sup> e Calabria<sup>8</sup>.

I dati disponibili per le regioni italiane (consultazione e download) sono reperibili sui geoportali regionali o sul Geoportale nazionale. Sulla pagina web <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/temi/suoli/il-suolo-nel-web-siti-delle-regioni-italiane> si trova l'elenco di questi siti.

Per lo stock di carbonio del topsoil, se il dato non è disponibile localmente, sarebbe opportuno determinarlo a scala locale attraverso le analisi di campioni e solo in ultima analisi si potrebbe utilizzare la carta recentemente prodotta (2017) nell'ambito della Global Soil Partnership e disponibile per tutto il territorio mondiale (<http://54.229.242.119/GSOCmap/>).

Utilizzando le **pedofunzioni di trasferimento** calibrate localmente (PTF, allegato I), è possibile calcolare i seguenti dati:

- densità apparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ ),
- conducibilità idrica satura ( $\text{mmh}^{-1}$ ),
- pressione di ingresso all'aria (cm),
- capacità d'acqua disponibile (vol./vol.), derivato dal contenuto d'acqua stimato a 333 e 1500 cm di tensione,
- capacità di scambio cationico ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ )

### 2.2.3 Tutorial per la consultazione dei siti web in Emilia-Romagna e scaricamento dati

Quasi tutte le cartografie elencate nella tabella 5 sono disponibili per la regione Emilia-Romagna. Scopo di questo tutorial è di guidare l'utente nella ricerca dei dati sui suoli disponibili nei portali regionali al fine di acquisire le cartografie elencate nel paragrafo precedente.

Il portale DGCTA **minERva** ha l'obiettivo di divulgare e distribuire le informazioni e le banche dati della D.G. Cura del Territorio ed Ambiente sia al pubblico sia al personale delle pubbliche amministrazioni locali e nazionali. Attraverso il portale è possibile accedere a tutte le cartografie tematiche e applicative regionali incluse quelle pedologiche. L'accesso al portale è al seguente URL:

<sup>1</sup> <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/temi/suoli/cartografie>

<sup>2</sup> <http://geomap.arpa.veneto.it/people/profile/suoli/?limit=100&offset=0>

<sup>3</sup> <http://www.sistemapiemonte.it/cms/privati/agricoltura/servizi/383-carta-dei-suoli-1-50-000>

<sup>4</sup> <https://www.dati.lombardia.it/browse?q=basi%20informativa%20suoli&sortBy=relevance>

<sup>5</sup> <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/pedologia.html>

<sup>6</sup> <http://www.agricoltura.regione.campania.it/pedologia/suoli.html>

<sup>7</sup> <http://www.basilicatanet.it/suoli/derivate.htm>; <http://www.basilicatanet.it/suoli/comuni.htm>

<sup>8</sup> <http://www.arsacweb.it/pubblicazione/le-novita-della-pac-per-il-2015-e-gli-obblighi-di-condizionalita-per-le-aziende-agricole/>

<https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/>

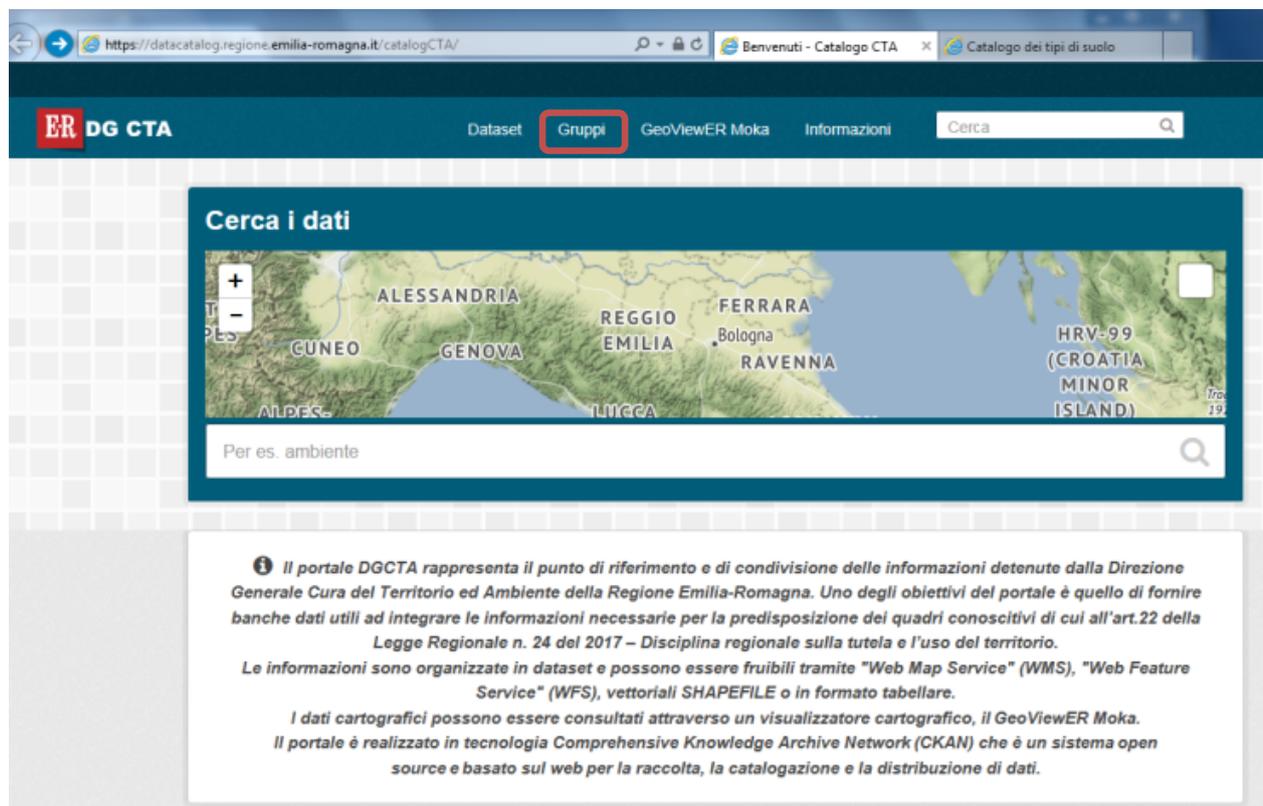


Figura 3. Interfaccia iniziale del portale minERva



Nella pagina iniziale (3) la barra superiore serve ad accedere ai contenuti del portale; selezionare quindi il menù **"Gruppi"** e selezionare nella seconda pagina il gruppo **"Suolo"** (Figura 4).

Alla pagina **"Suolo"** sono disponibili per la consultazione 14 cartografie (Figura 5). Queste sono disponibili in differenti formati (HTML, WMS, KML, ESRI), ma rimandano tutte ad una medesima pagina dove vengono elencati tutti i formati resi disponibili all'utente (in Figura 6 è riportato l'esempio per la tessitura del topsoil).

Figura 4. Icona del gruppo SUOLO

The screenshot shows a web application interface for a group named 'SUOLO'. On the left, there is a sidebar with a folder icon and a summary: 'Suolo' with 0 supporters and 14 datasets. Below this are sections for 'Gruppi' (listing 'Suolo (14)'), 'Tag' (listing various soil-related tags like 'Suolo (14)', 'Stock Carbonio (4)', etc.), and 'Formati' (listing 'Wms (14)', 'Html (14)', etc.). The main content area shows a search bar and a list of 14 datasets. The first dataset is highlighted with a red box and has its format options (KMZ, HTML, WMS, html\_simpl) also highlighted. The dataset title is 'Carta del Fondo Naturale a scala 1:250.000 della pianura emiliano-romagnola - Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn'. The description indicates it shows the areal distribution of 6 metals in the subsoil (90-140 cm depth) for agricultural soils. Other datasets listed include 'Carta del Fondo naturale-antropico della Pianura emiliano-romagnola, scala 1:250.000 - As, Cr, Cu, Ni, Pb, Sn, V, Zn', 'Carta dei suoli - Pianura, basso e medio Appennino emiliano-romagnolo, scala 1:50.000 - Edizione 2018', 'Carta dei Gruppi Idrologici della pianura emiliano-romagnola', 'Salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola tra 0-50 cm', and 'Salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola tra 50-100 cm'.

Figura 5. Elenco parziale dei dataset del gruppo SUOLO

**Tessitura dei suoli della pianura emiliano-romagnola - strato 0-30 cm, scala 1:50.000**

Sostenitori  
**0**

**Sociale**

Google+

Twitter

Facebook

**Licenza**

[Creative Commons](#)  
[Attribuzione](#) OPEN DATA

Dataset
Gruppi
Flusso di attività

## Tessitura dei suoli della pianura emiliano-romagnola - strato 0-30 cm, scala 1:50.000

La carta della tessitura rappresenta la distribuzione areale delle frazioni granulometriche classificate secondo la metodologia USDA (Standard internazionale, rif. Dipartimento di Agricoltura Stati Uniti). Ad ogni cella è attribuito un valore % di sabbia, limo, argilla, scheletro e la classe tessiturale USDA. Ogni parametro è accompagnato da una valutazione di attendibilità del valore stimato. La rappresentazione del territorio avviene attraverso una struttura a maglia costituita da celle con lato di 500 m. L'attribuzione dei valori alla cella è il risultato di un'analisi geostatistica applicata alla Carta dei suoli della pianura (scala 1:50.000) e si riferisce ai primi 30 cm di suolo.

### Risorse

 **Tessitura\_0\_30\_cm**

 **Tessitura 0-30 cm**

 **Cartografia dei suoli**  
Sito interattivo che consente la consultazione della cartografia dei suoli e...

 **Cartpedo**  
Cartografie dei suoli e carte del fondo naturale e fondo naturale-antropico...

 **Suoli e pianificazione**

[Esplora](#)

[Esplora](#)

[Anteprima](#)  
[Download](#)

[Esplora](#)

[Esplora](#)

argilla
fertilità del suolo
proprietà fisiche
suolo
tessitura del suolo

Figura 6. Esempio di descrizione di dataset: carta della tessitura del topsoil

Vi sono varie opzioni.

- La prima voce consente di visualizzare lo strato nel Moka viewer di Minerva (anteprima) e di scaricarlo in formato **WMS** (download).
- La seconda voce permette, oltre alla visualizzazione nel Moka viewer, lo scaricamento in formato **shapefile**.
- La terza voce permette di visualizzare lo strato sul sito web-gis "**Cartografia dei suoli**" che permette la consultazione integrata di vari tematismi cartografici. Da questo sito è possibile scaricare inoltre la descrizione delle delimitazioni della carta dei suoli 1:50.000 e le analisi dei profili di riferimento dei suoli.
- La quarta voce permette di visualizzare lo strato sul sito web-gis "**I suoli dell'Emilia-Romagna**", definito brevemente **CARTPEDO**, sviluppato con **GOOGLE EARTH**.
- La quinta voce rimanda alle pagine del sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli che parlano dell'argomento in questione.

La carta dei suoli in scala 1:50.000 (2018) è disponibile in formato vettoriale nel 71% della regione

(pianura, collina e parte della media montagna). La carta di capacità d'uso (2010) in scala 1:50.000 solo per la pianura.

Le carte della tessitura, contenuto in carbonio organico (%) e stock di carbonio ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) sono disponibili per due intervalli di profondità: 0-30 cm e 0-100 cm e sono riferiti ad una griglia regolare di 500 x 500 m in pianura. Le carte del contenuto % di carbonio organico e dello stock sono disponibili anche nella parte collinare e montuosa della regione riferiti ad una griglia di 1000 x 1000 m.

### 3 GESTIONE

I suoli urbani forniscono importanti servizi ecosistemici che possono essere di alta qualità. Possono anche fornire disservizi, per lo più legati al rischio di inquinamento e relativi impatti sulla salute umana. Il rilevamento del suolo, e lo studio delle sue funzioni, e la valutazione dei servizi ecosistemici forniscono ai pianificatori urbanistici uno strumento per un approccio consapevole alla pianificazione, prendendo in considerazione il ruolo del suolo nell'ambiente urbano. Inoltre, la valutazione dei servizi forniti dal suolo e della loro qualità complessiva dovrebbe guidare le scelte del pianificatore urbano in merito alle politiche di densificazione. Anche se la densificazione urbana può rappresentare un'alternativa allo sprawl, i suoli migliori dovrebbero essere protetti.

Qualunque sia la scelta della politica di pianificazione, le aree verdi urbane dovrebbero essere gestite in modo sostenibile (FAO, 2017), che in un ambiente urbano significa ridurre al massimo le pressioni sul funzionamento del suolo.

Quanto segue costituiscono linee guida generali e non esaustive per affrontare le principali pericoli per il funzionamento del suolo in area urbana.

#### ***Incrementare il contenuto in sostanza organica***

La sostanza organica del suolo svolge un ruolo centrale nel mantenimento delle sue funzioni e nella prevenzione della degradazione. Inoltre, i suoli urbani possono immagazzinare carbonio organico contribuendo a ridurre le emissioni di  $\text{CO}_2$ .

- i) In parchi e giardini: aumentare la produzione di biomassa (aumentando la disponibilità di acqua per le piante usando metodi che massimizzino l'efficienza dell'uso di acqua e riducano al minimo l'erosione del suolo e la lisciviazione degli elementi della nutrizione, bilanciando le applicazioni di fertilizzanti e concimi verdi); implementare la silvicoltura urbana; gestione attenta dei residui colturali, riducendo al minimo la loro rimozione,
- ii) Nelle aiuole: aumentare la sostanza organica usando ammendanti e fertilizzanti organici, con uso di pacciamme o dotando il suolo di una copertura permanente;
- iii) Nel verde stradale: utilizzo di vegetazione di copertura resistente al calpestio.
- iv) Nelle aree agricole (orti urbani, campi agricoli interclusi), sostenere le pratiche di gestione come le colture di copertura, le pratiche con o senza lavorazione, la concimazione organica.

#### ***Prevenire e minimizzare la contaminazione del suolo***

Il suolo può filtrare, fissare e neutralizzare ma anche rilasciare sostanze inquinanti, specialmente nelle aree urbane. Pertanto, la prevenzione della contaminazione del suolo rimane il modo migliore per mantenere suoli sani e la salute umana.

In area urbana, dove la deposizione atmosferica è la principale causa di contaminazione diffusa, tutte le azioni volte a ridurre le emissioni in atmosfera avranno una ricaduta positiva sulla qualità ambientale del suolo. Eliminare le potenziali fonti di inquinamento puntuale pregresse (*brownfields*) attraverso strategie di rigenerazione e monitorare le fonti potenzialmente contaminanti (impianti industriali, discariche, inceneritori ecc.) sarà utile per adottare politiche di prevenzione.

### **Preservare e incrementare la biodiversità del suolo**

I suoli costituiscono vasti serbatoi di biodiversità e gli organismi del suolo sono alla base della maggior parte dei servizi ecosistemici basati sul suolo. A causa della presenza di un'ampia varietà di microhabitat con caratteristiche diverse che si evolvono nel tempo, i suoli urbani possono fornire un alto livello di biodiversità. Poiché la biodiversità del suolo urbano è fortemente influenzata dal grado di disturbo, la gestione può aiutare a preservarla e migliorarla.

- i) In tutte le aree verdi: ripristino della biodiversità vegetale, favorendo così la biodiversità del suolo
- ii) In parchi e giardini: utilizzo di leguminose che fissano l'azoto.
- iii) In tutte le aree verdi: adozione della materia organica del suolo per migliorare le pratiche di gestione
- iv) Nelle aree agricole: rotazione delle colture, colture in consociazione, mantenimento di siepi e rifugi di biodiversità;
- v) Ridurre l'uso di pesticidi.

### **Prevenire e mitigare la compattazione**

La compattazione è legata alla degradazione della struttura del suolo e ha come conseguenza un aumento della densità apparente. La compattazione del suolo riduce l'aerazione del terreno, il drenaggio dell'acqua e l'infiltrazione, generando maggiori deflussi. Nelle aree urbane, i principali fattori di compattazione sono gli stress imposti dalle macchine pesanti nei cantieri e dalle persone che calpestano i parchi/giardini.

Per mitigare il disturbo dovuto a macchinari pesanti nei cantieri, alcune linee guida sono incluse nel documento "**Linee guida per la rimozione, la gestione e il riutilizzo del terriccio nei cantieri**" che può essere recuperato al seguente indirizzo: <http://www.sos4life.it/documenti/>. Nello stesso documento sono riportate alcune linee guida per il riutilizzo del topsoil in aree verdi di rigenerazione urbana. Tutte le misure utili per preservare e migliorare il contenuto di sostanza organica del suolo e la biodiversità hanno anche effetti positivi sulla prevenzione della compattazione del suolo.

Nella tabella seguente sono riportati i valori limite di densità apparente che per ciascuna classe tessiturale possono impedire l'accrescimento radicale (NRCS Soil Quality Institute, 1999).

<b>Tessitura (Classi USDA)</b>	<b>Densità apparente Valore ideale (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densità apparente Valori che influenzano la crescita delle radici (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densità apparente Valori che limitano la crescita delle radici (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Sabbioso, sabbioso franco	<1.60	1.69	>1.80
Franco sabbioso, franco	<1.40	1.63	>1.80
Franco sabbioso argilloso, franco, franco argilloso	<1.40	1.6	>1.75
Limoso, franco limoso	<1.30	1.6	>1.75
Franco limoso, franco limoso argilloso	<1.10	1.55	>1.65
Argilloso sabbioso, argilloso limoso, franco limoso (argilla 35-45%)	<1.10	1.49	>1.58
Argilloso (argilla >45%)	<1.10	1.39	>1.47

*Tabella 5. Relazioni tra densità apparente e crescita radicale in funzione della classe tessiturale (NRCS Soil Quality Institute, 1999).*

## 4 BIBLIOGRAFIA

- Barca E., Calzolari C., Passarella G., Ungaro F., 2013. Predicting Shallow Water Table Depth at Regional Scale: Optimizing Monitoring Network in Space and Time. *Water Resources Management*, 27, 5171-5190.
- Blanchart A., Séré G., Johan C., Gilles W., Stas M., Consalès J.N., Morel J.L., Schwartz C., 2018. Towards an operational methodology to optimize ecosystem services provided by urban soils. *Landscape and Urban Planning*, 176, 1-9.
- Calzolari C., Ungaro F., Filippi N., Guermandi M., Malucelli F., Marchi N., Staffilani F., Tarocco P., 2016. A methodological framework to assess the multiple contributions of soils to ecosystem services delivery at regional scale. *Geoderma*, 261, 190-203.
- Calzolari C., Ungaro F. 2012. Predicting shallow water table depth at regional scale from rainfall and soil data. *Journal of Hydrology*, vol. 414–415, 374–387.
- 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.
- 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.
- 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".
- Guermandi M., Staffilani F., Ungaro F. 2010. Carta del contenuto percentuale di carbonio organico nei suoli dell'appennino emiliano-romagnolo strato 0-30 cm scala 1:250.000. Regione Emilia-Romagna. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Available at [http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/NOTE\\_ILLUSTRATIVE\\_CO\\_montagna.pdf](http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/NOTE_ILLUSTRATIVE_CO_montagna.pdf)
- Guermandi M., Staffilani F., Ungaro F. 2010. Carta del carbonio organico immagazzinato nei suoli della pianura emiliano-romagnola - 0-100 cm - scala 1:50.000. Regione Emilia-Romagna. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Available at [http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/NOTE\\_ILLUSTRATIVE\\_stockCO100\\_pianura.pdf](http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/NOTE_ILLUSTRATIVE_stockCO100_pianura.pdf)
- Guermandi M, Tarocco P. 2010. Carta della capacità d'uso dei suoli ai fini agricoli e forestali della pianura emiliano-romagnola in scala 1:50.000. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Available at [http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/CAPACITA\\_USO.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/CAPACITA_USO.pdf)
- IUSS-Working Group WRB, 2014. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. *World Soil Resources Reports No. 106*. FAO, Rome.
- Klingebiel, A.A., Montgomery, P.H., 1961. Land capability classification. *USDA Agricultural Handbook 210*, US Government printing Office, Washington, DC.

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.

Menta, C., 2012. Soil fauna diversity-function, soil degradation, biological indices, soil restoration. Biodiversity conservation and utilization in a diverse world. InTech, 2012.

Morel, J.L., Schwartz, C., Florentin L., de Kimpe, C., 2005. Urban soils. Encyclopedia of Soils in the Environment.

NRCS Soil Quality Institute. 1999. Soil quality test kit guide. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service and Natural Resource Conservation Service.

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

Parisi, V., 2001. La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. Acta Naturalia de L'Ateno Parmense 37 (2001): 97-106.

Soil Survey Staff, 2014. Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service Twelfth Edition,

Staffilani F., Tarocco P., Ungaro F. 2016. Carta del contenuto percentuale di carbonio organico nei suoli della pianura emiliano-romagnola strato 0-100 cm. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Available at [http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/NOTE\\_ILLUSTRATIVE\\_CO\\_pianura\\_0\\_100.pdf](http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/NOTE_ILLUSTRATIVE_CO_pianura_0_100.pdf)

Tarocco P., Calzolari C, Ungaro F., Villani I. 2018. Siti locali rappresentativi dei suoli della pianura, del basso e medio appennino emiliano-romagnoli. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Available at [http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/SITI\\_BENCHMARK\\_RER.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/SITI_BENCHMARK_RER.pdf)

Tarocco P., Marchi N., Guermandi, M. 2018. Carta dei suoli della pianura e di parte della collina emiliano-romagnola in scala 1:50.000. Regione Emilia-Romagna. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Available at [http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/carta\\_suoli\\_50k.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/carta_suoli_50k.pdf)

Tarocco P., Staffilani F., Ungaro F. 2015. Carta della tessitura dei suoli della pianura emiliano-romagnola strato 0-30 cm scala 1:50.000. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Available at [http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/tessitura\\_pianura.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/tessitura_pianura.pdf)

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

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

### AZIONE B.1.3

Linee guida per la valutazione dei servizi ecosistemici dei suoli in ambito urbano e azioni concrete per la loro gestione.

Wu, J., Feng, Z., Gao, Y., Peng, J., 2013. Hotspot and relationship identification in multiple landscape services: A case study on an area with intensive human activities. *Ecol. Indic.* 29, 529-537, doi:10.1016/j.ecolind.2013.01.037.

## 5 ALLEGATO I. PEDOFUNZIONI DI TRASFERIMENTO

Vengono di seguito descritti alcune pedofunzioni di trasferimento al fine di calcolare i dati richiesti per la definizione degli indicatori dei servizi ecosistemici dei suoli:

- densità apparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ )
- conducibilità idrica satura ( $\text{mmh}^{-1}$ )
- pressione di ingresso all'aria (cm)
- capacità d'acqua disponibile (vol./vol.), derivato dal contenuto d'acqua stimato a 333 e 15000 cm di tensione
- capacità di scambio cationico ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )

### 5.1 Densità apparente

Il dato di densità apparente è richiesto sia come input diretto per il calcolo di indicatori (ad esempio lo stock di carbonio organico, la capacità di supporto infrastrutturale) sia come input per la stima di variabili a loro volta richieste per il calcolo di indicatori, come ad esempio la conducibilità idrica satura ed il punto di ingresso all'aria richiesti per stimare gli indicatori di regolazione dei flussi idrici nel suolo.

SR_10	SOIL_REG	Descrizione
A	16.5	Eastern and central Alps on calcareous sedimentary rocks
	34.2	Western Alps on calcareous sedimentary rocks
	34.3	Eastern and central Alps on calcareous sedimentary rocks
	35.6	Western Alps on metamorphic rocks
	37.1	Western and central Alps on igneous and metamorphic rocks
B	16.4	Apennine relieves on limestone and intra-mountain plains
	35.7	Highest part of northern Apennine
	78.2	Northern and central Apennine
C	18.7	Langhe, Monferrato and "hills of the Po" on Tertiary marine deposits
	35.4	Hills of Friuli
	67.2	Carso
	78.1	Hills of Emilia-Romagna and Marche on Tertiary flysch deposits
D	18.8	Po plain and moraine hills of Piedmont and Lombardy
	60.4	Anti-Apennines chains of Tuscany
E	61.1	Apennine and anti-Apennines relieves on sedimentary rocks of central and southern Italy
	66.5	Apennine of Calabria and Sicily on igneous and metamorphic rocks
	59.2	Mountains and hills of Sardinia, on acid crystalline rocks
F	66.4	Mountains of Etna
	67.4	Mountains and hills of Sardinia on metamorphic rocks
	59.1	Hills of Sardinia on basic rocks
G	59.7	Hills and mountains on limestone covered by volcanic ashes of southern Italy, and included alluvial and coastal plains
	61.3	Hills of central and southern Italy on Pliocene and Pleistocene marine deposits
	62.3	Hills of Calabria and Sicily on Tertiary calcareous rocks and sediments, with included alluvial and coastal plains
H	72.3	Hills of Gargano
	56.1	Hills of central and southern Italy on effusive volcanic rocks
	59.8	Hills of Sardinia on basalt and trachyte
	59.9	Hills and mountains on limestone and igneous rocks of Sicily
I	62.2	Hills of Sicily on Tertiary clayey flysch, limestone, sandstone and gypsum, and coastal plains
	72.2	Hills of Murge and Salento
L	60.7	Coastal plains of central Italy and included hills
	62.1	Capitanata and plains of Metaponto, Taranto and Brindisi
	64.4	Versilia and internal plains of Tuscany, Umbria and Lazio
	76.1	Campidano and plains of Sulcis and central Sardinia

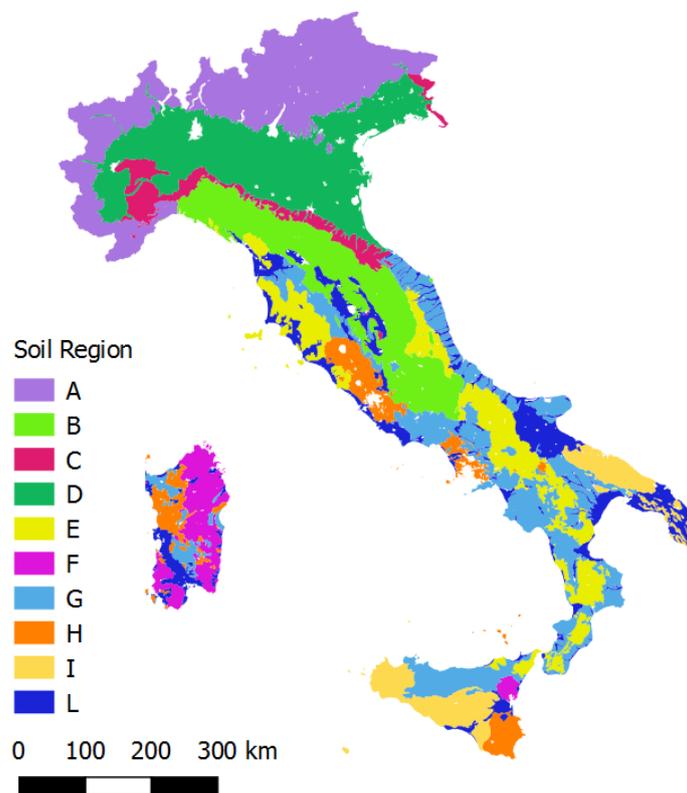


Figura 7. Soil region italiane

In letteratura sono disponibili numerose pedofunzioni per la stima della densità apparente, calibrate su banche dati locali, regionali o continentali. A livello italiano, ad esempio, sono stati calibrati a livello

regionale algoritmi di stima per Emilia Romagna (Tarocco et al. 2018), Toscana, e Veneto. Più recentemente, a livello nazionale è stata costituito una banca dati di valori di densità apparente (N = 3043) nell'ambito della realizzazione della carta dello stock di carbonio organico (0-30 cm) dei suoli d'Italia, e sono state calibrate PTF per quattro classi di uso del suolo semplificate (seminativi, colture permanenti, prati/pascoli e boschi) all'interno di ciascuna delle dieci Soil Region italiane definite dal CREA-AA (Fig.1); in aggiunta a queste è stata calibrata una PTF specifica per gli orizzonti organici. Gli input richiesti sono la **tessitura** (contenuto % in sabbia, limo e argilla) e la **% di carbonio organico**. Dalle percentuali delle tre frazioni tessiturali vengono calcolati il diametro medio delle particelle Dg (mm) e la sua deviazione standard Sg (-). Questi sono stati calcolati a partire dalle percentuali delle tre frazioni granulometriche applicando le seguenti relazioni (Shirazi et al, 1988):

$$Dg = \exp (a), \quad Sg = \exp (b)$$

dove

$$a = \sum_{i=1}^n f_i \ln(M_i) \quad \text{e} \quad b = \sqrt{\sum_{i=1}^n f_i (\ln(M_i))^2 - a^2}$$

con n il numero di frazioni granulometriche,  $f_i$  la quantità della  $i^{\text{a}}$  frazione, e  $M_i$  la media logaritmica degli estremi dell'intervallo dimensionale corrispondente.

Nelle seguenti tabelle sono riportati in chiaro gli algoritmi per la stima della densità apparente per i quattro usi del suolo nelle diverse soil region italiane. Le PTF sono state calibrate con approccio GLM (General Linear Model) utilizzando la Soil Region come predittore categorico.

Soil Region	Intercept	C org	Clay	Dg	Sg	Soil Region
Tutte	1.46823303	-0.07045189	-0.0006427181		-0.00217045	A 0.072846634
						B 0.084066381
						C 0.032496028
						D 0.125400466
						E 0.143919304
						F -0.141780125
						G -0.018292945
						H -0.175243435
						I -0.098264484
						L 0.120545443

Tabella 6. Pedofunzione da GLM per la stima della densità apparente (Mgha-1): seminativi.

Soil Region	Intercept	C org	Ln C org	Clay	Silt	Sand	Dg	Sg	Soil Region
Tutte	1.44443065	-0.07618995			0.0004791				A 0.0912244411
									B 0.0305390199
									C 0.105238663
									D 0.141192449
									E 0.0601010732
									F -0.110013133
									G -0.05491585
									H -0.192832061

I -0.161653454

L 0.091118852

Tabella 7. Pedofunzione per la stima della densità apparente (Mgha-1): colture permanenti

Soil Region	Intercept	C org	Ln C org	Clay	Silt	Sand	Dg	Sg	Soil Region
Tutte	1.2918347	-0.0649351			0.00231335			0.0007366	A -0.1269407950
									B 0.0018918827
									C 0.1213344180
									D 0.1492775290
									E 0.0356893461
									F -0.3179206830
									G 0.0396237258
									H 0.0364853163
									I -0.073262287
									L 0.133821547

Tabella 8. Pedofunzione via GLM per la stima della densità apparente (Mgha-1): prati stabili.

Soil Region	Intercept	C org	Ln C org	Clay	Silt	Sand	Dg	Sg	Soil Region
Tutte	1.216743		-0.16795					0.006818	A -0.263105989
									B -0.005306609
									C
									D 0.0206395292
									E 0.0271433492
									F -0.0224236601
									G -0.056813692
									H 0.1663454444
									I 0.1501642310
									L -0.0166426618

Tabella 9. Pedofunzione via GLM per la stima della densità apparente (Mgha-1): boschi.

Nel caso di orizzonti organici, a prescindere dall'uso del suolo e dalla soil region, la relazione generale tra carbonio organico e densità apparente prende la forma seguente:

$$\text{Densità apparente (Mg m}^{-3}\text{)} = 1.40275788 - 0.338701096 \cdot \text{LN (C org. \%)}$$

### Correzione della densità apparente per suoli con scheletro

I suoli urbani sono spesso caratterizzati dalla presenza di elementi grossolani (diametro > 2mm) e per questo motivo occorre correggere il valore della densità apparente stimato via PTF. La BD corretta per

la presenza di scheletro può essere calcolata a partire dalla densità apparente dello scheletro e della terra fine (Berger, 1976). Delle numerose equazioni proposte per calcolare il valore di  $BD_t$ , densità apparente totale ossia il valore riferito alla terra fine più lo scheletro, si suggerisce la seguente:

$$BD_t = [(1-R_m)/BD_f + (R_v/BD_{rf})]^{-1} \quad (1)$$

dove:

$R_m$  è il contenuto in scheletro espresso su base gravimetrica;  $BD_t$  la bulk density totale ( $Mg\ m^{-3}$ ),  $BD_{rf}$  la bulk density dello scheletro (valori di riferimento in funzione della litologia sono reperibili in letteratura; ad esempio il valore medio utilizzato per i suoli emiliano-romagnoli =  $2.26\ Mg\ m^{-3}$ ) e  $BD_f$  è la densità della terra fine (da PTF).

Il dato normalmente disponibile è la percentuale di scheletro in volume. La conversione tra percentuale in

volume e percentuale in massa si ottiene attraverso la seguente (Torri et al, 1994):

$$R_m = (-BD_{rf} R_v) / (BD_f R_v - BD_{rf} R_v - BD_f) \quad (2)$$

Per considerare l'effetto della presenza di frammenti grossolani sulla densità apparente della matrice fine, relazione inversa a causa della presenza di vuoti e macropori al contatto tra matrice e scheletro, è stata adottata l'equazione proposta da Torri et al (1994):

$$BD_{f\_c} = BD_f (1 - 1.67R_m^{3.39}) \quad (3)$$

dove  $BD_{f\_c}$  è la BD della terra fine in presenza di scheletro ( $Mg\ m^{-3}$ );  $BD_f$ , è sempre la BD della terra fine senza tenere presente lo scheletro (derivante da PTF);  $R_m$  è il contenuto di scheletro in peso.

La (1) diventa allora:

$$BD_t = [(1 - (-BD_{rf} R_v) / (BD_f R_v - BD_{rf} R_v - BD_f)) / (BD_f (1 - 1.67R_m^{3.39})) + (R_v/BD_{rf})]^{-1} \quad (4)$$

L'equazione (4) è solitamente utilizzata per la correzione dei valori di densità apparente derivanti da PTF per i suoli contenenti almeno il 10% in frammenti grossolani.

Nel caso dell'Emilia-Romagna la densità apparente è già disponibile come dato accessorio nella carta del carbonio organico immagazzinato nei suoli di pianura per lo strato 0-30 cm<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> [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)

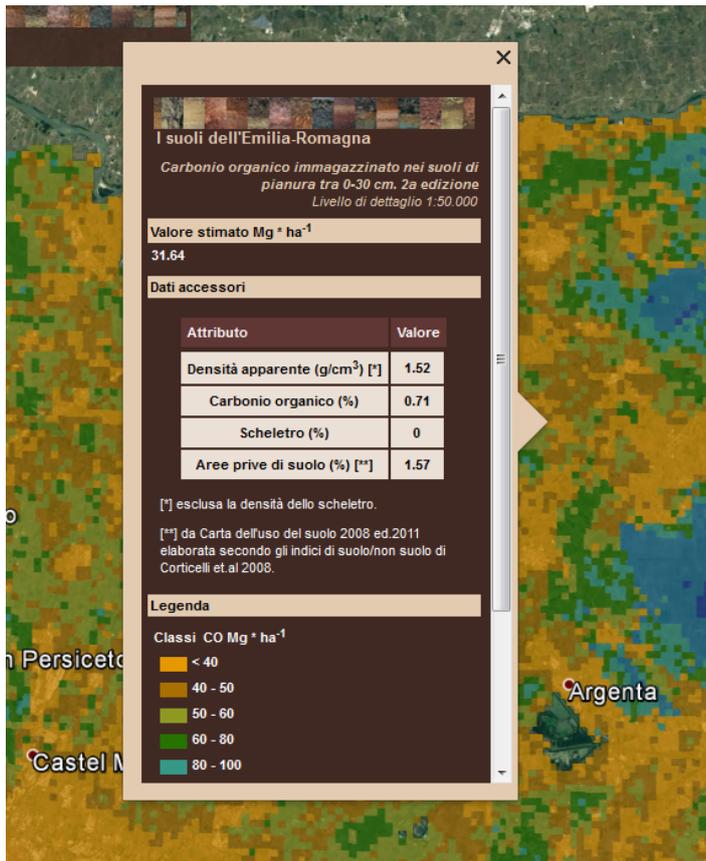


Figura 8. Esempio di consultazione della carta dello stock di carbonio sul sito CARTPEDO

## 5.2 Conducibilità idrica satura

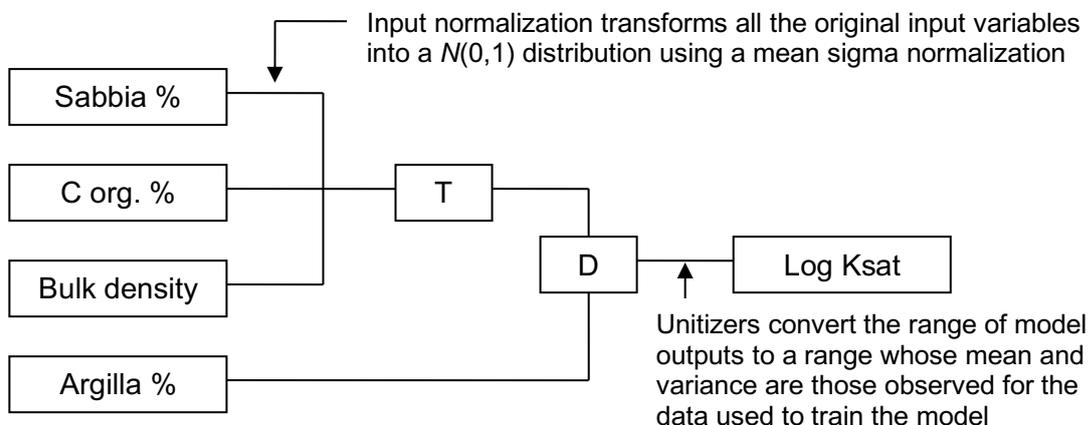
Per la stima della conducibilità idrica satura esistono numerose PTF reperibili in letteratura. Tra queste una tra le più utilizzate, e validata con discreta affidabilità ( $R^2 = 0.35$ ) su una banca dati di misure su campioni indisturbati di suoli italiani ( $N = 268$ ), è quella di Brakensiek et al. (1984):

$$K_{sat} \text{ (mm h}^{-1}\text{)} = 10 \cdot \text{EXP} [(19.52348 \cdot \text{PORO}^2) - (8.96847) - (0.028212 \cdot A\%) + (0.00018107 \cdot S\%^2) - (0.0094125 \cdot A\%^2) - (8.395215 \cdot \text{PORO}^2 \cdot A\%) + (0.077718 \cdot S\% \cdot \text{PORO}^2) - (0.00298 \cdot S\%^2 \cdot \text{PORO}^2) - (0.019492 \cdot A\%^2 \cdot \text{PORO}^2) + (0.0000173 \cdot S\%^2 \cdot A\%) + (0.02733 \cdot A\%^2 \cdot \text{PORO}^2) + (0.001434 \cdot S\%^2 \cdot \text{PORO}^2) - (0.0000035 \cdot A\%^2 \cdot S\%)]$$

dove gli input pedofunzione sono: sabbia % (S%), argilla % (A%), e porosità (PORO, vol/vol) derivata dalla densità apparente BD ( $\text{Mg m}^{-3}$ ):

$$\text{PORO} = (1 - \text{BD} / 2.65)$$

Sullo stesso data set di osservazioni Ungaro et al. (2014) hanno calibrato una PTF utilizzando reti statistiche di tipo GMDH (Ivakhnenko, 1968). La rete statistica individuata ha la seguente struttura:



Gli input della PTF sono sabbia (S%), argilla (A%), contenuto in carbonio organico (CO%) e densità apparente (BD,  $\text{Mg m}^{-3}$ , misurata o stimata da PTF, corretta per scheletro). I valori delle variabili in ingresso vengono normalizzati prima di essere trasferiti ai successivi nodi del network di stima, secondo gli algoritmi riportati in chiaro come segue:

### Normalizzazione input 1

$$A = -1.58807939026797 + 0.043399261792585 \cdot S\%$$

$$B = 0.895704956226224 + 1.90436429623194 \cdot \log(\text{CO}\%)$$

$$C = -6.56853764508901 + 4.86964821073382 \cdot \text{BD}$$

### Calcolo output primo nodo rete

$$D = 0.0836015967122676 + 0.416153421876942 \cdot A + 0 \cdot B + -0.445772230372808 \cdot C + -0.134334562427775 \cdot A^2 + -0.0544032825090131 \cdot B^2 + 0 \cdot C^2 + -0.198584356240143 \cdot A \cdot B + 0.096017083549925 \cdot A \cdot C + -0.144971973570487 \cdot B \cdot C + --0.125314845712128 \cdot A \cdot B \cdot C + 0.0716205065345566 \cdot A^3 + -0.123673920290893 \cdot B^3 + 0.0587033757513834 \cdot C^3 + 0.152071065904968 \cdot A^2 \cdot B + -0.102414907323155 \cdot A \cdot B^2 + 0 \cdot A \cdot C^2 + 0 \cdot A^2 \cdot C + -0.156148957009503 \cdot B^2 \cdot C + -0.0305947339564729 \cdot B \cdot C^2$$

### Normalizzazione input 2

$$E = -1.65784483580252 + 0.0723996897397788 * A\%$$

### Calcolo output secondo nodo rete

$$F = 0.174732633027132 + 1.03829358346795 * D + 0.151865200913679 * E + -0.341867233805586 * D^2 + -0.11074767165566 * E^2 + -0.13351716106058 * D * E + -0.461153694809156 * D^3 + 0 * E^3 + -0.367403924274197 * D^2 * E + -0.218709934220076 * D * E^2$$

### Calcolo output finale

$$\text{Log Ksat} = 0.951757462686567 + 1.10472133391165 * F$$

### Controllo sul valore in output

I range di validità dei valori in output sono così definiti:

Range output	Ksat mm/h min	Ksat mm/h max
Tessitura Fine	0.0044	24.34
Tessitura Media	0.93	100.93
Tessitura Grossolana	7.54	401.79

Nel caso di output fuori dal range dei dati osservati, si consiglia di utilizzare i valori medi per classe tessiturale USDA riportati nella tabella seguente.

Textural Classes	Mean	Std.Dev.	95% CI lower	95% CI upper	Min.	Median	Max.
C	1.47	2.07	0.04	7.51	0.00	0.78	24.34
CL	11.62	7.85	2.81	32.30	0.93	9.53	75.13
L	12.57	2.61	8.31	18.34	6.80	12.33	25.28
LS	41.87	19.40	14.69	87.23	7.54	37.91	153.95
S	262.88	65.37	142.56	401.79	142.56	256.45	401.79
SCL	30.27	20.93	7.13	100.93	7.13	24.89	100.93
SL	28.80	4.36	21.13	37.96	16.24	28.83	44.62
SiL	5.32	1.46	2.94	8.86	1.48	5.14	12.72
SiC	1.99	1.26	0.43	5.13	0.17	1.69	11.66
SiCL	5.83	3.28	1.42	13.40	0.70	5.15	23.77
All Grps	40.26	78.71	0.32	326.59	0.00	11.25	401.79

Tabella 10. Ksat (mm h<sup>-1</sup>): statistiche di bootstrap per le dieci classi tessiturali (N = 1,000). StdDev: deviazione standard; 95% CI: intervallo di confidenza della media 95%. Stima K satura Brakensiek et al. (1984).

Nel caso dell'Emilia-Romagna la carta della conducibilità idraulica satura (Ksat) è disponibile <sup>10</sup> per la zona di pianura.

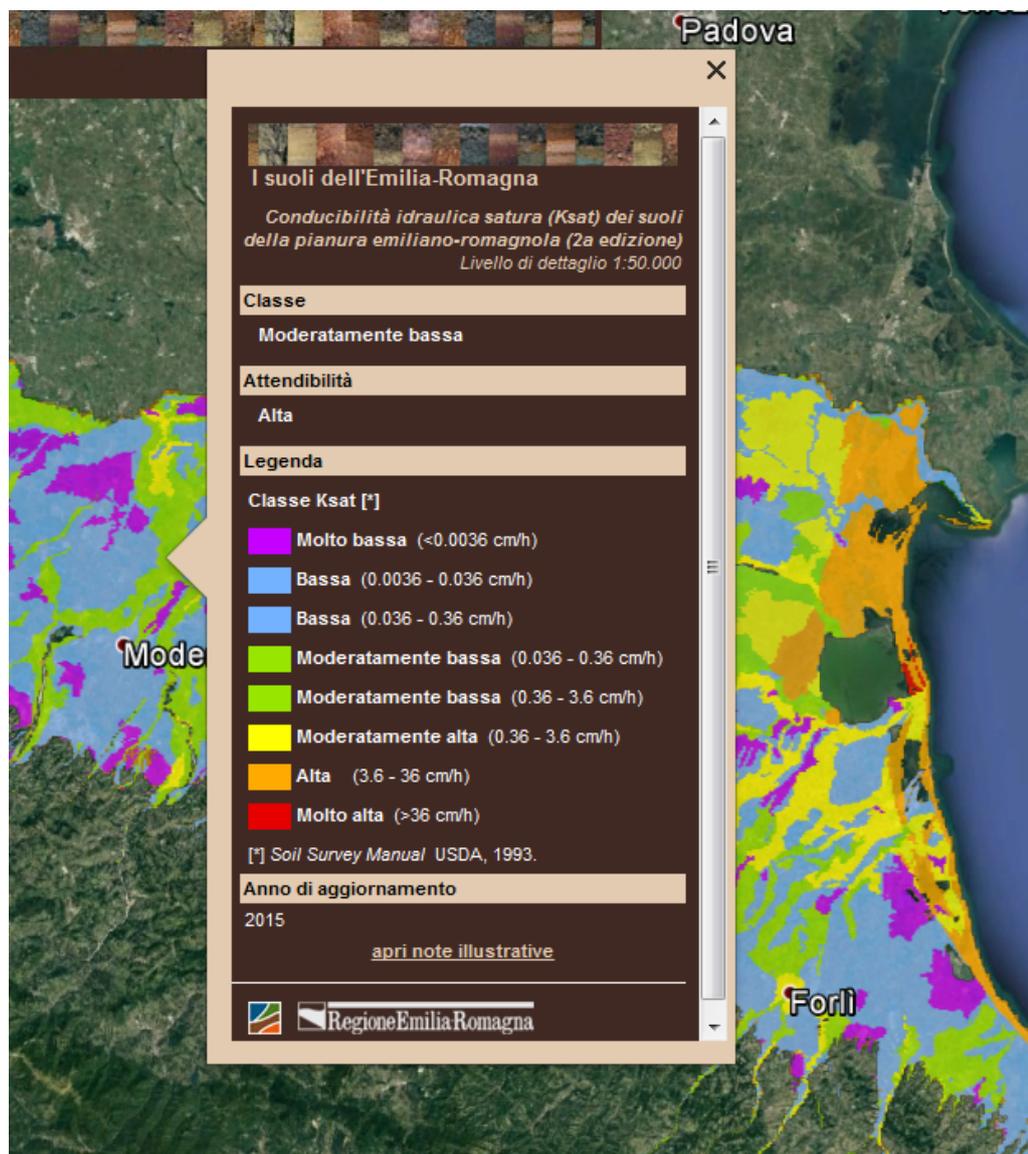


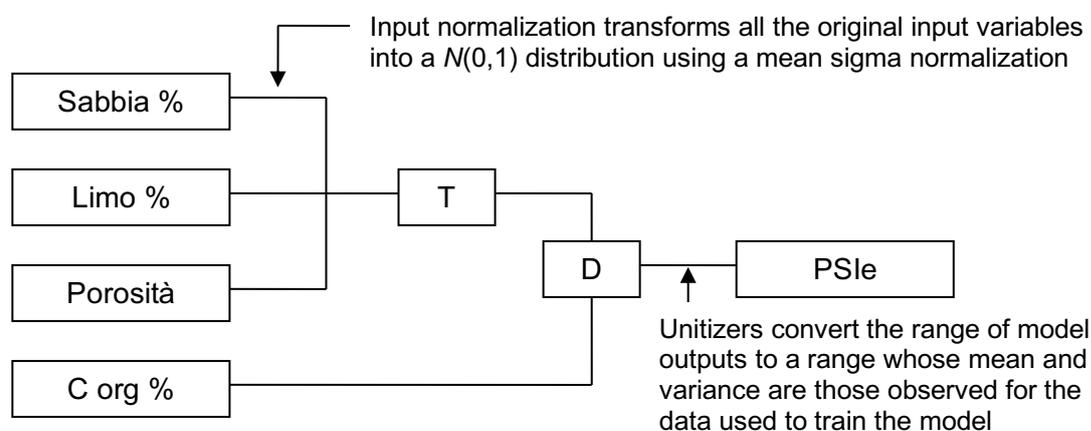
Figura 9. Esempio di consultazione della carta della Ksat sul sito CARTPEDO

### 5.3 Pressione di ingresso all'aria

La pressione di ingresso all'aria ( $PSI_e$ , cm) è il potenziale di matrice in corrispondenza del quale l'aria comincia ad entrare nella matrice porosa del suolo, determinando il passaggio da un regime di flusso gravitativo (condizioni di saturazione) ad un regime capillare (condizioni di non saturazione). Il suo valore rappresenta uno dei fattori principali di regolazione delle proprietà di ritenzione idrica dei suoli e determina il punto di flesso della curva di ritenzione idrica. Per questo motivo compare nella descrizione analitica della curva di ritenzione secondo i modelli di Brooks e Corey (1964) e di van

<sup>10</sup>[http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/ksat\\_pianura.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/ksat_pianura.pdf)

Genuchten (1980). Suoli a tessitura fine presentano valori elevati di tensione di ingresso all'aria ( $PSI_e > 100$  cm) mentre l'opposto si osserva per i suoli a tessitura grossolana ( $PSI_e < 20$  cm)  
Su una banca dati di 445 curve di ritenzione Ungaro et al. (2014) hanno calibrato una PTF utilizzando reti statistiche di tipo GMDH (Ivakhnenko, 1968). La rete statistica individuata ha la seguente struttura:



**Input pedofunzione:**  $L\%$ ,  $S\%$ ,  $CO\%$  (log),  $PORO1$

$S\%$ : sabbia %

$L\%$ : argilla %

$CO\%$ : carbonio organico % (Log)

$PORO1$ : porosità % stimata ,  $PORO1 = (1 - (BD / (2.7 * (1 - (Corg\% * 10^{-2}))) + Corg\% * 10^{-2})) * 0.96$   
dove  $BD$ : densità apparente ( $Mg\ m^{-3}$ ), misurata o stimata

**Normalizzazione input 1**

$$A = -1.55514315777641 + 0.0439626330192209 * S\%$$

$$B = -1.62156839186953 + 0.000826045814054491 * L\%$$

$$C = 5.88501454719847 + 12.6194730338606 * PORO1$$

**Calcolo output primo nodo rete**

$$D = -0.568439426027443 + -0.339618598889681 * A + 0.0850629667172664 * B + -0.327793522823292 * C + 1.18970550060609 * A^2 + 0.576355024165541 * B^2 + 0 * C^2 + -0.198584356240143 * A * B + 0.301041218929671 * A * C + -0.10527882324184 * B * C + --0.661480855965559 * A * B * C + 0.151788905416509 * A^3 + 0.133497668914664 * B^3 + -0.0145722698122465 * C^3 + 1.11203822431696 * A^2 * B + 0.964631529651623 * A * B^2 + 0.0684388124744497 * A * C^2 + 0.20749615690423 * A^2 * C + 0.429023990805545 * B^2 * C + 0.0265885830908164 * B * C^2$$

**Normalizzazione input 2**

$$E = 0.0187145139027159 + 2.11251970495063 * \text{Log}C$$

**Calcolo output secondo nodo rete**

$$F = 0 + 1.15847606797297 * D + 0.200090177126999 * E + 0.0866162637992406 * D^2 + -0 * E^2 + 0 * D * E + -0.0782508492875681 * D^3 + -0.0274983695657443 * E^3 + --0.0487893822277778 * D^2 * E + -0.0762940081491734 * D * E^2$$

$$PSI_e = 54.443993993994 + 41.7053965834241 * F \quad (MIN=2.658, MAX = 200)$$

## 5.4 Capacità di acqua disponibile (AWC)

La capacità di acqua disponibile (Available Water Capacity, AWC) è la massima quantità di acqua disponibile in un suolo che può essere utilizzata dalle piante. Viene calcolata come differenza tra il contenuto idrico alla capacità di campo (field capacity, FC) e quello al punto di appassimento (wilting point WP). Il primo è posto per convenzione a 333 cm di tensione (-33 kPa o -0.33 bar), il secondo a 15000 cm di tensione (-1500 kPa o -15 bar). La capacità di acqua disponibile è richiesta per il calcolo dell'indicatore CLI, il contenuto idrico alla capacità di campo per il calcolo dell'indicatore WAS.

Su una banca dati di 445 curve di ritenzione Ungaro et al. (2014) hanno calibrato due distinte PTF, rispettivamente per il contenuto idrico a capacità di campo e per quello al punto di appassimento, utilizzando reti statistiche di tipo GMDH (Ivakhnenko, 1968). Dalla differenza tra i due valori stimati viene calcolata la capacità di acqua disponibile.

### 5.4.1 Stima contenuto idrico (m3/m3) tensione 333 cm

**Input pedofunzione:** *Dg*, *C org %*, *PORO1*, *L%*

#### Derivazione input

*Dg* : diametro medio geometrico delle particelle

*C org%* : carbonio organico %

*PORO1*: saturazione % stimata ,  $PORO1 = (1 - (BD / (2.7 * (1 - (Corg\% * 10^{-2}))) + Corg\% * 10^{-2}))) * 0.96$

dove BD: densità apparente (Mg m<sup>-3</sup>), misurata o stimata

*L%*: limo %

#### Normalizzazione input 1

$$A = 3.8102814236164 + 0.827378421952734 * \ln(Dg)$$

$$B = -0.491141860677084 + 0.367776345566818 * Corg\%$$

$$C = -5.88752433612624 + 13.0483582639121 * PORO1$$

#### Calcolo output primo nodo rete

$$D = 0 + -0.47522648155494 * A + 0.407409693528406 * B + 0.101954382069889 * C + 0 * A^2 + 0.286127938068712 * B^2 + -0.103499406792212 * C^2 + 0 * A * B + 0.164039073693382 * A * C + 0.385057943571155 * B * C + 0.302594161247526 * A * B * C + -0.118517243948488 * A^3 + -0.00799822709229998 * B^3 + -0.0474755798398775 * C^3 - 0.259973976218855 * A^2 * B + 0.0279859549205733 * A * B^2 + -0.0932679649932655 * A * C^2 + 0 * A^2 * C + -0.307603329158264 * B^2 * C + 0.267603681660816 * B * C^2$$

#### Normalizzazione input 2

$$E = -1.3033911325751 + 9.74232503307444E-06 * L\%^2$$

#### Calcolo output secondo nodo rete

$$F = 0 + 0.99590304675235 * D + 0.0852214730608352 * E + 0 * D^2 + 0 * E^2 + 0 * D * E + 0 * D^3 + -0.0297749925104875 * E^3 + 0 * D^2 * E + 0 * D * E^2$$

$$CI_{333} = 0.34296644295302 + 0.0984845588190126 * F \quad (MAX= 0.671, MIN= 0.064)$$

## 5.4.2 Stima contenuto idrico (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) tensione 15000 cm

Input pedofunzione: *Dg*, *C org %*, *BD*

Derivazione input

*Dg*: diametro medio geometrico delle particelle

*C org%*: carbonio organico %

*BD*: densità apparente (Mg m<sup>-3</sup>), misurata o stimata

L'algoritmo di stima in chiaro ha la seguente struttura:

### Normalizzazione input 1

$$A = 3.77140361228726 + 0.819740344988767 * \ln(Dg)$$

$$B = -0.49157638336218 + 0.367695186350225 * Corg\%$$

$$C = -2.905574766004 + 0.947767333204745 * BD^3$$

### Calcolo output primo nodo rete

$$D = 0 + -0.763103574848119 * A + 0.236868672084561 * B + 0. -0.0731674247644929 * C + 0 * A^2 + -0.434887427284714 * B^2 + -0.105886229669014 * C^2 + 0.302936372100644 * A * B + 0 * A * C + -0.483229853413334 * B * C + 0.0494789265032567 * A * B * C + 0 * A^3 + -0.164404279418551 * B^3 + 0.0589897728741078 * C^3 + -0.221540878505337 * A^2 * B + 0.241483606228241 * A * B^2 + 0 * A * C^2 + 0 * A^2 * C + -0.334515879151902 * B^2 * C + 0.150148733944991 * B * C^2$$

$$CI_{15000} = 0.236463087248322 + 0.104480408320589 * D \quad (MAX. 0.546; MIN. 0.012)$$

## 5.5 Capacità di scambio cationico

La capacità di scambio cationico (CSC, cmol kg<sup>-1</sup>) è richiesta per il calcolo dell'indicatore BUF. In assenza di valori misurati, la CSC può essere stimata ricorrendo a pedofunzioni di trasferimento. Diverse PTF sono state calibrate per stimare la CSC da proprietà chimico-fisiche (Breeuwsma et al., 1986; Manrique et al., 1991; Bell and Van Keulen, 1995; McBratney et al., 2002); nella maggior parte dei casi questi modelli si basano su una relazione di tipo lineare tra CSC, contenuto in sostanza organica (o carbonio organico) e contenuto in argilla. Calzolari et al. (2016) hanno calibrato la seguente relazione su una banca dati di 3269 osservazioni:

$$CEC \text{ (cmol kg}^{-1}\text{)} = 6.332 + 0.404 \text{ Clay \%} + 1.690 \text{ C org \%} \quad (R^2 = 0.75)$$

## 5.6 Bibliografia

Bell, M. A., Van keulen, J., 1995. Soil pedotransfer functions for four Mexican soils. *Soil Sci Soc. Am. J.*, 59, 865-871

Berger F., 1976. Partitioning the parameters of stony soils, important in moisture determinations in to their constituents. *Plant Soils*, 44: 201-207.

Brakensiek, D. L., Rawls, W. J., Stephenson, G. R., 1984. Modifying SCS hydrologic soil groups and curve numbers for rangeland soils. – ASAE Paper No. PNR–84– 203; St. Joseph/ Michigan

Breeuwsma, A., Wosten, J. H. M., Vleeshouwer, J. J., Van slobbe, A. M., Bouma, J., 1986. Derivation of land qualities to assess environmental problems from soil surveys. *Soil Sci Soc. Am. J.*, 50, 186-190.

Brooks, R. J., Corey, A.T., 1964. Hydraulic properties of porous media, *Hydrol. Pap. 3*, Colo. State Univ., Fort Collins.

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.

Ivakhnenko A.G., 1968. The Group Method of Data Handling - a rival of the method of stochastic approximation. *Soviet Automatic Control*, vol. 13 c/c of *automatika*, 1 (3), 43-55.

McBratney, A.B., Minasny, B., Cattle, S.R., Vervoort, R.W., 2002. From pedotransfer function to soil inference system. *Geoderma*, 109, 41-73.

Manrique, L. A., Jones, C. A., Dyke, P.T., 1991. Predicting cation exchange capacity from soil physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 787-794.

Tarocco, P., Calzolari, C., Ungaro, F., Villani, I., 2018. Siti locali rappresentativi dei suoli della pianura, del basso e medio appennino emiliano-romagnolo. Edizione 2018. Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. Documento disponibile al seguente URL (ultimo accesso 15/02/2019): [http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/SITI\\_BENCHMARK\\_RER.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/SITI_BENCHMARK_RER.pdf)

Torri D., Poesen J., Monaci F., Busoni E., 1994. Rock fragment content and fine soil bulk density. *Catena*, 23 (1-2), 65-71.

Ungaro, F., Calzolari, C., Pistocchi, A., Malucelli, F., 2014. Modelling the impact of increasing soil sealing on runoff coefficients at regional scale: a hydrogeological approach. *J. Hydrol. Hydromech.*, 62, 2014,1, DOI: 10.2478/johh-2014-0005

van Genuchten, M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*. 44 (5): 892–898.

## 6 ALLEGATO II. MODALITA' DI CALCOLO DEI SERVIZI ECOSISTEMICI

A seconda dei dati disponibili, il calcolo dei servizi ecosistemici apportati dal suolo si può fare con tre modalità:

1. Utilizzo delle elaborazioni derivate dai dati dei suoli urbani rilevati ad hoc;
2. Utilizzo della carta dei suoli e dei profili di riferimento;
3. Utilizzo di carte tematiche derivate dalla carta dei suoli in formato raster o vettoriale a tiles (quadrati).

### 6.1 Calcolo con elaborazioni locali

Questo caso è stato descritto in sintesi nel paragrafo 2.2.1 ed in modo più ampio nel deliverable dell'azione B 1.3 (<http://www.sos4life.it/documenti/>) e richiede una buona capacità di elaborazione, in quanto gli strati tematici necessari (tessitura, pH, carbonio organico) vanno derivati dai dati analizzati. La carta di capacità d'uso si può derivare dai dati locali o usare carte già disponibili.

La derivazione delle carte tematiche dai dati esula da questa trattazione ed è necessario fare riferimento alle tecniche di *Digital Soil Mapping*. Esempi di questo tipo di tecniche si possono ritrovare in numerose pubblicazioni (Ballabio et al, 2016; Boettinger et al, 2010; Dobos et al, 2010; Hengl et al, 2014; Lagacherie et al, 2006; McBratney et al, 2003; Orgiazzi et al., 2018; Scull et al., 2003). In alternativa alle tecniche di digital soil mapping, i dati analizzati possono essere utilizzati per calcolare gli indicatori per le diverse tipologie di uso riscontrate nei suoli urbani (ad es. parchi, rotonde, verde privato, verde sportivo, aree agricole).

### 6.2 Calcolo con uso della carta dei suoli e dei profili di riferimento

Questo metodo è stato utilizzato nel progetto SOS4LIFE per redigere la carta dei servizi ecosistemici dei comuni di Forlì e San Lazzaro di Savena. Nel caso della regione Emilia-Romagna la carta dei suoli 1:50.000 (disponibile per il 71% del territorio) è corredata di analisi chimico-fisiche locali per ogni suolo presente nei poligoni della carta (descritti in modo univoco). Nel caso delle altre regioni bisogna invece fare riferimento alle analisi che accompagnano il profilo di riferimento di ogni suolo descritto nella carta ed elaborare i dati per unità cartografiche (gruppi di poligoni con suoli simili).

Le modalità di calcolo utilizzando questo metodo sono state descritte nel documento "Siti locali rappresentativi dei suoli della pianura, del basso e medio appennino emiliano-romagnolo" (Tarocco et al, 2018). Nel documento è indicato anche come scaricare i dati.

I dati di input necessari per il calcolo sono:

- carta dei suoli;
- analisi dei siti di riferimento dei suoli (scheletro, frazioni tessiturali, C organico %);
- carta di capacità d'uso;
- carta della profondità media della falda superficiale (in caso di aree di pianura).

### 6.3 Calcolo con uso di carte tematiche raster o vettoriali a tiles

Con questa modalità di calcolo la carta dei suoli non è strettamente necessaria. Questo metodo è stato utilizzato per il calcolo dei SE della pianura emiliano-romagnola (Calzolari et al, 2016), ma è riutilizzabile a scala locale se le informazioni sono sufficientemente dettagliate. Nel caso della regione Emilia-Romagna le carte tematiche necessarie (con l'eccezione del pH) sono disponibili nell'area di pianura in formato vettoriale con celle di 500 m x500 m. Questo rende gli elaborati finali più dettagliati

rispetto al metodo precedente. I dati sono scaricabili direttamente dal Geocatalogo<sup>11</sup>. Il livello di dettaglio disponibile nelle altre regioni è molto variabile.

I dati di input necessari sono:

- carta della tessitura e scheletro (topsoil e subsoil);
- carta di contenuto del carbonio organico (topsoil e subsoil);
- carta dello stock di carbonio organico (topsoil e subsoil): questo strato può essere ricavato dalle due carte precedenti;
- Carta del pH (*topsoil e subsoil*);
- carta di capacità d'uso;
- carta della profondità media della falda superficiale (in caso di aree di pianura).

## 6.4 Bibliografia

Ballabio, C. Panagos, P., Monatanarella, L., 2016. Mapping topsoil physical properties at European scale using the LUCAS database". *Geoderma*. 261: 110–123. doi:10.1016/j.geoderma.2015.07.006.

Boettinger, J.L.; Howell, D.W.; Moore, A.C.; Hartemink, A.E.; Kienast-Brown, S. (Eds.), 2010. *Digital Soil Mapping: Bridging Research, Environmental Application, and Operation*. Springer. p. 473. ISBN 978-90-481-8862-8.

Dobos, E.; Carré, F.; Hengl, T.; Reuter, H.I.; Tóth, G., (Eds.), 2006. *Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps (PDF)*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities. p. 68. EUR 22123 EN

Hengl, T. Mendes de Jesus, J., McMillan, R.A.; Batjes, N.H., Heuvelink, G.B.M.; Ribeiro, E.C., Samuel-Rosa, A., Kempen, B., Leenaars, J.G.B., Walsh, M.G., Ruiperez Gonzalez, M.G., 2014. "SoilGrids1km - global soil information based on automated mapping". *PLOS ONE*. 9 (8): e105992. doi:10.1371/journal.pone.0105992. PMC 4149475. PMID 25171179.

Lagacherie, P.; McBratney, A. B.; Voltz, M., eds. (2006). *Digital soil mapping: an introductory perspective*. Amsterdam: Elsevier. p. 600. ISBN 978-0-444-52958-9.

McBratney, A.B.; Mendonça Santos, M.L., Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*. 117 (1–2): 3–52. doi:10.1016/S0016-7061(03)00223-4.

Orgiazzi, A., Ballabio, C., Panagos, P., Jones, A., Fernández-Ugalde, O., 2018. LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. *European Journal of Soil Science*. 69: 140–153. doi:10.1111/ejss.12499. ISSN 1365-2389.

Scull, P., J. Franklin, O.A., Chadwick, D., McArthur, 2003. Predictive soil mapping - a review. *Progress in Physical Geography*. 27 (2): 171–197. CiteSeerX 10.1.1.137.3441. doi:10.1191/0309133303pp366ra.

---

<sup>11</sup> <https://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/>

## 7 ALLEGATO III. DEFINIZIONE E CALCOLO DELL'INDICE QBS-AR

Gli animali del suolo hanno diversi gradi di adattamento alla vita ipogea, come l'assenza di organi visivi, l'allungamento e appiattimento del corpo, l'accorciamento delle appendici sensoriali e locomotorie, la riduzione o scomparsa di alcune appendici - come la furca (organo usato per il salto) nei Collembola o le ali metatoraciche nei Coleotteri -, la presenza di organi sensoriali per rilevare il grado di umidità, la depigmentazione o la cripto-pigmentazione per confondersi con particelle di terra come negli acari, la riduzione o la scomparsa di organi sensoriali che assorbono radiazioni luminose (Menta, 2012).

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

I micro-artropodi svolgono un ruolo importante nella catena trofica e nel flusso di energia che accompagna le ultime fasi del ciclo della materia organica. Sono coinvolti nella frantumazione di residui vegetali, nella demolizione e nella traslocazione della sostanza organica, nel controllo e nella dispersione della microflora e della microfauna e sono predatori della micro e della mesofauna (Menta, 2012). Possiamo quindi considerarli buoni bioindicatori. Il grado di adattamento delle forme biologiche alla vita nel suolo varia a seconda della presenza e della combinazione dei caratteri sopra menzionati. La sua quantificazione ricorre a una scala di punteggi di riferimento chiamata **EMI (EcoMorphological Indexes)**: per ogni carattere che evidenzia l'adattamento al suolo viene assegnato un punteggio, da un minimo di 1 a un massimo di 20, a seconda che la forma considerata sia molto poco o decisamente adattata all'ambiente del suolo. In QBS-ar non c'è quindi tanto riferimento alla tassonomia, quanto piuttosto al grado di adattamento al suolo e alla convergenza evolutiva. Alle forme che hanno il maggior grado di adattamento alle condizioni del terreno (edafico), viene assegnato un punteggio EMI di 20, mentre a poco adattate un punteggio di 1 (Epi-edafico); tutte le forme biologiche caratterizzate da condizioni intermedie hanno un punteggio pari al loro grado di specializzazione (emi-edafico). In Tabella 11 4 viene fornito un elenco di punteggi EMI.

Group	Order	EMI score
Epi-edaphic	<i>Dermaptera, Psocoptera, Thysanoptera, Other holometaboluos insects (adults)</i>	1
	<i>Hymenoptera, Araneae</i>	1-5
	<i>Orthoptera, Emiptera</i>	1-10
Emi-edaphic	<i>Collembola, Coleoptera</i>	1-20
	<i>Blattaria</i>	5
	<i>Embioptera, Diptera (larvae), Other holometaboluos insects (larvae), Opiliones, Isopoda</i>	10
Edaphic	<i>Chilopoda, Diplopoda</i>	10-20
	<i>Protura, Diplura, Acari, Palpigradi, Pseudoscorpiones, Pauropoda, Symphyla</i>	20

Tabella 11. Punteggio EMI per micro-artropodi del suolo (Parisi, 2001).

Quando in un campione di suolo prelevato dal terreno ci sono diverse forme biologiche appartenenti allo stesso gruppo, viene preso in considerazione solo il valore EMI più elevato (EMI massimo). L'indice di **qualità biologica del suolo** (QBS-ar) è un punteggio totale attribuito a un campione di suolo ed è dato dalla somma di tutti i valori delle singole EMI. L'applicazione del metodo QBS-ar è suddivisa in 5 cinque passaggi: i) raccolta dei campioni, ii-iii) estrazione e conservazione dei micro-artropodi, iv) determinazione delle forme biologiche contenute e infine v) calcolo dell'indice QBS-ar.

### AZIONE B.1.3

Linee guida per la valutazione dei servizi ecosistemici dei suoli in ambito urbano e azioni concrete per la loro gestione.

In assenza di misure dirette, si può ricorrere all'uso del suolo (ad es. CORINE Land Cover, 4° livello) attribuendo valori medi di QBSar in base alle classi di uso basati su dati provenienti dalla letteratura (Menta et al., 2008):

- Alta (QBS-ar, 150-250) per prati e pascoli permanenti, boschi e torbiere;
- Media (QBS-ar, 100-150) per terreni agricoli in rotazione con prati e minima lavorazione;
- Bassa (QBS-ar, 60-100) per altri usi del suolo.

L'indicatore proposto come proxy per la stima della biodiversità del suolo (BIO) prende in considerazione anche il contenuto in C organico e la densità apparente, ed ha la seguente forma:

$$BIO_{0-1} = (\text{LogOC}_{0-1} - BD_{0-1}) + QBSar_{0-1}$$

con  $QBSar_{0-1}$  pari a 1, 0.5 e 0.25 rispettivamente per alta, media e bassa biodiversità in funzione dell'uso prevalente.

## **8 AUTORI**

**CNR Ibimet**  
Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro, Anita Maienza

**Regione Emilia-Romagna**  
Servizio Geologico Sismico e dei Suoli  
Nazaria Marchi, Paola Tarocco

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

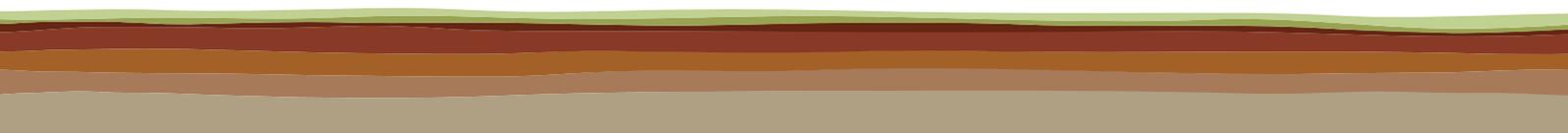
**Comune di Carpi**  
Norberto Carboni, Attilio Palladino

**Legambiente E.R.**  
Lorenzo Frattini

**ANCE E.R.**  
Francesca Ferrari

**Regione Emilia-Romagna**  
Servizio Geologico Sismico e dei Suoli  
Francesco Malucelli

**FMI**  
Claudio Maltoni





LIFE15 ENV/IT/000225

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



[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