



Regione Emilia-Romagna



servizio geologico  
sismico e dei suoli

**CARTA  
DELL'EROSIONE IDRICA  
ATTUALE DELLA REGIONE  
EMILIA-ROMAGNA**

NOTE ILLUSTRATIVE

2019

a cura di:

**Francesca Staffilani**

*Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli*

*A cura di:*

Francesca Staffilani – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna

Daniele Bonaposta - Coop. ALVEO

Francesco Enrico Marucci - Coop. ALVEO

*con il contributo di:*

Paola Tarocco – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna

*In copertina:*

foto: Hortensia Siamese (<http://unsplash.com/photos/6tkzQwW5VBs>)

*Immagine coordinata:*

Simonetta Scappini – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna

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



Direzione Generale cura del territorio e dell'ambiente

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Viale della Fiera 8, 40127 Bologna

telefono: 051 5274792

fax: 051 5274208

e-mail: [segrgeol@regione.emilia-romagna.it](mailto:segrgeol@regione.emilia-romagna.it)

PEC: [segrgeol@postacert.regione.emilia-romagna.it](mailto:segrgeol@postacert.regione.emilia-romagna.it)

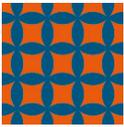
Sito web: <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/suoli-pianificazione/protezione-suolo>



## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>DEFINIZIONI.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA CARTA.....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>CONSULTAZIONE DELLA CARTA.....</b>	<b>16</b>
	4.1 Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH .....	16
	4.2 Scaricamento dati .....	16
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA UTILIZZATA .....</b>	<b>17</b>
	5.1 Fattori del modello RUSLE.....	17
	5.1.1 Fattore R.....	17
	5.1.2 Fattore K.....	20
	5.1.3 Fattore LS.....	26
	5.1.4 Fattore C.....	29
	5.2 Elaborazione spaziale.....	33
<b>6</b>	<b>ALLEGATI.....</b>	<b>34</b>
	6.1 Tasso di erosione per comune.....	34
	6.2 Esempi di calcolo del fattore C per seminativi in ambiente di collina .....	43
	6.3 Esempi di calcolo del fattore C in vigneti e frutteti in ambiente di collina .....	45
	6.4 Schemi di valutazione del fattore C di Wischmeier e Smit, 1978.....	47
	6.5 Valore medio del fattore C attribuito a ciascuna classe di uso del suolo .....	48
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>50</b>





## 1 INTRODUZIONE

L'erosione idrica del suolo si può definire come *“fenomeno naturale estremamente complesso e inevitabile, parte integrante del processo di modellamento della superficie terrestre. Essa dipende dalle condizioni climatiche, dalle caratteristiche geologiche, pedologiche, idrologiche, morfologiche e vegetazionali del territorio ma può essere accelerata dalle attività umane, in particolare da quelle agro-silvo-pastorali (tipi colturali, sistemi di lavorazione e coltivazione, gestione forestale, pascolamento), sino a determinare l'insorgenza di gravose problematiche economiche e ambientali. Nelle aree agricole dove non sono applicate specifiche azioni agroambientali di controllo e mitigazione, l'erosione, soprattutto nelle sue forme più intense, rappresenta infatti una delle principali minacce per la corretta funzionalità del suolo”* (Annuario dei dati ambientali 2017, ISPRA).

La FAO denuncia nel report “Status of the World's Soil Resources” (FAO e ITPS, 2015) l'erosione dei suoli come primo motivo di degrado dei suoli nella maggior parte delle regioni mondiali, anche se riconosce nelle regioni europee un trend di miglioramento.

La Commissione Europea nella “Strategia tematica per la protezione del suolo” (COM2006/231) considera l'erosione tra le principali minacce di degrado del suolo e pone come obiettivo del 7° Programma di Azione Ambientale (7°PAA, Decisione N.1386/2013/UE) “un mondo esente dal degrado del suolo nel contesto dello sviluppo sostenibile”. In coerenza con tali obiettivi identifica negli strumenti della pianificazione agricola comune (PAC) uno strumento di attuazione di politiche atte alla protezione della risorsa suolo e stabilisce norme comuni (Reg. UE n. 1306/2013) relative ai regimi di sostegno diretto dove il controllo dell'erosione è uno dei principali requisiti per il mantenimento delle terre agricole in buone condizioni agronomiche e ambientali.

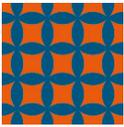
Questo implica la necessità di mantenere livelli di erosione superficiale entro limiti tollerabili dove la tollerabilità significa la non perdita di funzionalità del suolo e dei servizi ecosistemici che questo genera.

La perdita della parte superficiale di suolo porta ad una serie di danni che si verificano sia nel luogo in cui l'erosione si genera (*on-site*), che in località più lontane (*off-site*) e sono di seguito elencati:

- perdita di fertilità dei suoli, per asportazione dello strato più ricco in sostanza organica;
- danni alla produzione agricola sia indiretti per perdita dei nutrienti sia diretti per danni alle piantine appena emerse o per esposizione degli apparati radicali sia di piante erbacee già sviluppate sia di piante arboree;
- danni sulla profondità del suolo e sulla capacità di immagazzinamento dell'acqua, per continua asportazione di materiale pedogenizzato;
- frammentazione degli appezzamenti agricoli quando si generano incisioni profonde o frane superficiali.
- danni sulla qualità delle acque superficiali perché aumenta il trasporto solido e con le particelle di suolo vengono trasportate anche sostanze inquinanti di origine antropica;
- ostruzione della rete scolante;
- danni sulle strade e infrastrutture quando a causa di esondazioni viene trasportato anche molto materiale terroso.

Per valutare l'entità del fenomeno sul proprio territorio e mettere in atto le strategie di protezione del suolo in risposta anche ai regolamenti europei, la Regione Emilia-Romagna ha adottato già dagli inizi degli anni 2000 come modello descrittivo del fenomeno erosivo la metodologia RUSLE (Renard et al. 1997).

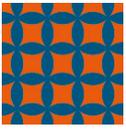
Il modello è stato oggetto di un ampio lavoro di calibrazione e validazione a livello regionale da parte del CNR-IRPI di Firenze nell'ambito della convenzione “Definizione ed utilizzo di strumenti di analisi, elaborazione e previsione di fenomeni erosivi in ambienti collinari e montani e dalla dotazione di materia organica in ambiente di pianura dell'Emilia Romagna” (del. G.R.2418/2000). L'uso della modellistica è l'unico strumento utilizzabile in assenza di un vero monitoraggio che permetterebbe la misura diretta del fenomeno: tale attività, sperimentalmente svolta in progetti nel passato, risulta infatti complessa e costosa e comunque riferibile a situazioni locali.



Nell'Annuario dei dati ambientali 2017 di ISPRA si afferma inoltre *“come in tutti i modelli che vogliono descrivere fenomeni naturali complessi, il risultato finale fornisce un'approssimazione della situazione reale la cui accuratezza dipende, oltre che dal tipo di modello utilizzato, dalla qualità dei dati di input e dal peso attribuito ai vari parametri utilizzati.”*

La Carta qui presentata è alla sua **terza edizione** ed è stata redatta con la collaborazione della Coop ALVEO nell'ambito dell'incarico “Servizio di Aggiornamento e Produzione delle Carte del Fondo Naturale-Antropico dei Metalli Pesanti nei Suoli Agricoli della Pianura Emiliano-Romagnola e della Carta dell'erosione idrica dei suoli” CIG Z341FB60DE. La prima elaborazione risale al 2005 e fu realizzata a supporto della valutazione intermedia del PSR 2000-2006; la seconda edizione del 2006 fu invece realizzata a supporto all'applicazione e alla valutazione dell'efficacia dell'azione “Gestione del suolo” prevista nel Piano regionale di Sviluppo Rurale (PRSR) 2007-2013.

L'esigenza di procedere ad aggiornamenti periodici della carta dell'erosione idrica risiede sia nel miglioramento delle basi informative disponibili che sono alla base del modello, sia a variazioni dei fattori ambientali e antropici che incidono sul fenomeno quali ad esempio clima, uso del suolo, pratiche agricole.



## 2 DEFINIZIONI

Per erosione del suolo deve intendersi il distacco e il trasporto della parte superficiale del suolo per effetto dell'acqua, del vento, del ghiaccio o di altri agenti geologici, includendo tra di essi anche alcune manifestazioni della forza di gravità (Giordano, 2002).

L'**erosione idrica** consiste nella perdita dello strato più superficiale del suolo a causa dell'azione dell'acqua piovana che determina dapprima la dispersione delle particelle di suolo per rottura degli aggregati e quindi un effetto di trasporto e allontanamento lungo la superficie (runoff). L'effetto iniziale è la perdita diffusa di suolo, **erosione laminare o erosione diffusa**, su un'ampia superficie, le particelle vengono rimosse dalle parti a monte del pendio o dalle parti più pendenti e convesse per essere rideposte lungo il versante o alla base di questo, o essere intercettate dalle acque del reticolo idrografico. Con l'accentuarsi del fenomeno l'acqua si incanala in percorsi preferenziali formando piccoli e numerosi rigagnoli chiamati **rill**, che possono approfondirsi e allargarsi fino al grado più estremo con formazione di solchi importanti non più oblitterabili con una aratura normale, i **gully**.

Erosione laminare e formazioni di rill sono le forme di erosione più diffuse nell'Appennino Emiliano-Romagnolo (Figura 1)



Figura 1. Erosione diffusa e formazione di rill su terreni lavorati e con poca copertura erbacea. Foto Regione Emilia-Romagna

La **RUSLE** (Revised Universal Soil Loss Equation, Renard et al. 1997) è una relazione empirica che definisce e quantifica l'erosione idrica del suolo come un processo risultante da un insieme di sei fattori principali: l'energia e l'intensità delle precipitazioni (fattore R), l'erodibilità del suolo (fattore K), la lunghezza e la pendenza del versante (fattore LS), la copertura vegetale (fattore C) e le pratiche di conservazione (fattore P).

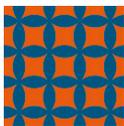
L'equazione è stata messa a punto per prevedere le perdite di suolo a seguito di erosione diffusa (sheet erosion) ed incanalata (rill erosion); **il valore stimato dall'equazione è da intendersi come una media annua sul lungo periodo**, la cui validità dipende fortemente dalle modalità di calcolo o di stima dei diversi fattori. Il valore stimato è comunque sempre relativo a specifiche combinazioni di topografia del versante, uso del suolo e pratiche di gestione in un determinato contesto climatico ed ambientale.

La relazione di base che nella USLE/RUSLE lega insieme i diversi fattori è di tipo moltiplicativo (Wischmeier e Smith):

$$A = R * K * LS * C * P$$

Dove:

**A = perdita di suolo per unità di superficie**, espressa nello stesso sistema unità adottate per K e per il periodo di tempo specificato da R; nel sistema internazionale (SI) **A è espresso in Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>**.



**Fattore-R = erosività delle piogge.** Indica la capacità delle piogge di disintegrare gli aggregati del suolo e di renderli disponibili al trasporto e dipende sia dall'intensità che dalla durata delle precipitazioni. Il valore è espresso in  $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot anno^{-1}$  e si riferisce ad una media di lungo periodo.

**Fattore-K = erodibilità del suolo.** Indica la facilità con cui il suolo viene staccato dall'azione battente delle piogge e dall'eventuale deflusso superficiale, viene espresso in  $Mg \cdot ha \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1} \cdot ha^{-1}$ .

**Fattore-LS = fattore morfologico.** Indica l'effetto della topografia, è una stima della capacità di trasporto di sedimento per scorrimento superficiale. E' un fattore adimensionale in quanto rapporto tra la perdita di suolo della parcella in esame e quella della parcella standard avente lunghezza di 22,13 m e pendenza del 9%.

**Fattore-C = fattore di copertura del suolo.** Valuta l'effetto della copertura vegetale e delle tecniche colturali sull'intensità dei processi erosivi. E' un fattore adimensionale che varia tra 0 e 1 ed esprime il rapporto tra l'erosione di una data coltura e tecnica colturale con quello del suolo preparato per la semina.

**Fattore-P = tecniche sistematorie.** Valuta l'effetto antierosivo delle opere di sistemazione del suolo. E' un fattore adimensionale che varia tra 0 e 1 ed esprime il rapporto fra l'erosione ottenibile in presenza di una sistemazione idraulico-agraria e la parcella standard coltivata a rittochino. Nel contesto della Regione Emilia-Romagna pratiche di controllo dell'erosione, tipo terrazzamenti, lavorazioni a strisce livellari, drenaggi profondi o altro, non hanno un'ampia diffusione e quindi il fattore P è stato posto uguale a 1.

L'applicazione del modello a scala regionale ha previsto un ampio lavoro di calibrazione<sup>1</sup> per la valutazione dei singoli fattori e di come questi potessero essere declinati in funzione della realtà regionale e delle informazioni di base disponibili, a cui è seguito la fase attuale di aggiornamento resa possibile grazie al miglioramento delle basi conoscitive; nella Tabella 1 sono riportati in modo riassuntivo i singoli fattori e le loro basi cartografiche utilizzate nel presente elaborato, per dettagli si rimanda al paragrafo Metodologia utilizzata.

Fattore RUSLE	Equazione	Base cartografica	Anno	Scala di rappresentazione
R	CNR-IRPI 2004 <sup>2</sup>	Interpolazione <sup>3</sup> con PRAGA <sup>4</sup> tramite rete triangolare irregolare correlata alla topografia	Dati climatici 1991-2017	Griglia 5x5 km
K	Torri et. al. (1997) <sup>5</sup>	Carta dei suoli di pianura e collina Carta dei suoli di montagna	Edizione 2018	1:50.000 1:250.000
LS	Mitasova et al. 1996 <sup>6</sup>	DTM 10 m	2014	Raster 10 m
C	CNR-IRPI 2004 <sup>2</sup>	Carta dell'uso del suolo <sup>7</sup> Censimento agricoltura 2010	2014	area minima 0.16 ha
P	-	-	-	-

Tabella 1. Fattori componenti la RUSLE e base dati da cui derivano

<sup>1</sup> Convenzione "Definizione ed utilizzo di strumenti di analisi, elaborazione e previsione di fenomeni erosivi in ambienti collinari e montani e dalla dotazione di materia organica in ambiente di pianura dell'Emilia Romagna" (del. G.R.2418/2000). CNR-IGES poi CNR-IRPI di Firenze. A cura di: Costanza Calzolari (referente scientifico), Devis Bartolini, Lorenzo Borselli, Pilar Salvador Sanchiz, Dino Torri, Fabrizio Ungaro

<sup>2</sup> C. Calzolari et al. Applicazione della USLE/RUSLE ai suoli di collina e montagna della Regione Emilia-Romagna: definizione dei parametri R, erodibilità delle piogge e C, copertura del suolo. Rapporto 8.1, 2004. CNR-IRPI di Firenze

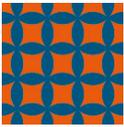
<sup>3</sup> Convenzione tra ARPA-SIMC e SGSS, 2009.

<sup>4</sup> Antolini G., Tomei F., 2006. PRAGA - PRogramma di Analisi e Gestione di dati Agrometeorologici. Atti del 9° Convegno nazionale di agrometeorologia - AIAM 2006 Torino, 6-8 giugno 2006

<sup>5</sup> Torri, D. Pousen, J. and Borselli, L., 1997. Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global data set. Catena, 31, 1-22.

<sup>6</sup> Mitsova, H., J. Hofierka, M. Zlocha, and R. L. Iverson, 1996. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS, Int. Journal of Geographical Information Science, 10(5), 629-641. (reply to a comment to this paper appears in 1997 in Int. Journal of Geographical Information Science, Vol. 11, No. 6).

<sup>7</sup> S. Corticelli, M.L. Garberi, M. Bocci, M.C. Mariani, S. Masi. Database uso del suolo di dettaglio 2014 ed.2018 Regione Emilia-Romagna



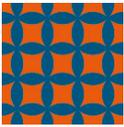
Esprimere la perdita di suolo in termini di  $Mg \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$  può risultare poco indicativo se non si introduce il concetto di **tollerabilità**. La FAO<sup>8</sup> suggerisce due approcci per stabilire il limite di tollerabilità. Un primo approccio valuta i tassi di nuova formazione del suolo a partire dal substrato e indica come riferimento i valori di Montgomery (2007) di  $2.2 Mg \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$  e di Verheijen et al. (2009) di  $1.4 Mg \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ . Un secondo metodo richiama il concetto di tassi di erosione entro cui viene garantita la capacità di produrre biomassa, concetto che viene utilizzato dall'USDA e dalla EEA che indicano rispettivamente come limite massimo tollerabile perdite di 11.2 e 5  $Mg \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ . L'OCSE, nel testo "Environmental Indicators for Agriculture Methods and Results Volume 3" 2001, indica come tollerabile un tasso di erosione inferiore a 6  $t ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ .

La Figura 2 illustra la legenda della Carta del rischio di erosione idrica e gravitativa (ed. 2006) che fu adottata dalla Regione Emilia-Romagna a supporto all'applicazione e alla valutazione dell'efficacia dell'azione "Gestione del suolo" nel Piano di Sviluppo Rurale 2007-2013.

Classe di erosione	Criterio	Descrizione	CLASSI Allegato I al PSR	CLASSI Del. G.R. 363/2008	Descrizione
Erosione idrica molto bassa o tollerabile	Erosione $\leq 11,2 t/(ha \cdot anno)$	La profondità del suolo, il substrato in prevalenza facilmente alterabile e la modesta pendenza ( $<10\%$ ) rendono <b>tollerabile</b> la perdita di suolo da queste unità, (limite da <i>McCormack et al. 1982</i> )	1	1	Rischio erosione molto basso o tollerabile
Erosione idrica bassa	Erosione 11,2-20 $t/(ha \cdot anno)$	La profondità del suolo, il substrato in prevalenza facilmente alterabile e la moderata pendenza (10-15%) comportano una perdita di suolo da queste unità che <b>richiede attenzione prioritaria</b>	2	2	Rischio erosione non tollerabile o rischio franosità
Erosione idrica moderata	Erosione 20-50 $t/(ha \cdot anno)$	La profondità del suolo, il substrato facilmente alterabile e la pendenza ( $>15\%$ ) comportano una perdita di suolo da queste unità che <b>richiede attenzione prioritaria</b>	3		
Erosione idrica alta	Erosione $>50 t/(ha \cdot anno)$	La profondità del suolo, il substrato facilmente alterabile e la pendenza ( $>15\%$ ) comportano una perdita di suolo da queste unità che <b>richiede attenzione prioritaria</b>	4		
Erosione gravitativa prevalente	Indice di franosità $>23\%$	L'intensità dei fenomeni gravitativi che interessano queste aree <b>richiede attenzione prioritaria</b>	999		

Figura 2. Legenda della Carta del rischio di erosione idrica e gravitativa (2006) della Regione Emilia-Romagna

<sup>8</sup> FAO 2019 Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. Rome.



### 3 DESCRIZIONE DELLA CARTA

La carta dell'erosione idrica è stata prodotta utilizzando il modello RUSLE ad una **risoluzione di 20 m**; tale risoluzione è stata presa a riferimento grazie alla disponibilità a livello regionale di un DTM con risoluzione 10m, la cella a 20 m semplifica l'elaborazione ma permette ancora una ottima caratterizzazione dei versanti e del fattore-LS e bene rappresenta anche il fattore-C che ha una risoluzione di 40 m.

Il valore stimato è da intendersi come una **media annua di lungo periodo**: i dati climatici si riferiscono al periodo 1991-2017, mentre la copertura del suolo è aggiornata all'anno 2014. La perdita di suolo per erosione idrica è stata calcolata sull'intero territorio regionale (circa 22.448 km<sup>2</sup>) di cui il 15% riguarda superfici non interessate dai processi erosivi perché occupate da aree urbanizzate, acque interne, zone umide interne e marittime ed affioramenti rocciosi.

Come suggerito dall'ESDAC e dagli autori della RUSLE2015<sup>9</sup>, è stato imposto un **valore massimo di erosione di 325 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>** per evitare outliers (valore osservato da Maetens et al. 2012 su plots sperimentali); la correzione ha interessato lo 0,001% dei pixel.

L'applicazione della RUSLE a scala regionale stima una perdita media annua di suolo per erosione idrica di **9,91 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>** tenuto conto dell'intero territorio regionale, di 11,9 Mg/ha\*anno se le aree non soggette ad erosione vengono escluse dal calcolo, che significa una perdita complessiva annua di suolo di **23Mt**; i valori medi sono nettamente più alti del tasso medio di formazione dei suoli indicato tra l'1.4 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup> (Verheijen et al., 2009) e 2.2 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup> (Montgomery, 2007).

In riferimento ai limiti di tollerabilità, il 25% dell'intero territorio regionale ha valori superiori a 2 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>, il **14% superiori a 11,2 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>** (Tabella 3).

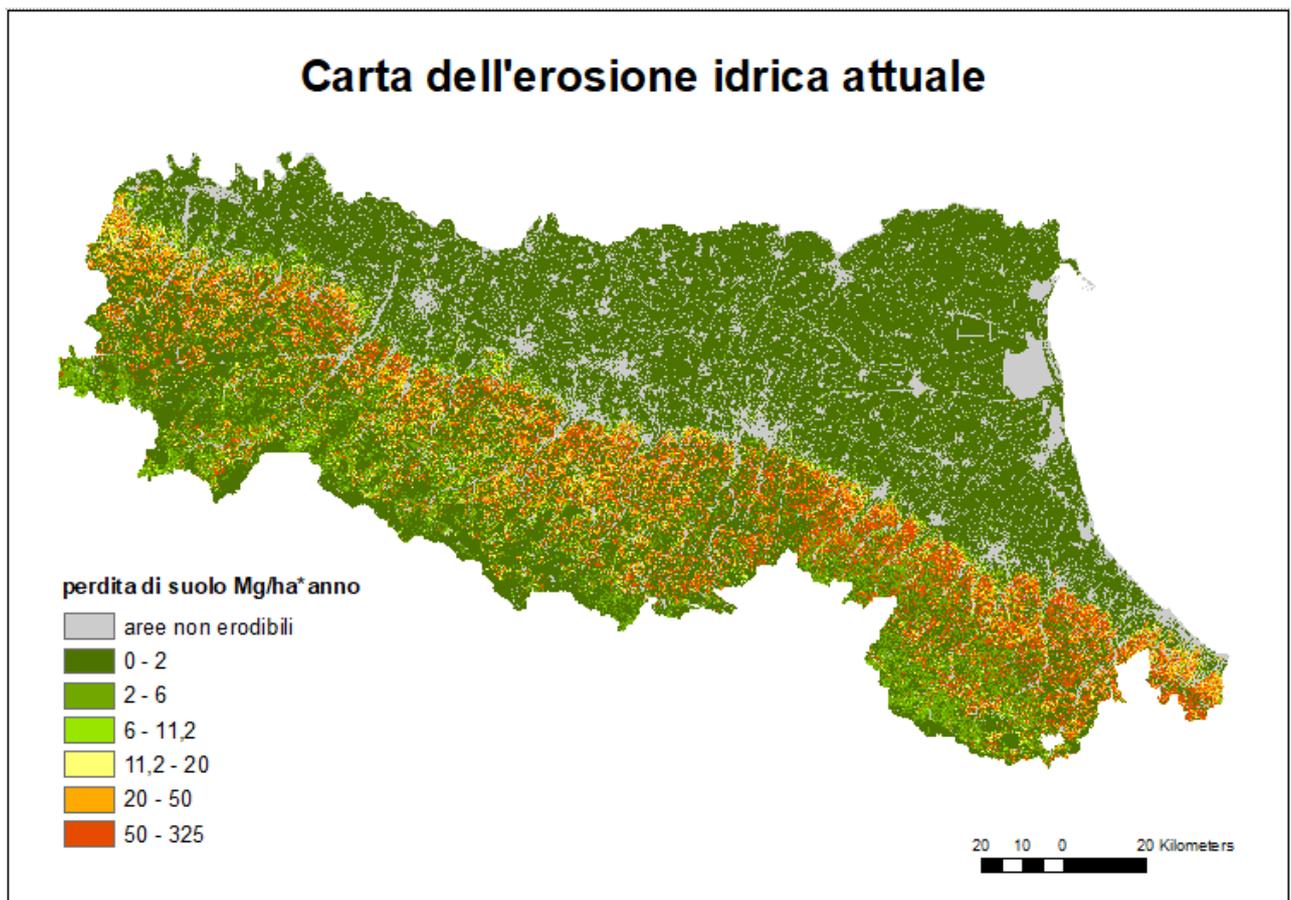
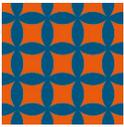


Figura 3. Carta dell'erosione idrica attuale ed. 2019

<sup>9</sup> Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. **54**: 438-447. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.08.012



Il tasso di erosione è molto diversificato sul territorio regionale perché alta è la variabilità pedologica, climatica ma ancora di più morfologica e di uso e gestione del suolo.

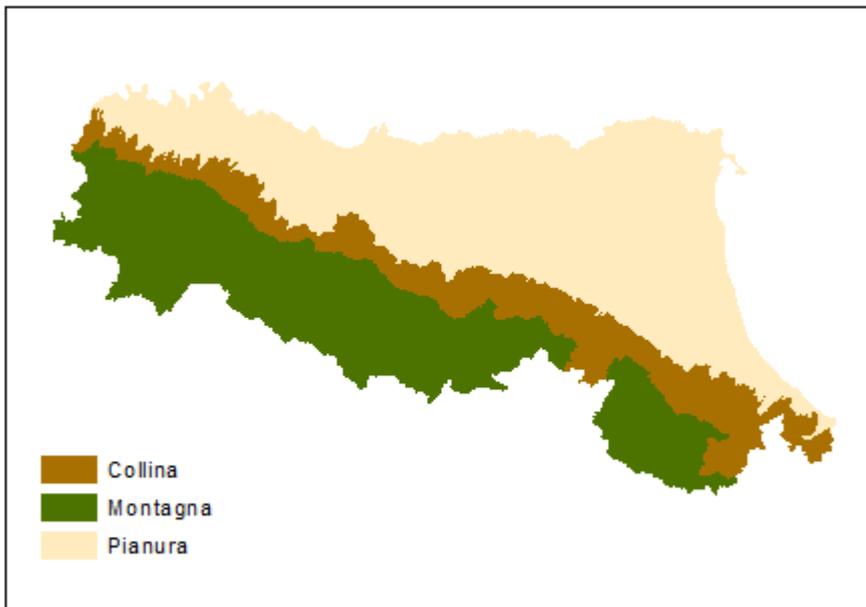


Figura 4. Zone altimetriche

La **pianura** occupa il 49% del territorio regionale con tassi di erosione trascurabili (perdita media di **0,38 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>** per un totale **0,42 Mt/anno**), mentre la **collina**, pur occupando solo il 17% del territorio, è caratterizzato da valori medi di erosione molto alti (**31,73 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>**), determinando una perdita complessiva di suolo di **12Mt/anno** che costituisce **51% del totale eroso a livello regionale**. La **montagna** occupa il 33% della superficie regionale e contribuisce per il 47% alla perdita totale regionale con un contributo pari a **11 Mt/anno** con valori medi di erosione di **14,29 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>** (Tabella 2).

La collina risulta essere la zona maggiormente erosa, sia in termini quantitativi sia in termini di superficie relativa il 42% del territorio di collina è infatti soggetto a tassi di erosione superiori ai limiti di tollerabilità di 11,2 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup> (Figura 5). Questo è dovuto alla concomitanza di un'alta predisposizione climatica (fattore R) e morfologica (fattore LS) all'erosione così come la montagna e un basso effetto protettivo della vegetazione (fattore C) che in questo ambito è ancora fortemente legata ai sistemi agricoli e ad una gestione del suolo meno conservativa rispetto agli ambienti naturali diffusi invece in montagna. Una sintesi dei valori medi dei singoli fattori che compongono il modello di stima dell'erosione (RUSLE 1997) è riportata nella Tabella 4.

	% superficie regionale	Erosione: valori medi Mg*ha <sup>-1</sup> *anno <sup>-1</sup>	Erosione: valori totali Mt/anno	% di perdita di suolo sul totale
Collina	17%	<b>30,73</b>	11,79	51%
Montagna	34%	<b>14,29</b>	10,83	47%
Pianura	49%	<b>0,38</b>	0,42	2%

Tabella 2. Valori di erosione in riferimento alle zone altimetriche

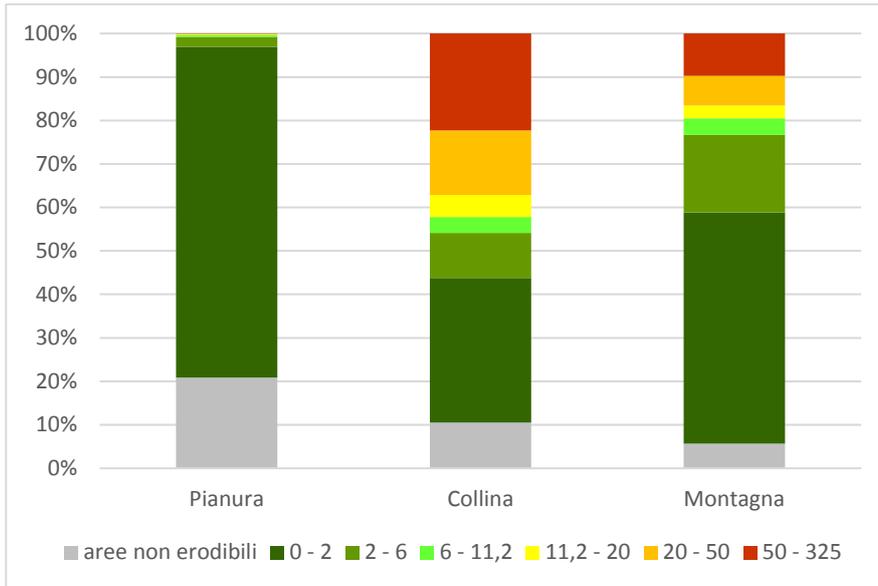
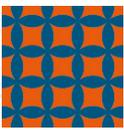


Figura 5. Ripartizione delle diverse classi di erosione in funzione delle zone altimetriche

classe di erosione Mg*ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	Pianura %	Collina %	Montagna %	totale %
aree non erodibili	10,24	1,80	1,93	13,96
0 - 2	37,31	5,70	17,98	60,99
2 - 6	1,13	1,77	6,04	8,94
6 - 11,2	0,21	0,63	1,29	2,13
11,2 - 20	0,09	0,87	0,99	1,95
20 - 50	0,06	2,54	2,31	4,91
50 - 325	0,02	3,82	3,29	7,12

Tabella 3. % di superficie sul totale regionale per classi di erosione e per zone altimetriche

Ambiente	Fattore LS		Fattore R		Fattore K		Fattore C	
	media	devst	media	devst	media	devst	media	devst
Collina	8,57	7,88	1064	133	0,04	0,0077	0,121	0,121
Montagna	13,43	10,39	1829	907	0,03	0,0107	0,036	0,071
Pianura	0,09	0,42	827	133	0,04	0,0092	0,155	0,099

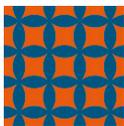
Tabella 4. Valori medi e deviazione standard per zone altimetriche dei fattori costituenti la RUSLE

Uso e gestione del suolo hanno una forte incidenza sui tassi di erosione; la vegetazione esercita un effetto protettivo (fattore C) dovuto sia alla capacità di assorbimento di parte dell'energia con cui la pioggia impatta sul suolo, sia di rallentamento del deflusso superficiale.

Boschi e prati stabili garantiscono la maggiore protezione; i sistemi agricoli, specie quelli che lasciano il suolo privo di copertura per periodi dell'anno molto lunghi, come le colture primaverili-estive, e i sistemi naturali in evoluzione sottopongono il suolo a maggior rischio di erosione.

La copertura del suolo è stata valutata utilizzando la carta dell'uso del suolo regionale<sup>10</sup>, con riferimento al secondo livello del CORINE Land Cover.

<sup>10</sup> S. Corticelli, M.L. Garberi, M. Bocci, M.C. Mariani, S. Masi. Database uso del suolo di dettaglio 2014 ed.2018 Regione Emilia-Romagna



I **seminativi e colture permanenti** occupano insieme il 50% della superficie regionale e ad essi è imputabile il 77% delle perdite complessive di suolo per un totale di **17,7 Mt/anno**. I valori medi di perdita di suolo sono rispettivamente di **23,21 e 14,86 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>**, nettamente al di sopra dei livelli di tollerabilità.

I **prati stabili** occupano il 3,54% della superficie regionale e con una perdita complessiva di **0,52 Mt/anno** contribuiscono per il 2,26% dell'erosione totale mantenendo dei valori medi ancora piuttosto alti **6,29 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>**.

I **boschi** che occupano il 24% del territorio regionale determinano il 3,26% dell'erosione totale e hanno valori medi di **1,37 Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>** bel sotto i limiti di tollerabilità. Le zone agricole eterogenee e le zone con vegetazione rada hanno valori medi molto alti ma rappresentano anche le situazioni più eterogenee, di difficile classificazione a livello di CORINE e di difficile caratterizzazione del fattore C, sono gli ambiti dove la stima del modello RUSLE è meno attendibile. (Figura 6 e Tabella 5).

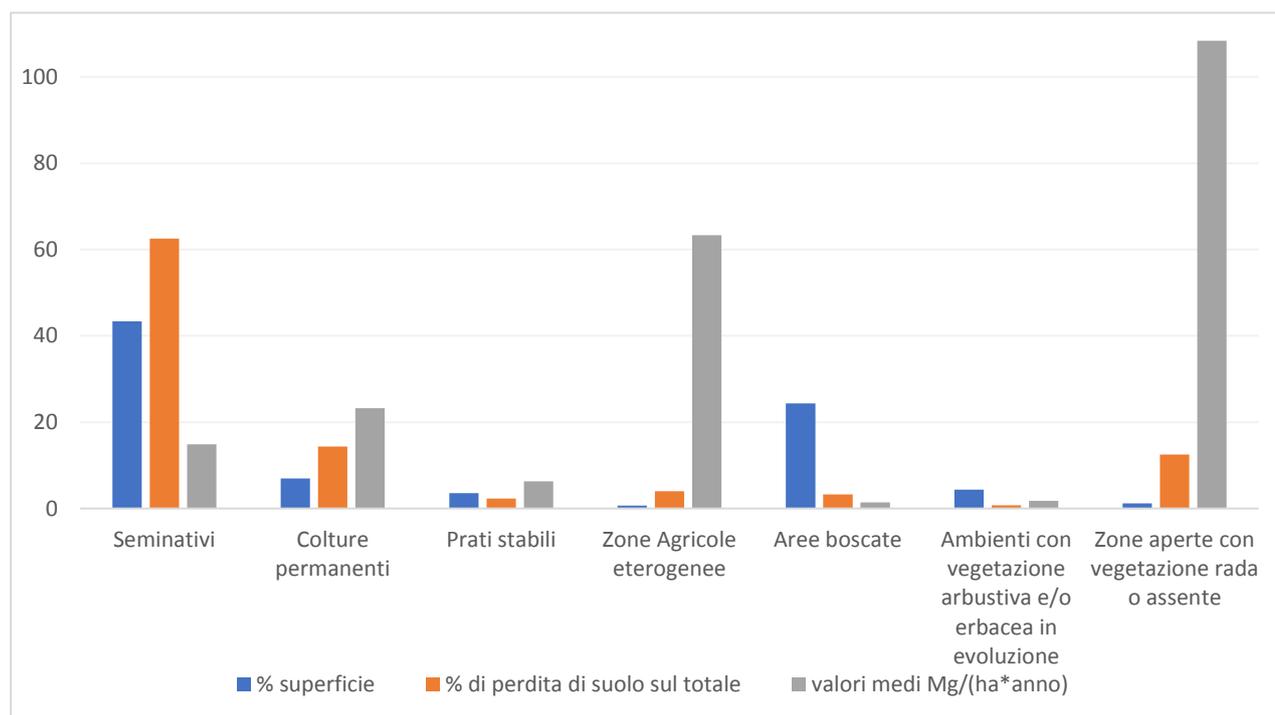
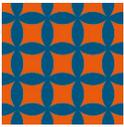


Figura 6. Rappresentazione grafica dei parametri della tabella 5.

CORINE land cover 2°livello	% superficie regionale	valori medi Mg*ha <sup>-1</sup> *anno <sup>-1</sup>	valori totali Mt/anno	% di perdita di suolo sul totale
Seminativi	43,39	<b>14,86</b>	14,404	62,51
Colture permanenti	6,95	<b>23,21</b>	3,316	14,39
Prati stabili	3,54	<b>6,29</b>	0,521	2,26
Zone Agricole eterogenee	0,68	<b>63,37</b>	0,927	4,02
Aree boscate	24,35	<b>1,37</b>	0,751	3,26
Ambienti con vegetazione arbustiva e/o erbacea in evoluzione	4,4	<b>1,80</b>	0,176	0,76
Zone aperte con vegetazione rada o assente	1,16	<b>108,36</b>	2,874	12,47

Tabella 5. Percentuale di superficie regionale interessata da diverse categorie di uso del suolo, valori medi e totali di perdita del suolo per categorie di uso del suolo e percentuale di perdita del suolo sul totale attribuibile alle singole categorie



La riduzione dell'erosione del suolo è uno degli obiettivi della Politica Agricola Comune, la Commissione Europea ha scelto tra i vari indicatori per il monitoraggio dell'efficacia delle politiche agricole e ambientali comunitari l'indicatore C.40- Riduzione dell'erosione del suolo (I.13). L'indicatore si compone di 2 sub-indicatori:

1. stima della perdita di suolo per erosione idrica
2. stima di area agricola affetta da un certo tasso di erosione idrica del suolo.

I sub-indicatori valutano la perdita di suolo per erosione idrica e le aree agricole suscettibili a tassi di erosione considerati non sostenibili indicando come **limiti di tollerabilità** una erosione  $< 5 \text{ Mg*ha}^{-1}\text{*anno}^{-1}$ .

Il modello RUSLE, indicato anche dalla Commissione Europea come modello di riferimento e applicato a scala europea da ESDAC<sup>11</sup> si presta alla simulazione di scenari potendo valutare e pesare l'effetto delle diverse gestioni del suolo, dei cambiamenti d'uso e dei cambiamenti climatici.

I risultati qui presentati possono costituire un'analisi di partenza per la valutazione delle politiche regionali di settore che condizionando l'uso e la gestione del suolo incidono sulla propensione del territorio alla perdita di suolo per erosione idrica.

Come richiesto dall'indicatori C40 di seguito si riporta la rappresentazione cartografica per comuni del valore medio calcolato sulle sole aree agricole e la percentuale di area agricola comunale con valori di erosione superiore a  $5 \text{ Mg*ha}^{-1}\text{*anno}^{-1}$ . Le aree agricole sono definite in base alla Carta dell'uso del suolo 2014 accorpando secondo le classi di secondo livello del Corin Land Cover gli usi a seminativo, colture permanenti e prati stabili (codice 21, 22 e 23 CLC livello 2) che complessivamente occupano il 54% del territorio regionale.

Nell'Allegato 6.1 è riportato l'elenco completo dei comuni con la % di area agricola, il valore medio di perdita del suolo per erosione idrica, % di area agricola con erosione superiore a  $5 \text{ Mg*ha}^{-1}\text{*anno}^{-1}$ .

---

<sup>11</sup> Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. **54**: 438-447. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.08.012

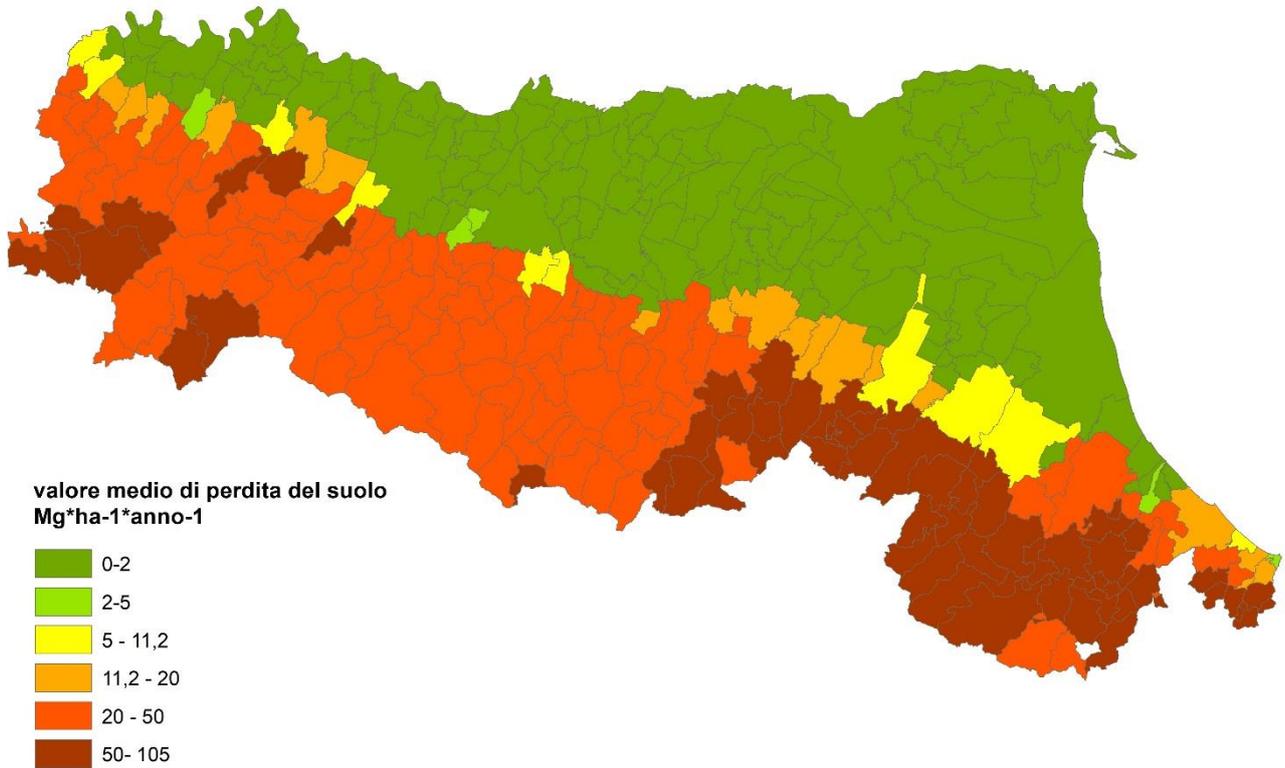
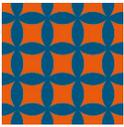


Figura 7. Valore medio di perdita di suolo per comune ponderato sulle sole aree agricole

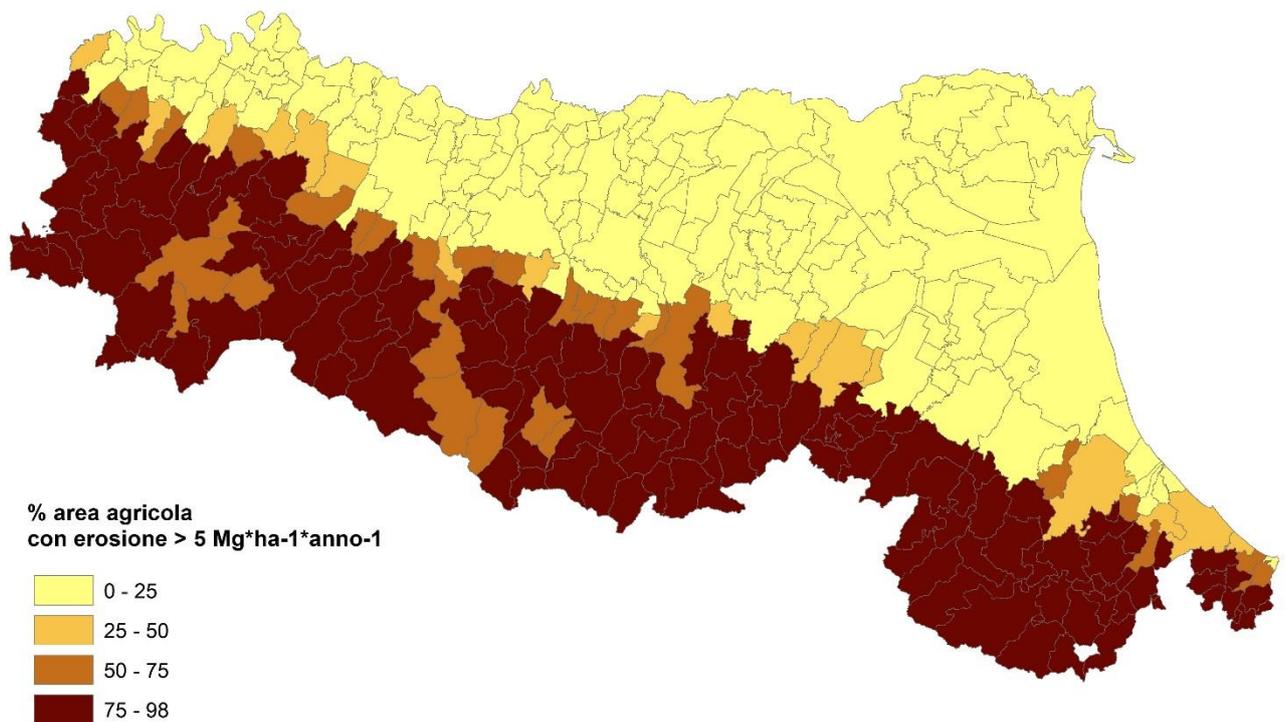
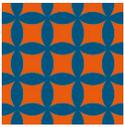


Figura 8. Percentuale di area agricola con erosione > 5 Mg\*ha-1\*anno-1 per comune



## 4 CONSULTAZIONE DELLA CARTA

### 4.1 Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH

La carta dell'erosione idrica è consultabile sul sito [I suoi dell'Emilia-Romagna](http://i-suoi.dell'Emilia-Romagna)<sup>12</sup>, definito brevemente CARTPEDO, nella sezione **Carte tematiche / Carte applicative**.

**2.20 Erosione idrica attuale** new

La carta dell'erosione idrica dei suoli rappresenta la stima della perdita superficiale di suolo dovute all'azione dell'acqua piovana. L'erosione dei suoli è un processo naturale di modellamento della superficie terrestre che avviene nell'arco di tempi molto lunghi, diventa forma di degrado quando avviene in modo cospicuo in tempi brevissimi o in seguito a singoli eventi meteorologici per cause spesso legate all'attività antropica. La stima si basa sull'applicazione del modello RUSLE (Renard et al., 1997) che prevede le perdite di suolo per erosione diffusa (*sheet erosion*) ed incanalata (*rill erosion*); il valore stimato è da intendersi come media annua sul lungo periodo (Mg/ha\*anno) ed è sempre relativo a specifiche combinazioni di topografia del versante, uso del suolo e pratiche di gestione in un determinato contesto climatico e ambientale. La carta è rappresentata per classi, con il download del GeoTIFF è possibile avere accesso anche al dato numerico.

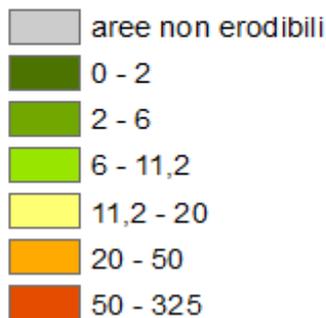
Scala 1:50.000 e 1:250.000

- apri la [Carta dell'erosione idrica attuale](#) in Google Earth
- download in formato GeoTIFF della [Carta dell'erosione idrica attuale](#) (file compresso 185 Mb)
- visualizza la [legenda della Carta dell'erosione idrica attuale](#)
- apri le [note illustrative della Carta dell'erosione idrica attuale](#)
- visualizza i [metadati della Carta dell'erosione idrica attuale](#)

Figura 9. Interfaccia iniziale della carta nella sezione Carte tematiche » Carte applicative

### Perdita di suolo

in Mg\*ha<sup>-1</sup>\*anno<sup>-1</sup>



Questo sito usa come base cartografica GOOGLE EARTH. Presenta il vantaggio di poter essere personalizzato a piacere in quanto l'utente può sovrapporre alle cartografie proposte nel sito i suoi tematismi.

Attivando il link "[Carta dell'erosione idrica attuale](#)" si apre la carta su base Google Earth.

La rappresentazione del territorio avviene attraverso una struttura a maglia (RASTER) costituita da celle con lato di 20 m.

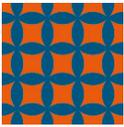
Il grado di erosione è desumibile dal colore della cella stessa confrontabile con la legenda.

Figura 10. Legenda della carta

### 4.2 Scaricamento dati

La carta dell'erosione può essere scaricata sotto forma di 2 file TIFF compressi (.zip), sul sito "I suoi dell'Emilia-Romagna"<sup>1</sup>, nella sezione **Carte tematiche/Carte applicative** (Figura 9). Il primo file è tematizzato sulle classi di erosione, il secondo contiene i valori numerici. Gli strati relativi ai fattori R, K, LS e C possono essere forniti su richiesta.

<sup>12</sup> <http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/>



## 5 METODOLOGIA UTILIZZATA

Per la realizzazione della Carta dell'erosione idrica attuale della Regione Emilia-Romagna (3° approssimazione) è stata applicata l'**Equazione Universale della Perdita di Suolo di Wischmeier e Smith (USLE)**, e più precisamente una versione revisionata da Renard et al. 1997 (**RUSLE**).

E' stata quindi applicata la formula di Wischmeier e Smith

$$A = R * K * LS * C * P$$

dove A è la perdita di suolo per unità di superficie che nel Sistema Internazionale (SI) è espressa in  $Mg * ha^{-1} * anno^{-1}$ .

Nella terza approssimazione sono stati considerati tutti gli aspetti migliorativi che sono stati sviluppati dall'ultima versione del 2006 ad oggi. Sono state analizzate in particolare le nuove formule teoriche per il calcolo dei vari fattori, i programmi, moduli e librerie che nel frattempo sono stati distribuiti come software libero ed i nuovi dati di base presenti nelle banche dati dei server del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

La carta finale ha una risoluzione di 20 m, ogni fattore dell'equazione è stato riscalato a tale risoluzione a partire a volte da un maggior dettaglio, come il fattore-LS elaborato con grid a 10 m, più spesso a partire da una scala a minor dettaglio. Ogni fattore copre l'intero territorio regionale.

### 5.1 Fattori del modello RUSLE

I fattori che concorrono al calcolo sono:

#### 5.1.1 Fattore R

Nell'equazione della RUSLE il fattore R rappresenta l'**erosività della pioggia**. Esso è strettamente legato alle modalità con cui il potenziale erosivo delle precipitazioni influenza il processo di erosione. L'azione erosiva delle gocce aumenta sia con l'intensità che con la durata della pioggia. Solo quando l'energia è combinata con l'intensità della pioggia si ottiene una buona stima del potenziale erosivo, generalmente indicato come EI (Energy-Intensity). Il fattore EI viene calcolato come il prodotto dell'energia totale dell'evento per la massima intensità definita su base mezzoraria (EI30). La relazione tra perdita di suolo e EI è considerata lineare ed i valori di EI per una serie storica di eventi sono direttamente cumulabili. La somma dei valori di EI per i singoli eventi di un anno, mediata su una serie storica di una certa consistenza (più di venti anni) rappresenta il fattore R.

Il fattore R implementato nella RUSLE della Regione Emilia-Romagna viene calcolato utilizzando la formula del CNR-IRPI<sup>13</sup>, 2004:

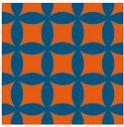
$$\bar{R} = \left( \sum_1^n \left( \sum_1^{365} (0,11 * P_{day}^{1,82}) \right) \right) / n$$

ovvero l'R è uguale alla media degli n R annuali, calcolati come sommatoria di 0,11 per la precipitazione giornaliera espressa in mm ed elevata a 1,82. Il valore è espresso in  $MJ * mm * ha^{-1} * h^{-1} * anno^{-1}$  e si riferisce ad una media di lungo periodo.

Tale formulazione, concettualmente analoga a quella proposta da Richardson et al., assume che il totale di precipitazione giornaliera rappresenti un evento singolo. Fu messa a punto e validata dal CNR-IRPI di Firenze, nell'ambito di passate convenzioni con il Servizio Geologico sismico e dei suoli<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> Bartolini et. al. Applicazione della USLE/RUSLE ai suoli di collina e montagna della Regione Emilia-Romagna: definizione dei parametri R, erodibilità delle piogge e C, copertura del suolo. Rapporto 8.1, 2004. CNR-IRPI di Firenze

<sup>14</sup> Convenzione "Definizione ed utilizzo di strumenti di analisi, elaborazione e previsione di fenomeni erosivi in ambienti collinari e montani e dalla dotazione di materia organica in ambiente di pianura dell'Emilia Romagna" (del. G.R.2418/2000). CNR-IGES poi CNR-



La formula andrebbe applicata esclusivamente a precipitazioni piovose e non a quelle nevose; il CNR-IRPI aveva proposto la soglia della temperatura media giornaliera di 0.5°C per discriminare tra precipitazioni nevose e piovose. L'utilizzo di questa formulazione semplificata per il calcolo dell'R era giustificato dalla disponibilità di solo pochissimi dati di precipitazioni raccolti con cadenza sub-oraria in Regione Emilia-Romagna. Nel 2009 la formula è stata validata da N. Laruccia<sup>15</sup> grazie all'aumentata disponibilità di dati sub-orari per il territorio regionale.

Il calcolo del fattore R sull'intero territorio regionale è stato eseguito tramite il software PRAGA<sup>16</sup> (Programma di Analisi e Gestione di dati Agrometeorologici) sviluppato dal Servizio Idro-Meteo-Clima di ARPAE Emilia-Romagna (ARPASIMC)

L'interpolazione viene effettuata, come per le precipitazioni (rete triangolare irregolare correlata alla topografia), il risultato viene rappresentato mediante un **grigliato di passo 5 km** su tutta la regione Emilia-Romagna (Figura 11).

**L'intervallo di tempo scelto per il calcolo del fattore R è di 30 anni: dal 1° gennaio 1991 al 31 dicembre 2017.** Quando sono state effettuate le elaborazioni, il 2017 era l'ultimo anno completo delle osservazioni di precipitazione, non sono stati presi in considerazione dati più recenti.

Il Joint Research Centre (JRC) della Commissione Europea ha elaborato il fattore R a livello continentale, con ovvie difformità dovute alle differenti banche dati disponibili per ogni Stato. La media temporale delle osservazioni è di 17 anni, non è stato individuato il periodo temporale ed è stato utilizzato un grigliato di 0.5 km di lato. La mappa ritagliata sui confini della Regione Emilia-Romagna è visibile in Figura 12. Questo parametro è stato confrontato con l'equivalente ottenuto tramite il software PRAGA.

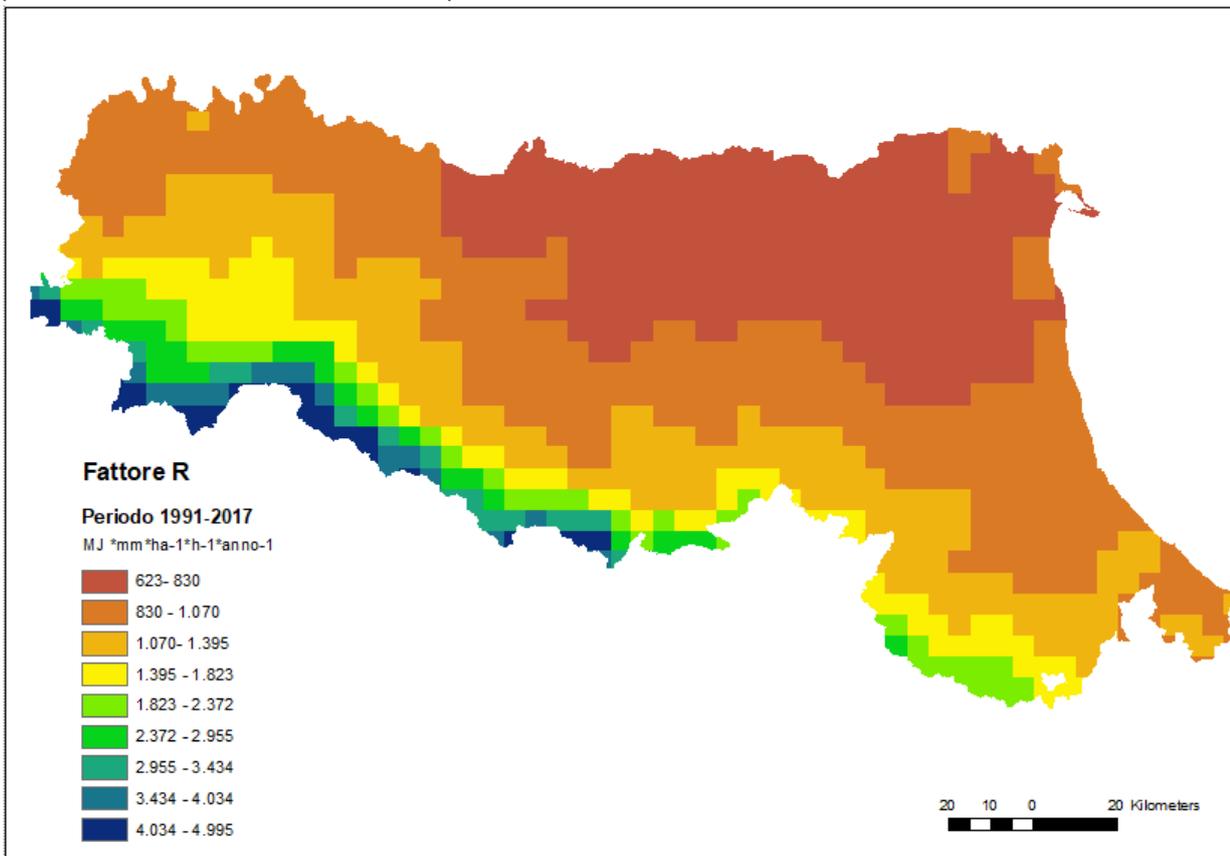


Figura 11. Fattore R calcolato con il software PRAGA, trentennio 1991 - 2017, griglia passo 5 km

IRPI di Firenze. A cura di: Costanza Calzolari (referente scientifico), Devis Bartolini, Lorenzo Borselli, Pilar Salvador Sanchiz, Dino Torri, Fabrizio Ungaro

<sup>15</sup> N. Laruccia 2009. Incarico professionale per "progettazione e realizzazione di software in linguaggio SQL e/o VBA, produzione di elaborati in ambiente ArcGis, per l'analisi del bilancio idrico e azotato dei suoli e del fattore R – erosività delle piogge.

<sup>16</sup> Antolini G., Tomei F., 2006. PRAGA - PRogramma di Analisi e Gestione di dati Agrometeorologici. Atti del 9° Convegno nazionale di agrometeorologia - AIAM 2006 Torino, 6-8 giugno 2006

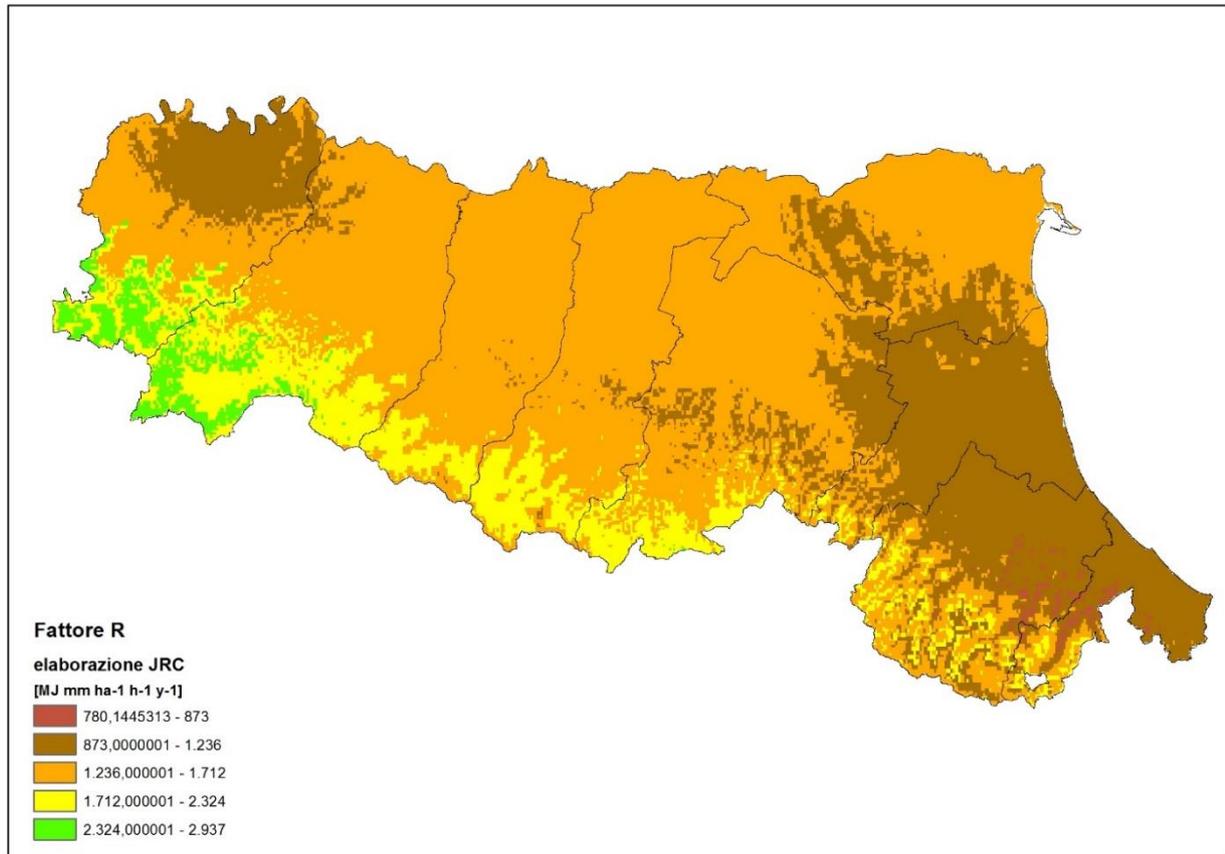
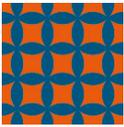
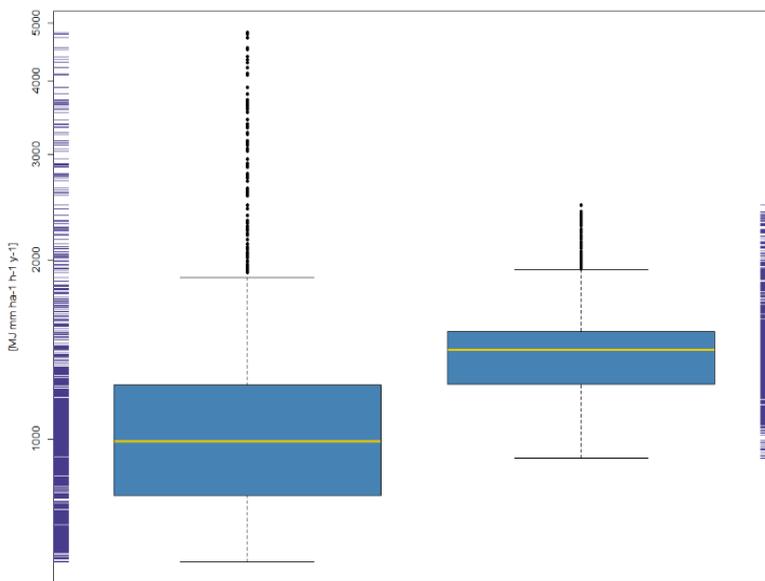


Figura 12. Fattore R calcolato dal JRC, griglia passo 0,5 km.



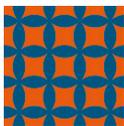
Fattore R	RER	JRC
Min	624.7	929.7
1° Q	818.6	1238.3
Mediana	1057.7	1413.4
Media	1238.4	1438.8
3° Q	1305.0	1516.2
Max	5082.5	2474.0
Dev. St.	699.96	293.80
Range	4188.78	1544.3
Skew.	2.59	1.18
Kurt.	7.22	1.47
Num.	1135	1135

Tabella 6. Statistiche descrittive del fattore R calcolato con PRAGA (RER) e dal JRC

Figura 13. Box plot del fattore R ottenuto tramite PRAGA a sx e del fattore R ottenuto dal JRC a dx.

Il grigliato del JRC ha una cella di lato 10 volte inferiore a quella ottenuta da PRAGA: questo comporta che per un valore del fattore R calcolato con i dati regionali, corrispondono 100 valori ottenuti dal centro di ricerca europeo. I dati del JRC sono stati raggruppati per cella da 5 km e successivamente mediati in modo da avere un unico valore di R da poter confrontare.

Il risultato è visibile in Figura 13 e nella Tabella 6 sono rappresentate le statistiche descrittive dei due dataset. Le differenze, come era lecito aspettarsi, sono notevoli.



Le stazioni meteo utilizzate sono diverse, PRAGA infatti ne utilizza un numero molto maggiore e i periodi temporali non sono comparabili. Il range dei valori del JRC è minore ed i valori sono molto contenuti, è stata presa in considerazione un'area molto piccola rispetto alla scala continentale con cui ha lavorato il centro di ricerca europeo. **I due dati non sono confrontabili, non è possibile utilizzare il fattore R del JRC per validare il fattore R regionale.**

Il test t di verifica delle medie, tra il fattore R nel periodo 1991-2017 e quello del JRC, ha confermato che le due medie sono significativamente differenti. Il valore di "t" osservato (2.41) è maggiore del valore di soglia al 5% di significatività (1.96) per cui l'ipotesi che non ci siano differenze significative tra le medie viene rifiutata.

### 5.1.2 Fattore K

**L'erodibilità del suolo** è una proprietà complessa e indica la facilità con la quale il suolo viene distaccato dall'azione battente della pioggia e dall'eventuale flusso di scorrimento superficiale, è legata all'effetto combinato di precipitazioni, runoff ed infiltrazione; il fattore K sintetizza sia la suscettibilità del suolo all'erosione sia quella alla generazione di deflusso superficiale.

Il fattore di erodibilità K è il tasso di perdita di suolo per pioggia di erosività unitaria, da una superficie "unitaria" (lunghezza 22.18 m), di pendenza uniforme (9%), priva di vegetazione e continuamente lavorata. Nel sistema internazionale K è espresso in  $Mg\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$  ed i valori di K si riferiscono a medie annuali di lunga durata.

Il fattore K è la risultante dell'interazione di diverse proprietà fisico-strutturali e chimiche del suolo: il suolo è considerato meno erodibile al diminuire del contenuto in limo a prescindere se questo sia accompagnato da un aumento della frazione argilloso o di quella sabbiosa, ed il contenuto in sostanza organica influenza la resistenza del suolo al distacco, favorendo la stabilità dell'aggregazione (Rapporto 1.1. 2001<sup>17</sup>).

La RUSLE propone due modalità di calcolo per il fattore K che prevedono set di dati diversi, il monogramma di Wischmeier e la formula di Renard et al. (1997), mentre Torri et al. (1997) hanno proposto una formulazione alternativa, derivata da un dataset globale relativo a 240 suoli, che richiede in input il contenuto % in sostanza organica, il contenuto in argilla (C, gg-1) ed il diametro medio geometrico Dg (mm) calcolato secondo Shirazi et al., 1988.

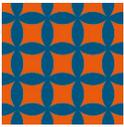
Le tre equazioni richiedono input diversi e la scelta dipende anche dei dati di cui si dispone:

<b>K Wischmeier (1971)</b>	<b>K Renard et al. (1997)</b>	<b>K Torri et al. (1997)</b>
Sabbia molto fine %	Sabbia %	Sabbia %
Sabbia %	Limo %	Limo %
Limo %	Argilla %	Argilla %
Argilla %		Sost. Org. %
Sost. Org. %		
Ksat media		
Dimensione aggregati		
Forma aggregati		

Tabella 7. Input richiesti per il calcolo del fattore K

La precedente versione (ed. 2006) della carta dell'erosione della Regione Emilia-Romagna era stata realizzata a partire dalla carta dei suoli in scala 1:250:000 e aveva utilizzato la formula di Renard perché i

<sup>17</sup> Calzolari, C. et al. Metodi Curve Numbers e RUSLE: applicazione in ambiente collinare e montano dell'Emilia-Romagna e prime valutazioni su alcune unità tipologiche di suoli. Rapporto n. 1.1, 2001. CNR-IRPI di Firenze



dati maggiormente disponibili erano solo quelli relativi alla tessitura e i suoli erano caratterizzati con un solo profilo rappresentativo.

La versione ed. 2019 si avvale della **carta dei suoli in scala 1: 50.000**, che copre il **71%** del territorio regionale mentre il restante **29%** è coperto dalla **carta dei suoli in scala 1:250.000** (Figura 14), di una **più ricca banca dati** che permette di caratterizzare tutte le tipologie di suolo non solo per tessitura ma anche per contenuto di sostanza organica e un **nuovo algoritmo** che ha permesso di individuare, per ogni punto di una maglia di passo 20 m, il suolo che meglio si adatta ai valori dei parametri per quel punto.

La carta dei suoli è rappresentata per delineazioni, ossia per aree all'interno delle quali si conoscono i tipi di suoli presenti (UTS), la loro diffusione percentuale e la posizione.

Nelle zone di collina e montagna in particolare i suoli sono caratterizzati anche dalla loro posizione nel paesaggio; attraverso infatti la lettura dei parametri stazionali quali pendenza, esposizione, indice di posizione topografica e geomorfologia e uso del suolo è possibile assegnare un suolo piuttosto che un altro. Sulla base di queste informazioni è stato sviluppato uno script in Python per localizzare in maniera automatica le UTS, permettendo il raggiungimento di due obiettivi:

- realizzare una carta delle UTS nella fascia appenninica/collinare;
- migliorare quanto più possibile la spazializzazione del fattore K, applicando il valore tipico di quel suolo piuttosto che un valore medio.

La fase di sviluppo dell'algoritmo è stata preceduta dalla fase di preparazione dei dati che ha riguardato due differenti serie di elaborazioni:

- produzione di 5 raster per altrettanti parametri utili all'individuazione dell'UTS su scala regionale: **pendenza, esposizione, uso del suolo, indice di posizione topografica e geomorfologia** (Figura 15);
- creazione di una versione della banca dati dei suoli (presente nei server del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna) nella quale le descrizioni delle singole UTS sono coerenti con i 5 parametri (Figura 16).

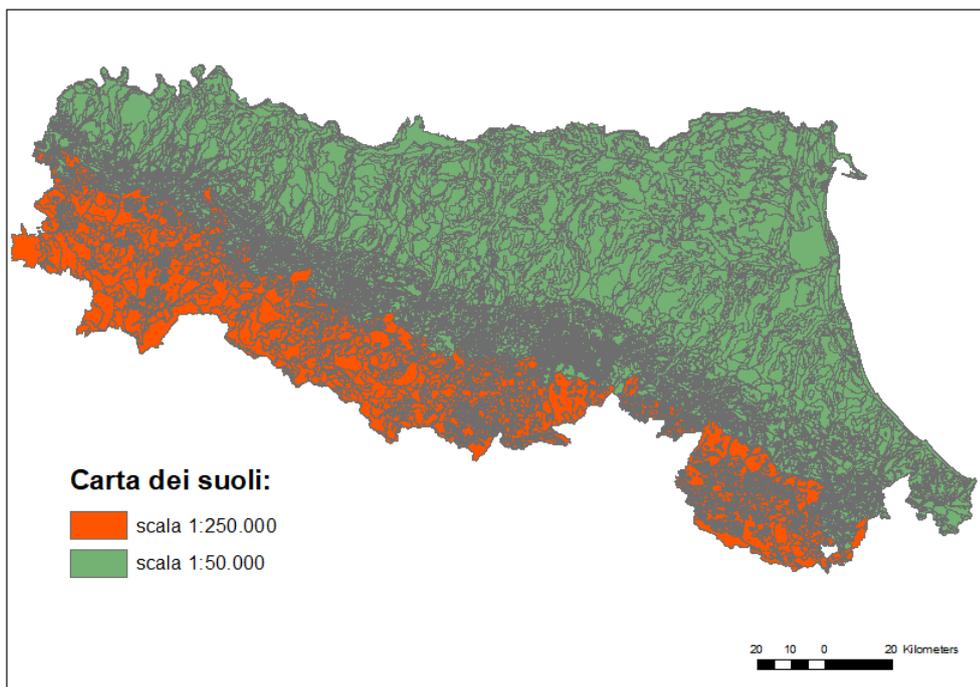


Figura 14. Copertura del territorio regionale con la Carta dei suoli al 50.000 e 250.000

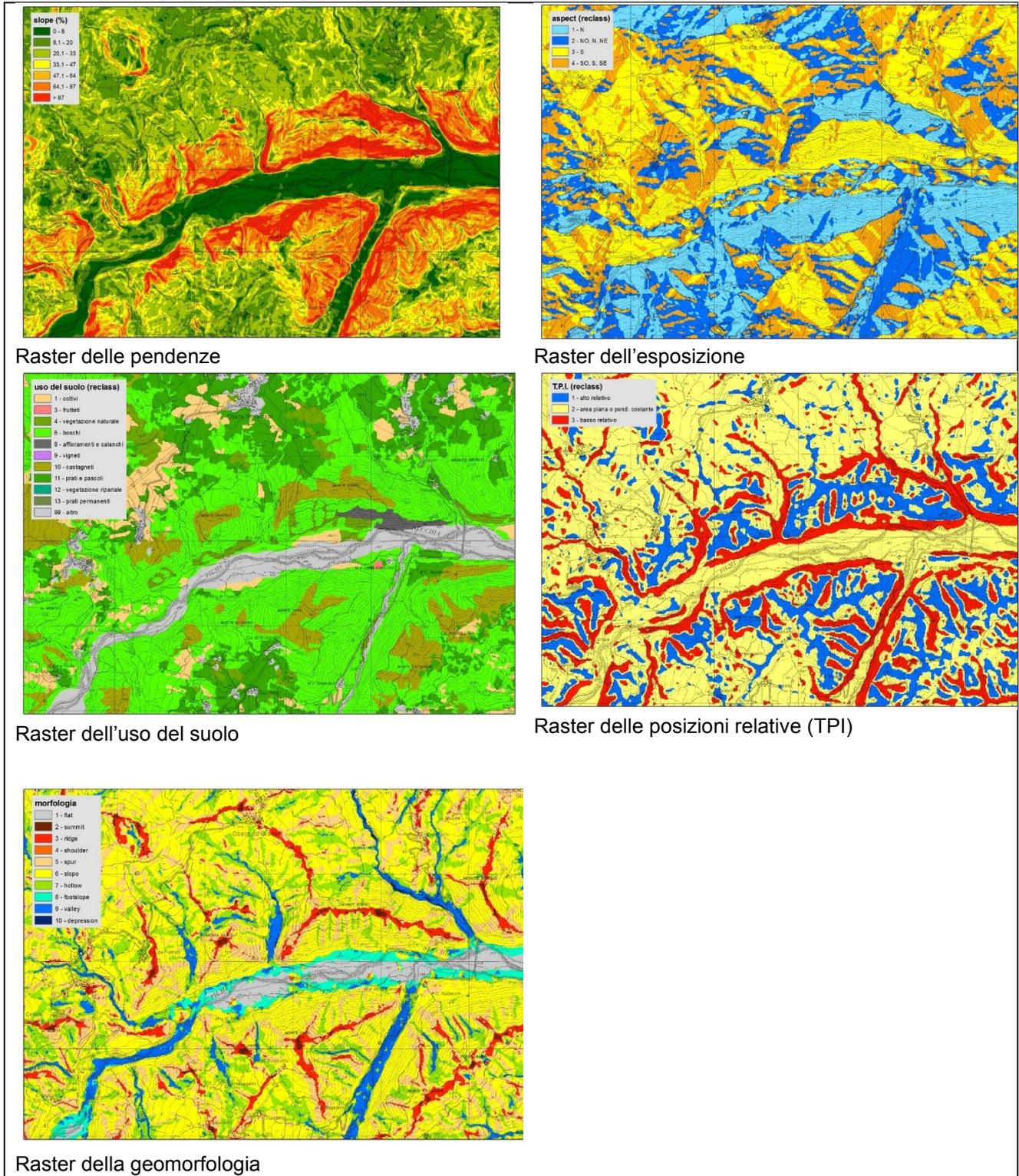
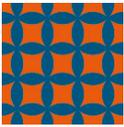
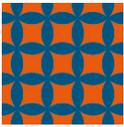


Figura 15. Raster dei fattori per l'individuazione delle posizioni delle UTS



DELINEAZIONE CON FORTI SOVRAPPOSIZIONI NEI PARAMETRI DESCRITTIVI DELLE UTS	DELINEAZIONE CON SCARSE SOVRAPPOSIZIONI NEI PARAMETRI DESCRITTIVI DELLE UTS																																														
<p>pendenza</p> <p>suolo A suolo B</p>	<p>pendenza</p> <p>suolo A suolo B</p>																																														
<p>esposizione</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> </table> <p>suolo A suolo B</p>	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	<p>esposizione</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> </table> <p>suolo A suolo B</p>	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5																										
1	2	3	4	5																																											
1	2	3	4	5																																											
1	2	3	4	5																																											
1	2	3	4	5																																											
<p>uso del suolo</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>6</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>99</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>6</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>13</td><td>13</td><td>99</td></tr> </table> <p>suolo A suolo B</p>	1	2	3	4	6	8	9	10	11	12	13	99	1	2	3	4	6	8	9	10	11	13	13	99	<p>uso del suolo</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>3</td><td>4</td><td>6</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>99</td></tr> <tr><td>1</td><td>3</td><td>4</td><td>6</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>99</td></tr> </table> <p>suolo A suolo B</p>	1	3	4	6	8	9	10	11	12	13	99	1	3	4	6	8	9	10	11	12	13	99
1	2	3	4	6	8	9	10	11	12	13	99																																				
1	2	3	4	6	8	9	10	11	13	13	99																																				
1	3	4	6	8	9	10	11	12	13	99																																					
1	3	4	6	8	9	10	11	12	13	99																																					
<p>t.p.i.</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>9</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>9</td></tr> </table> <p>suolo A suolo B</p>	1	2	3	9	1	2	3	9	<p>t.p.i.</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>9</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>9</td></tr> </table> <p>suolo A suolo B</p>	1	2	3	9	1	2	3	9																														
1	2	3	9																																												
1	2	3	9																																												
1	2	3	9																																												
1	2	3	9																																												
<p>geomorfologia</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr> </table> <p>suolo A suolo B</p>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<p>geomorfologia</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr> </table> <p>suolo A suolo B</p>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9										
1	2	3	4	5	6	7	8	9																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9																																							

Figura 16. Schema dei parametri descrittivi di due ipotetici suoli (A e B) in una delineazione.

Per ogni cella di 20 m dal confronto dei 5 parametri assegnati, pesati secondo una predefinita scala di priorità, e gli stessi parametri attribuiti ad ogni UTS, si assegna alle UTS un punteggio che rispecchia l'affinità del suolo con le caratteristiche della cella. Si possono verificare tre casi:

- un unico suolo con punteggio più alto: al punto viene assegnato quel suolo con il corrispondente valore di K;
- due o più suoli ottengono lo stesso punteggio: al punto viene assegnato il suolo dominante (in percentuale) e il valore di K è quello ponderato su tutta la delineazione;
- nessuna UTS corrisponde alla descrizione della cella: tutti i suoli hanno 0 punti, al punto viene assegnato il suolo dominante (in percentuale) e il valore di K è quello ponderato su tutta la delineazione.

Il valore ponderato di K, calcolato per ciascuna delineazione, deriva dalla media dei valori di K di tutte le UTS presenti nella delineazione ponderata con la percentuale di diffusione delle UTS stesse.

Il valore K ponderato è stato attribuito anche a tutte le delineazioni dove non è possibile applicare il modello legato alla descrizione della stazione, ossia a delineazioni appartenenti alla pianura o ai fondovalli dove i suoli si distinguono maggiormente per caratteri intrinseci, quali ad esempio, tessitura, calcare, profondità, grado di evoluzione etc. (Figura 17).

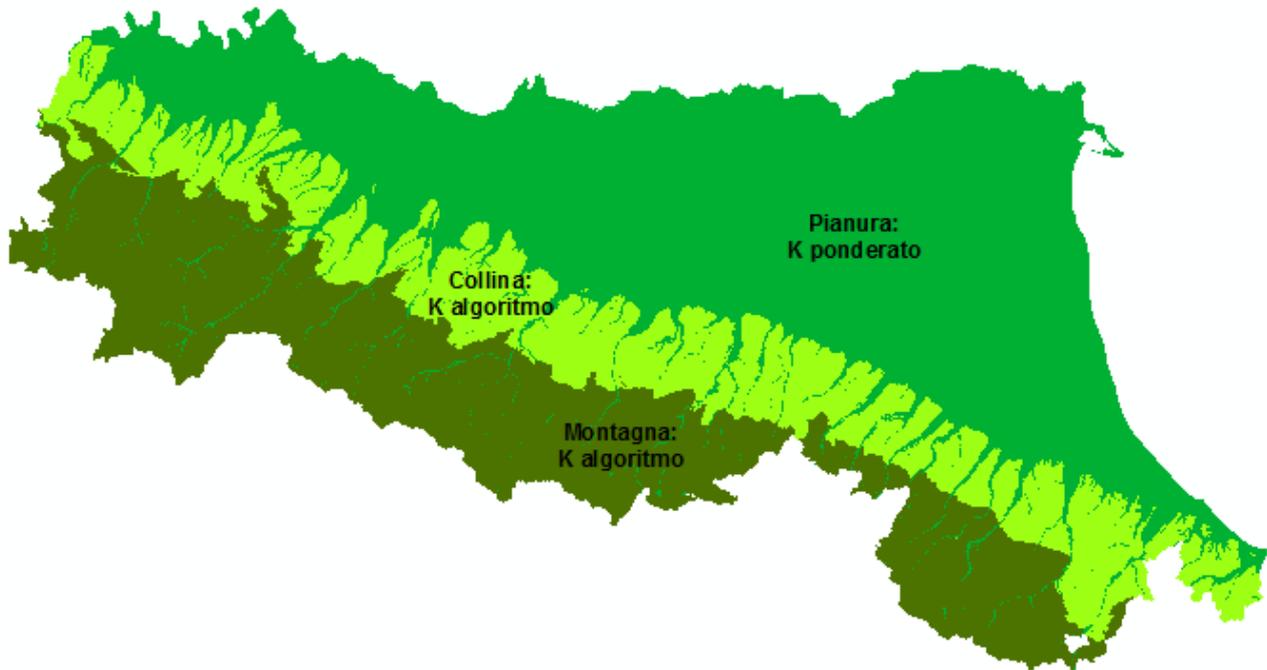
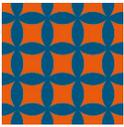


Figura 17. Criteri di attribuzione del fattore K, l'algoritmo ha contribuito per il calcolo del fattore K per le fasce collinari e montane

I valori di K assegnati derivano dal calcolo secondo l'equazione di **Torri et. al. 1997** applicata a **3180 osservazioni** che descrivono 431 UTS appartenenti alla carta dei suoli in scala 1:50.000 e 253 UTS della carta in scala 1: 250.000.

Si è deciso di lavorare con l'equazione di Torri perché considera il contenuto di sostanza organica la quale svolge un importante ruolo nella stabilità strutturale degli aggregati; i valori di Torri tendono però ad annullarsi con alti valori di SO e tessiture sabbiose, nei casi in cui fattore K tende a 0, il valore è stato approssimato a 0.0001 per non annullare del tutto il valore.

Di seguito si riporta una breve analisi realizzata sulle 3108 osservazioni che descrivono la carta dei suoli in scala 1:50.000 applicando sia la formula di Renard et al. 1997 [1]

$$K = 7.594 \cdot \{0.0034 + 0.0405 \cdot \exp[-1/2 \cdot ((\log(Dg) + 1.659)/0.7101)^2]\} \quad r^2 = 0.983 \quad [1]$$

dove Dg è il diametro medio geometrico delle particelle (mm), calcolato come segue (Shirazi e Boersma, 1984):

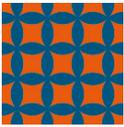
$Dg = \exp [0.01 \cdot \sum (f_i \cdot \ln m_i)]$  con  $f_i$  la percentuale della  $i$ -esima frazione granulometrica e  $m_i$  il rispettivo diametro medio

che la formula di **Torri et. al. 1997** [2]:

$$K = 0.0293 \cdot (0.65 - Dg + 0.24Dg^2) \cdot \exp\{-0.0021 \cdot (OM/C) - 0.00037 \cdot [(OM/C)^2] - 4.02C + 1.72C^2\} \quad r^2 = 0.4 \quad [2]$$

dove  $Dg = \sum [f_i \cdot \log (d_i \cdot d_{i-1})^{0.5}]$  (Shirazi et al., 1988)

In Tabella 8 si riporta la statistica descrittiva per le variabili presenti nel dataset costituito dagli orizzonti superficiali o comunque dagli orizzonti presenti entro i primi 10 cm se il primo orizzonte è  $\leq 5$  cm delle 3108 osservazioni considerate:



Variabile	N. dati	Min	25%	Median	Mean	75%	Max	std.Dev.
sabbia %	3130	0.00	11.00	18.88	23.55	30.88	97.80	18.15
limo %	3130	1.00	38.00	46.00	45.27	54.00	88.55	12.83
argilla %	3130	0.56	23.00	31.00	31.18	39.00	71.00	12.19
sost. org. %	3130	0.10	1.40	1.80	2.20	2.40	40.01	2.47

Tabella 8. Statistica descrittiva del dataset pedologico (3130 orizzonti riferiti a 3108 osservazioni).

Nella Tabella 9 è riportata la statistica descrittiva dei valori di K stimati con i diversi metodi, espresso in unità SI, ossia in  $Mg\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ .

Variabile	N. dati	Min	25%	Median	Mean	75%	Max	std.Dev.
K Renard et al. (1997)	3130	0.0091	0.0256	0.0324	0.03197	0.0392	0.0439	0.00832
K Torri et al. (1997)	3130	0.0000	0.0324	0.0366	0.03663	0.0410	0.0702	0.00826

Tabella 9. Statistiche descrittive del fattore K calcolato con i due diversi metodi di stima (3130 orizzonti riferiti a 3108 osservazioni).

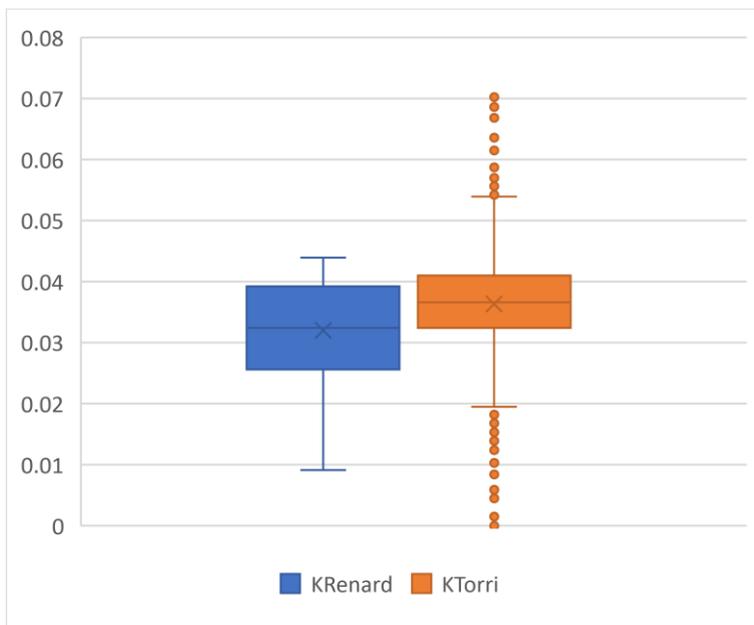


Tabella 10. box plot della distribuzione del fattore K ottenuto con le due metodiche analizzate.

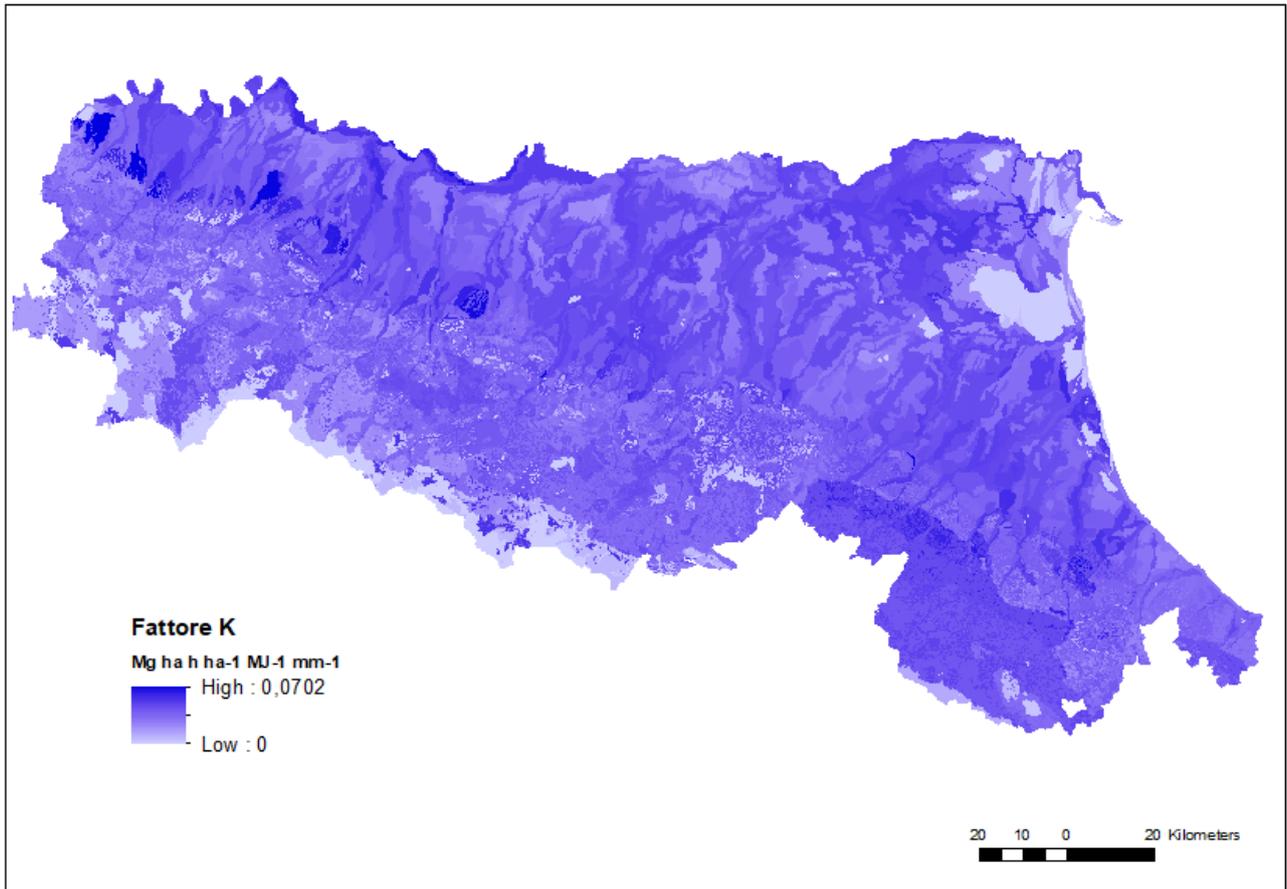
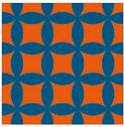


Figura 18. Rappresentazione cartografica del fattore K

### 5.1.3 Fattore LS

Il **fattore morfologico** LS prende in considerazione gli effetti della topografia sull'intensità dei processi erosivi ed è una misura della capacità di trasporto di sedimento per scorrimento superficiale (overland flow). L'erosione (A) aumenta con la lunghezza del versante (L), definita come la distanza orizzontale tra il punto di origine del flusso e il punto in corrispondenza del quale 1) il gradiente di pendenza diminuisce al punto di innescare di processi di deposizione del sedimento o 2) il runoff diviene concentrato e iniziano processi di erosione incanalata.

L'erosione potenziale aumenta anche con la pendenza del versante (S), e l'effetto combinato dei due fattori viene definito come il rapporto tra la perdita di suolo da un versante di pendenza e lunghezza determinate e quella relativa ad un versante lungo 22.1 m e di pendenza uniforme pari al 9% (parcella unitaria), mantenendo costanti tutte le altre variabili. Un valore di LS pari ad 1 è quindi relativo alla lunghezza e pendenza della parcella unitaria: valori inferiori ad 1 rappresentano situazioni nelle quali l'erosione è inferiore a quella della parcella unitaria, mentre valori di LS superiori ad 1 indicano situazioni più erosive di quelle della parcella unitaria.

Il calcolo del fattore LS è stato oggetto di approfondimento nel 2007 nell'ambito della convenzione "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" tra Regione Emilia-Romagna e CNR-IRPI<sup>18</sup> di Firenze.

<sup>18</sup> Bartolini D. Revisione della carta dell'erosione regionale in scala 1:250.000: aspetti metodologici legati alla scala di applicazione della RUSLE e verifica in aree campione. Rapporto 2.1 Marzo 2007



L'equazione generale per il calcolo del fattore LS si basa sulla seguente relazione (da Mitasova et al., 1996):

$$LS = (\text{FlowAccumulation} \cdot \text{CellSize} / 22.13)^{0.4} \cdot ((\sin(\text{Slope} \cdot 0.001745) / 0.09)^{1.4}) \cdot 1.4$$

Dove:

**FlowAccumulation** = Rappresenta la Flow Accumulation ed esprime la quantità di acqua raccolta da monte che raggiunge (e attraversa) la cella in esame. E' anche chiamata "Catchment Area" ovvero "Area del Bacino sotteso"

**Slope** = Rappresenta l'inclinazione della cella espressa in gradi.

**CellSize** = 10. Indica la dimensione, in metri, della cella dei grid utilizzati nell'equazione.

I passaggi utilizzati sono stati realizzati tramite il model builder di ArcGIS, di seguito una descrizione sintetica delle fasi che hanno portato alla realizzazione del fattore LS:

1. Creazione degli strati che saranno utilizzati per il calcolo del fattore:
  - a. Raster di flow accumulation basato sul DEM a 10 m.
  - b. Raster di pendenza, espresso in gradi, a partire dello stesso DEM. Occorre notare che questo strato informativo è il medesimo che è stato realizzato per il fattore K.
2. Creazione di una maschera di esclusione basata sul flow accumulation precedentemente creato. Tutte le celle che hanno un valore superiore a 100 sono state classificate come "NoData", mentre le altre hanno assunto valore 1. Questo passaggio serve ad escludere dai calcoli le celle che hanno a monte un bacino sotteso superiore ad un 1 ha, come suggerito dallo studio di Bartolini D., 2007<sup>20</sup>. Nel contesto dell'Appennino Emiliano-Romagnolo è difficile ipotizzare l'esistenza di linee di deflusso sufficientemente lunghe da non venir interrotte da elementi quali strade o rotture di pendenza. Il limite di 1 ha lo scopo di limitare la lunghezza dei deflussi ed evitare sovrastime del fattore LS.
3. Calcolo del fattore LS secondo la formula di Mitasova et al. 1996 (Figura 19):  
Tutti i fattori della formula hanno un passo a 10m così come il parametro della dimensione della cella.

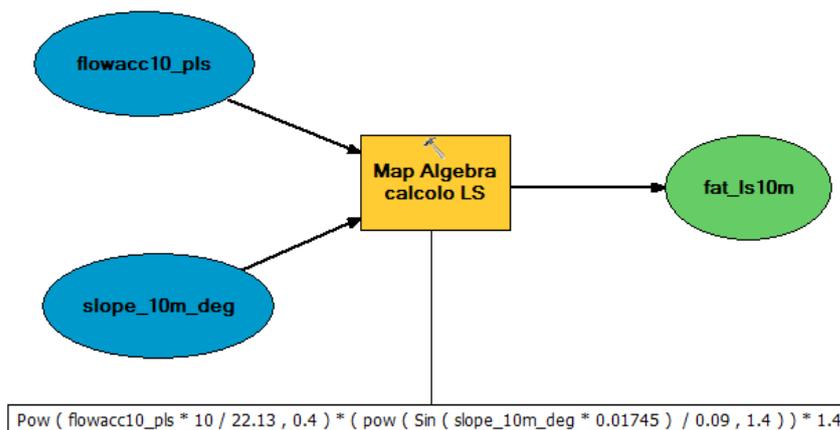


Figura 19. Modello per il calcolo del fattore LS, la formula utilizzata è la medesima del precedente lavoro sulla carta dell'erosione.

4. Applicazione della maschera di esclusione, in modo da eliminare le celle ottenute da un valore di flow accumulation superiore a 1 ha; successiva aggregazione del raster in modo da passare da passo 10 a passo 20m. La cella aggregata ha preso come valore la media delle 4 celle che l'hanno generata (Figura 20).

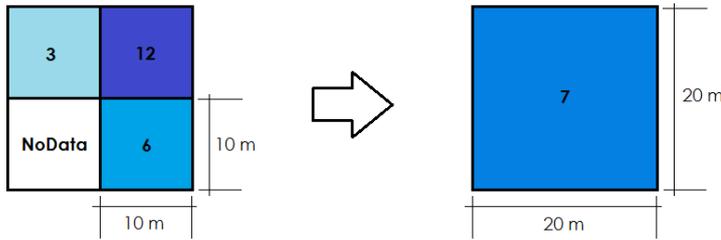
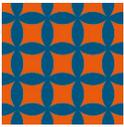


Figura 20. Aggregazione del raster, la cella ottenuta assume come valore la media delle celle che la compongono.

- Il passaggio precedente ha portato alla creazione di celle "NoData". Questo è successo in tutti i casi in cui si sono trovate vicine 4x4 celle da 10m (o più) escluse dalla maschera e quindi contenute valori "NoData". Queste aggregandosi hanno portato ad avere una cella da 20 metri contenete ancora un "NoData".

Le celle a cui manca il valore di LS sono state riempite sostituendo il "NoData" con la media delle 24 celle adiacenti, Figura 21. L'area in rosso in Figura 22 è la finestra mobile in cui viene calcolata la media che sostituisce il valore mancante.

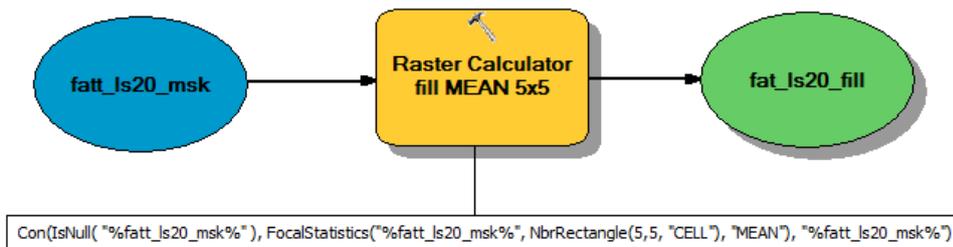


Figura 21. Modello per il riempimento delle celle vuote.

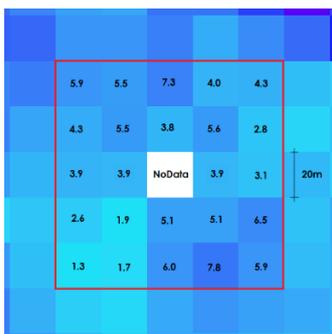


Figura 22. Raster aggregato a passo 20 metri, la cella al centro è stata ottenuta da 4 celle da 10 metri tutte con valore "NoData".

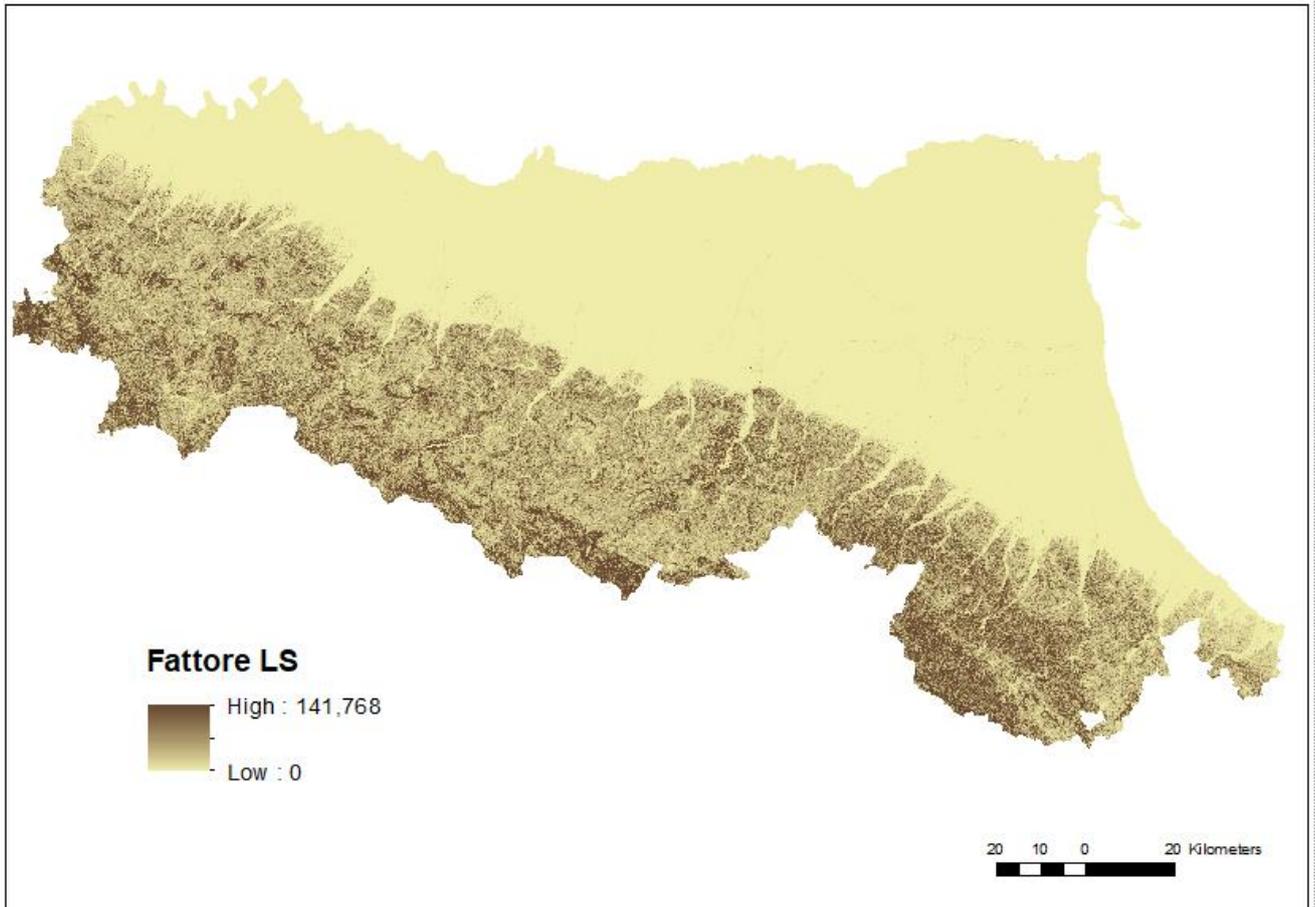
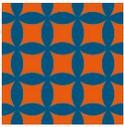


Figura 23. Rappresentazione cartografica del fattore LS

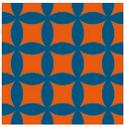
#### 5.1.4 Fattore C

Il **fattore di copertura del suolo** (fattore C) è utilizzato nella RUSLE per valutare l'effetto della copertura vegetale e delle tecniche colturali sull'intensità dei processi erosivi. Il fattore C indica come si distribuisce nel tempo la perdita potenziale di suolo risultante dalla rotazione delle colture, dalle operazioni colturali a queste collegate e dai relativi piani di gestione.

Come altri fattori della USLE, anche il fattore C va inteso come deviazione da uno standard di riferimento, in questo caso assimilato ad una superficie priva di vegetazione mantenuta tale con lavorazioni continue. Il valore di C in condizioni standard è fissato quindi pari ad 1. Il *soil loss ratio* (SLR) è quindi una stima del rapporto tra le perdite di suolo nelle condizioni effettive di coltura e gestione rispetto a quelle di riferimento. Il lavoro di Wischmeier (1975) e Muthcler et al. (1982) ha indicato come il fattore C possa essere considerato come la risultante di un certo numero di sottofattori.

Per gli usi agricoli vengono utilizzati valori di C determinati in corrispondenza di momenti specifici del ciclo colturale (aratura, preparazione del letto di semina, insediamento della coltura, sviluppo, maturazione piena e raccolta), utilizzando valori medi per la rugosità superficiale, la copertura dovuta alla chioma, la copertura della superficie e per la frazione di Indice di Erosività (EI) corrispondente a ciascun momento del ciclo colturale. Poiché la distribuzione dell'EI nel corso dell'anno è una caratteristica della stazione di riferimento, può quindi accadere che, a parità di ordinamento colturale, il valore del fattore C cambi nelle diverse zone fitoclimatiche.

I valori dei C dei **seminativi** dei sistemi agricoli emiliano-romagnoli sono stati calcolati sulla base dei diversi ordinamenti colturali, descritti come successione di diverse colture a loro volta descritte come successione di pratiche colturali e caratteristiche fenologiche, maggiormente diffusi nelle diverse zone agronomiche della



regione; quest'ultime coincidenti con i macroambienti altitudinali, i cui limiti sono definiti sulla base della carta dei suoli in scala 1: 50.000, suddivisi per provincia amministrativa (Figura 24).

Con questi dati è stato possibile, basandosi sulle tabelle esistenti in letteratura e in parte contenute nel database di accompagnamento del programma RUSLE2, calcolare, per ogni zona agronomicamente omogenea, il fattore C medio nell'anno dei diversi ordinamenti colturali (Rapporto 8.1, 2004<sup>19</sup>). Nell'allegato 6.2 si riportano alcuni esempi di calcolo del fattore C; nella Tabella 11 sono raccolti i valori di C medi per zone altimetriche per i diversi ordinamenti colturali.

Per quanto riguarda le **colture arboree** si è ipotizzato che l'effetto mitigante nei confronti dell'erosione sia svolto principalmente dalla copertura erbacea spontanea. Il numero delle lavorazioni effettuate durante l'anno diventa allora la principale variabile nella definizione del fattore C. Poiché sia il numero che l'entità delle lavorazioni varia a seconda delle zone, sono stati calcolati diversi valori di C per le varie aree agronomicamente omogenee. Nell'allegato 6.3 si riportano alcuni esempi di calcolo in frutteti e vigneti della collina cesenate<sup>20</sup>; in Tabella 11 sono riportati i valori medi del fattore C per zone altimetriche.

Per i **prati stabili** sono state ipotizzate condizioni diverse di copertura erbacea del suolo per le tre fasce altimetriche non distinguendo invece per provincia e ipotizzando una copertura pressoché totale in pianura, meno densa in collina e montagna (Allegato 6.4); i valori sono stati attribuiti in base alle tabelle originali di Wischmeier riportate in Tabella 19.

Per i **boschi** sono stati adottati valori costanti nelle diverse zone agronomiche sempre derivati dalle tabelle originali di Wischmeier (Tabella 20).

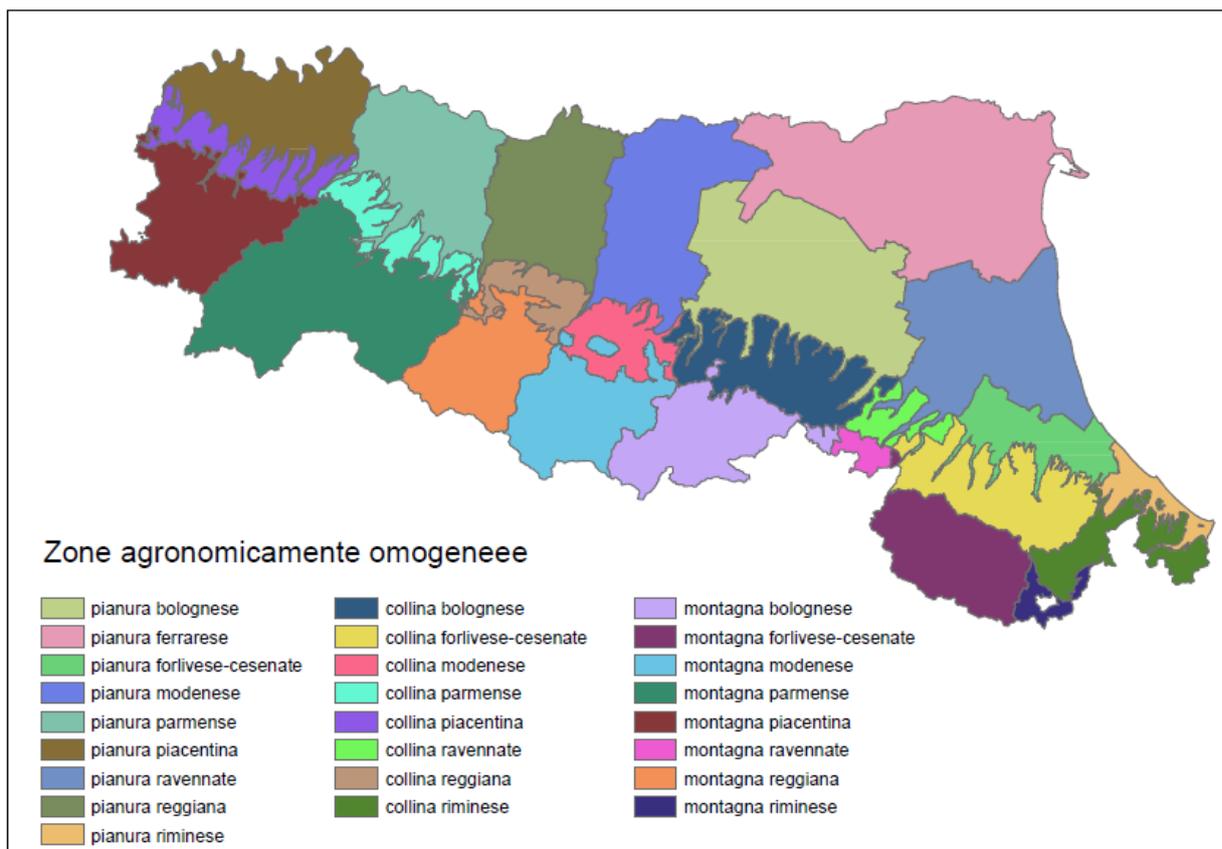
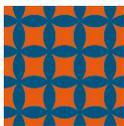


Figura 24. Zone agronomicamente omogenee

<sup>19</sup> Calzolari, C. et al. Rapporto 8.1 2004 Applicazione della USLE/RUSLE ai suoli di collina e montagna della Regione Emilia-Romagna: definizione dei parametri R, erosività delle piogge, e C, copertura del suolo.

<sup>20</sup> A. Angelelli, G. Chisci, N. Filippi, D. Missere, D. Preti. I suoli della collina cesenate. Regione Emilia-Romagna, E.R.S.O. 1991



ORDINAMENTO COLTURALE	Media C pianura	Media C collina	Media C montagna
ERBA MEDICA x 4, GRANO TENERO, POMODORO, MAIS DA FORAGGIO	0,19		
ERBA MEDICA x 3, GRANO TENERO, ORZO	0,14	0,15	0,18
ERBA MEDICA x 4, ORZO		0,16	
ERBA MEDICA x 4, GRANO TENERO, MAIS, GRANO TENERO	0,13	0,16	
ERBA MEDICA x 4, GRANO TENERO	0,09	0,14	0,17
ORZO, SOIA, PATATA	0,37		
GRANO TENERO, MAIS, BARBABIETOLA DA ZUCCHERO, MAIS	0,27	0,31	
GRANO TENERO, MAIS, ORZO		0,20	
GRANO TENERO, MAIS, SOIA	0,25	0,28	
GRANO TENERO, SOIA	0,35	0,21	
GRANO TENERO, POMODORO, BARBABIETOLA DA ZUCCHERO, MAIS	0,33		
GRANO TENERO, POMODORO, MAIS, SOIA	0,37	0,34	
GRANO TENERO, BARBABIETOLA DA ZUCCHERO, GRANO TENERO, MAIS	0,23	0,26	
GRANO TENERO, BARBABIETOLA DA ZUCCHERO, GRANO TENERO, SOIA	0,26		
GRANO TENERO, BARBABIETOLA DA ZUCCHERO, GRANO TENERO, PATATA	0,30	0,33	
GRANO TENERO, BARBABIETOLA DA ZUCCHERO, MAIS, SOIA			
GRANO TENERO, GIRASOLE, GRANO TENERO, SORGO		0,28	
MAIS, GRANO TENERO, MAIS			
VITE GDC inerbito tra le file	0,12		
VITE Casarsa tutto lavorato	0,28	0,34	0,34
PERO inerbito tra le file	0,12		
PESCO inerbito tra le file, vaso	0,12		
ACTINIDIA inerbito tra le file	0,12		
PESCO tutto lavorato, vaso		0,36	
Prati stabili	0,005	0,003	0,02

Tabella 11. Valori medi del fattore C per ordinamento colturale e zona altimetrica

La spazializzazione del fattore C sul territorio regionale si basa sulla carta dell'uso del suolo ed. 2014. Si tratta di una cartografia di grande dettaglio derivante da fotointerpretazione di fotografie aeree ad alta definizione, pixel 50 cm, con area minima di 0.16 ha e con sistema di classificazione Corine Land Cover per i primi tre livelli e specifiche CISIS<sup>21</sup> per il quarto livello.

Nonostante il notevole dettaglio cartografico la carta dell'uso del suolo non permette di distinguere il tipo specifico di coltura presente o l'ordinamento colturale; ad esempio individua e raggruppa in un'unica classe tutti i seminativi, non distinguendo il tipo di coltura né, tanto meno, il tipo di rotazione in cui essa si colloca. Per ovviare a questo limite ad ogni combinazione di classe di uso del suolo e zona agronomicamente omogenea è stata attribuita la media dei fattori C di tutti gli ordinamenti colturali rientranti in quella classe di uso del suolo e presenti in quella zona agronomicamente omogenea (ad esempio, per i seminativi della collina piacentina, la media dei fattori C dei seguenti ordinamenti colturali: ERBA MEDICA x 3, GRANO TENERO, ORZO; GRANO TENERO, SOIA).

Per le colture arboree la carta dell'uso del suolo comprende due sole categorie, vigneti e frutteti, e non permette ulteriori differenziazioni, così come non distingue i sistemi inerbiti dai non inerbiti. Vista l'importanza di quest'ultimo aspetto, basandosi sui dati del 6° Censimento dell'Agricoltura (ISTAT, 2010) si è attribuito il valore del fattore C dei sistemi con inerbimento a tutti i vigneti e frutteti che ricadono nelle aree agronomicamente omogenee che risultano avere più del 70% di legnose agrarie con inerbimento controllato (Figura 25).

Nell'Allegato 6.5 sono riportati tutti i valori di C assegnati alle diverse categorie di uso del suolo con relativa bibliografia di riferimento.

<sup>21</sup> Gruppo di Lavoro Uso del Suolo nell'ambito del CPSG-CISIS.

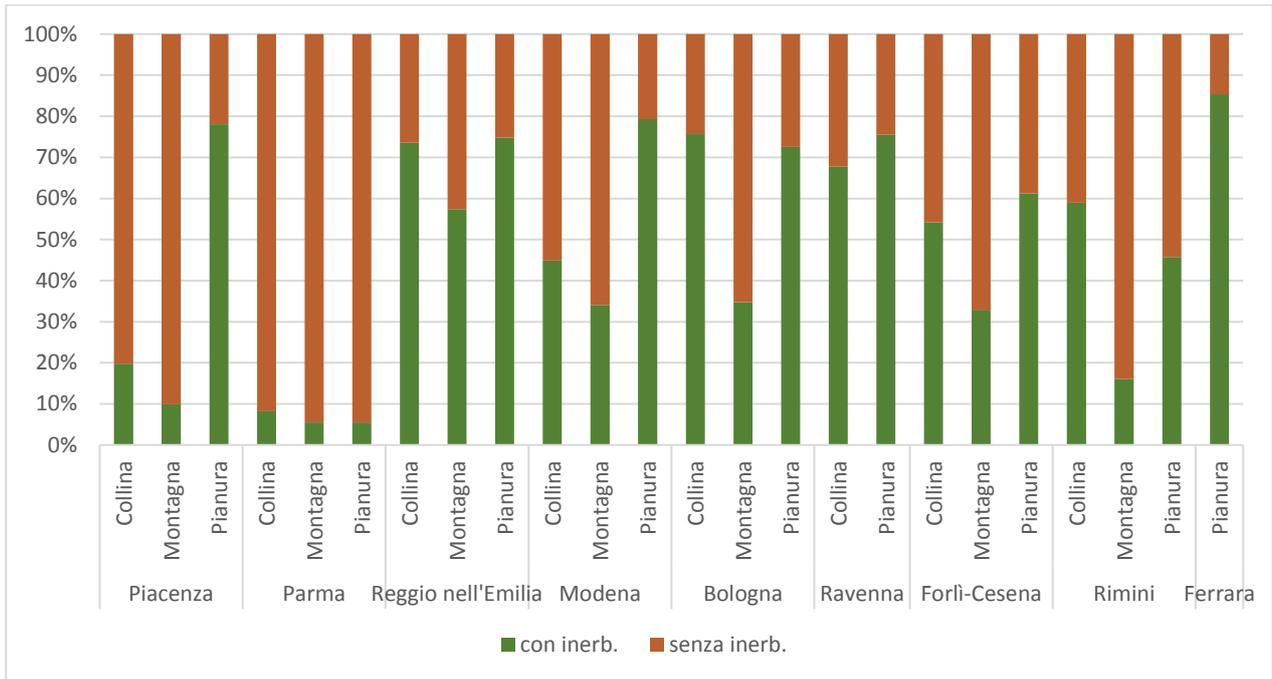
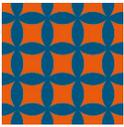


Figura 25. Rappresentazione grafica delle percentuali relative tra legnose agrarie con inerbimento e senza inerbimento per zone agronomicamente omogenee (dato ISTAT 2010, 6° Censimento dell'Agricoltura).

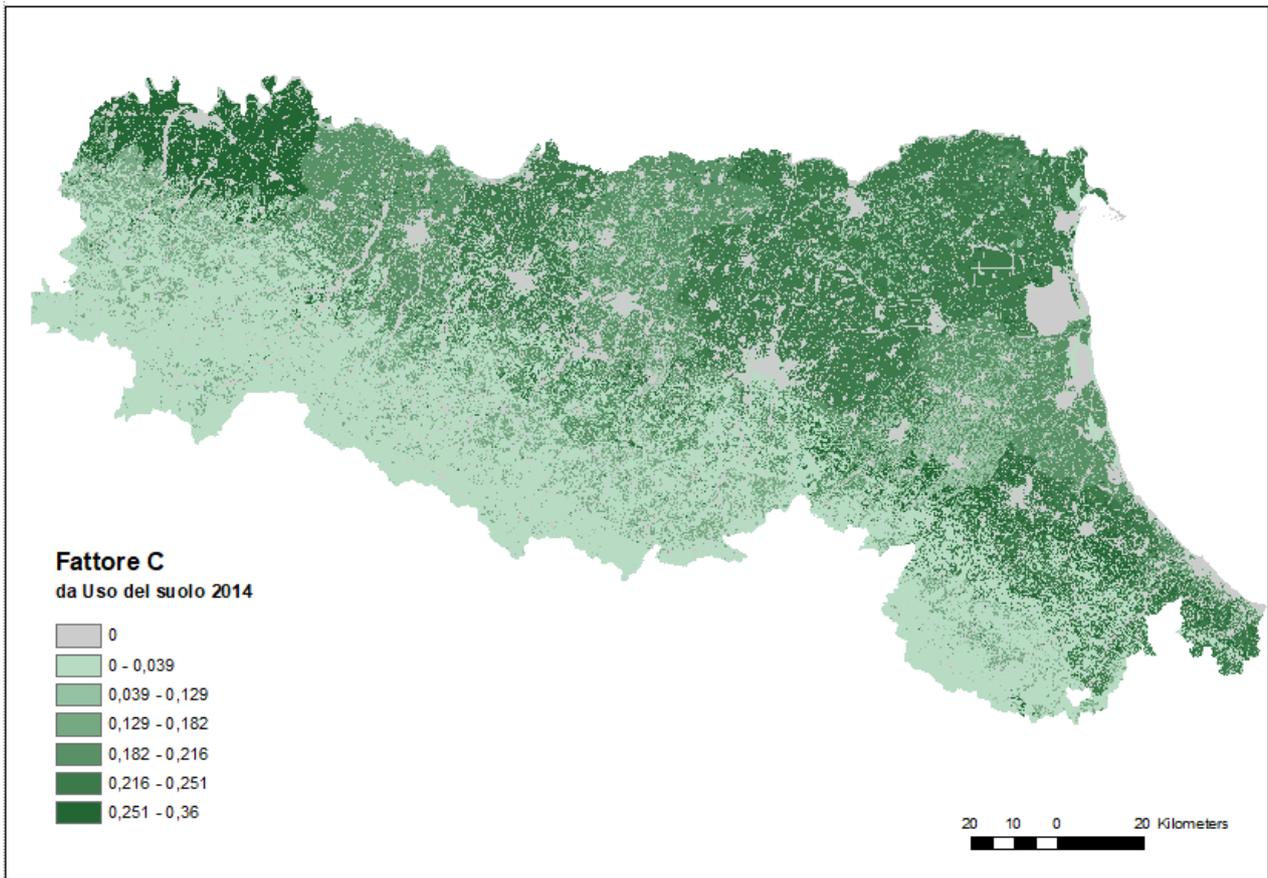
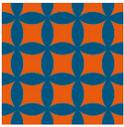


Figura 26. Rappresentazione cartografica del fattore LS



## 5.2 Elaborazione spaziale

Una volta definiti i valori di tutti i fattori del modello RUSLE per il calcolo finale del valore di erosione e la sua spazializzazione è stato costruito un modello di elaborazione all'interno dell'ambiente del Geoprocessing di ArcGIS utilizzando il "Model Builder" come strumento di sviluppo che opera con livelli informativi in formato Grid.

Il modello creato è stato suddiviso in sottomodelli, ovvero in singole unità dedicate alla risoluzione di passaggi elementari al fine di renderne la lettura più agevole e di semplificarne l'utilizzo. Risulta in tal modo possibile far girare solo le parti necessarie in seguito, ad esempio, ad un aggiornamento dei dati di base o ad una variazione degli algoritmi implementati.

Il modello prende in considerazione tutti i fattori della RUSLE, inoltre il calcolo finale relativo all'assegnazione del fattore K avviene mediante uno script scritto in PYTHON 3.6. che si appoggia ad un database POSTGRESS.

In una prima fase i livelli informativi vettoriali sono stati rasterizzati nel formato Grid, tutte le griglie dei raster sono state allineate alla griglia del DEM a passo 20 m a sua volta derivato dal DEM a passo 10 m, quest'ultimo è stato considerato come il riferimento essendo un dato ufficiale della Regione Emilia-Romagna. Nelle fasi successive vengono applicate le funzioni di gestione ed analisi proprie della Extension "Spatial Analyst" per ArcGis.

Il formato dati Grid consente un notevole incremento nella velocità di calcolo dei singoli fattori e limita i problemi legati alla sovrapposizione di geometrie di diversa provenienza.



## 6 ALLEGATI

### 6.1 Tasso di erosione per comune

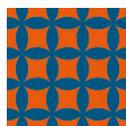
Elenco dei comuni della Regione Emilia-Romagna con riferimento alla % di area agricola, valore medio di perdita di suolo per erosione e deviazione standard, percentuale di area agricola con valori di perdita di suolo superiori a 5 Mg\*ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup>, valore soglia di tollerabilità per l'indicatore (C.40) Riduzione dell'erosione del suolo (I.13) fissato dalla Commissione Europea in ambito PAC.

L'area agricola è calcolata sulla base della Carta dell'uso del suolo 2014 di S. Corticelli, M.L. Garberi, M. Bocci, M.C. Mariani, S. Masi. Database uso del suolo di dettaglio 2014 ed.2018 Regione Emilia-Romagna, comprendendo le **categorie del CLC di secondo livello seminativi 2.1, colture permanenti, 2.2 e Prati stabili (foraggi permanenti) 2.3.**

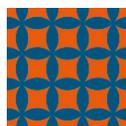
COMUNE	Codice ISTAT	area agricola %	erosione: valore medio Mg*ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	erosione: deviazione standard	area agricola con erosione > 5 t/ha*anno %
<b>Piacenza</b>					
AGAZZANO	033001	80,9	13,66	16,84	59,1
ALSENO	033002	79,6	8,81	18,85	30,5
BESENZONE	033003	89,6	0,32	0,42	0,1
BETTOLA	033004	28,3	48,78	34,70	96,3
BOBBIO	033005	27,2	46,31	38,81	93,7
BORGONOVO VAL TIDONE	033006	82,3	6,17	12,88	22,5
CADEO	033007	83,8	0,54	0,81	0,4
CALENDASCO	033008	74,2	0,59	1,53	1,4
CAORSO	033010	72,0	0,50	1,21	1,5
CARPANETO PIACENTINO	033011	76,3	11,41	27,15	27,6
CASTELL'ARQUATO	033012	67,7	26,29	45,05	54,7
CASTEL SAN GIOVANNI	033013	73,8	6,93	13,79	27,2
CASTELVETRO PIACENTINO	033014	73,4	0,56	1,49	2,0
CERIGNALE	033015	5,2	62,45	65,60	86,0
COLI	033016	13,4	48,47	34,84	96,6
CORTE BRUGNATELLA	033017	15,7	63,32	55,83	93,4
CORTEMAGGIORE	033018	83,9	0,37	0,78	0,5
FARINI	033019	23,6	58,27	39,99	97,8
FERRIERE	033020	8,3	64,27	61,38	89,7
FIORENZUOLA D'ARDA	033021	81,2	1,41	2,20	4,4
GAZZOLA	033022	65,4	19,03	23,63	68,4
GOSSOLENGO	033023	70,2	0,84	0,81	0,5
GRAGNANO TREBBIENSE	033024	78,6	1,01	1,89	2,3
GROPPARELLO	033025	43,4	38,01	28,07	93,1
LUGAGNANO VAL D'ARDA	033026	44,2	44,32	41,47	89,5
MONTICELLI D'ONGINA	033027	70,7	0,54	1,90	2,2
MORFASSO	033028	24,3	42,24	30,84	92,7
OTTONE	033030	3,3	65,81	79,62	90,4
PIACENZA	033032	60,2	0,66	0,92	0,6
PIANELLO VAL TIDONE	033033	59,1	31,89	26,31	86,4



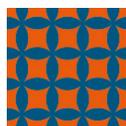
COMUNE	Codice ISTAT	area agricola %	erosione: valore medio Mg*ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	erosione: deviazione standard	area agricola con erosione > 5 t/ha*anno %
PIOZZANO	033034	60,9	34,73	26,89	88,5
PODENZANO	033035	81,1	1,61	1,86	3,9
PONTE DELL'OLIO	033036	50,2	35,85	33,47	81,3
PONTENURE	033037	81,1	0,72	1,05	0,8
RIVERGARO	033038	66,7	16,57	28,15	45,4
ROTOFRENO	033039	71,9	0,86	1,72	1,8
SAN GIORGIO PIACENTINO	033040	76,3	4,63	11,22	18,2
SAN PIETRO IN CERRO	033041	91,2	0,24	0,50	0,2
SARMATO	033042	78,2	1,92	4,89	8,3
TRAVO	033043	43,5	41,33	31,73	92,9
VERNASCA	033044	35,9	51,31	40,85	92,7
VIGOLZONE	033045	58,3	24,89	33,59	58,4
VILLANOVA SULL'ARDA	033046	82,3	0,37	1,04	0,8
ZERBA	033047	1,3	36,32	51,88	93,0
ZIANO PIACENTINO	033048	84,9	31,16	25,72	91,6
ALTA VAL TIDONE	033049	50,9	30,50	26,63	84,2
<b>Parma</b>					
ALBARETO	034001	17,4	55,99	68,91	90,3
BARDI	034002	16,1	21,95	33,07	73,7
BEDONIA	034003	7,4	22,96	39,66	80,1
BERCETO	034004	12,7	28,13	44,12	82,4
BORE	034005	20,5	23,70	30,27	68,3
BORGO VAL DI TARO	034006	15,1	56,68	69,61	87,6
BUSSETO	034007	88,0	0,17	0,28	0,0
CALESTANO	034008	22,9	31,20	35,51	80,3
COLLECCHIO	034009	64,7	6,51	20,46	12,4
COLORNO	034010	75,5	0,08	0,12	0,0
COMPIANO	034011	15,3	28,25	51,21	74,3
CORNIGLIO	034012	13,0	29,56	41,94	81,7
FELINO	034013	70,4	29,14	38,98	57,2
FIDENZA	034014	74,5	11,63	27,67	25,6
FONTANELLATO	034015	81,5	0,40	0,61	0,2
FORTEVIVO	034016	64,7	0,61	1,32	0,8
FORNOVO DI TARO	034017	38,4	54,41	46,15	82,1
LANGHIRANO	034018	53,2	35,68	34,94	81,1
LESIGNANO DE' BAGNI	034019	53,4	35,00	32,59	82,0
MEDESANO	034020	42,9	40,39	47,02	65,0
MEZZANI	034021	74,2	0,06	0,27	0,0
MONCHIO DELLE CORTI	034022	7,7	21,78	34,20	83,9
MONTECHIARUGOLO	034023	73,1	1,78	3,82	6,1
NEVIANO DEGLI ARDUINI	034024	47,4	40,17	33,03	89,9
NOCETO	034025	71,3	14,28	29,94	35,6
PALANZANO	034026	20,0	32,20	44,50	81,3



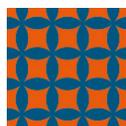
COMUNE	Codice ISTAT	area agricola %	erosione: valore medio Mg*ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	erosione: deviazione standard	area agricola con erosione > 5 t/ha*anno %
PARMA	034027	66,6	0,66	1,10	0,7
PELLEGRINO PARMENSE	034028	34,9	48,60	41,13	90,4
ROCCABIANCA	034030	77,0	0,19	0,52	0,2
SALA BAGANZA	034031	40,9	45,73	46,57	73,8
SALSOMAGGIORE TERME	034032	54,1	50,01	52,08	75,6
SAN SECONDO PARMENSE	034033	83,0	0,16	0,31	0,0
SOLIGNANO	034035	23,8	36,57	37,38	82,4
SORAGNA	034036	86,5	0,25	0,33	0,0
SORBOLO	034037	80,9	0,18	0,49	0,2
TERENZO	034038	28,0	41,78	38,82	84,6
TIZZANO VAL PARMA	034039	33,6	27,87	33,06	77,0
TORNOLO	034040	3,2	27,44	50,48	76,6
TORRILE	034041	77,4	0,27	1,27	0,6
TRAVERSETOLO	034042	54,1	26,29	39,19	53,6
VALMOZZOLA	034044	13,1	21,11	34,63	72,6
VARANO DE' MELEGARI	034045	29,8	42,33	41,36	84,3
VARSÌ	034046	24,6	26,10	33,93	77,1
SISSA TRECASALI	034049	81,0	0,22	0,95	0,2
POLESINE ZIBELLO	034050	75,2	0,18	0,48	0,1
<b>Reggio Emilia</b>					
ALBINEA	035001	57,5	24,78	30,28	61,6
BAGNOLO IN PIANO	035002	77,8	0,14	0,34	0,1
BAISO	035003	41,1	42,73	30,80	90,7
BIBBIANO	035004	75,8	2,34	6,11	9,9
BORETTO	035005	58,5	0,06	0,09	0,0
BRESCELLO	035006	65,8	0,27	0,60	0,3
CADELBOSCO DI SOPRA	035008	79,8	0,15	0,24	0,0
CAMPAGNOLA EMILIA	035009	81,6	0,09	0,11	0,0
CAMPEGINE	035010	76,6	0,19	0,52	0,2
CARPINETI	035011	36,7	26,94	32,26	77,0
CASALGRANDE	035012	53,3	7,68	18,22	19,7
CASINA	035013	42,7	33,47	35,20	75,0
CASTELLARANO	035014	34,2	37,18	33,13	75,8
CASTELNOVO DI SOTTO	035015	78,4	0,11	0,17	0,0
CASTELNOVO NE'MONTI	035016	44,2	23,03	32,08	71,5
CAVRIAGO	035017	60,4	3,08	8,91	10,6
CANOSSA	035018	40,5	30,51	32,46	72,1
CORREGGIO	035020	75,2	0,10	0,16	0,0
FABBRICO	035021	80,3	0,11	0,17	0,0
GATTATICO	035022	81,8	0,31	0,79	0,5
GUALTIERI	035023	71,9	0,08	0,12	0,0
GUASTALLA	035024	73,9	0,13	0,24	0,0
LUZZARA	035026	74,9	0,16	1,00	0,0



COMUNE	Codice ISTAT	area agricola %	erosione: valore medio Mg*ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	erosione: deviazione standard	area agricola con erosione > 5 t/ha*anno %
MONTECCHIO EMILIA	035027	66,2	0,90	1,34	1,3
NOVELLARA	035028	79,2	0,10	0,17	0,0
POVIGLIO	035029	83,6	0,11	0,15	0,0
QUATTRO CASTELLA	035030	59,6	23,91	33,98	55,8
REGGIOLO	035032	77,6	0,16	1,61	0,0
REGGIO NELL'EMILIA	035033	67,2	1,43	5,03	6,0
RIO SALICETO	035034	76,9	0,06	0,15	0,0
ROLO	035035	70,3	0,13	0,30	0,0
RUBIERA	035036	59,6	0,39	0,77	0,5
SAN MARTINO IN RIO	035037	76,6	0,17	0,24	0,0
SAN POLO D'ENZA	035038	45,1	30,66	42,78	48,5
SANT'ILARIO D'ENZA	035039	69,9	0,49	0,55	0,1
SCANDIANO	035040	57,5	8,28	16,36	27,9
TOANO	035041	53,7	37,27	36,39	85,6
VETTO	035042	29,5	31,24	43,98	78,4
VEZZANO SUL CROSTOLO	035043	38,3	41,20	32,66	87,3
VIANO	035044	46,6	37,91	28,35	88,5
VILLA MINOZZO	035045	17,4	24,19	35,90	74,4
VENTASSO	035046	6,2	34,06	50,18	80,5
<b>Modena</b>					
BASTIGLIA	036001	76,5	0,16	0,41	0,1
BOMPORTO	036002	78,7	0,11	0,28	0,1
CAMPOGALLIANO	036003	71,5	0,18	0,38	0,1
CAMPOSANTO	036004	81,6	0,15	0,51	0,2
CARPI	036005	73,5	0,09	0,25	0,0
CASTELFRANCO EMILIA	036006	78,5	0,21	0,26	0,0
CASTELNUOVO RANGONE	036007	63,5	1,04	1,44	1,9
CASTELVETRO DI MODENA	036008	65,2	34,09	38,56	70,3
CAVEZZO	036009	77,8	0,12	0,30	0,0
CONCORDIA SULLA SECCHIA	036010	79,3	0,13	0,53	0,0
FANANO	036011	14,6	46,51	48,28	86,8
FINALE EMILIA	036012	83,0	0,06	0,12	0,0
FIORANO MODENESE	036013	33,7	26,62	34,25	54,1
FIUMALBO	036014	10,6	69,53	89,64	96,0
FORMIGINE	036015	65,5	0,85	0,97	0,6
FRASSINORO	036016	16,8	21,46	35,69	74,2
GUIGLIA	036017	39,6	49,58	40,52	90,3
LAMA MOCOGNO	036018	33,4	26,75	37,25	70,5
MARANELLO	036019	50,8	28,44	33,26	64,2
MARANO SUL PANARO	036020	45,5	46,07	37,28	83,3
MEDOLLA	036021	79,1	0,09	0,10	0,0
MIRANDOLA	036022	78,3	0,05	0,19	0,0
MODENA	036023	57,7	0,29	0,46	0,1



COMUNE	Codice ISTAT	area agricola %	erosione: valore medio Mg*ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	erosione: deviazione standard	area agricola con erosione > 5 t/ha*anno %
MONTECRETO	036024	22,1	28,64	31,73	74,9
MONTEFIORINO	036025	30,0	35,75	40,79	80,6
MONTESE	036026	34,2	36,27	38,09	84,5
NONANTOLA	036027	80,3	0,10	0,17	0,0
NOVI DI MODENA	036028	80,7	0,12	0,47	0,0
PALAGANO	036029	30,0	37,20	39,00	82,5
PAVULLO NEL FRIGNANO	036030	44,4	40,32	33,41	88,5
PIEVEPELAGO	036031	8,2	34,05	53,60	91,1
POLINAGO	036032	42,2	34,08	31,31	83,5
PRIGNANO SULLA SECCHIA	036033	44,1	42,41	32,27	88,9
RAVARINO	036034	83,1	0,09	0,14	0,0
RIOLUNATO	036035	9,7	31,84	54,72	86,7
SAN CESARIO SUL PANARO	036036	64,7	0,49	1,16	1,1
SAN FELICE SUL PANARO	036037	81,9	0,07	0,10	0,0
SAN POSSIDONIO	036038	77,7	0,18	0,51	0,2
SAN PROSPERO	036039	82,9	0,09	0,19	0,0
SASSUOLO	036040	35,6	30,71	37,00	59,4
SAVIGNANO SUL PANARO	036041	51,9	27,38	41,08	50,2
SERRAMAZZONI	036042	44,3	35,77	31,06	84,1
SESTOLA	036043	30,4	34,77	37,52	82,2
SOLIERA	036044	79,2	0,10	0,26	0,0
SPILAMBERTO	036045	67,4	1,74	6,08	5,0
VIGNOLA	036046	55,9	13,02	28,71	31,2
ZOCCA	036047	43,2	40,58	34,87	85,0
<b>Bologna</b>					
ANZOLA DELL'EMILIA	037001	70,4	0,79	1,36	2,0
ARGELATO	037002	74,2	0,32	0,66	0,3
BARICELLA	037003	78,1	0,29	0,68	0,4
BENTIVOGLIO	037005	72,8	0,32	0,48	0,1
BOLOGNA	037006	29,7	15,22	35,76	21,9
BORGO TOSSIGNANO	037007	49,6	56,95	52,58	80,1
BUDRIO	037008	82,1	0,44	0,95	0,6
CALDERARA DI RENO	037009	72,7	0,56	1,41	1,7
CAMUGNANO	037010	24,3	55,82	41,88	96,3
CASALECCHIO DI RENO	037011	32,6	33,95	34,21	82,3
CASALFIUMANESE	037012	43,5	58,75	51,59	81,4
CASTEL D'AIANO	037013	27,8	43,62	39,00	88,8
CASTEL DEL RIO	037014	20,3	79,45	66,30	92,1
CASTEL DI CASIO	037015	21,8	66,70	42,82	98,3
CASTEL GUELFO DI BOLOGNA	037016	86,9	0,62	0,95	0,8
CASTELLO D'ARGILE	037017	79,8	0,39	0,95	0,9
CASTEL MAGGIORE	037019	65,9	0,68	1,54	2,0
CASTEL SAN PIETRO TERME	037020	62,6	18,20	30,18	40,0



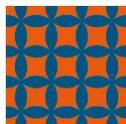
COMUNE	Codice ISTAT	area agricola %	erosione: valore medio Mg*ha <sup>-1</sup> *anno <sup>-1</sup>	erosione: deviazione standard	area agricola con erosione > 5 t/ha*anno %
CASTENASO	037021	73,2	0,82	2,30	2,8
CASTIGLIONE DEI PEPOLI	037022	21,7	54,13	43,97	94,2
CREVALCORE	037024	84,6	0,34	0,66	0,3
DOZZA	037025	74,0	18,44	29,99	46,0
FONTANELICE	037026	43,4	99,28	66,94	96,6
GAGGIO MONTANO	037027	32,3	49,32	44,56	90,7
GALLIERA	037028	79,5	0,44	1,05	0,9
GRANAROLO DELL'EMILIA	037030	76,0	0,42	0,57	0,2
GRIZZANA MORANDI	037031	19,1	50,46	38,33	92,3
IMOLA	037032	73,4	10,41	24,58	23,3
LIZZANO IN BELVEDERE	037033	12,4	48,30	58,76	88,9
LOIANO	037034	39,3	68,57	45,18	95,6
MALALBERGO	037035	75,8	0,39	0,79	0,5
MARZABOTTO	037036	19,9	52,86	49,91	78,7
MEDICINA	037037	84,9	0,46	0,90	0,7
MINERBIO	037038	78,7	0,34	0,48	0,1
MOLINELLA	037039	79,7	0,37	0,77	0,5
MONGHIDORO	037040	29,1	79,82	58,70	96,9
MONTERENZIO	037041	20,1	55,23	49,58	78,4
MONTE SAN PIETRO	037042	37,8	47,78	40,43	84,2
MONZUNO	037044	22,6	55,70	42,26	91,6
MORDANO	037045	73,4	0,33	0,77	0,4
OZZANO DELL'EMILIA	037046	58,4	14,91	27,92	33,5
PIANORO	037047	36,0	63,76	48,89	86,0
PIEVE DI CENTO	037048	70,0	0,65	1,64	2,7
SALA BOLOGNESE	037050	77,5	0,56	1,37	1,8
SAN BENEDETTO VAL DI SAMBRO	037051	22,9	47,56	47,10	87,6
SAN GIORGIO DI PIANO	037052	78,6	0,29	0,53	0,2
SAN GIOVANNI IN PERSICETO	037053	80,7	0,32	0,85	0,4
SAN LAZZARO DI SAVENA	037054	48,0	13,60	25,09	34,9
SAN PIETRO IN CASALE	037055	85,2	0,23	0,37	0,1
SANT'AGATA BOLOGNESE	037056	82,9	0,34	0,63	0,2
SASSO MARCONI	037057	28,9	45,50	40,80	82,8
VERGATO	037059	26,3	44,94	36,86	91,1
ZOLA PREDOSA	037060	54,1	13,39	25,83	33,8
VALSAMOGGIA	037061	55,7	28,07	36,14	55,0
ALTO RENO TERME	037062	9,6	36,37	45,81	82,3
Ferrara					
ARGENTA	038001	76,4	0,20	0,83	0,4
BERRA	038002	81,9	0,24	0,90	0,6
BONDENO	038003	84,5	0,07	0,21	0,0
CENTO	038004	71,7	0,17	0,55	0,3
CODIGORO	038005	85,2	0,20	0,62	0,4



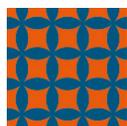
COMUNE	Codice ISTAT	area agricola %	erosione: valore medio Mg*ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	erosione: deviazione standard	area agricola con erosione > 5 t/ha*anno %
COMACCHIO	038006	48,6	0,15	0,55	0,3
COPPARO	038007	89,6	0,09	0,22	0,0
FERRARA	038008	77,6	0,12	0,31	0,1
FORMIGNANA	038009	90,1	0,13	0,23	0,0
JOLANDA DI SAVOIA	038010	92,3	0,07	0,18	0,0
LAGOSANTO	038011	84,1	0,24	0,84	0,7
MASI TORELLO	038012	87,3	0,08	0,12	0,0
MESOLA	038014	71,4	0,31	1,29	1,0
OSTELLATO	038017	85,1	0,08	0,23	0,0
POGGIO RENATICO	038018	86,3	0,16	0,61	0,3
PORTOMAGGIORE	038019	86,8	0,11	0,27	0,0
RO	038020	81,3	0,12	0,38	0,1
VIGARANO MAINARDA	038022	87,0	0,10	0,22	0,0
VOGHIERA	038023	88,1	0,09	0,15	0,0
TRESIGALLO	038024	83,1	0,18	0,51	0,2
GORO	038025	45,5	0,39	1,37	1,3
FISCAGLIA	038027	89,2	0,22	0,62	0,3
TERRE DEL RENO	038028	78,4	0,18	0,59	0,3
<b>Ravenna</b>					
ALFONSINE	039001	82,6	0,32	1,41	0,9
BAGNACAVALLO	039002	82,0	0,18	0,86	0,3
BAGNARA DI ROMAGNA	039003	78,2	0,19	0,44	0,1
BRISIGHELLA	039004	42,6	84,81	80,59	86,8
CASOLA VALSENO	039005	28,5	104,19	79,10	94,8
CASTEL BOLOGNESE	039006	78,5	12,62	31,23	22,1
CERVIA	039007	57,3	0,22	0,39	0,1
CONSELICE	039008	81,7	0,15	0,43	0,1
COTIGNOLA	039009	76,5	0,38	1,60	0,9
FAENZA	039010	78,5	9,44	29,50	16,0
FUSIGNANO	039011	77,9	0,25	1,20	0,7
LUGO	039012	79,0	0,25	1,16	0,6
MASSA LOMBARDA	039013	80,6	0,18	0,44	0,1
RAVENNA	039014	65,5	0,22	0,69	0,3
RIOLO TERME	039015	55,4	60,29	61,40	76,1
RUSSI	039016	76,2	0,23	0,50	0,2
SANT'AGATA SUL SANTERNO	039017	75,5	0,38	1,90	1,0
SOLAROLO	039018	83,9	0,21	0,41	0,1
<b>Forlì Cesena</b>					
BAGNO DI ROMAGNA	040001	16,5	59,80	64,25	91,2
BERTINORO	040003	72,9	36,20	50,56	54,8
BORGHI	040004	48,4	62,36	51,63	86,5
CASTROCARO TERME E TERRA DEL SOLE	040005	61,4	65,03	56,44	87,8



COMUNE	Codice ISTAT	area agricola %	erosione: valore medio Mg*ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	erosione: deviazione standard	area agricola con erosione > 5 t/ha*anno %
CESENA	040007	63,8	31,21	58,30	37,0
CESENATICO	040008	63,5	0,40	0,55	0,2
CIVITELLA DI ROMAGNA	040009	38,1	68,62	60,69	93,1
DOVADOLA	040011	30,6	91,17	76,25	89,1
FORLÌ	040012	70,5	7,44	22,99	16,9
FORLIMPOPOLI	040013	67,0	1,48	6,35	4,7
GALEATA	040014	19,5	75,88	68,10	93,8
GAMBETTOLA	040015	52,4	0,92	1,35	1,2
GATTEO	040016	61,7	0,68	0,88	0,7
LONGIANO	040018	70,3	46,69	52,83	66,2
MELDOLA	040019	62,0	42,39	38,68	85,1
MERCATO SARACENO	040020	39,5	62,29	54,33	88,6
MODIGLIANA	040022	33,9	104,74	90,09	85,4
MONTIANO	040028	71,5	82,24	62,99	94,9
PORTICO E SAN BENEDETTO	040031	13,1	71,53	65,90	98,0
PREDAPPIO	040032	38,0	85,20	68,70	91,7
PREMILCUORE	040033	11,5	62,50	58,59	96,8
ROCCA SAN CASCIANO	040036	37,2	71,66	60,88	87,8
RONCOFREDDO	040037	45,2	85,90	72,30	89,6
SAN MAURO PASCOLI	040041	66,2	0,61	1,55	1,9
SANTA SOFIA	040043	14,4	70,09	68,47	94,2
SARSINA	040044	24,2	84,68	73,72	91,2
SAVIGNANO SUL RUBICONE	040045	62,7	4,50	11,86	13,9
SOGLIANO AL RUBICONE	040046	37,7	56,21	47,14	84,0
TREDOZIO	040049	27,4	84,00	73,51	84,8
VERGHERETO	040050	21,7	37,93	53,22	82,4
<b>Rimini</b>					
BELLARIA-IGEA MARINA	099001	48,0	0,52	1,50	1,6
CATTOLICA	099002	11,8	4,22	11,82	14,7
CORIANO	099003	71,6	38,15	33,70	86,2
GEMMANO	099004	54,0	90,57	61,17	95,6
MISANO ADRIATICO	099005	55,0	17,44	20,99	61,1
MONDAINO	099006	52,8	92,39	62,09	97,5
MONTEFIORE CONCA	099008	57,6	88,20	73,08	91,7
MONTEGRIDOLFO	099009	73,5	51,15	48,58	95,3
MORCIANO DI ROMAGNA	099011	39,8	19,54	22,00	67,3
RICCIONE	099013	20,6	8,50	13,44	37,3
RIMINI	099014	53,5	19,00	29,35	42,9
SALUDECIO	099015	76,2	60,19	50,72	97,7
SAN CLEMENTE	099016	74,4	34,32	30,13	85,9
SAN GIOVANNI IN MARGINANO	099017	63,1	17,77	24,22	50,2
SANTARCANGELO DI ROMAGNA	099018	63,8	20,35	41,45	33,9
VERUCCHIO	099020	60,2	43,68	39,43	77,9



<b>COMUNE</b>	<b>Codice ISTAT</b>	<b>area agricola</b> %	<b>erosione: valore medio</b> <b>Mg*ha<sup>-1</sup>*anno<sup>-1</sup></b>	<b>erosione: deviazione standard</b>	<b>area agricola con erosione &gt; 5 t/ha*anno</b> %
CASTELDELICI	099021	19,1	41,97	54,54	87,3
MAIOLO	099022	43,4	58,54	43,12	92,2
NOVAFELTRIA	099023	36,8	54,07	47,10	83,4
PENNABILLI	099024	37,2	58,66	49,61	91,7
SAN LEO	099025	50,0	52,33	38,96	91,8
SANT'AGATA FELTRIA	099026	30,8	57,11	54,03	84,9
TALAMELLO	099027	29,3	66,92	52,15	84,2
POGGIO TORRIANA	099028	42,4	44,20	47,05	68,1
MONTESCUDO - MONTE COLOMBO	099029	56,9	57,49	51,72	91,4



## 6.2 Esempi di calcolo del fattore C per seminativi in ambiente di collina

Esempi tratti da C. Calzolari et al. Rapporto 8.1 2004 Applicazione della USLE/RUSLE ai suoli di collina e montagna della Regione Emilia-Romagna: definizione dei parametri R, erosività delle piogge, e C, copertura del suolo.

Data	Operazione culturale	Effetto residuo	effetto copertura suolo	effetto copertura chioma	effetto rugosità	Fattore C	EI, frazione	C*EI	C medio
3/9	Aratura superficiale	0.5	0.82	0.97	0.48	0.19	0.045	0.009	
9/9	erpicoltura	0.52	0.72	0.99	0.65	0.24	0.072	0.017	
19/9	erpicoltura	0.55	0.71	0.99	0.76	0.29	0.075	0.022	
30/9	semina, frumento	0.48	0.82	0.53	0.94	0.2	0.62	0.124	
24/6	raccolta	0.37	0.083	0.92	0.98	0.028	0.31	0.009	
19/9	aratura profonda	0.74	0.83	0.98	0.67	0.4	0.38	0.152	
28/2	erpicoltura	0.78	0.87	0.99	0.87	0.58	0.03	0.017	
19/3	semina, Mais	0.71	0.91	0.74	0.91	0.45	0.14	0.063	
19/5	sarchiatura	0.49	0.92	0.3	0.91	0.12	0.29	0.035	
27/8	raccolta	0.49	0.079	0.97	0.94	0.035	0.042	0.001	
3/9	Aratura superficiale	0.45	0.85	0.97	0.45	0.16	0.023	0.004	
6/9		0.46	0.85	0.97	0.46	0.17	0.022	0.004	
9/9	erpicoltura	0.49	0.74	0.98	0.63	0.22	0.072	0.016	
19/9	erpicoltura	0.53	0.72	0.99	0.74	0.28	0.075	0.021	
30/9	Semina, Orzo	0.53	0.84	0.58	0.93	0.24	0.57	0.137	
11/6	raccolta	0.43	0.091	0.93	0.98	0.034	0.25	0.009	

0.21

Tabella 12. Rotazione frumento, mais, orzo

Data	Operazione culturale	Effetto residuo	effetto copertura suolo	effetto copertura chioma	effetto rugosità	EI, frazione	Fattore C	C*EI	C medio
18/8	Aratura	0.51	0.84	0.98	0.69	0.57	0.290	0.165	
19/2	Erpicatura	0.6	0.84	0.99	0.87	0.011	0.434	0.005	
28/2	semina, medica	0.49	0.89	0.52	0.94	0.33	0.213	0.070	
1/7	sfalcio	0.44	0.82	0.3	0.97	0.29	0.105	0.030	
18/9	sfalcio	0.45	0.75	0.85	0.98	0.042	0.281	0.012	
24/9		0.39	0.51	0.63	0.99	0.53	0.124	0.066	
22/5	sfalcio	0.33	0.62	0.61	1	0.12	0.125	0.015	
22/6	sfalcio	0.33	0.64	0.53	1	0.088	0.112	0.010	
2/8	sfalcio	0.33	0.63	0.57	1	0.15	0.119	0.018	
7/9	sfalcio	0.32	0.63	0.72	1	0.12	0.145	0.017	
24/9		0.28	0.43	0.64	1	0.52	0.077	0.040	
22/5	sfalcio	0.25	0.57	0.62	1	0.12	0.088	0.011	
22/6	sfalcio	0.24	0.6	0.54	1	0.088	0.078	0.007	
2/8	sfalcio	0.24	0.61	0.58	1	0.15	0.085	0.013	
7/9	sfalcio	0.23	0.62	0.73	1	0.12	0.104	0.012	
24/9		0.2	0.47	0.63	1	0.52	0.059	0.031	
22/5	sfalcio	0.18	0.61	0.61	1	0.12	0.067	0.008	
22/6	sfalcio	0.17	0.64	0.5	1	0.092	0.054	0.005	
7/8	sfalcio	0.17	0.62	0.65	1	0.098	0.069	0.007	



Data	Operazione colturale	Effetto residuo	effetto copertura suolo	effetto copertura chioma	effetto rugosità	EI, frazione	Fattore C	C*EI	C medio
1/9	aratura	0.31	0.96	0.95	0.49	0.045	0.139	0.006	
7/9	ericatura	0.35	0.94	0.98	0.69	0.072	0.222	0.016	
17/9	erspicatura	0.39	0.95	0.99	0.81	0.075	0.297	0.022	
28/9	frumento	0.48	0.98	0.5	0.95	0.62	0.223	0.139	
22/6	raccolta	0.4	0.097	0.91	0.98	0.12	0.035	0.004	

0.14

Tabella 13. Rotazione frumento, quattro anni di medica

Data	Operazione colturale	Effetto residuo	effetto copertura suolo	effetto copertura chioma	effetto rugosità	Fattore C	EI, frazione	Fattore C	C*EI	C medio
3/9	Aratura superficiale	0.81	0.94	1	0.64	0.48	0.045	0.49	0.022	
9/9	ericatura	0.83	0.91	1	0.77	0.58	0.072	0.58	0.042	
19/9	ericatura	0.84	0.91	1	0.84	0.64	0.075	0.64	0.048	
30/9	semina, frumento	0.66	0.95	0.51	0.96	0.33	0.62	0.31	0.190	
24/6	raccolta	0.43	0.084	0.91	0.99	0.032	0.16	0.03	0.005	
29/8	Aratura profonda	0.76	0.84	0.98	0.68	0.43	0.5	0.43	0.213	
1/2	ericatura	0.8	0.87	0.99	0.88	0.6	0.032	0.61	0.019	
28/2	ericatura	0.81	0.88	1	0.9	0.64	0.03	0.64	0.019	
19/3	semina bietola	0.78	0.92	0.95	0.92	0.63	0.052	0.63	0.033	
14/4	ericatura	0.51	0.92	0.41	0.94	0.19	0.41	0.18	0.074	
1/9	raccolta	0.35	0.53	1	1.1	0.2	0.014	0.20	0.003	
3/9	aratura	0.5	0.93	1	0.41	0.19	0.023	0.19	0.004	
6/9		0.51	0.93	1	0.43	0.2	0.022	0.20	0.004	
9/9	ericatura	0.54	0.91	1	0.63	0.31	0.072	0.31	0.022	
19/9	ericatura	0.59	0.91	1	0.77	0.41	0.075	0.41	0.031	
30/9	semina, frumento	0.57	0.95	0.51	0.94	0.27	0.62	0.26	0.161	
24/6	raccolta	0.4	0.083	0.91	0.98	0.03	0.048	0.03	0.001	
19/7	aratura profonda	0.7	0.82	0.96	0.51	0.29	0.34	0.28	0.096	
30/9	ericatura	0.75	0.84	0.99	0.77	0.48	0.091	0.48	0.044	
19/10	ericatura	0.78	0.87	1	0.91	0.61	0.24	0.62	0.148	
14/3	semina, patata	0.77	0.8	0.58	0.97	0.36	0.38	0.35	0.132	
4/8	raccolta	0.68	0.48	1	1	0.34	0.11	0.33	0.036	

0.34

Tabella 14. Rotazione frumento, bietola, frumento, patata



### 6.3 Esempi di calcolo del fattore C in vigneti e frutteti in ambiente di collina

Tratto da A. Angelelli, G. Chisci, N. Filippi, D. Missere, D. Preti. I suoli della collina cesenate. Regione Emilia-Romagna, E.R.S.O. 1991

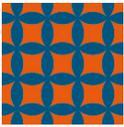
Copertura e tecniche colturali	Data	Periodo dello stadio culturale	Perdite di suolo nel periodo	Fattore residuo	EI nel periodo %	C nel periodo
1° lavorazione	20/04					
		SB	0,64	0,90	0,040	0,023
10% copertura	20/05	1	0,56	0,83	0,120	0,056
50% copertura	10/07	2	0,36	0,83	0,320	0,096
2° lavorazione	20/08					
		SB	0,64	0,85	0,234	0,127
10% copertura	30/09	1	0,56	1,00	0,231	0,129
50% copertura	10/03	2	0,36	1,00	0,055	0,020
Fattore C						0,451

Tabella 15. Vigneto (allevamento a spalliera con densità d'impianto di 2.000 piante/ha) in cui vengono effettuate due lavorazioni/anno effettuate con fresa rotativa

Copertura e tecniche colturali <sup>2</sup>	Data	Periodo dello stadio culturale	Perdite di suolo nel periodo	Fattore residuo	EI nel periodo %	C nel periodo
Lavorazione	05/04					
		SB	0,64	1,00	0,044	0,028
10% copertura	30/04	1	0,56	0,95	0,028	0,015
50% copertura	20/05	2	0,13	0,90	0,028	0,003
1° sfalcio	10/06	-	0,13	-	0,550	0,072
2° sfalcio	10/09	-	0,13	-	0,350	0,045
Lavorazione	05/04					
Fattore C						0,163

Tabella 16. Vigneto inerbito 1 (allevamento a spalliera con densità d'impianto di 2.000 piante/ha) con una lavorazione e due sfalci/anno.

Copertura e tecniche colturali	Data	Periodo dello stadio culturale	Perdite di suolo nel periodo	Fattore residuo	EI nel periodo %	C nel periodo
1° lavorazione	30/03					
		SB	0,64	0,75	0,025	0,012
10% copertura	15/04	1	0,56	0,70	0,024	0,009
50% copertura	30/04	2	0,36	0,63	0,026	0,006

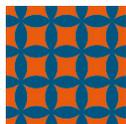


Copertura e tecniche colturali	Data	Periodo dello stadio colturale	Perdite di suolo nel periodo	Fattore residuo	EI nel periodo %	C nel periodo
2° lavorazione	20/05	SB	0,64	0,50	0,040	0,013
10% copertura	20/06	1	0,56	0,45	0,090	0,023
50% copertura	10/07	2	0,36	0,42	0,221	0,033
3° lavorazione	10/08	SB	0,64	0,48	0,340	0,104
10% copertura	10/10	1	0,56	0,80	0,179	0,080
50% copertura	10/03	2	0,36	0,80	0,055	0,016
1° lavorazione	30/03					
Fattore C						0,296

Tabella 17. Frutteto (allevamento a spalliera con densità d'impianto di 2.000 piante/ha) in cui vengono effettuate tre lavorazioni/anno effettuate con fresa rotativa.

Copertura e tecniche colturali <sup>2</sup>	Data	Periodo dello stadio colturale	Perdite di suolo nel periodo	Fattore residuo	EI nel periodo %	C nel periodo
Lavorazione	05/04	SB	0,64	0,58	0,044	0,016
10% copertura	30/04	1	0,56	0,50	0,028	0,008
50% copertura	20/05	2	0,13	0,40	0,028	0,003
1° sfalcio	10/06	-	0,11	-	0,410	0,045
2° sfalcio	20/08	-	0,11	-	0,490	0,054
Lavorazione	05/04					
Fattore C						0,126

Tabella 18. Frutteto inerbito (allevato a vaso con densità di impianto pari a 570 piante/ha) con una lavorazione e due sfalci/anno.



## 6.4 Schemi di valutazione del fattore C di Wischmeier e Smit, 1978

Tratto da A. Angelelli, G. Chisci, N. Filippi, D. Missere, D. Preti. I suoli della collina cesenate. Regione Emilia-Romagna, E.R.S.O. 1991

Valori del fattore C per i pascoli permanenti ed i terreni incolti<sup>1</sup> (Wischmeier e Smith, 1978)

Copertura Vegetale		Copertura a contatto con la superficie del suolo						
Tipo ed altezza della chioma <sup>(2)</sup>	Percentuale di copertura vegetale <sup>(3)</sup>	Tipo <sup>(4)</sup>	Percentuale di copertura erbacea					
			0	20	40	60	80	> 90
Assenza di chioma apprezzabile		G	0,45	0,20	0,10	0,042	0,013	0,003
		W	0,45	0,24	0,15	0,091	0,043	0,011
Erbe alte e piccoli cespugli (0,5 m di altezza)	25	G	0,36	0,17	0,09	0,038	0,013	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,083	0,041	0,011
	50	G	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003
		W	0,26	0,16	0,11	0,076	0,039	0,011
	75	G	0,17	0,10	0,06	0,032	0,011	0,003
		W	0,17	0,12	0,09	0,068	0,038	0,011

Tabella 19

(1) I valori del Fattore C riportati in tabella presuppongono una distribuzione aleatoria della vegetazione su tutta la superficie.

(2) L'altezza della chioma è definita come altezza media di caduta delle gocce di pioggia, dalla chioma fino al suolo.

(3) Percentuale di superficie del suolo che verrebbe nascosta, dalla copertura vegetale.

(4) G: copertura superficiale costituita da foraggere (graminacee e simili), da materiale organico in via di humificazione oppure da una lettiera di almeno 5 cm di spessore. W: copertura superficiale costituita prevalentemente da piante erbacee a stelo legnoso (con piccolo apparato radicale ramificato vicino alla superficie) o da residui vegetali in decomposizione.

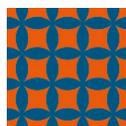
Valori del fattore C per le formazioni boschive (Wischmeier e Smith, 1978)

Percentuale di superficie copertura dalla vegetazione arborea e dal sottobosco	Percentuale di superficie copertura dalla lettiera <sup>(1)</sup>	Fattore C <sup>(2)</sup>
100 - 75	100 - 90	0,0001 - 0,001
70 - 45	85 - 75	0,002 - 0,004
40 - 20	70 - 40	0,003 - 0,009

Tabella 20

(1) Quando la copertura arborea è inferiore al 20% o la lettiera copre una superficie inferiore al 20%, si usa la tabella precedente anche se il bosco viene utilizzato per il pascolo o è soggetto a ripetuti incendi.

(2) Il valore specifico del fattore da scegliere nell'ambito del range riportato in tabella dipende dal tipo di lettiera e copertura arborea e dall'altezza effettiva delle piante.



## 6.5 Valore medio del fattore C attribuito a ciascuna classe di uso del suolo

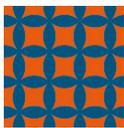
**Valore medio del fattore C** attribuito a ciascuna classe di uso del suolo presente nella Carta dell'uso del suolo 2014<sup>22</sup>, con relativa bibliografia di riferimento.

Per gli usi agricoli il valore di C deriva da calcoli basati su dati della Regione Emilia-Romagna eseguiti nell'ambito di precedenti progetti quali: convenzione "Definizione ed utilizzo di strumenti di analisi, elaborazione e previsione di fenomeni erosivi in ambienti collinari e montani e della dotazione di materia organica in ambiente di pianura dell'Emilia-Romagna" tra RER e CNR-IPRPI (Giunta Regionale n.2418 del 29.12.2000) e il Progetto SIAS-Sviluppo Indicatori Ambientali sul Suolo coordinato da ISPRA (allora APAT) e ARPA Veneto del 2007.

I valori riferiti a Wischmeier e Smith, 1978, derivano dall'applicazione delle tabelle dell'Allegato 6.4.

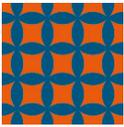
COD_TOT 2014	SIGLA 2014	DESCR_2014	Fatt. C	Bibliografia
1111	Ec	Tessuto residenziale compatto e denso	0	
1112	Er	Tessuto residenziale rado	0	
1121	Ed	Tessuto residenziale urbano	0,001	RER-CNR rap 4.1, 2003
1122	Es	Strutture residenziali isolate	0	
1211	Ia	Insedimenti produttivi	0	
1212	Iz	Insedimenti agro-zootecnici	0	
1213	Ic	Insedimenti commerciali	0	
1214	Is	Insedimenti di servizi	0	
1215	Io	Insedimenti ospedalieri	0	
1216	It	Impianti tecnologici	0	
1221	Ra	Autostrade e superstrade	0	
1222	Rs	Reti stradali	0	
1223	Rv	Aree verdi associate alla viabilità	0,001	RER-CNR rap 4.1, 2003
1224	Rf	Reti ferroviarie	0	
1225	Rm	Impianti di smistamento merci	0	
1226	Rt	Aree per impianti delle telecomunicazioni	0	
1227	Re	Reti per la distribuzione e produzione dell'energia	0	
1228	Ro	Impianti fotovoltaici	0,003	Wischmeier e Smith, 1978
1229	Ri	Reti per la distribuzione idrica	0	
1231	Nc	Aree portuali commerciali	0	
1232	Nd	Aree portuali per il diporto	0	
1233	Np	Aree portuali per la pesca	0	
1241	Fc	Aeroporti commerciali	0	
1242	Fs	Aeroporti per volo sportivo e eliporti	0	
1243	Fm	Aeroporti militari	0	
1311	Qa	Aree estrattive attive	0	
1312	Qi	Aree estrattive inattive	0,3	P.Panagos at al., 2015
1321	Qq	Discariche e depositi di cave, miniere e industrie	0	
1322	Qu	Discariche di rifiuti solidi urbani	0	
1323	Qr	Depositi di rottami	0	
1331	Qc	Cantieri e scavi	0	
1332	Qs	Suoli rimaneggiati e artefatti	0	
1411	Vp	Parchi	0,01	Wischmeier e Smith, 1978
1412	Vv	Ville	0,01	RER-SIAS, 2007
1413	Vx	Aree incolte urbane	0,01	RER-SIAS, 2007
1421	Vt	Campeggi e strutture turistico-ricettive	0,01	RER-SIAS, 2007
1422	Vs	Aree sportive	0,01	RER-SIAS, 2007
1423	Vd	Parchi di divertimento	0	
1424	Vg	Campi da golf	0,003	Wischmeier e Smith, 1978

<sup>22</sup> S. Corticelli, M.L. Garberi, M. Bocci, M.C. Mariani, S. Masi. Database uso del suolo di dettaglio 2014 ed.2018 Regione Emilia-Romagna



COD_TOT 2014	SIGLA 2014	DESCR_2014	Fatt. C	Bibliografia
1425	Vi	Ippodromi	0	
1426	Va	Autodromi	0	
1427	Vr	Aree archeologiche	0,01	Wischmeier e Smith, 1978
1428	Vb	Aree adibite alla balneazione	0	
1430	Vm	Cimiteri	0	
2110	Sn	Seminativi non irrigui	0,2	differenziato per zone RER-CNR rap 8.1, 2004
2121	Se	Seminativi semplici irrigui	0,2	differenziato per zone RER-CNR rap 8.1, 2004
2122	Sv	Vivai	0,3	Bazzoffi, 2007
2123	So	Colture orticole	0,3	Bazzoffi, 2007
2130	Sr	Risaie	0,2	RER-SIAS, 2007
2210	Cv	Vigneti	0,27	differenziato per zone RER-CNR rap 8.1, 2004 e RER-E.R.S.O, 1991
2220	Cf	Frutteti	0,28	differenziato per zone RER-CNR rap 8.1, 2004 e RER-E.R.S.O, 1991
2230	Co	Oliveti	0,35	P.Panagos at al., 2015
2241	Cp	Pioppeti colturali	0,09	RER-CNR rap 4.1, 2003
2242	Cl	Altre colture da legno	0,09	RER-CNR rap 4.1, 2003
2310	Pp	Prati stabili	0,009	differenziato per zone Wischmeier e Smith, 1978 e Bazzoffi 2007
2410	Zt	Colture temporanee associate a colture permanenti	0,17	P.Panagos at al. 2015
2420	Zo	Sistemi colturali e particellari complessi	0,17	P.Panagos at al. 2015
2430	Ze	Aree con colture agricole e spazi naturali importanti	0,17	P.Panagos at al. 2015
3111	Bf	Boschi a prevalenza di faggi	0,001	Wischmeier e Smith, 1978
3112	Bq	Boschi a prevalenza di querce, carpini e castagni	0,002	Wischmeier e Smith, 1978
3113	Bs	Boschi a prevalenza di salici e pioppi	0,002	Wischmeier e Smith, 1978
3114	Bp	Boschi planiziarzi a prevalenza di farnie e frassini	0,001	Wischmeier e Smith, 1978
3115	Bc	Castagneti da frutto	0,003	Wischmeier e Smith, 1978
3116	Br	Boscaglie ruderali	0,003	Wischmeier e Smith, 1978
3120	Ba	Boschi di conifere	0,001	Wischmeier e Smith, 1978
3130	Bm	Boschi misti di conifere e latifoglie	0,001	Wischmeier e Smith, 1978
3210	Tp	Praterie e brughiere di alta quota	0,003	Wischmeier e Smith, 1978
3220	Tc	Cespuglieti e arbusteti	0,04	RER-CNR rap 4.1, 2003
3231	Tn	Vegetazione arbustiva e arborea in evoluzione	0,003	P.Panagos at al., 2015
3232	Ta	Rimboschimenti recenti	0,01	Wischmeier e Smith, 1978
3310	Ds	Spiagge, dune e sabbie	0	
3320	Dr	Rocce nude, falesie e affioramenti	0	
3331	Dc	Aree calanchive	0,3	P.Panagos at al., 2015
3332	Dx	Aree con vegetazione rada di altro tipo	0,04	RER-CNR rap 4.1, 2003
3340	Di	Aree percorse da incendi	0,55	P.Panagos at al., 2015
4110	Ui	Zone umide interne	0	
4120	Ut	Torbiera	0,005	RER-SIAS, 2007
4211	Up	Zone umide salmastre	0	
4212	Uv	Valli salmastre	0	
4213	Ua	Acquacolture	0	
4220	Us	Saline	0	
5111	Af	Alvei di fiumi e torrenti con vegetazione scarsa	0	
5112	Av	Alvei di fiumi e torrenti con vegetazione abbondante	0	
5113	Ar	Argini	0	
5114	Ac	Canali e idrovie	0	
5121	An	Bacini naturali	0	
5122	Ap	Bacini produttivi	0	
5123	Ax	Bacini artificiali	0	
5124	Aa	Acquacolture in ambiente continentale	0	
5211	Ma	Acquacolture in ambiente marino	0	

Tabella 21. Valore medio del fattore C attribuito a ciascuna classe di uso del suolo



## 7 BIBLIOGRAFIA

AA.VV. *Valutazione del rischio d'erosione per la Regione Veneto*, s.l., 2008

Aguzzi M, Chelli A., De Nardo M.T., Francese R., Grazzini F., Nanni S., Rossi V., Segadelli S., Staffilani F. *Studi multidisciplinari al sito di Lago Moo: un archivio naturale per studiare le variazioni nel tempo delle precipitazioni estreme nell'Appennino settentrionale (Italia)*, 1° Convegno Nazionale AISAM, Bologna, 2018

Alewell C., Borrelli P., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L. *Estimating the soil erosion covermanagement factor at the European scale*, in "Land Use Policy", s.l., 2015

Alewell C., Ballabio C., Borrelli P., Meusburger K., Panagos P. *Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS* in "Science of the Total Environment", s.l., 2014

Alewell C., Ballabio C., Borrelli P., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Panagos P., Poesen J. *The new assessment of soil loss by water erosion in Europe*, in "Environmental Science & Policy", s.l., 2015 - Reply to the comment on "The new assessment of soil loss by water erosion in Europe" by Fiener & Auerwald, s.l., 2016

Alessandrini C., Praticelli W., Zinoni F., Laruccia N., Guermandi M., 2003. *Heat summation and water balance climatological map of Emilia-Romagna "Fourth seminar for homogenization and quality control in climatological databases"* Budapest.

Angelelli A., Chisci G., Filippi, N. Missere D., Preti D. *I suoli della collina cesenate*. Regione Emilia-Romagna, E.R.S.O. 1991

Antolini G., Auteri L., Pavan V., Tomei F., Tomozeiu R., Marletto V. *A daily high-resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961–2010* in "INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY", Bologna, 2015

Antolini G., Tomei F., *PRAGA - Programma di Analisi e Gestione di Dati Agrometeorologici*. Bologna, 2015

Arcidiaco M., Bianconi N., Callegari I., Gardin L., Lavorini G., Manetti F., Mari R., Nevini I., Nevini R., Ortolano F., Perna M., *Analisi morfometrica del DTM e definizione di unità di paesaggio finalizzate alla realizzazione delle tipologie di suolo e delle unità cartografiche del bacino del fiume Ombrone (Regione Toscana)*, in "Atti 15 a Conferenza Nazionale ASITA, Reggio di Colorno, 2011

Autieri L. *Analisi climatica ad alta risoluzione delle precipitazioni sul nord Italia (1961-2005)*. Dottorato di ricerca in modellistica fisica per la protezione dell'ambiente, Bologna, 2013

Barka I., Mališ F., Vladovič J. *Landform classification and its application in predictive mapping of soil and forest units*, In "Gis Ostrava 2011", S.L., 2011

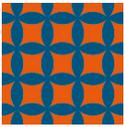
Bartolini D., Borselli L., Calzolari M.C., Salvador Sanchiz P., Torri D.B., Ungaro F., Zandomenighi M. *Applicazione della USLE/RUSLE ai suoli di collina e montagna della Regione Emilia-Romagna: Definizione dei parametri R, erosività delle piogge, e C, copertura del suolo*, CNR- IRPI, Rapporto 8.1, Firenze, 2004

Bazzoffi Paolo. *Erosione del suolo e sviluppo rurale. Fondamenti e manualistica per la valutazione agroambientale*. 2007 Edagricole

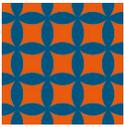
Benavidez R., Jackson B., Maxwell D., Norton K. *A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation (R/USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates* in "Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.", s.l., 2018

Blaschke T., Drăguț L. *Automated classification of landform elements using object-based image analysis*, in "Geomorphology 81 (2006) 330–344", s.l., 2006

Borin M., Bonamano A. *Caratterizzazione dell'indice di erosività della pioggia in alcune località collinari del Veneto*. Padova, 2004



- Borrelli P., Diodato N., Panagos P. *Rainfall erosivity in Italy: a national scale spatio-temporal assessment*, in "INTERNATIONAL JOURNAL OF DIGITAL EARTH, 2016 VOL. 9, NO. 9, 835–850", s.l., 2016
- Borrelli P., Meusburger K., Panagos P. *A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water*, in "Geosciences 2015, 5, 117-126;", s.l., 2015
- Braun A., Kropaček J., Schillaci C. *Terrain analysis and landform recognition*, in "Geomorphological Techniques, Chap. 2, 4. 2 (2015)", s.l., 2015
- Brown L.C., Foster, G.R., 1987. *Storm erosivity using idealised intensity distribution*. Trans. ASAE 30, 379-386.
- Brown B., Libohova Z., Owens P., Jasiewicz J., Stepinski T. F. *Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms*, in "Geomorphology", s.l., 2012 1.4
- Corticelli S., Garberi M.L., Bocci M., Mariani M.C., Masi S. *Database uso del suolo di dettaglio 2014 ed.2018 Regione Emilia-Romagna*, 2018
- Curdt C., Hoffmeister D., Kehl M., Khormali F., Kramm T., Maleki S. *Accuracy assessment of landform classification approaches on different spatial scales for the Iranian loess plateau*, in "ISPRS International Journal of Geo-Information", s.l., 2017
- Evans D., Williard K., Schoonover J. *Comparison of Terrain Indices and Landform Classification Procedures in Low-Relief Agricultural Fields*, in "Journal of Geospatial Applications in Natural Resources Vol. 1, No. 1; 2016", s.l., 2016
- FAO, ITPS, Global Soil Partnership. *Status of the World's Soil Resources*. Roma, 2015
- FAO. *Soil Erosion: the greatest challenge to sustainable soil management*. Roma, 2019.
- Karaburun A. *Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed*, in "Ozean Journal of Applied Sciences", Istanbul, 2010
- ISPRA, SNPA. *Annuario dei dati ambientali*. Roma, 2017
- Jones R., Montanarella L., Van Der Knijff J.M. *Soil Erosion Risk Assessment Italy*, s.l., 2000
- Miller B., Schaetzl R. *Digital Classification of Hillslope Position*, in "Soil Science Society of America Journal", s.l., 2015
- Mitasova, H., J. Hofierka, M. Zlocha, and R. L. Iverson, 1996. *Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS*, Int. Journal of Geographical Information Science, 10(5), 629-641. (reply to a comment to this paper appears in 1997 in Int. Journal of Geographical Information Science, Vol. 11, No. 6).
- NICULIȚĂ I. C., NICULIȚĂ M. *METHODS FOR NATURAL LAND MAPPING UNITS DELINEATION FOR AGRICULTURAL LAND EVALUATION*, in "Lucrări științifice - vol. 54, Nr. 1/2011, seria Agronomie", s.l., 2011
- Panagos P., Ballabio C., Borrelli P., Meusburger K., Klik A., Rousseva S., Perčec Tadić M., Michaelides S., Hrabalíkova M., Olsen P., Aalto J., Lakatos M., Rymaszewicz A., Dumitrescu A., Begueria S., Alewell C. *Rainfall erosivity in Europe*, in "Science of the Total Environment 511 (2015) 801–814", s.l., 2015
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. 2015. *The new assessment of soil loss by water erosion in Europe*. *Environmental Science & Policy*. **54**: 438-447. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.08.012
- Piloyan A., Konečný M. *Semi-automated classification of landform elements in Armenia based on SRTM DEM using k-means unsupervised classification*, in "QUAESTIONES GEOGRAPHICAE 36(1), 2017", s.l., 2017



OECD. Environmental Indicators for Agriculture. Methods and Results Volume 3. 2001

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. McCool, D.K. and Yoder, D.C. (Coordinators), 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. United States Department of Agriculture, Agriculture Research Service, Agriculture Handbook No 703, 384 pp.

Regione Emilia-Romagna. *Carta dei suoli della pianura, del basso e del Medio Appennino emiliano-romagnolo in scala 1: 50.000. Edizione 2018.*

[http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati\\_pedol/carta\\_suoli\\_50k.pdf](http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/carta_suoli_50k.pdf)

Regione Emilia - Romagna – *Guida alla descrizione delle unità tipologiche di suolo*. Bologna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. 2002

Richardson, C. W., Foster, G.W. and Wright, D.A., 1983. Estimation of rainfall index from daily rainfall amount. Transactions of the ASAE, 153-160.

Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna. *Carta dei suoli dell'Emilia-Romagna in scala 1: 250.000*. Versione digitale inedita 2019

Staffilani F. *Seconda approssimazione della Carta del rischio di erosione idrica attuale della Regione Emilia-Romagna in scala 1:250.000. Relazione metodologica*, Bologna, 2006

Torri, D. Pousen, J. and Borselli, L., 1997. *Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global data set*. Catena, 31, 1-22.

Williams, R.G. and Sheridan, J.M., 1991. *Effect of rainfall measurement time and depth resolution on  $E_i$  calculation*. Transactions of the ASAE, 34(2), 403-406.

Zhang H., Wei J., Yang Q., Baartman J., Gai L., Yang X., Yu S., Ritsema C., Geissen V. *An improved method for calculating slope length ( $\lambda$ ) and the LS parameters of the Revised Universal Soil Loss Equation for) and the LS parameters of the Revised Universal Soil Loss Equation for large watersheds*, in "Geoderma", s.l., 2017