



Regione Emilia-Romagna



servizio geologico
sismico e dei suoli

**SITI LOCALI
RAPPRESENTATIVI DEI
SUOLI DELLA PIANURA
E DELLA COLLINA
EMILIANO-ROMAGNOLA**

NOTE ILLUSTRATIVE

2021

A cura di:

Paola Tarocco - Area Geologia, Suoli e Sismica - Settore Difesa del Territorio
Regione Emilia-Romagna

Costanza Calzolari - CNR – Istituto per la Bioeconomia

Fabrizio Ungaro - CNR – Istituto per la Bioeconomia

Con il contributo di:

Nicola Laruccia – Settore programmazione, sviluppo del territorio e sostenibilità delle
produzioni– Regione Emilia-Romagna

Nicola Benatti – Settore organizzazioni di mercato, qualità e promozione – Regione Emilia-
Romagna

Piero Magazzini – Agristudio s.p.a.

Igor Villani - Settore tutela dell'ambiente ed economia circolare. Area rifiuti e bonifica siti
contaminati, servizi pubblici dell'ambiente. – Regione Emilia-Romagna

In copertina:

foto : Luigi Alesi - autunno (<https://www.flickr.com/photos/gigi62/4114500234/in/photostream/>)
CCBY - NC 2.0

Immagine coordinata:

Simonetta Scappini – Area Geologia, Suoli e Sismica - Settore Difesa del Territorio
Regione Emilia-Romagna



Direzione Generale cura del territorio e dell'ambiente
Area Geologia, Suoli e Sismica - Settore Difesa del Territorio
Viale della Fiera 8, 40127 Bologna

telefono: 051 5274792

fax: 051 5274208

e-mail: segrgeol@regione.emilia-romagna.it

PEC: segrgeol@postacert.regione.emilia-romagna.it

Sito web: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cosa-fa-la-regione-2>

Il presente documento è rilasciato secondo i termini della licenza Creative Commons 4.0 Attribution (Attribuzione). I contenuti (salvo marchi, segni distintivi o altro diversamente specificato) possono essere riprodotti, distribuiti, comunicati, esposti, rappresentati e modificati rispettando la seguente condizione: citazione della fonte ("Regione Emilia-Romagna") e il titolo del documento. Una sintesi della licenza si trova alla pagina <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.it> Per eventuali aggregazioni o rielaborazioni dei contenuti finalizzate alla realizzazione di prodotti diversi dall'originale, pur permanendo l'obbligo di citazione della fonte, si declina ogni responsabilità.



INDICE

1	SITI RAPPRESENTATIVI.....	5
1.1	Introduzione alla carta dei suoli e dei siti rappresentativi	5
1.2	Potenziati utilizzi ed elaborazioni dei dati relativi ai siti rappresentativi	12
1.2.1	Elaborazione sito-specifica.....	12
1.2.2	Elaborazione per suolo dominante	16
2	DATI FORNITI E METODI UTILIZZATI PER LA STIMA.....	18
2.1	Parametri chimico-fisici	18
2.1.1	Metodi di laboratorio dei parametri chimico-fisici	19
2.2	Parametri fisici e pedofunzioni di trasferimento	20
2.2.1	Densità apparente	20
2.2.2	Conducibilità idraulica satura (Ksat).....	23
2.2.3	Validazione e limiti delle pedofunzioni.....	25
3	CONSULTAZIONE DEI SITI RAPPRESENTATIVI SUL WEB	27
3.1	Consultazione sul sito WEBGIS	27
3.2	Consultazione sul sito “I suoli dell’Emilia-Romagna”	30
3.3	Consultazione sul sito “Catalogo dei suoli dell’Emilia-Romagna”	31
4	SCARICAMENTO DEI DATI	35
5	ESEMPI APPLICATIVI (USE CASE) DEI SITI RAPPRESENTATIVI	37
5.1	Valutazione di analisi di rischio sito-specifica	37
5.2	Costruzione di carte tematiche: la carta della Ksat dei suoli di pianura	40
5.3	Costruzione di carte tematiche: la carta dei servizi ecosistemici	42
5.3.1	Habitat per gli organismi del suolo (BIO).....	43
5.3.2	Capacità depurativa (BUF).....	44
5.3.3	Effetto sul (micro) clima (CLI).....	44
5.3.4	Stock di carbonio attuale (CST).....	44
5.3.5	Produzione di alimenti (PRO).....	44
5.3.6	Supporto infrastrutture (SUP).....	45
5.3.7	Riserva di acqua (WAS) e infiltrazione profonda di acqua (WAR)	45
5.3.8	Realizzazione della carta dei servizi ecosistemici: esempio per il comune di Forlì	46
5.4	Costruzione di carte tematiche: la carta di attitudine alla coltivazione intensiva del nocciolo ..	48
6	ALLEGATI.....	51
6.1	Pedofunzioni utilizzate per il calcolo della densità apparente.....	51
6.1.1	Stima densità apparente (Mg m ⁻³) orizzonti con Carbonio organico > 2.15% (Hollis, 2012)	51
6.1.2	Stima densità apparente (Mg m ⁻³) orizzonti A generici e forestali (Hollis, 2012, ricalibrata).....	51
6.1.3	Stima densità apparente (Mg m ⁻³) orizzonti A generici di pianura (Calzolari, Ungaro, 2017)	52



6.1.4	Stima densità apparente (Mg m^{-3}) orizzonti Ap generici (Calzolari, Ungaro, 2013)	52
6.1.5	Stima densità apparente (Mg m^{-3}) orizzonti B generici di pianura (Calzolari, Ungaro, 2013)	52
6.1.6	Stima densità apparente (Mg m^{-3}) orizzonti B generici di collina (Calzolari, Ungaro, 2013)	53
6.1.7	Stima densità apparente (Mg m^{-3}) orizzonti C generici di pianura (Calzolari, Ungaro, 2013)	53
6.1.8	Stima densità apparente (Mg m^{-3}) orizzonti C generici di collina (Calzolari, Ungaro, 2013)	53
6.1.9	Correzione della densità apparente per suoli con scheletro	54
6.2	Pedofunzioni utilizzate per il calcolo della conducibilità idraulica satura	55
6.2.1	Stima K satura CNR (Ungaro et al, 2013)	55
7	BIBLIOGRAFIA	57



1 SITI RAPPRESENTATIVI

1.1 Introduzione alla carta dei suoli e dei siti rappresentativi

La **conoscenza dei suoli** è necessaria per la loro tutela e per la loro **valorizzazione** agronomica e ambientale con una **corretta gestione e pianificazione territoriale**.

La **carta dei suoli 1:50.000** della regione Emilia-Romagna interessa l'intera pianura emiliano-romagnola, buona parte del basso Appennino o collina ed in minima parte il medio Appennino. I rilevamenti per questa carta sono iniziati a fine anni '70 e fin dall'inizio è stata fatta la scelta di divulgare le informazioni per approssimazioni successive. La prima approssimazione è uscita nel 1992, la seconda nel 1998, la terza nel 2005 e nel 2012 viene pubblicata la quarta approssimazione. Nell'edizione 2021 è stato aggiunto territorio collinare e montano e rivisti alcuni poligoni in pianura. Pubblicare per approssimazioni successive non significa che i suoli emiliano-romagnoli siano cambiati, ma è migliorato solo lo stato delle conoscenze, che si sono affinate in seguito ai diversi rilevamenti succedutisi negli anni.

Dal 1998 è stato anche scelto di divulgare le informazioni non per unità cartografica, che è la normale prassi per le carte dei suoli, ma per **singolo poligono** (definito **delineazione**). Questo è stato fatto sia per andare incontro alle esigenze dell'assistenza tecnica in agricoltura, che necessita d'informazioni a livello aziendale, sia per consentire l'aggiornamento della carta con l'acquisizione di dati locali. Ogni singolo poligono è identificato in maniera univoca (nell'edizione 2021 sono stati delineati in totale **13.353** poligoni di suolo, di cui **2230** in pianura, **5188** in basso Appennino o collina e **5935** in medio Appennino e descritto per i suoli che lo compongono, sia in termini di percentuale di diffusione che di localizzazione. La descrizione per singolo poligono permette quindi di dare informazioni anche su particolarità locali che verrebbero perse nella descrizione per unità cartografiche (aggregazione di poligoni simili).

Alla scala 1:50.000, che viene definita di semi-dettaglio, non è quasi mai possibile delineare poligoni "puri" ossia composti da un solo suolo. In alcuni ambienti (ad esempio in collina o in aree del margine appenninico) non sarebbe possibile neanche a scala 1:1.000.



SUOLO	Nome suolo	%	localizzazione
MFA2	MONTEFALCONE franca argillosa limosa, 5-20% pendente	40	versanti ondulati
MFA1	MONTEFALCONE franca argillosa limosa, 1-5% pendente	50	superfici a minor pendenza
CDV2	CA' DEL VENTO franca argillosa limosa, 5-20% pendente	10	Versanti più ripidi ed erosi

Figura 1. Esempio di delineazione e di descrizione dei suoli che la compongono. La linea rossa è il limite della delineazione, la linea gialla individua le possibili localizzazioni dei suoli presenti, probabilmente separabili in una carta di maggior dettaglio.



Ogni **suolo** identificato (definito anche unità tipologica di suolo o UTS) viene classificato secondo i sistemi Soil Taxonomy (2010, 2014) e Word Reference Base (1998, 2007, 2014) e denominato con un nome tratto dalla località dove è stato rilevato la prima volta¹. Il suolo è descritto in termini di campo di variabilità di alcuni parametri quali ad esempio la pendenza, il drenaggio, la pietrosità superficiale, la profondità utile alle radici, la sequenza di strati definiti **orizzonti**² in cui può essere suddiviso in una ipotetica sezione verticale (dalla superficie fino al sedimento o roccia inalterata). Si considerano suolo gli orizzonti **O, A, B, E** mentre gli orizzonti **C, R, D** sono considerati **substrato** o parent material.

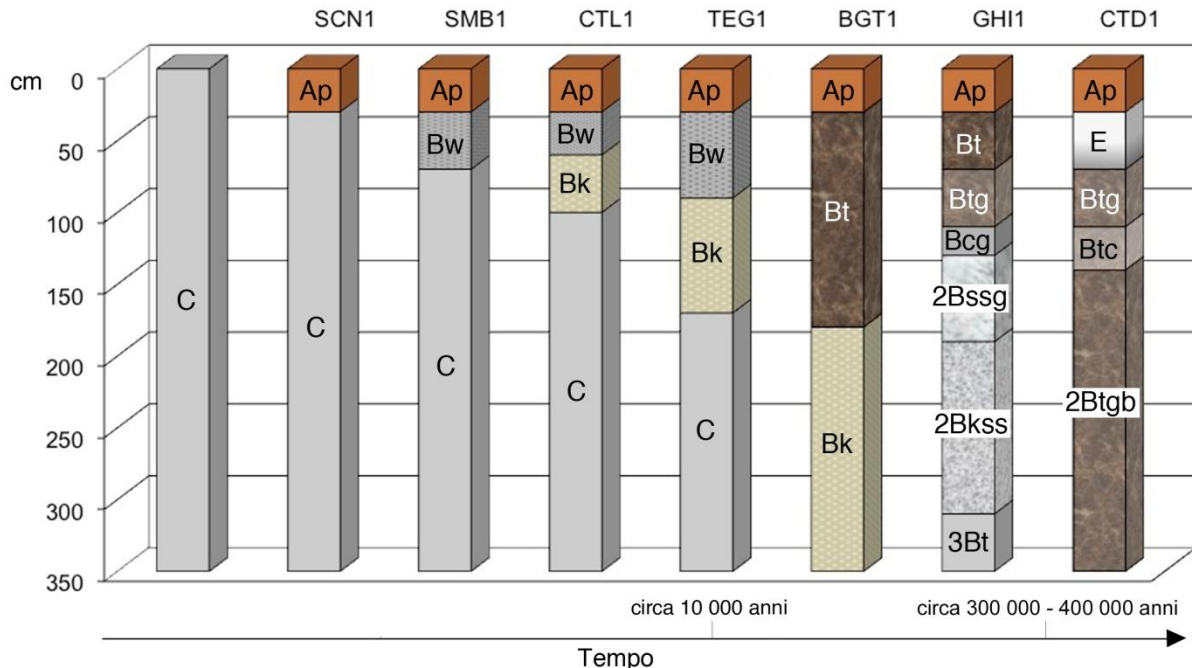


Figura 2. Esempio di sequenza di tipici suoli della Regione Emilia-Romagna su depositi alluvionali: sono in ordine di grado evolutivo crescente da sinistra a destra

Allo stato attuale sono stati descritti per la scala 1:50.000 **466** tipi di suolo (**210** in pianura, **162** nel basso Appennino, **90** nel medio Appennino e **4** nell'Alto Appennino). Alcuni di questi sono molto diffusi e occupano migliaia di ettari in tutta la regione, altri lo sono molto poco e si riscontrano solo in particolari ambienti. Ogni tipo di suolo viene descritto da un **profilo rappresentativo o di riferimento**, il quale fornisce un'idea sintetica delle caratteristiche del suolo.

Tutte le osservazioni di campagna (profili³ e trivellate⁴) eseguite dal 1976 ad oggi sono state archiviate in una banca dati. Allo stato attuale la base dati consiste in **38.980** osservazioni fra le quali 5.555 profili. Il 33% delle osservazioni è dotato di analisi di laboratorio.

Per facilitare l'utilizzo della carta dei suoli si è ritenuto utile corredare la descrizione dei suoli nelle delineazioni con osservazioni analizzate effettuate nella stessa delineazione o in prossimità di essa. Osservazioni che rappresentino le caratteristiche tipiche di un tipo di suolo vengono definiti **siti rappresentativi o siti benchmark**. La scelta dei siti rappresentativi è stata eseguita tenendo conto anche della variabilità locale.

¹ Es. Suoli SANT'OMOBONO. Il nome del suolo è abbreviato in una sigla a 3 caratteri –SMB- seguita da un numero che individua la fase di serie ossia una suddivisione in base ad esempio la tessitura superficiale. SMB1: SANT'OMOBONO franco limosi; SMB2: SANT'OMOBONO franco argilloso limosi. Sotto lo strato superficiale le due fasi di suolo presentano caratteri simili.

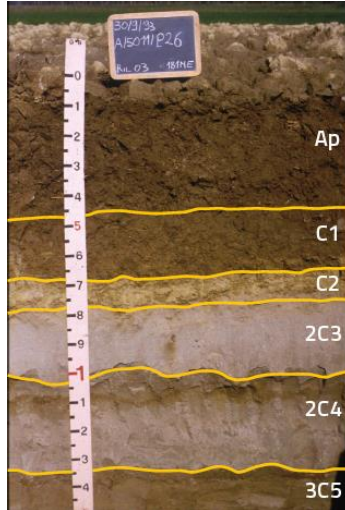
² **Orizzonte di suolo:** è uno strato, per lo più parallelo alla superficie del suolo, le cui caratteristiche possono essere considerate omogenee per la maggior parte degli scopi pratici. L'orizzonte è dunque l'unità di campionamento

³ **Profilo:** scavo o trincea di profondità mediamente di 150 cm o più. Permette di evidenziare tutti gli **orizzonti** di cui è costituito, ai fini della loro identificazione e quindi della descrizione del suolo.

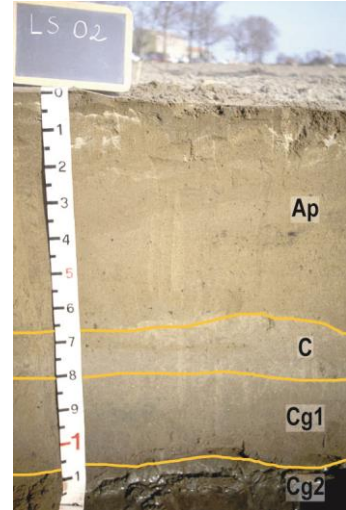
⁴ **Trivellata:** carotaggio del suolo eseguito con una trivella manuale. Permette di descrivere alcuni caratteri del suolo



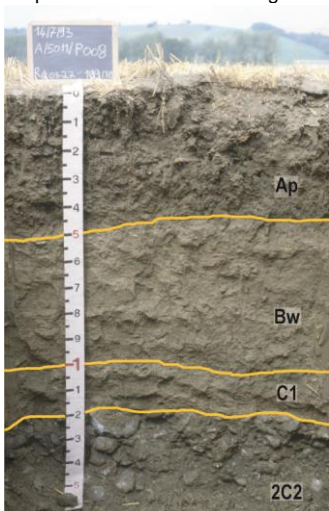
Suolo **SANT'OMOBONO**. Tipico dei dossi e transizioni della pianura alluvionale recente. Calcareo, a tessitura media, poco evoluto, è il suolo più diffuso in Emilia-Romagna.



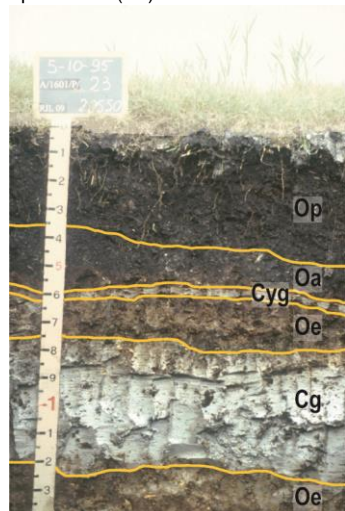
Suolo **MORTIZZA**. Tipico della piana a meandri del Po. Calcareo, a tessitura media in superficie, presenta livelli sabbiosi entro 1 m di profondità (**2C**).



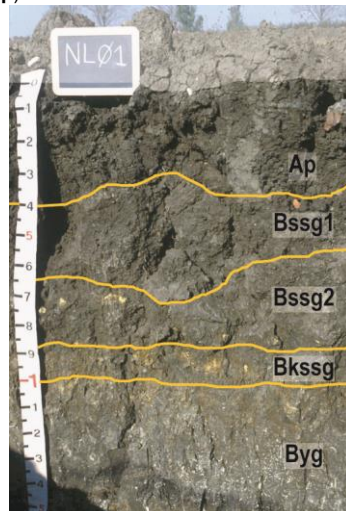
Suolo **CERBA**. Tipico della piana costiera. Sabbioso, poco differenziato, il substrato (**C**) si trova subito subito sotto lo strato lavorato (**Ap**).



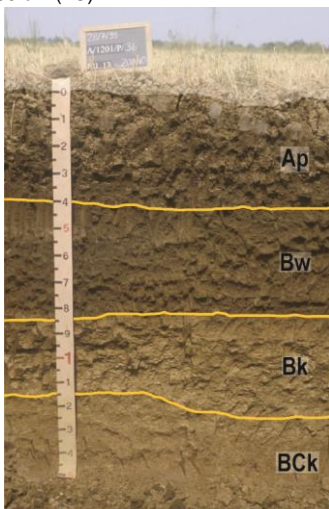
Suolo **BORGHESA**. Molto diffuso in tutti i terrazzi alluvionali recenti. A tessitura media, calcareo, presenta il tetto delle ghiaie fra 80 e 150 cm (**2C**)



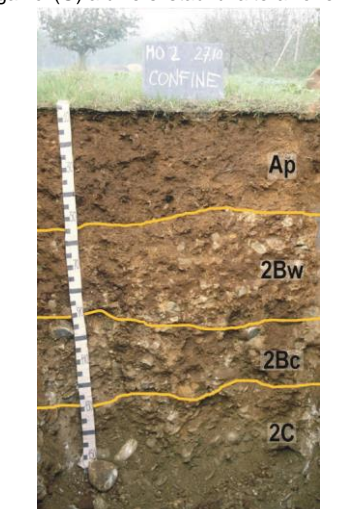
Suolo **CANALE SPECCHIO**. Tipico delle valli deltizie di recente bonifica (a sud di Ostellato-FE). Presenta spessi orizzonti organici (**O**) a diversi stadi di alterazione



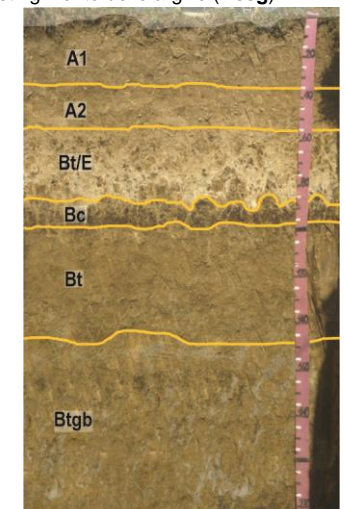
Suolo **RAMESINA**. Tipico delle valli di Mirandola (MO). Molto argilloso, presenta spiccati fenomeni di rigonfiamento e restringimento delle argille (**Bssg**).



Suolo **TEGAGNA**. Tipico della piana pedemontana. A tessitura media, non calcareo fino ad un orizzonte ad accumulo di carbonati (**Bk**) che si presenta di solito fra 80 e 110 cm.

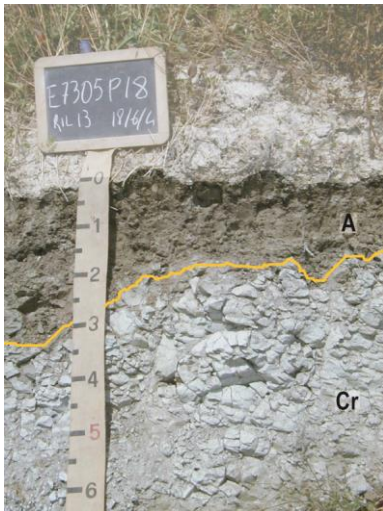


Suolo **CONFINE**. Tipico delle conoidi ghiaiose dei principali fiumi appennici, evoluto, presenta tipici colori rossastri dati dalle ghiaie alterate.

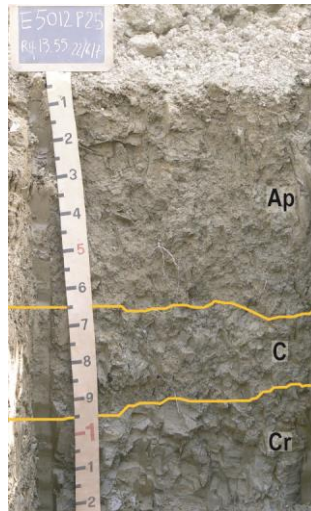


Suolo **CITTADELLA**. Tipico del margine appenninico fra Piacenza e Parma. Suolo molto antico, presenta orizzonti ad accumulo di argilla eluviale (**Bt**, **Btgb**)

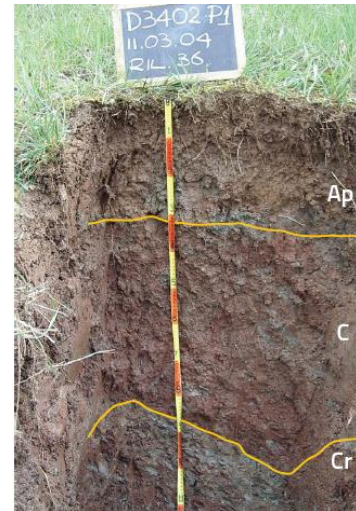
Figura 3. Esempi di profili ricollegati a suoli presenti in Regione in ambiente di pianura, con sequenze di orizzonti tipiche



Suolo **CARRANO**. Tipico della collina sulle formazioni di Pantano-Cigarello, fortemente calcareo, presenta un substrato a marne a frattura concoide (**Cr**).



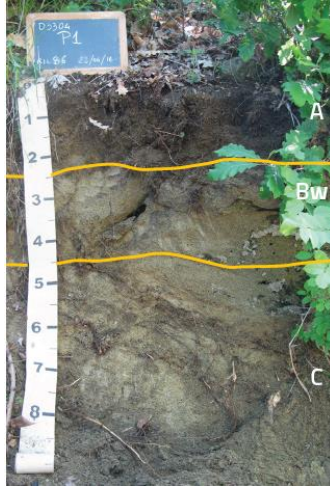
Suolo **SAN CLEMENTE**. Tipico della collina riminese. Argilloso, poco differenziato, il substrato roccioso tenero (**Cr**) costituito da argille grigio-azzurre si trova entro 1 m



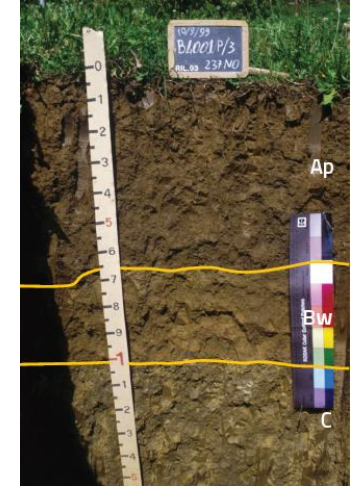
Suolo **OSPITALETTO**. Tipico della collina instabile su argille varicolori. Argilloso, poco calcareo, il substrato (**C**) si trova subito subito sotto lo strato superficiale (**Ap**).



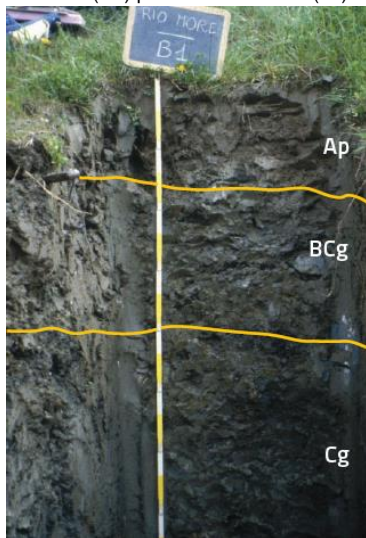
Suolo **DOGHERIA**. Diffuso in tutta la collina pliocenica (argille grigio-azzurre). Argilloso, calcareo, presenta un orizzonte ad accumulo di carbonati (**Bk**) prima del substrato (**Cr**).



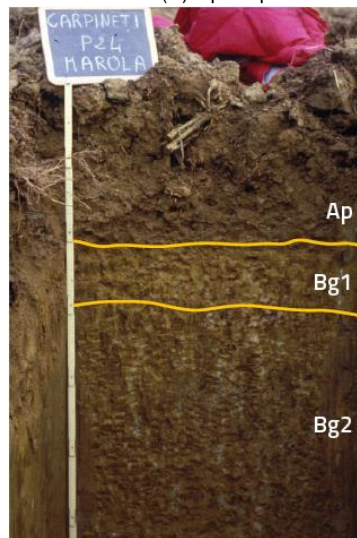
Suolo **ANCONELLA**. Tipico in collina delle emergenze boscate della formazione di Ranzano. Sabbioso, non calcareo, il substrato arenaceo (**C**) è poco profondo.



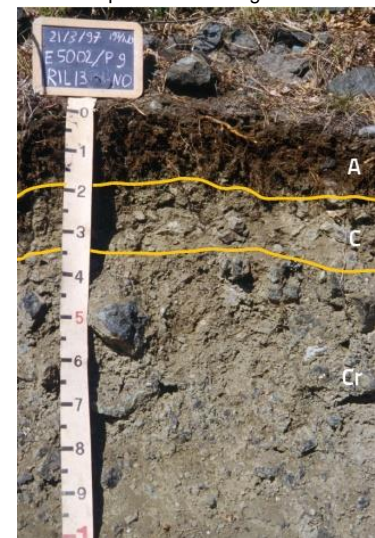
Suolo **SAN CHIERLO**. Tipico della collina sulle formazioni di Monghidoro-Monteverene. A tessitura media, profondo, non calcareo, a moderata disponibilità di ossigeno.



Suolo **PIANELLA**. Tipico della montagna sui versanti instabili (Caotico). A tessitura moderatamente fine, profondo, calcareo, con quantità di scheletro variabile, spesso necessita di drenaggi.



Suolo **MAROLA**. Tipico della montagna sulle paleosuperfici delle formazioni di Pantano-Cigarello. A tessitura media, non calcareo, molto profondo, presenta moderata disponibilità di ossigeno.



Suolo **MONTE ARMELIO**. Tipico delle emergenze ofiolitiche della montagna e della collina. Superficiale, non calcareo, molto ciottoloso, presenta un elevato contenuto di metalli pesanti.

Figura 4. Esempi di profili ricollegati a suoli presenti negli ambienti di basso e medio Appennino, con sequenze di orizzonti tipiche



Per la costruzione di questa base dati sono stati selezionati nella banca dati dei suoli i siti di campionamento dei suoli (sia profili che trivellate) che fossero provvisti, almeno fino a **100 cm**, delle seguenti analisi di laboratorio:

- granulometria (sabbia, limo, argilla);
- pH in acqua
- carbonio organico
- calcare totale

Di tutti i siti disponibili ne sono stati selezionati **3.265** (fra pianura, collina e montagna) come rappresentativi dei suoli presenti nelle delineazioni della carta dei suoli 1: 50.000.

I siti rimanenti sono stati scartati per vari motivi quali:

- analisi ritenute di scarsa qualità;
- numero esuberante di siti in un poligono (es. nella pianura piacentina, modenese o ravennate);
- siti ritenuti poco rappresentativi dei suoli locali;
- siti ricadenti nelle zone dell'Appennino dove manca la carta dei suoli 1:50.000.

I siti presenti nel data set derivano da campagne eseguite da o per conto dell'Area Geologia, Suoli e Sismica-Settore Difesa del Territorio della Direzione Cura del Territorio e dell'Ambiente (76%) oppure del Settore programmazione, sviluppo del territorio e sostenibilità delle produzioni della Direzione Agricoltura (20%) oppure desunti da letteratura (4%).

Ai 3.265 siti corrispondono **11.902** campioni, con una media di 4 campioni per sito (minimo 1, massimo 14) fino ad una profondità media di 145 cm: minima 30 cm per i suoli con scheletro oppure con roccia o sedimento poco penetrabile dalle radici (contatto lithico⁵ o paralithico⁶) entro il metro fino ad un massimo di 500 cm per suoli molto evoluti.

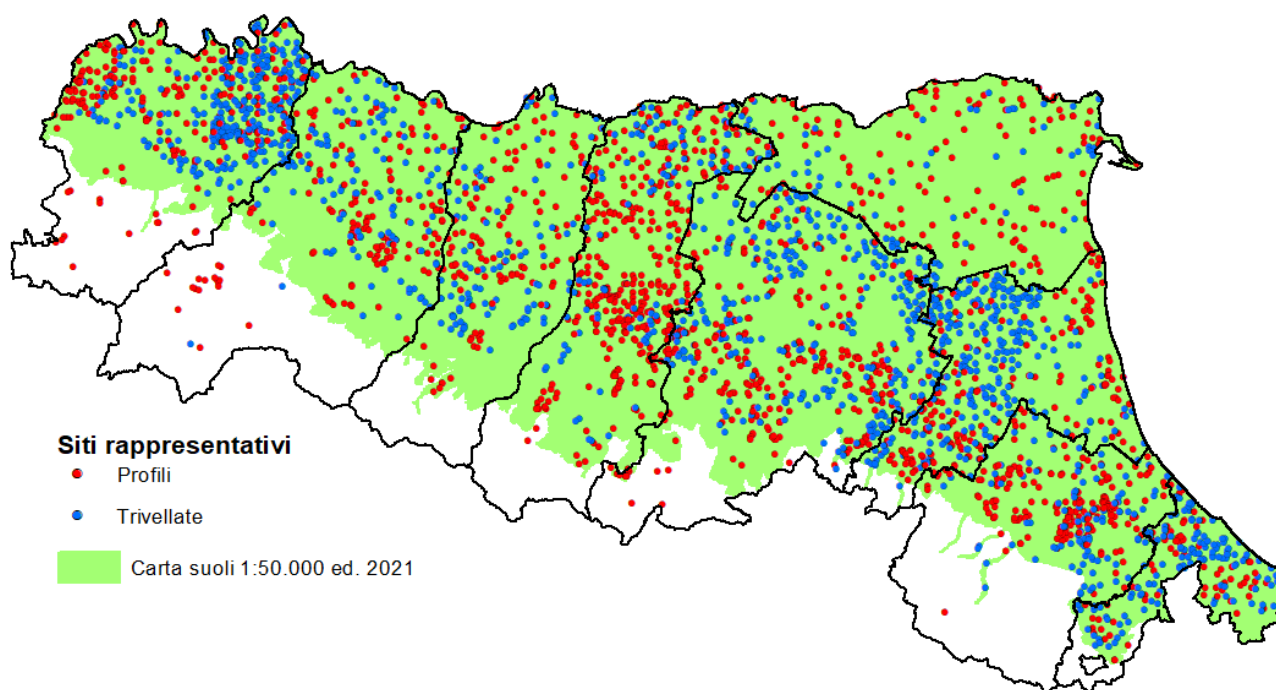


Figura 5. Distribuzione dei 3265 siti rappresentativi in pianura ed in Appennino rispetto all'estensione della carta ed. 2021

⁵ **Contatto lithico**: limite fra il suolo e il materiale coerente sottostante. Ci sono poche fessure che possono essere penetrate dalle radici e la loro spaziatura orizzontale è di 10 cm o più. Il materiale sottostante deve essere sufficientemente coerente da umido da rendere lo scavo a mano con una vanga impraticabile, sebbene il materiale possa essere raschiato o graffiato con una vanga. Deve essere inoltre fortemente cementato e indurito. Es. arenarie cementate, calcari, graniti, basalti ecc..

⁶ **Contatto paralithico**: limite fra il suolo e il materiale sottostante, che è relativamente inalterato, può essere da molto debolmente cementato a moderatamente cementato. La cementazione, la densità apparente e l'organizzazione è tale che le radici non possono penetrare se non nelle fessure, che devono comunque avere una spaziatura orizzontale di 10 cm o più. Comunemente questi materiali sono rocce parzialmente alterate o debolmente consolidate come arenarie poco cementate, argilliti, siltiti o scisti.



I parametri selezionati sono stati valutati attentamente e i dati ritenuti poco attendibili sono stati scartati.

Nel data set fornito possono essere presenti anche dati di calcare attivo e CSC (per andare incontro alle richieste degli utilizzatori in campo agronomico) ma questi parametri non entrano nel data set minimo richiesto. Su questi due ultimi parametri ed in specifico sulla capacità di scambio cationico non sono state eseguite valutazioni di qualità del dato.

Anche nell'edizione 2021, così come era stato fatto nell'edizione 2018, considerata la cronica mancanza di siti locali nelle aree collinari e montane, si è deciso d'integrare i siti locali con **siti di riferimento regionali**.

Si è cercato in questa edizione di scegliere comunque, per quanto possibile, il sito regionale più adatto alla situazione locale. In questo modo il 91% delle delineazioni sono dotate di siti rappresentativi per ogni suolo che le compongono e solo il 9% presentano il sito rappresentativo solo per alcuni dei suoli presenti. I 70 poligoni costituiti al 100% di affioramenti rocciosi (sigla ZR) sono stati considerati completi.

Solo per nove suoli (MCR, BIA1, BIA2, CFL, PAD, SCSz, TORz, VES2, ZR1) non sono disponibili siti rappresentativi regionali analizzati.

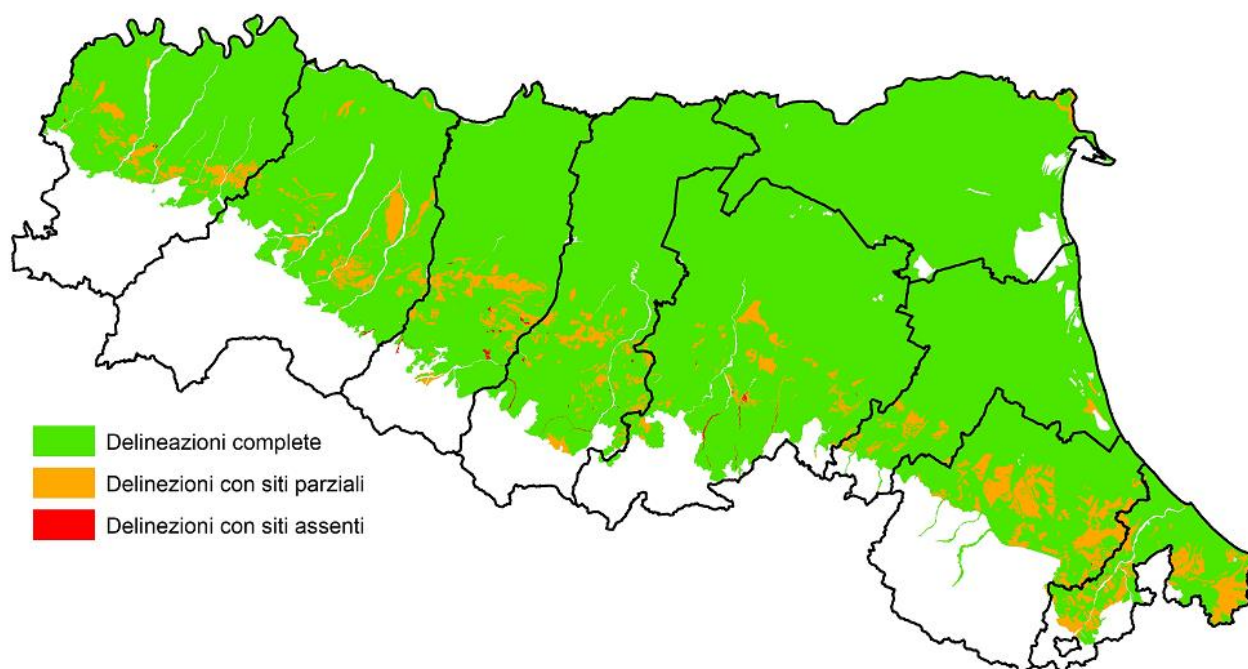


Figura 6. Rappresentazione della distribuzione delle delineazioni dell'edizione 2021

Sul 9% delle delineazioni incomplete l'attribuzione al sito regionale è stata fatta solo considerando il tipo di suolo e non le eventuali variazioni locali. In questi casi la voce "rappresentatività del sito di riferimento nella delineazione" non viene compilata e nel campo "localizzazione" è presente la scritta "regionale".

Suoli presenti				Distribuzione			Siti di riferimento nella delineazione		
archivio	suolo	Nome suolo	Rappresentatività regionale	%	Fiducia	localizzazione	sito	Rappresentatività	Localizzazione
F9002	TRV1	TRAVO, 15-40% pendenti	Osservazioni rappresentative	40	Basso	nelle parti convesse	9402	rappresentativo	regionale
F9001	NIB	NIBBIANO	Osservazioni rappresentative	30	Basso	nelle parti concave dove il suolo è più profondo	9412		regionale
F9002	TRV2	TRAVO, 40-80% pendenti	Osservazioni rappresentative	20	Basso	in zone più pendenti	9878	rappresentativo	delineazioni vicine
F9002	BIAz	Variante dei suoli BIANA a ricopertura calcarea	Osservazioni rappresentative	10	Basso	in zone concave meno pendenti	9891	molto rappresentativo	nella delineazione

Tabella 1. Esempio di descrizione della delineazione **15998**. Per i suoli principali i siti correlati sono i profili rappresentativi regionali (parti in giallo)



In questo modo solo il 7% dei poligoni presentano il sito rappresentativo solo per alcuni dei suoli presenti. Se si considerano le superfici complessive si riscontra che il **99.7%** della carta dei suoli (sono esclusi alvei e corpi d'acqua) presenta i siti completi.

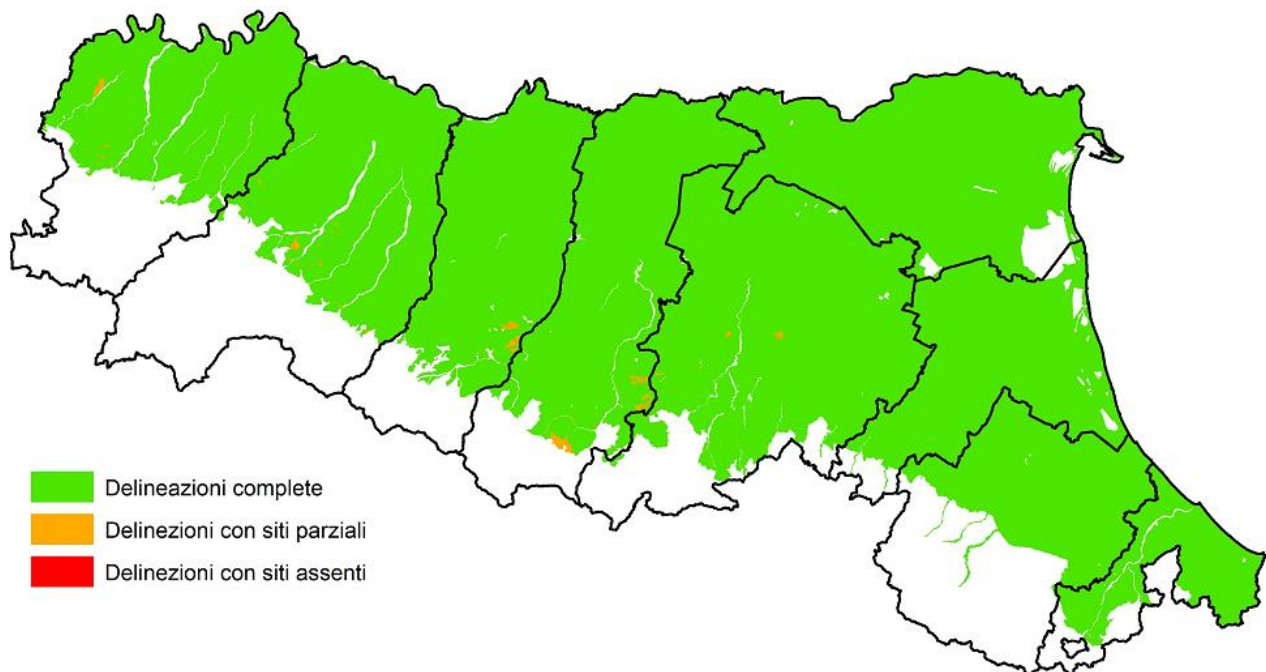


Figura 7. Rappresentazione della distribuzione delle delineazioni dell'edizione 2021 usando sia i siti locali che quelli regionali



1.2 Potenziali utilizzi ed elaborazioni dei dati relativi ai siti rappresentativi

I siti rappresentativi possono essere utilizzati per molteplici scopi applicativi quali ad esempio:

- Riconoscimento di suoli aziendali
- Input per la gestione irrigua (es. IRRINET)
- Input per modelli di bilancio idrico (es. MACRO, CRITERIA, PELMO)
- Input per alcuni parametri utili per piani di concimazione/fertilizzazione
- Input per modelli di analisi di rischio per la caratterizzazione di siti contaminati (es. ASTM E2081)

A seconda del tipo di utilizzo che s'intende fare e della scala di rappresentazione i dati possono essere consultati e di conseguenza elaborati in modo diverso. Le elaborazioni possibili potrebbero essere:

- 1) di tipo sito-specifica
- 2) per suolo dominante

1.2.1 Elaborazione sito-specifica

La elaborazione di tipo sito-specifica è la più complessa perché richiede una certa conoscenza dei suoli nell'area d'interesse. Questo tipo di elaborazione è particolarmente adatta per il riconoscimento di suoli aziendali, per la caratterizzazione di siti contaminati (dati di input per modelli di analisi di rischio) e per piani di concimazione.

Come già esposto nelle pagine precedenti i dati sono forniti per delimitazione e considerando la scala di pubblicazione 1:50.000, che viene definita di semi-dettaglio, sono rari i casi in cui vi sia un solo suolo nel poligono (**8%** sul totale delle delimitazioni). Le percentuali di diffusione dei suoli sono stimate condizionate dalla disponibilità di osservazioni pedologiche, dalla comprensione della complessità dei modelli di distribuzione suolo-paesaggio e dalla disponibilità di cartografie accessorie (ad esempio un DTM ad alta risoluzione). Se la zona che si vuole modellizzare ha un'estensione areale molto piccola (ad esempio un singolo appezzamento) non è affatto scontato che in essa vi ricadano i suoli dominanti presenti nella delimitazione. Gli strumenti per facilitare la scelta del suolo locale possono essere:

- descrizione della localizzazione del suolo nella delimitazione;
- consultazione dei dati di analisi terreni (dati SACT)
- disponibilità di analisi chimico-fisiche private locali
- applicativo di riconoscimento dei suoli disponibile sul sito "Catalogo dei suoli emiliano-romagnoli"



Figura 8. Canali distributori nella piana deltizia ferrarese (IT 2000)

La descrizione della distribuzione dei suoli nella delimitazione consiste in alcuni casi di notazioni di tipo morfologico, in altri di tipo geografico (es. lungo il limite Nord-Ovest) o di toponimo (es. a Nord di Ferrara). Per le notazioni di tipo morfologico spesso è utile l'attenta osservazione delle foto aeree (anche di anni diversi) che sono disponibili sul sito WEBGIS (va attivato il livello cartografico **Foto aree-satellite**). Spesso la presenza di rotte fluviali, paleocanali, barre di meandro, dossi, ghiaie superficiali sono ben visibili: in particolare le immagini più adatte sono ORTOAGEA 2008 a colori (volo estivo), che è molto efficace in pianura per distinzione dei suoli con le ghiaie, in particolare suoli arrossati nelle province di Piacenza e Parma, mentre in collina

sono molto evidenti frane, scivolamenti superficiali e forme di erosione; ORTOSAT 2003 in bianco e nero per il riconoscimento di ventagli di rotta e affini; ORTOAGEA 2011 (volo primaverile) per il riconoscimento di suoli evoluti (colorazioni più intense) in ambiente collinare e di terrazzo intravallivo; volo IT 2000 per la piana



deltizia ferrarese. Ma tutte le immagini andrebbero viste in sequenza, perché non c'è una regola fissa. Infatti a seconda dell'anno e della stagione di ripresa alcuni elementi morfologici sono più o meno distinguibili.



Figura 9. Alta pianura parmense con suoli ghiaiosi arrossati (ORTOAGEA 2008)



Figura 10. Rotta fluviale a Nord di Sant'Agostino (FE) (ORTOAGEA 2011)

Se la zona d'interesse è collocata al limite o a cavallo di due delineazioni la possibilità che vi ricadono suoli definiti subordinati nella delineazione è molto più alta. Questo perché quasi sempre il limite fra due delineazioni non è mai netto (a meno che non si tratti di scarpate molto evidenti) ma sempre sfumato (da pochi metri a centinaia di metri). Questo vuol dire che è possibile rinvenire in questa fascia suoli più tipici della delineazione limitrofa.

ID Sito SACT	25079
precisione localizzazione	centroide del quadrato di riferimento con precisione <50 m
data campionamento	15/06/1989
profondità campione	superficiale
profondità min (cm)	0
profondità max (cm)	45
sabbia (%)	10
limo (%)	45
argilla (%)	45
classe argilla	argilla 40% - 45%
pH	7.9
calcare totale (%)	4
calcare attivo (%)	2
sostanza organica (%)	5.5
K2O assimil. (ppm)	266
P2O5 assimil. (ppm)	58
N totale %	2.7
tipo campione	Composito
sigla suolo	LC01
nome suolo	LE CONTANE argillosa limosa



La consultazione dei **campioni analisi terreni (dati SACT⁷)**, se presenti nelle vicinanze della zona di interesse, sono utilissimi perché quasi sempre ricollegati ad un suolo regionale. Anche nel caso che il dato non sia ricollegato la visione dei dati analitici (quasi sempre riferiti allo strato superficiale) permettono con buona approssimazione di scegliere il sito più simile.

Analogamente se si ha la fortuna di avere dati analitici locali o stime di campagna: il procedimento di riconoscimento è simile a quello con i dati SACT. In questo caso la scelta è ancora più facile perché sicuri di avere dati locali.

Figura 11. Esempio dell'interfaccia di consultazione di un sito SACT

⁷ SACT: acronimo per Servizio Analisi Consulenza Terreni

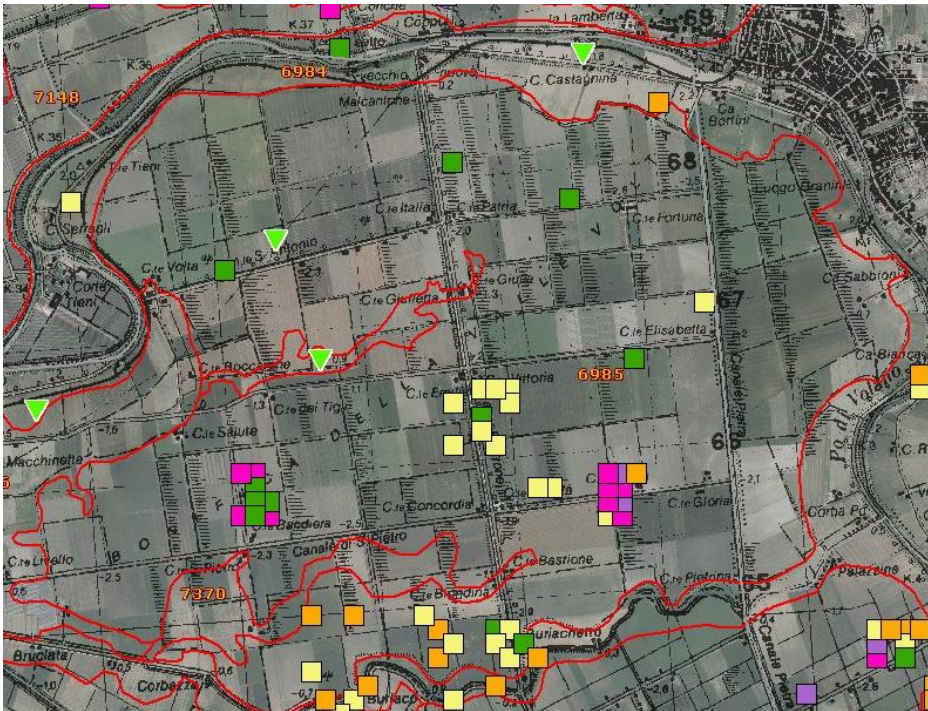


Figura 12. Delineazione 6985 sul sito WEBGIS

Il sito SACT 25079 preso come esempio ricade nella delineazione 6985 che presenta per 45% della sua superficie i suoli LE CONTANE argilloso limosi (localizzati nelle zone maggiormente depresse in cui rimangono i resti dei depositi di palude).

Il sito di riferimento per questi suoli in questa delineazione è il n. 3207 che presenta i seguenti valori analitici:

PARAMETRI ANALITICI/STIMA DEL SITO DI RIFERIMENTO																							
DELINEAZIONE N. 6985, SUOLO: LCO1																		METADATI					
SITO	N. oriz.	ORIZZONTI DEL SITO						ANALISI															
		Orizzonte genetico			Prof. orizzonte			Campione		Analisi chimico-fisiche										Analisi fisiche			
		Discont.	Orizmast.	Sufalf.	Sufnum	min cm	max cm	Schel. %	N. camp	min cm	max cm	Sabbia	Limo	Argilla	Classe	pH-H2O	C.org.	Sost.org.	Calc. Tot.	Calc. Att.	C. S.C.	Dens. App.	KSat
3207	1		A	p		0	45	0	1	0	45	8,3	43	48,7	AL	7,8	2,784	4,8	9	6,7	28,96	1,2	
3207	2		B	g		45	65	0	1	45	65	4,3	46,4	49,3	AL	7,8	2,558	4,41	8	6,5	28	1,15	
3207	3		OB			65	85	0	1	65	85	61	26,2	12,8	FS	6,6	17,725	30,56	0	0	37,44	0,5	
3207	4		O	a		85	100	0	1	85	100	88,2	11,6	0,2	S	5,4	28,797	49,65	0	0	36,18	0,24	
3207	5		O	e		100	120	0	1	100	120	82,3	12,7	5	SF	5,6	24,203	41,73	0	0	37,8	0,24	
3207	6		C	g		120	140	0	1	120	140	47,5	40,8	11,7	F	3,9	6,38	11	1	0,5	30,41	1,17	

Figura 13. Dati analitici del sito 3207

Come si può notare c'è una buona corrispondenza fra i valori di tessitura, sostanza organica e pH fra i dati del SACT e quelli relativi all'orizzonte superficiale del sito di riferimento. I valori di calcare totale e calcare attivo sono un po' diversi, ma rientrano nel range di variabilità piuttosto elevato di questi suoli per questo carattere.

PARAMETRO	SITO SACT 25079	SITO RAPP. 3207
Anno campionamento	1989	1995
Profondità	0-45 cm	0-45 cm
Sabbia	10	8,3
Limo	45	43
Argilla	45	48,7
Sostanza organica	5,5	4,8
pH	7,9	7,8
Calcare totale	4	9
Calcare attivo	2	8

Tabella 2. Confronto fra i dati analitici del sito SACT e del sito di riferimento

Per fare un altro esempio nelle tabelle sottostanti sono stati messi a confronto, per lo strato superficiale, i **valori medi** dei parametri fisico-chimici dei suoli più diffusi in pianura ed in collina dei dati SACT e dei siti di riferimento. Nonostante che i siti di riferimento siano numericamente molto inferiori ai dati SACT si può notare che i valori medi siano assolutamente confrontabili, con differenze molto piccole. Anche per alcuni suoli di collina molto diffusi i dati comparati risultano molto simili.



Nel caso dei suoli di media montagna, a causa anche del basso numero di siti rappresentativi, ci sono maggiori scostamenti fra i valori ed in particolare per quelli di sostanza organica. I dati sono riferiti all'orizzonte superficiale (Ap).

Suoli	SMB1		SMB2		BEL1		SEC1		VIL2		LBA1		TEG2		CTL4		RSD1	
	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI
Numero campioni	3903	177	3226	195	1728	90	1393	84	953	85	949	90	905	65	889	52	939	99
Sabbia	21.5	25.3	15.2	18.5	25.0	22.9	37.1	39.6	41.7	43.2	8.8	12.9	20.7	25	19	17	6	11.3
Argilla	23.2	23.9	31.4	31.6	25.3	25.2	21.8	22.0	17	19.9	42.5	42.9	31.5	31.4	31.8	32.5	49.2	49.1
pH in acqua	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.91	7.9	7.9	7.8	8.0	7.6	7.5	7.9	7.9	7.8	8.0
Calcare totale	18.3	17.8	17.2	16.4	17.2	17.7	17	16.4	18.1	16.9	17.3	16.9	1.8	1.6	7.1	8	14.3	14.2
Sostanza organica	1.7	1.8	2	1.9	1.9	2.0	1.5	1.5	1.4	1.5	2.1	2.0	2	2	2	2.2	2.3	2.1

Tabella 3. Confronto valori medi fra dati SACT e siti rappresentativi per i suoli di **pianura** più diffusi.

Suoli	BAN3		DEM		GRI3		FGG1		CRT		VCB		SFA1	
	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI
Numero campioni	217	35	192	29	94	15	104	10	103	12	74	11	73	6
Sabbia	13.2	9.9	11.3	11.4	13.2	13.2	54	35.6	23.7	19	19.2	12.9	35.1	32.4
Argilla	37	37.3	37.2	36	36.3	35.4	12.7	19.6	46.6	46.7	46.7	50.5	24.2	23.8
pH in acqua	8.1	8	8.1	8	8.1	8.0	8.1	7.9	7.8	7.8	7.8	8.3	8.0	7.8
Calcare totale	23.4	22.1	21.6	20.5	20.3	20.3	16.2	18.8	19.7	23.3	19.4	16.1	18.6	20.0
Sostanza organica	1.3	1.7	1.5	2.2	1.3	1.5	0.9	1.0	2.4	2.3	1.9	2.1	1.5	1.7

Tabella 4. Confronto valori medi fra dati SACT e siti rappresentativi per alcuni suoli agricoli del **basso Appennino**.

Suoli	VLE		VIR		PAN		POL		CLL		TVN1		SIG	
	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI	SACT	SITI
Numero campioni	100	3	100	4	84	3	80	2	74	5	63	4	61	2
Sabbia	31.35	34	25.18	20.4	28.1	22	27.6	17	31	29.1	24.3	23.7	19	12
Argilla	29	28	27.8	30.5	26	29	29.2	31	21.8	24.4	27	30.6	38.2	38
pH in acqua	7.9	7.7	7.9	7.9	7.9	7.8	7.9	8	7.8	7.9	7.9	7.75	7.8	7.9
Calcare totale	3.7	3	14.0	11.4	17.6	21	17.7	19	28.5	19.7	21.2	13.3	16.7	19
Sostanza organica	2.3	3.2	2.1	2.5	2.4	2.9	2.4	4	2.1	2.2	1.7	2.1	3.2	2.7

Tabella 5. Confronto valori medi fra dati SACT e siti rappresentativi per alcuni suoli agricoli del **medio Appennino**.



1.2.2 Elaborazione per suolo dominante

Nel caso che la zona d'interesse sia vasta come ad esempio un comune o una provincia o addirittura l'intera regione è chiaro che la scelta del sito deve essere fatta con criteri diversi di quella sito-specifica. Questo tipo di elaborazione è la più comune quando si vogliono eseguire valutazioni complesse che mettono in relazione dati del suolo con dati climatici, agronomici o di altro tipo (es. stima del bilancio idrico).

In questi casi eseguire la modellizzazione utilizzando il suolo dominante del poligono, ossia il suolo con le % più alte, è una delle scelte possibili e forse la più corretta.

Questa scelta risulta facile tranne che in pochi casi. Infatti, se si considerano solo le delimitazioni di pianura, risulta che il **36%** presenta il suolo dominante con percentuali $\geq 75\%$; nel **49%** dei casi il suolo dominante è compreso fra **50 e 74%** e solo nel **15%** dei casi non esiste un solo suolo dominante (complessi o associazioni di suolo) per cui il problema della scelta del sito si pone solo in quest'ultimo caso.

Nel basso Appennino invece la situazione è molto più complessa in quanto solo il **19%** delle delimitazioni ricade nel caso di suolo dominante con percentuali $\geq 75\%$, il **36%** ricade nel secondo caso e ben il **55%** non presenta un suolo dominante. Va meglio in medio Appennino dove le percentuali sono, nell'ordine, **29%, 53% e 18%**. L'estrema variabilità pedologica in ambiente collinare e montano infatti permette raramente di definire consociazioni⁸ di suoli; si tratta quasi sempre di complessi⁹ di suoli che anche a scala di maggior dettaglio non riescono ad essere cartografati separatamente. Va rimarcato comunque che in questo ambiente il principale fattore di pedogenesi risulta la **litologia del substrato** per cui, pur tenendo presente la particolare complessità della geologia dell'Appennino emiliano-romagnolo, nell'ambito di una delimitazione vi

è una certa uniformità di tessitura e di parametri chimici come calcare totale e pH.

I caratteri di **maggiore variabilità** riguardano la **profondità del suolo** al substrato coerente e la quantità di **scheletro** all'interno del profilo. Questa omogeneità di litologia è tipica dei suoli che si sviluppano sulle argille grigio-azzurre (argille siltose), sul caotico (argille), sulla formazione a Colombacci (argille), sulla formazione della Val Luretta (argille), sulle marne delle formazioni di Pantano-Cigarellino, sulle arenarie e le marne della formazione di Monte Adone.

Se il tipo di elaborazione che s'intende fare interessa ad esempio solo gli strati superficiali in questi casi potrebbe convenire eseguire la media dei parametri. Se invece l'elaborazione deve tenere conto anche della profondità del suolo al substrato allora si deve valutare caso per caso cosa s'intende fare (ad es. scegliere il suolo meno profondo oppure il più profondo oppure fare una media ponderata).

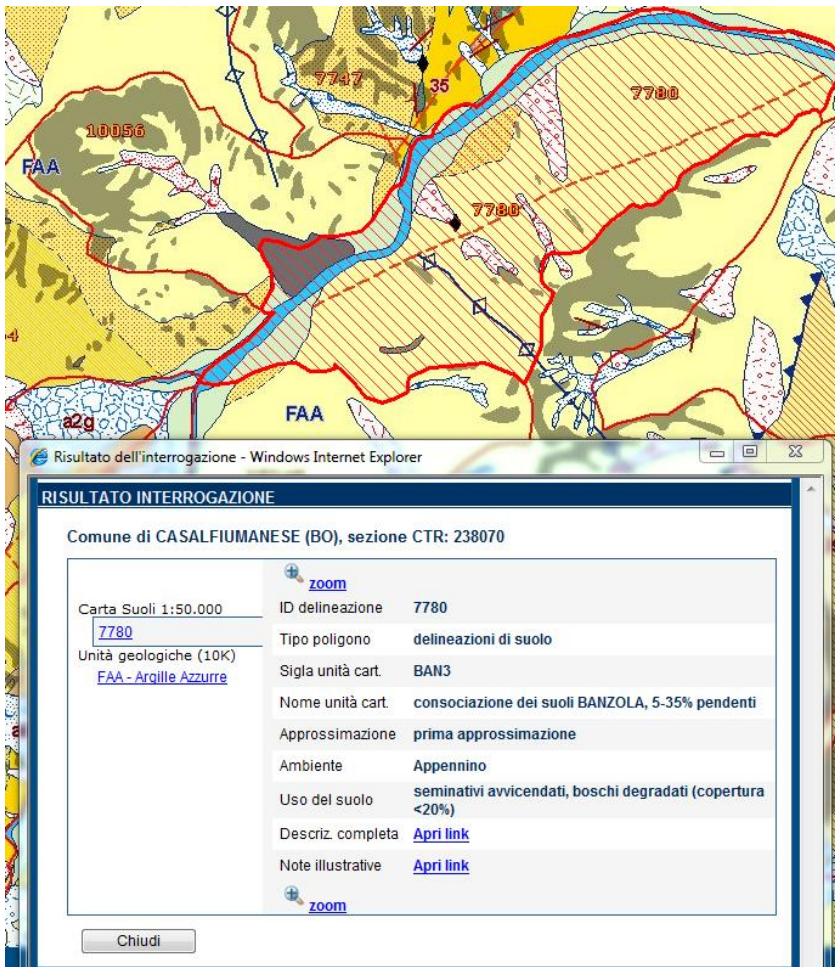


Figura 14. Esempio di consultazione integrata fra la carta dei suoli e la carta geologica sul sito WEBGIS (non più possibile)

⁸ **Consociazione:** le aree delimitate sono dominate da un singolo suolo e da suoli simili. Almeno il 50% dei suoli in ogni delimitazione di una consociazione appartengono alla stessa unità tassonomica e danno il nome all'unità cartografica. La maggior parte del resto della delimitazione consiste di suoli così simili al suolo dominante che le caratteristiche differenziali non incidono in modo significativo.

⁹ **Complesso:** le aree delimitate sono dominate da due o più suoli dissimili che sono disposti secondo un "pattern" che si ripete regolarmente, conosciuto e definibile. I suoli principali di un complesso non possono essere cartografati separatamente ad una scala di maggior dettaglio.



Vi è invece una notevole variabilità tessiturale sul cosiddetto “Quaternario marino” (Formazioni delle Sabbie Gialle, Costamezzana, Sintemi del torrente Stirone, di Badagnano e del t. Chero): si trovano suoli sabbiosi, argillosi e a tessitura media. Analoga variabilità tessiturale (ad eccezione delle classi argillose che non sono presenti) si riscontra sui vari membri della formazione della Marnosa-Arenacea. In questi casi si è cercato, per quanto possibile, di delimitare poligoni abbastanza omogenei come tessitura. Questo purtroppo non è stato possibile per le unità sulla Marnosa-Arenacea, dove la tessitura ha una variabilità locale elevatissima (quasi metro per metro). Nella descrizione introduttiva dei suoli di collina le principali formazioni geologiche da cui il suolo si è formato sono sempre indicate.

UNITA' TIPOLOGICHE DI SUOLO

Suolo		
Archivio	Suolo	Nome del Suolo
F9002	BAN3	BANZOLA franco argilloso limosi, 5-35% pendenti

Descrizione introduttiva

I suoli BANZOLA franco argilloso limosi, 5-35% pendenti sono profondi, a tessitura franca argillosa limosa o argillosa limosa, moderatamente alcalini, molto calcarei. Il substrato, costituito da rocce prevalentemente argillose o pelitiche, con rare e sottili intercalazioni sabbiose di età pliocenica (Formazione delle argille azzurre -FAA-, Formazione delle Arenarie di Borello -FAA2), è presente tra 50 e 100 cm dalla superficie, con contatto paralitico oltre i primi 80 cm. I suoli BANZOLA franco argilloso limosi, 5-35% pendenti sono presenti nel basso Appennino emiliano-romagnolo, su sommità arrotondate e in versanti sottoposti ad intensa erosione idrica di tipo laminare, tipicamente in presenza di profili convessi o su tratti rettilinei dovuti ad interventi antropici di rimodellamento dei versanti. In queste terre la pendenza è tipicamente compresa tra il 5 ed il 35%, con i valori minori sulle sommità e le parti alte dei versanti. L'uso del suolo è a foraggiare, seminativi annuali e vigneti.

Profilo rappresentativo

Data aggiornamento	Profilo Rappresentativo	N° profili	Grado Fiducia
30/09/2014	D3508P0006	38	Molto alto

Classificazioni

Soil Taxonomy	W.R.B	Legenda F.A.O.
(2010) Oxyaquic Ustorthents fine, mixed, active, calcareous, mesic	(2007) Haplic Regosols (Calcaric, Oxyaquic)	

Orizzonti genetici del suolo (caratteri modal)

N°	OrizGen	ProfLimSup	Spes	Arg	Sab	%Schel	S.O.	CalcTot	pH	Ksat	BD	Concentrazioni	%Conc	Qualità
1	Ap	0	50	38,0	10,0	0	1,3	22,0	8,0			masse non cementate di carbonato di calcio	0	alta
2	AC	50	35	38,0	5,0	0	1,3	22,0	8,1			masse non cementate di carbonato di calcio	0	alta
3	C	50		39,0	5,0	0	0,5	22,0	8,2			masse non cementate di carbonato di calcio		alta
4	Cr	90		39,0	5,0	0	0,5	20,0	8,2			masse non cementate di ferro e manganese	0	media

Figura 15. Esempio interfaccia di descrizione di una unità tipologica di suolo di collina

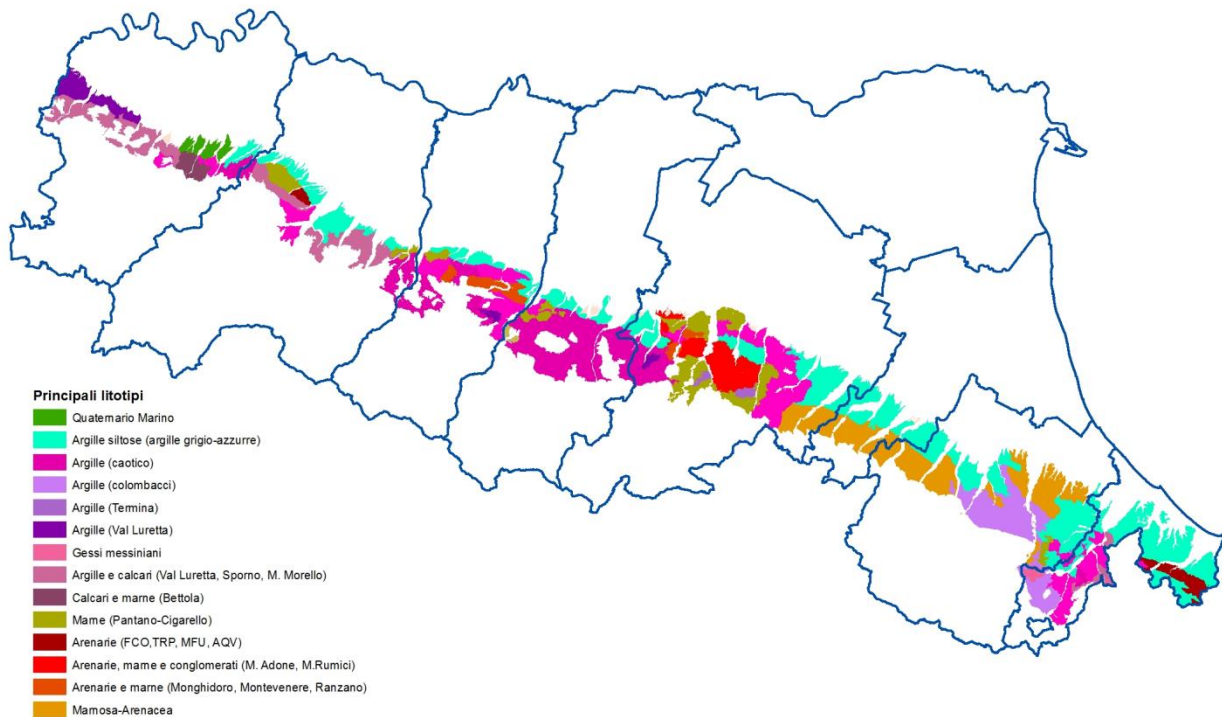


Figura 16. Distribuzione dei principali litotipi in ambiente collinare dove presente la carta dei suoli ed. 2018



2 DATI FORNITI E METODI UTILIZZATI PER LA STIMA

2.1 Parametri chimico-fisici

I siti presenti nel database provengono dalla banca dati dei suoli che raccoglie dati relativi a siti campionati in un arco temporale abbastanza lungo (dal 1976 al 2021). I metodi di laboratorio nel tempo sono cambiati per cui negli anni '80 e '90 il riferimento principale era S.I.S.S. - Metodi normalizzati di analisi del suolo - Edagricole Bologna (1985) ed in particolari i primi anni '80, quando ancora esisteva il laboratorio regionale di Settefonti, sono stati un'epoca di sperimentazione di metodi analitici; con l'uscita nel 2000 dei METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO a cura del Ministero delle politiche Agricole i metodi si sono stabilizzati.

I parametri chimico-fisici analizzati in laboratorio sono **sabbia, limo, argilla, pH, C organico e calcare totale**. Inoltre, per i siti dove sono disponibili, anche **calcare attivo e capacità di scambio cationico**. Solo in rari casi il dato viene assegnato per stima di esperto.

Per quanto riguarda le classi granulometriche la classificazione adottata è quella **USDA** che suddivide le particelle con diametro <2 mm in 3 raggruppamenti:

- Sabbia: 2000-50 micron
- Limo: 50-2 micron
- Argilla: <2 micron

La **% di scheletro** (particelle di diametro >2 mm) è stimata in campagna ed è espressa in volume. La **classe tessiturale USDA** sintetizza in un aggettivo le percentuali relative di sabbia, limo e argilla secondo questo triangolo:

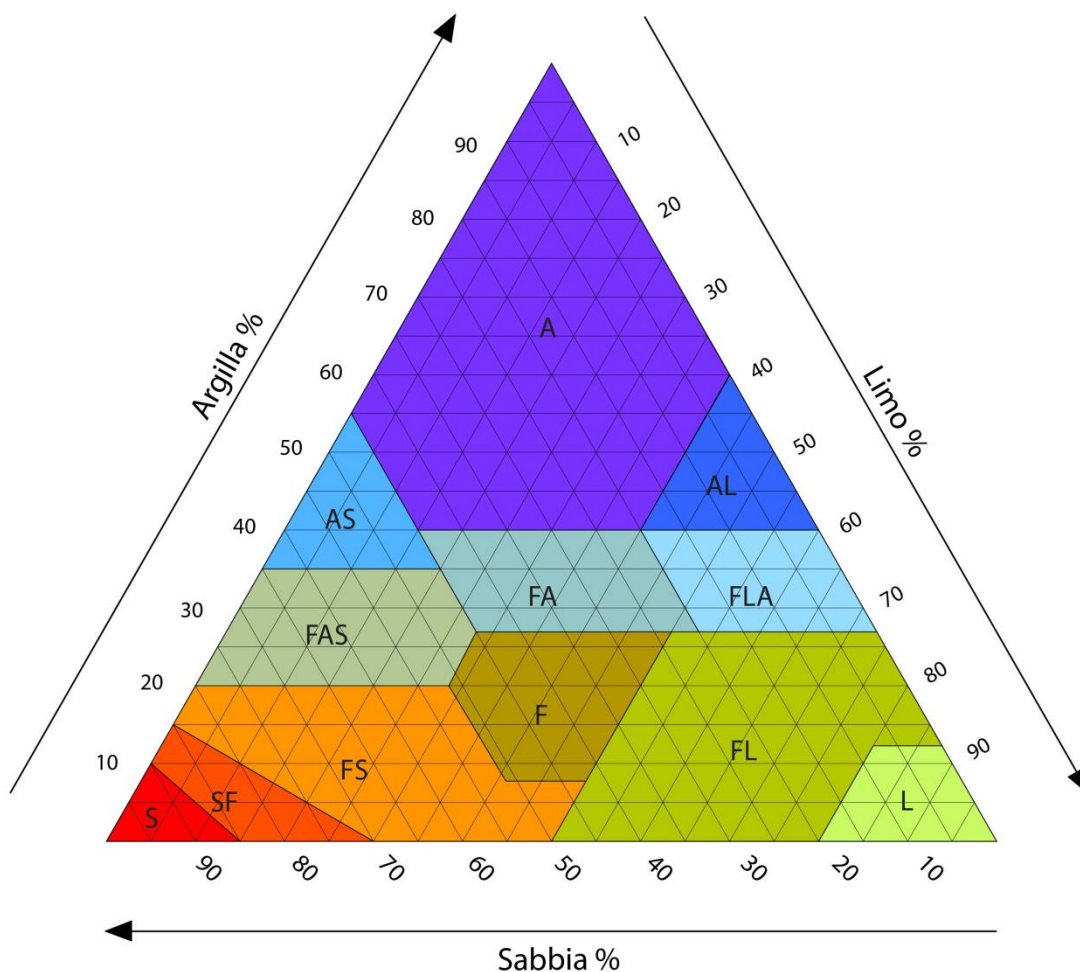


Figura 17. Triangolo delle classi tessiturali USDA



2.1.1 Metodi di laboratorio dei parametri chimico-fisici

I metodi analitici adottati per i parametri chimico-fisici sono i seguenti:

PARAMETRO	COD ANALISI	METODO	UNITA MISURA	BIBLIOGRAFIA
Carbonio organico	1232	Carbonio organico: analizzatore elementare	g/kg-1	Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico. METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. Roma, 2000. METODO VII.1
	83	Carbonio organico: Lotti	g/kg-1	Lotti G.: Determinazione della sostanza organica del terreno. Ann. Fac. Agr. Univ. Pisa 17,5,113 (1956)
	85	Carbonio organico: Springler e Klee	g/kg-1	Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico. METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. Roma, 2000. METODO VII.2
	87	Carbonio organico: Walkley and Black	g/kg-1	Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico. METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. Roma, 2000. METODO VII.3
	6000	dato stimato sulla base di dati SACT nelle vicinanze	g/kg-1	Stima di esperto
	6001	dato stimato sulla base di un profilo con caratteri simili	g/kg-1	Stima di esperto
pH	110	pH in H ₂ O; rapporto del terreno 1:2,5		Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico. METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. Roma, 2000. METODO III.1
Sabbia	96	Granulometria: setacci	g/kg-1	Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico. METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. Roma, 2000. METODO II.5
Sabbia, limo, argilla	94	Granulometria: pipetta (tessitura apparente)	g/kg-1	Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico. METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. Roma, 2000. METODO II.5
	93	Granulometria: densimetro (Bouycous)	g/kg-1	Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico. METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. Roma, 2000. METODO II.6
Calcare totale	80	Calcare totale: gasvolumetrico	g/kg-1	Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico. METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. Roma, 2000. METODO V.1
Calcare attivo	79	Calcare attivo: Droineau	g/kg-1	Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico. METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. Roma, 2000. METODO V.2
CSC	90	Complesso di scambio: BaCl ₂ a pH 8,1 (Cecconi-Polesello)	meq/100g	Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico. METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. Roma, 2000. METODO XIII.2
	91	Complesso di scambio: NH ₄ acetato	meq/100g	Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali. Osservatorio Nazionale Pedologico. METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. Roma, 2000. METODO XIII.1
Tutti	904			Stima di esperto

Tabella 6. Elenco dei metodi di laboratorio utilizzati



2.2 Parametri fisici e pedofunzioni di trasferimento

I parametri fisici presenti nel data set dei siti rappresentativi sono la **densità apparente (bulk density, BD)** e la **conducibilità idrica satura o permeabilità (Ksat)**. Non essendo questi parametri generalmente disponibili, nella stragrande maggioranza dei casi essi sono stati calcolati con algoritmi (**pedofunzioni di trasferimento o PTF**). Tali algoritmi, ricavati dai dati misurati, utilizzano parametri di più rapida ed economica acquisizione come la tessitura e il contenuto di carbonio organico. Le misure di densità apparente sono state effettuate in laboratorio su campioni prelevati in campo con fustella (volume 100 cc); le misure di Ksat derivano da prove di campo (colonna di gesso, permeametro di Guelph) o di laboratorio (permeametro a carico costante).

2.2.1 Densità apparente

La densità esprime la massa del terreno riferita all'unità di volume. Si distingue fra la *densità reale*, che prende in considerazione solo il volume della frazione solida, e la *densità apparente*, che considera anche la porosità. La densità apparente è sempre minore di quella reale e può cambiare sensibilmente in relazione alla tessitura, alla sostanza organica, al contenuto di umidità, alla struttura del suolo e alle sue interazioni con la gestione agronomica.

Sulla densità apparente nei suoli dell'Emilia-Romagna sono state condotte sperimentazioni nel corso di vari progetti quali:

- Caratterizzazione fisico-idrologica di alcuni tipi di suolo di pianura- Convenzione Dip. Agronomia. Università Bologna (1997-1998)
- Progetto S.I.N.A. - Taratura modelli e pedofunzioni in suoli significativi della pianura emiliana romagnola in aree a forte rischio ambientale (1998-1999). Convenzione con CNR-IGES
- Progetto S.I.N.A. 2. Studio del comportamento fisico-idrologico degli orizzonti superficiali del suolo (2000-2002). Convenzione con CNR-ISE (UOS Firenze)
- Calcolo della densità apparente dei suoli sabbiosi (2010). Convenzione con CNR-IRPI (UOS Firenze)
- "Sviluppo di applicazioni per la stima della profondità della falda ipodermica, della permeabilità e del gruppo idrologico dei suoli della pianura emiliano-romagnola" (2012). Convenzione con CNR-IRPI (UOS Firenze)¹⁰

Lo scopo dei progetti è stato quello di individuare la correlazione tra alcuni fattori come ad esempio la gestione agronomica (lavorazione dell'orizzonte Ap), il contenuto di umidità, la tessitura, il contenuto di C organico e i valori di densità apparente per definire PTF valide a scala regionale; inoltre sono state messe a confronto varie PTF di letteratura internazionale per verificarne l'efficacia sui dati locali.

Per le applicazioni illustrate nel paragrafo 1.2.1 è importante avere la densità apparente in condizioni almeno vicine alla capacità di campo e di conseguenza per la messa a punto delle pedofunzioni sono stati utilizzati solo i dati misurati nelle stagioni maggiormente piovose per il territorio regionale (sono stati esclusi i dati di luglio, agosto e settembre dal data set di calibrazione).

Gruppi tessiturali	Classi USDA
GROSSOLANO	Sabbie
	Sabbie franche
	Franco sabbioso
MEDIO	Franca
	Franca limosa
	Limo
	Franca argillosa
	Franco argillosa sabbiosa
	Franca argillosa limosa
FINE	Argilla sabbiosa
	Argilla limosa
	Argilla
	Organico

A causa del numero esiguo di osservazioni per le singole classi tessiturali i risultati vengono presentati raggruppati per Gruppi Tessiturali così come definiti nella tabella di fianco.

I gruppi tessiturali considerati sono quelli proposti dai "Disciplinari di produzione integrata"¹¹

Tabella 7. Gruppi tessiturali

¹⁰ Ora CNR-IBIMET

¹¹ <http://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/produzioni-agroalimentari/temi/disciplinari-produzione-integrata>



Così come già evidenziato nelle relazioni dei singoli progetti, i suoli emiliano-romagnoli risultano mediamente più densi dei valori di letteratura a parità di tessitura, anche rispetto alle regioni limitrofe (Veneto, Toscana): nella tabella 8 è riportata la descrizione statistica dei dati misurati divisi per Gruppo Tessiturale e per orizzonte.

Orizzonte	gruppo tessiturale	BD Media Mg m ⁻³	BD Minimo Mg m ⁻³	BD Massimo Mg m ⁻³	BD N	BD Dev. Std Mg m ⁻³	BD Err. Std Mg m ⁻³
A forestali	tutte	1.304	1.06	1.43	7	0.143	0.054
A non lavorati	tutte	1.509	1.3	1.76	10	0.118	0.037
Ap	M	1.516	1.12	1.86	151	0.162	0.013
	G	1.494	1.125	1.77	21	0.149	0.033
	F	1.425	1.105	1.785	89	0.167	0.018
B pianura	M	1.575	1.21	1.92	130	0.142	0.012
	G	1.435	1.34	1.59	6	0.089	0.036
	F	1.490	1.11	1.88	95	0.198	0.020
B collina	tutte	1.588	1.06	1.88	29	0.149	0.028
C pianura	M	1.557	1.23	1.8	20	0.167	0.037
	G	1.472	1.28	1.76	36	0.123	0.020
	F	1.380	1.03	1.62	6	0.195	0.079
C collina	tutte	1.571	1.28	1.86	36	0.118	0.020
Organico		0.947	0.23	1.51	26	0.385	0.076
Tutti i Gruppi		1.489	0.23	1.92	662		

Tabella 8. Valori medi, minimi e massimi di densità apparente misurati: Per alcune orizzonti i dati misurati non sono sufficienti per suddividere le misure in base ai gruppi tessiturali

Nel 2017 la Regione ha partecipato, insieme a molti altri, alla redazione della carta d'Italia dello stock di carbonio organico, che fa parte della Global Soil Organic Carbon map¹². Nel corso del progetto CNR-IBIMET ha sviluppato specifiche pedofunzioni per il calcolo della densità apparente in funzione dell'uso del suolo e della zona (Soil Region scala 1:5M). Fra queste la pedofunzione sviluppata per i prati stabili della pianura padana è stata ritenuta particolarmente interessante e adottata al posto di quella sviluppata nel 2013 per gli orizzonti A generici, che si basava su una casistica molto bassa di dati.

Fra le varie pedofunzioni elaborate da CNR-IBIMET sulla base dei dati misurati regionali e nazionali e quelle presenti in letteratura ne sono state scelte 8 in quanto ritenute relativamente affidabili in base agli indici di errore sul data set di validazione (vedi paragrafo 2.2.3). Le pedofunzioni scelte sono:

Cod. PTF	Pedofunzione di calcolo	Orizzonti sui cui la PTF viene utilizzata	Riferimento
1296	1.ORIZZONTI CON C ORG. > 2,15%	orizzonti O torbosi e Ap con valori elevati di sostanza organica.	Hollis et al, 2012
1297	2.ORIZZONTI A GENERICI E FORESTALI	orizzonti A di suoli forestali (pianura e collina), pascoli e prati stabili (collina)	CNR, 2013
1399	3.ORIZZONTI A GENERICI	orizzonti A di suoli di pianura su pascoli e prati stabili	CNR, 2017
1298	4.ORIZZONTI Ap GENERICI	orizzonti Ap, Ap1 e Ap2	CNR, 2013
1299	5.ORIZZONTI B GENERICI di pianura	orizzonti B, Ap2, orizzonti sepolti, in ambiente di pianura	CNR, 2013
1300	6.ORIZZONTI B GENERICI di collina	orizzonti B, Ap2, orizzonti sepolti, in ambiente di collina	CNR, 2013
1301	7.ORIZZONTI C GENERICI di pianura	orizzonti C, in ambiente di pianura	CNR, 2013
1302	8.ORIZZONTI C GENERICI di collina	orizzonti C, in ambiente di collina. Non viene utilizzata per gli orizzonti Cr paralitici.	CNR, 2013

Tabella 9. Elenco delle pedofunzioni di calcolo scelte per i suoli emiliano-romagnoli

¹² <http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/4-information-and-data/global-soil-organic-carbon-gsoc-map/en/>



I valori stimati con le diverse PTF per tipologia di orizzonte vengono ritenuti accettabili se rientrano nel range di valori misurati depurato degli outliers per tipologia di orizzonte e tessitura. Per i suoli con scheletro => 10% il valore di densità apparente è stato modificato considerando l'effetto della presenza di frammenti grossolani nella matrice fine sulla densità apparente. Da una parte lo scheletro diminuisce la densità apparente della matrice fine a causa della presenza di vuoti e macropori al contatto tra matrice e scheletro; dall'altra aumenta la densità apparente del suolo nel suo complesso in quanto la densità degli elementi grossolani è in genere maggiore di quella della terra fine. Per la correzione è stato quindi usato un algoritmo che considera la quantità di scheletro in volume, così come descritta in campagna, considerando in prima approssimazione una densità media degli elementi grossolani di 2.26 mg m³, dato medio ricavato da letteratura (per una rassegna si veda ad esempio Poesen e Lavee, 1994).

TIPO ORIZZONTE	TUSDA	BD	BD	BD	BD	BD	BD
		Media	Minimo	Massimo	N	Std.Dev.	Std.Err.
A forestale	A	1.330	1.300	1.420	4	0.060	0.030
	AL				0		
	FLA	1.300	1.300	1.300	1	0.000	
	FL	1.386	1.362	1.410	2	0.034	0.024
	FS	1.302	1.171	1.483	15	0.098	0.025
	S	1.356	1.171	1.423	39	0.056	0.009
	F	1.381	1.300	1.447	7	0.050	0.019
	FA	1.312	1.300	1.371	6	0.029	0.012
	L				0		
	FAS	1.406	1.334	1.479	2	0.103	0.073
	SF	1.305	1.060	1.430	21	0.097	0.021
	AS				0		
A generico	A	1.516	1.448	1.585	2	0.097	0.068
	AL	1.580	1.462	1.664	9	0.063	0.021
	FLA	1.550	1.361	1.760	14	0.113	0.030
	FL	1.430	1.186	1.589	13	0.126	0.035
	FS	1.410	1.267	1.518	11	0.083	0.025
	S	1.306	1.238	1.331	5	0.039	0.017
	F	1.420	1.300	1.500	11	0.065	0.020
	FA	1.545	1.435	1.695	5	0.105	0.047
	L	1.346	1.346	1.346	1	0.000	
	FAS				0		
	SF	1.278	1.173	1.407	10	0.084	0.026
	AS	1.617	1.617	1.617	1	0.000	
A generico pianura	tutte	1.47	1.00	1.79	77	0.18	0.02
Ap	A	1.447	1.265	1.744	544	0.082	0.004
	AL	1.417	1.000	1.860	606	0.072	0.003
	FLA	1.466	1.020	1.860	1079	0.064	0.002
	FL	1.527	1.160	1.907	775	0.056	0.002
	FS	1.440	1.104	1.770	185	0.080	0.006
	S	1.563	1.400	1.760	31	0.091	0.016
	F	1.530	1.220	1.855	794	0.068	0.002
	FA	1.501	1.300	1.843	679	0.078	0.003
	L	1.538	1.400	1.650	8	0.079	0.028
	FAS	1.475	1.388	1.616	50	0.045	0.006
	SF	1.475	1.310	1.642	21	0.097	0.021
	AS				0		
B	A	1.453	1.060	1.877	1061	0.113	0.003
	AL	1.521	1.100	1.880	1214	0.066	0.002
	FLA	1.585	1.080	1.880	1486	0.069	0.002
	FL	1.597	1.290	1.920	1182	0.055	0.002
	FS	1.453	1.116	1.710	204	0.075	0.005
	S	1.482	1.430	1.586	3	0.090	0.052
	F	1.575	1.175	1.875	921	0.088	0.003
	FA	1.613	0.809	1.920	849	0.112	0.004
	L	1.569	1.321	1.780	11	0.109	0.033
	FAS	1.514	1.025	1.784	84	0.137	0.015
	SF	1.562	1.534	1.590	5	0.023	0.010
	AS	1.332	1.199	1.590	3	0.224	0.129
C	A	1.388	1.030	1.694	140	0.146	0.012
	AL	1.455	1.171	1.750	244	0.117	0.007
	FLA	1.526	1.230	1.781	369	0.098	0.005
	FL	1.542	1.273	1.800	679	0.088	0.003
	FS	1.512	0.241	1.860	350	0.117	0.006
	S	1.481	0.788	1.760	374	0.102	0.005
F	1.505	0.895	1.760	444	0.063	0.003	



TIPO ORIZZONTE	TUSDA	BD	BD	BD	BD	BD	BD
		Media	Minimo	Massimo	N	Std.Dev.	Std.Err.
	FA	1.482	0.994	1.696	132	0.095	0.008
	L	1.576	1.206	1.657	13	0.134	0.037
	FAS	1.554	0.523	1.796	40	0.225	0.036
	SF	1.432	0.713	1.793	150	0.101	0.008
	AS	1.570	1.570	1.570	1	0.000	
Org	A	1.100	0.691	1.510	50	0.167	0.024
	AL	1.139	0.847	1.236	34	0.113	0.019
	FLA	1.085	0.580	1.310	36	0.173	0.029
	FL	0.980	0.230	1.288	35	0.251	0.042
	FS	0.717	0.230	1.213	54	0.285	0.039
	S	0.878	0.372	1.197	15	0.318	0.082
	F	0.997	0.476	1.380	43	0.216	0.033
	FA	0.910	0.359	1.337	40	0.251	0.040
	L	1.230	1.230	1.230	1	0.000	
	FAS	0.726	0.410	0.984	6	0.230	0.094
	SF	0.920	0.385	1.400	38	0.274	0.045
	AS				0		
	Tutti i gruppi		1.503	0.230	1.920	15262	0.138

Tabella 10. Medie, minimi, massimi, deviazione standard ed errore dei valori di densità apparente calcolati, per tipo di orizzonte e per classe tessiturale. Dati in mg m^3

2.2.2 Conducibilità idraulica satura (Ksat)

Per conducibilità idraulica satura (Ksat) o permeabilità del suolo s'intende la capacità del suolo di trasmettere l'acqua nel suolo quando questo è in condizioni di saturazione. Si raggiunge la situazione di saturazione quando l'acqua occupa tutti i pori del suolo o di un orizzonte. Anche se la saturazione è una condizione che si raggiunge nei suoli emiliano-romagnoli solo in occasione di precipitazioni molto abbondanti, o in particolari situazioni morfologiche o ancora in presenza di falde superficiali, i singoli orizzonti si possono trovare in condizioni di saturazione in seguito a precipitazioni di normale entità, e in particolari periodi dell'anno. La conducibilità idrica satura è dunque una caratteristica importante in quanto indice della facilità con cui il suolo assorbe e rilascia acqua.

Sulla conducibilità idrica satura nei suoli dell'Emilia-Romagna sono state condotte sperimentazioni nel corso di vari progetti fra i quali:

1. Progetto SINA "Carta Pedologica in Aree a Rischio Ambientale", sottoprogetto "Modelli e pedofunzioni per la stima delle qualità del suolo influenti sulla vulnerabilità delle acque" (1997-1999);
2. Convenzione con CNR-IGES);
3. Progetto SINA 2. "Studio del comportamento fisico-idrologico degli strati superficiali del suolo" (2000-2001, convenzione CNR-IGES);
4. Progetto "Studio della conoide alluvionale del fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della gestione sostenibile della risorsa idrica (2004-2005, convenzione CNR IRPI UOS Firenze);
5. Progetto "Carta dei suoli 1:250,000: realizzazione di strumenti di supporto per la corretta gestione del suolo nell'ambito dell'attuale Politica Agricola Comunitaria con specifico riferimento al controllo dell'erosione idrica e dell'inquinamento delle acque" (2005, convenzione CNR IRPI UOS Firenze);
6. Convenzione "Supporto tecnico-scientifico necessario per la realizzazione di un software per la gestione dei dati territoriali (2008 CNR IRPI UOS Firenze).
7. "Sviluppo di applicazioni per la stima della profondità della falda ipodermica, della permeabilità e del gruppo idrologico dei suoli della pianura emiliano-romagnola" (2012). Convenzione con CNR-IRPI (UOS Firenze)

Così come per la densità apparente questi studi sperimentali hanno avuto lo scopo di studiare le relazioni tra i caratteri di suolo e le misure effettuate per individuare i fattori che maggiormente influenzano il parametro della permeabilità ed in più hanno messo a confronto varie PTF di letteratura internazionale per verificarne l'efficacia sui dati locali.

La Ksat dei suoli dell'Emilia-Romagna è stata calcolata con due diverse pedofunzioni. La prima è la PTF di Brakensiek et al (1984); la seconda è un aggiornamento della pedofunzione precedentemente sviluppata da CNR IRPI UOS Firenze (2005) e pubblicata in Ungaro et al (2013). Le due pedofunzioni sono riportate nel paragrafo 6.2.

Essendo la consistenza numerica delle misure di permeabilità dei suoli regionali insufficiente e le misure molto variabili, il data set di calibrazione della PTF CNR è stato integrato con dati misurati al di fuori del territorio regionale. Lo studio per stabilire la prestazione della PTF CNR rispetto a PTF di letteratura



(Brakensiek et al. 1984) è ancora in atto. Al momento i dati pubblicati sono stati ottenuti con quest'ultima (vedi paragrafo successivo).

Definite le PTF, le Ksat per i suoli emiliano-romagnoli sono state calcolate in funzione della classe tessiturale dei diversi orizzonti. Nel caso delle PTF del CNR, i valori stimati con le diverse PTF vengono ritenuti accettabili se rientrano nel range delle misure utilizzate per la calibrazione della PTF stessa. Nel caso di valori fuori range si utilizza il valore ottenuto dalla media dei dati misurati relativi alle diverse classi di tessitura (vedi paragrafo 6.2).

L'effetto della presenza di scheletro sulla Ksat è anche in questo caso duplice: da una parte l'aumento della macroporosità, che si riflette sull'abbassamento della BD, aumenta la conducibilità idrica satura; dall'altra i frammenti grossolani hanno generalmente conducibilità idrica ridotta rispetto alla matrice. Tale effetto può essere considerato in due modi: o abbattendo il valore di Ksat stimato con le PTF proporzionalmente alla quantità di scheletro; o, come nel nostro caso, considerando in input alle PTF il valore di BD corretto per lo scheletro. In tabella 11 sono riportate le statistiche descrittive dei valori di conducibilità idrica satura dei suoli emiliano-romagnoli suddivise per classe tessiturale USDA, stimati con la pedofunzione CNR (Ungaro et al, 2013) e Brakensiek et al (1984).

TUSDA	N	Ksat_CNR mm/h					Ks Brak mm/h				
		Medie	Min	Max	Std.Dev.	Std.Err.	Medie	Min	Max	Std.Dev.	Std.Err.
A	1801	1.84	0.004	50.00	3.488	0.082	0.37	0.000	36.321	2.047	0.048
AL	2107	0.88	0.004	23.04	1.664	0.036	0.14	0.000	15.345	0.624	0.014
FLA	2984	2.64	0.074	36.64	2.918	0.053	0.28	0.004	31.895	1.131	0.021
FL	2684	2.60	0.935	96.31	4.833	0.093	1.21	0.019	118.221	4.333	0.084
FS	819	28.02	7.550	126.68	15.092	0.527	68.43	1.886	492.607	77.947	2.724
S	464	133.45	12.657	389.60	81.848	3.800	365.34	32.219	894.965	116.479	5.390
F	2220	6.47	0.943	85.69	6.317	0.134	5.13	0.043	224.481	11.090	0.235
FA	1711	5.58	0.933	50.00	6.272	0.152	1.65	0.005	126.437	7.933	0.192
L	34	1.77	0.267	10.66	1.923	0.330	1.02	0.192	3.878	0.871	0.149
FAS	182	17.96	1.120	50.00	10.524	0.780	27.57	0.372	403.786	57.233	4.242
SF	245	74.21	9.484	389.57	40.281	2.573	266.70	13.898	685.176	136.169	8.700
AS	5	10.21	4.538	13.99	3.580	1.601	12.46	0.764	30.368	15.025	6.719
tutte le tex.	15256	9.86	0.004	389.60	29.193	0.236	20.73	0.000	894.965	78.522	0.636

Tabella 11. Medie, minimi, massimi, deviazione standard ed errore dei valori di conducibilità idrica satura calcolati, per classe tessiturale.



2.2.3 Validazione e limiti delle pedofunzioni

In mancanza di misure, le pedofunzioni per la stima della densità apparente e della conducibilità idraulica satura sono dei validi strumenti per la derivazione di queste proprietà. Per un uso corretto dei valori stimati con le PTF è tuttavia importante conoscerne i limiti di applicazione.

Per quanto riguarda la densità apparente, le PTF sono state calibrate con gli EPR (Evolutionary Polynomial Regressions, Giustolisi and Savic, 2006) ossia algoritmi polinomiali, con strutture differenti, che ottimizzano gli errori di stima. Il data set di calibrazione comprende tutte le misure contenute nella banca dati regionale e relative a campionamenti effettuati nei mesi meno aridi (eccettuato cioè i mesi di luglio, agosto, settembre). Dall'analisi dei dati risulta infatti una differenza statisticamente significativa fra le misure effettuate nei mesi più umidi rispetto a quelle dei mesi più asciutti.

Sono stati fatti diversi tentativi per ogni orizzonte (A generico, Ap, B generico, C generico e orizzonti organici), e sono stati scelti gli algoritmi, la cui applicazione soddisfacesse al meglio ai seguenti requisiti:

- migliori indici di errore sul data set di calibrazione (R^2 e radice quadrata dell'errore quadratico medio, RMSD);
- maggiore stabilità di calcolo ossia meno output fuori range quando applicati ai suoli emiliano-romagnoli (i range di validità dei valori in output delle PTF sono definiti in base alla distribuzione statistica del data set di calibrazione per ogni orizzonte, e quando possibile, per ogni gruppo tessiturale);
- migliore rappresentazione (in termini di media) delle caratteristiche del data set di calibrazione applicando le PTF sul data set completo dei siti rappresentativi.

Sui medesimi data set sono state inoltre utilizzate le pedofunzioni proposte da Hollis et al (2011). In tabella 12 sono riportati i risultati suddivisi per i diversi tipi di orizzonte.

Orizz.	Ambiente	PTF	calibrazione N	R^2	RMSD	Orizz. Benchmark N	fuori range N
A generici	tutti	Hollis et al (2012)	17	0.58	0.102	82	13
		CNR -2013	17	0.804	0.07	82	30
A forestali	tutti	Hollis et al (2012)	17	0.58	0.102	98	12
		CNR -2013	17	0.804	0.07	98	39
Ap	tutti	Hollis et al (2012)	261	0.02	0.188	4777	0
		CNR -2013	261	0.168	0.153	4777	17
B	pianura	Hollis et al (2012)	231	0	0.195	6384	170
		CNR -2013	231	0.205	0.153	6384	63
	collina e montagna	Hollis et al (2012)	29	0.26	0.18	674	0
		CNR -2013	29	0.76	0.07	674	18
C	pianura	Hollis et al (2012)	62	0.009	0.18	2463	2
		CNR -2013	62	0.508	0.11	2463	43
	collina e montagna	Hollis et al (2012)	36	0.081	0.2	479	8
		CNR -2013	36	0.497	0.08	479	54
O	tutti	Hollis et al (2012)	26	0.362	0.305	362	0
		CNR -2013	26	0.825	0.158	362	29

Tabella 12. Confronto fra le pedofunzioni di Hollis et al (2012) e CNR (Ungaro et al, 2013): Numero di campioni per la calibrazione, indici di errore sul data set di calibrazione (R^2 e RMSD), numero di orizzonti benchmark e numero di valori fuori range di validi

Per quanto riguarda la Ksat, la PTF (Ungaro et al., 2013) è stata sviluppata applicando un metodo noto come Group Method of Data Handling (GMDH, Ivanhenko, 1968).

La PTF, calibrata su un data set di 268 misure effettuate su suoli non soltanto emiliano-romagnoli, è stata validata su un data set indipendente disponibile (UNSODA, Leij et al., 1996) di 212 misure.

Per valutare la prestazione della PTF, i valori osservati e i valori stimati sono stati confrontati calcolando l' R^2 e la media geometrica del rapporto di errore (GMER, *geometric mean error ratio*, Tietje and Hennings, 1996).



$$GMER = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(\varepsilon_i)\right) \quad (1)$$

dove ε è il rapporto di errore tra misure ($Ksat_m$), e stime ($Ksat_p$), così calcolato:

$$\varepsilon = \frac{Ksat_p}{Ksat_m} \quad (2)$$

Quando i valori sono generalmente sovrastimati, GMER è >1, mentre GMER <1 indica una generale sottostima; valori di GMER uguali a 1 indicano una corrispondenza tra misure e stime.

PTF	R ²	GMER (-)
CNR - Calibrazione (CNR IRPI Fi data set)	0.53	1.00
Brakensiek Validazione su dati CNR IRPI Fi	0.35	1.65
CNR - Validazione (UNSODA)	0.08	0.40
Brakensiek et al.1984 (UNSODA)	0.15	0.33

Tabella 13. Indici di errore di calibrazione e validazione delle PTF CNR (Ungaro et al, 2013) e Brakensiek et al (1984).

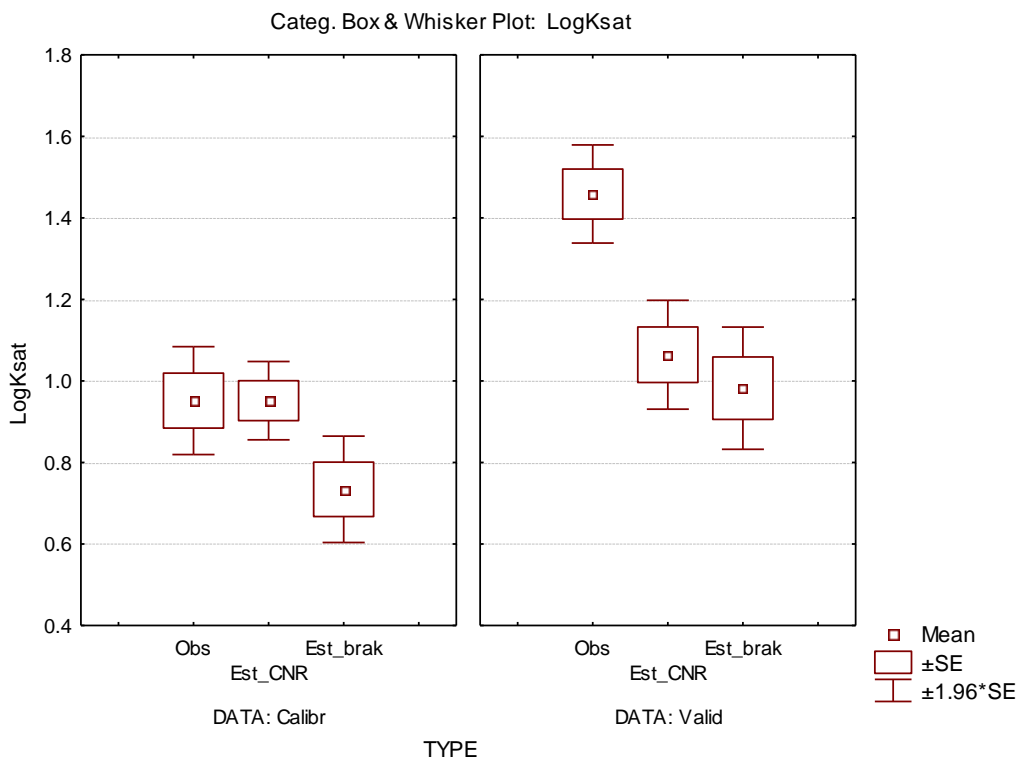


Figura 18. Log Ksat (mm/h) media, errore standard e intervallo di confidenza della media, rispettivamente dei data set di calibrazione e di validazione: dati osservati e stimati dalle PTF CNR e Brakensiek et al. (1984).

Nella figura soprastante sono riportati i valori medi ed i relativi intervalli di confidenza per la Ksat (scala logaritmica) osservata e stimata per i data set di calibrazione e validazione rispettivamente con la PTF CNR e con quella di Brakensiek et al. (1984). Come logico, la prestazione della PTF del CNR è migliore di quella di Brakensiek et al (1984) sul data set di calibrazione; sul data set di validazione le prestazioni sono invece sostanzialmente analoghe, con entrambi gli algoritmi che in media sottostimano i valori osservati ed una maggiore sottostima osservata per la PTF di Brakensiek et al. (1984). Tuttavia, la PTF del CNR è caratterizzata da una maggiore incertezza nelle stime relative alle classi A, FLA e FAS, riflettendo la variabilità osservata nei dati misurati. Diversamente la PTF di Brakensiek et al (1984) fornisce sempre valori coerenti con quelli dei diagrammi proposti da Brakensiek nel Capitolo 3 "Examination and Description of Soils" del Soil Survey Manual al paragrafo Saturated Hydraulic Conductivity. Per i valori ottenuti con entrambe le PTF poi è previsto il confronto con dati di letteratura (Carsel and Parrish, 1988, Rawls et al.1982).



3 CONSULTAZIONE DEI SITI RAPPRESENTATIVI SUL WEB

3.1 Consultazione sul sito WEBGIS

Questo tematismo è **consultabile** ma **non scaricabile** sul sito [Cartografia dei suoli della Regione Emilia-Romagna¹³](https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/applicazioni/ped), definito brevemente in seguito MokaSuoli. Le informazioni sui siti rappresentativi sono contenute nell'interfaccia della **Carta dei suoli 1:50.000**. Ogni poligono della carta dei suoli è identificato da un **ID univoco** che serve come ingresso alla consultazione del database.

CAMPO		VALORE
ID delineaazione		12717
Numero poligono		5411
Tipo poligono		delineazione di suolo
Modalità rilevamento		rilevata e descritta singolarmente
Data aggiornamento		18/6/2014
Ambiente		Pianura
Sigla unità cartografica		VOL1/BOC1
Nome unità cartografica		complesso dei suoli VOLANO franchi / BOCCALEONE franco limosi
Caratteri stazionali		le pendenze variano da 0 a 0.68%, tipicamente 0.18%; le quote variano da 0.63 a 10.3 m.s.l.m., tipicamente 4.84 m.s.l.m
Uso del suolo		frutteti: pomacee, frutteti: drupacee, mais, sorgo, (ciclo estivo)
Fiducia distrib. suoli		Moderato
Note sui suoli		i suoli BAU1 a volte non presentano un vero Bk
Metodo apposizione limite		Controllo diretto in campo con distribuzione delle osservazioni libere
Grado fiducia app. limite		alto
Descrizione completa		https://geo.regione.emilia-romagna.it/sc/veda/suoli/delineazioni.jsp?XID_DELINEAZIONE=12717
Note illustrative		https://geo.regione.emilia-romagna.it/gis/tafco/documenti/dati_pedolcarta_suoli_50k.pdf

Figura 19. Esempio di selezione di una delineaazione della carta dei suoli sul sito MokaSuoli

Selezioniamo per esempio la delineaazione **12717** (dove ricade la città di Ferrara). Andando a cliccare su **Descrizione completa** si apre la seguente interfaccia.

ID delin	Tipo	Data Agg	Grado Fiducia modello distribuzione suoli	Metodo apposizione Limite	Fiducia Limite
12717	rilevata e descritta singolarmente	18/06/2014	Moderato	Controllo diretto in campo con distribuzione delle osservazioni libere	alto

Unità cartografica			
Lotto UC	Cod UC	Sigla UC	Descrizione UC
A1601	0219	VOL1/BOC1	complesso dei suoli VOLANO franchi / BOCCALEONE franco limosi

Note sui suoli

i suoli BAU1 a volte non presentano un vero Bk

Ambiente		
Geomorfologia	Caratteri Stazionali	Uso del Suolo
dossi e argini naturali di piana delizia	le pendenze variano da 0 a 0.68%, tipicamente 0.18%; le quote variano da 0.63 a 10.3 m.s.l.m., tipicamente 4.84 m.s.l.m	frutteti: pomacee, frutteti: drupacee, mais, sorgo, (ciclo estivo)

Distribuzione dei suoli nella delineaazione									
Suoli presenti				Distribuzione			Siti di riferimento nella delineaazione		
Archivio	Suolo	Nome Suolo	Rappresentatività regionale	%	Fiducia	Localizzazione	Sito	Rappresentatività	Localizzazione
F5008	VOL1	VOLANO franchi	Osservazioni rappresentative	40	Moderato	depositi di trascinazione e di ventaglio di rotta.	70008	rappresentativo	nella delineaazione
F5008	BOC1	BOCCALEONE franco limosi	Osservazioni rappresentative	30	Moderato	depositi di canale e di trascinazione.	3186	correlato	nella delineaazione
F5008	BAU4	BAURA franco limosi	Osservazioni rappresentative	10	Moderato	coperture alluvionali intercalate ai canali, non cartografabili.	59464	rappresentativo	delineazioni vicine
F5008	GAR1	GARUSOLA franco sabbiosi	Osservazioni correlate	10	Moderato	ventagli di rotta.	19020	rappresentativo	delineazioni vicine
F5008	BAU1	BAURA franco argilloso limosi	Osservazioni correlate	10	Moderato	coperture alluvionali intercalate ai canali, non cartografabili.	7600	rappresentativo	delineazioni vicine

Figura 20. Esempio dell'interfaccia della delineaazione

¹³ <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/applicazioni/ped>



Le informazioni contenute in questa interfaccia sono le seguenti:

1. **ID delin:** identificativo univoco della delineazione: es. 12717
2. **Tipo:** indica il tipo di delineazione ossia se il poligono è stato rilevato o meno oppure assegnato d'ufficio ad una unità cartografica
3. **Data agg:** data di aggiornamento della descrizione
4. **Grado di fiducia modello distribuzione suoli:** indica il grado di fiducia nel modello di distribuzione dei suoli e varia da alto a molto basso (dipende dal numero di osservazioni presenti, dalla complessità di distribuzione dei suoli ecc.)
5. **Metodo apposizione Limite:** indica la metodologia prevalente usata per disegnare il poligono (pattern d'immagine, uso del suolo, fisiografia, presenza di osservazioni di campagna ecc.)
6. **Fiducia limite:** è il grado di fiducia del limite cartografico e si articola in **alto** (quando il limite è stato controllato anche con rilevamento diretto; **medio** (quando il limite è stato apposto su basi fotointerpretative e per confronto con delineazioni simili e **basso** quando il limite è stato apposto solo sulla base della fotointerpretazione)
7. **Lotto UC:** codice del lotto in cui è stata descritta l'unità cartografica
8. **Cod. UC:** identificativo dell'unità cartografica (es. 0219). Cliccando sul link si apre la descrizione dell'unità cartografica
9. **Sigla UC:** sigla unità cartografica (es. VOL1/BOC1)
10. **Unità cartografica:** nome per esteso dell'unità cartografica (es. complesso dei suoli VOLANO franchi / BOCCALEONE franco limosi)
11. **Note sui suoli:** sono descritti i motivi per cui un suolo nella delineazione presenta dei caratteri diversi rispetto al range modale (per i suoli che presentano "Osservazioni correlate")
12. **Geomorfologia:** sono descritti i principali ambienti geomorfologici presenti nella delineazione (es. terrazzo alluvionale)
13. **Caratteri stazionali:** sono indicati dati di pendenza e quote
14. **Uso del suolo:** sono indicati gli usi del suolo prevalenti
15. **Archivio:** codice dell'archivio di aggiornamento del suolo (tendenzialmente inizia per F5 nei suoli di pianura, F9 nei suoli di collina)
16. **Suolo:** sigla del suolo es. VOL1. Cliccando sul link si possono consultare i caratteri principali del suolo. Per ulteriori approfondimenti si consiglia di cliccare sulla sigla del suolo nell'interfaccia "Unità tipologiche di suolo". Da qui si accede al Catalogo dei suoli.
17. **Nome suolo:** nome per esteso del suolo. Esempio VOLANO franchi
18. **Rappresentatività regionale¹⁴:** indica il livello di ricollegamento del suolo locale rispetto al range modale descritto nell'interfaccia "Unità tipologiche di suolo".
19. **%:** percentuale di diffusione del suolo nella delineazione. La somma delle % è uguale a 100: gli urbani non sono considerati. Si tratta di stime di esperto sulla base del modello di distribuzione e sui dati disponibili.
20. **Fiducia:** grado di fiducia sulla copertura %. Varia da alto a molto basso.
21. **Localizzazione:** indica la distribuzione del suolo nella delineazione. In alcuni casi sono notazioni di tipo morfologico, in altri di tipo geografico (es Nord-Ovest) o di toponimo (es a Nord di Ferrara).
22. **Sito:** identificativo numerico del sito locale scelto per rappresentare il suolo della delineazione. Per sito locale si intende sito di osservazione rilevato nella stessa delineazione o in quelle limitrofe (profilo o trivellata) ricollegato al suolo di interesse dotato di almeno fino a **100 cm** di analisi di laboratorio per sabbia, limo, argilla, pH in acqua, carbonio organico e calcare totale, e dei i valori calcolati con pedofunzioni di densità apparente e K satura. Rispetto al profilo rappresentativo dell'unità tipologica di suolo presenta il vantaggio di rappresentare meglio la variabilità locale e quindi più adatto a studi di tipo sito-specifico
23. **Rappresentatività:** livello di rappresentatività del sito scelto rispetto ai suoli della delineazione. Se il sito ricade nella delineazione in genere il livello di rappresentatività è buono.
24. **Localizzazione:** localizzazione del sito; può essere nella delineazione, in delineazioni vicine, nella stessa provincia, in regione ma fuori provincia. Quando si indica il sito come provinciale in ogni caso si indica il sito più vicino (dove possibile nello stesso bacino idrografico).

Cliccando su [70008](#) nella colonna **Sito** dei suoli VOL1 si apre la seguente interfaccia:

¹⁴ Per ogni suolo viene descritto un range tipico o modale dei principali caratteri nella sezione di controllo (generalmente fino a 150 cm). I suoli che si trovano nella delineazione possono ricadere in questo range tipico (osservazioni rappresentative) oppure discostarsene per uno o più caratteri (osservazioni correlate). I caratteri differenziali sono descritte nella sezione "Note sui suoli"



PARAMETRI ANALITICI/STIMA DEL SITO DI RIFERIMENTO																							
DELINEAZIONE N. 12717, SUOLO: VOL1																							
		ORIZZONTI DEL SITO											ANALISI									METADATI	
		Orizzonte genetico				Prof.orizzonte			Campione				Analisi chimico-fisiche							Analisi fisiche			
SITO	N. oriz	Discont	Orizmast	Sufalf	Sufnum	min cm	max cm	Schel.%	N.camp	min cm	max cm	Sabbia	Limo	Argilla	Classe	pH- H2O	C.org.	Sost.org.	Calc.Tot.	Calc.Att.	C.S.C.	Dens.App.	KSat
70008	1		A	p		0	40	0	1	20	30	55	32,8	12,2	FS	7,9	0,75	1,3	7,6	-	-	1,47	2,131
70008	2		B	w		40	80	0	1	50	65	55,4	31,3	13,3	FS	7,8	0,58	1	8,8	-	-	1,34	4,271
70008	3		C			80	110	0	1	100	110	75,9	19,6	4,5	SF	8,1	0,17	0,3	10,8	-	-	1,42	12,094

Figura 21. Esempio dell'interfaccia del sito rappresentativo

Le informazioni contenute in questa interfaccia sono le seguenti:

1. **SITO**: identificativo del sito
2. **N. oriz**: in sequenza sono indicati con numero progressivo gli strati o orizzonti del suolo
3. **Orizzonte genetico**: composto da 4 colonne, indica il livello di alterazione dell'orizzonte e cosa può essere considerato suolo (orizzonti O, A, B, E) oppure substrato (orizzonti C, R, D).
4. **Prof. orizzonte**: viene indicata in cm la profondità minima, la profondità massima e la stima % in volume di scheletro (materiale con diametro > 2 mm)
5. **Campione**: viene indicato il numero del campione e le profondità di campionamento (generalmente corrispondenti alla profondità dell'orizzonte). Vi sono dei casi in cui un orizzonte presenta dei sottocampioni.
6. **Analisi chimico-fisiche**: qui vi sono alcuni parametri di laboratorio e cioè **sabbia, argilla, limo, classe tessiturale USDA, pH, C organico, sostanza organica, calcare totale che sono sempre presenti. Calcare attivo e CSC** possono anche non essere presenti. Solo raramente il dato viene assegnato per stima di esperto
7. **Analisi fisiche**: qui si ritrovano i valori di **densità apparente e K satura**. In qualche caso sono dati di laboratorio o da prove sperimentali in situ, ma nella stragrande maggioranza dei casi sono calcolati con algoritmi detti pedofunzioni.

Cliccando su **METADATI** si visualizzano i codici dei metodi analitici e/o metodi di derivazione e calcolo dei parametri del sito selezionato.

METADATI DEI PARAMETRI ANALITICI/STIMA																						
DELINEAZIONE N. 12717, SUOLO: VOL1																						
		ORIZZONTI DEL SITO											ANALISI									
		Orizzonte genetico				Prof.orizzonte			Campione				Analisi chimico-fisiche							Analisi fisiche		
SITO	N. oriz	Discont	Orizmast	Sufalf	Sufnum	min cm	max cm	Schel.%	N.camp	min cm	max cm	Sabbia	Limo	Argilla	pH- H2O	C.org.	Sost.org.	Calc.Tot.	Calc.Att.	C.S.C.	Dens.App.	KSat
70008	1		A	p		0	40	0	1	20	30	96	94	94	110	1232	80	0	0	1298	1094	
70008	2		B	w		40	80	0	1	50	65	96	94	94	110	1232	80	0	0	1299	1094	
70008	3		C			80	110	0	1	100	110	96	94	94	110	1232	80	0	0	1301	1094	

Figura 22. Esempio dell'interfaccia dei metadati del sito rappresentativo

In questa interfaccia viene ripetuta la sequenza degli orizzonti. Nella sezione dedicata alle analisi sono indicati i metodi di derivazione di ogni parametro presente nell'interfaccia precedente.

Cliccando su qualunque link (es. metodo 96 del parametro sabbia) si apre un'interfaccia in cui sono definiti il metodo di laboratorio, l'unità di misura e la bibliografia correlata.

Metodo	Attributo	Metodo misura/stima	Unità di misura	Bibliografia
96	SABBIA	Granulometria: setacci	g/kg-1	MIPAF. ONP - METODI UFFICIALI DI ANALISI CHIMICA DEL SUOLO. 2000. Metodo II.5

Figura 23. Esempio dell'interfaccia di decodifica dei metodi analitici



3.2 Consultazione sul sito “I suoli dell’Emilia-Romagna”

Questo tematismo è **consultabile** ma **non scaricabile** anche sul sito [I suoli dell’Emilia-Romagna](http://suoli.regione.emilia-romagna.it)¹⁵, che ha uno scopo prettamente divulgativo. Questo sito è di facile utilizzo ed usa come base cartografica GOOGLE EARTH. Presenta il vantaggio di poter essere utilizzato come sfondo in quanto l’utente può sovrapporre ai tematismi proposti i suoi tematismi personalizzati

E’ sufficiente cliccare su un poligono della carta dei suoli e attivando il link [apri scheda](#) ottenere la stessa interfaccia del sito MokaSuoli. Nelle versioni di GOOGLE EARTH successive alla 5 non è più possibile avere l’interfaccia a metà schermo per cui si consiglia di attivare l’opzione da STRUMENTI – GENERALE - Mostra risultati WEB in browser esterno.

Cliccando sul sito di interesse si ottiene un’interfaccia con le analisi del sito come nel sito MokaSuoli.

I suoli dell’Emilia-Romagna
Livello di dettaglio 1:50.000

Unità Cartografica
CLN1 (Num. delineazione: 7595)

Nome dell’unità cartografica
Consociazione dei suoli CANALE LEONE franco argillosi limosi

Descrizione dell’ambiente
Aree comprese nella valle di bonifica ferrarese situata a nord del Po di Volpe ambiente di bacino interfluviale, su queste superfici si trovano a quote inferiori rispetto al livello del mare, tipi comprese tra -2 e -4 m; la pendenza è allo 0.1%; il substrato è costituito da moderatamente decomposti (peaty) materiale di partenza si presume fossili materiali organici con sottili intercalazioni recenti calcarei a tessitura da media unità è compresa nel Consorzio di bonifica Circondario del bacino di scolo “Codig in buona parte si trova in corrispondenza del presollevamento (Demetria, Avenzora ch...

Descrizione dei suoli
[Apri scheda](#)

Documenti collegati
Carta dei suoli 1:50.000

DELINEAZIONI CARTA DEI SUOLI 1: 50.000

ID delin	Tipo	Data Agg	Grado Fiducia modello distribuzione suoli	Metodo apposizione Limite	Fiducia Limite
7595	rilevata e descritta singolarmente	30/03/2012	Moderato	per limite di pattern da analisi di immagine evidente	alto

Unità cartografica

Lotto UC	Cod UC	Sigla UC	Descrizione UC
A1601	0221	CLN1	consociazione dei suoli CANALE LEONE franco argillosi limosi

Note sui suoli
si suppone, siano presenti, suoli simili a CDS in corrispondenza dei canali distributori del vecchio reticolo idrografico che da foto aerea sembrano occupare circa il 5% della delineaaz. i suoli CLN1 in questa delineaazione tipicamente non hanno orizz. Cg

Ambiente

Geomorfologia	Caratteri Stazionali	Uso del Suolo
depressioni		risaie, seminativi avvicendati

Distribuzione dei suoli nella delineaazione

Suoli presenti			Distribuzione			Siti di riferimento nella delineaazione			
Archivio	Suolo	Nome Suolo	Rappresentatività regionale	%	Fiducia	Localizzazione	Sito	Rappresentatività	Localizzazione
F5008	CLN1	CANALE LEONE franca argillosa limosa	Osservazioni correlate	70	Moderato	omogeneamente distribuiti	3257	correlato	delineazioni vicine
F5008	JOL1	JOLANDA argillosa e argillosa limosa	Osservazioni rappresentative	20	Moderato	al margine della delineaazione in prossimità dei canali distributori.	9275	correlato	delineazioni vicine
F5008	LCOz	Variante a maggior contenuto di sostanza organica dei suoli LE CONTANE	Osservazioni rappresentative	10	Moderato	nella zona orientale della delineaazione	9271	rappresentativo	provinciale

Figura 24. Interfaccia di consultazione della carta dei suoli

¹⁵ <http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/>



3.3 Consultazione sul sito “Catalogo dei suoli dell’Emilia-Romagna”

Questo tematismo è **consultabile** ma **non scaricabile** anche sul sito **Catalogo dei suoli emiliano-romagnoli**¹⁶, che è indirizzato soprattutto ad utenti del settore agricolo ai fine della redazione di piani di concimazione.

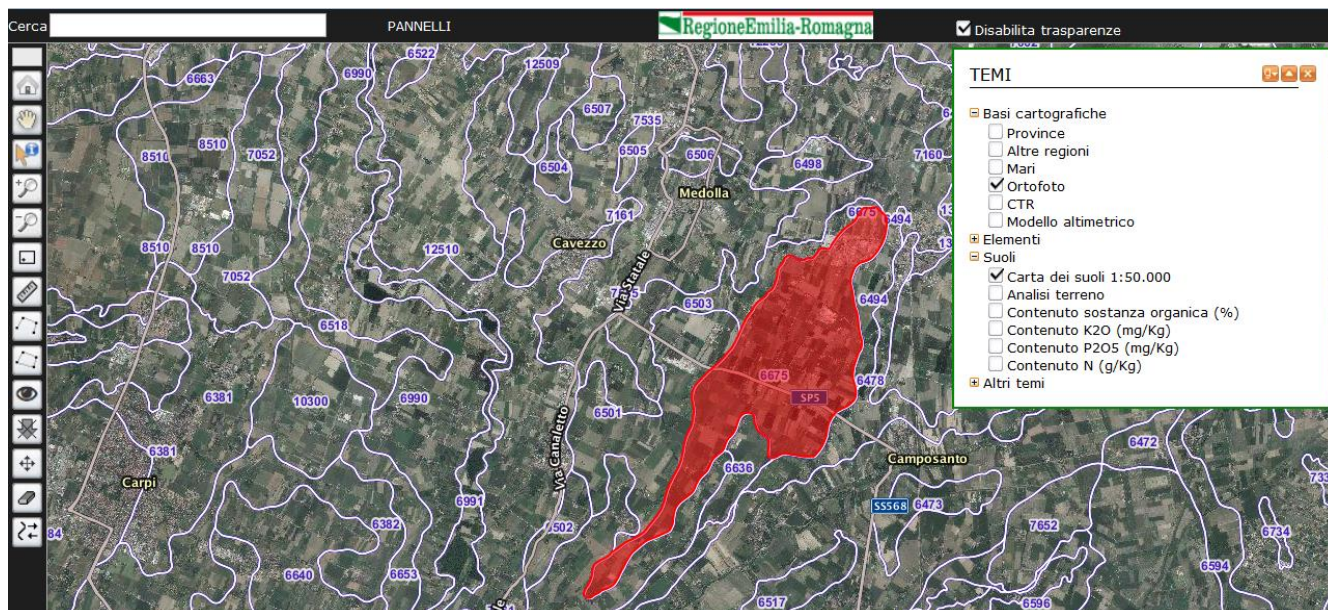


Figura 25. Schermata iniziale del sito “Catalogo dei suoli emiliano-romagnoli”

In modo analogo al sito WEBGIS è possibile cliccare su un poligono della carta dei suoli e ottenere la seguente interfaccia, da cui cliccando sul sito di interesse si ottiene un'interfaccia con le analisi del sito simile a quella del sito WEBGIS.

CARTA DEI SUOLI 1:50.000. DELINEAZIONE 6640

Tipo: rilevata e descritta singolarmente **Data aggiornamento:** 21/11/2012

Grado fiducia modello distribuzione dei suoli: Buono

Note sui suoli: Suoli CTL3 spesso con dati incompleti. Possono discostare per colori scuri in superficie o per l'eff HCl (talvolta ricoperture con materiale calcareo)

Suoli presenti			Distribuzione dei suoli nella delimitazione			Siti di riferimento		
Suolo	Nome suolo	Rappr. regionale	%	Fid. %	Localizzazione dei suoli	Sito	Rappr.	Localizzazione
CTL3	CATALDI franca argillosa limosa, 0.1-0.2% pendente	Osservazioni correlate	80	Buono	Distribuiti in modo omogeneo	32148	correlato	delineazione
SGR3	SAN GIORGIO franca argillosa limosa	Osservazioni rappresentative	5	Buono	Nella parte meridionale	2098	rappresentativo	delineazione
MDC4	MEDICINA franca argillosa limosa, 0.1-0.2% pendente a scolo alternato naturale e meccanico	Osservazioni rappresentative	5	Buono	intercalati ai suoli CTL3	70864	rappresentativo	delineazione
MDC3	MEDICINA argillosa limosa, 0.1-0.2% pendente, a scolo alternato naturale e meccanico	Osservazioni rappresentative	5	Buono	In un'area leggermente depressa presso Due Madonne	1912	rappresentativo	delineazioni vicine
MON1	MONTALE franca argillosa limosa	Osservazioni rappresentative	5	Buono	Nella parte meridionale	2097	molto rappresentativo	delineazione

Guida alla scelta
Chiudi

Figura 26. Esempio di interfaccia delle delimitazioni sul sito “Catalogo dei suoli emiliano-romagnoli”

In questo caso però c'è la possibilità di attivare, cliccando sul pulsante **Guida alla scelta**, un percorso di domande e risposte (in modo analogo ad una chiave dicotomica) al fine di arrivare al riconoscimento del suolo d'interesse.

¹⁶ <https://agri.regione.emilia-romagna.it/Suoli/>



Qual è la tessitura (combinazioni di sabbia, limo e argilla) nel suolo in superficie?

Tessitura franca argillosa limosa (FAL) in superficie (argilla <35%)

Tessitura argillosa limosa (AL) in superficie

Tessitura franca argillosa limosa (FAL) in superficie (argilla >35%)

Indietro

Figura 27. Esempio interfaccia di riconoscimento del suolo

Cliccando sulla seconda opzione si ottiene già il suolo con analisi dei dati SACT correlati e analisi dell'orizzonte di superficie del sito rappresentativo locale.

Suolo MEDICINA argillosa limosa, 0.1-0.2% pendente, a scolo alternato naturale e meccanico (MDC3). Delineazione 6640

Descrizione introduttiva

I suoli Medicina argillosi limosi, 0.1-0.2% pendenti a scolo alternato sono molto profondi, moderatamente alcalini; da scarsamente a moderatamente calcarei ed a tessitura argillosa limosa nella parte superiore, da moderatamente a molto calcarei ed a tessitura argillosa limosa e franca argillosa limosa in quella inferiore. Sono presenti in profondità (da 80-100 cm ca.) orizzonti ad accumulo di carbonato di calcio molto calcarei. Il substrato è costituito da alluvioni a tessitura media.

Localizzazione nella delineazione

In un'area leggermente depressa presso Due Madonne

VALORI MEDI analisi chimico-fisiche dei suoli MDC3 nella delineazione (scelta consigliata)

N. campioni	Sabbia %	Argilla %	pH	Calc. tot. %	Calc. attivo %	
2	9,5	44,5	7,2	11	4,5	Concimazione

Analisi chimico-fisiche del sito rappresentativo dei suoli MDC3 nella delineazione

ID Sito	Sabbia %	Argilla %	pH	Calc. tot. %	Calc. attivo %	
1912	7,8	50,7	8,2	7	5,3	Concimazione

Tabella dati da elaborazioni geostatistiche

Sost. organica %	N totale %	P2O5 ass. mg/Kg	K2O ass. mg/kg
1,9	1,5	37	322

Indietro Analisi sito Scheda suolo

Figura 28. Interfaccia di scelta dei dati da utilizzare per il piano di concimazione

Cliccando su **Analisi sito** si ottengono i valori analitici completi del sito di riferimento del suolo scelto.



DELINEAZIONE 6640

Sito di riferimento n. 1912 del suolo MEDICINA argillosa limosa, 0.1-0.2% pendente, a scolo alternato naturale e meccanico

ORIZZONTI DEL SITO							ANALISI											
Orizzonte			Campione				Parametri chimico-fisici							Parametri fisici				
N.	Oriz. gen	min cm	max cm	N. camp	min cm	max cm	Sabbia %	Limo %	Argilla %	Classe	Schel. %	pH	S.O. %	Calc. tot. %	Calc. att. %	C.S.C mg/l	Dens app	KSAT cm/h
1	Ap	0	40	1	10	30	7.8	41.5	50.7	AL	0	8.2	2	7	5.3	18	1.35	0.01
2	Bwss	40	95	1	60	80	5.2	44.3	50.5	AL	0	8.3	2	7	5.3	21	1.44	0
3	Bk	95	145	1	90	110	12.2	55.5	32.3	FLA	0	8.2	1	18	8.3		1.62	0.01
3	Bk	95	145	2	120	140	6.8	60.5	32.7	FLA	0	8.3	1	20	8		1.58	0.01

Valori medi

Figura 29. Esempio interfaccia delle analisi complete del sito rappresentativo del suolo scelto

E' possibile anche riconoscere il suolo tramite i siti rappresentativi disegnando un appezzamento nella zona di interesse.

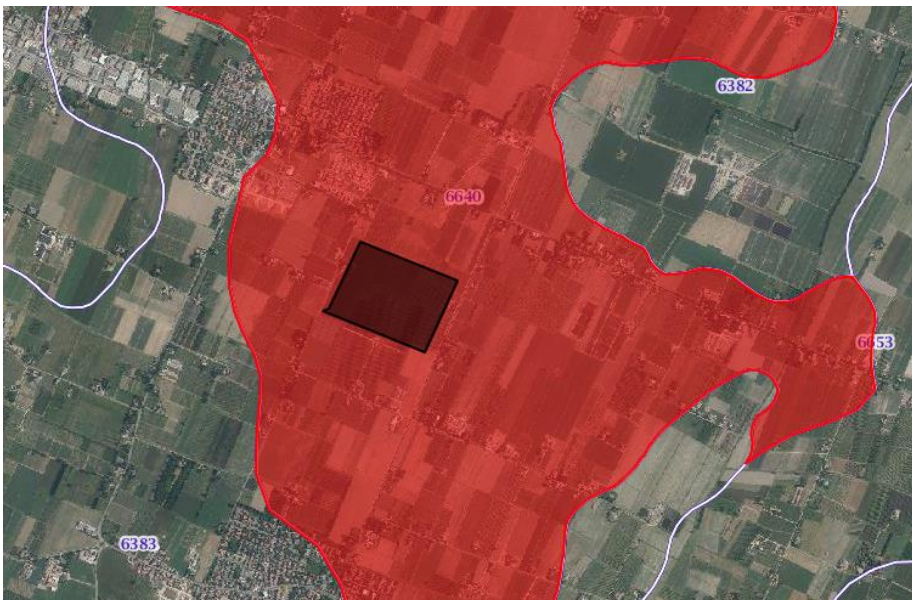


Figura 30. Disegno dell'appezzamento

Cliccando sull'appezzamento si ottiene la seguente interfaccia.

PIANO DI CONCIMAZIONE

Benvenuto nell'applicativo per predisporre il piano di concimazione. Il piano richiede alcune informazioni, tra cui le analisi chimico-fisiche del terreno.

Inserimento manuale

Inserisci i dati del terreno, sulla base di analisi private **Inserisci analisi**

Caricamento dati da archivio

Rispondi ad alcune semplici domande per scegliere il tuo suolo **Guida alla scelta**

Scegli il suolo sulla base di valori dei parametri chimico-fisici **Scegli il suolo**

Figura 31. Interfaccia di scelta dei dati da usare per il piano di concimazione



Se si sceglie la terza opzione (cliccando il bottone **Scegli il suolo**) si ottiene la seguente interfaccia, dove sono elencati tutti i suoli presenti nella delimitazione in cui ricade l'appezzamento, corredati delle analisi chimico-fisiche degli orizzonti di superficie dei siti rappresentativi correlati.

PARAMETRI CHIMICO-FISICI DI SUPERFICIE DEI SUOLI

Suoli delimitazione 6640

Scegli il suolo	Distrib. %	Profondità cm	Sabbia %	Limo %	Argilla %	Classe Tess.	Schel. %	pH	S.O. %	Calc. tot. %	Calc. att. %	Disp. O2	Anal. comp.
<u>CATALDI franca argillosa limosa, 0.1-0.2% pendente</u>	80	0-40	8	57	35	FLA	0	7.9	2	10	6	buona	Vai
<u>MEDICINA franca argillosa limosa, 0.1-0.2% pendente a scolo alternato naturale e meccanico</u>	5	0-25	16	49	35	FLA	0	7.9	2	4		moderata	Vai
<u>SAN GIORGIO franca argillosa limosa</u>	5	0-60	17	50	33	FLA	0	8	2	1	0	buona	Vai
<u>MEDICINA argillosa limosa, 0.1-0.2% pendente, a scolo alternato naturale e meccanico</u>	5	10-30	7.8	41.5	50.7	AL	0	8.2	2	7	5.3	moderata	Vai
<u>MONTELE franca argillosa limosa</u>	5	10-40	7	65	28	FLA	0	8	2	8	5	buona	Vai

Indietro

Figura 32. Interfaccia dei suoli della delimitazione con le analisi degli orizzonti superficiali dei siti rappresentativi locali

Scegliendo uno dei suoli si ottiene di nuovo l'interfaccia della figura 28. Cliccando su analisi complete si ottiene l'interfaccia della figura 29.



4 SCARICAMENTO DEI DATI


Lo scaricamento dei dati si effettua sul sito Minerva¹⁷ nel gruppo SUOLI sotto forma di file zippato preconfezionato dove si trova uno shapefile relativo all'intera carta nel sistema di riferimento RDN2008 UTM zona 32N (EPSG 7791), un file excel con la descrizione delle delineazioni e dei siti rappresentativi e un file pdf con la decodifica dei metodi analitici.

Dopo avere trovato lo strato Carta dei suoli in scala 1: 50.000 sul motore di ricerca, si clicca dal pulsante [Esplora](#) la sottovoce [Download](#) e il file scarica direttamente (figura 33).

Carta dei suoli - Carta dei suoli della regione Emilia-Romagna - Edizione 2021


La carta copre il 78% della regione Emilia-Romagna e descrive i suoli e la loro distribuzione geografica nella pianura, nel 93% del basso Appennino (collina) e nel 37% del medio Appennino, alla scala 1:50.000. Ogni singolo poligono (delineazione) della carta dei suoli è identificato da un codice numerico ed è descritto per i suoli che lo costituiscono. Sono delineati in totale 13.353 poligoni di suolo, di cui 2.230 in pianura, 5.188 in basso Appennino o collina e 5.935 in medio Appennino. I poligoni di suolo hanno un'area media di 467 ha in pianura, 71 ha in basso Appennino e 31 ha in medio Appennino. Poligoni con distribuzione simile dei suoli costituiscono una unità cartografica (ne sono presenti 820). Sono descritti complessivamente 466 tipi di suolo (210 in pianura, 162 nel basso Appennino, 90 in medio Appennino e 4 nell'Alto Appennino), classificati in base alla Soil Taxonomy (2010, 2014) e WRB (1998, 2007, 2014).

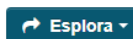
Risorse

 [I suoli dell'Emilia-Romagna](#)
access point

 [Carta dei suoli di pianura, basso e medio ...](#)
access point


 [Carta Suoli_50k](#)
access point

 [Cartografia dei suoli](#)
access point





 [Altre informazioni](#)

 [Download](#)




Figura 33. Scaricamento della carta dei suoli in scala 1:50.000

Nel file zippato si trova anche un file in formato MS EXCEL strutturato in quattro fogli così denominati:

1. **Anagrafica:** elenco delle delineazioni
2. **Delin_suoli:** elenco dei suoli presenti e dei siti ad essi relazionati
3. **Delin_siti:** elenco dei parametri analitici per ogni sito e per ogni delineazione
4. **Suoli_classif:** elenco dei suoli, descrizione e classificazione Soil Taxonomy e WRB

COLONNA	DESCRIZIONE	ESEMPIO
XID_DELIN	Identificativo univoco delineazione	14695
AMBIENTE	Indica se siamo in pianura o collina	Pianura
TIPO_POLIG	Indica se è un poligono di suoli, corpo d'acqua o alveo di piena ordinaria	delineazioni di suolo
TIPO_DEL	Indica de il poligono è stato rilevato o meno	rilevata e descritta singolarmente
DATA_AGG	Data di aggiornamento	16/11/2015
SIGLA_UC	Sigla unità cartografica	BAU1-BRC1
DESCRIZIONE_UC	Nome per esteso dell'unità cartografica	associazione dei suoli BAURA franco argilloso limosi - BARCHESSONE argilloso limosi
GRADO_FID	Grado di fiducia del modello di distribuzione dei suoli	Buono
FID_LIMITE	Grado di fiducia del limite cartografico	alto
MET_APPOS_LIMITE	Metodo di apposizione dei limiti cartografici	Controllo diretto in campo con distribuzione delle osservazioni libere
NOTA	Compilata quando uno o più suoli nella delineazione discostano dal range regionale tipico (osservazioni correlate)	il suolo BAU1 discosta per la maggior argilla in Ap, efferv. e tessit, BRC1 per l'inferiore % di argilla, TER1 per l'efferv. e la tessit., SDZ1 per sabbia inferiore in sup. e l'assenza di screziature; i suoli BAU4 hanno sepolture argillosa in profondità
USO_SUOLO	Elenco dei principali uso del suolo	seminativi avvicendati
HECTARES	Area del poligono in ha	2144.07

Tabella 14. Struttura del file di export ANAGRAFICA

¹⁷ <https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/group/suolo>



COLONNA	DESCRIZIONE	ESEMPIO
XID_DELIN	Identificativo univoco delineazione	14695
SUOLO	Sigla suolo	BAU1
NOME_SUOLO	Nome suolo	BAURA franco argilloso limosi
PERC	Stima % diffusione suolo	42
FID_PERC	Fiducia sulla % di diffusione	moderata
RAPPRESENTATIVITA	Livello di ricollegamento del suolo locale rispetto al range modale	Osservazioni correlate
LOCALIZZAZIONE	Posizione del suolo nella delineazione	in corrispondenza degli argini naturali dei canali (Burana, Fellonica-Pilastresi) e dei paleodossi
ID_SITO	Identificativo numerico del sito	19024
TIPO_RAPPRES	Livello di rappresentatività del sito scelto rispetto ai suoli della delineazione	correlato
LOC_SITO	Localizzazione del sito	Delineazioni vicine

Tabella 15. Struttura del file di export DELIN_SUOLI

La decodifica e i riferimenti bibliografici dei metodi utilizzati sono contenuti nel file METODI_ANALITICI_SUOLI.pdf scaricabile assieme ai dati.

COLONNA	DESCRIZIONE	ESEMPIO
ANNO_CAMP	Anno campionamento	1983
ID_SITO	Identificativo del sito	19024
NUM_ORIZ	N. progressivo con la profondità dello strato o orizzonte di suolo	1
MIN	Profondità minima orizzonte (cm)	0
MAX	Profondità massima orizzonte (cm)	50
DISCONT	Orizzonte genetico: discontinuità	
ORIZMAST	Orizzonte genetico: master	A
SUFFALFN	Orizzonte genetico: suffisso alfanumerico	p
SUFNUM	Orizzonte genetico: suffisso numerico	
NUMCAMP	N. Campione	1
MIN_CAMP	Profondità minima campione (cm)	0
MAX_CAMP	Profondità massima campione (cm)	50
SABBIA	Sabbia totale (%)	2,6
LIMO	Limo totale (%)	31,2
ARGILLA	Argilla (%)	66,2
TUSDA	Classe tessiturale USDA	A
SCHEL_PERC	Scheletro (% in volume)	0
CORG	C organico (%)	1,624
PHH2O	pH in acqua	7,7
CALTOT	Calcare totale (%)	6
CALATT	Calcare attivo (%)	6
CSC	Capacità di scambio cationico (meq/l)	40
BD	Densità apparente	1,56
KSAT	K satura (cm/h)	
MET_SABBIA	Metodo sabbia	96
MET_LIMO	Metodo limo	94
MET_ARGILLA	Metodo argilla	94
MET_PH_H2O	Metodo pH	110
MET_ORG	Metodo C organico	87
MET_CALTOT	Metodo calcare totale	80
MET_CALATT	Metodo calcare attivo	79
MET_CSC	Metodo CSC	90
MET_DENS_APP	Metodo densità apparente	1094
MET_KSAT	Metodo K satura	1097

Tabella 16. Struttura del file di export DELIN_SITI

COLONNA	DESCRIZIONE	ESEMPIO
SOIL REGION	Sigla unità 1:5Mk: A pianura; B basso Appennino; C: medio Appennino; D Alto Appennino	A
ARCHIVIO	Sigla archivio UTS	F5008
SUOLO	Sigla suolo (UTS)	BAU1
NOME SUOLO	Nome del suolo	BAURA franco argilloso limosi
DESCRIZIONE	Descrizione del suolo	I suoli BAURA franco argilloso limosi sono molto profondi e moderatamente alcalini; a tessitura franca argillosa limosa e moderatamente o molto calcarei nella parte superiore e a tessitura franca argillosa limosa o franca limosa e molto calcarei in quella inferiore. Il substrato è costituito da alluvioni a tessitura media o moderatamente fine
SOIL TAXONOMY	Classificazione Soil Taxonomy	(2010) fine silty, mixed, superactive, mesic Aquic Calcustepts
WRB	Classificazione WRB	(2007) Hypocalcic Haplic Calcisols (Siltic)

Tabella 17. Struttura del foglio SUOLI_CLASSIF



5 ESEMPI APPLICATIVI (USE CASE) DEI SITI RAPPRESENTATIVI

5.1 Valutazione di analisi di rischio sito-specifica

Il mondo scientifico e tecnologico, riguardo le tematiche ambientali ed i connessi adempimenti a carico dei governi, è ormai da tempo orientato verso un approccio al mondo esterno di carattere sito-specifico, in virtù principalmente del fatto di dover gestire ed analizzare sistemi molto complessi e soprattutto estremamente eterogenei. Nello specifico campo dei siti contaminati si è compreso che la filosofia generalista di carattere “tabellare”, per determinare lo stato di inquinamento di un’area, caratterizzata da un alto livello di conservatività, non risulta sufficientemente gestibile nella casistica di dettaglio, portando spesso a determinare situazioni con un bassissimo livello di rappresentatività delle condizioni reali.

La gestione dei siti contaminati è uno dei campi che più ha sviluppato la **specificità di sito**, concretizzando quel sistema di analisi e valutazione chiamato “analisi di rischio sanitaria-ambientale”. In sostanza nell’analisi di rischio viene parametrizzato l’intero sistema interessato dalla contaminazione in modo da poterne ricavare tutte le informazioni necessarie. Questo si concretizza in un complesso di modelli analitici e formule empiriche che considerano una grande quantità di dati di input, fornendo una conseguente gamma di dati output. Vista la complessità intrinseca dei modelli di analisi di rischio ne consegue che la variazione anche di un solo parametro può avere conseguenze consistenti e ramificate all’interno del sistema, caratteristica denominata “sensibilità”.

I dati in ingresso possono essere sostanzialmente di due categorie:

1. Appartenenti alla **letteratura scientifica**, spesso già presenti nei software come set di default
2. **Sitospecifici**, cioè misurati in campo.

Va da sé che maggiore è la percentuale di dati sito-specifici all’interno del set di input, maggiore sarà la rappresentatività dei risultati ottenuti. Premesso che risulta realisticamente impossibile ottenere il cento per cento dei dati in maniera sito-specifica, poiché diversi indici sono il frutto di elaborazioni teoriche-laboratoristiche, spesso ci si affida al default anche per parametri teoricamente misurabili. Soprattutto nell’ultimo caso è necessario rispettare il principio di conservatività, ed è inoltre opportuno valutare attentamente in che modo questi dati influenzano i risultati di interesse, cioè la loro sensibilità, in modo da avere un output sufficientemente rappresentativo.

In Italia le leggi di settore non si spingono a regolamentare le procedure fino ad un tale dettaglio tecnico ed i documenti più autorevoli sono rappresentati dalle diverse linee guida emanate dall’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), in collaborazione con ISS, INAIL ed ENEA. Nelle linee guida, per i parametri di input dei modelli di analisi di rischio (es. carbonio organico, pH, densità apparente), vengono proposti dei valori di default che possono essere utilizzati in mancanza di dati sitospecifici. Ad esempio, diversi valori di default proposti nelle suddette linee di riferimento sono poco rispondenti ai quelli tipici dei suoli emiliano-romagnoli.

La **carta dei siti rappresentativi** (che caratterizza i suoli dal punto di vista chimico-fisico partendo dalle carte pedologiche) offre la possibilità di ricavare i dati che individuano le effettive caratteristiche territoriali locali e che possono essere utilizzati nei modelli di valutazione di rischio.

L’utilizzo sperimentale nell’ambito dell’analisi di rischio sito-specifica delle informazioni che derivano da questo tematismo evidenzia come possano cambiare le condizioni di rappresentatività del sistema ambientale rispetto al quadro fornito dal “default” delle linee nazionali.

Si ponga come esempio un sito collocato in provincia di Ferrara, che ricade in una delineazione caratterizzata dai seguenti suoli:



suolo	nome_suolo	perc	localizzazione	Id_sito	Tipo_rapp	Loc-sito
BAU1	BAURA franca argillosa limosa	42	in corrispondenza degli argini naturali dei canali (Burana, Fellonica-Pilastresi) e dei paleodossi	19024	correlato	delineazioni vicine
BRC1	BARCHESSONE argilloso limosi	40	nella zona di bacino interfluviale	19028	correlato	delineazioni vicine
TES1	TESA argillosa limosa	5	nella zona di passaggio tra argine e bacino	19168	rappresentativo	delineazioni vicine
TER1	TERZANA argillosa	5	nella zona di passaggio tra argine e bacino	19029	correlato	delineazioni vicine
RUI1	RUINA franca argillosa limosa	4	a Nord-Ovest di Bondeno	11388	rappresentativo	provinciale
BAU4	BAURA franca limosa	2	in corrispondenza di paleocanali di moderato spessore che coprono la valle (es Nord zona industriale Bondeno, da Ponti Spagna a Bondeno)	3183	correlato	provinciale
SDZ1	STRADAZZA franca	2	in prossimità confluenza fiume Panaro nel Po	3300	correlato	provinciale

Tabella 18. Elenco dei suoli della delimitazione 14695 in cui ricade il sito

I suoli più probabili in cui ricade il sito sono BAU1 o BAU4. Utilizzando l'elaborazione per media ponderata degli orizzonti da A a BC (gli orizzonti C sono già considerati substrato e sono esclusi dal calcolo) si ottengono i parametri indicati in giallo che sono poi utilizzati come input nel modello.

xid_suolo	Id_sito	oriz_master	numoriz	Min	max	spessore	C org	pH	dens_app	KSAt
BAU1	19024	A	1	0	35	35	1.276	7.9	1.47	0.036896
BAU1	19024	A	2	35	55	20	1.218	7.8	1.47	0.030703
BAU1	19024	B	3	55	90	35	0.522	8	1.57	0.027256
BAU1	19024	BC	4	90	115	25	0.406	8	1.55	0.051189
media ponderata corretta							0.85	7.9	1.52	0.034099
BAU1	19024	C	5	115	125		0.464	8.2	1.57	0.028061
BAU1	19024	C	6	125	160		0.29	8.2	1.55	0.190185
BAU4	3183	A	1	0	40	40	0.7772	8.1	1.56	1.111954
BAU4	3183	A	2	40	70	30	0.7076	8	1.51	0.914638
BAU4	3183	B	3	70	100	30	0.5336	8.22	1.6	0.062353
BAU4	3183	B	4	100	120	20	0.6032	8.12	1.56	0.009119
BAU4	3183	BC	5	120	130	10	0.3306	8.53	1.58	0.619814
media ponderata corretta							0.6438	8.14	1.56	0.047114
BAU4	3183	C	6	130	150		0.2262	8.55	1.54	3.256843
VALORI MEDI UTILIZZATI NELLA SIMULAZIONE (media geometrica)							0.7469	8.02	1.54	0.040082

Tabella 19. Siti scelti per la simulazione. La media ponderata per la KSAT è stata calcolata considerando l'effetto di impedenza idraulica utilizzando la formula di Tindall e Kunkel (1999).

Considerando un modello concettuale che contempli un percorso di trasporto degli inquinanti in falda, è possibile far calcolare ai software di analisi di rischio un'area di influenza impattata da un teorico inquinamento.

Inserendo nei modelli due diversi set di input, uno costituito dal default proposto nelle linee guida ed un altro costituito dai parametri specifici ricavati dalla carta dei siti rappresentativi (derivato dalla media dei due siti), si ottengono due aree di influenza estremamente diverse, da cui si può dedurre la profonda differenza che intercorre tra le relative valutazioni e le eventuali misure di intervento. E' molto chiaro come in un caso di questo genere il livello di sitospecificità del set di input è imprescindibile al fine di ottenere una corretta gestione del teorico sito.



Figura 34. Delimitazione dell'area di rispetto utilizzando i valori di default

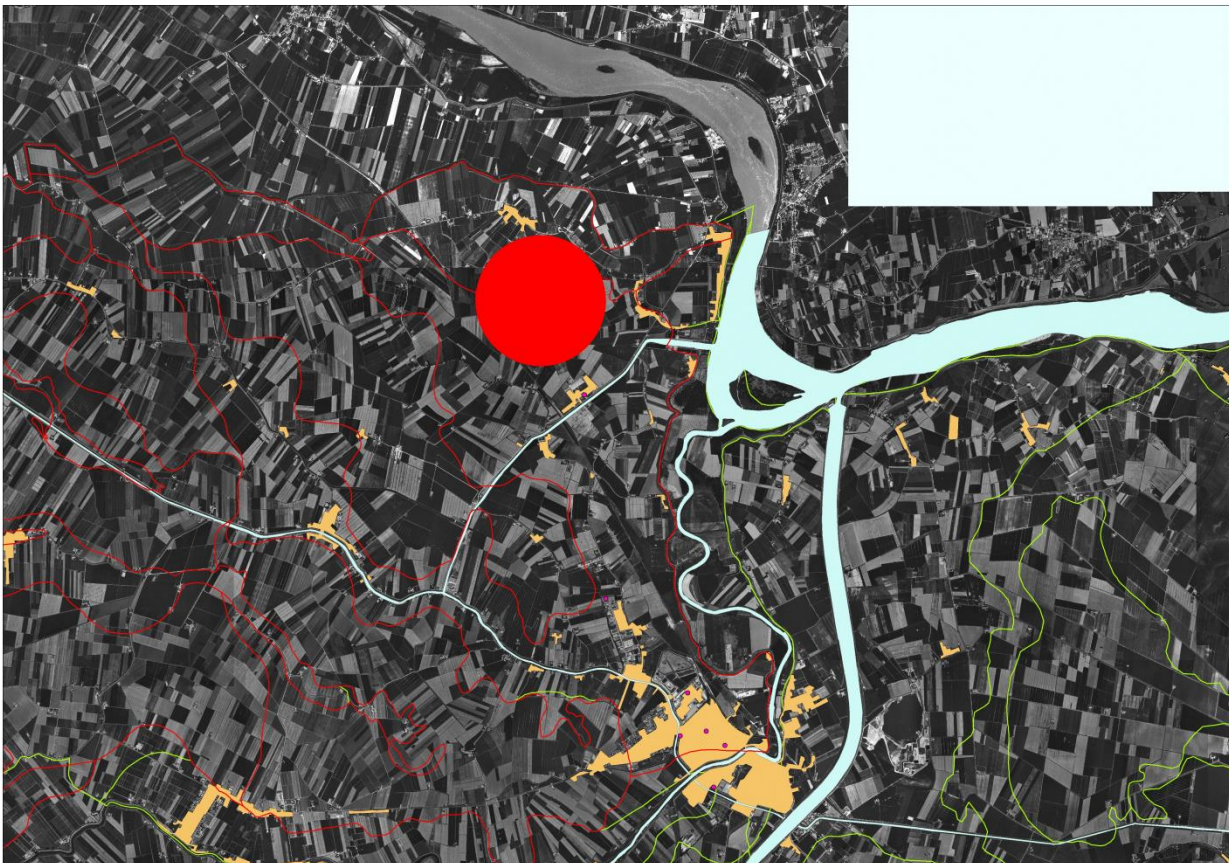


Figura 35. Delimitazione dell'area di rispetto utilizzando i valori locali ricavati dalla carta dei siti rappresentativi



5.2 Costruzione di carte tematiche: la carta della Ksat dei suoli di pianura

I siti rappresentativi locali sono stati utilizzati per costruire la carta della conducibilità idraulica satura (Ksat) della pianura emiliano-romagnola. Nelle 2486¹⁸ delineazioni della carta di pianura 1:50.000 ed. 2018 sono disponibili 2341 siti rappresentativi locali. La Ksat attribuita ad ogni sito corrisponde al valore di Ksat dell'orizzonte meno permeabile nella sezione di controllo (profondità 0-150 cm). Non tutti i siti hanno valori analitici (e quindi di Ksat) fino a questa profondità per cui si sono verificate 3 situazioni:

- 1068 siti analizzati fino a profondità ≥ 150 cm: in questo caso è stato assegnato il valore di Ksat dell'orizzonte meno permeabile come esemplificato in figura 38.
- 1235 siti analizzati fino a profondità < 150 cm (in media 100-120 cm). In questo caso è stato comunque assegnato un valore di Ksat sulla base di una valutazione ragionata sul tipo di suolo ricollegato al sito.
- 38 siti ricollegati a suoli collinari (presenti nell'ambiente di margine appennico) dove è presente solo il valore di Ksat dell'orizzonte A(p). In questo caso il valore di Ksat del suolo non è stato assegnato.

ID delin	Tipo	Data Agg	Grado Fiducia modello distribuzione suoli	Metodo apposizione Limite	Fiducia Limite
7546	rilevata e descritta singolarmente	19/01/2012	Moderato	per limite di pattern da analisi di immagine evidente	alto

Unità cartografica

Lotto UC	Cod UC	Sigla UC	Descrizione UC
A1601	0220	BAU1	consociazione dei suoli BAURA franco argillosi limosi

Note sui suoli

Nessuna nota

Ambiente

Geomorfologia	Caratteri Stazionali	Uso del Suolo
argini naturali e dossi di piana deliziosa		mais, sorgo, (ciclo estivo), frutteti: pomacee, frutteti: drupacee

Distribuzione dei suoli nella delineazione

Suoli presenti			Distribuzione			Siti di riferimento nella delineazione			
Archivio	Suolo	Nome Suolo	Rappresentatività regionale	%	Fiducia	Localizzazione	Sito	Rappresentatività	Localizzazione
F5008	BAU1	BAURA franco argilloso limosi	Osservazioni rappresentative	55	Moderato	diffusione omogenea.	7596	rappresentativo	nella delineazione
F5008	BAU4	BAURA franco limosi	Osservazioni rappresentative	20	Moderato	piccoli canali o parti di essi	9263	rappresentativo	delineazioni vicine
F5008	BOC1	BOCCALEONE franco limosi	Osservazioni rappresentative	10	Moderato	piccoli canali o parti di essi	11393	rappresentativo	delineazioni vicine
F5008	VAL1	VALLONA franco argilloso limosi	Osservazioni rappresentative	5	Moderato	piccole depressioni	3253	rappresentativo	delineazioni vicine
F5008	VOL1	VOLANO franchi	Osservazioni rappresentative	4	Moderato	piccoli canali e ventagli di rotta	7599	rappresentativo	delineazioni vicine
F5008	GAR1	GARUSOLA franco sabbiosi	Osservazioni rappresentative	4	Moderato	piccoli ventagli di rotta	19020	rappresentativo	delineazioni vicine
F5008	SRE1	STRADA REALE franco limosi	Osservazioni rappresentative	2	Moderato	porzioni distali verso la piana deliziosa esterna.	3208	rappresentativo	delineazioni vicine

Figura 36. Esempio di delineazione che presenta per tutti i suoli un sito rappresentativo

PARAMETRI ANALITICI/STIMA DEL SITO DI RIFERIMENTO																							
DELINEAZIONE N. 7546, SUOLO: BAU4																							
ORIZZONTI DEL SITO											ANALISI												
SITO	N. oriz	Orizzonte genetico				Prof. orizzonte			Campione				Analisi chimico-fisiche							Analisi fisiche			
		Discont	Orizmast	Sufalf	Sufum	min cm	max cm	Schel. %	N. camp	min cm	max cm	Sabbia	Limo	Argilla	Classe	pH-H2O	C.org.	Sost.org.	Calc. Tot.	Calc. Att.	C. S. C.	Dens. App.	Ksat
9263	1		A	p		0	50	0	1	30	50	10	63	27	FL	8,1	1,218	2,1	11	4	16,38	1,5	0,036
9263	2		B	w		50	100	0	1	65	85	7	64	29	FLA	8,2	0,928	1,6	10	4	19,29	1,53	0,019
9263	3		C	k	1	100	140	0	1	110	130	5	68	27	FL	8,2	0,58	1	18	9	16,49	1,69	0,006
9263	4		C	k	2	140	210	0	1	140	150	5	64	31	FLA	8,2	0,812	1,4	12	6	19,6	1,77	0,001

Figura 37. Esempio di sito rappresentativo con analisi disponibili fino a profondità ≥ 150 cm. Nel cerchio il valore di Ksat assegnato al sito.

¹⁸ Il numero delle delineazioni considerate di pianura è stato allargato rispetto a quanto descritto nelle note illustrative della carta dei suoli 1:50.000 in quanto sono stati inclusi in questa carta anche terrazzi alluvionali di vario ordine (di dimensioni talora molto piccole) presenti nell'ambiente collinare



KSAT	Classe	micro m/s	cm/h
1	Molto bassa	< 0,01	<0.0036
2	Bassa	0,01-0,1	0.0036 - 0.036
3	Moderatamente bassa	0,1-1	0.036 - 0.36
4	Moderatamente alta	1-10	0.36 - 3.6
5	Alta	10-100	3.6 - 36
6	Molto alta	>100	>36

Tabella 20. Classi di Ksat (SSM, 1993). In Emilia-Romagna i valori di Ksat sono espressi in cm/h

L'**81%** (2012) delle **2486** delimitazioni di **pianura** hanno i siti rappresentativi per ogni suolo che le compongono, il **14%** (338) presentano il sito rappresentativo solo per alcuni dei suoli presenti e solo il **5%** (136) non presenta nessun sito rappresentativo.

E' stato possibile assegnare solo a **1950** delimitazioni sulle 2012 complete il valore di Ksat che corrisponde al valore medio ponderato dei valori di Ksat dei singoli suoli in funzione della loro percentuale di diffusione all'interno della delimitazione stessa. Per **70** delimitazioni del margine appenninico che presentano comunque tutti i siti rappresentativi, il valore di Ksat non è stato calcolato in quanto è presente una certa percentuale di suoli di collina sui cui siti ricollegati non è stato calcolato il valore di Ksat.

Il valore di Ksat ottenuto sulle 1950 delimitazioni (in cm/h) è stato poi classato sulla base della classificazione riportata alla tabella 20. A questi poligoni è stato assegnato un **valore di attendibilità alto**.

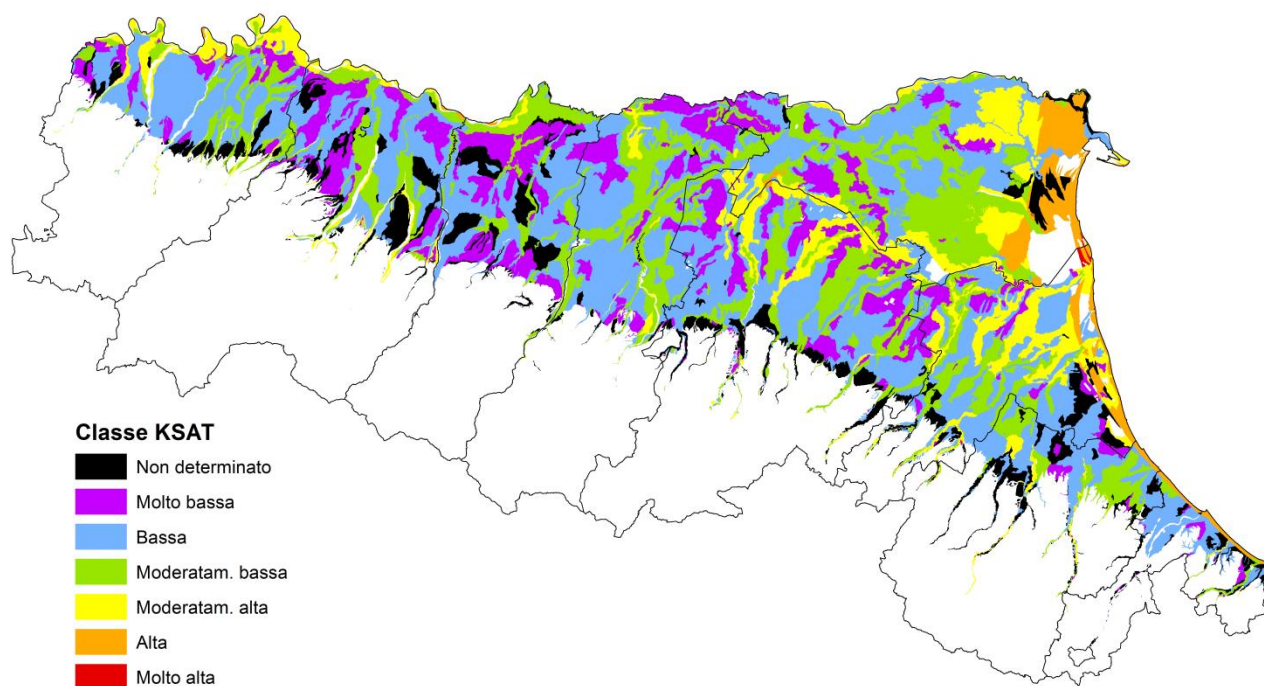


Figura 38. Carta della Ksat usando i siti rappresentativi locali. I poligoni non caratterizzati (12%) sono colorati di nero

Per le restanti delimitazioni sono stati utilizzati altri metodi per ottenere il valore di Ksat.

Per le 411 delimitazioni che presentano suoli di pianura al 100% ma che sono incomplete per quanto riguarda i siti rappresentativi sono stati utilizzati i valori di Ksat dei profili modali dei suoli. A questi poligoni è stato assegnato un valore di attendibilità **medio**.

Per le 125 delimitazioni in cui sono presenti suoli di collina in varie percentuali la classe di Ksat è stata assegnata con giudizio di esperto. A questi poligoni è stato assegnato un valore di attendibilità **basso**.

Per spiegazioni più dettagliate sulla metodologia usata per costruire questa carta fare riferimento alle note illustrative della carta¹⁹.

¹⁹ http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/ksat_pianura.pdf



5.3 Costruzione di carte tematiche: la carta dei servizi ecosistemici

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 40.

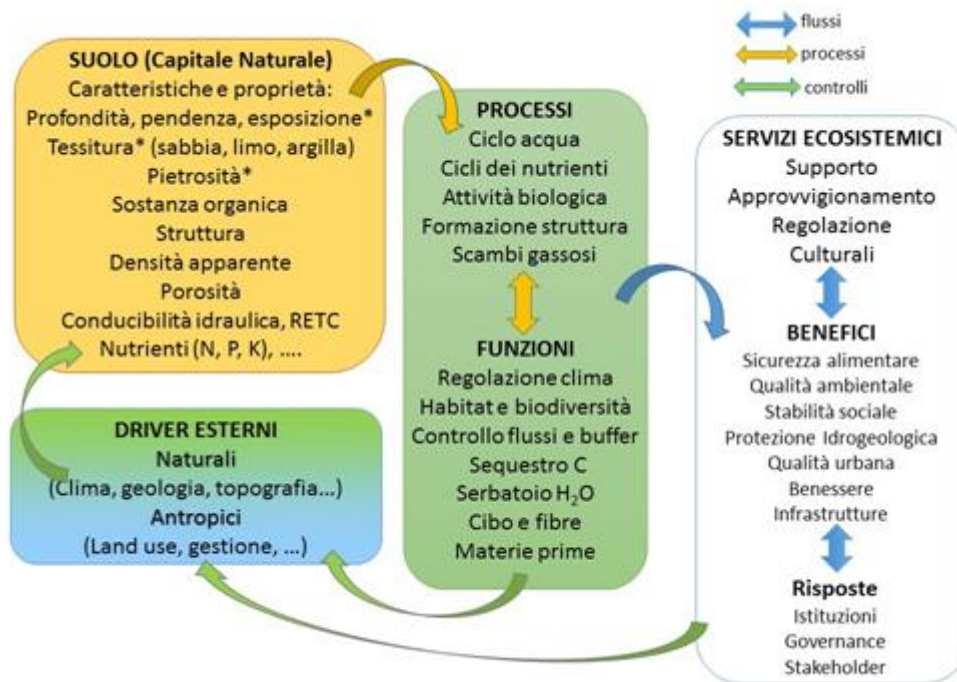


Figura 39. Servizi ecosistemici del suolo: modello a cascata

Per realizzare la carta dei servizi ecosistemici dei suoli è stato sviluppato un metodo che consiste in:

- 1) definizione dei servizi ecosistemici resi dal suolo basata sui dati pedologici disponibili;
- 2) definizione di opportuni indicatori;
- 3) valutazione e cartografia dei diversi servizi ecosistemici (Calzolari et al, 2016).

Il metodo considera le seguenti funzioni/servizi:

- 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 41.

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 regionale e 0 il valore minimo.

Il valore 0 non indica che il servizio è assente ma che è il minimo relativo nell'area regionale.

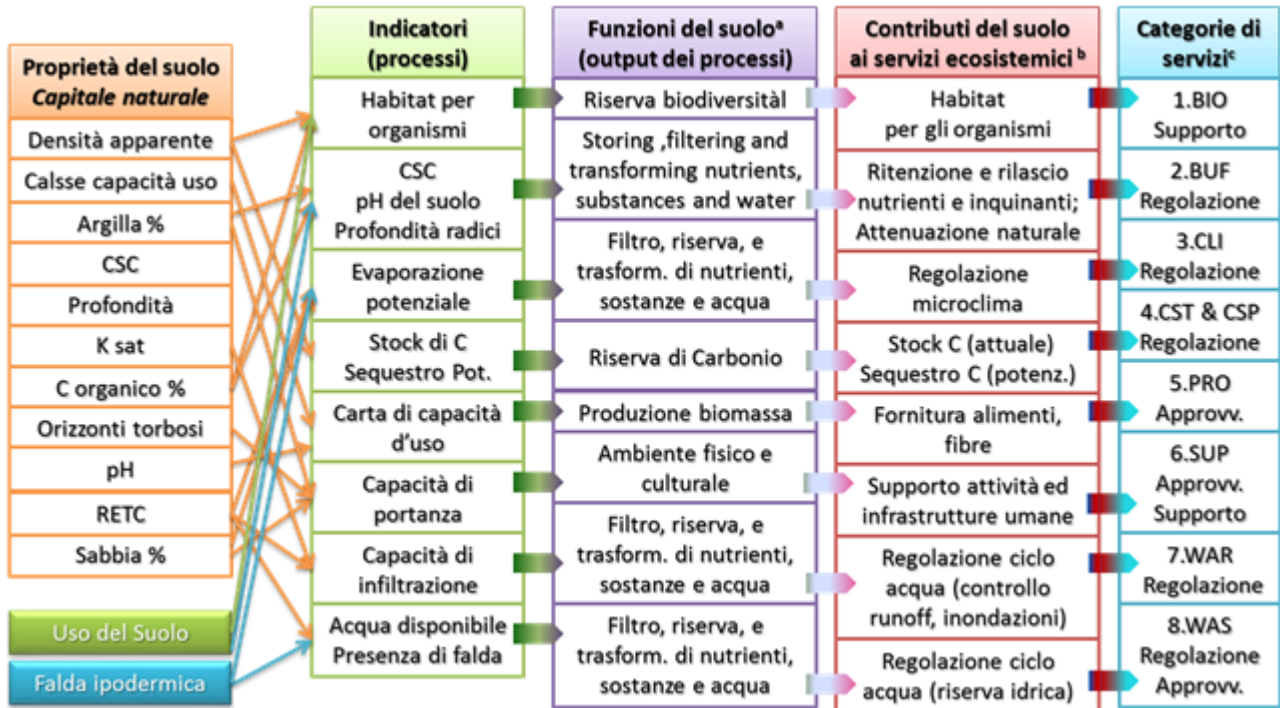


Figura 40. Definizione degli indicatori per i servizi ecosistemici del suolo. CSC: capacità di scambio cationico; K sat: conducibilità idrica saturata; RETC: parametri di ritenzione idrica. aCEC, 2006; bDominati et al., 2010; cMAE, 2005.

5.3.1 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 microfauna 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 **QBS-ar** legate all'utilizzo del suolo:

- alta (QBS-ar, 150-250) per prati/pascoli permanenti, aree di torba e boschi;
- media (QBS-ar, 100-150) per i terreni agricoli dove vengono praticate rotazioni con prati e lavorazioni minime;
- bassa (QBS-ar, 60-100) per altri usi del terreno.

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

Nel nostro approccio, la classifica qualitativa di QBS-ar 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, Mg m⁻³) e il contenuto in **carbonio organico** (OC%) dei primi 30 cm (entrambi trasformati in Log), combinati con il **QBS-ar** (Alto = 1; Medio = 0,5; Basso = 0,25) come segue:

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



5.3.2 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** ($<10 \text{ cmol kg}^{-1}$ o $> 10 \text{ cmol kg}^{-1}$), 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**.

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

5.3.3 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:

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

5.3.4 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.

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

5.3.5 Produzione di alimenti (PRO)

La valutazione della capacità di produrre alimenti (e biomassa in genere) si basa sulle 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 (Guermendi, 2000). La carta di LCC è disponibile in scala 1: 50.000 (Regione Emilia-Romagna, 2010) per le aree di pianura. 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 21.

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

Tabella 21. Valore dell'indicatore per la produttività agricola (PRO) in funzione della classe di capacità d'uso



5.3.6 Supporto infrastrutture (SUP)

Le proprietà fisiche del suolo determinano la sua capacità di sostenere edifici, strade e altre infrastrutture. Tra queste, la struttura del suolo, la permeabilità, la quantità e la qualità della frazione di argilla e la presenza di torba svolgono un ruolo fondamentale nella valutazione dell'idoneità del suolo per scopi edilizi. Come indicatore della capacità dei suoli a sostenere edifici, strade e altre infrastrutture fondamentali basi, ci si basa sul sistema di classificazione del terreno adottato in Italia come riferimento per la costruzione di strade (CNR-UNI 10006, 2002). Questo sistema raggruppa i terreni sulla base della loro caratteristiche geotecniche.

L'indicatore normalizzato, per una profondità di riferimento di 100 cm, è stato calcolato tenendo conto della conducibilità saturata idraulica (**Ksat**, mm h⁻¹), del contenuto in **scheletro**, del contenuto di **sabbia**, **argilla**, e dell'eventuale presenza di **torba**. L'indicatore SUP viene calcolato come segue:

$$\text{SUP } 0-1 = (\text{Log Ksat } 0-1 + \text{scheletro } 0-1 + \text{Sabbia } 0-1 - \text{Argilla } 0-1) \quad (5)$$

e nel caso di presenza di torbe

$$\text{SUP } 0-1 = 0 \quad (6)$$

5.3.7 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, m³ 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, 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:

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

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** (Ksat, 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:

$$\text{WAR0-1} = \log \text{Ksat0-1} - \text{PSIe0-1} \quad (8)$$

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.



5.3.8 Realizzazione della carta dei servizi ecosistemici: esempio per il comune di Forlì

Una volta definiti gli indicatori utili a descrivere i servizi ecosistemici forniti dai suoli, la carta dei servizi ecosistemici viene realizzata calcolando i diversi indicatori per ogni sito rappresentativo di ogni poligono della carta dei suoli 1:50.000. In pratica, per ogni sito rappresentativo e per ogni orizzonte i parametri necessari al calcolo degli indicatori, direttamente disponibili o derivati con pedofunzioni, vengono mediati sulla profondità di **100 cm**. Conoscendo la percentuale di diffusione delle diverse UTS, è così possibile attribuire ad ogni poligono un **valore mediato dei diversi indicatori**. 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.

A livello comunale, per la standardizzazione dei diversi indicatori nell'intervallo intervallo da 0 a 1 viene considerato il range presente nel territorio del comune: è importante ribadire che il valore 0 non indica che il servizio è assente ma che è il minimo relativo nell'area considerata.

Nell'ambito del progetto **SOIL4LIFE** (2016-2019) sono state realizzate le carte dei servizi ecosistemici per tre comuni emiliano-romagnoli: Forlì (FC), San Lazzaro di Savena (BO) e Carpi (MO).

Il comune di Forlì ha una superficie di circa 228 kmq. Il territorio urbanizzato, così come calcolato nel rapporto 2017 dell'ISPRA²⁰, risulta di 31 kmq, pari al 14% del territorio comunale.

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** siti rappresentativi locali per un totale di 354 orizzonti estratti dalla banca dati pedologica regionale. Le statistiche descrittive dei dati utilizzati sono riportate nella tabella 22. 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 ⁻³	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 satura*, 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 22. Statistiche descrittive dei dati utilizzati per il calcolo degli indicatori per il comune di Forlì. *Dato stimato da pedofunzione. I valori si riferiscono ai dati ponderati sui 100 cm di profondità.

Nella figura 42 sono riportate le carte dei servizi ecosistemici forniti dai suoli del comune di Forlì.

²⁰ www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo

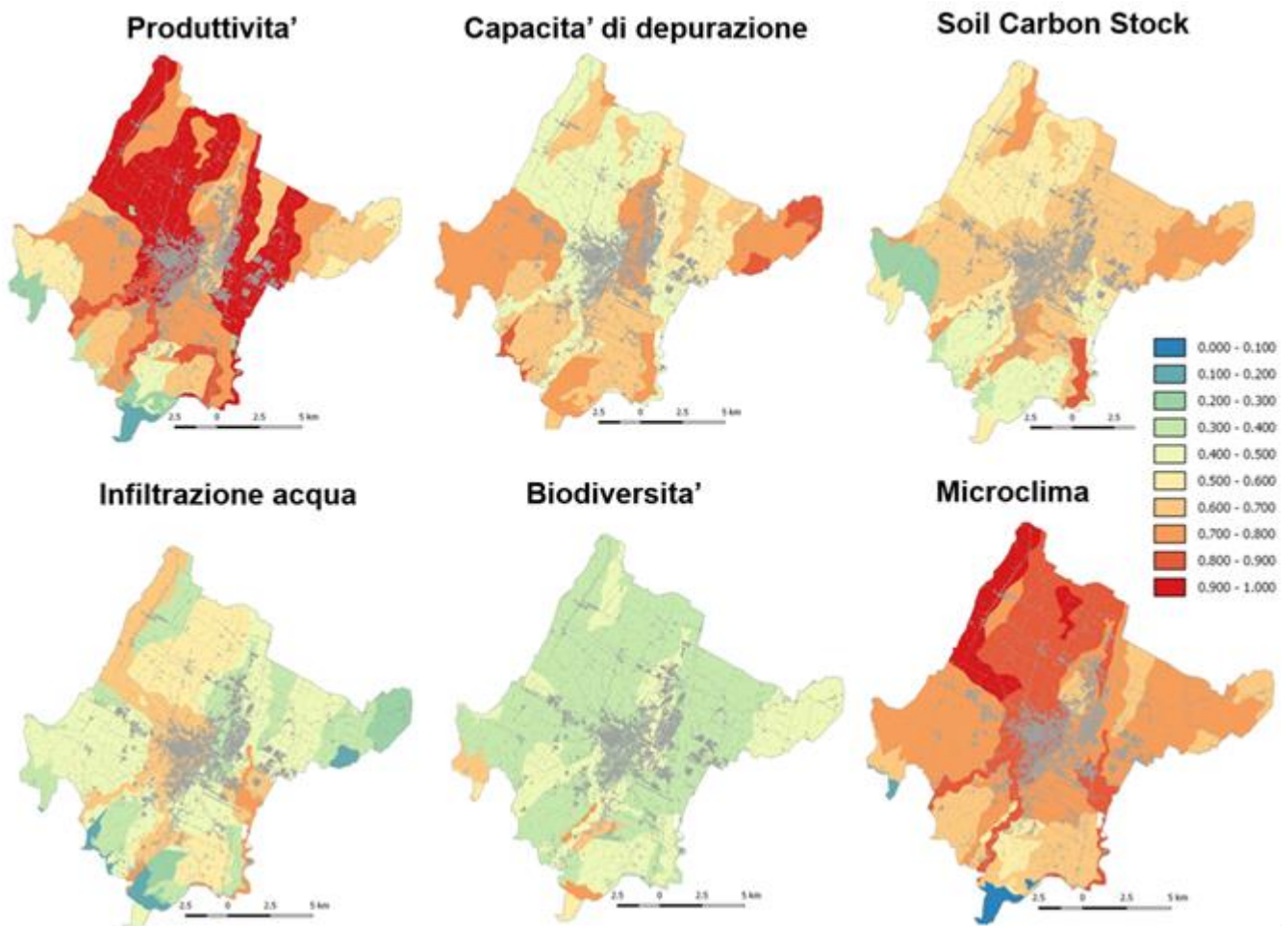


Figura 41. Forlì: carte dei servizi ecosistemici dei suoli comunali



5.4 Costruzione di carte tematiche: la carta di attitudine alla coltivazione intensiva del nocciolo

La Carta di attitudine alla coltivazione del nocciolo, realizzata nell'ambito del Progetto Italia promosso da Ferrero SpA al fine di incrementare la quota nazionale di approvvigionamento di questa importante materia prima, intende fornire agli agricoltori uno strumento che individua a grandi linee le aree più idonee per la riuscita degli impianti e quelle in cui, viceversa, la remunerazione degli investimenti è ritenuta poco probabile.

Il Servizio Organizzazioni comuni di mercato e sinergie di filiera e il Servizio Geologico sismico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna, insieme ad Arpae-ER, hanno fornito i dati di base necessari per lo studio preliminare e hanno preso parte alla definizione della metodologia per la valutazione dell'attitudine del territorio. L'elaborazione dei dati e la realizzazione della carta sono stati effettuati da Agristudio Spa, incaricata a tal fine da Ferrero Spa.

La metodologia adottata per la realizzazione della carta trae origine dalla **Land Suitability Classification**, messa a punto dalla FAO negli anni '70.

Sulla base di quanto reperito in letteratura, in particolare derivato da analoghe esperienze di zonazione realizzate in Regioni italiane e delle conoscenze dirette dei partecipanti al gruppo di lavoro, sono stati dapprima individuati i caratteri agro-climatici, pedologici e stagionali che condizionano la possibilità di coltivare proficuamente il nocciolo. Si è fatto riferimento ai requisiti del nocciolo in quanto specie (*Corylus avellana L.*), senza considerare la variabilità di esigenze tra le principali varietà coltivate, in quanto le conoscenze disponibili non sono sufficienti per questo livello di dettaglio.

Il primo passo consiste nel definire le esigenze climatiche, pedologiche e stagionali necessarie per la coltivazione intensiva e sostenibile del nocciolo. In seguito, i requisiti colturali vengono confrontati con le caratteristiche climatiche, pedologiche e stagionali del territorio. In base al grado di corrispondenza con i requisiti colturali, espresso attraverso un sistema di **punteggi**, il territorio viene ripartito in **4 classi di idoneità**:

- S1 Adatto, punteggio complessivo tra 85 e 100
- S2 Moderatamente adatto, punteggio complessivo tra 65 e 85
- S3 Poco adatto, punteggio complessivo tra 45 e 65
- N Non adatto, punteggio complessivo tra 45 e 0

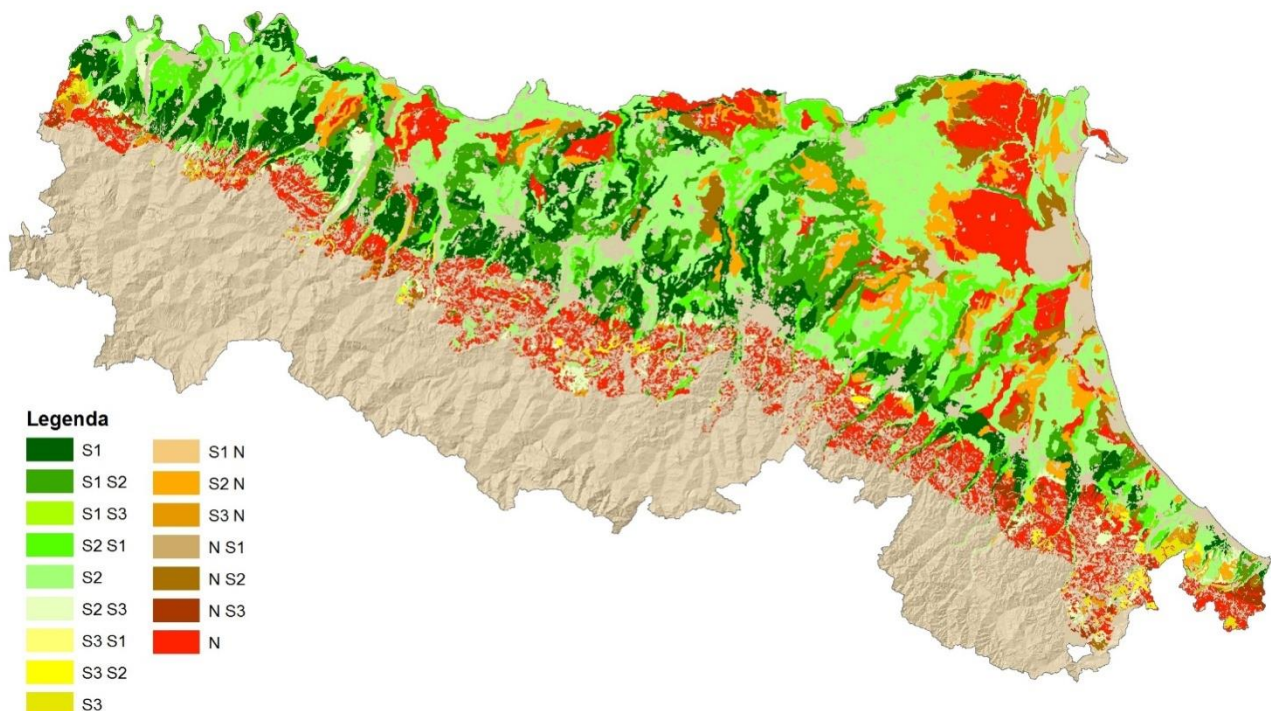


Figura 42. Carta di attitudine pedologica e gestionale alla coltivazione del nocciolo



Caratteri	Classi e punteggi				
	buono	da buono a moderato	moderato	da moderato a imperfetto	Imperfetto, scarso o molto scarso
Drenaggio	100	80	50	25	non idoneo
Profondità utile (cm) classi	>50	25-50			<25
	100	30			non idoneo
Tessitura	FA, FS: 85 FSA, FL: 90 F: 100	L: 75 FLA (A% <35): 75 AS 65	SF: 55 FLA (A% >35): 45 AL: 35	A, S: 0	
Scheletro (%) per valori intermedi tra i limiti di classe si assegna un punteggio proporzionale	0-5	5-10	10-25	>25	
	100-85	85-65	65-0	0	
Reazione (pH)	5,5-7	5,0-5,5 7,0-7,8	7,8-8,4 4,5-5,0	>8,4 <4,5	
	100	80	50	0	
Calcare totale (%) per valori intermedi tra i limiti di classe si assegna un punteggio proporzionale	0-8	8-15	15-30	>30	
	100-85	85-65	65-0	0	
Calcare attivo (%)	<2,5	2,5-8	8-12	>12	
	100	65	25	non idoneo	
Salinità (ECe dS/cm)	0-2	2-4	4-8	>8	
	100	75	0	non idoneo	
Pendenza (%)	0-7	7-10	10-20	>20	
	100-85	85-65	65-0	non idoneo	
Pietrosità superficiale (%) (% di pietre >7,5 cm di diametro)	assente	<0,1	0,1-3	3-15	>15
	100	85	65	25	non idoneo
Rocciosità (%)	assente	<2	2-10		>10
	100	75	25		non idoneo

Tabella 23. Schema di valutazione alla coltivazione del nocciolo (per la parte pedologica)

La carta dei suoli ed. 2015 e i siti rappresentativi sono stati utilizzati per costruire la **Carta dell'attitudine pedologica e gestionale**, la quale illustra le potenzialità e le limitazioni dovute sia alle caratteristiche del suolo (in quanto influiscono sullo sviluppo della pianta) sia alle caratteristiche stazionali (in quanto condizionano le possibilità di meccanizzazione delle operazioni colturali).

I parametri richiesti che riguardano il suolo sono:

1. **Pendenza;**
2. **caratteri stazionali:** pietrosità superficiale % >7.5 cm, rocciosità;
3. **relativi al suolo nel suo complesso:** disponibilità di ossigeno, profondità utile alle radici;
4. **riferiti ai singoli orizzonti (sezione di controllo 80 cm):** % argilla, % sabbia totale, scheletro (%), reazione (pH), salinità (dS/m); calcare totale %; calcare attivo %



Per la pendenza è stato utilizzato il DTM a 10 m, usando la media nella delineaazione. I caratteri stazionali e quelli relativi al suolo nel suo complesso sono reperibili nel database delle qualità dei suoli²¹. Per i caratteri qualitativi (ad es. disponibilità di ossigeno) oppure difficilmente quantificabili per carenza di dati di base (es. il calcare attivo), l'assegnazione del punteggio avviene per **classi discontinue**, senza alcuna gradazione all'interno di ogni classe. Alcuni caratteri inoltre, superata una certa soglia, vengono considerati di per sé un limite assoluto alla coltivazione del nocciolo. Ad esempio, per pendenze superiori al 20% la coltivazione redditizia del nocciolo si considera impraticabile (**non idoneo**), anche nell'ipotesi che tutti gli altri caratteri assumano valori ottimali.

I **profili rappresentativi locali** sono stati usati per calcolare alcuni parametri del gruppo (4); quando un sito locale non era disponibile è stato sostituito dal sito di riferimento regionale.

Per i caratteri tessitura, scheletro, reazione (pH) e calcare totale il valore considerato deriva da una **media ponderata** lungo il profilo di suolo (sezione di controllo 0-80 cm). I dati di salinità (ECe) e del calcare attivo non erano disponibile per tutti i profili e quindi i dati sono stati prelevati dal database delle qualità del suolo.

Di seguito si fa un esempio di calcolo sulla delineaazione **7288** (uc. GH11. Classe di suitability S1)

suolo	%	DTM	Database qualità dei suoli							Media ponderata 0-80 cm del sito rappresentativo				
		Pend. % media	Profondità utile radici	Salinità 0-50 cm	Salinità 50-100 cm	Calcare attivo entro 80 cm %	Disponibilità di ossigeno	rocciosità	Pietrosità superf. %	ID SITO	Classe tex	Schel %	Calcare Totale %	pH
GH11	60	1.59	da molto elevata (>150 cm) a elevata (100-150 cm)	non salino	non salino	0	moderata	assente	0	7912	FL	0	0	6.2
GH11	25	1.59	da molto elevata (>150 cm) a elevata (100-150 cm)	non salino	non salino	0	moderata	assente	0	123	FL	0	0	6.6
MFA1	5	1.59	elevata (100-150 cm)	non salino	non salino	0	moderata	assente	0	116	FLA	0	0	7
TAL1	5	1.59	elevata (100-150 cm)	non salino	non salino	0-1	moderata	assente	0	464	F	0	0	7.7
BAR1	5	1.59	da molto elevata (>150 cm) a elevata (100-150 cm)	non salino	non salino	0-1	buona	assente	0-5 (0)	115	FL	0	0	7.3

Tabella 24. Dati di input

suolo	%	Pend. % media	Profondità utile radici	Salinità 0-100 cm	Calcare attivo entro 80 cm	Disponib. ossigeno	Rocciosità	Pietrosità superficiale	Classe tex	Schel %	Calcare Totale %	pH	PUNTEGGIO	Classe SUITAB
GH11	60	96.59	100	100	100	50.00	100	100.00	90.00	100	100	100	94.24	S1
GH11	25	96.59	100	100	100	50.00	100	100.00	90.00	100	100	100	94.24	S1
MFA1	5	96.59	100	100	100	50.00	100	100.00	75.00	100	100	100	92.87	S1
TAL1	5	96.59	100	100	100	50.00	100	100.00	100.00	100	100	80	93.33	S1
BAR1	5	96.59	100	100	100	100.00	100	85.00	90.00	100	100	80	95.60	S1

Tabella 25. Punteggi assegnati ai singoli parametri e valutazione finale

Per spiegazioni più dettagliate sulla metodologia usata per costruire questa carta fare riferimento alle note illustrative della carta²².

²¹ Le qualità dei suoli sono consultabili sul Catalogo dei suoli http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/catalogo_tipi_suolo.jsp

²² <https://agri.regione.emilia-romagna.it/MotoreGis/TemiAgricoli/gis.html>



6 ALLEGATI

6.1 Pedofunzioni utilizzate per il calcolo della densità apparente

Cod. PTF	Pedofunzione di calcolo	Orizzonti sui cui la PTF viene utilizzata	Riferimento
1296	1.ORIZZONTI CON C ORG. > 2,15%	orizzonti O torbosi e Ap con valori elevati di sostanza organica.	Hollis et al, 2012
1297	2.ORIZZONTI A GENERICI E FORESTALI	orizzonti A di suoli forestali in pianura e collina	Hollis et al, 2012 ricalibrata
1399	ORIZZONTI A GENERICI	Orizzonti A di prati stabili in ambiente di pianura	CNR, 2017
1298	3.ORIZZONTI Ap GENERICI	orizzonti Ap, Ap1 e Ap2	CNR, 2013
1299	4.ORIZZONTI B GENERICI di pianura	orizzonti B, Ap2, orizzonti sepolti, in ambiente di pianura	CNR, 2013
1300	5.ORIZZONTI B GENERICI di collina	orizzonti B, Ap2, orizzonti sepolti, in ambiente di collina	CNR, 2013
1301	6.ORIZZONTI C GENERICI di pianura	orizzonti C, in ambiente di pianura	CNR, 2013
1302	7.ORIZZONTI C GENERICI di collina	orizzonti C, in ambiente di collina. Non viene utilizzata per gli orizzonti Cr paralitici.	CNR, 2013

Tabella 26. Elenco delle pedofunzioni utilizzate

6.1.1 Stima densità apparente (Mg m⁻³) orizzonti con Carbonio organico > 2.15% (Hollis, 2012)

Input pedofunzione: **C org %**

$$BD\ Org = 1.4903 - 0.33293 \times \ln(C\ org\ \%)$$

6.1.2 Stima densità apparente (Mg m⁻³) orizzonti A generici e forestali (Hollis, 2012, ricalibrata)

Per questi orizzonti si utilizza la pedofunzione di Hollis et al (2011) ricalibrata sulle osservazioni presenti nel data set regionale (N=17).

Input pedofunzione: **C org %, S%, A%**

L'algoritmo selezionato ha la seguente forma:

$$BD\ A^* = -6.622293 + (8.0260744 \times \text{Exp}(-0.0194514 \times C\ org\ \%) + (-0.000012057 \times S\ \%) - (-0.00789072 \times A\ \%))$$

Per quanto riguarda gli A forestali, il range di validità degli output è dato dai valori rispettivamente minimo e massimo misurati e presenti nel data base regionale, ed è compreso tra 1.06 Mg m⁻³ e 1.43 Mg m⁻³. Nel caso di output fuori range, o di mancanza di qualche dato in input, si utilizza la media delle osservazioni, pari a 1.30 Mg m⁻³.

Range output	min	max	Media
A forestali, tutte le tessiture	1.06	1.43	1.30

Nel caso degli altri orizzonti A, il range di validità è compreso fra 1.3 e 1.76 Mg m⁻³. Nel caso di output fuori range, o di mancanza di qualche dato in input, si utilizza la media delle osservazioni, pari a 1.51 Mg m⁻³.

Range output	min	max	Media
A generici, tutte le tessiture	1.3	1.76	1.51



6.1.3 Stima densità apparente (Mg m⁻³) orizzonti A generici di pianura (Calzolari, Ungaro, 2017)

Questa pedofunzione è stata calibrata sulla Soil Region 18.8, di cui la pianura emiliano-romagnola fa parte, su un dataset di 77 dati relativi a suoli su prati stabili.

Input pedofunzione: **Corg%**, **Limo%**

$$BD A^* = 1.580135 - 0.085119 * Corg\% + 0.000401 * Limo\%$$

Il range di validità degli output è il seguente

Range output	min	max	Media
Tutte le tessiture	1.00	1.79	1.47

6.1.4 Stima densità apparente (Mg m⁻³) orizzonti Ap generici (Calzolari, Ungaro, 2013)

Per questo orizzonte sono state considerate tutte le misure effettuate nei mesi "invernali" (eccettuato cioè i mesi di luglio, agosto e settembre), sia in pianura che in collina. Il data set di partenza è costituito da 261 osservazioni. Le PTF derivate, pur avendo indici di errore sul data set di calibrazione piuttosto elevati (R²= 0.17 e RMSD= 0.15), sono molto stabili (17 output fuori range su più di 4700 record).

Input pedofunzione: **C org %**, **A%**, **L%**,

L'algoritmo selezionato ha la seguente forma:

$$BD Ap = +5.5435e-006(LIMO * ARGILLA^{0.5} * Sg^2 * CORG^2) - 1.0617e-009(LIMO^2 * ARGILLA^2 * Sg^2 * CORG) + 1.6343(LN prof MAX * Dg * CORG) - 0.18851(LN prof MAX^2 * ARGILLA^{0.5} * Dg * CORG) + 1.4106e-005 (LNprofMAX^2 * LIMO^{0.5} * ARGILLA * Sg^{0.5}) + 1.4892$$

Il range di validità degli output è stato valutato sui valori di BD aggregati per gruppo tessiturale: fine (F), medio (M) e grossolano (G) definiti secondo gli standard RER. In tabella si riportano i valori di range ed il valore della media dei valori misurati per i diversi raggruppamenti tessiturali. Nel caso di output fuori range, o di mancanza di qualche dato in input, si utilizza il valore medio corrispondente al raggruppamento tessiturale

Range output	min	max	Media
Gruppo tessiturale F	1.105	1.785	1.42
Gruppo tessiturale M	1.12	1.86	1.52
Gruppo tessiturale G	1.125	1.77	1.49

6.1.5 Stima densità apparente (Mg m⁻³) orizzonti B generici di pianura (Calzolari, Ungaro, 2013)

Per la calibrazione della PTF per questo orizzonte sono state considerate tutte le misure effettuate nei mesi "invernali" (eccettuato cioè i mesi di luglio, agosto e settembre) in ambiente di pianura. Il data set di partenza è di 231 osservazioni. La PTF derivata, ha indici di errore abbastanza alti sul data set di calibrazione (R² 0.20 e RMSD 0.15), e sono abbastanza stabili con 63 output fuori range su circa 6300 record.

Input pedofunzione: **C org %**, **A%**, **L%**, **S%**

L'algoritmo selezionato ha la seguente forma:

$$BD B^* = -1.7475e-006 (LIMO * ARGILLA * Sg^2 * CORG) - 3.0321e-009 (SABBIA^2 * LIMO^2 * Dg^{0.5} * Sg^2) - 5.9934e-008 (LN prof media * SABBIA^{0.5} * ARGILLA^2 * Sg^2) + 2.1586e-007 * (LN prof media^2 * SABBIA^{0.5} * LIMO^{0.5} * ARGILLA * Sg^2 * CORG^{0.5}) + 1.5976$$

Il range di validità degli output è stato valutato sui valori di BD aggregati per gruppo tessiturale: fine (F), medio (M) e grossolano (G) definiti secondo gli standard RER. In tabella si riportano i valori di range ed il valore della media dei valori misurati per i diversi raggruppamenti tessiturali, Nel caso di output fuori range, o di mancanza di qualche dato in input, si utilizza il valore medio corrispondente al raggruppamento tessiturale

Range output	min	max	Media
Gruppo tessiturale F	1.11	1.88	1.49
Gruppo tessiturale M	1.21	1.92	1.57



Gruppo tessiturale G	1.34	1.59	1.43
----------------------	------	------	------

6.1.6 Stima densità apparente (Mg m⁻³) orizzonti B generici di collina (Calzolari, Ungaro, 2013)

Per la calibrazione della PTF per questo orizzonte sono state considerate tutte le misure effettuate nei mesi "invernali" (eccettuato cioè i mesi di luglio, agosto e settembre) in ambiente di collina. Il data set di partenza è di sole 29 osservazioni. La PTF derivata va quindi considerata come preliminare. Gli indici di errore sul data set di calibrazione sono relativamente bassi (R^2 0.75 e RMSD 0.07), e i risultati dell'applicazione all'intero database dei siti benchmark danno solo 18 output fuori range su circa 670 record.

Input pedofunzione: C org %, A%, L%

L'algoritmo selezionato ha la seguente forma:

$$BD \text{ B } *collina = -0.10512 * Sg * CORG^{0.5} + 0.010441 * LIMO * Sg^{0.5} - 0.00030593 * LN \text{ prof media}^{0.5} * LIMO * Sg * CORG^2 - 0.031961 * LN \text{ prof media} * LIMO^{0.5} + 0.0072909 * LN \text{ prof media}^2 * ARGILLA * Dg^{0.5} * Sg^{0.5} * CORG + 1.274$$

Il range di validità degli output è stato valutato su tutti i valori di BD misurati. In tabella si riportano i valori di range ed il valore della media. Nel caso di output fuori range, o di mancanza di qualche dato in input, si utilizza il valore medio.

Range output	min	max	Media
Tutte le tessiture	1.06	1.88	1.59

6.1.7 Stima densità apparente (Mg m⁻³) orizzonti C generici di pianura (Calzolari, Ungaro, 2013)

Per la calibrazione della PTF relativa a questo orizzonte sono state considerate tutte le misure effettuate nei mesi "invernali" (eccettuato cioè i mesi di luglio, agosto e settembre) in ambiente di pianura. Il data set di partenza è di 62 osservazioni. Le PTF derivate devono essere considerate preliminari. L'algoritmo selezionato ha indici di errore abbastanza buoni sul data set di calibrazione (R^2 0.51 e RMSD 0.11), e sono abbastanza stabili con 43 output fuori range su circa 2400 record.

Input pedofunzione: C org %, A%, L%, S%

L'algoritmo selezionato ha la seguente forma:

$$BD \text{ C } pianura = +0.00025691(LIMO^2 * ARGILLA^{0.5} * Dg^{0.5} * Sg^{0.5} * CORG) + 0.00014292 (SABBIA^{0.5} * ARGILLA^{0.5} * Dg^{0.5} * Sg^2) + 5.7667e-005 (SABBIA^2) - 0.00016332 (SABBIA^2 * LIMO^{0.5} * ARGILLA^{0.5} * Dg^2) - 9.4771e-008 (LNprofMIN^2 * SABBIA * LIMO^2 * ARGILLA * Dg^{0.5} * Sg^{0.5} * CORG^2) + 1.1455$$

Il range di validità degli output è stato valutato sui valori di BD aggregati per gruppo tessiturale: fine (F), medio (M) e grossolano (G) definiti secondo gli standard RER. In tabella si riportano i valori di range ed il valore della media dei valori misurati per i diversi raggruppamenti tessiturali. Dato il piccolo numero di misure nelle classi tessiturali fini, il range di validità proposto è definito dal minimo e dal massimo dei valori misurati. Nel caso di output fuori range, o di mancanza di qualche dato in input, si utilizza il valore medio corrispondente al raggruppamento tessiturale

Range output	min	max	Media
Gruppo tessiturale F	1.03	1.62	1.38
Gruppo tessiturale M	1.23	1.8	1.55
Gruppo tessiturale G	1.28	1.76	1.49

6.1.8 Stima densità apparente (Mg m⁻³) orizzonti C generici di collina (Calzolari, Ungaro, 2013)

Per la calibrazione della PTF relativa a questo orizzonte sono state considerate tutte le misure effettuate nei mesi "invernali" (eccettuato cioè i mesi di luglio, agosto e settembre) in ambiente di collina. Il data set di partenza è di sole 36 osservazioni. Le PTF derivate devono essere considerate con prudenza. L'algoritmo selezionato ha indici di errore abbastanza buoni sul data set di calibrazione (R^2 0.59 e RMSD 0.07), e sono moderatamente stabili con 54 output fuori range su circa 480 record.

Input pedofunzione: C org %, A%, L%, S%

L'algoritmo selezionato ha la seguente forma:



BD C collina = $+3.6785e-009 * SABBIA^{2*} LIMO * ARGILLA^2 * Dg * Sg^2 * CORG^{0.5} - 4.6031 * LN Prof MIN^{0.5*} SABBIA^{0.5*} Dg^2 * Sg^{0.5*} CORG^{0.5} - 1.3687e-008 * LN Prof MIN^{0.5*} SABBIA^{0.5*} LIMO^2 * ARGILLA^2 * Sg^{0.5*} CORG^2 + 2.2311e-005 * LN Prof MIN * SABBIA^2 * LIMO * ARGILLA^{0.5} * Dg^2 * Sg^{0.5} + 1.6581$

Il range di validità degli output è stato valutato sui valori di BD aggregati per gruppo tessiturale: fine (F), medio (M) e grossolano (G) definiti secondo gli standard RER, ma, dato il piccolo numero di misure nelle classi tessiturali fini, il range di validità proposto è definito dal minimo e dal massimo dei valori misurati. Nel caso di output fuori range, o di mancanza di qualche dato in input, si utilizza il valore medio di tutte le osservazioni

Range output	min	max	Media
Tutte le tessiture	1.28	1.86	1.57

6.1.9 Correzione della densità apparente per suoli con scheletro

La BD corretta per la presenza di scheletro può essere calcolata dalla seguente relazione (Berger, 1976). Delle numerose equazioni proposte per calcolare il valore di BD_t la bulk density totale ossia il valore riferito alla terra fine più lo scheletro, sono state testate le seguenti:

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

Dove:

R_m è il contenuto in scheletro espresso su base gravimetrica;

BD_t la bulk density totale

BD_{rf} la bulk density dello scheletro (valore medio utilizzato per i suoli emiliano-romagnoli = 2.26)

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;

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 stata utilizzata per la correzione dei valori di densità apparente derivanti da PTF per i suoli contenti almeno il 10% in frammenti grossolani.



6.2 Pedofunzioni utilizzate per il calcolo della conducibilità idraulica satura

6.2.1 Stima K satura CNR (Ungaro et al, 2013)

Input pedofunzione: **A%**, **S%**, **CO%**, **BD**

Derivazione input

S%: sabbia %, da banca dati

CO%: carbonio organico % , da banca dati (Log)

A%: argilla %, da banca dati

BD: densità apparente g/m³, da banca dati o da pedofunzione (corretta per scheletro)

Normalizzazione input 1

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

$$B = 0.895704956226224 + 1.90436429623194 * \log(CO\%)$$

$$C = -6.56853764508901 + 4.86964821073382 * BD$$

Calcolo output primo nodo rete

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

Normalizzazione input 2

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

Calcolo output secondo nodo rete

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

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

Controllo sul valore in output

I range di validità degli output sono così definiti:

Range output	Ksat mm/h min	Ksat mm/h max
tessitura F	0.0044	24.34
tessitura M	0.93	100.93
tessitura G	7.54	401.79

Tabella 27. Range di validità degli output Ksat Ungaro 2013



Nel caso di output fuori dal range dei dati osservati, si utilizzano i seguenti valori medi per classe tessiturale USDA:

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 28. Ksat: statistiche di bootstrap per le dieci classi tessiturali (N = 1,000) (valori in mm h⁻¹). StdDev: deviazione standard; 95% CI: intervallo di confidenza della media 95%. Stima K satura Brakensiek et al (1984)

Input pedofunzione: Sabbia % (S%), Argilla % (A%), Porosità (PORO2, vol/vol) derivata dalla densità apparente BD (g/m³)

Output: conducibilità idrica satura

$$K_{sat} \text{ (mm h}^{-1}\text{)} = 10 * \text{EXP} [(19.52348 * \text{PORO2}) - (8.96847) - (0.028212 * \text{A}\%) + (0.00018107 * \text{S}\%^2) - (0.0094125 * \text{A}\%^2) - (8.395215 * \text{PORO2}^2) + (0.077718 * \text{S}\% * \text{PORO2}) - (0.00298 * \text{S}\%^2 * \text{PORO2}^2) - (0.019492 * \text{A}\%^2 * \text{PORO2}^2) + (0.0000173 * \text{S}\%^2 * \text{A}\%) + (0.02733 * \text{A}\%^2 * \text{PORO2}) + (0.001434 * \text{S}\%^2 * \text{PORO2}) - (0.0000035 * \text{A}\%^2 * \text{S}\%)]$$

Dove $\text{PORO2} = (1 - \text{BD} / 2.65)$



7 BIBLIOGRAFIA

AAVV. Suoli e paesaggi delle Marche. A.S.S.A.M., 2006

Antoniazzi A. *I suoli della provincia di Forlì e i fattori naturali limitanti la loro utilizzazione*. Camera di commercio di Forlì, 1978

ARPAE. *Raccordo autostradale A15/A22. Piano di monitoraggio e gestione ambientale cantieri. Rilievi ante-operam. Documentazione di supporto per l'inquadramento ambientale dell'opera – Suolo* (2014)

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

Bini C., Coradossi N., Froio M., Gagnani R. *Mineralogia e geochimica dei suoli delle formazioni mio-plioceniche dell'appennino tosco-romagnolo*. Mineral. Petrogr. Acta 30:181-202 (1986-1987).

Boschi V., Chisci G; Ghelfi R. *Effetto regimante del medicaio sul ruscellamento delle acque e l'erosione del suolo negli avvicendamenti collinari*. Convegno annuale della Società Italiana di Agronomia. 17. Il ruolo dell'agricoltura nella conservazione del suolo. 1984, Vol 18, Num 3-4, pp 199-215

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

Bulgarelli L., Calzolari M., Casalicchio G., Giorgi G. & Vianello G. *La capacità d'uso dei suoli nel processo di pianificazione, analisi condotte per la formazione del nuovo P.R.G. di Savignano sul Panaro*. Coll. Orient. Geomorfologici ed Agronomico Forestali, ed. Pitagora, Bologna, 1984

Buscaroli A., Gherardi M., Lorito S. (2005). *Morfolitosequenza di suoli della formazione alloctona di Monghidoro (BO)*. Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo, 54 (1-2): 31-36.

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., Busoni, E., Sanchiz P. 2001. *Metodi indiretti per la stima delle proprietà fisico-idrologiche dei suoli. II. Definizione di nuove pedofunzioni. Progetto SINA - Carta Pedologica in aree a rischio ambientale*. Convenzione RER SGSS - CNR IGES: "Studio del comportamento fisico-idrologico degli strati superficiali del suolo", Rapporto n. 9.2, Febbraio 2001, 42 pp.

Calzolari C., Ungaro F, l'Abate G., Pellegrini S., Vinci I. *Realizzazione della carta dello stock di carbonio organico nei suoli italiani. Sviluppo di pedofunzioni per la stima della densità apparente e verifiche preliminari della loro applicabilità*. Global Soil Partnership, Soil partnership – Italia, 2017

Casalicchio G., Giorgi G., Ori R. & Vianello G. *Caratteristiche pedologiche, chimico-fisiche e di capacità d'uso dei suoli del comune di Castelnuovo Rangone*. Coll. Orient. Geomorfologici ed Agronomico Forestali, ed. Pitagora, Bologna, 1984

Casalicchio G., Vianello G., Brunelli G. *Realizzazione della carta delle limitazioni e delle potenzialità d'uso dei suoli in aree tipiche del territorio emiliano-romagnolo. Monte Sole (BO)*.

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.

Clayden, B.; Hollis J.M. *Criteria for differentiating soil series*, Rothamsted (Harpenden), Soil Survey, technical monograph n. 17, 1984.

Crevaschi M. *Paleosols and vetusols in the central Po plain (Northern Italy)*. Studi e ricerche sul territorio. Collana diretta da G. Corna-Pellegrini, 1-306. Unicopli, Milano, 1987



- 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.
- 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.
- Fregoni M., Zamboni M., Boselli M., Frascini P., Scienza A., Valenti L., Panont A., Brancadoro L., Bogoni M., Failla O., Filippi N., Laruccia N., Nardi I., Lega P., Zinoni F., Libè A. (1992) - *Ricerca pluridisciplinare per la zonazione viticola della Val Tidone (Piacenza)*. Vignevisini n. 11.
- 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.
- Giorgi G. *Carta dei Suoli della tavoletta Borgo Panigale 87 I SO (note illustrative)*- Coll. Orient. Geomorfologici ed Agronomico-Forestali, ed.Pitagora, 1983, Bologna, 48pp
- GSUEG (Gruppo di Studio delle Università Emiliane per la Geomorfologia). *'Geomorfologia dell'area circostante la Pietra di Bismantova (Appennino reggiano)*. Boll. References 172 Serv. Geol. It.,97 (1976)
- Guermendi 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
- 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.
- Hall D., Reeve M., Thomasson A., Wright V. *Water retention, porosity and density of field soils*- Soil Survey. Technical Monograph n. 9. Harpenden, 1977
- Hollis, J. M., Hannam J., Bellamy P. H., *Empirically-derived pedotransfer functions for predicting bulk density in European soils*. *European Journal of Soil Science*, February 2012, **63**, 96–109
- IUSS Working Group WRB. 1998. *World Reference Base for Soil Resources 1998*. World Soil Resources Reports No. 84 FAO, Rome.
- IUSS Working Group WRB. 2007. *World Reference Base for Soil Resources 2006*, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- 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.
- 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 *avtomatika*, 1 (3), 43-55.
- 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.
- Klingelbiel, A.A., Montgomery, P.H., 1961. *Land capability classification*. USDA Agricultural Handbook 210, US Government printing Office, Washington, DC.
- Laruccia N., Tarocco P, Magazzini P., Benatti N. *Carta di attitudine alla coltivazione del Nocciolo*. 2018. <https://agri.regione.emilia-romagna.it/MotoreGis/Nocciolo/gis.html>
- Leij F.J., Alves W.J., Van Genuchten M.Th., Williams, J.R., 1996. *Unsaturated Soil Database, UNSODA 1.0 User's manual*. Report EPA7600/R96/095. US Environmental Protection Agency, Ada, OK, 103 pp.



- Marinari S., Vittori Antisari L. *Effect of lithological substrate on microbial biomass and enzyme activity in brown soil profiles in the northern Apennines (Italy)*. *Pedobiologia* 53 (2010) 313–320
- Mensali G. *La salinizzazione dei suoli in ambiente costiero: un caso studio a sud di Ravenna*. Tesi di laurea anno accademico 2011-2012. Università degli studi di Bologna
- 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
- Merafina P. *Monitoraggio della dinamica dei nitrati nel mezzo insaturo in un'area vulnerabile della provincia di Parma e applicazione del modello di simulazione CropSyst*. Tesi di laurea anno accademico 2002-2003. Università degli Studi di Parma
- 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.
- MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo - *Metodi di Analisi Fisica del Suolo. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi*. Franco Angeli Ed. 1997
- MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo - *Metodi di Analisi Chimica del Suolo. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi*. Franco Angeli Ed. 2000
- Natale M. *Soil Bio-indicators in different pedoclimatic regions of the Padana Plain (Northeast Italy)*. Tesi di dottorato anno accademico 2017. Università degli studi di Bologna
- Nicosia C. *Suoli sepolti olocenici al margine appenninico centro-padano: aspetti geoarcheologici e paleoambientali*. Tesi di Dottorato anno accademico 2010-2011. Università degli studi di Milano
- Nigro G., Buscaroli C., Zamboni M., Scotti C., Simoni M., Castellari L. (2008). *La zonazione viticola dell'area DOC "Bosco Eliceo"*. Atti del Convegno «Riqualificazione della vitivinicoltura della pianura litoranea delle province di Ferrara e Ravenna.» Ostellato (FE), 18 dicembre. A cura del C.R.P.V. - Cesena.
- 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
- Piazzini M. *I suoli delle principali formazioni geomorfologiche della Pineta di San Vitale*. Tesi di laurea A.A 1987-1988. Università di Torino
- Poesen, J., Lavee, H, 1994. *Rock fragments in top soils: significance and processes*. *Catena*, 23, 1-28.
- 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
- Raimondi S., Scotti C. *Studio dei suoli del parco regionale dei gessi bolognesi e dei calanchi dell'Abbadessa ai fini dell'individuazione di indicazioni per un loro uso sostenibile*. 1995
- Regione Emilia-Romagna. *Catalogo dei suoli della regione Emilia-Romagna (2021)*. https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/Catalogo_suoli_RER.pdf
- Regione Emilia-Romagna. *Carta dei suoli della regione Emilia-Romagna in scala 1:50.000. Edizione 2021*. http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/carta_suoli_50k.pdf
- Regione Emilia-Romagna. *Carta della conducibilità idraulica satura dei suoli della pianura emiliano-romagnola in scala 1:50.000. ed. 2018* http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/ksat_pianura.pdf



Regione Emilia-Romagna. *I suoli dell'Emilia-Romagna*. Servizio Cartografico. Ufficio Pedologico. 1994.

Regione Emilia-Romagna. *I suoli delle aziende sperimentali*. Bologna, Reg. E.- R., 1996

Sarti F. *Indagine sui suoli dell'Azienda Sperimentale "Cadriano" dell'Università di Bologna*. Tesi di laurea anno accademico 1993-1994. Università di Bologna

Scotti C., Naldi S., Ciabocchi P. - I.TER soc coop ai fini del *Progetto CASTANI-CO (Gruppi Operativi per l'Innovazione. FOCUS AREA 5E)*. *Il sequestro di carbonio nel sistema del castagneto da frutto. Azione 1 monitoraggio del contenuto di sostanza organica nel suolo in siti rappresentativi della castanicoltura* (2021)

Scotti C.; Naldi S. Ciabocchi P. - I.TER soc coop ai fini del *Progetto BIODIVERSAMENTE CASTAGNO (Gruppi Operativi per l'Innovazione. FOCUS AREA 4A)*. *Linee guida per la preservazione e valorizzazione della biodiversità del castagno in Emilia-Romagna. Azione 2 lo studio della biodiversità degli ambienti pedoclimatici in connessione con alcuni siti di prelievo del materiale genetico dell'azione 1* (2021)

Scotti C., Naldi S. - I.TER soc coop ai fini del *Progetto VinCapTer (Gruppi Operativi per l'Innovazione. FOCUS AREA 5E)*. *Efficacia dell'ecosistema vigneto come sequestratore di carbonio: la casistica delle terre piacentine. Azione 1 caratterizzazione degli ambienti pedologici* (2021)

Scotti C., Naldi S. - I.TER soc coop ai fini del *Progetto FRUTTIFI_CO (Gruppi Operativi per l'Innovazione. FOCUS AREA 5E)*. *Frutticoltura Finalizzata Impronta Carbonio Organico. Azione 1 monitoraggio della sostanza organica nel suolo* (2021)

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

Soil Survey Division Staff - *Soil Survey Manual*. USDA. 2017

Soil Survey Staff - *Keys to Soil Taxonomy, 12th edition*, USDA - NRCS, Washington D.C. 2014

Tietje, O., Hennings V., 1966. *Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedo-transfer functions compared to the variability within FAO textural classes*, Geoderma, 69, 71-84

Tindall, A.J., Kunkel, J.R, Anderson, D.E. 1999. *Unsaturated zone hydrology for scientists and engineers*. Prentice Hall , Upper Saddle River, New Jersey, 624 p

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., 2007. *Metodi indiretti per la stima delle proprietà fisico idrologiche dei suoli. Definizione di nuove pedofunzioni per la stima della densità apparente dei suoli della pianura emiliano-romagnola. Convenzione RER SGSS - CNR IRP: "Carta dei suoli 1:250.000: realizzazione di strumenti di supporto per la corretta gestione del suolo nell'ambito dell'attuale politica agricola comunitaria con specifico riferimento al controllo dell'erosione idrica e dell'inquinamento delle acque"*. Rapporto 1.1 gennaio 2007, 68 pp.

Ungaro, F., Calzolari, C., Pistocchi, A., Malucelli, F., 2013. *Modelling the impact of increasing soil sealing on runoff coefficients at regional scale: a hydro-pedological approach*. J. Hydrol. Hydromech., 62, 2014,1, DOI: 10.2478/johh-2014-0005

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, Vol 124/3-4 pp 293-317

Vianello G. *Caratteri pedologici e capacità d'uso dei suoli del comune di Rimini*. 1988

Vianello G., Lorito S. (2006) *Progetto APOSA. Atlante dei: Paesaggi Orografia Suoli Acque delle regioni italiane*. UNIBO-MIPAF



Vittori Antisari L., Dell'Abate M. T., Buscaroli A., Gherardi M., Nisini L., Vianello G., *Role of soil organic matter characteristics in a pedological survey: "Bosco Frattona" natural reserve (Site of Community Importance, Italy) case study.*, «GEODERMA», 2010, 156, pp. 302 - 315

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

Zamboni M., Scotti C., Nigro G., Raimondi S., Simoni M., Antolini G. (2010). *La zonazione viticola dei Colli di Rimini*. Notiziario tecnico CRPV n. 81

Zamboni M., Scotti C., Nigro G., Raimondi S., Simoni M., Antolini G. (2012). *La zonazione viticola delle colline di Ravenna e Forlì-Cesena*. Notiziario tecnico CRPV n. 85

Zamboni M., Scotti C., Nigro G., Raimondi S., Simoni M., Melotti M., Antolini G. (2008). *La zonazione viticola delle colline di Parma, Reggio Emilia, Modena e Bologna*. Notiziario tecnico CRPV n. 78

Zannoni D. *Uso sostenibile dei suoli forestali di ambiente costiero in relazione ai fattori di pressione esistenti*. Tesi di Dottorato anno accademico 2006-2007. Università degli Studi di Bologna.