



Autorità di Bacino del Fiume Arno



**Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica
(CNR-IRPI) – Unità Staccata di Firenze**

**Studio della dinamica delle aree sorgenti primarie di sedimento nell'area
pilota del Bacino di Bilancino: PROGETTO (BABI)**

RELAZIONE ATTIVITÀ DI PROGETTO



CNR-IRPI

Dr. Geol. Lorenzo Borselli
Dr. For. Paola Cassi
Dr. Pilar Salvador Sanchis
Dr. Fabrizio Ungaro

Autorità di Bacino del Fiume Arno

Prof. Giovanni Menduni
Dott. Geol. Marcello Brugioni
Dott. Geol. Lorenzo Sulli
Dott. Geol. Giovanni Montini

Firenze, 18 luglio 2007

CNR – IRPI, Consiglio Nazionale delle Ricerche, *Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica*, - Via Madonna Alta n. 126 06128 Perugia – <http://www.irpi.cnr.it>. Unità staccata di Firenze : Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI) <http://www.fi.cnr.it/irpi>.

Autorità di Bacino del Fiume Arno. Via dei Servi 15, 50122 Firenze. <http://www.adbarno.it>

Download copia digitale - http://www.adbarno.it/rep/babi/Relazione_Progetto_BABI.zip
Indirizzo web progetto BABI - <http://www.adbarno.it/cont/testo.php?id=53>

Indice

1. PREMESSA	4
1.1. MOTIVAZIONI	4
1.2. OBIETTIVI DELLO STUDIO	4
2. DATA BASE BIBLIOGRAFICO.....	6
3. RILEVAMENTO PEDOLOGICO	7
3.1. ACQUISIZIONE MATERIALE ESISTENTE.....	7
3.2. FOTINTERPRETAZIONE E REALIZZAZIONE DELLA CARTA DELLE UNITÀ DI TERRE.....	9
3.3. RISULTATI DEL RILEVAMENTO.....	14
3.4. ANALISI DI LABORATORIO.....	14
4. RILEVAMENTO DI CAMPAGNA DELLE AREE DI COLLEGAMENTO TRA AREE SORGENTI DI SEDIMENTI E IL RETICOLO DI DRENAGGIO PERMANENTE	17
4.1. SCHEDE DI RILEVAMENTO	17
4.2. AREE CRITICHE STUDIATE.....	26
4.3. SINTESI COMPLESSIVA DEI RISULTATI DEL RILEVAMENTO	27
4.3.1 Usi del suolo e metodi di gestione critici come sorgenti primarie di sedimento	27
4.3.2 Forme di erosione	29
4.3.3 Connettività con il reticolo di drenaggio permanente.....	30
4.3.4 utilizzo delle osservazioni di campagna	31
5. PRODUZIONE DEGLI STRATI INFORMATIVI SU BASE GIS	33
5.1. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO (DEM)	33
5.2. CARTA DELLA ERODIBILITÀ DEI SUOLI - FATTORE K	36
5.3. CALCOLO DEL FATTORE R (EROSIVITÀ DELLE PIOGGE)	41
5.3.1 Il fattore R	41
5.3.2 Dati disponibili.....	42
5.3.3 Calcolo del Fattore R.....	42
5.3.4 Software per il calcolo automatico dell'EI30.....	43
5.3.5 Valori di R ottenuti per le varie stazioni automatiche.....	44
5.3.6 Relazioni statistiche per la Stima di EI30	45
5.3.7 Analisi statistica degli estremi di erosività	49
5.3.8 Distribuzione areale dei valori di R e R30 all'interno del bacino di Bilancino.....	52
5.4. CARTA DEL FATTORE TOPOGRAFICO - FATTORE LS.....	59
5.5. CARTA DEL FATTORE DI COPERTURA VEGETALE FATTORE C.....	61
5.6. TECNICHE CONSERVATIVE— FATTORE P.....	65
5.7. CARTA COMPLESSIVA DELLE AREE DI NON APPLICABILITÀ DEL MODELLO	66
5.8. CARTA DEL FATTORE SEDIMENT DELIVERY RATIO (SDR).....	66
6. VALUTAZIONE DEL TASSO DI EROSIONE MEDIO ANNUO E CON TEMPO DI RITORNO T = 30 ANNI	74
6.1. TASSO DI EROSIONE MEDIO ANNUO.....	74
6.2. TASSO DI EROSIONE ANNUALE CON TEMPO DI RITORNO T = 30 ANNI	75
6.3. PRODUZIONE DEI SEDIMENTI ALL'INTERNO DEL BACINO DI BILANCINO ALLA LUCE DEL CAMBIAMENTI AVVENUTI IN SEGUITO ALLA COSTRUZIONE DELLA VARIANTE DI VALICO.....	78
6.3.1 Elaborazione dai dati di progetto	78
6.3.2 Elaborazione delle carte aggiornate.....	79
6.3.3 Analisi dati e confronto	80
6.3.4 Analisi di dettaglio dei sottobacini dello Stura e del Ritortolo.....	84
6.3.5 Tasso di erosione netta da versanti e interrimento dell'invaso di bilancino.....	88
6.4. ANALISI CARTOGRAFICA E INDIVIDUAZIONE DI CLASSI DI SUSCETTIBILITÀ.....	90
7. RIFERIMENTI CITATI NEL TESTO	93
8. APPENDICE: RACCOLTA BIBLIOGRAFICA SU BACINO DEL BILANCINO (MUGELLO) E MODELLISTICA EROSIONE	95
8.1. MODELLI STIMA EROSIONE.....	95
8.2. EROSIONE.....	98

Progetto BABI – Relazione Attività di Progetto

8.3. ERODIBILITÀ.....	98
8.4. MORFOLOGIA VERSANTE.....	99
8.5. USO DEL SUOLO.....	99
8.6. SDR.....	100
8.7. APPLICAZIONI GIS.....	101
8.8. VARIE.....	102
8.9. MUGELLO.....	102
9. LEGENDA CARTA DEI SUOLI DEL BACINO DI BILANCINO (1:50.000).....	104

**"Bacino del Bilancino: dinamica delle aree sorgenti primarie di sedimento"-
Progetto BABI**

RELAZIONE ATTIVITÀ DI PROGETTO

1. PREMESSA

1.1. MOTIVAZIONI

Nell'ambito della costruzione e dell'aggiornamento del quadro conoscitivo a supporto della redazione del Piano di Bacino – stralcio "morfodinamica sedimentaria", l'Autorità di Bacino Del Fiume Arno (ADB) è interessata a ottenere una definizione scientificamente corretta dei fenomeni di erosione esistenti nel bacino dell'Arno in accordo con i dettami degli atti d'indirizzo e coordinamento emanati in base alla legge 183\89. Data la complessità e l'estensione dei fenomeni legati all'erosione e al trasporto solido che concorrono a costruire il quadro conoscitivo del piano stralcio citato, l'ADB ha individuato, come primario interesse, la definizione della dinamica erosiva delle aree di versante sino al punto d'immissione nel reticolo idrografico permanente.

È stata scelta come area pilota significativa per condizioni naturali e antropiche, il bacino sotteso alla diga del Bilancino, rilevando in questa area due fondamentali elementi d'interazione tra l'attività umana e i processi al cui studio si è interessati: la presenza dell'invaso artificiale del Bilancino e la progettata variante di valico dell'Autostrada del Sole con le opere di cantierizzazione ad essa connesse.

La conoscenza della dinamica erosiva attuale è strumento di base per l'individuazione dei processi individuati come squilibri (ad es. eccessiva o anomala produzione di sedimento a monte dell'invaso del Bilancino) sia per definire azioni propositive per risolvere gli squilibri individuati.

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI), attraverso il suo gruppo di ricerca fiorentino, che da due decenni lavora sui vari aspetti sperimentali, applicativi e modellistici dei fenomeni erosivi su versante, è parimenti interessato allo studio dei fenomeni erosivi nell'ambiente appenninico e preappenninico e alle sue implicazioni con l'attività umana. Il CNR-IRPI ha lavorato ad una ricerca analoga nel territorio dell'Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Reno (e.g. bacini Samoggia e Lavino), finanziata dalla regione Emilia Romagna. Il CNR-IRPI è interessato nell'applicazione delle proprie conoscenze, acquisite durante le precedenti fasi di ricerca in ambienti simili, alle peculiari caratteristiche del bacino del Bilancino.

Gli interessi sia applicativi che scientifici di entrambi gli enti in relazione ai vari aspetti di processi erosivi su versante coincidono nello sviluppo di un comune programma di ricerca, da avviare in forma pilota, nel bacino del Bilancino. I risultati e l'esperienza del presente programma comune sono propedeutici alla successiva estensione dello studio al resto del bacino del fiume Arno.

1.2. OBIETTIVI DELLO STUDIO

L'obiettivo primario dello studio oggetto del presente programma comune era di definire la dinamica delle aree sorgenti di sedimento nel bacino del Bilancino; ovvero la modalità di produzione del sedimento per erosione idrica superficiale e la stima della produzione media annua di sedimento che viene immesso nel reticolo idrografico permanente. Sono state prese in considerazione anche possibili scenari climatici e ambientali. Per realizzare questo obiettivo come richiesto espressamente dalla ADB, sono stati utilizzati modelli facilmente applicabili e ripetibili, implementati in ambienti GIS di uso comune.

In particolare sono stati obbiettivo dello studio la realizzazione di:

- Rilevamento pedologico finalizzato alla costruzione di una banca dati geografica delle unità delle terre e dei suoli del bacino del Bilancino con una densità di osservazioni secondo standard internazionali riferibile alla scala 1:50.000 e una restituzione cartografica coerente con la base cartografica regionale (CTR 1:10.000).
- banca dati geografica della distribuzione attuale del tasso erosione potenziale annuale del bacino del bilancino valutata con modelli raster USLE-TYPE;
- analisi della distribuzione ed interazione delle aree sorgenti primarie di sedimento dallo spartiacque sino al reticolo idrografico permanente;
- simulazioni di scenario per la valutazione degli effetti in caso di annualità estrema in termini di aggressività climatica. di varie tecniche di gestione del territorio nell'ambito agricolo e forestale;
- simulazioni di scenario per la verifica degli effetti della cantierizzazione e della costruzione della variante di valico e della terza corsia dell'autostrada A1 in termini di distribuzione areale dei tassi di erosione superficiale.

2. DATA BASE BIBLIOGRAFICO

Il data base bibliografico raccoglie articoli utili alla elaborazione del progetto e fondamentali per l'inquadramento delle problematiche relative all'utilizzo della modellistica distribuita applicata all'erosione del suolo.

La bibliografia raccolta nel progetto di tirocinio svolto presso l'Autorità di Bacino nazionale del Fiume Arno "Ricerca bibliografica e verifica metodologica applicata dell'equazione U.S.L.E. nel sottobacino del Bilancino" (Cassi P., 2002) è stata arricchita ed integrata con manuali ed articoli pubblicati nelle più importanti riviste scientifiche di settore.

Nella ricerca bibliografica si è cercato di integrare le conoscenze già acquisite sia con articoli di recente pubblicazione sia con articoli di riferimento per l'area oggetto di studio e la modellistica utilizzata.

I temi principalmente trattati sono:

- Modelli di stima dell'erosione del suolo: USLE e successive modifiche (RUSLE), USPED e altri modelli che permettono di calcolare non solo l'erosione potenziale del bacino, ma l'effettiva quantità di sedimenti che arrivano ai corsi d'acqua.
- Sediment delivery ratio e valutazione dei fattori che influiscono sulla capacità di asportazione dei sedimenti dall'area di produzione al reticolo di drenaggio permanente.
- Studi sulle problematiche riguardanti l'applicazione in ambiente GIS dei modelli di stima dell'erosione, soprattutto per il calcolo dei fattori morfologici.
- Modelli per calcolare l'influenza della morfologia del versante attraverso equazioni che tengono conto della pendenza, la lunghezza del versante o l'area contribuyente.
- Studi sui parametri fisici che maggiormente influenzano l'erodibilità del terreno.
- Studi sulla correlazione della erosività della pioggia con la piovosità per ambienti simili a quello oggetto di studio.
- Trasformazione di dati puntuali di pioggia in dati areali.
- Effetto dei diversi tipi di uso del suolo e pratiche conservative sui processi erosivi e di sedimentazione.
- Caratterizzazione dell'area del Mugello e in particolar modo del bacino di Bilancino, con lavori inerenti alla stima dell'erosione e dell'erosività, la classificazione dei suoli, la morfologia e la geologia.

La bibliografia, riportata in Appendice, è stata organizzata in base agli argomenti principalmente trattati per permettere una consultazione più facile. Quindi è stata suddivisa in 8 sezioni:

- Modelli di stima dell'erosione;
- Erosività;
- Erodibilità;
- Morfologia del versante;
- Uso del suolo;
- Applicazioni GIS;
- Mugello;
- Varie (in cui sono presenti articoli non strettamente inerenti con i precedenti argomenti ma utili ai fini dell'elaborazione del progetto).

Tale raccolta bibliografica è stata propedeutica all'inizio dell'attività scientifica e di rilevamento della fase iniziale del progetto. Una versione definitiva del database viene fornito contestualmente al rapporto finale del Progetto BABI

3. RILEVAMENTO PEDOLOGICO

Questa fase del progetto è divenuta operativa nel mese di Ottobre 2003, con l'acquisizione del materiale esistente relativo alle informazioni pedologiche e del materiale fotocartografico necessario alle prime operazioni di fotointerpretazione. Il lavoro di rilevamento si è concluso nella primavera del 2004 con un ritardo di tre mesi rispetto a quanto previsto. Il ritardo è stato dovuto alle sfavorevoli condizioni climatiche nell'autunno-inverno 2003-2004, che hanno ridotto le giornate utili per la esecuzione dei profili, la loro descrizione, e il relativo campionamento degli orizzonti per le analisi di laboratorio.

Il WP2 si è concluso nel luglio 2004 con la produzione di una cartografia pedologica definitiva alla scala 1:25.000 corredata di dettagliate note illustrative, descrizione dei profili con riportate le analisi fisiche e chimiche quantitative degli orizzonti.

Il rapporto completo sulla carta pedologica viene riportato in un documento allegato, redatto dal dr. Pier Franco Magazzini. Incaricato con contratto d'opera dal CNR-IRPI nel Settembre 2003 di eseguire il rilevamento pedologico.

Le analisi fisiche e chimiche dei campioni di suolo sono state effettuate presso i laboratori del CNR-IRPI di Firenze. Le analisi chimiche, mediante spettrofotometro ad assorbimento atomico, necessarie per la determinazione delle capacità di scambio cationico degli orizzonti, sono state eseguite presso il dipartimento di Chimica Analitica della Università degli studi di Firenze, in seguito ad accordo tra CNR-IRPI e detto dipartimento. In una sezione apposita vengono riportate le descrizioni delle metodologie impiegate nelle analisi di laboratorio.

La carta dei suoli del bacino di Bilancino, alla scala 1:25.000 è stato uno degli strumenti fondamentali per derivare la carta dell'erodibilità del suolo (fattore K). Il dettaglio della carta dei suoli e la descrizione dei profili tipo, comprensiva delle analisi quantitative ha permesso di derivare la distribuzione del fattore K utilizzando una nuova metodologia di stima messa a punto dal CNR-IRPI di Firenze e qui impiegata per la prima volta.

La carta pedologica prodotta, con il corredo di una dettagliata documentazione, costituisce un importante documento, che sarà possibile in futuro utilizzare anche per applicazioni modellistiche idrologiche a carattere distribuito, e quindi avere ampio utilizzo in molti progetti della Autorità di Bacino del Fiume Arno

Per la realizzazione della cartografia pedologica sono state seguite le indicazioni contenute nelle "Norme tecniche per il rilevamento e la descrizione dei suoli" redatta dal settore SIRCA della Regione Campania (versione 1.98 e successive modificazioni) e la "Guida alla descrizione dei suoli in campagna e alla definizione delle loro qualità" redatta dalla regione Toscana (ed. Maggio 2002). Tali norme prevedono la suddivisione del rilevamento e delle sue successive elaborazioni in quattro fasi principali:

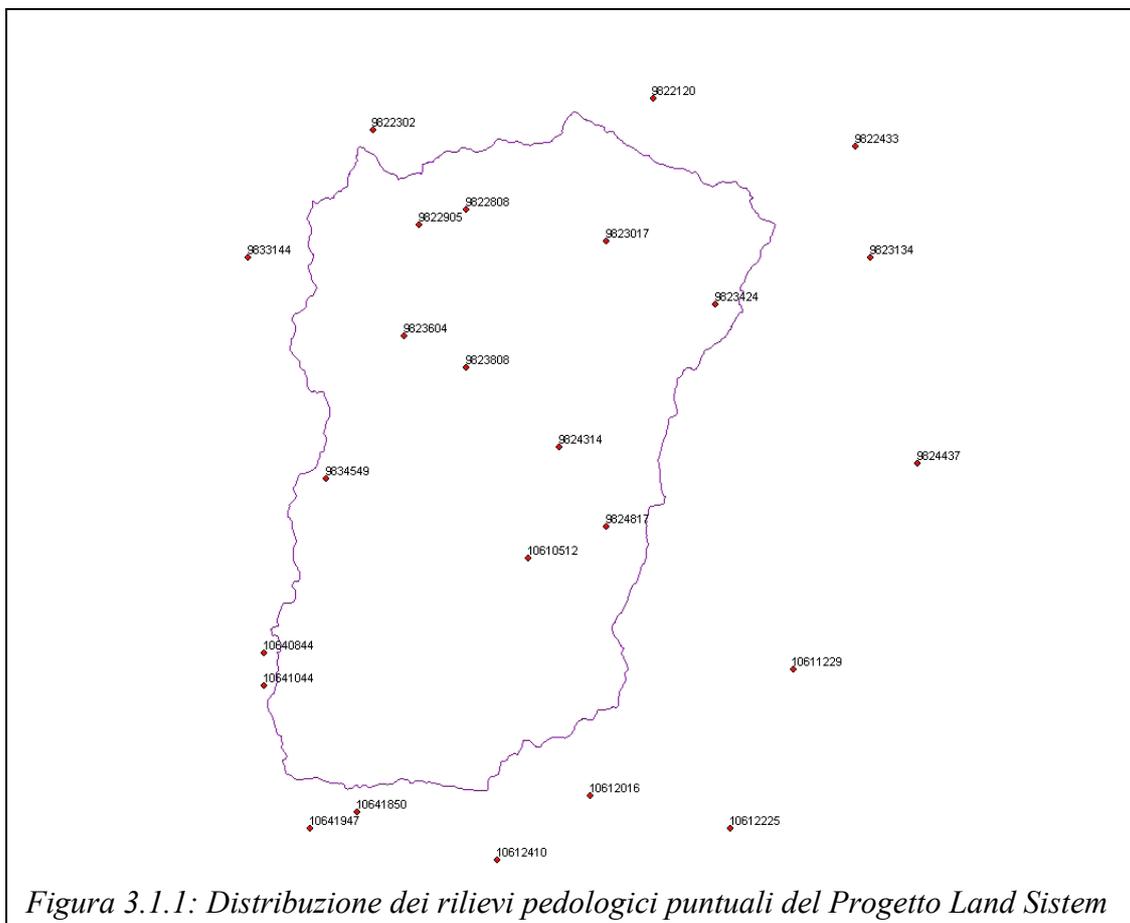
- Il lavoro di ufficio preliminare: la preparazione del rilevamento.
- Il lavoro di campagna: esecuzione dei rilievi sul terreno.
- Il lavoro di ufficio di sintesi: elaborazione ed interpretazione dei dati.
- Il lavoro di ufficio finale: realizzazione delle legende e delle carte.

3.1. ACQUISIZIONE MATERIALE ESISTENTE

Sono state reperite le informazioni pedologiche relative al "Progetto Land System" della Regione Toscana, consistenti in rilevamenti su celle di forma quadrata della superficie di 16 ha all'interno delle quali sono state eseguite 8 trivellate e 1 profilo campionato ed analizzato.

All'interno del bacino idrografico di Bilancino sono state individuate 10 celle rilevate, le cui informazioni pedologiche (dati stazionali, tipo di suolo, dati analitici ecc.) sono già state inserite in un apposito database.

Sono state considerate anche alcune celle che seppure ricadenti al di fuori dell'area rilevata, potevano comunque rivestire un certo interesse per i dati stazionali e pedologici contenuti. La distribuzione delle celle Land System è riportata nella Figura 3.1.1



Oltre ai dati del progetto Land System, sono stati considerati anche rilevamenti di dettaglio eseguiti negli anni passati dall' Università e dal CNR. In particolare sono stati considerati i lavori di Baldaccini (1962) che riporta 13 profili di suolo eseguiti all'interno del bacino, Sanesi (1977) con 45 profili di suolo e Busoni et Al. (1983) con 21 profili all'interno del bacino.

Di questi, sono risultati utilizzabili solo parte di quelli eseguiti nel 1983 nella zona di Galliano, nelle aree non interessate da movimenti di terra per la sistemazione dell'invaso e parte di quelli eseguiti da Baldaccini quando univocamente localizzati e con descrizione e dati analitici completi. I profili eseguiti da Sanesi nel 1977 non sono risultati utilizzabili poiché con localizzazione geografica incerta.

Sono stati inoltre acquisiti i seguenti materiali fotocartografici:

- Ortofoto del volo Italia 2000, con scala media 1:25.000.
- Dem con passo medio di 10 m fornito da Autorità di Bacino
- Carta geologica del Comune di Barberino di Mugello in scala 1:25.000.
- Originali di rilevamento del CARG in scala 1:25.000.
- Foto aeree in scala 1:33.000 volo 1987 Regione Toscana.

3.2. FOTOINTERPRETAZIONE E REALIZZAZIONE DELLA CARTA DELLE UNITÀ DI TERRE

Per l'esecuzione della fotointerpretazione si è fatto ricorso sia a metodologie tradizionali, mediante l'utilizzo sia della foto aerea e dello stereoscopio per l'individuazione di "unità di paesaggio", sia le ortofoto a colori del volo Italia 2000 e elaborazioni del DEM con passo medio 10 m (hill shade, curvature ecc.).

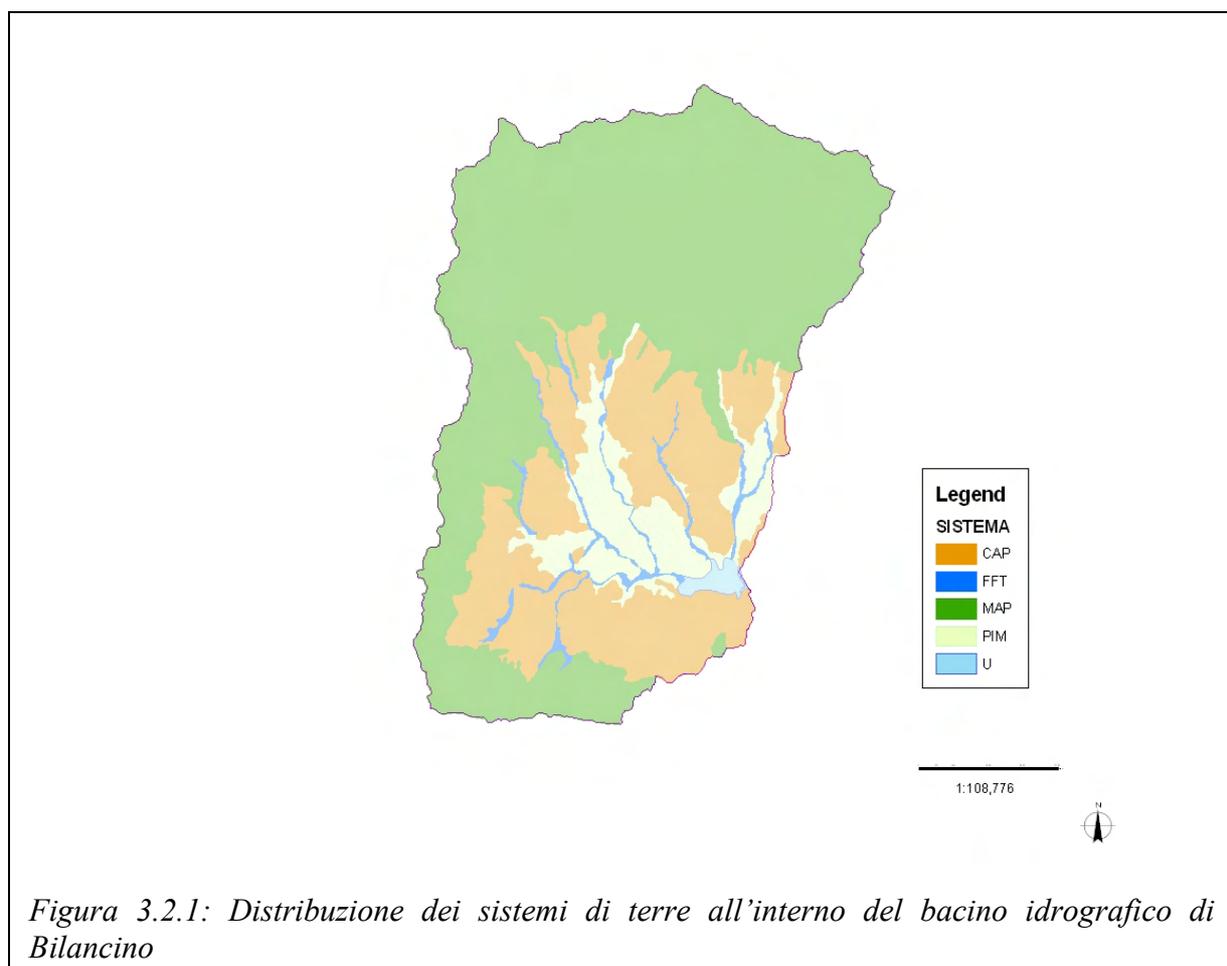
Grazie all'utilizzo di tali elaborazioni è stato possibile riconoscere gli elementi morfologici fondamentali del paesaggio (versanti, crinali, superfici convesse o concave, terrazzi, fondovalle ecc.) che, unitamente alle informazioni sul substrato litologico (anche se solo a livello formazionale) ha permesso di elaborare una carta delle "unità di terre" suddivisa gerarchicamente in sistemi, sottosistemi e unità fisiografiche.

Per l'individuazione degli elementi morfologici si è fatto ricorso alla legenda del "Metodo di costruzione dei Sottosistemi di Terre" già utilizzata per la Regione Campania nel progetto "Carta dei Suoli d'Italia 1:250.000" e riportata nel rapporto sul rilevamento pedologico allegato.

Alla fine della fase di fotointerpretazione è stato possibile realizzare una prima cartografia delle "unità di terre", cioè ancora priva o quasi delle informazioni pedologiche, ma con indicazioni relative al substrato e alle forme morfologiche, ipotizzando che substrati omogenei con morfologie simili dovrebbero contenere la stessa tipologia di suolo.

La legenda relativa alla carta delle "Unità di terre" è stata organizzata secondo tre livelli gerarchici, il Sistema, il Sottosistema e l'Unità di terre.

Il Sistema fornisce indicazioni a scala regionale di caratteri generale dell'ambiente (montagna, pianura ecc.). Nell'area del bacino idrografico di Bilancino sono stati individuati quattro sistemi: Montagna appenninica, Collina pre-appenninica, Pianura intermontana e Fondovalle fluviali. La distribuzione dei sistemi di terre è riportata nella Figura 3.2.1



La seconda fase dell'interpretazione ha permesso di definire i Sottosistemi di terre, cioè una ulteriore definizione dei sistemi sulla base di elementi prevalentemente morfologici quali la potenza del rilievo, la pendenza ed il drenaggio superficiale. Nella fase finale la legenda litologica è stata integrata nella descrizione del sottosistema.

All'interno dell'area rilevata sono stati al momento individuati 12 sottosistemi, la cui descrizione è riportata nella legenda allegata.

La distribuzione dei sottosistemi individuati è riportata nella seguente Figura 3.2.2

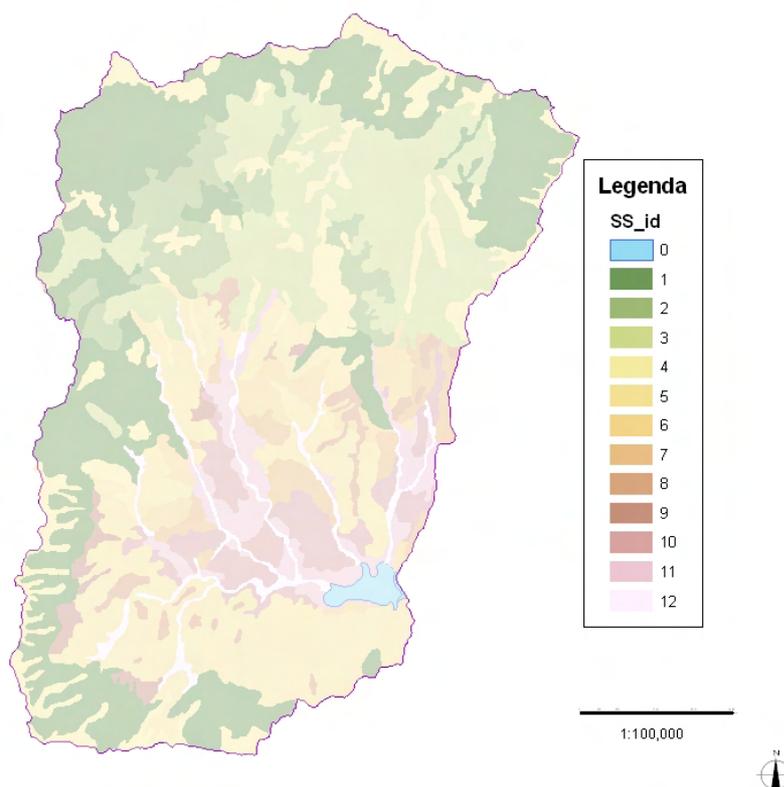


Figura 3.2.2: Distribuzione dei 12 sottosistemi di terre individuati all'interno del bacino idrografico di Bilancino

La fase finale dell'interpretazione ha riguardato la definizione delle “unità di terre” all'interno di ognuno dei 12 sottosistemi individuati in precedenza. Le unità di terre al momento sono state definite sulla base di elementi morfologici quali la forma e la posizione (versante, pianura, terrazzo alluvionale, convessità) dal drenaggio superficiale a scala locale, dalla presenza di fenomeni degradativi e dall'utilizzazione del suolo. Questa unità di terre sono state oggetto di controlli a terra per verificarne la corretta interpretazione.

A titolo di esempio si riporta la distribuzione delle 21 unità di terre individuate

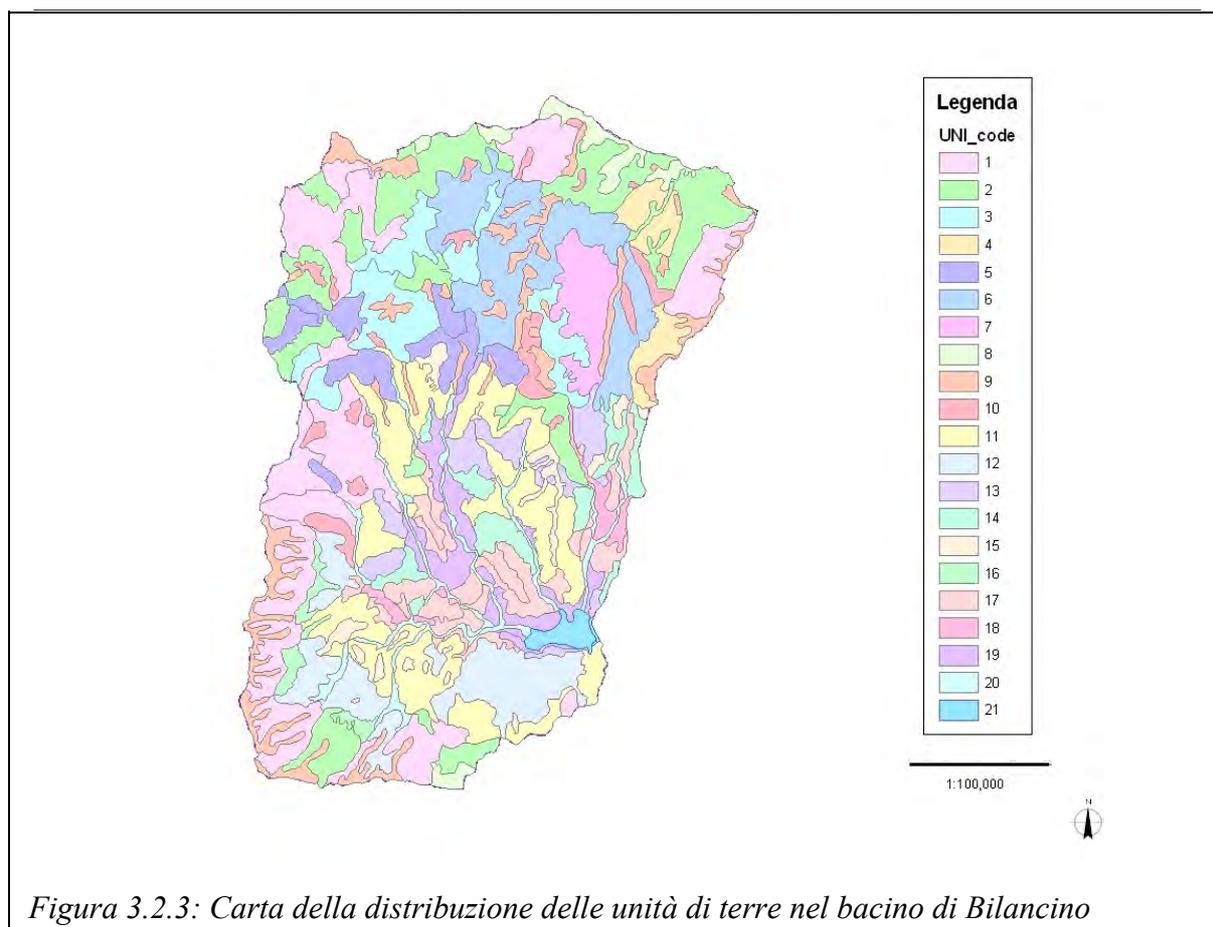


Figura 3.2.3: Carta della distribuzione delle unità di terre nel bacino di Bilancino

Una prima fase di osservazioni speditive in campo (trivellate e alcuni profili), oltre alla fotointerpretazione, ha permesso la realizzazione della “*Carta dei sottosistemi pedologici*” che ha consentito la suddivisione del territorio in aree omogenee secondo la suddivisione in Sistemi e Sottosistemi. Tale suddivisione, basata su caratteri fisiografici, morfologici, di uso del suolo e di litologia superficiale, ha individuato una serie di superfici delimitate dove presumibilmente è possibile ritrovare le stesse tipologie di suolo.

Sulla base del lavoro sopra esposto, si è proceduto a formulare delle ipotesi sulla distribuzione dei suoli nell’area da rilevare, e di conseguenza ad impostare la fase di rilevamento in campagna per verificare la coerenza delle ipotesi con la reale distribuzione dei suoli.

Il lavoro in campagna, realizzato durante l’inverno 2003-2004, ha previsto una serie di indagini, realizzate mediante l’esecuzione di trivellate, volte a verificare la corrispondenza tra paesaggi fisici individuati mediante fotointerpretazione e distribuzione dei suoli e l’apertura di sezioni (profili) per individuare i pedon rappresentativi delle unità di paesaggio e per avere una distribuzione omogenea sul territorio delle osservazioni.

Sono state realizzate un numero totale di 190 osservazioni di cui 150 trivellate e 40 profili interamente campionati con una densità di oltre una osservazione ogni 75 ettari di superficie agricola totale.

I profili, tutti di nuova realizzazione, sono stati scavati e descritti fino alla profondità del substrato inalterato o della falda, o comunque fino alla profondità massima di 1,70 m dal piano di campagna e hanno coperto tutte le unità di terre individuate.

Le osservazioni speditive sono state eseguite con trivella manuale di tipo “Edelman” fino alla profondità di 100-120 cm dove il suolo presentava un contenuto in scheletro inferiore al 35% (limite di utilizzo della trivella).

Per ogni profilo sono state eseguite due fotografie (in formato diapositiva e digitale) e dei paesaggio ad essi associati.

La descrizione delle trivellate e dei profili è stata eseguita utilizzando la “*Guida alla Descrizione dei Suoli in campagna e alla definizione delle loro Qualità*” versione Giugno 2003, messa a punto dall’Istituto per la Difesa del Suolo di Firenze e dalla Regione Toscana per il rilievi relativi alla Carta dei Suoli 1.250.000 dell’Italia, utilizzando la scheda sotto riportata Figura 3.2.4

Il sistema di riferimento tassonomico principale utilizzato per la classificazione dei suoli è stata la Soil Taxonomy USDA 8ed. (Soil Survey Staff, 1998), mentre il World Reference Base (Spaargaren, 1994; ISSS, ISRIC e FAO, 1998), che rappresenta l'evoluzione del sistema della legenda FAO (1990), è stato impiegato ai fini di correlazione internazionale.

Ogni profilo è stato classificato tassonomicamente fino al massimo livello possibile alla scala di rilevamento adottata. Pertanto per i profili pedologici il livello gerarchico raggiunto è quello di famiglia tessiturale Soil Taxonomy.

Per favorire la lettura e l'interpretazione della carta dei suoli, sono state impiegate le Unità Tassonomiche (UT), che rappresentano il livello di maggiore dettaglio utilizzato nella stesura del rilevamento e che definisce il "pedon-unità di campionamento", intendendosi per pedon l'unità di campionamento della copertura pedologica. La UT viene solitamente creata in seguito a maggiori specifiche rispetto al livello di famiglia Soil Taxonomy.

L'istituzione di una UT prevede che i suoli abbiano delle caratteristiche pedologiche importanti che influiscono sulla loro gestione e che differiscano significativamente da quelle delle altre Unità Tassonomiche. Prevedono inoltre l'esistenza di almeno un profilo tipico, che corrisponda al concetto centrale dell'Unità.

La UT è contraddistinta da tre caratteri che ricordano il toponimo della località in cui è stato descritto, il suolo-tipo che comprende solitamente altri pedon simili, considerati rappresentativi, e/o correlati, simili cioè per gestione ma dissimili a livello tassonomico per uno o più caratteri.

Il collegamento tra suolo e paesaggio, viene realizzato attraverso "l'unità di paesaggio" che permette di correlare la tipologie di suoli rilevate in un certo ambiente, definito da un Sistema e un sottosistema.

E' stato realizzato, inoltre il database geografico, in formato shapefile, contenente le coperture della carta dei suoli e della carta dei punti di osservazione.

3.3. RISULTATI DEL RILEVAMENTO

La carta pedologica finale alla scala 1.25.000 è fornita in allegato come documentazione digitale formato shape file (.shp) ARGGIS 8.3, e fornita anche come unica copia cartacea alla autorità di Bacino.

In calce al presente rapporto viene riportata la legenda completa delle unità pedologiche individuate.

3.4. ANALISI DI LABORATORIO

Sono state eseguite le analisi fisico-chimiche complete su 29 dei 40 profili realizzati nell'area rilevata. Il campionamento degli orizzonti ha compreso quasi sempre la totalità degli orizzonti principali individuati durante la descrizione substrati compresi, raramente escludendo gli orizzonti di transizione più sottili di 15 cm.

Le analisi, realizzate presso il laboratorio del CNR_IRPI Sezione staccata di Firenze, hanno seguito i metodi ufficiali MUACS (1992) e successive modifiche. Sui 115 campioni analizzati sono state effettuate le seguenti analisi: Tessitura, carbonati totali, pH in H₂O, carbonio organico, complesso di scambio (CSC, cationi di scambio, TSB), .

Preparazione del campione (MUACS, 1992, metodo ufficiale n. 2)

Determinazione della tessitura (MUACS, 1992, metodo ufficiale n.5).

Le frazioni granulometriche determinate sono:

Argilla (diametro < 0.002 mm)

Limo fine (diametro 0.02 – 0.002 mm)

Limo grosso (diametro 0.02-0.05 mm)

Sabbia molto fine (diametro 0.1 – 0.05 mm)

Sabbia fine (diametro 0.25 – 0.1 mm)

Sabbia media (diametro 0.25 – 0.5 mm)

Sabbia grossa (diametro 0.5 – 1.0 mm)

Sabbia molto grossa (diametro 1.0 – 2.0 mm)

Preparazione del campione

Su un campione di terra essiccata all'aria si distrugge la sostanza organica con H₂O₂ al 30% su piastre riscaldate a 60° fino a quando non scompare l'effervescenza.

Si pesa 10g del campione, si trasferisce in una bottiglia di plastica con 200ml di acqua distillata e 10 ml di Na-esametafosfato (soluzione disperdente) e si agita per tre ore. Questo procedimento è importante per consentire la dispersione degli aggregati.

Procedimento

Il campione viene fatto passare da un setaccio di 53 micron per dividere la frazione sabbiosa da quella limoso argillosa.

Sabbie

La frazione del campione rimasta nel setaccio di 53micron viene essiccata in stufa a 60° e poi fatta passare in una serie di setacci 1.00 mm, 0.5mm, 0.25 mm, 0.125mm agitati con agitatore meccanico. Per valutare la frazione delle sabbie si pesa il contenuto trattenuto in ogni setaccio con la bilancia di precisione.

Argilla e limo

Il campione di suolo passato dal setaccio di 53 micron viene trasferito in cilindro di 500 ml e portato a volume con acqua distillata.

Il cilindro messo in una vasca per mantenere la temperatura costante viene agitato per un minuto. Il prelievo viene effettuato con una pipetta di 20 cc ad un tempo ed un altezza calcolati secondo la Legge di Stokes per il diametro delle particelle che devono essere prelevate.

I campioni prelevati vengono fatti essiccare in stufa a 105° pesati e rapportati al volume totale del campione del cilindro.

La frazione di limo grossolano viene calcolata come differenza della sabbia, limo fine ed argilla.

Determinazione della reazione in H₂O (pH) (MUACS, 1992, metodo ufficiale n. 7)

Il ph è misurato per via potenziometrica effettuato con un rapporto suolo-soluzione 1:2.5. Il pH-metro viene tarato facendo uso di soluzione tampone di riferimento a pH acido e basico.

Procedimento

Si pesa 10g del campione di terra fine, si trasferisce in un contenitore da 50 ml e vi si aggiunge 25 ml di acqua distillata. La soluzione viene agitata per almeno due ore e poi lasciata sedimentare per alcuni minuti.

Si introduce il sistema elettronico nel surnatante e si rileva la misura del pH.

Determinazione dei carbonati totali % (MUACS, metodo ufficiale n. 9)

Il metodo impiega un calcimetro volumetrico che misura la CO₂ prodotta dalla reazione del terreno con acido cloridrico.

Preparazione

Vengono preparati 4 campioni di CaCO₃ secco a 105° (25 mg, 75 mg, 125 mg, 250mg) che serviranno per costruire la curva di calibrazione.

Procedimento

Si pesano 0,5-1g di suolo e vengono trasferiti in una beuta; in una provetta di plastica si versano 10ml di HCl diluito 1:2., che viene introdotto nella beuta.

Si collega tramite un apposito tappo di chiusura l'apparecchio con la beuta e si versa l'acido cloridrico.

Il calcimetro misura la CO₂ prodotta nella reazione e utilizzando la curva di calibrazione ottenuta dalle prove in bianco è possibile stimare i carbonati totali CO₃²⁻.

Determinazione del carbonio organico %, Walkley-Black (MUACS, 1992, metodo n. 15)

Preparazione

Un campione di 6g di suolo vengono macinati con mortaio d'agata fino a passare dal setaccio di 0.2 mm. A seconda del contenuto della sostanza organica viene pesato 0.5, 1, 2g di suolo setacciato e trasferito in un beker di 250 ml.

Procedimento

Al campione preparato vengono aggiunti 10 ml di bicromato di potassio e 20 ml di acido solforico, dopo 1 minuto di agitazione la soluzione viene lasciata riposare per 30 minuti su piastra a 50°.

Il carbonio organico viene ossidato a CO₂ in condizioni standardizzate, con soluzione di bicromato di potassio in presenza di acido solforico. La velocità della reazione viene invece favorita dall'innalzamento di temperatura conseguente alla brusca diluizione dell'acido.

Si aggiungono 10 ml di acqua distillata, per interrompere la reazione, si pone su un agitatore magnetico e si titola con una sol 0.5 N di solfato ferroso ammonico fino a viraggio del colore della soluzione da bruno a verde brillante.

In base alla differenza dei ml utilizzati nella titolazioni e quelli necessari per titolare la prova in bianco, si risale ai milliequivalenti di bicromato utilizzati nella ossidazione del corrispondente numero di milliequivalenti di carbonio organico presente nel campione di suolo.

La sostanza organica è stata calcolata moltiplicando per 1.72 i valori misurati di C organico.

Capacità di scambio cationico (CSC) e di basi di cambio (Ca, Mg, K, Na) metodo con argento tiourea (International Soil Reference and Information Center ISRIC, metodo olandese)

È un metodo molto veloce basato sulla forte affinità del catione complesso monovalente Argento tiourea (AgTu) con le superfici colloidali caricate negativamente. L' AgTu mediante reazioni di scambio cationico fa sì che i cationi adsorbiti dai fillosilicati e le sostanze umiche ritornino in soluzione.

Preparazione

Vengono triturati 5g di suolo fino a passare ad un setaccio di 0.5 m. Ne viene pesato 1g e trasferito in un contenitore per centrifuga da 50 ml a cui si aggiungono 40 ml di AgTu; si preparano anche due campioni bianchi.

La soluzione viene agitata per 4 ore ed in seguito centrifugata per fare depositare il terreno e poter prelevare il surnatante.

Procedimento

Nell'estratto si trovano in soluzione gli ioni scambiati di Ca, Mg, K, Na ed l'Ag non scambiato, quindi in spettrofotometria ad assorbimento atomico (Ca, Mg e Ag) e con il fotometro a fiamma (Na e K) è possibile determinare la CSC e le basi di cambio.

4. RILEVAMENTO DI CAMPAGNA DELLE AREE DI COLLEGAMENTO TRA AREE SORGENTI DI SEDIMENTI E IL RETICOLO DI DRENAGGIO PERMANENTE

Il rilevamento di campagna è iniziato nel mese di novembre. Rispetto alla indicazione preliminare del progetto di rilevare le aree critiche sorgenti preferenziali di sedimento, si è preferito dare un peso maggiore al rilevamento delle aree di collegamento tra aree sorgenti e il reticolo di drenaggio permanente. Questa modifica di programma, non prevista, è stata dettata dalla necessità di ottenere informazioni di base per sviluppare una metodologia utile alla stima del *sediment delivery ratio* (frazione della massa di sedimento che effettivamente raggiunge la rete di drenaggio permanente), caratteristico delle aree sorgenti di sedimento, necessario come correttore delle stime di tasso di erosione derivanti dai modelli USLE-TYPE. Durante il rilevamento sono state anche identificate le forme di erosione più caratteristiche, le condizioni di uso del suolo, la gestione dei sistemi di drenaggio all'interno di queste aree e la loro connettività con il sistema di drenaggio permanente. Tale analisi ha permesso di identificare in modo univoco le aree che *de facto* sono le sorgenti primarie di sedimento. Una serie di considerazioni importanti e innovative sono state fatte successivamente alle analisi dei dati raccolti in campagna. I risultati del rilevamento costituiscono una delle basi essenziali per la costruzione di molti degli stati informativi GIS necessari al completamento del progetto. In particolar modo costituiscono il fondamento di osservazioni di campagna per lo sviluppo teorico dell'algoritmo di stima del parametro che rappresenta il *Sediment delivery ratio* (vedasi capitolo 5).

Di seguito viene riportata integralmente una serie di Schede di rilevamento predisposta per poter descrivere sinteticamente l'area e le caratteristiche dei processi erosivi e di sedimentazione in atto.

4.1. SCHEDE DI RILEVAMENTO

La scheda di rilevamento è strutturata in modo da descrivere l'area sorgente di sedimento, l'area di deposizione (pendenza, lunghezza, uso del suolo, rugosità) e la connettività che esse hanno con il reticolo idrografico (vegetazione presente e dimensioni, tipo di connessione). La scheda è completata da grafici per schematizzare la situazione descritta e le foto per la localizzazione e la tipizzazione dell'area. Particolare enfasi è data alla modalità e alla geometria della connettività tra area sorgente di sedimento (*hillslope*) e sistema di drenaggio permanente (*permanent stream*).

In questa sezione sono riportati due esempi di schede compilate durante il rilevamento di due zone critiche. L'insieme complessivo delle schede è fornito come documentazione digitale allegata al presente rapporto.

Progetto BABI – Relazione Attività di Progetto

caratteristiche fisiche area sorgente e trasporto		
Uso del suolo attuale		Erba medica - coltura poliennale
rugosità (cm)	RRs	< 0.5
copertura vegetale(%)	Cv	60
Altro: Sigillamento superficie diffusa per croste di deposizione In superficie suolo con caratteristiche prevalentemente limose		

caratteristiche fisiche area di deposizione		
Uso del suolo attuale		Strada poderale a lato T. Tavaiano
rugosità attuale (cm)	RRd	> 1.5 causa tracce trattore
rugosità pre deposizione(cm)	RR0	< 0.5
copertura vegetale(%)	Cv	< 10
Altro: La maggiore area di deposizione è in corrispondenza del sottopassaggio della strada per Galliano		

Area di connessione			
Descrizione			
Connessione diretta	<input checked="" type="checkbox"/> [X]	Diffusa	<input type="checkbox"/> []
		Concentrata	<input checked="" type="checkbox"/> [X]
Fascia inerbita (grass strip)	<input checked="" type="checkbox"/> [X]	Larghezza(m)	2
Fascia cespugliata (busch strip)	<input checked="" type="checkbox"/> [X]	Larghezza(m)	3
Strada	<input type="checkbox"/> []		
Accumuli da Lavorazione	<input type="checkbox"/> []	Altezza(m)	
		Contropendenza(%)	
Altro: argine naturale		Altezza(m)	0.5
		Contropendenza(%)	> 5

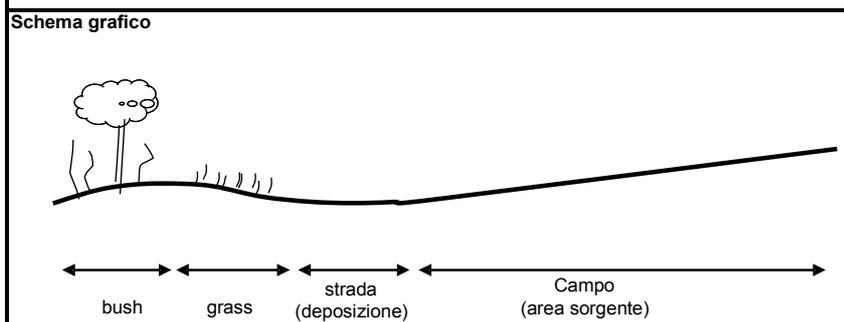


Figura 4.1.2: Scheda di rilevamento connettività torrente Tavaiano – parte B



Figura 4.1.3: Area sorgente di sedimento



Figura 4.1.4: Area di deposizione

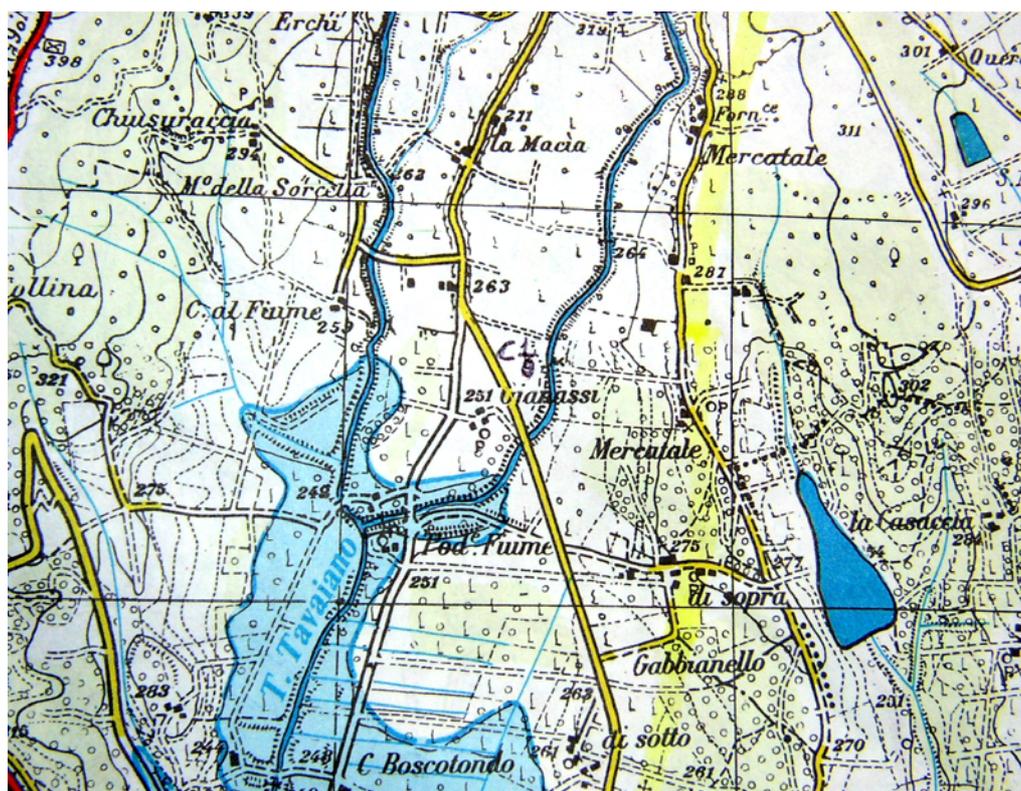


Figura 4.1.5: Localizzazione sulla carta dell'area C1.

Progetto BABI – Relazione Attività di Progetto

caratteristiche fisiche area sorgente e trasporto		
Usa del suolo attuale		SEMINATIVO DI GRANO GERMINATO
rugosità (cm)	RRs	2-3
copertura vegetale(%)	Cv	10
Altro:		

caratteristiche fisiche area di deposizione		
Usa del suolo attuale		SEMINATIVO DI GRANO GERMINATO
rugosità attuale (cm)	RRd	1
rugosità pre deposizione(cm)	RR0	3
copertura vegetale(%)	Cv	0
Altro:		

Area di connessione			
Descrizione			
Connessione diretta	X	Diffusa	X
		Concentrata	X
Fascia inerbita (grass strip)		Larghezza(m)	
Fascia cespugliata (busch strip)	X	Larghezza(m)	1
Strada	[]		
Accumuli da Lavorazione	X	Altezza(m)	0.5
		Contropendenza(%)	0

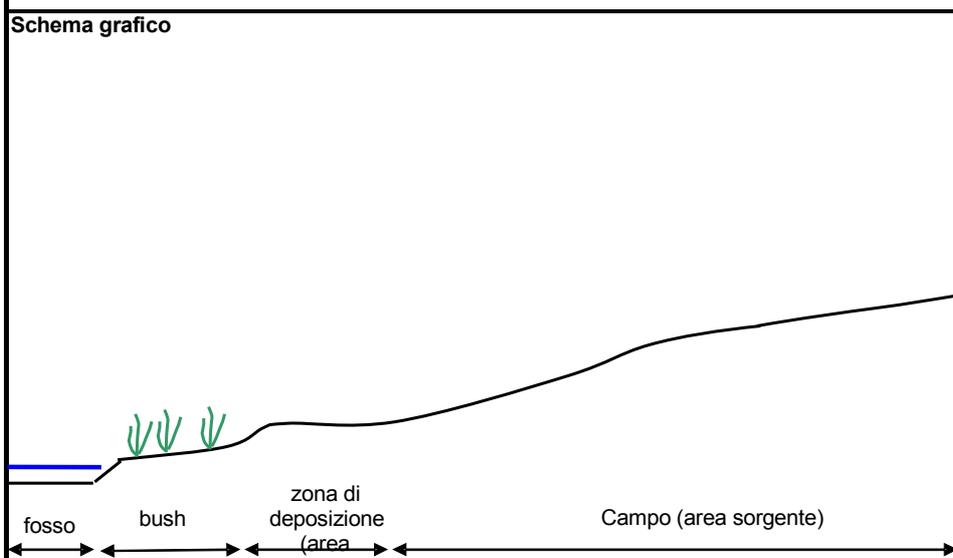


Figura 4.1.7: scheda di connettività n9 torrente Tavaiano – Parte B

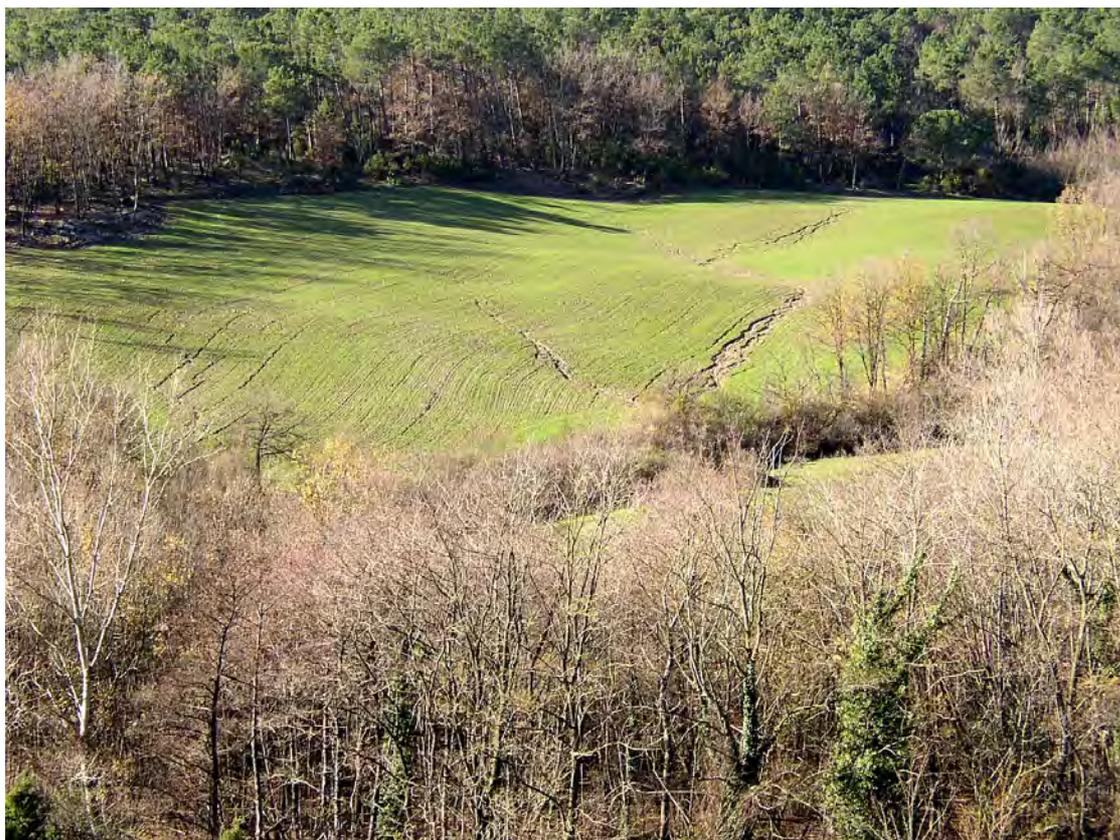


Figura 4.1.8: area sorgente di sedimento



Figura 4.1.9: connessione diretta della gully con il reticolo di drenaggio permanente.



Figura 4.1.10: area di deposizione di rill alla base del campo

4.2. AREE CRITICHE STUDIATE

Sono state compilate in dettaglio n.16 schede relative ad un corrispondente numero di aree critiche. Le aree studiate sono situate nei bacini dei torrenti Tavaiano, Calecchia, Stura e Sorcella.

La maggior parte delle aree sono relative ai seguenti usi del suolo: seminativo, pascolo, incolto, passaggio verso vegetazione riparia, bosco, reticolo di drenaggio permanente.

La aree descritte nelle schede di rilevamento sono riportate nella seguente mappa schematica del bacino. Tutte le schede sono fornite in formato digitale (file .XLS) e a ciascuna sono associate alcune immagini digitali.

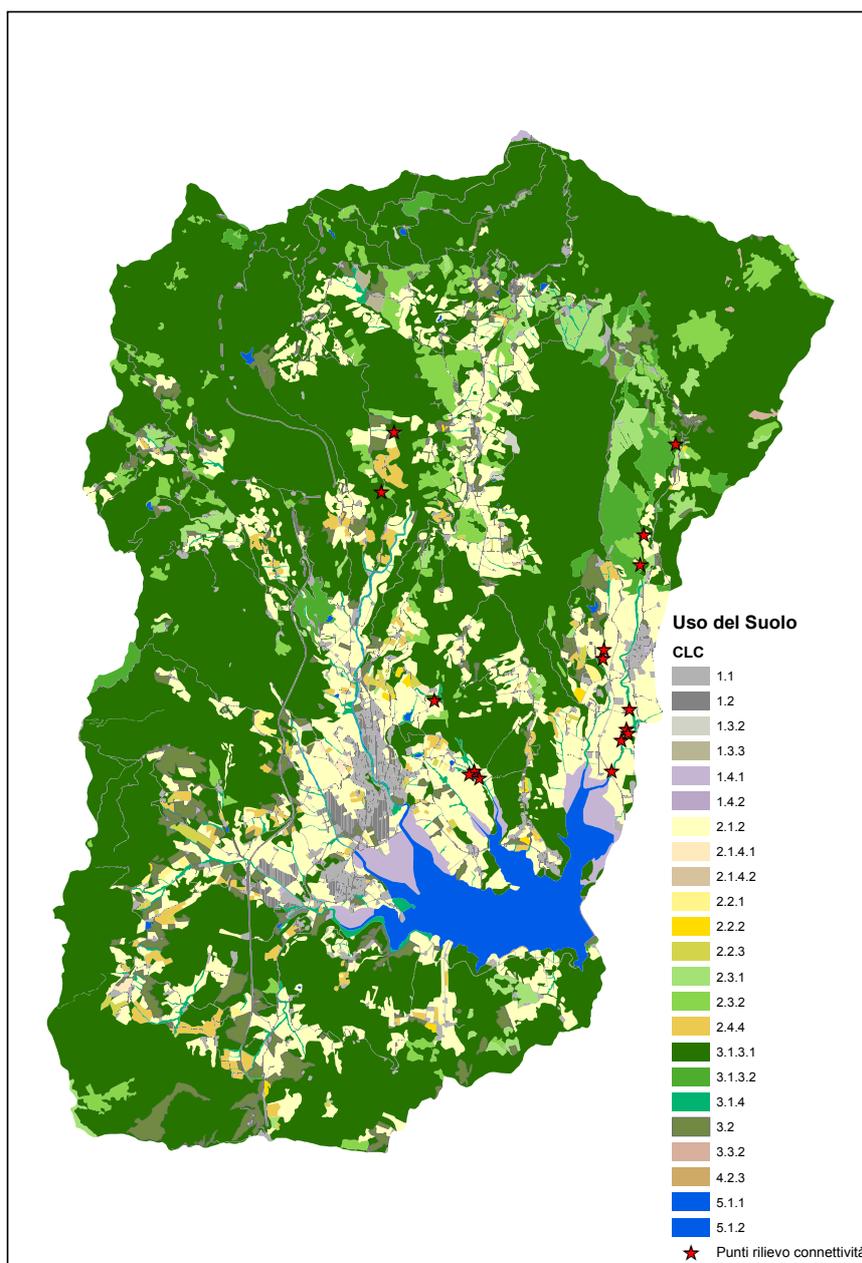


Figura 4.2.1: Mappa dei punti di rilievo delle schede di connettività. I punti di rilievo sono indicati con una stella

4.3. SINTESI COMPLESSIVA DEI RISULTATI DEL RILEVAMENTO

4.3.1 USI DEL SUOLO E METODI DI GESTIONE CRITICI COME SORGENTI PRIMARIE DI SEDIMENTO

Seminativi

I seminativi sono una delle tipologie di uso del suolo a cui compete la maggiore probabilità di costituire una sorgente primaria di sedimento. I seminativi sono essenzialmente distribuiti nella parte bassa del bacino, generalmente sotto i 400m s.l.m. I seminativi sono presenti su varie tipologie di suoli: da quelli impostati su sedimenti lacustri o su depositi colluviali di versante, fino a quelli su formazioni che costituiscono l'olistostroma alloctono a prevalente composizione marnosa e argillosa. Durante il rilevamento è stata osservata una prevalente tendenza a una lavorazione profonda nelle aree con suoli più facilmente lavorabili (suoli su depositi lacustri e fluviali), mentre nelle aree con suoli meno profondi vi è la tendenza a seminare successivamente a una erpicatura o discatura profonda. Nella maggior parte dei casi i proprietari hanno la consuetudine di preparare, dopo la semina, una serie di fossi livellari, o canalette profonde fino a 30cm e larghe fino a 40cm, per la intercettazione del deflusso superficiale diffuso e concentrato, con l'obiettivo di reindirizzarlo, dopo percorsi lunghi anche fino a 100 m, alla rete di drenaggio permanente (torrenti, fossi, scoline di strade).

La effimera rete di drenaggio superficiale che viene realizzata all'interno dei campi si rivela quasi sempre efficiente. Essa permette di intercettare flussi e sedimenti che altrimenti si concentrerebbero in alcuni punti specifici. Lo scopo per il quale viene realizzata questa rete di drenaggi è: evitare la concentrazione di acqua nelle aree concave convesse del pendio, ridurre il rischio di erosione incanalata e di risedimentazione alla base del campo. In questo modo sembra che gli agricoltori raggiungano, quasi sempre, l'obiettivo di ridurre la formazione di rills e la rideposizione più a valle a bordo campo. Tuttavia anche nei casi in cui la raccolta di deflusso e sedimenti è maggiormente efficiente, l'erosione non è impedita, ma solo concentrata nei fossi livellari medesimi, e nelle aree comprese tra fossi livellari. Il sistema è evidentemente tracciato ad ogni stagione di semina sulla base di esperienze precedenti. Infatti la morfologia del campo e il ripetersi di tecniche di lavorazioni simili riproduce quasi sempre il medesimo pattern di flussi e erosione/deposizione. Si è potuto documentare che la prassi di creare tali sistemi di drenaggio è talmente frequente da diventare caratteristica di tutti i seminativi che in passato hanno mostrato segni di erosione o rideposizione importanti. L'elevata connettività che si registra tra campi e linee di drenaggio permanente giustifica un elevato tasso di esportazione di sedimenti (stima dal 40% al 60% nel periodo di studio autunno 2003 primavera 2004)

Prato-Pascoli

Ad altitudini intermedie del bacino sono molto diffusi grossi appezzamenti di prato-pascoli (>3 -5 ha). In queste zone, per motivi essenzialmente legati alla morfologia, al clima, alla tipologia e alla profondità – lavorabilità dei suoli, è preferita una gestione orientata all'allevamento ovino e bovino. La presenza di prati ha una cadenza poliennale alternata con una lavorazione del terreno (discatura profonda o erpicatura) con profondità inferiore rispetto ai seminativi di pianura. Anche queste aree costituiscono una importante sorgente primaria di sedimenti essenzialmente per i seguenti motivi:

- morfologia dei versanti usualmente favorevole alla concentrazione dei flussi;
- periodica erpicatura e lavorazione superficiale per rinnovo del cotico dei pascoli;
- minor fertilità dei terreni e quindi necessità di periodi più lunghi per l'inerbimento naturale;
- fenomeni di erosione da tillage; ovvero riduzione dello spessore di suolo nelle aree convesse con esposizione dell'orizzonte C –R a seguito della ridistribuzione differenziale delle lavorazioni;

- (talvolta) semina a bassa densità di orzo o altre specie erbacee (leguminose) orientata soprattutto a costituire alimento per ovini;
- presenza di orizzonti impedenti a bassa profondità;
- elevata connettività con le linee di drenaggio principali a causa dei ridotti accumuli di lavorazione a bordo campo e delle elevate pendenze degli appezzamenti medesimi.

In sintesi nei prato pascoli sembrano prevalenti una serie di metodi di gestione molto favorevoli alla produzione di sedimenti e per di più in condizioni di facile esportabilità a causa dell'elevata connettività.

In questi ambienti prevalgono forme di erosione diffusa che si trasforma in incanalata solo successivamente a forti concentrazioni di flusso (da superfici di raccolta >1-2 ha). L'elevata frequenza con cui si trovano suoli pietrosi e di scarsa profondità, crea un impedimento alla formazione di estesi sistemi di erosione incanalata. L'estensione dell'erosione diffusa produce un pattern caratteristico, ovvero superfici con una copertura erbacea, discontinua e dai contorni irregolari. Forme abortite di proto-rill sono prevalenti nei casi in cui la morfologia delle superfici e degli appezzamenti è caratterizzata da forme concave - convesse e dove esistono chiare evidenze di assottigliamento dello spessore degli orizzonti superficiali, per traslocazioni differenziali indotte dalle lavorazioni

Incolti

Esistono nel bacino molte superfici incolte con prevalente vegetazione arbustiva e erbacea, si tratta essenzialmente di prato-pascoli e seminativi abbandonati. Tuttavia è necessario notare che negli ultimi anni c'è una tendenza a recuperare gli incolti, per estendere le superfici destinate a prato-pascolo, con opere di livellamento e/o di erpicatura. Per questo motivo alcune delle superfici attualmente inutilizzate potrebbero nei prossimi anni trasformarsi in prato-pascoli (con tutti i problemi di gestione prima indicati) o in bosco misto e denso (come risulta essersi verificato dal 1998) nell'area prospiciente l'alta valle dello Stura – passo della Futa.

Gli incolti forniscono un contributo spesso discontinuo alla produzione di sedimenti, in cui i sentieri e i percorsi della selvaggina stanziale costituiscono una via preferenziale per il deflusso, erosione e trasporto dei sedimenti. Tuttavia si è scelto di considerare le aree a incolto con un livello medio di potenziale di produzione di sedimenti per i seguenti motivi:

- Estrema diffusione di sentieri e percorsi di animali.
- Estrema variabilità nella densità della copertura vegetale.
- Reticolo dei flussi superficiali denso ma irregolare.
- Presenza di movimenti franosi localizzati (area Tavaiano).
- Elevata probabilità di prossima trasformazione dell'uso del suolo verso prato-pascoli.

Boschi

Le superfici boscate costituiscono il 70 % di tutta la superficie del bacino. In linea di massima le superfici boscate non costituiscono una sorgente importante di sedimenti. Fanno eccezione le seguenti situazioni:

- Superfici recentemente ceduate con presenza di strade temporanee e sbancamenti localizzati per favorire l'accesso dei mezzi meccanici.
- Intensità e frequenza del disturbo delle macchine operatrici sulle strade forestali.
- Connessione diretta delle strade forestali con le linee di drenaggio permanente attraverso scoline temporanee, costruite per drenare eventuali ristagni localizzati che impediscono le operazioni in bosco.
- Presenza di superfici rimboschite, quindi con copertura superficiale scarsa e suolo che ha subito lavorazioni recenti per la realizzazione dell'impianto.

Una esame della corrispondenza tra la copertura boschiva nel 1998 (volo Italia 2000) e le condizioni attuali rivela una difformità anche localmente elevata. Vi è una distribuzione di nuove aree ceduate e di aree che, dal 1998, hanno aumentato considerevolmente il loro grado di copertura, occupando aree prima utilizzate a pascolo e in cui si è quindi ridotto il livello di disturbo antropico. Inoltre negli ultimi 6-7 anni molte aree che erano classificabili come incolti si sono evolute in formazioni boschive per il graduale avanzamento delle specie arboree e arbustive.

La persistenza delle condizioni sfavorevoli solo per pochi anni (circa 2 anni su 20 che è il ciclo medio di ceduazione) nelle singole aree ceduate indica una probabilità di produzione di sedimenti da media a bassa.

Aree estrattive e accumuli di cantiere e discariche inerti

Nel bacino esistono alcune aree che sono, o sono state, oggetto in periodi recenti di movimenti terra o accumuli di cantiere, e che presentano una scarsa o assente copertura vegetale. Tali movimenti terra sono associati ad un recente recupero di incolti o ad attività di cantiere legata alla variante di valico (T. Stura). Queste aree sono associate alla maggiore potenzialità di produzione di sedimenti anche per la assenza di particolari opere finalizzate alla riduzione della produzione di sedimenti e loro esportazione.

Si deve sottolineare che la connettività con il sistema di drenaggio permanente è alquanto incerta e irregolare, pertanto l'esportazione reale dei sedimenti è probabilmente molto dipendente dalle opere, anche temporanee, finalizzate al drenaggio delle acque superficiali. Inoltre le zone, attualmente occupate da cantieri, sono soggette a un rapido cambiamento nella morfologia delle superfici e nei volumi degli accumuli, in cui per la stima dell'esportazione netta, risulta fondamentale la presenza di una connettività efficiente con torrenti e fossi.

4.3.2 FORME DI EROSIONE

Erosione laminare

Erosione laminare o diffusa è presente in molte porzioni del bacino. In modo particolare nei seminativi e prato-pascoli. Questo meccanismo di erosione è presente dove la concentrazione dei deflussi superficiali non risulta elevata a causa della morfologia dei versanti e dove sono presenti suoli con elevata pietrosità o con una elevata copertura vegetale.

In alcune aree è stato misurato localmente uno spessore medio di terreno eroso fino a 1.0 cm collegato agli eventi dell'autunno inverno 2003-2004. In alcuni casi l'erosione diffusa può trasformarsi in erosione incanalata e rideposizione nelle parti più basse dei pendii.

Erosione incanalata

L'erosione incanalata (rill) frequente soprattutto nei seminativi preparati con letto di semina. In generale sembra essere presente nella porzione dell'anno in cui la copertura vegetale risulta assente o più scarsa. Nei prato-pascoli l'erosione per rill è meno frequente. Si deve comunque rilevare che nel periodo delle osservazioni non essendosi verificati eventi piovosi di elevata magnitudo i fenomeni di erosione incanalata sono stati di media entità: rill profonde fino a 15 cm e una densità per ettaro scarsa (1-3 rill x ha). Tuttavia in alcuni casi sono state trovate anche alcune gully relitte di una precedente gestione e non completamente obliterate (caso del t. Calecchia). Il sistema di rill e gullies è talvolta intercettato da scoline e fossi livellari temporanei e connesso direttamente alla rete di drenaggio permanente. In queste condizioni l'estensione della erosione incanalata viene limitata arealmente, e si riduce la possibilità di creare aree di rideposizione a valle. Tuttavia in questo modo si contribuisce ad aumentare l'efficienza della esportazione dei sedimenti dalle aree sorgenti primarie.

Rideposizione e sigillamento

I fenomeni di rideposizione sono frequenti in tutte quelle condizioni dove la riduzione della capacità di trasporto di un flusso, che trasporta un carico di sedimento, si verifica per una brusca variazione della velocità dell'acqua, o una riduzione di portata. In tutte le aree rilevate si sono trovati fenomeni di rideposizione. La consistenza degli stessi dipende da molti fattori quali le dimensioni dell'area sorgente, l'erodibilità del suolo, l'intensità dell'evento. Tuttavia i fattori determinanti sono: la presenza di contropendenze ai bordi inferiori del campo, l'estensione dell'area in contropendenza, la connettività (a volte indotta dai coltivatori) tra il bordo campo e la linea di drenaggio permanente più prossima. Lo spessore di rideposizione in queste aree non è stato mai osservato superiore ai 3-4 cm e la loro estensione non è stata mai trovata superiore a una frazione minima dell'estensione della superficie sorgente di sedimento (rapporto 1/10 max). La scarsa rilevanza di queste aree di rideposizione è tuttavia spiegabile dalla presenza di canalette temporanee tracciate nei campi nelle zone in cui negli anni precedenti sono stati rilevati dall'agricoltore fenomeni di deposizione e/o erosione. La creazione di drenaggi temporanei per le acque superficiali è quindi operata pressoché sistematicamente onde evitare accumuli eccessivi che possano compromettere la produzione. Infatti alla rideposizione vi è associata la formazione di croste di sigillamento che compromettono la emergenza delle piantine con conseguente perdita di produzione.

4.3.3 CONNETTIVITÀ CON IL RETICOLO DI DRENAGGIO PERMANENTE

Definizione e tipi di connettività

Per connettività si indica il grado di collegamento esistente tra il sistema costituito dal reticolo di drenaggio permanente (torrenti, fossi, scoline di strade e fognature) e il sistema dei versanti, caratterizzato da un tipo di drenaggio delle acque superficiali a volte discontinuo, irregolare e temporaneo. Il grado di connettività più elevato si realizza quando il passaggio tra il sistema dei versanti e quello di drenaggio permanente è diretto, senza alcun filtro o ostacolo. Nelle condizioni intermedie lo scorrimento delle acque e il trasporto dei sedimenti è filtrato da fasce inerbiti, fasce di vegetazione riparia, terrazzamenti, fasce boscate, pozze di raccolta, contropendenze da accumuli da lavorazioni a bordo campo. La presenza di queste condizioni intermedie di connettività può però essere interrotta localmente da *by-pass* artificiali, eseguiti appositamente per permettere una più diretta connessione, in modo che sia consentito un più facile smaltimento delle acque al fine di evitare un accumulo locale di sedimento. Quando non esistono *by-pass*, può esistere una superficie di rideposizione, compresa tra una area sorgente di sedimento (sui versanti) e una zona di raccolta nelle linee di drenaggio permanente (*sink*), in cui la connettività è bassa o assente e la possibilità di esportare sedimenti è trascurabile.

Le strade, a cui sono normalmente associati il sistema di raccolta laterale delle acque, e *by-pass* sotto la sede stradale, sono spesso un efficiente sistema di raccolta delle acque e sedimento. Nelle condizioni ottimali le acque e il sedimento raccolto sono reindirizzate verso le altre linee di drenaggio permanente più vicine (fossi, torrenti, fiumi, fognature).

Tecniche di gestione e connettività

La connettività è fortemente dipendente dalle tecniche di gestione e operate dagli agricoltori nei seminativi e nei prato-pascoli. Si è già accennato al fatto che nel caso dei seminativi l'intervento per facilitare la connettività è molto frequente. Le opere di drenaggio, che limitano lo sviluppo di erosione incanalata e il rischio di avere larghe fasce di terreno ricoperte da suolo rideposto a fondo campo, sono praticate per ridurre gli effetti negativi sulla produttività. Infatti, in uno stadio di sviluppo iniziale delle piantine, entrambi i processi (erosione incanalata e rideposizione) possono

avere un forte impatto sulla produzione. Nel primo caso si ha asportazione di semi e piante, nel secondo una copertura e un sigillamento tali da impedire che la piantina germogli.

Le tecniche impiegate sono essenzialmente quelle di tracciare, successivamente alla semina, scoline temporanee in direzione diagonale secondo la massima pendenza per una profondità variabile dai 25 ai 40 cm e per una larghezza variabile fino agli 80 cm.

Tali fossi temporanei possono essere direttamente connessi al sistema di drenaggio permanente. In condizioni di bassa pendenza, o per intercettare deflussi idrici importanti provenienti da aree boscate a monte, le scoline sono tracciate secondo la massima pendenza.

L'intercettazione dell'acqua e dei sedimenti trasportati permette nei casi ottimali un rapido trasporto fuori dal campo, ma talvolta l'elevata concentrazione di acqua può innescare direttamente nelle scoline una nuova fase di erosione. Il dimensionamento delle scoline viene eseguito presumibilmente senza una valutazione tecnica preliminare, ma su basi essenzialmente empiriche. Tuttavia la tecnica impiegata sembra nella maggior parte dei casi raggiungere gli obiettivi prefissati.

Nel caso dei prato-pascoli il tracciamento di scoline è talvolta eseguito solo in occasione degli interventi di rinnovo mediante aratura-erpicoltura-discatura profonda. Si tratta quindi di interventi effimeri che scompaiono successivamente alla prima stagione di piogge.

Negli altri usi del suolo la connettività risulta estremamente più variabile. Negli incolti e nelle superfici boscate è fortemente dipendente dalla presenza di sentieri e vie di passaggio di selvaggina stanziale (cinghiali), che producono un reticolo discontinuo e irregolare non cartografabile alla scala di questo studio.

Lo stesso dicasi per gli accumuli di cantiere e movimenti terra. Le condizioni di connettività possono cambiare molto rapidamente a seconda dello stato di avanzamento e delle opere di drenaggio e smaltimento delle acque che vengono effettuate contestualmente.

In sintesi si osserva che il fattore antropico non solo influenza la capacità di produzione di deflussi e sedimenti sui versanti (mediante i diversi usi del suolo e relative tecniche di gestione), ma ha una influenza molto forte sulla fase ultima di esportazione dei sedimenti verso il sistema di drenaggio permanente. Il processo del *sediment delivery* è fondamentale perché in un sistema versante è possibile avere una forte erosione, ma l'esportazione, e quindi la perdita netta, di sedimento avverrà solo se il grado di connettività tra i due sistemi è alto. In caso contrario la rideposizione avverrà entro il sistema versante perché i due sistemi sono pressoché isolati.

Una tecnica di valutazione del grado di connettività e del *sediment delivery ratio* (SDR) verrà presentata nel successivo capitolo.

4.3.4 UTILIZZO DELLE OSSERVAZIONI DI CAMPAGNA

L'insieme delle osservazioni di campagna costituisce la base di sviluppo della del successiva.

Le procedure delle osservazioni di campagna sono state messe a punto per ottimizzare la raccolta delle informazioni necessarie ad individuare le maggiori criticità e le relazioni tra i diversi fattori. Le procedure illustrate costituiscono una novità per questo tipo di studi. L'analisi e la sintesi complessiva delle osservazioni, esposta in precedenza permette di identificare una serie di criticità ed elementi sensibili del territorio. L'individuazione di tali criticità è fondamentale per orientare correttamente le valutazioni successive nell'ambito di un sistema distribuito per la stima del tasso di erosione del suolo dai versanti. In particolare sono stati individuati:

- Il ruolo dei diversi usi del suolo e delle consuete tecniche di gestione.
- L'importanza delle diverse tipologie di connettività tra il dominio dei versanti e quello del reticolo di drenaggio permanente, per la esportazione netta dei sedimenti prodotti.
- Il *sediment delivery ratio* stimato in alcune configurazioni morfologiche e di uso del suolo.

Grazie alle informazioni raccolte è stato possibile sviluppare una nuova tecnica di valutazione del grado di connettività (indice di connettività I_c) che ha una stretta relazione con il *sediment delivery*

ratio (SDR), necessario per correggere le stime di erosione potenziale effettuate con i modelli USLE-TYPE e trasformarle in tasso locale di esportazione reale di sedimenti. I dettagli della procedura verranno presentati nel paragrafo 5.8.

5. PRODUZIONE DEGLI STRATI INFORMATIVI SU BASE GIS

5.1. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO (DEM)

Il modello digitale del terreno esistente è risultato inadeguato per le esigenze del progetto, a causa della risoluzione delle celle (10m) troppo piccola per rappresentare elementi della morfologia del paesaggio, importanti per la valutazione dell'andamento dei processi di erosivi e di deposizione. Quindi si è deciso di procedere alla costruzione di un nuovo DEM di risoluzione maggiore (5m) partendo dalle curve di livello a 10 m in formato vettoriale.

La metodologia utilizzata ha previsto l'utilizzo di GRASS 5.0.3 (Geographic Resources Analysis Support System), che è un software di tipo Open Source ed è pubblicamente disponibile sotto licenza GNU (General Public License) sul sito <http://www.grass.itc.it>. GRASS consente con relativa facilità di analizzare, archiviare, aggiornare, modellare e visualizzare dati georeferenziati utilizzando una ricca varietà di funzioni specializzate; inoltre GRASS dispone di molti convertitori di formato in grado di importare ed esportare i dati nei formati di tutti i GIS più comuni tra cui Arc Gis.

La maggiore difficoltà riscontrata nel costruire il dem è stata quella di riuscire ad interpolare il grande numero di dati puntuali, concentrati sulle curve di livello, in un modello spaziale capace di rappresentare in maniera efficace la morfologia del terreno. Infatti i dati di input forniti dalle curve di livello tendono a dare un modello digitale a terrazzi, con sovra rappresentazione nelle zone pendenti e sotto rappresentazione nelle zone di pianura. Per questo motivo i metodi di interpolazione presenti in ArcGis utilizzando un fattore di smoothing costante non sono risultati adatti. Invece l'algoritmo Regularized Spline with Tension ("RST") (Cebecauer *et al.*, 2002) utilizzato in GRASS è molto più flessibile in quanto permette di scegliere il parametro di tensione, di applicare un peso di smoothing differenziale per ogni punto di input, e anche di definire il numero di punti massimo da utilizzare nell'interpolazione.

Per calcolare il fattore di smoothing è stato elaborato un apposito programma *s.swes* (*s.swes 0.22* – by L. Borselli 2003, 2004), che legge i file site del DEM e della pendenza generati da GRASS e calcola attraverso la seguente funzione il parametro di smoothing, in funzione della pendenza, per ogni punto georiferito:

$$W(\text{slope}) = W_2 + \frac{W_1 - W_2}{1 + e^{-\frac{S_0 - S}{K}}} \quad \text{eq.[1]}$$

W peso locale

W_1 peso massimo di smoothing ($W_1 \geq W_2$)

W_2 peso minimo di smoothing ($W_2 > 0$)

S_0 gradiente di pendenza a cui $W = (W_1 + W_2)/2$

K fattore di decadimento

S gradiente di pendenza (%)

Questa funzione permette di ottenere un fattore di smoothing elevato per basse pendenze tendente a W_2 all'aumentare della pendenza. L'andamento più o meno ripido della funzione sono determinati da K mentre S_0 è il punto di flesso. La possibilità di effettuare uno smoothing differenziale ha permesso di eliminare gli artefatti dovuti all'interpolazione delle curve di livello. Nelle zone con bassa pendenza è stato applicato uno smoothing più elevato per evitare gli effetti dovuti alla presenza di pochi dati e concentrati (influenza delle curve di livello, triangolazioni), mentre nelle zone di pendenza intorno al 9% il peso di smoothing tende a 0 in modo da non smussare le valli strette e gli impluvi.

Inoltre con questo programma, utilizzando una funzione random, è stato possibile considerare un numero minore di dati di input al fine di non avere una sovra rappresentazione lungo le curve di livello.

L'elaborazione di questo programma, come supporto della funzione di interpolazione Regularized Spline with Tension di GRASS, ha permesso di ottenere un DEM a 5m con una buona approssimazione della morfologia effettiva del bacino, soprattutto ai fini della modellazione del reticolo di drenaggio e dei processi erosivi e di deposizione.

Il controllo è stato fatto confrontando le curve di livello derivate dal DEM e quelle della CTR: sono stati scelti i parametri di tensione e smoothing che sono risultati in grado di generare allo stesso tempo un DEM con curve di livello e una morfologia simili alle originarie.

Procedimento

È stata fatta un prima interpolazione delle curve di livello con la funzione *v.surf.rst*, utilizzando i seguenti parametri: tensione = 100, il fattore di smoothing = 1, numero minimo di punti da interpolare=200, numero massimo di punti per segmento = 50; funzione *dnorm*.

Il dem e la pendenza derivata sono stati convertiti in file sites. Il file sites del dem e della pendenza sono stati utilizzati come file di input di *s.swes*. *s.swes* ha utilizzato il 50% dei punti di input ed a creato un file sites di punti con associato un valore *z* di altitudine e *w* di smoothing.

I parametri utilizzati nella eq.[1] utilizzata da *s.swes* sono:

$$W_1=10$$

$$W_2=0.0001$$

$$S_0=5.5$$

$$K=0.7$$

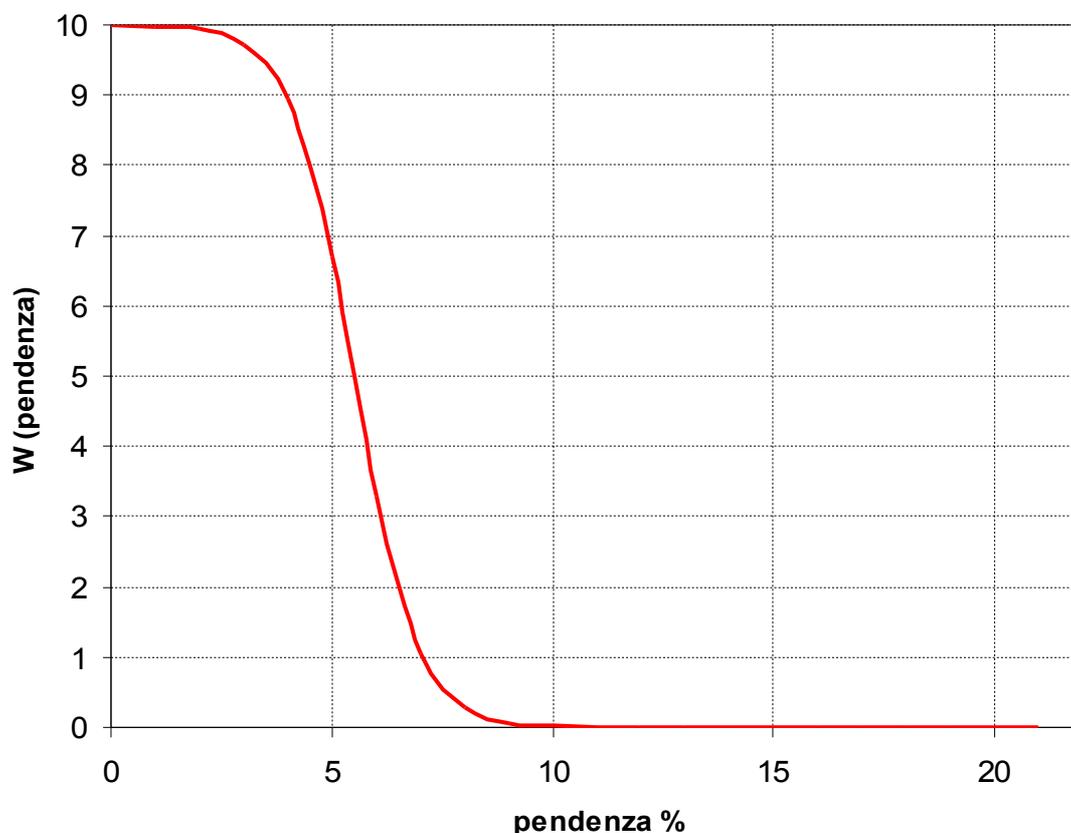


Figura 5.1.1: grafico della eq.[1] con i valori sovrariporati.

Il file sites generato è stato interpolato in un raster di celle di 5m con la funzione *s.surf.rst*, utilizzando una tensione di 25 e il valore di smoothing variabile per ogni punto. Il dem di celle di 5 m elaborato in GRASS è stato esportato in ArcGis tramite l'apposita funzione del programma.

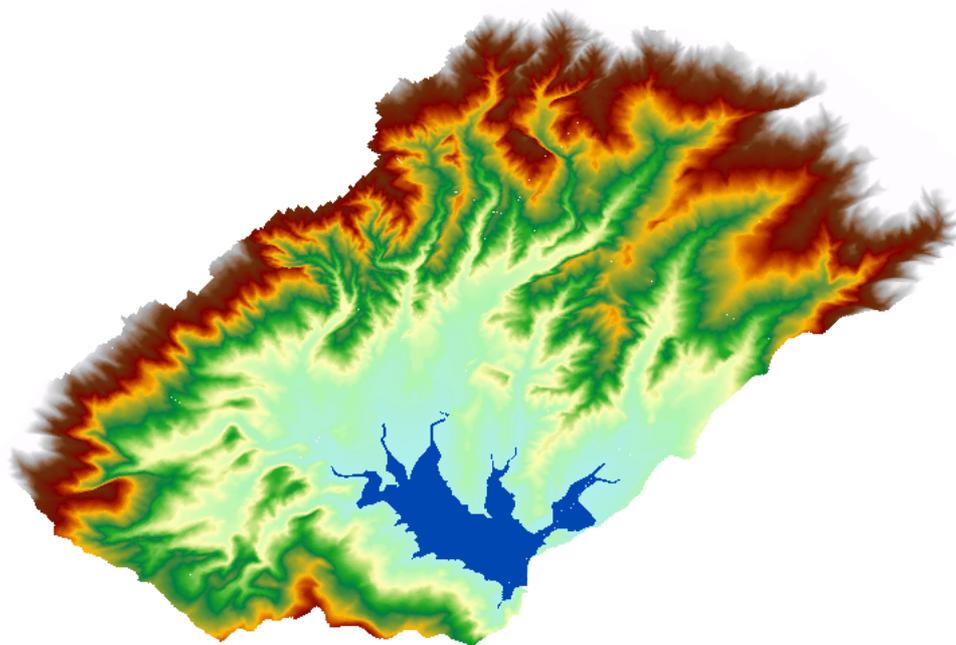


Figura 5.1.2: Modello Digitale del Terreno con celle 5x5m.

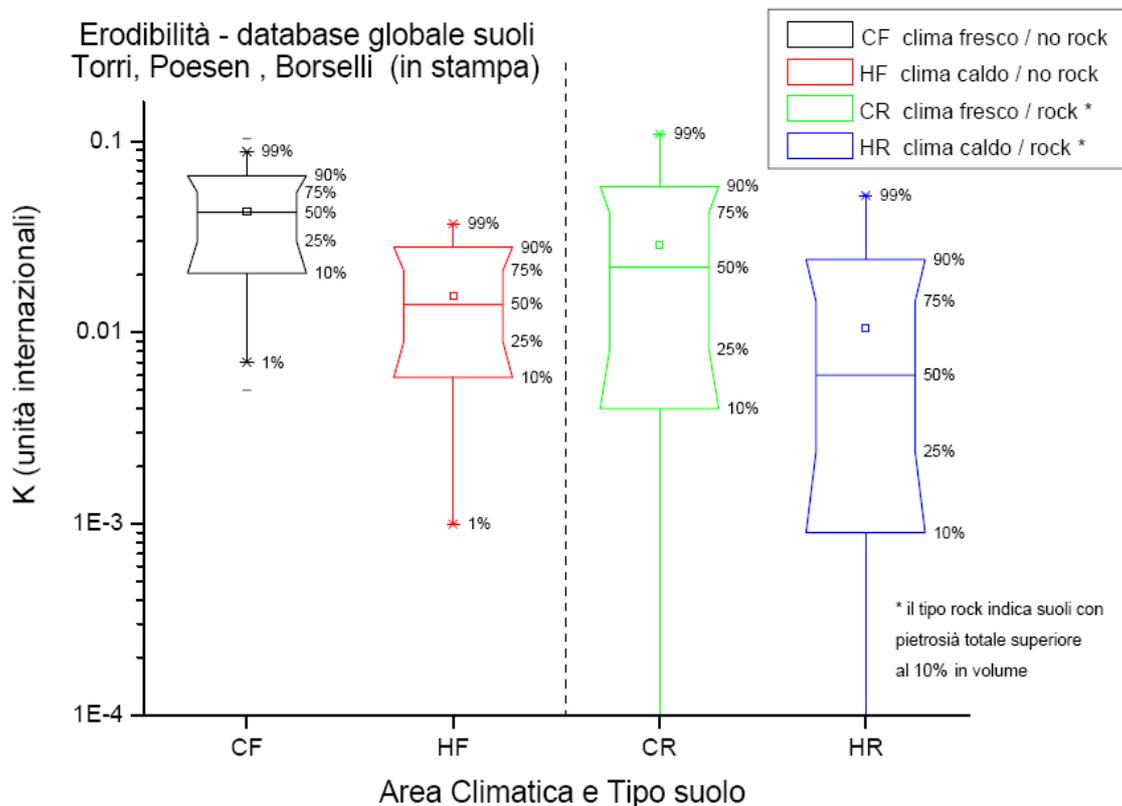
5.2. CARTA DELLA ERODIBILITÀ DEI SUOLI - FATTORE K

L'erosività è la suscettibilità di un suolo al distacco e al trasporto a opera dell'azione battente della pioggia e del deflusso superficiale ed è quindi strettamente legata alle caratteristiche chimiche e fisiche del suolo stesso. Nella USLE il fattore K viene definito come il tasso di perdita di suolo, misurato in $t\ ha^{-1}$, per pioggia di erosività unitaria, in una parcella standard. La parcella standard è lunga 22,13 m, ha una pendenza del 9% ed è mantenuta priva di vegetazione con lavorazioni a rittochino, ovvero nel senso della massima pendenza (WISCHMEIER, SMITH, 1978).

Vari autori indicano che il fattore K è strettamente correlato alle proprietà fisiche strutturali e chimiche del suolo: tessitura del terreno, contenuto di sostanza organica, struttura, permeabilità e drenaggio. In origine la valutazione di K veniva effettuata con un semplice nomogramma (WISCHMEIER, SMITH, 1978). RENARD et al. (1997), autori del manuale della RUSLE2 (Revised Universal Soil Loss Equation), hanno apportato delle modifiche alla formula per la stima di K. Le formulazioni, sono state ottenute attraverso misure sperimentali dell'erosività su un set di 225 suoli, suddivisi in classi tessiturali e sottoposti sia ad eventi di pioggia naturali che artificiali.

TORRI et al. (1997) hanno proposto un'altra formula, analizzando un dataset di valori di K stimati per 239 suoli; secondo gli autori, la tessitura e il contenuto di sostanza organica del terreno sono i parametri più facilmente reperibili e, soprattutto, sono quelli maggiormente correlati all'erosività del suolo. Recentemente gli stessi autori (Torri, Poesen e Borselli, in stampa) hanno esteso l'analisi del database globale anche ai suoli con pietrosità totale >10% in volume. L'insieme dei valori è stato analizzato utilizzando vari metodi statistici. Tuttavia la maggiore segmentazione di dati si ottiene considerando la loro provenienza geografica e il gruppo climatico (classificazione koppen) di appartenenza. Questi due ultimi algoritmi sono stati utilizzati per la realizzazione della carta della erosività dei suoli dell'area di studio. Per la costruzione della carta sono stati utilizzati i risultati del rilevamento pedologico. Per ogni unità cartografica pedologica sono state definite le caratteristiche tessiturali medie degli orizzonti superficiali e il loro contenuto di sostanza organica. Tali caratteristiche sono gli input base per la stima delle caratteristiche di erosività dei suoli. La maggior dipendenza è sostanzialmente su base climatica e sull'abbondanza di elementi litici (scheletro + pietrosità + rocciosità).

Nella figura successiva sono indicati i raggruppamenti climatici/elementi litici propri dei nostri ambienti e si evidenzia la differenza delle varie popolazioni statistiche dei valori di K presenti nel dataset utilizzato. In particolare i dati misurati di erosività dei suoli italiani si associano al gruppo indicato come HF.



Valori di K per combinazioni Area climatica/Pietrosità

Sulla base delle esperienze sopra richiamate il dott. Borselli del CNR-IRPI di Firenze ha sviluppato un software specifico (KQUERY versione 1.2) che permette, conoscendo il raggruppamento climatico, la pietrosità totale (R%), il contenuto di sostanza organica (om%) e il logaritmo del diametro medio geometrico della distribuzione tessiturale del suolo (Dg), di interrogare il database e ottenere la distribuzione dei valori di K per valori di input simili.

Di seguito è presentato l'output del programma KQUERY 1.2 in formato tabellare e in formato grafico per la unità 2 cartografata nel Bacino di Bilancino:

KQUERY 1.2 (2004,2005) - by L. Borselli CNR-IRPI (Florence,IT) borselli@irpi.cnr.it

Condition chosen for Query K database: hot/temperate soil with rock fragment <10

Dg value: -1.700

Om (%) value: 6.000

Sg value: 1.122

Derived K statistic from computed population:

mean K 0.01859

std dev K 0.00349

modal K 0.01974

minimum K 0.00595

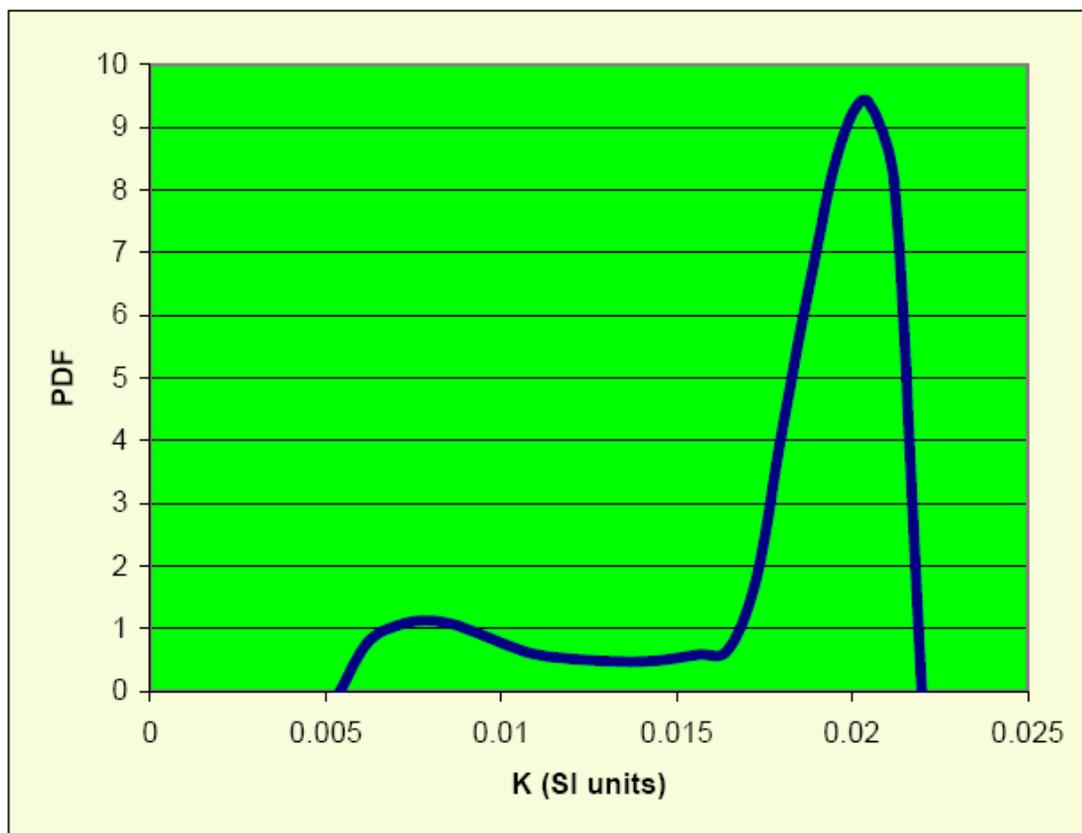
K q=0.10 0.01189

K q=0.25 0.01906

K q=0.50 0.01981

K q=0.75 0.0206

K q=0.90 0.021
 maximum K 0.02127



L'applicazione del modello KUERY ha permesso di effettuare una stima del valore K per ogni unità pedologica della banca dati del Bilancino e di associare, ad ogni unità cartografica, un valore di riferimento.

I valori di K utilizzati sono quelli mediani, fanno eccezione i casi in cui si riscontrano potenziali condizioni di instabilità di struttura (legati ad un alta concentrazione di sodio scambiabile – ESP: *exchangeable-sodium percentage*), quando il modello verifica tali condizioni il valore K di output è quello corrispondente al 90 percentile.

Valori di K per l'area in studio

La tabella di corrispondenza tra unità cartografiche e valori del fattore K e la rappresentazione geografica degli stessi per il Bilancino sono riportati nelle pagine seguenti .

Gruppo R<10%	Unità Cartografica	Dg	S.O. %	R%	K stimato
	unit2 (MAN1)	-1.7	6		0.021
	unit4 (PLL1)	-1.265	4		0.02119
	unit5 (PNN1)	-2.33	3		0.01551

Progetto BABI – Relazione Attività di Progetto

Gruppo R<10%	Unità Cartografica	Dg	S.O. %	R%	K stimato
	unit6 (PNN2)	-2.3	2		0.02128
	unit7 (SER1)	-2.54	2.9		0.01578
	unit8 (MIG1)	-1.655	7		0.01662
	unit10 (APP1)	-2.48	6		0.01983
	unit11 (AGL1)	-1.715	2.5		0.02526
	unit12 (CST1)	-1.7	0.3		0.02266
	unit15 (GAV1)	-2.135	2.5		0.01684
	unit16 (PAL1)	-2.045	1.3		0.01769
	unit17 (PAL2)	-2.015	1.9		0.01767
	unit20 (PIM1)	-2.075	3.6		0.01935
	unit22 (FIU1)	-2.315	1.5		0.01543
	unit23 (PAO1)	-1.505	1.5		0.03161
	unit24 (CAV1)	-2.06	2.4		0.02342
	unit25 (CA01)	-1.7	1.35		0.02352
	unit26 (POD1)	-1.295	1.8		0.02978
	unit28 (CMT1)	-1.565	1.75		0.02702

Gruppo R>10%	Unità Cartografica	Dg	S.O. %	R%	K stimato
	unit1 (PRA1)		2	20	0.01542
	unit3 (PLB1)		5	20	0.01917
	unit9 (VAL1)		6	35	0.01401
	unit13 (PET1)		3.5	35	0.0051
	unit14 (ERB1)		1.3	40	0.0073
	unit18 (SOD1)		2.9	32	0.00743
	unit19 (PNN3)		2.5	22	0.01547
	unit21 (MTB1)		1.5	22	0.00691
	unit27 (CAS1)		3.2	53	0.01701

Progetto BABI – Relazione Attività di Progetto

Gruppo R>10%	Unità Cartografica	Dg	S.O. %	R%	K stimato
	unit29 (COR1)		3.1	35	0.01447

Tabella di corrispondenza tra unità cartografiche pedologiche e valori di K. Sono indicati anche i valori di ingresso per l'applicazione del modello KUERY, ovvero la pietrosità totale (R%), il contenuto di sostanza organica (SO%) e il logaritmo del diametro medio geometrico della distribuzione tessiturale del suolo (Dg) per suoli con R < 10%.

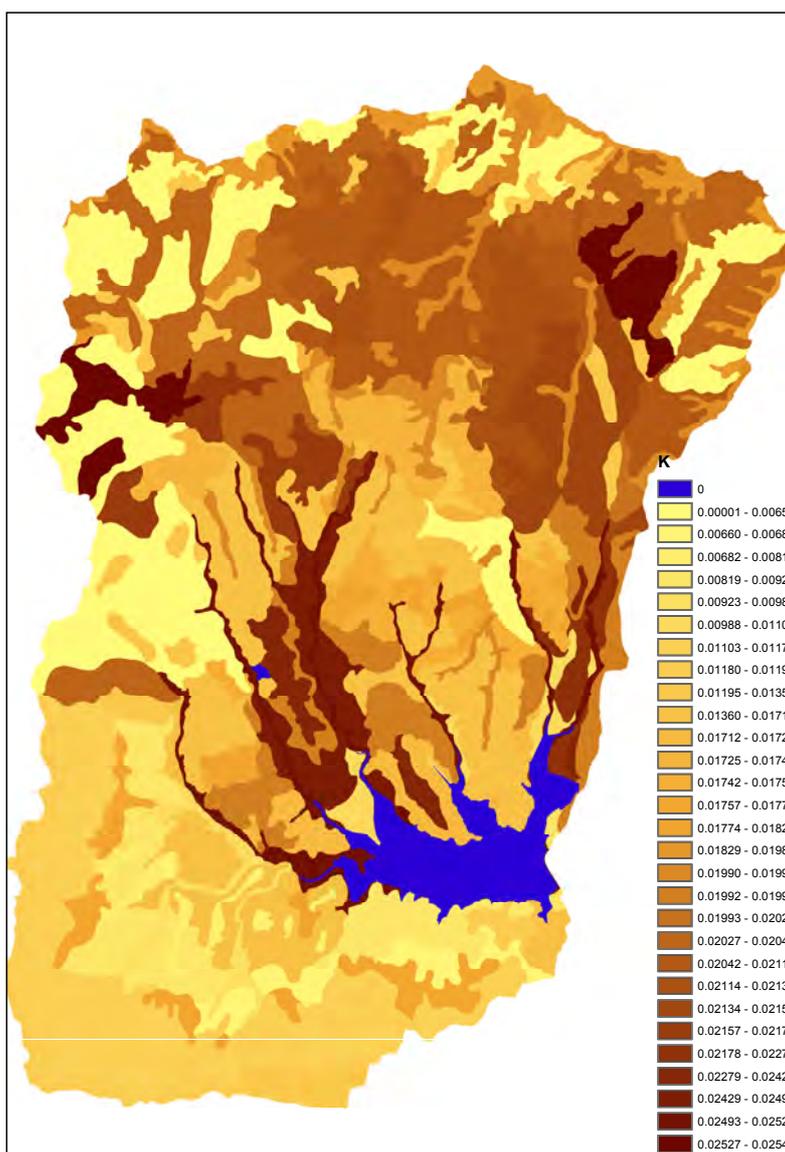


Figura 5.2.1: Carta del valore di K su base raster.

5.3. CALCOLO DEL FATTORE R (EROSIVITÀ DELLE PIOGGE)

Il WP4 è stato avviato con la raccolta e la elaborazione dei dati pluviometrici per un consistente numero di stazioni del bacino di Bilancino caratterizzate da serie storiche con registrazione automatica ogni 15 -30 minuti (all'interno e all'intorno). Tali analisi di dati, effettuate con un software specifico sviluppato presso il CNR-IRPI, hanno permesso di ottenere il fattore di erosività R medio annuale per ogni stazione. Inoltre è stata verificata una serie di relazioni statistiche per la stima del valore medio annuale di R e del EI_{30} per ogni evento a partire da informazioni aggregate di più facile reperimento. Questo tipo di analisi risulta necessario per estendere il calcolo del fattore R ad un numero di anni maggiore, essendo disponibili per gli anni anteriori al 1992, solo serie storiche con dati di precipitazione giornaliera. Una analisi dei tempi di ritorno dei valori di R annuali, per le varie stazioni considerate, ha permesso di derivare i valori di R relativi al tempo di ritorno di 30 anni (R_{T30}). Una spazializzazione preliminare dei valori di R medio annuale e R_{T30} è stata effettuata con la tecnica di interpolazione geostatistica dei Natural Neighbours (Sibson, 1981; Wilson 1992; Braun & Sambridge, 1995.). La prima spazializzazione dei dati è stata utilizzata per verificare l'esistenza di influenze legate alla orografia e alla esposizione delle correnti prevalenti.

5.3.1 IL FATTORE R

Il fattore R, o indice di aggressività della pioggia, è strettamente legato alle modalità in cui l'azione battente della pioggia influenza il processo di erosione. L'azione erosiva della pioggia è legata sia all'intensità sia alla durata. La metodologia di calcolo impiegata partendo dai dati pluviometrici in formato digitale discretizzati ogni 30 minuti per le varie stazioni presenti nel bacino è quella di RENARD et al. (1997), utilizzata attualmente nel modello RUSLE2.

Secondo WISCHMEIER e SMITH (1978) si deve considerare un numero minimo di 22 anni di osservazione per cogliere l'apparente ciclicità dei dati di pioggia. Inoltre dagli stessi autori viene stabilito un intervallo di almeno 6 ore fra due eventi piovosi distinti e un limite minimo di 13 mm affinché una pioggia possa essere considerata erosiva. Tale limite è stato dibattuto da molti autori. Nel caso dell'Italia la tendenza attuale è sostituire tale limite con un valore variabile tra 0.2 e 1.0 mm, che corrisponde al limite strumentale della maggior parte dei pluviometri/pluviografi registratori (Calzolari et al. 2001b, Calzolari et al. 2003)

Data la complessità della procedura di calcolo dell'indice di aggressività, legata anche alla difficoltà di reperire serie di dati così lunghe con registrazioni così frequenti, in letteratura esistono numerosi metodi semplificati per il calcolo di R. La maggior parte di questi metodi sono basati sul riconoscimento di una relazione, riferita a zone climatiche omogenee, fra l'indice R e i dati pluviometrici più facilmente reperibili (altezza di pioggia media annua, mensile o giornaliera). Per questo motivo verranno verificate anche le relazioni semplificate tra pluviometri e energia già sviluppate per l'ambiente collinare della Regione Emilia Romagna (Williams & Sheridan 1991; Calzolari et al. 2001b, Calzolari et al. 2003). Tuttavia data la disponibilità di dati in formato digitale sufficientemente dettagliata per un gruppo di stazioni automatiche all'interno del bacino sono state derivate delle relazioni statistiche tra le quantità di pioggia, giornaliera o su base di evento, e il valore di erosività. Queste relazioni valide su base locale sono uno strumento fondamentale per estendere il calcolo della erosività totale annua anche alle stazioni con dati forniti su base giornaliera anteriori al 1992.

Una analisi della distribuzione di R all'interno del bacino ha permesso di derivare la mappa della distribuzione media di erosività. Per ottenere quest'ultimo risultato si è fatto uso di tecniche geostatistiche (kriging).

L'analisi mediante la distribuzione di Gumbel (GEV1) dei valori annuali di pioggia calcolati per ogni stazione ha permesso di derivare anche il valore di R stimato con tempo di ritorno 30 anni. Da tali valori è stata ricavata con tecniche geostatistiche una mappa della distribuzione di R_{30} all'interno del bacino.

5.3.2 DATI DISPONIBILI

Per il calcolo del fattore R nell'area del bacino di Bilancino si è fatto uso dei dati disponibili per le seguenti stazioni del servizio idrografico del bacino dell'Arno. Le stazioni automatiche hanno registrazione digitale con time step di 15 o 30 minuti. Per le altre stazioni è disponibile il solo dato giornaliero. L'elenco delle stazioni e delle principali caratteristiche strumentali è presentato nella Tabella 5.3.1

Stazione	coord (GB)		Quota s.l.m.	Codice manuale	Codice Auto	annualità utilizzate	Anni disponibili dati giornalieri
	E	N					
BORGIO SAN LORENZO	1691825	4869889	193	1000	999	19	1992-2002 (staz.999)- 1980-1988 (staz.1000)
CAVALLINA	1678955	4872709	270		911	17	1980-1985 (910);1992-2002(911)
LE CROCI BARBERINO	1682066	4875277	406		926	11	1992-2002
LE CROCI DI CALENZANO	1677645	4868134	440	1190	1189	12	1980-1999(1190);2001-2002(1189)
MANGONA	1676015	4879749	525		921	11	1992-2002(921)
MARCOIANO	1684565	4880319	535		925	11	1992-2002(925)
MONTE DI FO'	1682645	4882969	764	915	916	22	1980-1991 (915), 1993-2002(916)
PONTE A OLMO	1684655	4879844	444	930	931	23	1980-1991(930), 1992-2002(931)
RAZZUOLO	1697755	4878364	637	980	979	23	1980-1991(980), 1992-2000(979)
RONTA	1695295	4875649	364	990	991	22	1980-1990(990), 1992-2000(979)
S. AGATA DI M.LLO	1687110	4876754	341	960	961	23	1980-1991(960), 1992-2002(961)
S. PIERO A SIEVE	1687120	4870984	211	950		23	1980-1991
S. PIERO A SIEVE AUTO	1686738	4870807	215		951	23	1992-2002
SAN QUIRICO DI VERNIO	1672610	4880159	434	1170		16	1981-1982;1984-1986;1988-1998
VAGLIA	1683015	4864544	315	940	941	20	1982-1984,1986-1991(940);1992-2002(941)
VAIANO	1670715	4870619	150	1180	1181	16	1980-91;93-1994 (1180);2001-2002 (1181)
VERNIO	1672737	4879226	430		1171	6	1996-2000
VETTA ALLE CROCI	1688325	4859899	514	970		20	1980-88;1990-2000

Tabella 5.3.1: elenco delle stazioni i cui dati sono stati utilizzati per il calcolo del Fattore R

5.3.3 CALCOLO DEL FATTORE R

Il fattore R dell'equazione di Wischmeier è definito come la media annuale della sommatoria degli storm erosion index (EI), media calcolata per almeno 20 anni. L'EI di un evento viene comunemente calcolato come il prodotto fra l'energia cinetica, e, di un evento e la massima intensità di pioggia nella mezz'ora, i_{30} :

$$E_i = E_i 30 \tag{1}$$

espressa in $Mj \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$

l'energia di un evento è data dalla sommatoria del prodotto dell'energia cinetica di un dato intervallo i esimo (e_i) per l'ammontare di precipitazione dello stesso intervallo (p_i):

$$E = \sum_i e_i P_i \tag{2}$$

espressa in Mj/ha

l'energia cinetica della pioggia, e_i , è legata all'intensità, p_i , dalla relazione

$$E = \sum_{i=1}^n 0.29 P_i (1 - 0.72 e^{-0.05 \frac{P_i}{\Delta t}}) \tag{3}$$

($Mj \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)

dove P_i è la precipitazione in mm all'interno del singolo intervallo temporale Δt .

Per calcolare correttamente il fattore R sono quindi necessarie registrazioni di lungo periodo ed in continuo di piogge, in modo da definire correttamente tutti i termini delle equazioni sopra riportate.

5.3.4 SOFTWARE PER IL CALCOLO AUTOMATICO DELL' EI_{30}

Un software specifico sviluppato presso CNR-IRPI (**DISRAINS** 1.3 – by L. Borselli 2001, 2004) permette in automatico di selezionare gli eventi, determinarne la durata, l'ammontare totale, e calcolare il valore EI_x relativo.

Il software DISRAINS permette di analizzare la serie digitale e ricampionare opportunamente il pluviogramma o, in alternativa, attivare algoritmi di aggregazione e disaggregazione al fine di simulare la registrazione a Δt differenti da quello originario. Tale software permette di operare con registrazioni provenienti da varie tipologie di pluviometri: registrazioni a time step costante o variabile (es. registrazione tempo di basculata), analisi di eventi singoli o serie combinate di eventi intervallate da hiatus come nel caso delle registrazioni pluviografiche di lungo periodo disponibili.

Nel caso specifico di questo studio le registrazioni disponibili sono quantità di pioggia registrate a time step costanti, con intervallo di 15 minuti (0.25 ore) o 30 minuti (0.5 ore).

Nel nostro caso sono state effettuate le seguenti elaborazioni:

- Selezione degli eventi significativi con precipitazione totale, $P > 0.2$ mm i cui estremi temporali sono definiti se intervallati da almeno 6 ore senza pioggia. (standard USDA).
- Calcolo durata evento, P totale e EI_{30} .
- Calcolo EI_{30} (o valore R) annuale complessivo.

Un esempio di file di input per il programma DISRAIN

File dati ORIGINALE (estratto)

Tipo: precipitazione [mm]

Codice: 921

Nome: Mangona_auto

Strumento: Pe

Aggregazione: at_30min

Data_in: 01/01/1999 00:00

Data_fin: 31/12/1999 24:00

R.4000

.6000

.6000

.2000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

.2000

.2000

0.0000

0.0000

.....

File TEMPORANEO GENERATO (estratto)

h(ore)	P(mm)
0.50	0.00
1.00	0.60
1.50	0.60
2.00	0.20
2.50	0.00
3.00	0.00
3.50	0.00
4.00	0.00
4.50	0.00
5.00	0.00
5.50	0.00
6.00	0.00
6.50	0.00
7.00	0.00
7.50	0.00
8.00	0.20
8.50	0.20
9.00	0.00
9.50	0.00

Un esempio di file di Output del programma DISRAIN:

h_{INI}	h_{FIN}	P	EI ₃₀	E
1.0000	2.0000	1.40	0.1714	0.1294
8.0000	8.5000	0.40	0.0068	0.0171
35.0000	40.0000	1.80	0.1232	0.1540
177.0000	181.5000	1.20	0.0335	0.0837
190.5000	204.0000	2.80	0.6392	0.2663
210.0000	212.0000	2.40	0.9408	0.2613
225.0000	261.5000	63.40	38.7405	7.1411
274.5000	281.0000	3.20	0.4774	0.2984

.....

Il file di output fornisce una lista di tutti gli eventi di pioggia significativi per l'anno considerato. Nella lista sono presentati gli estremi temporali dell'evento (in ora giuliana), la precipitazione totale (in mm), il valore EI₃₀ e l'energia cinetica della pioggia corrispondente per l'evento. La somma della colonna EI₃₀ fornisce il valore complessivo di R per l'anno analizzato.

5.3.5 VALORI DI R OTTENUTI PER LE VARIE STAZIONI AUTOMATICHE

Il fattore R medio annuo e la pioggia media annua sono stati calcolati per ogni stazione per gli anni indicati nella Tabella 5.3.2. È da notare che alcuni anni non presentano una serie di dati di pioggia completa e che per la stazione delle Croci di Calenzano ci sono soltanto due anni disponibili.

Progetto BABI – Relazione Attività di Progetto

Stazione	Pioggia media annua (mm)	R medio annuo (unità SI)	Periodo
Mangona	1193.5	2117.6	92, 95-2002(96,97,98 incompleti)
Le Croci di Barberino	942.7	1596.3	96-2002 (98 incompleto)
Cavallina	1087.7	2034.8	92, 95-2002(96,97,98,00 incompleti)
Marcoiano	1111.0	2198.2	92, 95-2002(96,97,98,00 incompleti)
Ponte a Olmo	1131.8	1910.2	92, 95-2002(96,97,98,00 incompleti)
S.Agata di M.Ilo	958.8	1617.8	92, 95-2002(96,98,00 incompleti)
Monte di Fò	1171.0	2187.2	95,97-2002(96,97,98,00 incompleti)
Vaglia	1064.2	1925.7	92, 95-2002(96,97,98,00 incompleti)
S.Piero a Sieve	960.7	1564.7	92,95-97,99-2002(66,97,98,00)
Le Croci di Calenzano	849.3	1392.3	2001-2002(02 dati incompleti)
Vernio	1395.0	2737.3	96,98-2002(98 molti dati mancanti)

Tabella 5.3.2: stazioni con dati in automatico utilizzate per il calcolo di R

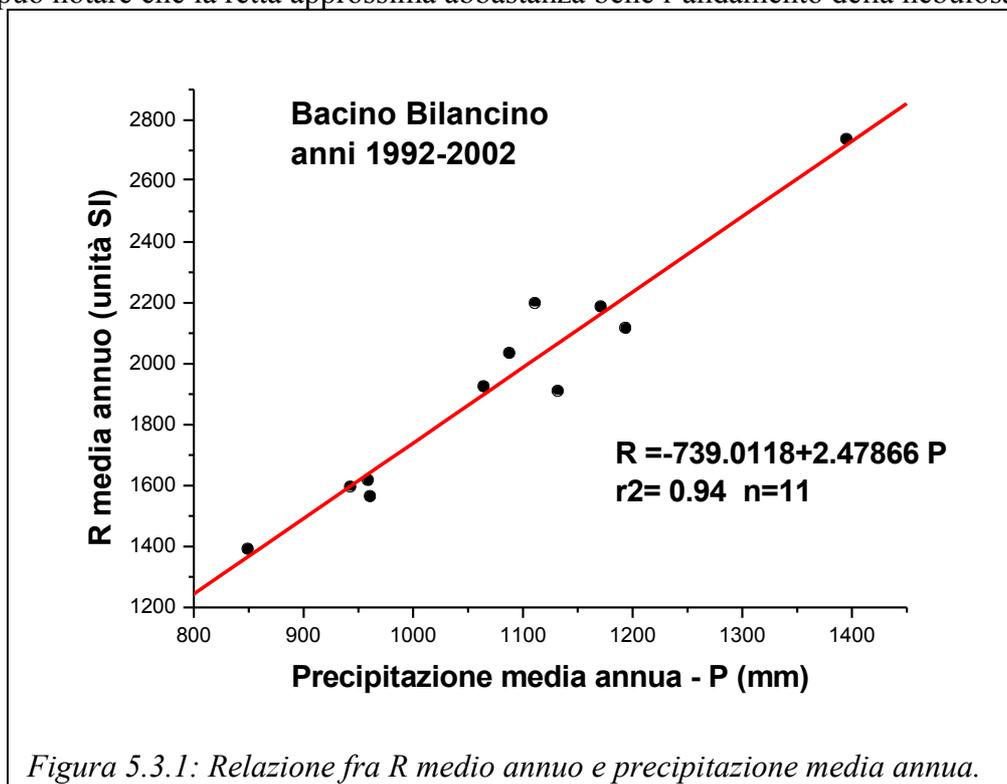
5.3.6 RELAZIONI STATISTICHE PER LA STIMA DI EI₃₀

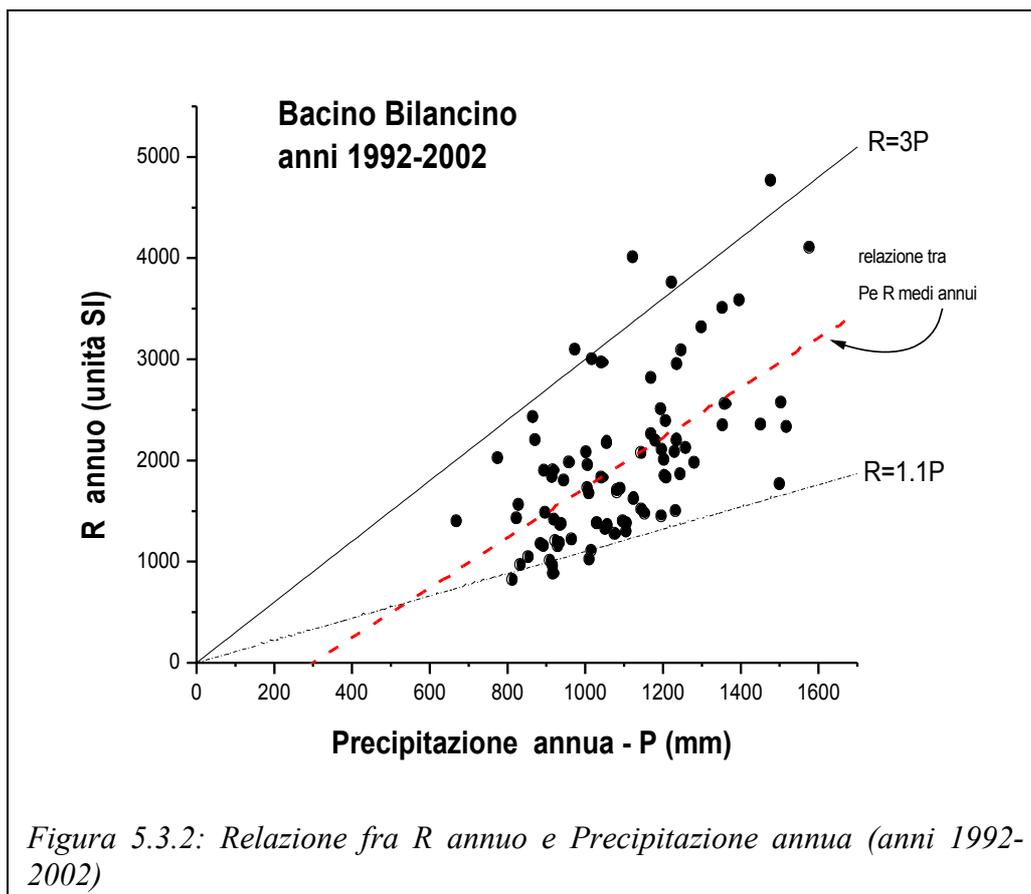
In questo capitolo vengono riportate alcune relazioni statistiche fatte tra EI₃₀ e la piovosità. Lo scopo di queste elaborazioni è quello di poter avere maggiori informazioni sui dati ottenuti dal semplice calcolo puntuale dell'erosività per ogni stazione, oltre che di verificarne la qualità.

Questo tipo di elaborazioni possono essere confrontate con relazioni ottenute in altri lavori del CNR in ambienti diversi da quello studiato, e stimare se esiste una correlazione fra di esse. Inoltre trovando una relazione che permette di calcolare l'erosività da dati di pioggia giornalieri, è possibile utilizzare i dati di stazioni con serie storiche giornaliere di precipitazione, aumentando così notevolmente i dati di input.

RELAZIONE TRA R E P ANNUALI – STAZIONI AUTOMATICHE

Nei grafici riportati si evidenzia la relazione fra l'erosività e la pioggia. Nel grafico (Figura 5.3.1) è stata estrapolata la retta che approssima l'andamento dei punti, che rappresentano la relazione fra R medio annuo e pioggia media annua per le 11 stazioni considerate. La stessa retta è stata rappresentata nel grafico (Figura 5.3.2) che mette in relazione il valore di R annuo con la pioggia annua. Si può notare che la retta approssima abbastanza bene l'andamento della nebulosa dei punti.





RELAZIONE R E P RELATIVO AD UN EVENTO

In generale i valori di EI_{30} aumentano all'aumentare della quantità di precipitazione, P (in mm), e la relazione assume la seguente forma:

$$EI_{30} = aP^b + \varepsilon$$

[4]

dove la prima parte dell'equazione è la componente deterministica, mentre la seconda parte (il termine ε) è la componente random della relazione, ed a e b sono i parametri dell'equazione (Richardson et al., 1983).

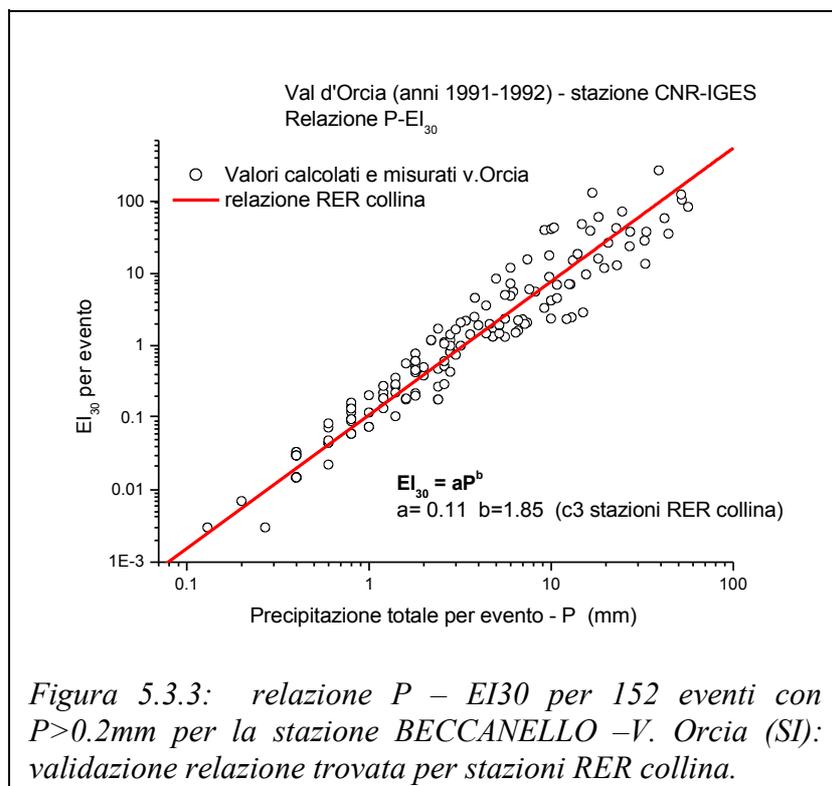
La componente random ε di una data osservazione è la differenza fra l'EI osservata e l'EI predetta, usando la componente deterministica dell'equazione [4]. Se a e b sono conosciute e se è identificata la distribuzione statistica di ε , si può arrivare ad una stima di EI che comprenda sia la parte deterministica che la parte random della relazione fra P ed EI (Richardson et al., 1983).

In un precedente studio condotto per la regione Emilia Romagna (Calzolari et al. 2001b, Calzolari et al. 2003) una relazione generale per la [4] è stata validata facendo uso di dati di alcune delle stazioni appenniniche emiliane e di una stazione sperimentale del CNR ubicata nella Toscana meridionale.

I risultati di questa analisi indicavano una possibile validità interregionale della seguente relazione generale :

$$EI_{30} = 0.11P^{1.85}$$

[5]

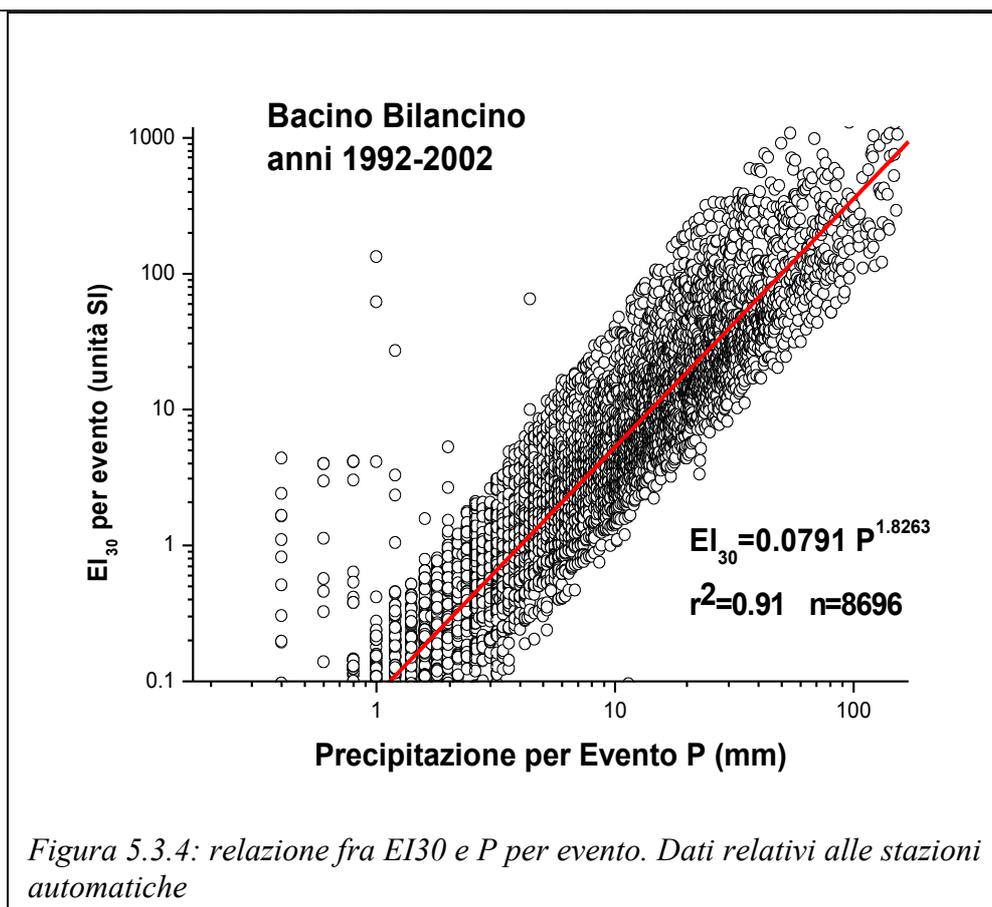


La validità della relazione [5] è stata controllata per le varie stazioni ubicate nel bacino del Mugello e per le quali è disponibile la registrazione in formato digitale con time step di 15 o 30 minuti. Per le varie stazioni studiate si sono ricavati i diversi valori dei coefficienti a e b della eq. [4], vedasi la Tabella 5.3.3.

Stazione	Pioggia media annua (mm)	R medio annuo (unità SI)	Periodo	Coefficienti eq. [4]	
				a	b
Mangona	1193.5	2117.6	92, 95-2002(96,97,98 incompleti)	0.0811	1.8225
Le Croci di Barberino	942.7	1596.3	96-2002 (98 incompleto)	0.0823	1.806
Cavallina	1087.7	2034.8	92, 95-2002(96,97,98,00 incompleti)	0.0842	1.8145
Marcoiano	1111.0	2198.2	92, 95-2002(96,97,98,00 incompleti)	0.0721	1.8623
Ponte a Olmo	1131.8	1910.2	92, 95-2002(96,97,98,00 incompleti)	0.078	1.8173
S.Agata di M.Ilo	958.8	1617.8	92, 95-2002(96,98,00 incompleti)	0.0774	1.8341
Monte di Fò	1171.0	2187.2	95,97-2002(96,97,98,00 incompleti)	0.0712	1.8319
Vaglia	1064.2	1925.7	92, 95-2002(96,97,98,00 incompleti)	0.0814	1.8387
S.Piero a Sieve	960.7	1564.7	92,95-97,99-2002(66,97,98,00)	0.0793	1.829
Le Croci di Calenzano	849.3	1392.3	2001-2002(02 dati incompleti)	0.111	1.7483
Vernio	1395.0	2737.3	96,98-2002(98 molti dati mancanti)	0.0787	1.8116
			Media	0.081518182	1.81965455
			Deviazione standard	0.01055716	0.02830252

Tabella 5.3.3: Coefficienti a e b della equazione [4] per ogni stazione.

La Figura 5.3.4 mostra la relazione fra EI30 e P per ogni evento di tutte le stazioni, si può notare che i coefficienti a e b ottenuti non differiscono molto da quelli medi in Tabella 5.3.3.



Questo risultato conferma la validità della relazione [5], anche se per le stazioni del bacino di bilancino risulta leggermente più significativa la relazione [6]:

$$EI_{30} = 0.0791P^{1.8263}$$

[6]

Assumendo che il totale di precipitazione giornaliera rappresenta un evento singolo, l'equazione [6] può essere usata per calcolare l'indice di erosione EI relativamente per ogni evento (Richardson et al., 1983).

RELAZIONE R E P GIORNALIERA

La equazione 6, per quanto utile nella stima dei valori di erosività sui singoli eventi, non risulta utilizzabile quando a disposizione si hanno solo dati di precipitazione cumulata giornaliera (ovvero valori cumulati nelle 24 h) che sono disponibili per la maggior parte delle stazioni per gli anni anteriori al 1995. Quindi mentre per le stazioni in automatico il calcolo dei valori di R può essere fatto direttamente dalle registrazioni in digitale, è necessario cambiare completamente metodologia quando si hanno dati da stazioni di vecchio tipo. Un evento nella maggior parte dei casi è contenuto in un arco temporale delle 24h, tuttavia è frequente il caso di eventi distribuiti: su più giorni, a cavallo di due giorni contigui, più eventi di breve durata entro l'arco di 24h. Una relazione statistica tra pioggia giornaliera e erosività cumulata entro le 24h risulta di estrema utilità per estendere il calcolo del valore di R anche alle stazioni di vecchio tipo.

Per raggiungere questo obiettivo i dati in output dal programma **DISRAIN**, prima descritto, sono stati ricalcolati, mediante uno specifico algoritmo adattativo di aggregazione/disaggregazione, per ottenere i valori di precipitazione e di erosività cumulata relativi a ogni time step di 24h (giorno giuliano).

Tutti i dati delle stazioni automatiche disponibili sono stati utilizzati. Considerando tutti i giorni giuliani con $P > 1\text{mm}$ sono stati derivati 13312 coppie di valori (P, EI_{30}).

Si nota che esiste una forte relazione (Figura 5.3.5) tra i parametri.

Nel grafico in Figura 5.3.5 sono rappresentate anche le curve di potenza che indicano mediante la tecnica *quantile regression*, rispettivamente i quantili 0.01, 0.5 e 0.99.

La retta relativa al quantile 0.5 è relativa al trend mediano dei dati. La tecnica di fitting impiegata è più robusta rispetto a quella impiegata per derivare la eq.6 perché eventuali outliers hanno una minor influenza e la funzione così determinata ha una maggiore attendibilità.

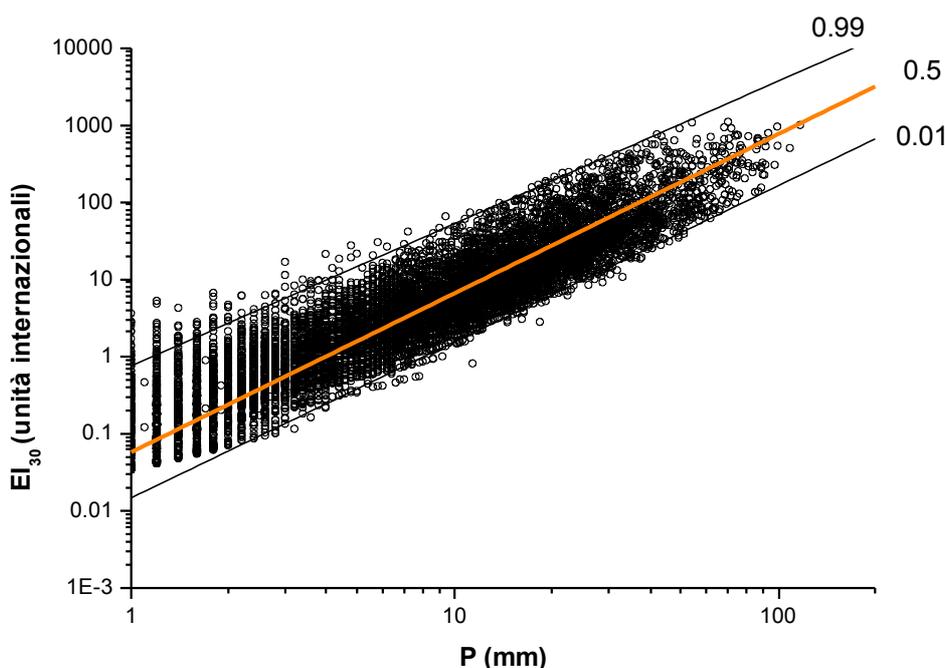


Figura 5.3.5: relazione tra Precipitazione giornaliera e EI_{30} cumulato (aggregato/disaggregato su base giornaliera).

L'equazione relativa al trend mediano dei dati è riportata qui sotto:

$$EI_{30} = 0.0578P^{2.0607} \quad [7]$$

Questa relazione è stata utilizzata successivamente per il calcolo dell'erosività annuale delle stazioni non automatiche di cui è pubblicato solo il valore di precipitazione giornaliero.

L'utilizzo della eq.7 ha permesso di estendere il calcolo di R ad un numero di anni maggiore anche per le stazioni che prima del 1992 fornivano solo dati in forma giornaliera.

In sintesi, sono disponibili i valori di R per un numero di 18 stazioni: automatiche, giornaliera, miste (prima giornaliera poi automatiche). I calcoli non hanno preso in considerazione gli anni anteriori al 1980. I risultati delle analisi sono presentati di seguito nella Tabella 5.3.5.

5.3.7 ANALISI STATISTICA DEGLI ESTREMI DI EROSVITÀ

Un'analisi dei tempi di ritorno dei valori di R annuali, per le varie stazioni considerate, ha permesso di derivare i valori di R relativi a al tempo di ritorno di 30 anni (R_{T30}). Il metodo utilizzato è quello di Gumbel – Grigorten con distribuzione per eventi estremi GEV1). Tale analisi è stata in via preliminare utilizzata da (D'Asaro, 1983; Torri et al. – in stampa)

Progetto BABI – Relazione Attività di Progetto

Stazione	Pioggia media annua (mm)	R medio annuo (unità SI)	coefficienti eq. [8]		R per T=30 (unità SI)	ε
			a	b		
Mangona	1193.5	2117.6	561.6	-1665.7	3582.4	3.00
Le Croci di Barberino	942.7	1596.3	438.5	-1243.4	2739.9	2.91
Cavallina	1087.7	2034.8	628.6	-1786.0	3931.6	3.61
Marcoiano	1111.0	2198.2	553.5	-1768.9	3589.9	3.23
Ponte a Olmo	1131.8	1910.2	418.7	-1573.3	3002.2	2.65
S.Agata di M.Ilo	958.8	1617.8	613.8	-1123.9	3218.9	3.36
Monte di Fò	1171.0	2187.2	850.2	-1503.1	4404.9	3.76
Vaglia	1064.2	1925.7	932.5	-1175.3	4358.0	4.10
S.Piero a Sieve	960.7	1564.7	546.3	-1125.0	2989.8	3.11
Le Croci di Calenzano	849.3	1392.3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Vernio	1395.0	2737.3	628.6	-1786.0	5044.0	3.62

Tabella 5.3.4: valori di R per tempi di ritorno di 30 anni. I dati sono relativi alle stazioni automatiche

Per ogni stazione è possibile derivare il valore di R corrispondente a un dato tempo di ritorno T utilizzando la equazione [8]:

$$R = a \ln(T) + b$$

[8]

I coefficienti a e b relativi a ogni stazione sono indicati nella Tabella 5.3.4.

Il coefficiente ε indicato nella Tabella 5.3.4 è ottenuto dal rapporto tra R per un tempo di ritorno pari a 30 anni (T=30) e il valore della piovosità media annua di ogni stazione. Tale parametro è stato riportato come indice di confronto tra le stazioni con registrazione in automatico.

Progetto BABI – Rapporto Finale

Stazione	coord (GB)		Quota s.l.m.	Codice manuale	Codice Auto	Media		Deviazione standard		CV		annualità utilizzate	Anni disponibili dati giornalieri	R30 T=30 anni
	E	N				P (mm)	R	P(mm)	R	P	R			
BORG SAN LORENZO	1691825	4869889	193	1000	999	955.925	1583.914711	177.4773577	749.7541882	0.185660337	0.473355152	19	1992-2002 (staz.999)- 1980-1988 (staz.1000)	3225.688724
CAVALLINA	1678955	4872709	270		911	1202.164706	2453.339212	249.0475681	1013.309586	0.207165929	0.413032809	17	1980-1985 (910);1992-2002(911)	4672.23358
LE CROCI BARBERINO	1682066	4875277	406		926	999.6818182	1696.882738	116.9086465	532.0781475	0.116945857	0.313562119	11	1992-2002	2862.000704
LE CROCI DI CALENZANO	1677645	4868134	440	1190	1189	1059.245455	1912.357709	186.2078299	508.1743008	0.1757929	0.265731823	12	1980-1999(1190);2001-2002(1189)	3025.132234
MANGONA	1676015	4879749	525		921	1230.527273	2308.367256	126.0669512	679.181514	0.102449538	0.294225935	11	1992-2002(921)	3795.604776
MARCOIANO	1684565	4880319	535		925	1151.036364	2236.471033	109.1069409	553.7796504	0.094790177	0.247613156	11	1992-2002(925)	3449.109859
MONTE DI FO'	1682645	4882969	764	915	916	1117.863636	2037.95929	243.07922	808.7698681	0.217449796	0.396852809	22	1980-1991 (915), 1993-2002(916)	3808.96287
PONTE A OLMO	1684655	4879844	444	930	931	1147.621739	2044.711908	164.4938765	617.101413	0.143334577	0.301803599	23	1980-1991(930), 1992-2002(931)	3396.009545
RAZZUOLO	1697755	4878364	637	980	979	1242.908696	2223.339692	222.1023657	670.7848263	0.178695641	0.301701458	23	1980-1991(980), 1992-2000(979)	3692.190567
RONTA	1695295	4875649	364	990	991	991.78	1751.31	161.5290145	588.0922735	0.162867489	0.335801533	22	1980-1990(990), 1992-2000(979)	3039.083961
S. AGATA DI M.LLO	1687110	4876754	341	960	961	944.6954545	1690.629181	164.5626743	678.9373791	0.174196535	0.401588584	23	1980-1991(960), 1992-2002(961)	3177.332107
S. PIERO A SIEVE	1687120	4870984	211	950		990.9873052	1544.781862	225.1983138	497.2411376	0.227246416	0.321884371	23	1980-1991	2633.615496
S. PIERO A SIEVE AUTO	1686738	4870807	215		951	1183.20625	2457.006737	213.3815471	795.613398	0.180341802	0.323814089	16	1981-1982;1984-1986;1988-1998	4199.20094
SAN QUIRICO DI VERNIO	1672610	4880159	434	1170		1076.24	2154.158355	191.8596757	846.2646463	0.178268486	0.392851642	20	1982-1984,1986-1991(940);1992-2002(941)	4007.266115
VAGLIA	1683015	4864544	315	940	941	1120.26875	2428.49563	240.3822726	818.3463229	0.214575541	0.33697665	16	1980-91;93-1994 (1180);2001-2002 (1181)	4220.469249
VAIANO	1670715	4870619	150	1180	1181	1395.016667	2737.291883	186.1498688	1050.826474	0.133439172	0.383892737	6	1996-2000	5038.338845
VERNIO	1672737	4879226	430		1171	1049.08	1764.875589	208.6447008	613.1859012	0.198883499	0.347438599	20	1980-88;1990-2000	3107.599235
VETTA ALLE CROCI	1688325	4859899	514	970										

Tabella 5.3.5: elenco delle stazioni per il quale sono stati calcolati i valori di R e R30.

N.B.: I valori di R e R30 riportati in tabella sono quelli definitivi utilizzati per l'analisi geostatistica e la produzione delle mappe di R e R30 di bacino.

5.3.8 DISTRIBUZIONE AREALE DEI VALORI DI R E R30 ALL'INTERNO DEL BACINO DI BILANCINO

I valori medi annui del fattore R per le varie stazioni al momento disponibili sono stati ridistribuiti sul bacino con una particolare procedura geostatistica di seguito descritta. La prima spazializzazione dei dati è stata realizzata per verificare l'esistenza di influenze legate alla orografia e alla esposizione delle correnti prevalenti. Le stazioni considerate sono sia esterne (es: Vernio, S.Piero a Sieve) che sono interne al bacino, ma entrambe con una distribuzione fortemente disomogenea.

La procedura geostatistica per derivare una mappa di R distribuito inizia con un primo step che è la spazializzazione dell'effetto topografico (quota e posizione geografica). Allo scopo è stato utilizzato un modello digitale del terreno con risoluzione 200 m. Figura 5.3.7

Applicando una regressione lineare multipla si ottiene:

$$R=0.480564-0.029369E+0.010532N+0.381754Z \quad [9]$$

dove

E = coordinata Est secondo il sistema Gauss-Boaga

N = coordinata Nord secondo il sistema Gauss-Boaga

Z = quota in (m)

La funzione di regressione ha $r^2 = 0.513$ e una ottima distribuzione gaussiana dei residui (Figura 5.3.6)

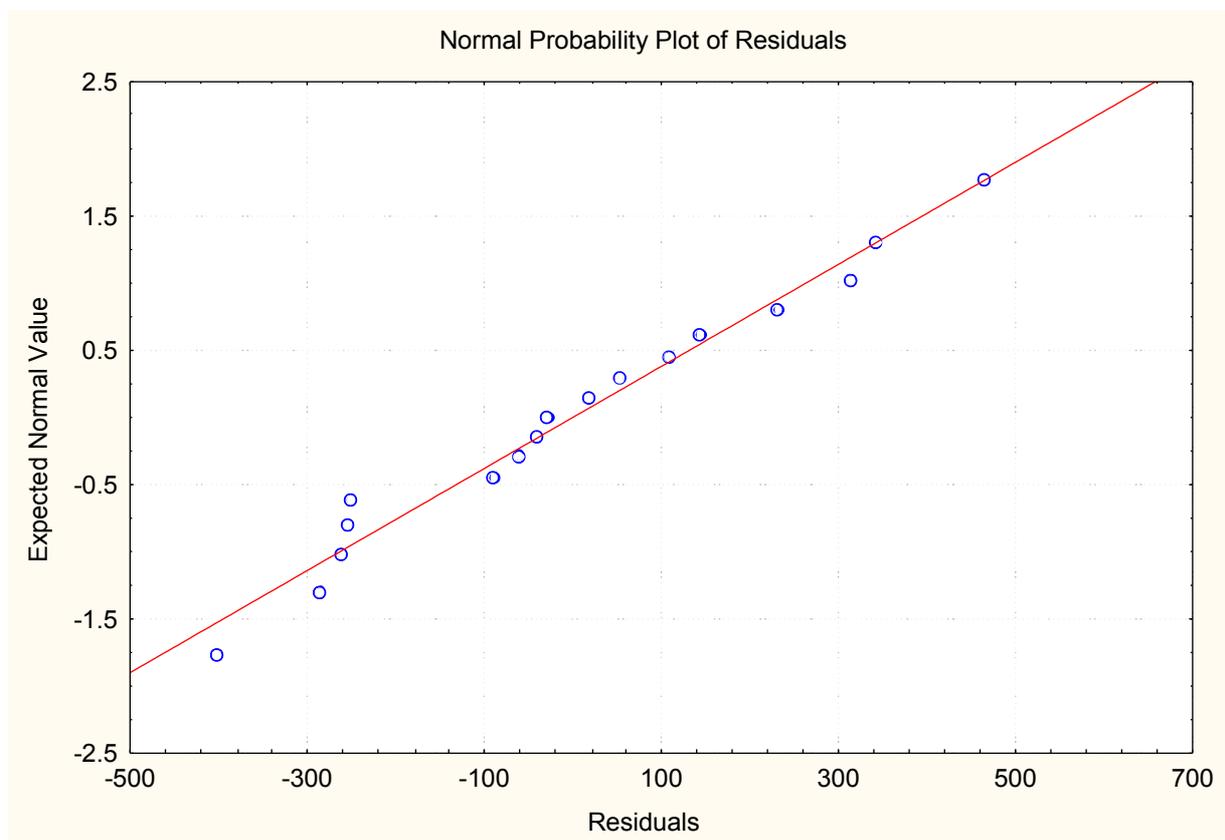


Figura 5.3.6: distribuzione dei residui della regressione lineare multipla eq.9.

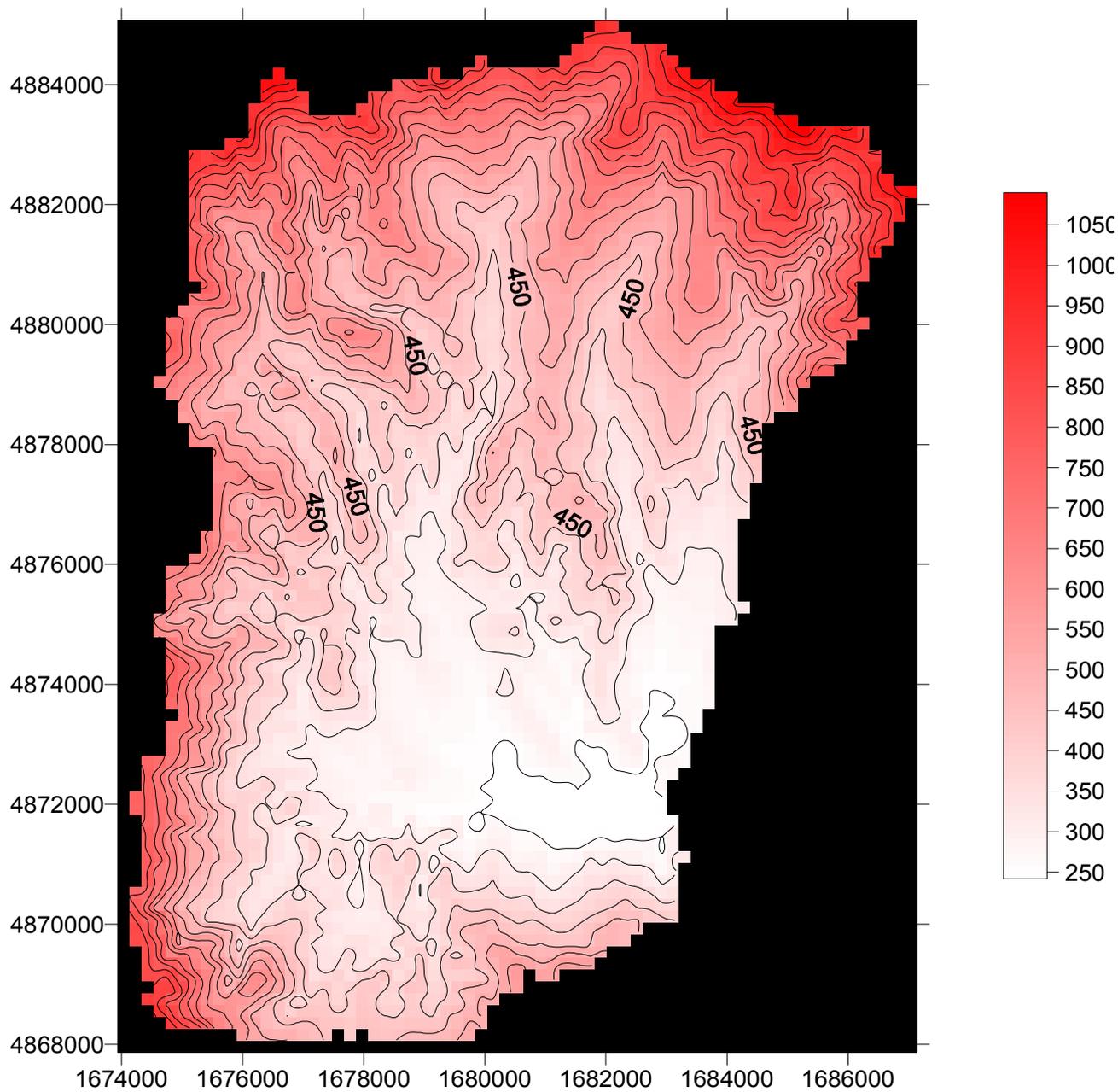


Figura 5.3.7: DEM Bilancino celle 200X200 m usato nella analisi geostatistica di R

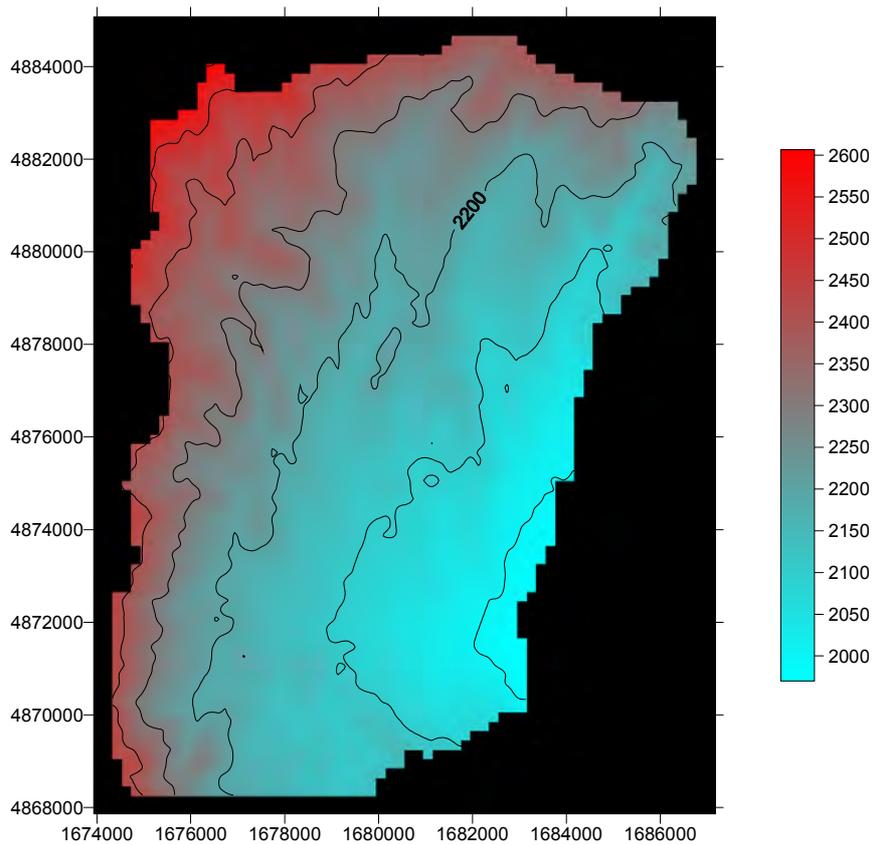


Figura 5.3.8: Modello di distribuzione di R in funzione di quota e posizione Geografica (mappa1)

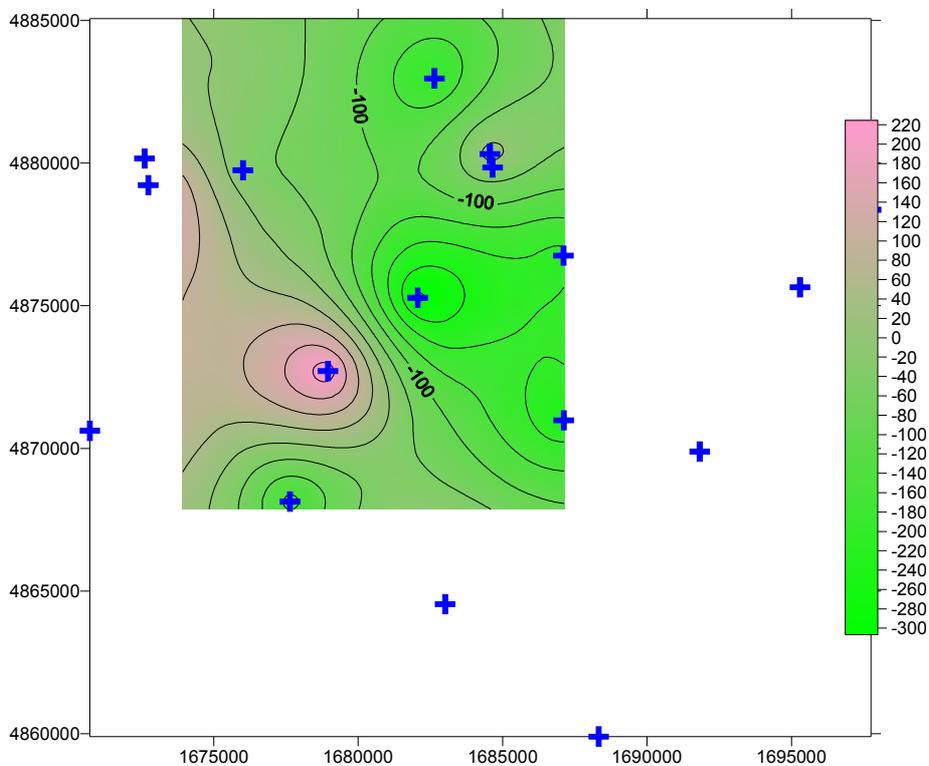


Figura 5.3.9: Struttura dell'errore (residui) dell'eq. 9 effettuato mediante kriging (mappa2)

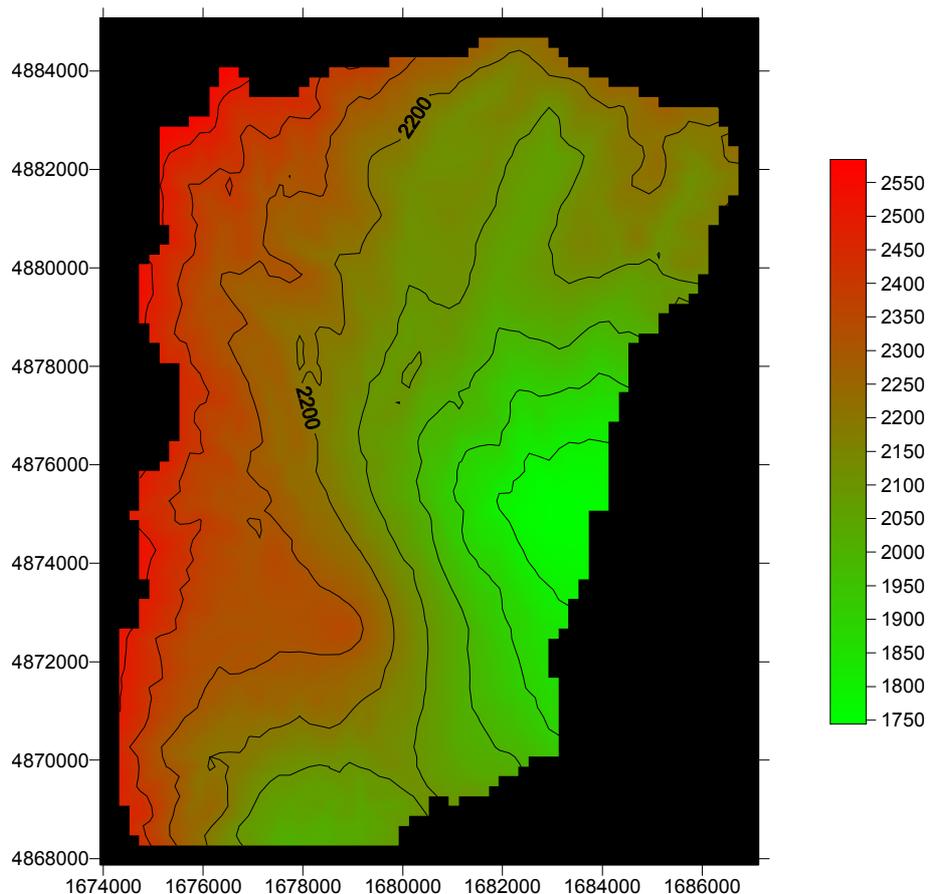


Figura 5.3.10: mappa finale del fattore R medio annuo, ottenuta mediante un modello additivo della mappa1 (R in funzione di quota e posizione geografica eq. 9) più la mappa2 (kriging dei residui).

La mappa del kriging dei residui permette di riprodurre la struttura dell'errore che ancora rimane rispetto alla regressione statistica ottenuta in funzione dei soli parametri topografici. Il modello additivo: mappa1 (R in funzione di quota e posizione geografica) + la mappa 2 (kriging dei residui), fornisce la mappa finale. In figura (Figura 5.3.10). Nella mappa finale si evidenzia molto bene l'influenza della struttura orografica della valle: una dorsale N-S molto pronunciata (lato destro della valle del Bisenzio), una direzione aperta verso ovest (direzione borgo S. Lorenzo) e la dorsale appenninica principale in direzione W-E.

Un risultato analogo, è stato ottenuto con lo stesso procedimento con la mappa di R con tempo di ritorno 30 anni (R30) riportato in Figura 5.3.11

La rasterizzazione a celle di 5m, mediante reinterpolazione, eseguita in ambiente ARCGIS delle mappe finali prodotte con questa metodologia, ha permesso di ottenere gli stati informativi R e R30 finali per l'applicazione del modello USLE-TYPE.

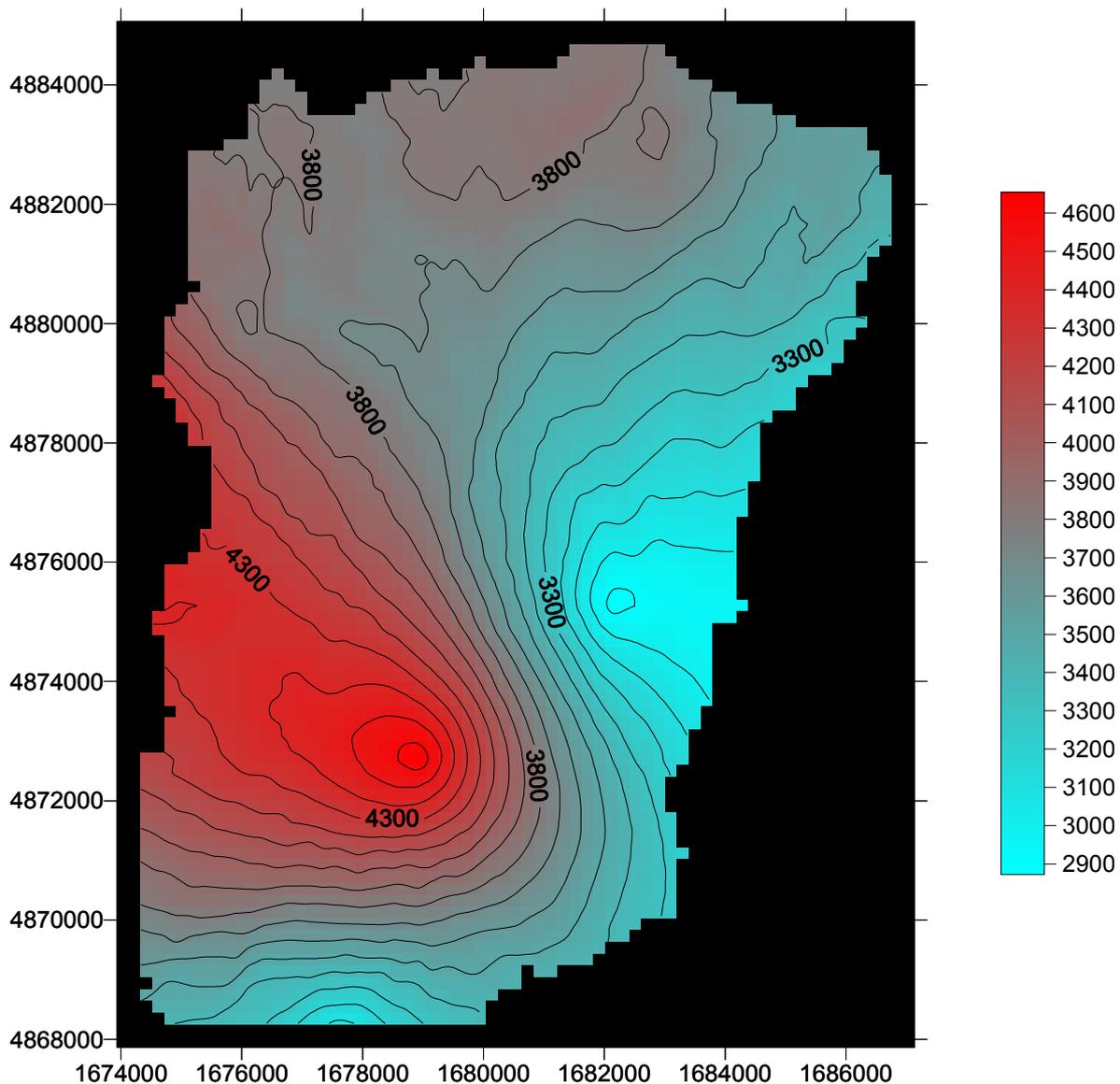


Figura 5.3.11: distribuzione areale del R con tempo di ritorno di 30 anni.

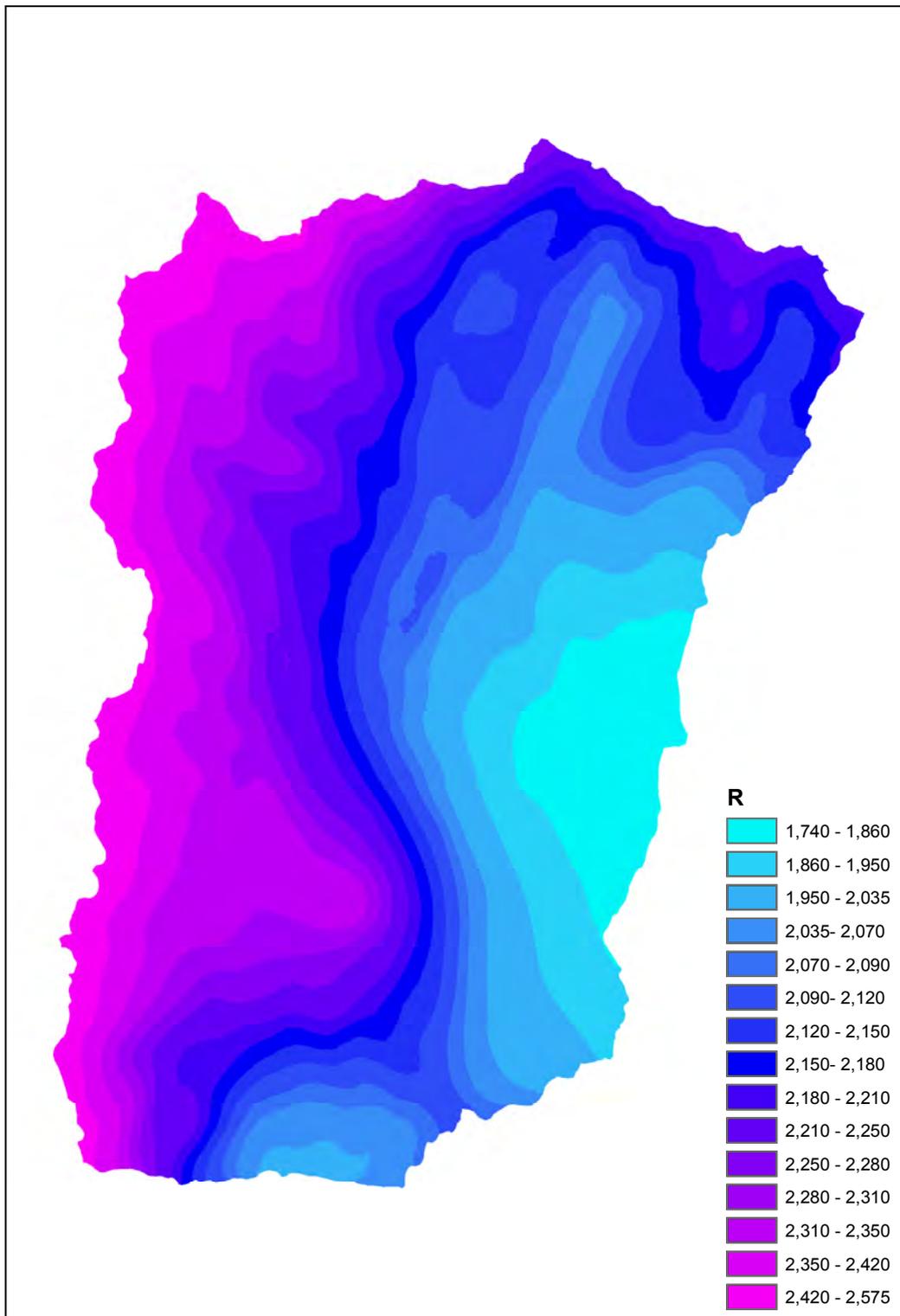


Figura 5.3.12: Carta del fattore R realizzata in Arc Gis su base raster.

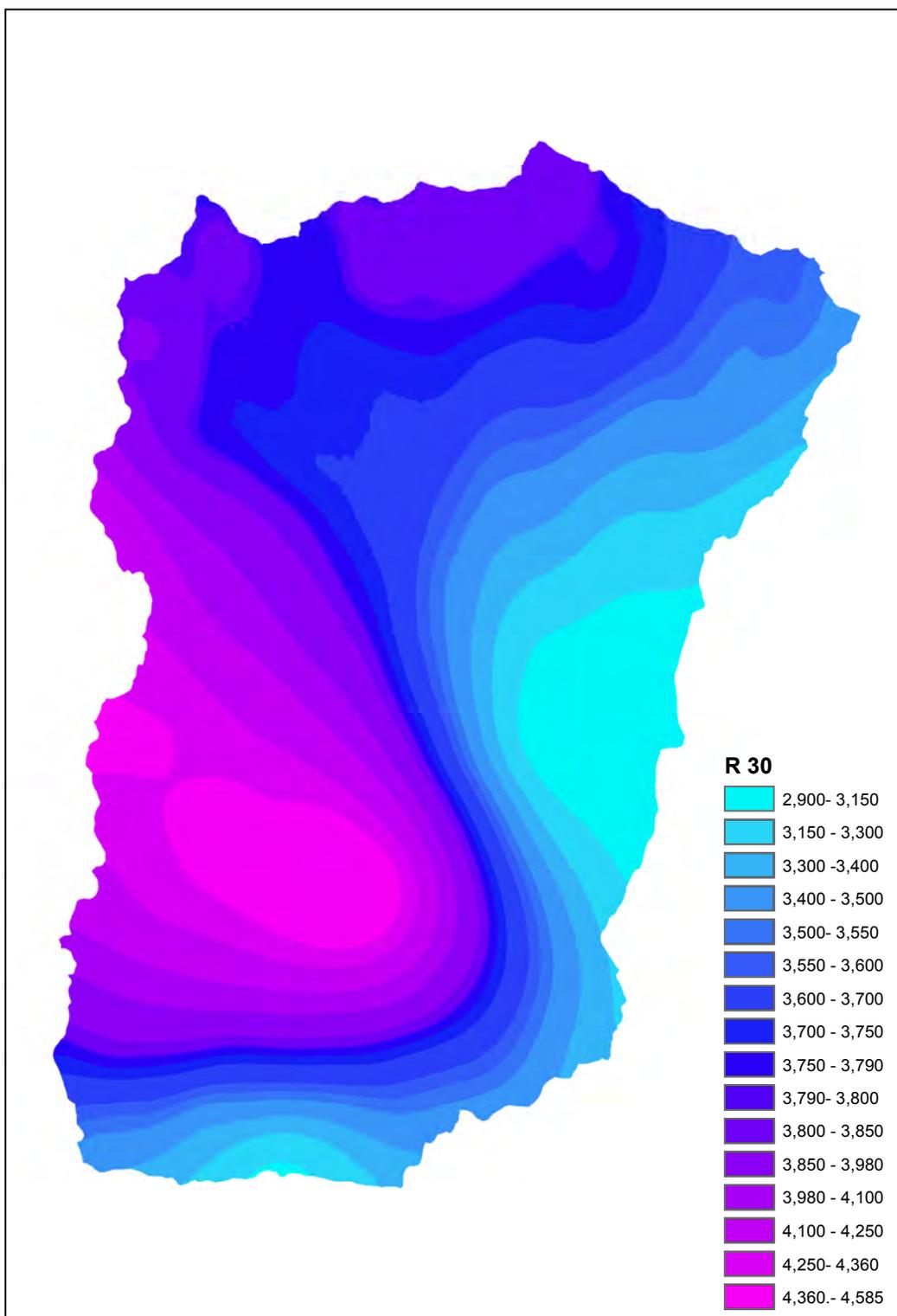


Figura 5.3.13: Carta su base raster del R con tempo di ritorno di 30 anni realizzata con Arc Gis.

5.4. CARTA DELL FATTORE TOPOGRAFICO - FATTORE LS

Il fattore LS sintetizza l'influenza degli effetti della topografia sull'intensità di perdita di suolo, quindi è una misura della capacità di trasporto di sedimento per scorrimento superficiale.

La lunghezza del versante è definita come la distanza del punto di origine del deflusso superficiale dal punto in cui la pendenza diminuisce e si verifica la sedimentazione, oppure la distanza dal punto in cui il flusso diventa concentrato e iniziano processi di erosione incanalata. La pendenza è quella media del versante idrologicamente definito come sopra.

Inoltre è importante considerare la morfologia; se il versante si presenta convesso, lineare o concavo, oppure se è semplice o irregolare, cioè presenta dei cambiamenti di pendenza nel suo sviluppo longitudinale.

Il fattore LS definito da WISCHMEIER, SMITH (1978) come il rapporto fra l'erosione di un versante di lunghezza e pendenza determinate e quella che si verifica nella parcella standard di 22,1 m di lunghezza e 9% di pendenza, mantenendo costanti le altre variabili, non è direttamente applicabile in un ambiente GIS raster dove la superficie del terreno è rappresentata in modo discreto da un reticolo di punti quotati equispaziati (DESMET e Govers 1996). Il modello digitale altimetrico del terreno (DEM) può essere tuttavia utilizzato secondo la procedura proposta da ENGEL (1999) per la stima di perdita del suolo. Con i sistemi GIS GRASS e ArcView, il fattore LS può essere ricavato direttamente dal DEM calcolando con appositi algoritmi, la pendenza e l'accumulo di flusso (flow accumulation) relative ad ogni singola cella del modello altimetrico del terreno mediante la formula di MOORE et al. (1992) modificata (Desmet e Govers 1996, Mitasova et al. 1996, Mitas e Mitasova 1998, Mitasova et al. 2002).

Il fattore LS è stato calcolato utilizzando le funzioni dell'estensione di Arc Gis Hydrologic Modeling. Dal DEM con celle di 5 m è stata calcolata la Flow Direction a cui è stata applicata una maschera in cui le aree urbane e le strade hanno valori "no-data", da questa è stata derivata la Flow Accumulation. Questa scelta operativa ha permesso di valutare l'effettiva superficie dell'area contribuente, infatti le strade interrompendo lo scorrimento dei deflussi superficiali funzionano da collettori dei deflussi a monte.

Dato che la RUSLE è studiata per calcolare l'erosione potenziale solamente dovuta al deflusso non incanalato, è necessario definire il numero massimo di celle che può contribuire al deflusso, di conseguenza è stato posto come valore soglia della *flowaccumulation* 1000 celle (2.5 ha). Questo valore è determinato sia da valutazioni in campo che dal confronto con il reticolo idrografico della CTR.

La *flowaccumulation* utilizzata ha quindi valori "no-data" per le aree urbane, strade, ed elementi del reticolo permanente. Ai valori del raster della *flowaccumulation* è stato sommato un valore pari ad 1 al fine di non avere valori nulli nelle celle da cui inizia il deflusso: queste infatti sono zone dove possono esserci comunque dei fenomeni erosivi ed inoltre la presenza di valori nulli impedisce i calcoli successivi.

La pendenza è stata calcolata dal DEM in gradi e trasformata in radianti.

La funzione utilizzata per calcolare LS è:

$$LS = (flowaccumulation * 5 / 22.13)^{0.4} * (slope / 0.0896)^{1.3}$$

Questa funzione, calcolata con *Raster Calculator* (funzione di *Spatial Analyst*) introducendo come variabili il file raster *flowaccumulation*, ha permesso di realizzare direttamente il file raster del LS con celle a 5m (Figura 5.4.1).

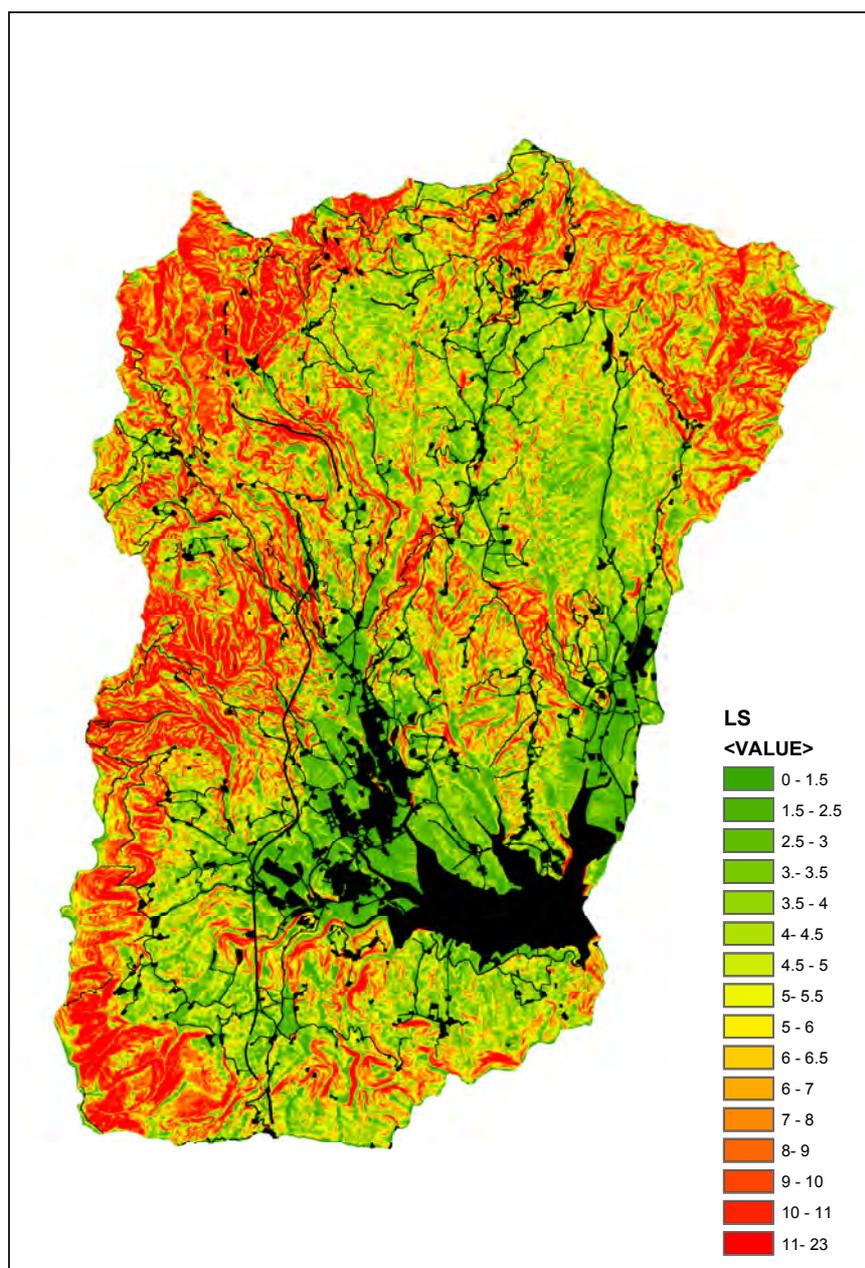


Figura 5.4.1: Carta di LS su base raster realizzata con ArcGis, in nero le aree che non sono state considerate nel calcolo (aree urbane, strade, laghi)..

Si deve rilevare che per pendenze maggiore di 40°, dove il terreno si può presentare prevalentemente roccioso, sarebbe opportuno non applicare questo tipo di modellazione.

5.5. CARTA DEL FATTORE DI COPERTURA VEGETALE FATTORE C

Il fattore C è utilizzato nella USLE e nella RUSLE2 per valutare l'effetto delle pratiche di coltivazione e di gestione sull'intensità dei processi erosivi, ed è il fattore più comunemente usato per valutare l'incidenza relativa di pratiche d'uso e di gestione alternative su eventuali pratiche di conservazione. 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 RUSLE2, 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 e Smith (1978) e Mutchler et al. (1982) ha indicato come il fattore C possa essere considerato come la risultante di un certo numero di sottofattori.

Nella USLE venivano 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 l'EI corrispondente a ciascun momento del ciclo colturale.

Nella RUSLE2 (Renard et al 1997) questo stesso approccio per sottofattori è utilizzato secondo le modifiche apportate all'originario approccio USLE da Laflen et al. (1985) e Weltz et al. (1987). I parametri più importanti sono gli effetti della coltura e delle pratiche di gestione immediatamente precedenti quelle considerate (prior land use, CPLU subfactor) la protezione offerta dallo sviluppo epigeo della coltura (canopy cover, CCC subfactor), la riduzione dell'erosione dovuta a eventuale copertura della superficie (es. residui colturali; surface cover, CSC subfactor) e alla rugosità superficiale (surface roughness CSR subfactor), e in alcuni casi l'effetto di bassi contenuti idrici sulla riduzione del runoff in coincidenza con piogge di bassa intensità (soil moisture, CSM subfactor). A ciascuno di questi parametri viene assegnato un valore bisettimanale come sottofattore, e questi sono moltiplicati per definire un valore di SLR per le condizioni oggetto di valutazione. Il valore dell'SLR così calcolato viene poi pesato sulla frazione dell'EI del periodo corrispondente ed i valori così calcolati vengono sommati per definire il C "globale".

La valutazione del fattore colturale nel caso di foreste viene calcolato per tre diverse categorie: foreste indisturbate, foreste percorse da fuoco o pascolate, terreni forestali recentemente rimboschiti. Per le foreste indisturbate la capacità protettiva è pressoché totale e varia solamente in funzione della percentuale di copertura arborea e di lettiera, mentre nel caso di foreste disturbate è molto importante la percentuale di copertura erbacea ed arbustiva; invece per terreni forestali che hanno subito recentemente lavorazioni legate ad opere di rimboschimento, assumono un effetto rilevante le condizioni del suolo e il tipo di lavorazioni.

La cartografia dell'uso del suolo utilizzata è quella del Piano Strutturale del Comune di Barberino di Mugello, che è stata integrata per le aree del Bacino di Bilancino che non erano rappresentate.

La carta dell'uso del suolo (Figura 5.5.1) è stata costruita con l'estensione di Edit di ArcGis utilizzando come base le ortofoto del volo Italia 2000. Nel corso del lavoro di fotointerpretazione si è proceduto a controllare anche le aree già cartografate e per alcune aree incerte è stata condotta una validazione con rilievi sul territorio.

Dal confronto delle ortofoto con la situazione attuale del territorio compreso nel bacino, si sono rilevati i processi di evoluzione della vegetazione e cambiamenti di uso del suolo: molte aree che 10 anni fa erano incolti oggi sono boschi chiusi con copertura continua, altre zone prima utilizzate a pascolo oggi sono seminativi o pascoli discati.

Tuttavia per la carta dell'uso del suolo in linea di massima sono state indicate le destinazioni d'uso rilevabili dalle ortofoto del 2000.

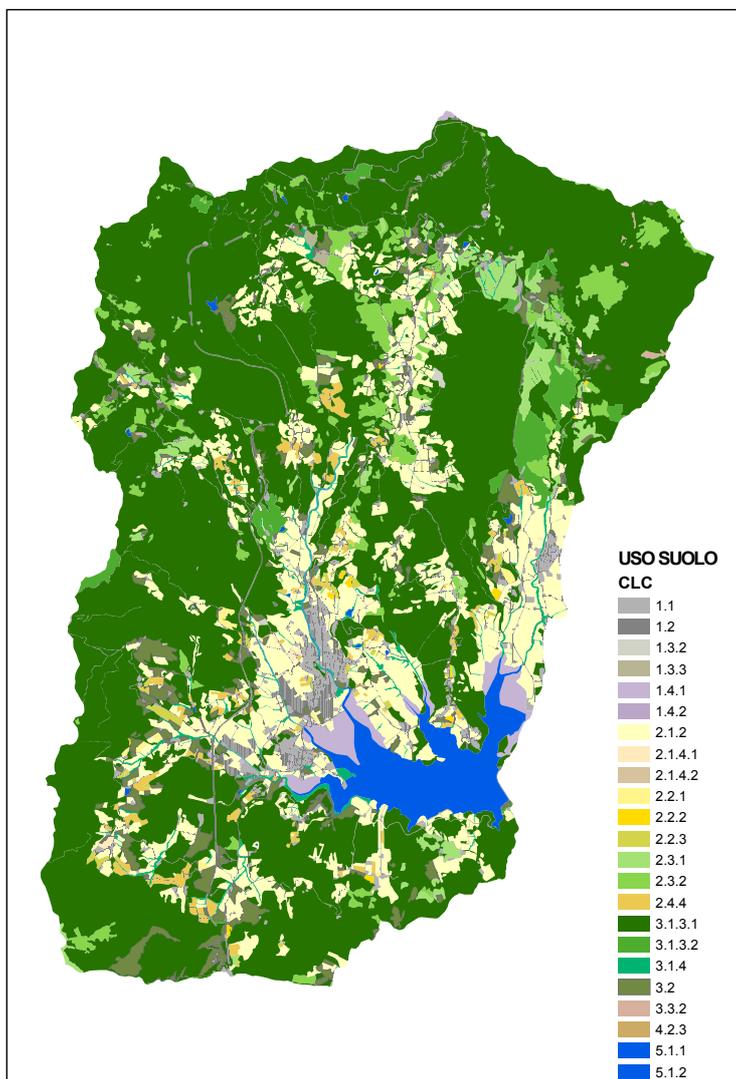


Figura 5.5.1: carta dell'uso del suolo con legenda Corine Land Cover

La legenda utilizzata (Tabella 5.5.1) ha mantenuto la classificazione della carta dell'uso del suolo del Piano Strutturale a cui è stata associata la legenda Corine Land Cover II e III livello. La legenda CLC è per la maggior parte corrispondente a quella ufficiale escluse alcune classificazioni presenti nel Piano Strutturale ma non nel CLC (riportati in nota)

Classe	Sottoclasse	CLC	C RUSLE
edificato	edifici civili	1.1	0
	edifici industriali	1.2	0
verde	verde urbano	1.4.1	0.05
	verde sportivo	1.4.2	0.05
cantieri depositi materiali e discariche		1.3.3	1
		1.3.2	1
colture legnose agrarie	seminativo arborato	2.4.4	0.05
	vigneto specializzato	2.2.1	0.451
	oliveto specializzato	2.2.3	0.296
	frutteto specializzato	2.2.2	0.296
colture erbacee agrarie	seminativo	2.1.2	0.1
	colture orticole	2.1.4.1*	0.1
	vivaio e serra	2.1.4.2*	0.001
vegetazione riparia		3.1.4*	0.006
verde di corredo stradale		1.4.1	0.05
incolto		3.2	0.04
pascoli	pascolo	2.3.1	0.15
	pascolo cespugliato	2.3.2*	0.13
bosco misto		3.1.3.1*	0.001
bosco rado		3.1.3.2*	0.006
affioramento roccioso		3.3.2	0.9
spiaggia		4.2.3	1
laghi		5.1.2	0
corsi d'acqua		5.1.1	0

* codici Corine Land Cover non corrispondenti a quelli ufficiali.

Tabella 5.5.1 classificazione dell'uso del suolo, codici CLC e fattori di C corrispondenti.

I valori del fattore C utilizzati sono quelli della tabella annuale per il fattore C prodotta da ERSO (1990) in parte modificati: l'ambiente del bacino infatti presenta una buona corrispondenza con le classi di uso del suolo descritte nel lavoro sviluppato dalla Regione Emilia Romagna per i suoli della collina cesenate.

Agli edifici civili ed industriali, in cui sono comprese anche le strade, sono stati dati valori pari a 0 in quanto sono superfici cementificate, che quindi non contribuiscono ai processi erosivi.

I fattori di C relativi ai pascoli e gli incolti sono stati calcolati in base alle tabelle di Wischmeier e Smith (1978) per pascoli permanenti e terreni incolti stimando una media delle coperture di rilevate nei sopralluoghi in campagna.

In considerazione del fatto che il valore di C indicato nella tabella ERSO per boschi di latifoglie e di conifere è lo stesso (0.001), è stata utilizzata la classificazione della carta dell'uso del suolo di Barberino, in cui i boschi a prevalenza di latifoglie e quelli a prevalenza di conifere sono indicati semplicemente come boschi misti. Per i boschi radi che hanno una copertura arborea assimilabile ai rimboschimenti, è stato utilizzato il valore di C indicato nella tabella ERSO per questi ultimi (0.006).

La carta dell'uso del suolo ottenuta è quindi uno shapefile in cui sono presenti sia la classificazione CLC che il fattore C. Per ottenere la carta del fattore C e così effettuare il calcolo dell'erosività con ArcGIS (descritto nel par. 6.1) è stato necessario convertire lo shapefile in raster con celle di 5x5m. La scelta delle celle di 5x5m è stata dettata dal fatto che nella rasterizzazione si perdeva la continuità delle strade, che sono elementi importanti ai fini della stima dei processi erosivi.

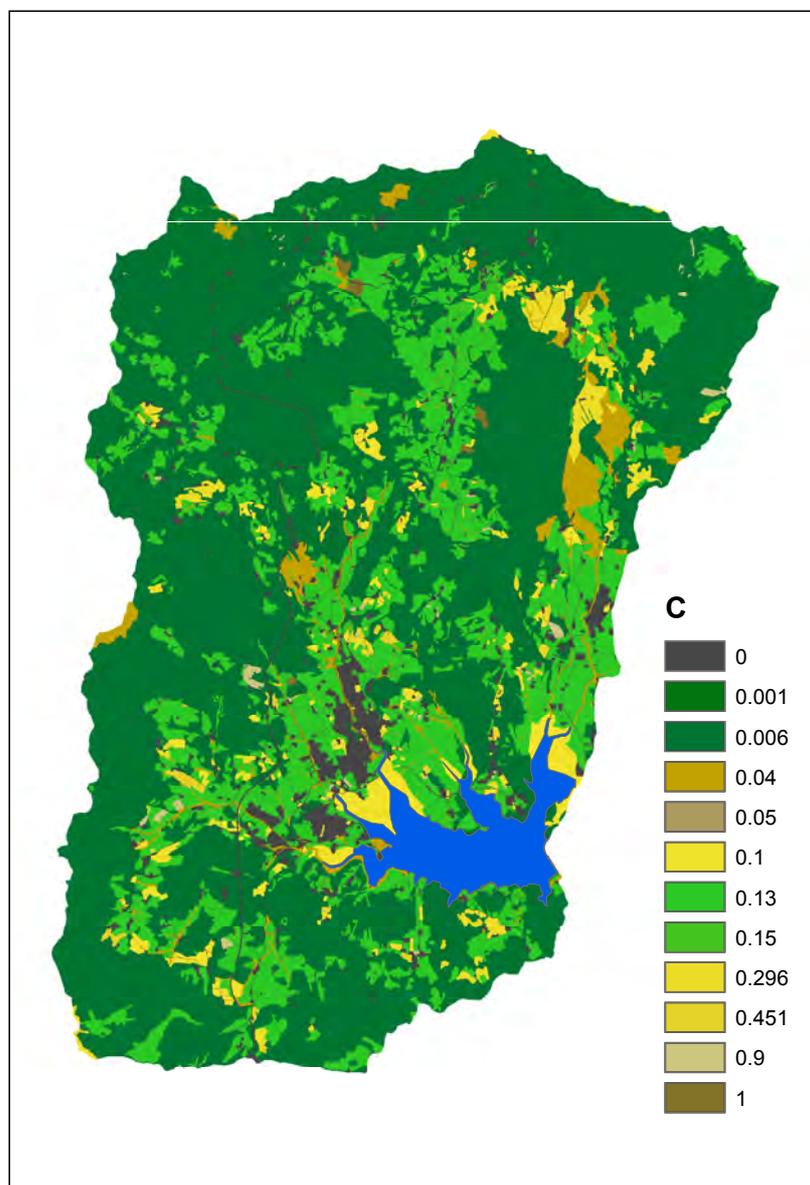


Figura 5.5.2: Carta del Fattore C su base raster.

5.6. TECNICHE CONSERVATIVE– FATTORE P

Il fattore P è definito come il rapporto tra la perdita di suolo osservata con specifiche pratiche di controllo dei fenomeni erosivi e quella che si verifica nelle medesime condizioni lavorando continuamente la superficie a rittochino, caso in cui è attribuito a P un valore pari a 1. Per i coltivi le pratiche di controllo più comunemente attuate includono terrazzamenti, *contouring*, *stripcropping* e drenaggio sottosuperficiale. Il fattore P può essere valutato con specifiche procedure e per sottofattori che considerano le varie tecniche applicate (Renard et al. 1997). Tuttavia alcune delle tecniche codificate non hanno corrispondenza nell'ambiente collinare italiano (si consideri l'esempio del terrazzamento in Italia e il significato di *terracing* negli USA).

La RUSLE2 definisce il valore del fattore P a partire dai seguenti fattori: 1) pendenza del versante, 2) lunghezza del versante, 3) rugosità superficiale, 4) distribuzione dell'EI nell'anno, 4) gruppo idrologico del suolo e 5) effetto del *contouring*. Quest'ultimo è maggiormente efficace per pendenze comprese tra il 2 ed il 12%. Per valori superiori, l'efficacia è progressivamente decrescente fino ad essere praticamente nulla per pendenze superiori al 25 %.

Nel bacino di bilancino è stato verificato con rilievi in campagna che non sono presenti in aree a vocazione agricola particolari tecniche di tipo conservativo assimilabili a quelli già codificate nel modello RUSLE2, per questo è stato deciso di adottare un fattore $P=1$.

Le uniche interruzioni dei deflussi superficiali lungo i versanti presenti sono quelle dovute alla presenza di strade, elemento già calcolato nel LS, o cambiamenti di uso del suolo più efficacemente calcolati nel SDR.

5.7. CARTA COMPLESSIVA DELLE AREE DI NON APPLICABILITÀ DEL MODELLO

La applicazione dei modelli distribuiti USLE-TYPE non è possibile in alcuni casi limite:

- aree urbanizzate;
- strade;
- aree a forte concentrazione di flussi idrici superficiali come: Fiumi e torrenti; in generale linee di drenaggio di ordine 1 e superiori;
- laghi.

I processi erosivi in queste aree sono descritti da altri modelli ove non siano addirittura del tutto assenti (strade asfaltate e aree urbanizzate). Tali aree, che coprono una parte consistente del bacino, sono quindi escluse dalla applicazione del modello. Per rappresentarle è stato prodotto un raster con valori binari (0 o 1) - maschera binaria. Il codice 0 è attribuito a tutte le strade e loro immediata pertinenza, alle aree urbanizzate, ai laghi e a tutti i pixel che hanno un'area contributiva a monte maggiore di 2.5 ha. La soglia di 2.5 ha (1000 celle con risoluzione 5 m) si ritiene accettabile per definire tutte le porzioni del reticolo di drenaggio fino all'ordine 1.

Il codice 1 è attribuito a tutte le restanti aree dove si è applicato il modello.

La maschera binaria distingue fisicamente i deflussi ed il trasporto di sedimenti che avvengono lungo i versanti da quelli delle aree di drenaggio permanente, che costituiscono anche un sink (temporaneo o permanente) per i sedimenti.

La maschera binaria suddivide una porzione di territorio, o un sottobacino, in una molteplicità di aree isolate, i cui deflussi si riversano in un reticolo ricevente costituito dalle aree di non applicabilità.

La maschera binaria consente di ridurre l'estensione dei sottobacini e spesso anche quella dei versanti, e così rappresentare realisticamente la dinamica dei deflussi; infatti una strada, che taglia il versante intercettando i deflussi della parte a monte e convogliandoli verso altre linee di drenaggio, divide il versante stesso in porzioni isolate.

La maschera binaria (layer denominato TOTAL-MASK) si è utilizzata in tutti i processi di calcolo.

5.8. CARTA DEL FATTORE *SEDIMENT DELIVERY RATIO* (SDR)

Solo una frazione della erosione, generatasi da ogni singola cella sorgente, raggiunge la linea di drenaggio permanente più prossima. Tale frazione è indicata nella letteratura scientifica come *Sediment Delivery Ratio* (SDR). Tale definizione è applicata sia a scala di bacino sia a livello del singolo versante, o cella sorgente.

L'SDR, a livello di versante, viene assunto generalmente direttamente proporzionale alla pendenza e inversamente proporzionale alla lunghezza totale del percorso più breve del flusso dalla cella sorgente alla linea di drenaggio permanente più prossima. Diversi autori hanno affrontato il problema di modellizzazione dell'SDR in un ambiente GIS - raster. (NRCS, 1983; Yagow et al., 1988. Sun and McNulty, 1998; Ferro & Porto, 2000). In tutti questi casi i modelli proposti considerano solo la lunghezza e la pendenza del percorso in direzione a valle (valutazione *downstream*) (Yagow et al., 1988. Sun and McNulty, 1998; Ferro & Porto; 2000) o in alternativa l'SDR è valutato globalmente solo sulla base della dimensione totale del bacino (NRCS, 1983;) (valutazione *upstream*). Questi modelli hanno una limitazione di base sperimentale in quanto modellizzano solo parzialmente il processo fisico di trasporto e deposito dei sedimenti.

In pratica, questi che sono considerati alcuni dei più noti modelli in letteratura, non considerano l'impedenza, prodotta dai vari tipi di superficie e usi del suolo, che il flusso, e i sedimenti incontrano nel percorso verso valle. Allo stesso tempo la valutazione downstream non considera l'effetto dei flussi (portata, velocità, streampower) che possono provenire dalla area contributiva a monte, mentre nella valutazione upstream non viene considerato il percorso dei sedimenti verso valle e quindi l'impedenza al flusso.

In tutti i modelli all'aumentare della lunghezza del percorso o dell'area del bacino si ha una diminuzione del SDR. Ciò è fisicamente accettabile, perché con l'aumentare del percorso la probabilità di intrappolamento, o di storage temporaneo, dei sedimenti sui versanti o sugli alvei aumenta.

Tuttavia la valutazione dell'SDR a scala distribuita, sulla base di un time step annuale, come nel caso dei modelli USLE-TYPE necessita obbligatoriamente un approccio euristico.

Si ritiene che una valutazione integrata di tutte le componenti, che contribuiscono alla mobilità dei sedimenti, sia necessaria. In particolare:

- La componente downstream.
- La componente upstream.
- Impedenza allo scorrimento caratteristica della superficie (rugosità e tortuosità percorso).

Allo scopo di integrare le componenti sopraelencate nella valutazione dell'SDR associato a ciascuna cella, è stata sviluppata una nuova tecnica di classificazione della connettività e di valutazione del SDR, sulla base anche del grado di connettività precedentemente valutato in campagna, all'interno del sistema dei versanti.

In Figura 5.8.1 è schematizzato il nuovo algoritmo di valutazione della connettività.

L'indice di distanza D_{dn} , che esprime la connettività verso valle della singola cella di riferimento posizionata su un versante, viene calcolato come la sommatoria delle singole distanze d_i che costituiscono il più breve percorso verso valle. Tali distanze sono pesate con l'inverso del prodotto $C_i S_i$, ovvero il prodotto del fattore C (copertura vegetale) e il gradiente di pendenza di ogni singola cella lungo il percorso. In questo modo al crescere dei fattori C e S l'indice di distanza decresce, ovvero diminuisce l'impedenza al flusso. Se $C_i S_i = 1$, l'indice D_{dn} corrisponde alla distanza del percorso idraulico calcolabile solo dal DEM. L'uso del fattore C introduce il peso delle caratteristiche della superficie, determinata dai vari usi del suolo (es. C=0.1 seminativi, C=0.001 boschi). Il diminuire di C è proporzionale all'aumento della rugosità e della tortuosità, mentre il diminuire della pendenza è collegato a una riduzione della streampower e velocità, quindi della capacità di trasporto. Questo avviene nella realtà per ogni flusso su versante.

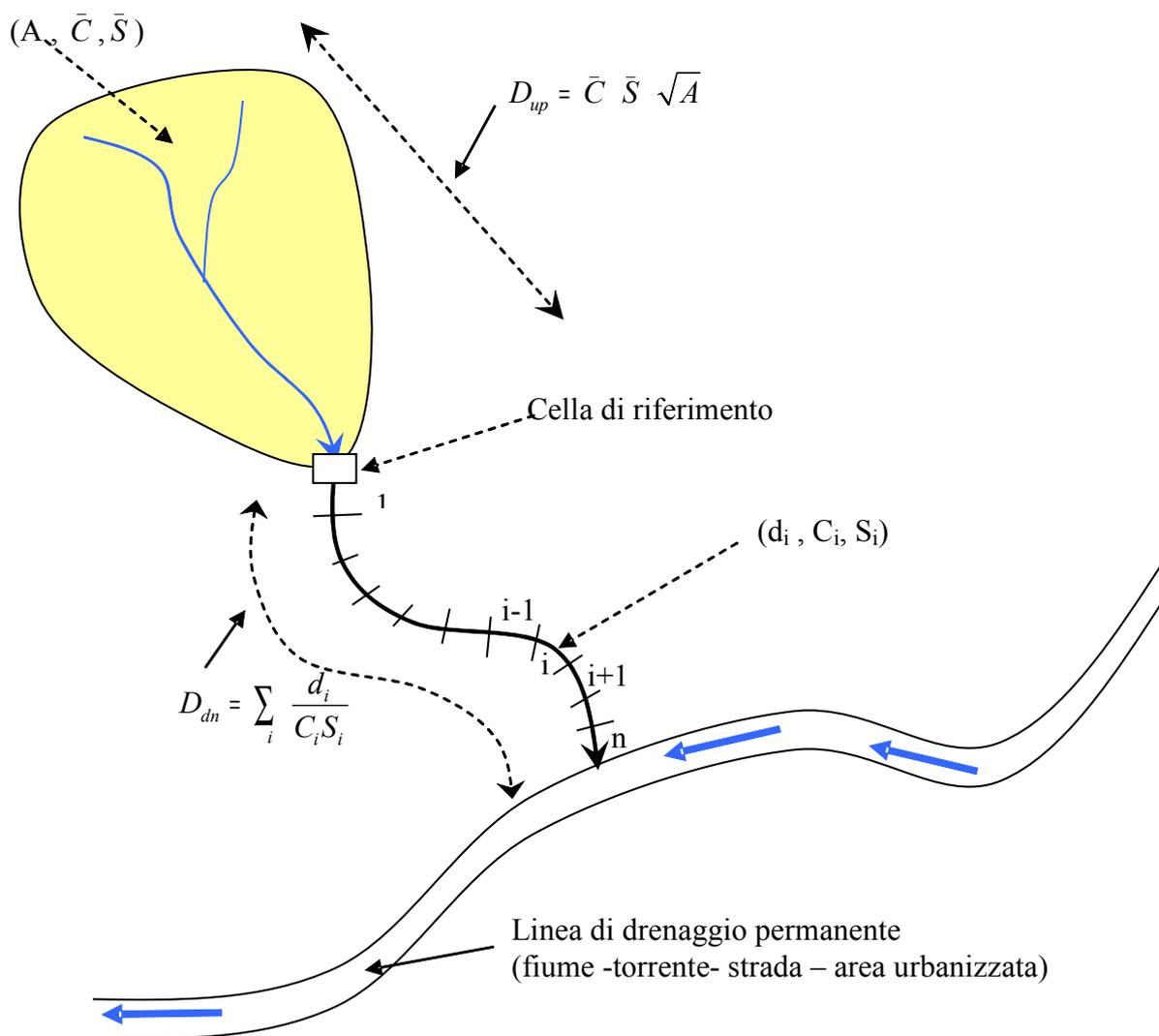


Figura 5.8.1: Schema geometrico della definizione indice di connettività versanti/linee di drenaggio permanenti.

Dato che l'indice D_{dn} è valutato attraverso una sommatoria, esso può essere pesato con continuità lungo il percorso downstream attraverso le diverse pendenze e usi del suolo. In questo senso possono costituire un notevole effetto di riduzione dei valori di $C=0.001$ (bosco) in prossimità di una linea di drenaggio ricevente.

L'indice D_{dn} è espresso dalla seguente equazione:

$$D_{dn} = \sum_i \frac{d_i}{C_i S_i} \quad [11]$$

dove:

d_i = distanza i -esima sulla singola cella lungo il percorso downslope (in m)

C_i = fattore C sulla singola cella lungo il percorso downslope (adimensionale)

S_i = gradiente pendenza della singola cella lungo il percorso downslope (m/m)

D_{up} , o indice di lunghezza del bacino contribuente, permette di considerare l'effetto dei flussi, che provengono da monte, nei confronti della mobilità dei sedimenti originatesi dalla cella di riferimento.

L'indice è espresso dalla seguente equazione:

$$D_{up} = \bar{C} \bar{S} \sqrt{A} \quad [12]$$

\bar{C} = fattore C medio dell'area contribuente a monte della cella di riferimento (adimensionale);

\bar{S} = gradiente di pendenza medio dell'area contribuente a monte della cella di riferimento (m/m)

A = area contribuente a monte (m²)

La combinazione dei valori medi di \bar{C} e \bar{S} a monte con la lunghezza di riferimento dell'area contribuente permette, anche in questo caso, di pesare l'impedenza idraulica generata dalle caratteristiche delle superfici e dalla potenza espressa del flusso proveniente da monte (stream power) attraverso il gradiente medio di pendenza.

La formulazione finale dell'indice di connettività I_c associabile a ogni cella del DEM è quindi espressa con la seguente equazione:

$$I_c = \log_{10} \left(\frac{D_{dn}}{D_{up}} \right) = \log_{10} \left(\frac{\sum_i^n \frac{d_i}{C_i S_i}}{\bar{C} \bar{S} \sqrt{A}} \right) \quad [13]$$

dove

d_i = distanza iesima sulla singola cella lungo il percorso downslope (in m);

C_i = fattore C sulla singola cella lungo il percorso downslope (adimensionale);

S_i = gradiente pendenza della singola cella lungo il percorso downslope (m/m);

\bar{C} = fattore C medio dell'area contribuente a monte della cella di riferimento (adimensionale);

\bar{S} = gradiente di pendenza medio dell'area contribuente a monte della cella di riferimento (m/m);

A = area contribuente a monte (m²);

D_{dn} = indice distanza percorso downslope;

D_{up} = indice lunghezza bacino contribuente a monte cella di riferimento;

La connettività cresce quindi con la riduzione del valore del rapporto $\frac{D_{dn}}{D_{up}}$. Ovvero essa è molto

elevata quando si hanno valori D_{dn} piccoli, e contemporaneamente valori di D_{up} grandi.

La formulazione dell'indice di connettività è stata validata dalle osservazioni di campagna svolte nel WP3 in cui sono state rilevate le maggiori criticità e le relazioni fra i diversi fattori che condizionano il processo di trasporto e deposito dei sedimenti. L'analisi e la sintesi delle

osservazioni di campagna sono state fondamentali per orientare correttamente la valutazione della connettività e di conseguenza SDR all'interno del sistema di versanti.

Una mappa di I_c (Figura 5.8.2) è stata prodotta su tutto il bacino. Su essa sono state identificate le varie aree critiche studiate e analizzati i valori di I_c ottenuti. I_c è espresso per comodità mediante il suo logaritmo.

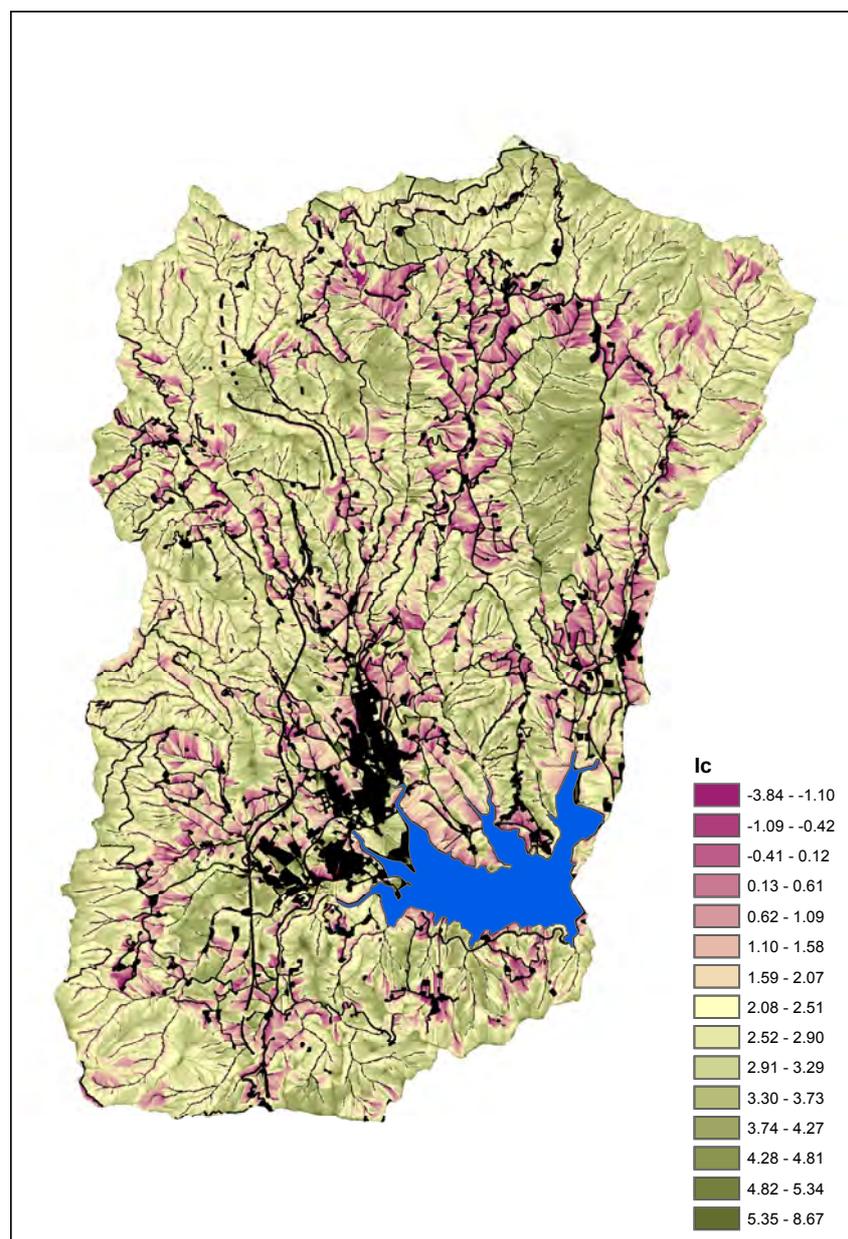


Figura 5.8.2: Carta su base raster dell'indice I_c

Si può osservare dalla mappa I_c che alle varie aree critiche competono valori sempre molto bassi (<1) mentre i valori che competono alle superfici boscate e alle aree di crinale hanno valori >3 -4. Il range dei valori calcolati varia da -4 a +8. Si può notare il forte effetto della morfologia e del pattern degli usi del suolo.

Per derivare il parametro di connettività sono state utilizzate le funzioni *flowaccumulation* e *flowlength* del pacchetto ArcGis. La funzione *flowlength* per derivare D_{dn} , mentre la funzione *flowaccumulation* per derivare D_{up} .

Nel caso delle aree critiche sono stati stimati, da osservazioni dirette di campagna, valori SDR intorno al 60 - 40%. Questo elemento è utile per tentare di sviluppare una relazione funzionale tra la classificazione di connettività I_c e il valore di SDR.

Dato che SDR è fisicamente compreso tra 0.0 e 1.0 e che nelle condizioni delle aree critiche il valore di SDR è valutato intorno al 50%, si è assunto una funzione di tipo Boltzmann con due asintoti orizzontali.

La funzione assunta è la seguente:

$$SDR = sdr_2 + \frac{sdr_1 - sdr_2}{1 + e^{-\frac{I_{c0} - I_c}{K}}} \quad [14]$$

dove

SDR = sediment delivery ratio (valore variabile tra [0.0 -1.0])

sdr_1 = sediment delivery ratio massimo (assunto come 1.0)

sdr_2 = sediment delivery ratio minimo (assunto come 0.01)

I_{c0} = valore di indice di connettività in cui $SDR = (sdr_1 + sdr_2)/2$ (50% del range di possibile variazione) – nel nostro caso 0.5

K = fattore di decadimento - nel nostro caso 1.5

I_c = indice di connettività

L'andamento della eq. 14 è riportato nella Figura 5.8.3

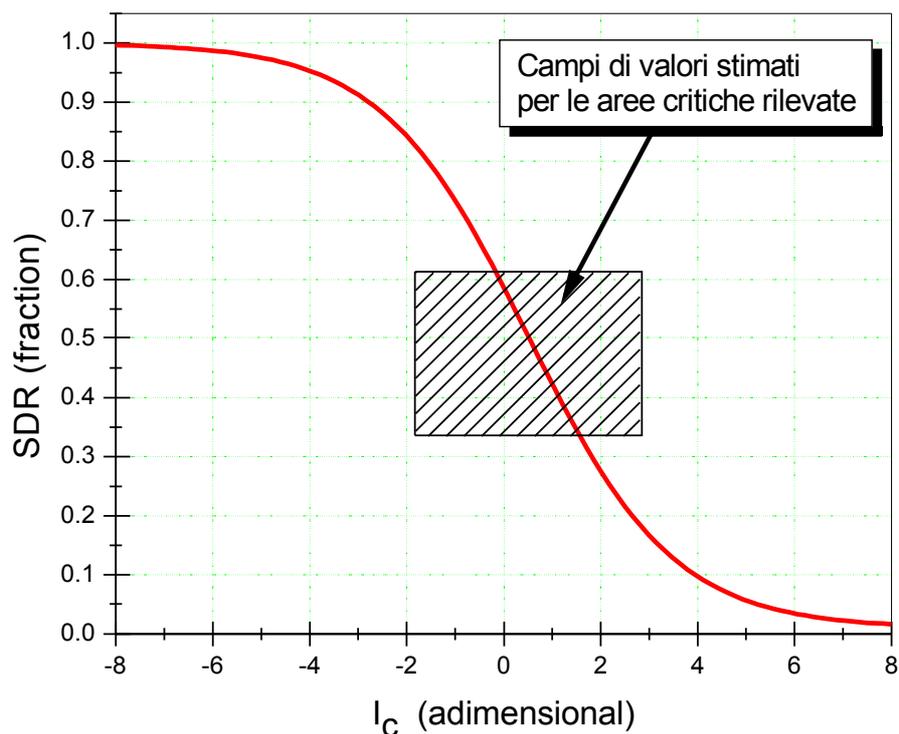


Figura 5.8.3: SDR in funzione dell'indice di connettività I_c . È riportato il campo dei valori di pertinenza alle aree critiche rilevate.

I coefficienti della funzione I_{c0} e K , rispettivamente 0.5 e 1.5, sono stati scelti in modo che tale funzione passasse nel centroide della area di pertinenza dei valori delle aree critiche e contemporaneamente rispettasse il passaggio graduale verso le aree asintotiche.

Una mappa finale del SDR (Figura 5.8.4) è stata ottenuta applicando la funzione. Il valore SDR è stato successivamente utilizzato nella valutazione finale del tasso netto di erosione esportata dai versanti verso le aree di drenaggio permanente.

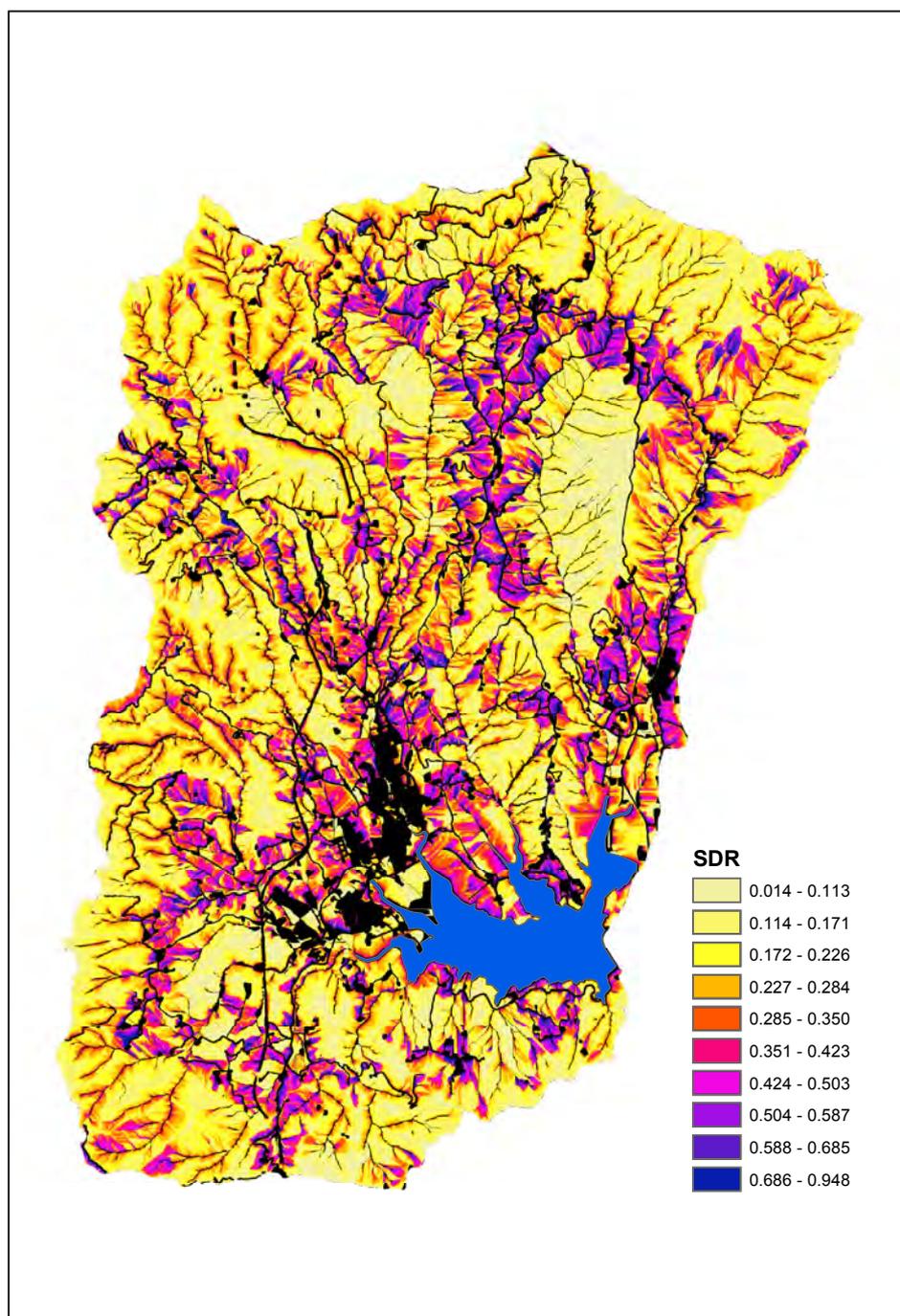


Figura 5.8.4: Carta del SDR su base raster.

6. VALUTAZIONE DEL TASSO DI EROSIONE MEDIO ANNUO E CON TEMPO DI RITORNO T = 30 ANNI

6.1. TASSO DI EROSIONE MEDIO ANNUO

Disponendo di tutti i layer informativi dei vari parametri necessari alla applicazione del modello USLE-TYPE, la valutazione del tasso di erosione medio annuo del bacino è stata effettuata con la eq. 15.

$$A = R * K * LS * C * P * total_mask \quad [15]$$

In questa equazione è presente esplicitamente anche il layer binario total_mask (maschera binaria), usato per escludere dalla valutazione tutte le aree di non applicabilità o che costituiscono linee di drenaggio permanenti.

Il valore medio annuo del tasso di erosione potenziale si attesta intorno alle 5 Mg ha⁻¹ y⁻¹.

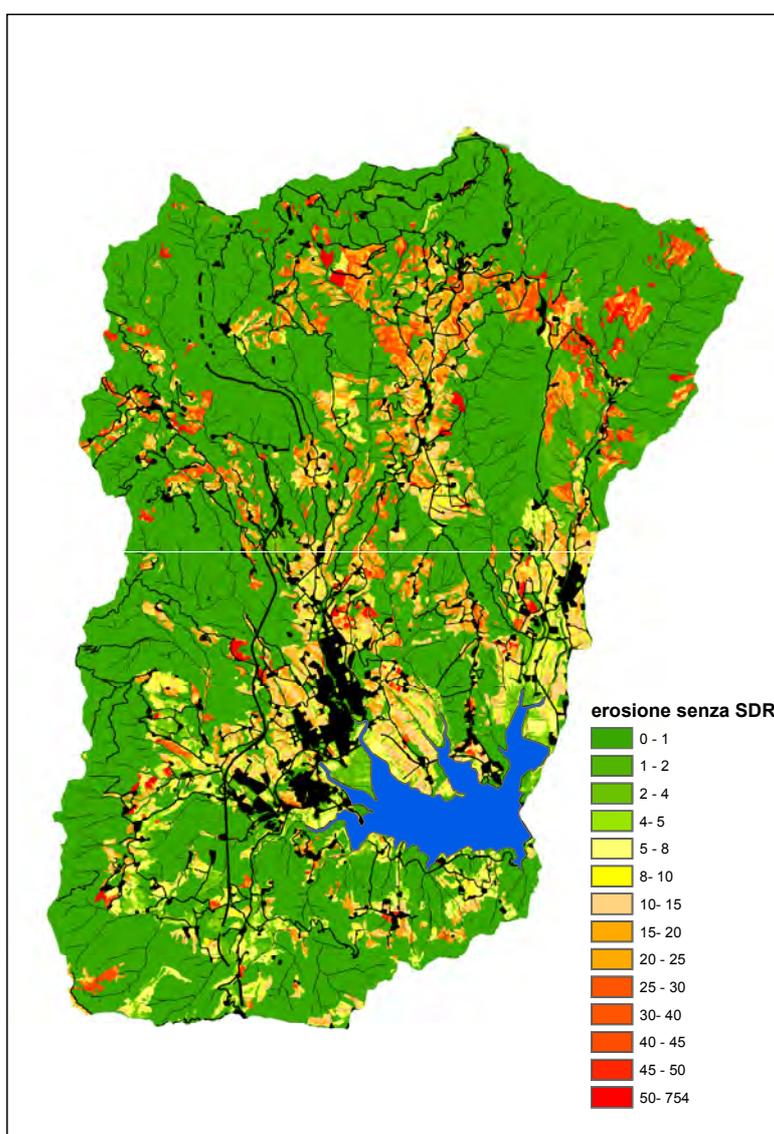


Figura 6.1.1: carta dell'erosione potenziale

Introducendo anche il fattore SDR (eq. 16) è possibile valutare la perdita netta da ogni cella e quindi la erosione netta dai versanti .

$$A = R * K * LS * C * P * SDR * total_mask \quad [16]$$

Il valore medio annuo del tasso di erosione netta si attesta intorno alle 1.8 Mg ha⁻¹ y⁻¹.

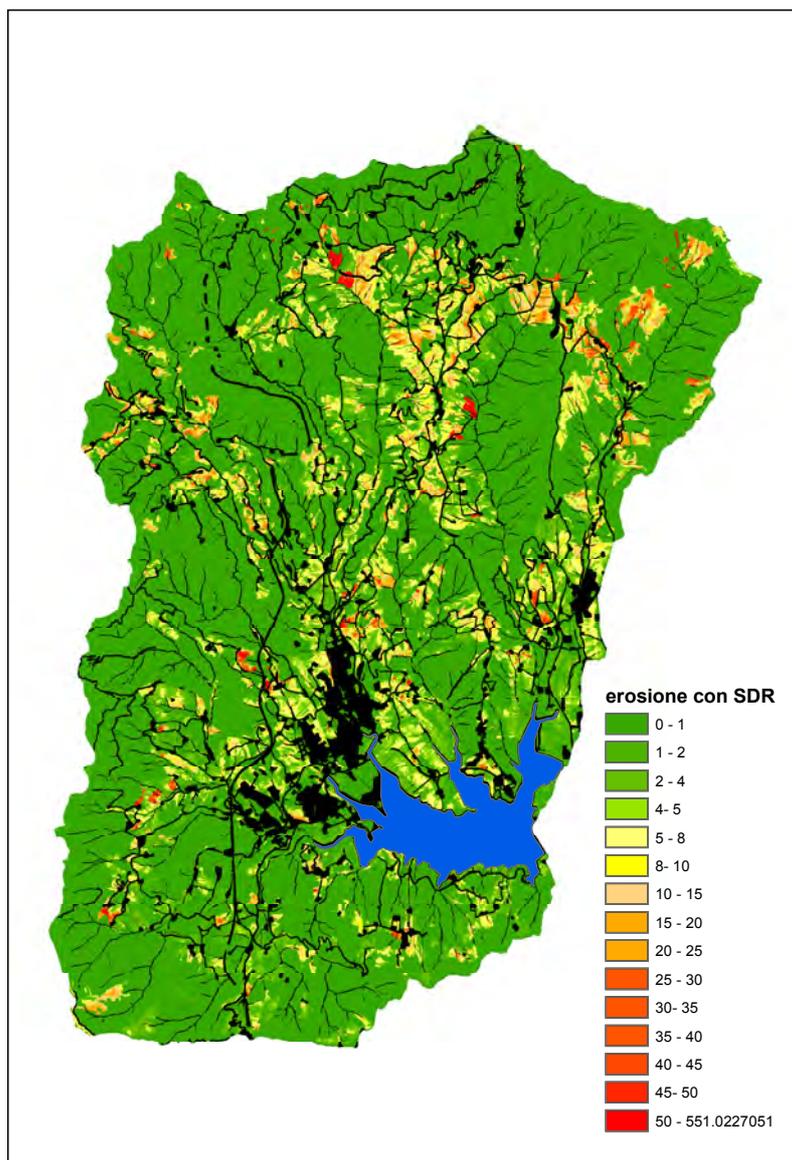


Figura 6.1.2: Carta dell'erosione con SDR

6.2. TASSO DI EROSIONE ANNUALE CON TEMPO DI RITORNO T = 30 ANNI

La sostituzione del fattore R con R30, erosività relativa a un tempo di ritorno T=30 anni, permette con le eq.17 e 18 di avere una valutazione valida per una annualità climaticamente estrema.

$$A = R_{30} * K * LS * C * P * total_mask \quad [17]$$

$$A = R_{30} * K * LS * C * P * SDR * total_mask \quad [18]$$

In questo caso si ottiene come valore del tasso di erosione potenziale $8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$, mentre il tasso di erosione netta si attesta intorno alle $3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$.

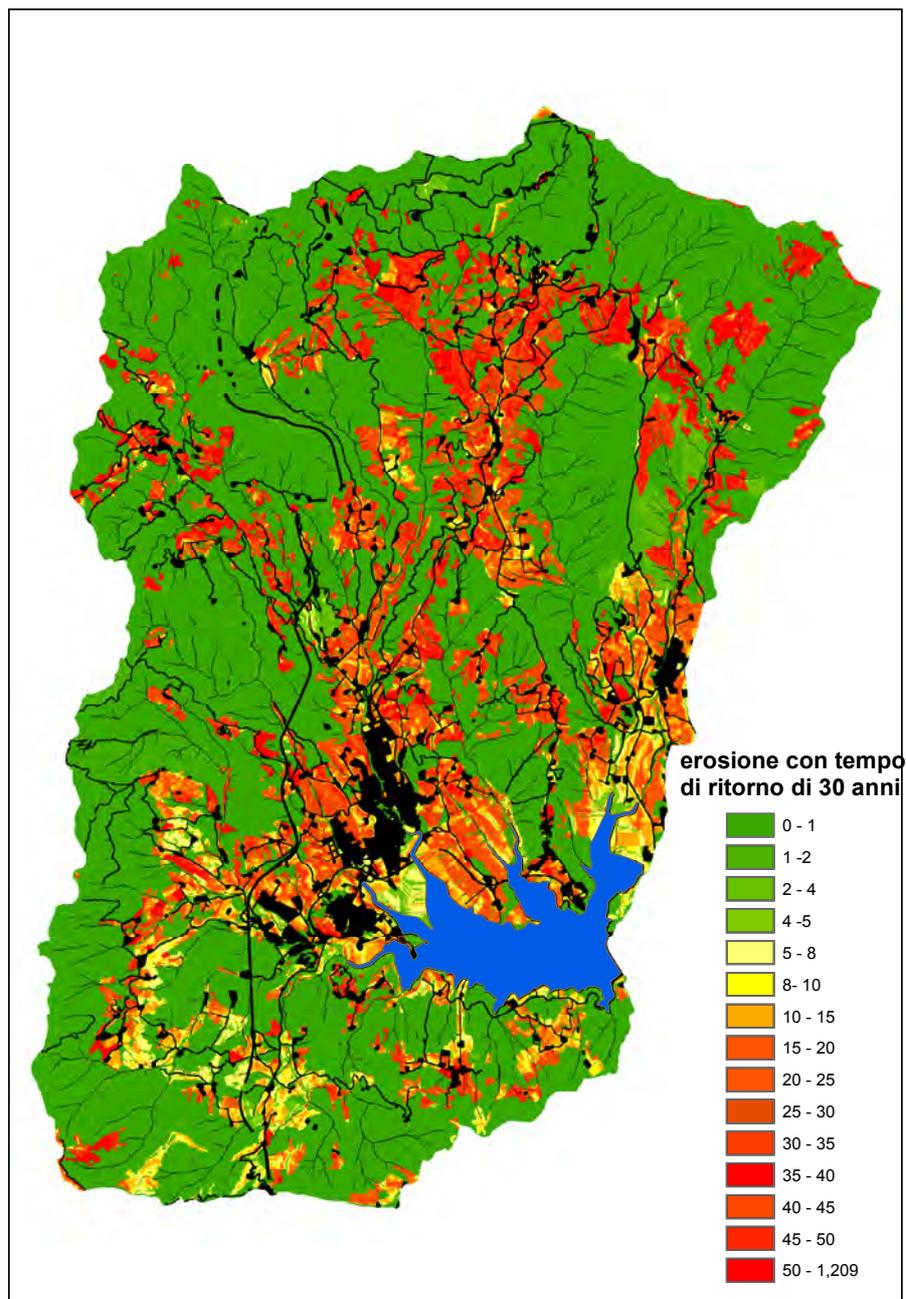


Figura 6.2.1: carta dell'erosione potenziale con tempo di ritorno a 30 anni.

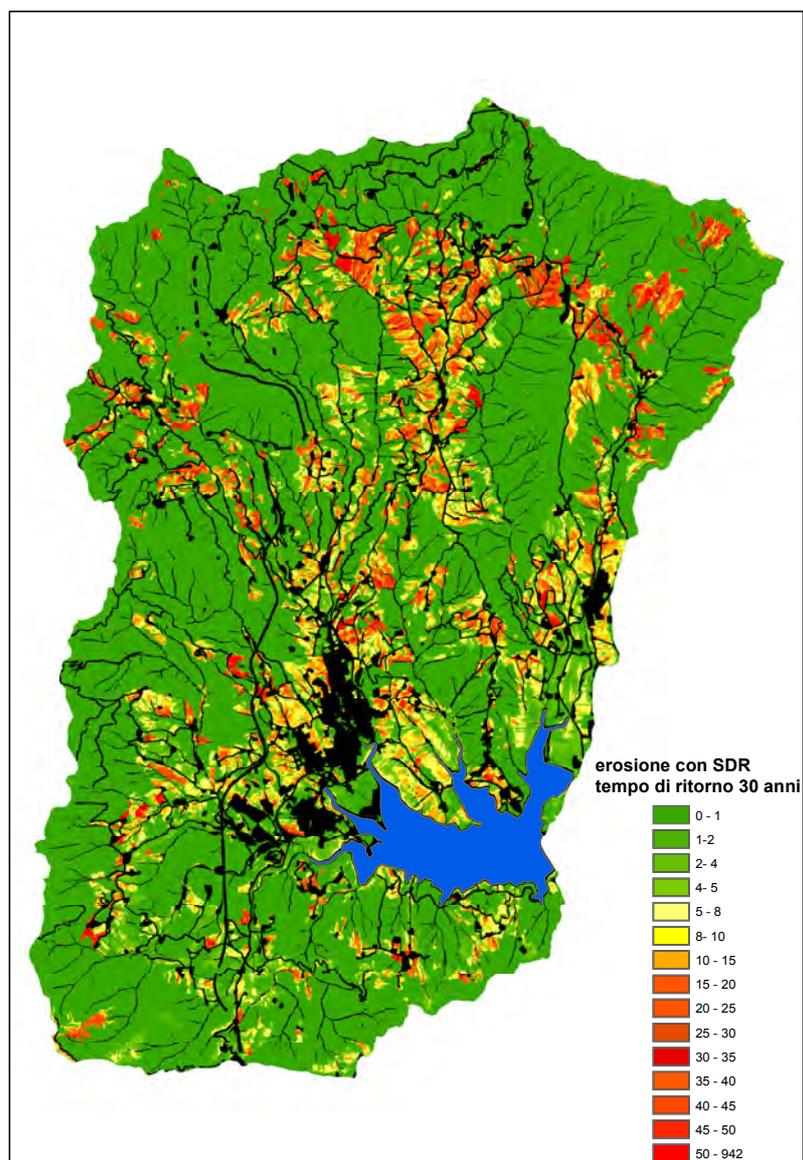


Figura 6.2.2: Carta dell'erosione con SDR e con tempo di ritorno a 30 anni

6.3. PRODUZIONE DEI SEDIMENTI ALL'INTERNO DEL BACINO DI BILANCINO ALLA LUCE DEI CAMBIAMENTI AVVENUTI IN SEGUITO ALLA COSTRUZIONE DELLA VARIANTE DI VALICO.

Il territorio del bacino di Bilancino ha subito e subirà sensibili modifiche sia nel uso del suolo sia nella morfologia in relazione alla costruzione della variante di valico e della terza corsia della A1. Opera di interesse strategico nazionale oggetto di un elaborata progettazione iniziata nei primi anni '90 e tutt'ora in corso per la progettazione esecutiva del tratto a sud di Barberino di Mugello. Durante l'iter di approvazione dell'opera intenso è stato il lavoro di valutazione dell'impatto ambientale, attività che perdura nella fase realizzativa tramite l'attività dell'Osservatorio Ambientale appositamente istituito per il tratto della "Variante di Valico".

La tipologia dei cantieri per la realizzazione di questa opera riguardano la costruzione di gallerie, viadotti, rilevati autostradali, aree di deposito degli inerti oltre alla costruzione della viabilità di servizio ed all'adattamento di quella esistente. Ad oggi non tutti i cantieri sono stati aperti, soprattutto per quanto riguarda la terza corsia dell'A1, a sud di Barberino.

La revisione della stima di produzione di sedimenti del bacino di Bilancino si è rilevata necessaria in quanto le zone coinvolte dalla realizzazione di quest'opera si trovano ad essere del tutto modificate proprio in quelle caratteristiche che maggiormente influenzano la stima dell'erosione, quali: la protezione da parte della copertura vegetale, l'erodibilità dei suoli, la morfologia e soprattutto la connettività. Questi cambiamenti in molti casi risultano essere permanenti, altri hanno carattere temporaneo. Per questo è stata calcolata la produzione di sedimenti di bacino sia nella fase di cantierizzazione che nella fase definitiva ad opera realizzata.

6.3.1 ELABORAZIONE DAI DATI DI PROGETTO

La valutazione che viene qui esposta è stata possibile solo grazie alla piena collaborazione dei progettisti e degli attuatori dell'opera autostradale (SPEA ingegneria Europea e Autostrade per l'Italia s.p.a.) che hanno fornito gli elaborati progettuali definitivi ed esecutivi e hanno supportato i tecnici dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno e i ricercatori del CNR-IRPI nei rilievi di campagna nelle aree di cantiere. Parimenti il supporto dell'amministrazione comunale di Barberino di Mugello, in particolare del Settore Gestione del Territorio e dell'assessorato all'Urbanistica, edilizia ed Ambiente, è stato indispensabile per valutare globalmente e nel dettaglio la percezione del problematica legata all'erosione e al trasporto solido, sia in relazione all'opera che all'intero bacino drenato nel lago del Bilancino.

L'elaborazione dei dati necessaria al calcolo dell'erosione è stata piuttosto complicata per la mole ed il formato in cui gli elaborati cartografici sono stati realizzati.

I file di progetto sono stati realizzati in formato "*.dwg", questi file sono stati esportati in formati utilizzabili in ARCMAP ed in molti casi georiferiti. Visto che l'opera interessa due diversi lotti della variante di valico e parte della terza corsia, e visto che i file sono stati realizzati da operatori diversi, forniti in tempi diversi e strutturati in maniera non omogenea, è stata necessaria una omogeneizzazione ed unione dei vari "pezzi" in cui la cartografia era frammentata.

Dai progetti sono state estratte le quote dei cantieri dei depositi e della variante di valico, per poter realizzare un nuovo DTM a 5 metri, i tracciati della variante di valico della strade di servizio, i confini delle aree di cantiere, dei depositi, dei campi cantiere e dell'area di servizio di Bellosguardo. Il lavoro maggiore è stato quello di isolare dai file i layer utili per le elaborazione da quelli che servivano semplicemente per una rappresentazione grafica o ad altri scopi progettuali.

I prodotti finali di questa fase di lavoro sono dei dati vettoriali e georiferiti che sono stati utilizzati come dato base per modificare le carte utili al calcolo dell'erosione.

Gli shapefile con i relativi file .dwg da cui sono stati estratti sono stati organizzati in directory relative a ciascun cantiere e tipo di opera.

6.3.2 ELABORAZIONE DELLE CARTE AGGIORNATE

Le carte dei fattori che concorrono al calcolo dell'erosione sono state rielaborate alla luce dei cambiamenti avvenuti nel bacino, grazie ai dati estratti dai file di progetto.

La carta del fattore LS (fattore morfologico) è stata rielaborata dal nuovo DEM secondo la procedura già descritta, sostituendo alle quote di bacino quelle di progetto estratte sia da supporto informatico che cartaceo. Le aree maggiormente modificate nella morfologia sono quelle interessate dai depositi di inerti (Puliana ed Acquatesa), la zona dello svincolo di Poggiolino e l'area di servizio di Bellosguardo. In linea di massima si può affermare che questi cambiamenti hanno portato un miglioramento per quanto riguarda il fattore morfologico per un addolcimento dei pendii.

La carta dell'uso del suolo è stata aggiornata con la digitalizzazione dei cantieri, dei depositi e delle strade di servizio. Le strade di servizio non asfaltate sono state considerate come aree di cantiere e non come elementi di intercettazione dei deflussi; questa scelta operativa è stata dettata dal fatto che in queste strade non viene adottato nessun tipo di opera di canalizzazione dei deflussi né di consolidamento della sede viaria; di conseguenza, queste strade diventano delle sorgenti di sedimentazione o aree di deposizione come le circostanti aree di cantiere. Questa carta dell'uso del suolo è specifica per il periodo di realizzazione dell'opera nell'ipotesi peggiore in cui tutti i cantieri sono aperti ed ancora non siano stati adottati sistemi di protezione del suolo ed intercettazione dei deflussi. Lo scenario ipotizzato si basa sulle osservazioni fatte in questi ultimi tre anni nei sopralluoghi nei cantieri aperti.

È stata anche elaborata la carta dell'uso suolo ad opera conclusa. La previsione è stata fatta estraendo dai file di progetto quello che sarà la sistemazione definitiva: alcune zone vengono cementificate e quindi fanno parte della maschera le altre saranno inerbite.

Dalle carte dell'uso del suolo sono state elaborate le carte del fattore C, attribuendo i valori riportati di seguito in Tabella -6.3.1 per ogni uso del suolo. I valori utilizzati sono quelli già stimati ad eccezione delle aree di cantiere e la fase successiva di inerbimento.

Classe	Sottoclasse	CLC	C RUSLE
edificato	edifici civili	1.1	0
	edifici industriali	1.2	0
verde	verde urbano	1.4.1	0.05
	verde sportivo	1.4.2	0.05
Inerbimenti cantieri depositi materiali e discariche	Zone deposito	1.4.1.1*	0.05
		1.4.1.2*	0.05
		1.3.3	1
		1.3.2	1
colture legnose agrarie	seminativo arborato	2.4.4	0.05
	vigneto specializzato	2.2.1	0.451
	oliveto specializzato	2.2.3	0.296
	frutteto specializzato	2.2.2	0.296
colture erbacee agrarie	seminativo	2.1.2	0.1
	colture orticole	2.1.4.1*	0.1
	vivaio e serra	2.1.4.2*	0.001

Classe	Sottoclasse	CLC	C RUSLE
vegetazione riparia		3.1.4*	0.006
verde di corredo stradale		1.4.1	0.05
incolto		3.2	0.04
pascoli	pascolo	2.3.1	0.15
	pascolo cespugliato	2.3.2*	0.13
bosco misto		3.1.3.1*	0.001
bosco rado		3.1.3.2*	0.006
affioramento roccioso		3.3.2	0.9
spiaggia laghi corsi d'acqua		4.2.3	1
		5.1.2	0
		5.1.1	0

* codici Corine Land Cover non corrispondenti a quelli ufficiali.

Tabella -6.3.1 Classificazione dell'uso del suolo, codici CLC e fattori di C corrispondenti.

La carta dell'erodibilità è stata modificata attribuendo valori di erodibilità più elevati nelle aree di cantiere nei depositi. Il calcolo è stato effettuato con il software specifico (KUERY 1.2) che permette, conoscendo il raggruppamento climatico, la pietrosità totale (R%), il contenuto di sostanza organica (om%) e il logaritmo del diametro medio geometrico della distribuzione tessiturale del suolo (Dg), di interrogare il database e ottenere la distribuzione dei valori di K per valori di input simili. Il software è quello utilizzato nel progetto BABI, che attinge ad un dataset di valori di K stimati per 239 suoli (TORRI et al., 1997).

Per le aree di cantiere sono stati utilizzati valori di K del 90% relativi all'unità pedologica corrispondente. La scelta di un valore così elevato è stata dettata dalle evidenti condizioni di instabilità di struttura. Per le aree di deposito di inerti è stato utilizzato un valore di 0,04 ($T \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ U.I.}$), perchè i materiali che vengono depositati non hanno le caratteristiche di un suolo in quanto a struttura, tessitura, contenuto di sostanza organica, permeabilità. Per questo si è scelto un valore molto alto di erodibilità.

La carta dell'erodibilità è stata quindi aggiornata con i nuovi i nuovi valori e utilizzata per la stima dell'erosione.

La carta dell'indice di connettività (Ic) e di conseguenza del fattore SDR (sediment delivery ratio) è stata rielaborata in base ai nuovi dati. Infatti, nel calcolo dell'indice di connettività vanno a influire, sia nella componente upstream che in quella downstream il fattore C, la pendenza ed il tracciato delle strade asfaltate. Quindi è stato necessario elaborare le carte del fattore SDR sia per la fase di cantiere che a fine opera.

6.3.3 ANALISI DATI E CONFRONTO

Le carte dell'erosione sono state elaborate per il bacino di Bilancino sia nella fase di cantiere che a fine opera, annuale e con tempo di ritorno a 30 anni.

Dal confronto delle Figura 6.3.1 e Figura 6.3.2 in cui sono rappresentate, rispettivamente, l'erosione del bacino di Bilancino con tempo di ritorno a 30 anni a fine opera ed in fase di cantiere, risaltano le aree di cantiere con tassi di erosione molto elevati.

Dall'analisi dei dati riportati in tabella non vi è un evidente aumento di produzione durante la fase di cantiere rispetto alla situazione ante e post opera. Anzi, risulta che l'erosione stimata prima della costruzione della variante di valico e della terza corsia è superiore rispetto a quella ad opera conclusa; questi dati sono attendibili perché le aree a nord del bacino interessate dai cantieri e dal tracciato della variante di valico erano delle zone con un elevato contributo specifico di erosione,

mentre a fine opera saranno in parte inerbite o rimboschite o in parte asfaltate e quindi non più considerate nella stima dell'erosione (Tabella 6.3.2).

Ante opera	media (t/ha/anno)
erosione media annua con SDR	1.92
erosione potenziale annuale con T 30 anni e SDR	3.3
Fase di cantiere	
erosione media annua con SDR	2.09
erosione potenziale annuale con T 30 anni e SDR	3.5
Opera finita	
erosione media annua con SDR	1.3
erosione potenziale annuale con T 30 anni e SDR	2.35

Tabella 6.3.2: Confronto erosione netta $t\ ha^{-1}\ y^{-1}$ in tre diverse situazioni in cui si trova il bacino.

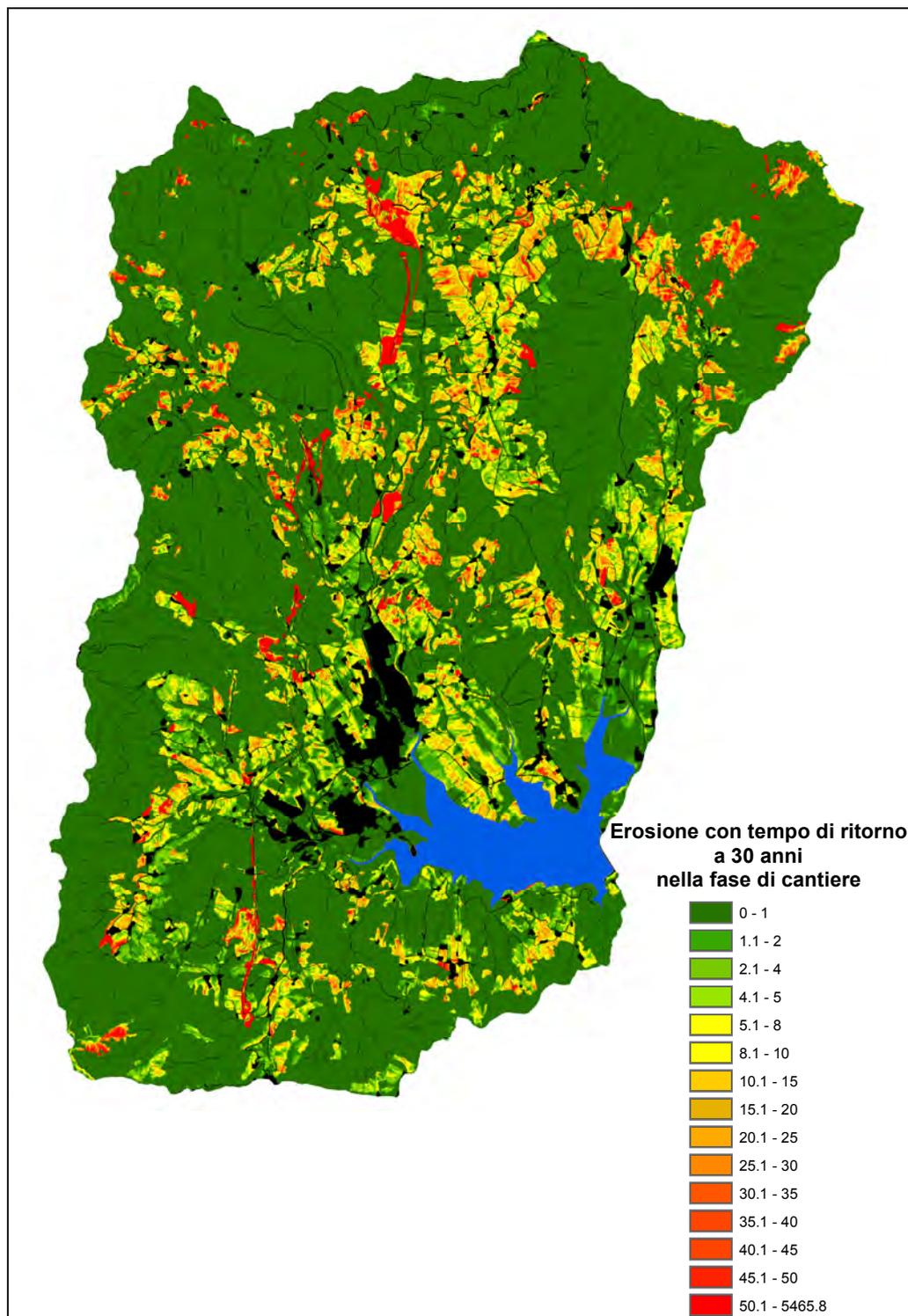


Figura 6.3.1: Carta dell'erosione del suolo ($T ha^{-1} y^{-1}$) in fase di cantiere

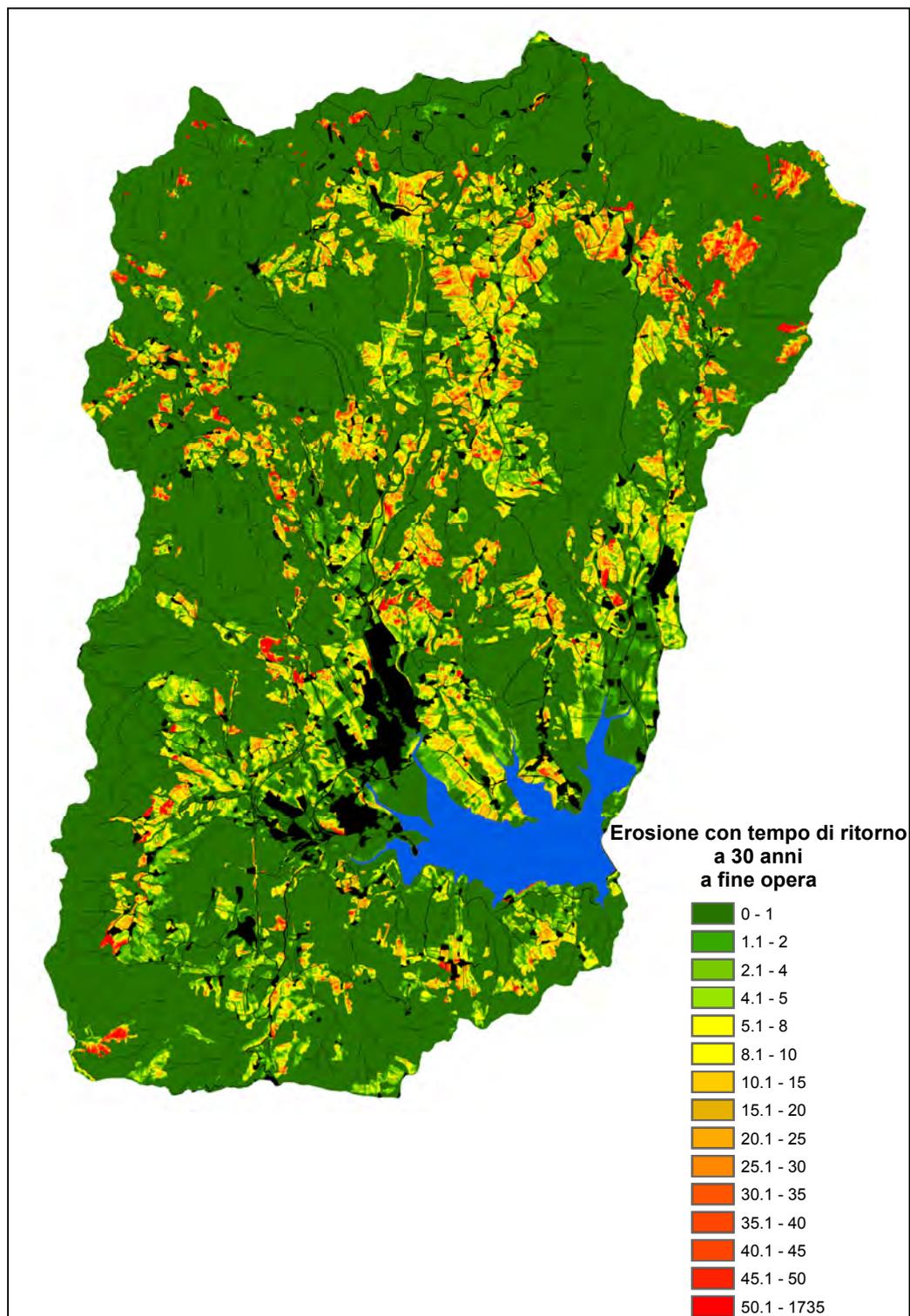


Figura 6.3.2: Carta dell'erosione del suolo ($T\ ha^{-1}\ y^{-1}$) a fine opera.

I risultati ottenuti sono una stima di massima del tasso di interrimento potenziale del Bacino di Bilancino, data la natura parziale del modello utilizzato, che permette solo di valutare l'apporto di sedimenti che dal versante arriva la reticolo di drenaggio permanente. Il bacino nella sua interezza presenta una basso apporto medio di sedimenti, quindi anche la capacità di sedimentazione all'interno dell'invaso ipotizzabile risulta essere piuttosto bassa.

Il rischio maggiore rilevato è a livello locale nelle zone interessate da cantiere, che possono presentare forti squilibri nella dinamica dei sedimenti nelle reti di drenaggio più prossime, in modo particolare nei periodi in cui si concentrano piogge molto erosive. Da quanto rilevato nei sopralluoghi le maggiori criticità si hanno nelle prime fasi di realizzazione dei cantieri, quali disboscamento, asportazione di terreno, apertura delle strade sterrate di servizio, durante le quali non sono ancora attivi sistemi di protezione del suolo e intercettazione dei deflussi, che, per quanto rilevato anche in lotti emiliani della Variante di Valico, in fasi avanzate di cantierizzazione risultano aver fornito un efficace risposta all'intercettazione dei sedimenti e alla limitazione della produzione degli stessi.

6.3.4 ANALISI DI DETTAGLIO DEI SOTTOBACINI DELLO STURA E DEL RITORTOLO

I sottobacini di Bilancino Stura e Ritortolo sono quelli maggiormente coinvolti nelle opere della variante di valico per questo è stata fatta un'analisi di dettaglio sulla produzione di sedimenti nelle fasi di realizzazione e completamento dell'opera.

Il bacino dello Stura si estende per 3960 ha a nord di Barberino, lo Stura è uno dei principali immissari del lago di Bilancino, e interessa una parte di territorio piuttosto estesa del bacino. Gran parte del tracciato della variante di valico e molti dei cantieri tra cui Poggiolino si trovano all'interno di questo bacino. Come si può vedere dalla tabella, la produzione media di sedimenti in tutte le situazioni è maggiore rispetto a quella media corrispondente per l'intero bacino (vedi Tabella 6.3.3). In fase di cantiere la produzione media di sedimenti stimata è molto elevata e come evidenzia la carta in molte aree si supera la soglia di $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, che è quella massima tollerabile secondo valori tratti da bibliografia. Le zone a forte suscettibilità sono quelle di cantiere dove i valori di erosione sono molto elevati (maggiore di $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$). Questo è ulteriormente aggravato dal fatto che in alcuni casi sono anche direttamente connesse con gli affluenti dello Stura. Quindi, è molto importante adottare delle opere di protezione e di trattenimento dei sedimenti fin dalle prime fasi di apertura di cantiere, in modo da limitare l'apporto di sedimenti nei torrenti, opere di drenaggio e gestione dei deflussi, affinché non si inneschino problemi di instabilità nelle aree adiacenti al cantiere.

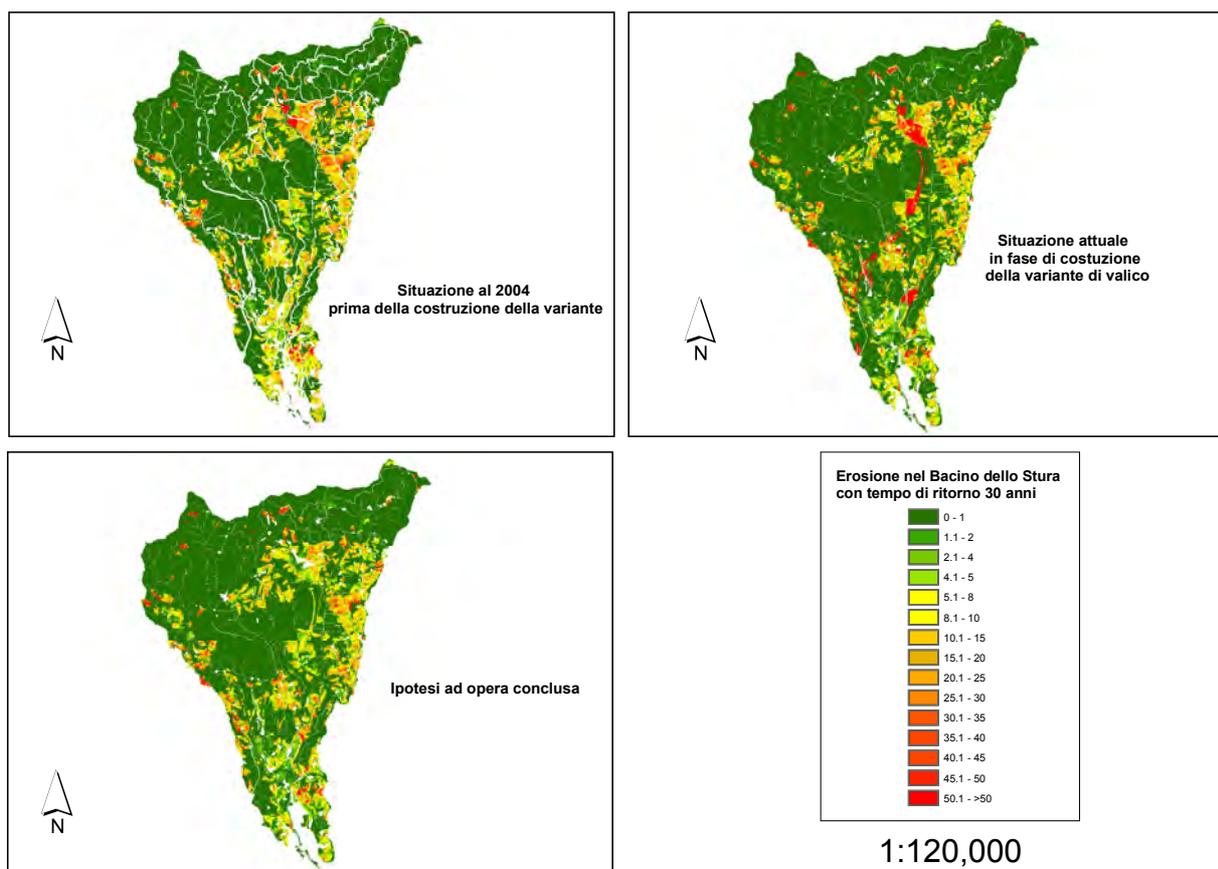


Figura 6.3.3: Erosione nel sottobacino dello Stura per piogge con tempo di ritorno a 30 anni

Ante opera	media (t/ha/ y)
erosione media annua con SDR	2.1
erosione potenziale annuale con T 30 anni e SDR	3.63
Fase di cantiere	
erosione media annua con SDR	3.9
erosione potenziale annuale con T 30 anni e SDR	6.81
Opera finita	
erosione media annua con SDR	1.71
erosione potenziale annuale con T 30 anni e SDR	2.9

Tabella 6.3.3: Erosione $T \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ nelle diverse situazioni di costruzione della variante di valico ne sottobacino dello Stura.

Il bacino di Ritortolo si estende per 672 ha a sud di Barberino, il torrente Ritortolo è un immissario minore del lago di Bilancino interessato dalla costruzione della terza corsia dell'A1 e l'area di servizio di Bellosguardo e Cornocchio

Ante opera	media (t/ha/ y)
erosione media annua con SDR	0.95
erosione potenziale annuale con T 30 anni e SDR	1.61
Fase di cantiere	
erosione media annua con SDR	2.22
erosione potenziale annuale con T 30 anni e SDR	3.7
Opera finita	
erosione media annua con SDR	1.1
erosione potenziale annuale con T 30 anni e SDR	1.85

Tabella 6.3.4: Erosione $T \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ nelle diverse situazioni di costruzione della terza corsia nel sotto bacino del ritortolo.

La tabella riassuntiva indica una situazione meno grave rispetto al bacino dello Stura, dovuta al fatto che i cantieri si estendono su una superficie inferiore e su un morfologia meno aspra (vedi Tabella 6.3.4 e Figura 6.3.4).

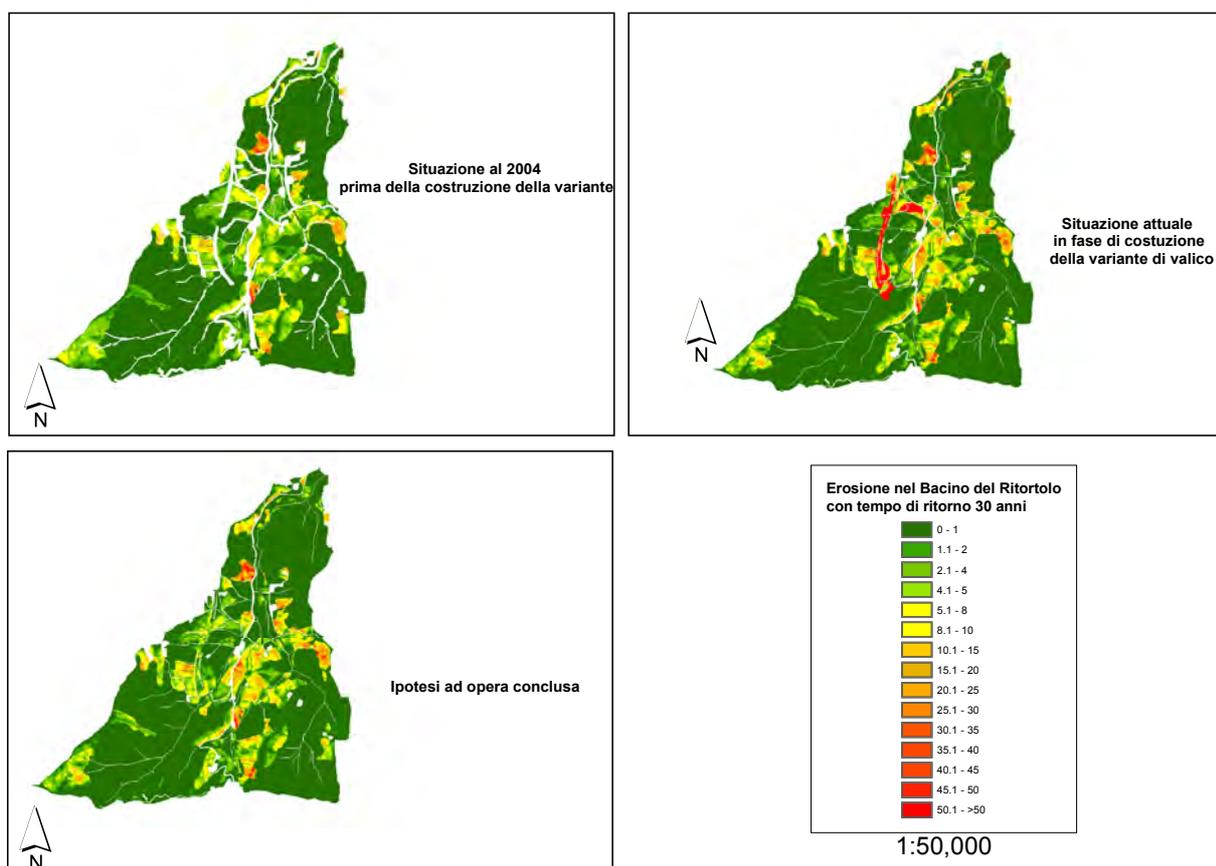


Figura 6.3.4: Carte dell'erosione nel sottobacino del Ritortolo per piogge con tempo di ritorno a 30 anni



Figura 6.3.5: panoramica del cantiere di Bollone (Luglio 2006)



Figura 6.3.6: Panoramica del cantiere di Poggiolino (Ottobre 2006)

6.3.5 TASSO DI EROSIONE NETTA DA VERSANTI E INTERRAMENTO DELL'INVASO DI BILANCINO

I valori di erosione netta provenienti dal dominio dei versanti costituiscono uno strumento per una valutazione di massima del tasso di interrimento potenziale del bacino di Bilancino.

Data la natura parziale del modello utilizzato (non consideriamo il contributo dell'erosione fluviale o relativa mobilità dei sedimenti) i risultati delle stime che seguono sono da considerarsi solo nell'ambito di una serie di ipotesi semplificative:

- nel dominio fluviale il bilancio di sedimenti è in regime di equilibrio, ovvero l'apporto di sedimenti proveniente dai versanti è trasportato fino all'invaso senza un rilevante accumulo o storage locale (funziona come un nastro trasportatore).
- L'estensione della superficie totale della rete di drenaggio è limitata rispetto a quella delle sorgenti primarie di sedimento sui versanti.
- La carica solida in sospensione che in uscita dallo sfioratore della diga si considera trascurabile rispetto alla quantità sedimentata nel bacino.

Assumendo che la superficie totale relativa alle sorgenti primarie di sedimento all'interno del bacino sia 12735 ha (circa 128 km²), utilizzando il tasso medio netto annuo di sedimenti che vengono esportati dai versanti alla rete di drenaggio permanente è possibile valutare il tasso di interrimento annuo in Mm³ del bacino medesimo.

Nella stima viene assunta una densità apparente media di 1.3 Mg/m³ per il suolo eroso dai versanti e una corrispondente densità apparente totale di 1.6 Mg/m³ per il sedimento all'interno dell'invaso.

Il tasso di erosione medio annuo è considerato qui variabile tra 1.8 (valore medio) e 3,9 (valore per T=30 anni nella fase di cantiere). Il range dei valori utilizzati tiene conto anche del tasso di produzione di sedimenti nella fase di cantiere ed è più ampio del semplice valore medio annuo per bilanciare eventuali effetti di cambiamento climatico nel senso di una estremizzazione delle piogge.

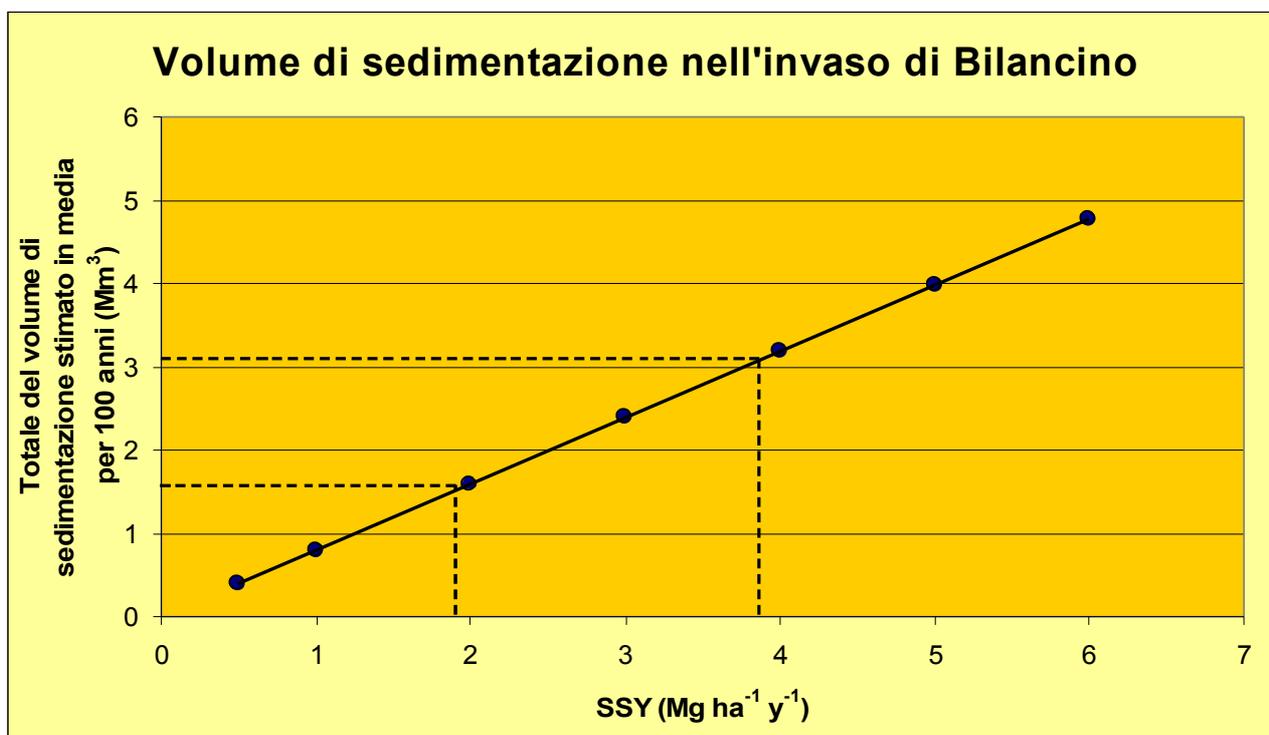


Figura 6.3.7: Bilancino: volume di sedimentazione nell'invaso media per 100 anni

La Figura 6.3.7 presenta la relazione esistente tra il tasso di erosione medio annuo stimato dai versanti e il volume sedimentato nell'invaso.

È evidente dal risultato che il valore medio di 3 Mm³ in cento anni indica una capacità di sedimentazione bassa, legata al basso apporto medio dal bacino nella sua interezza.

È necessario comunque considerare che la stima è mediata su tutto il bacino e non vengono presi in considerazione qui eventuali apporti differenziali da parti specifiche del bacino (T. Stura, T. Colecchia, T. Tavaiano). In pratica si assume che la distribuzione di sedimento nel bacino avvenga in modo uniforme all'interno del volume dell'invaso.

6.4. ANALISI CARTOGRAFICA E INDIVIDUAZIONE DI CLASSI DI SUSCETTIBILITÀ

L'analisi cartografica è servita ad individuare le situazioni di maggiore criticità per la produzione di sedimenti all'interno del bacino e le aree in cui si può applicare la normativa relativa al vincolo idrogeologico e la legge forestale.

Per l'analisi cartografica riguardante la suscettibilità all'erosione del bacino si è considerata la carta dell'erosione con tempo di ritorno a 30 anni e suddivisa in classi di rischio di erosione.

La suddivisione dell'erosione in classi di rischio è basata sul concetto di perdita di suolo tollerabile (soil loss tolerance).

Secondo la definizione del Agriculture Handbook n 703 il termine soil loss tolerance definisce il tasso massimo sostenibile di erosione del suolo che consente di sostenere un alto livello di produttività sia economicamente che nel lungo periodo.

Il tasso di perdita di suolo tollerabile è definita in base a vari criteri:

- la capacità del suolo di rigenerarsi
- il mantenimento di una profondità di suolo utile per la vegetazione di specie agricole, forestali, pastorali.
- il mantenimento delle caratteristiche del suolo che consentono un efficace regimazione dei deflussi.
- la quantità di sostanze minerali che vengono perse.

È evidente che il concetto di tolerance è legato diversi fattori:scientifici, economici biologici, che non sempre sono semplificabili in un range di valori.

Negli USA per tutti i tipi di suolo il range di valori di perdita di suolo considerata tollerabile è tra le 2 e le 11 t/ha /anno (Mannering 1981) l'ampiezza del range è dovuta al variare dei fattori sopraelencati. L'Autore indica come fattore determinante la profondità del suolo utilizzabile dalle radici.

Il valore di 11,2 t/ha /anno (5 t/ac/anno)è considerato il valore soglia di riferimento per la tolleranze venne a stabilito nel 1961 dall'USDA Soil Conservation Service. Questo valore corrisponde ad un tasso di formazione del suolo di 2,5 cm in 30anni.

In base a questi valori soglia definiti in bibliografia è stato stabilito di suddividere la suscettibilità all'erosione in 4 classi .

- E1 <2 t/ha/anno
- E2 2-10 t/ha/anno
- E3 10-20 t/ha/anno
- E4 >20 t/ha/anno

Nella classificazione della suscettibilità all'erosione utilizzata nel progetto si considera il range di valori di 2-10 t/ha/anno come soglia sotto la quale la perdita di suolo è sostenibile a livello di bacino secondo i criteri di tasso di rigenerazione del suolo, apporto di sedimenti al reticolo di drenaggio permanente, di capacità produttiva del terreno. Il valore è stato stabilito in base al tasso di perdita di suolo tollerabile comunemente condivisa a livello scientifico. Per valori tra 10 e 20 t/ha/anno il tasso di erosione non è sostenibile a livello di bacino e per valori estremi con tasso di erosione >20 t/ha/anno i fenomeni diventano importanti con perdite di suolo notevoli fino all'affioramento degli orizzonti più profondi.

Nella Figura 6.4.1 è rappresentata la carta di suscettibilità all'erosione con tempo di ritorno a 30 anni stimati nella fase di realizzazione del terza corsia e la variante di valico.

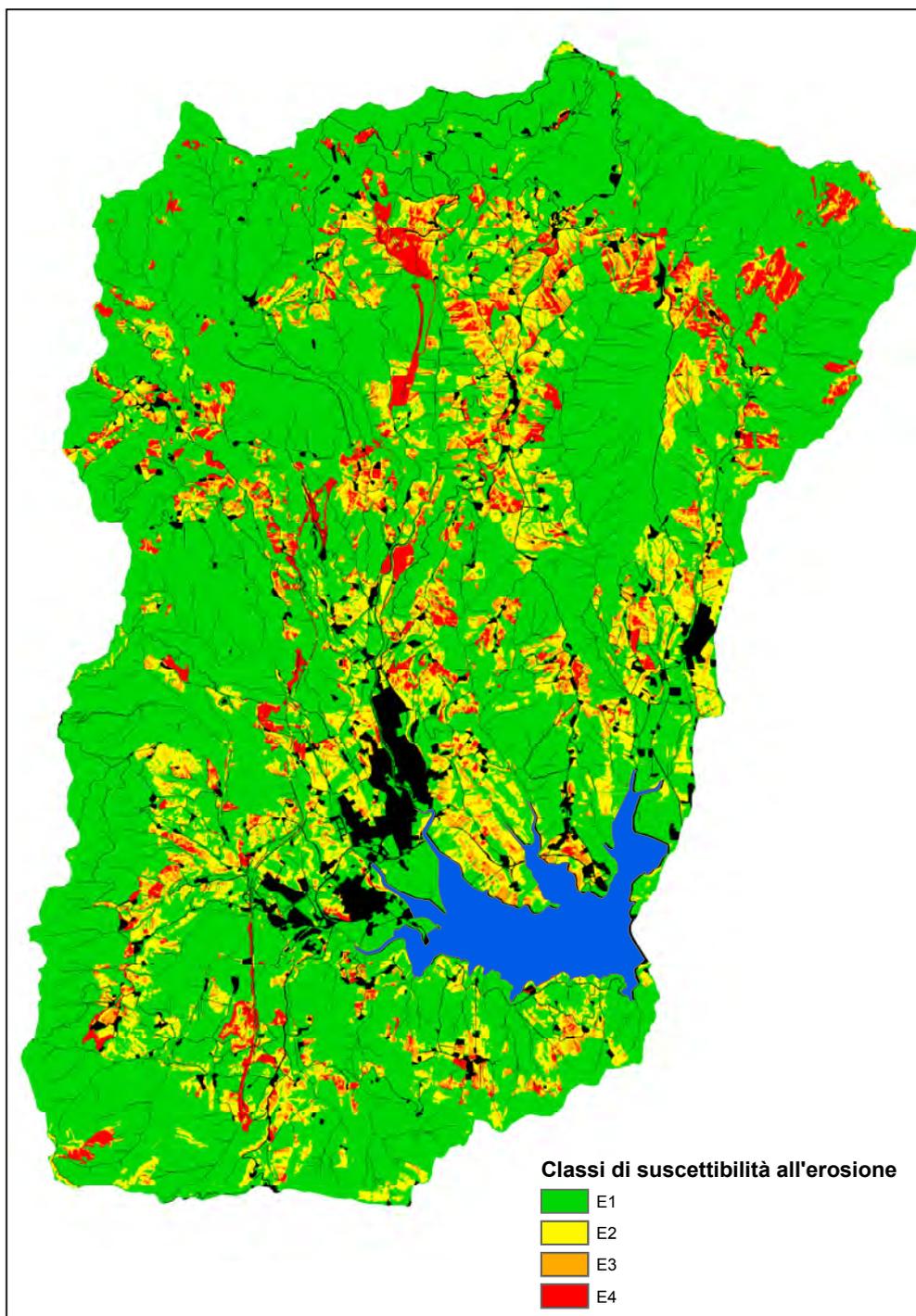


Figura 6.4.1: carta delle classi di suscettibilità all'erosione con tempo di ritorno a 30 anni in fase di realizzazione della variante di valico.

L'identificazione di 4 classi di suscettibilità all'erosione semplifica la lettura e l'interpretazione della carta anche a coloro che non sono “addetti ai lavori”. Inoltre fornisce una sintesi immediata e chiara dei risultati delle elaborazioni e permette una facile identificazione delle aree critiche a rischio di erosione in cui è necessario intervenire.

Ante operam		
Classi di suscettibilità all'erosione	Ha	%
E1 (<2 t/ha)	9237.74	72.53
E2 (2-10 t/ha)	1872.18	14.70
E3 (10-20 t/ha)	1092.06	8.57
E4 (>20 t/ha)	535.06	4.20
In fase di cantiere		
Classi di suscettibilità all'erosione	Ha	%
E1 (<2 t/ha)	10307.37	76.63
E2 (2-10 t/ha)	1751.23	13.02
E3 (10-20 t/ha)	730.69	5.43
E4 (>20 t/ha)	661.76	4.92
A fine opera		
Classi di suscettibilità all'erosione	Ha	%
E1 (<2 t/ha)	10360.64	77.13
E2 (2-10 t/ha)	1803.11	13.42
E3 (10-20 t/ha)	728.45	5.42
E4 (>20 t/ha)	539.70	4.02

Tabella 6.4.2: confronto della distribuzione delle classi di suscettibilità all'erosione nei diversi momenti di costruzione della variante di valico e terza corsia

La tabella 6.4.2 mostra la distribuzioni delle classi di suscettibilità all'erosione del bacino di Bilancino, in tre diverse situazioni di vulnerabilità. Il calcolo dell'erosione ante opera è stato fatto nel progetto BABI e presenta una area totale leggermente inferiore rispetto alle due stime successive, questo è solo un problema alla maschera utilizzata che non va ad inficiare sulla percentuale della suddivisione in classi. Inoltre è da evidenziare che nella fase ante opera era già presente il cantiere di Poggiolino anche se con estensione inferiore.

7. RIFERIMENTI CITATI NEL TESTO

- Autostrade per l'Italia s.p.a & SPEA Ingegneria Europea 2004,2006. Elaborati progettazione definitiva ampliamento terza corsia autostrada A1 subtratta Firenze Nord – Barberino di Mugello.
- Autostrade per l'Italia s.p.a & SPEA Ingegneria Europea 2006. Elaborati progettazione esecutiva adeguamento del tratto di attraversamento tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello autostrada A1; Lotti 11, 12 e 13.
- Bagarello V., D'Asaro F. 1994. Estimating single storm erosion index. *Transaction of The ASAE* 37(3), 785-791.
- Braun J. and Sambridge M. 1995. A numerical method for solving partial differential equations on highly irregular evolving grids. *Nature*, 376:655-660, 1995.
- Calzolari C., Bartolini D., Borselli L., Salvador Sanchiz P, Torri D., Ungaro F.. 2001. Applicazione in ambiente collinare e montano dell'Emilia Romagna di metodologie per la stima dell'erosione del suolo e della potenzialità alla generazione del deflusso: III Caratterizzazione delle principali unità di suolo presenti nel territorio di collina in termini di rischio di erosione: la definizione del parametro R, erosività delle piogge, per il modello RUSLE2, Rapporto n. 3.3- Regione Emilia Romagna, Ufficio Pedologico
- Calzolari C., Bartolini D., Borselli L., Salvador P., Torri D., Ungaro F., 2001. Metodi Curve Numbers e RUSLE: applicazione in ambiente collinare e montano dell'Emilia Romagna e prime valutazioni su alcune unità tipologiche di suoli. Rapporto 1.1, luglio 2001, 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 ambienti di pianura dell'Emilia Romagna"
- Calzolari C., Torri D., Borselli L., Ungaro F., Bartolini D, De Alba S.(2003) definizione ed utilizzo di modellistica dei processi erosivi in ambiente collinare e montano della regione Emilia Romagna. (in stampa)
- D'Asaro F. and Santoro M., 1983. Aggressività della pioggia nello studio dell'erosione idrica del territorio siciliano. *Arti Grafiche Siciliane, Palermo*, 28 pages + 1 map.
- Cebecauer T., Hofierka J., Suri M., 2002. Processing digital terrain models by regularized spline with tension: tuning interpolation parameters for different input datasets. *Proceedings of the Open Source GIS-GRASS users conference* Trento, Italy, 11-13 September 2002.
- FERRO V., PORTO P., 2000. Sediment delivery distributed (SEDD) model. *Journal of Hydrologic Engineering* October; 411-422.
- Gumbel E.J., 1958. *Statistics of extremes*. Columbia University Press. Irvington N.Y.
- Renard K. Foster G. R., Weessies G. A., Mc Cool D. K. ,Yodler D. C., 1997. *Predicting soil erosion by water - a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. D.A.- A.R.S., Handbook No 703; (384 pp.).
- Renard, K.G. and Freimund, J.R., 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157, 287-306.
- Richardson C., W., Foster, G., R., Wright, D., A., 1983. Estimation of rainfall index from daily rainfall amount. *Transactions of the ASAE*, 153-160.
- Rompae A.J.J, Verstraeten G., Van Oost K., Govers G., Poesen J., 2001. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1221-1236.
- Sibson R. 1981. A brief description of natural neighbor interpolation. In V. Barnett, editor, *Interpreting Multivariate Data*, pages 21-36, Chichester, 1981. John Wiley
- Sun, G. and S. McNulty. 1998. Modeling soil erosion and transport on forest landscape. In *Proceedings of Conference 29*, International Erosion Control Association, February 16-20, 1998, Reno, Nevada, 187-198.
- Torri D., Borselli L., Guzzetti F., Calzolari C., Bazzoffi P., Ungaro F. and Bartolini D.. (in Stampa). Soil Erosion in Italy: an overview. In "Soil Erosion In Europe" . J. Boardmann & J. Poesen (eds). John Wiley editor.
- USDA-NRCS. 1983. Sediment sources, yields, and delivery ratios. Chapter 6 in *National Engineering Handbook*, Section 3, Sedimentation. US Department Agriculture, Natural Resources Conservation Service (USDA-NRCS) formerly Soil Conservation Service (SCS), pp. 6.2-6.19. Washington, D.C.: USDA, Government Printing Office.
- Vandaele K, Poesen J, Marques Da Silva JR, Desmet P. 1996. Rates and predictability of ephemeral gully erosion in two contrasting environments. *Geomorphologie: Relief, Processus, Environment* 2: 83–96.
- Verstraeten G., Poesen J . . 2001. Modelling long-term sediment trap efficiency of small ponds. *Hydrological processes*. 40: 123–144
- Verstraeten G., Poesen J . 1999. The nature of small-scale flooding, muddy floods and retention pond sedimentation in central Belgium . *Geomorphology* 29:275–292
- Verstraeten G., Poesen J .. 2001. Factors controlling sediment yield from small intensively cultivated catchments in a temperate humid climate. *Geomorphology* 40 123–144
- Watson D. F. 1992. *Contouring: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data*. Pergamon Press, Oxford, 1992.
- Whishmeier W.H., Smith D. D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. U.S. department of Agriculture; 537

- 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.
- Yagow, E.R., V.O. Shanholtz, B.A. Julian and J.M. Flagg. 1988. A water quality module for CAMPS. Paper presented at the 1988 International Winter Meeting of ASAE, December 13-16, 1988, Chicago, Illinois.

8. APPENDICE: RACCOLTA BIBLIOGRAFICA SU BACINO DEL BILANCINO (MUGELLO) E MODELLISTICA EROSIONE

8.1. MODELLI STIMA EROSIONE

- Autori Vari. August 12, 1999 Hydrologic criteria and drainage design manual. Section 1300 Erosion and Sedimentation.
- BAZZOFFI P., PELLEGRINI S., Luglio-Agosto 1992. Erosione sui versanti e sedimentazione in un serbatoio artificiale della Valdera. Validazione della procedura E.A.R.M. per la previsione della distribuzione spaziale dei sedimenti. *Idrotecnica*; 4, 217-228.
- BERNARD C., LAVERDIÈRE M.R., 2001. Assessment of soil erosion at the watershed scale from Cs137 measurements. In D.E. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steindart (eds) 2001: sustaining the global farm. Selected papers from 10 th International Soil Conservation Organisation Meeting held may 24-29, 1999 at Purdue University and USDA-ARS National Soil Erosion research Laboratory; 1034-1038.
- BEUSELINCK L., GOVERS G., STEEGEN A., HAIRSINE P. B., POESEN J., 1999. Evaluation of the simple setting theory for predicting sediment deposition by overland flow. *Earth Surf. Process. Landforms* 24, 993 – 1007.
- BORSELLI L., 1995. FUSLE: a computer program for soil loss risk analysis by fuzzy variables and possibility distributions. *Quaderni Della Scienza Del Suolo*; VI, 81-98.
- BORSELLI L., TORRI D., 1998. Integrate framework for soil erosion critical state assessment. 7th ICCTA- International congress for computer technology in agriculture.
- BYNE W., 2000. Predicting sediment detachment and channel scour in the process – based planning model answers-2000. Thesis Submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Biological Systems Engineering; 273 pp.
- CALZOLARI C., BARTOLINI D., BORSELLI L., SANCHIZ S. P., TORRI D., UNGARO F., 2001. Applicazione in ambiente collinare e montano dell'Emilia Romagna di metodologie per la stima dell'erosione del suolo e della potenzialità alla generazione del deflusso: 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- Regione Emilia Romagna, Ufficio Pedologico.
- CALZOLARI C., BARTOLINI D., BORSELLI L., SANCHIZ S. P., TORRI D., UNGARO F., 2001. Applicazione in ambiente collinare e montano dell'Emilia Romagna di metodologie per la stima dell'erosione del suolo e della potenzialità alla generazione del deflusso: III Caratterizzazione delle principali unità di suolo presenti nel territorio di collina in termini di rischio di erosione: la definizione del parametro R, erosività delle piogge, per il modello RUSLE2. Rapporto n. 3.3- Regione Emilia Romagna, Ufficio Pedologico.
- CALZOLARI C., TORRI D., BORSELLI L., UNGARO F., BARTOLINI D., DE ALBA S., (2003). Definizione ed utilizzo di modellistica dei processi erosivi in ambiente collinare e montano della Regione Emilia Romagna. (in stampa).
- DER KNIJFF J.M., JONES R. J. A., MONTANARELLA L.. Soil erosion risk assessment in Italy. European Soil Bureau, Space Application Institute, Joint Research Center of the European Commission.
- DI STEFANO C., FERRO V., PALAZZOLO E., M. PANNO, 2000. Sediment Delivery Processes and Agricultural Non-point Pollution in a Sicilian Basin. *J. agric. Engng Res.*, 77 (1), 103-112.
- DOE W. W. III, JONES D. S., WARREN S.D., 1999. The Soil Erosion Model Guide for Military Land Mangers: Analysis of Erosion Models for Natural and Cultural Resources Applications. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Technical report ITL 99-XX. 122 pp.

- Environmental Water Quality BAE 452/552 Session 16 Loading Functions, Solid-phase and Dissolved Chemical Loads. Presentazione su Power Point.
- FOSTER G.R, SIMANTON J. R, RENARD K. G., LANE L. J., OSBORN H. B., March 1981. Discussion of "Application of the Universal Soil Loss Equation to Rangelands on a Per.Storm Basis," by Trieste and Gifford in Journal of Range Management 33:66-70,1980. Journal of Range Management; 34, 161-164.
- GOBIN A., GOVERS G., JONES R., KIRKBY M., KOSMAS C., 2003. Assessment and reporting on soil erosion. European Environment Agency. 103 pp.
- GREENFIELD J., LAHLOU M., SWIFT L. Jr., MANGUERRA H.B., Watershed Erosion and Sediment Load Estimation Tool
- HAIRSTON J. E., STRIBLING L., BECK J. M.,2001. Estimating Soil Erosion Losses And Sediment Delivery Ratios. Alabama A&M and auburn Universities.
- JIMENEZ J. A., MADSEN O. S., 2003. Simple Formula to Estimate Settling Velocity of Natural Sediments. Journal of waterway, Port, Coastal and Ocean engineering. Vol 129; March/April; 70-78.
- JOHNSON C.W., SAVABI M. R., LOOMIS S. A., 1984. Rangeland erosion measurement for the USLE. Transactions of the ASAE, 1313-1320.
- JONES D.S., KOWALASKI D. G., SHAW R. B. Calculating Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) estimates Department of Defense Lands: e review of RUSLE factors and U.S. Army Land Condition-Trend Analysis (LCTA) data gaps. Colorado State University Fort Collins, CO 80523. Center of ecological management of military lands Department of Forest Science.
- KALINA L., GOVINDARAJU R.S., HANTUSHB M.M., 2003. Effect of geomorphologic resolution on modeling of runoff hydrograph and sediment graph over small watersheds. Journal of Hydrology 276; 89–111.
- KINNELL P.I.A., 1999. AGNPS-UM: Applying the USLE-M within the Agricultural Non Point Source Pollution model. Centre for Resource and Environmental Studies The Australian National University ACT 0200; 23 pp.
- KRYSAKOVA V., WECHSUNG F., in collaboration with ARNOLD J., SRINIVASAN R., WILLIAMS J., 2000. SWIM (Soil and Water Integrated Model) User Manual. 32 pp.
- LAMBRECHTSEN N., HICKS D., 2001. Ecological Soil intactness/ Erosion Monitoring Techniques. A literature review. Ministry for the Environment and Regional Councils' Land Monitoring Group. Technical paper n. 61 Land.
- LAFLEN J.M., FOSTER G.R. and ONSTAD C.A., 1985. Simulation of individual storm soil loss for modelling the impact of soil erosion on crop productivity. In: S. A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer and A. Lo (Editors), Soil erosion and conservation. Soil Conservation Society of America, Ankeny, pp. 285- 295
- LIN CHAO-YUAN, Lin WEN-TZU, CHOU WEN-CHIEH, 2002. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. Soil & Tillage Research 68 143–152.
- LU H., MORAN C. J., PROSSER I.P., RAUPACH M. R., OLLEY J., PETHERAM C., 2003. Sheet and Rill Erosion and Sediment Delivery to Streams: A Basin Wide Estimation at hillslope to Medium Catchment Scale. Technical Report 15/03, CSIRO Land and Water. 55 pp.
- MA Y., BARTHOLIC J., SHI Y., ASHER J., OUYANG D., GRIGAR J., NPS Assessment Model: An Example of AGNPS Application for Watershed Erosion and Phosphorus Sedimentation. J. of Spatial Hydrology vol. 1.1 no. 1.
- MARTINEZ C., TIEN C., 2001. AGNPS 2001. ABE 6254 Simulation of Agricultural Watersheds.
- MILLWARD A.A., MERSEY J. E., 1999. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. CATENA; 38, 109-129.
- MITASOVA H., MITAS L., BROWN W. M., 2001. Multiscale simulation of land use impact on soil erosion and deposition patterns. In D.E. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steindart (eds) 2001: sustaining the global farm. Selected papers from 10 th International Soil Conservation Organization

- Meeting held may 24-29, 1999 at Purdue University and USDA-ARS National Soil Erosion research Laboratory.
- NACHTERGAELE J, POESEN J. 1999. Assessment of soil losses by ephemeral gully erosion using high-altitude (stereo) aerial photographs. *Earth Surface Processes and Landforms* 24: 693–706.
- PILOTTI M., BACCHI B., 1997. Distributed evaluation of the contribution of soil erosion to the sediment yield from a watershed. *Earth Surface Processes and Landforms*; 22, 1239-1251.
- PISTOCCHI A., CASSANI G., ZANI O. Use of the USPED model for mapping soil erosion and managing best land conservation practices. Regione Emilia Romagna, Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli; 163-168.
- POESEN J, VANDAELE K, VAN WESEMAEL B. 1996. Contribution of gully erosion to sediment production in cultivated lands and rangelands. *International Association of Hydrological Sciences Publication* 236: 251–266.
- POESEN J, VANDAELE K, VAN WESEMAEL B. 1998. Gully erosion importance and model implications. In *Modelling Soil Erosion by Water*, Boardman J, Favis-Mortlock DT (eds). NATO ASI Series Vol. I, 55, Springer-Verlag: Berlin–Heidelberg; 285–311.
- POESEN J., NACHTERGAELE J., VERSTRAETEN G., VALENTIN C. 2003. Gully erosion and environmental change: importance research needs. In “Gully erosion and global change”, Poesen J. Valentin C. (eds.) . *Catena* (special issue) 50:91-134.
- RENARD K. G., FOSTER G. R., WEESIES G. A., MC COOL D. K. e YOLDER D. C. Coordinators., 1997. Predicting soil erosion by water - a guide to conservation planning with the Revisited Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S.D.A.- A.R.S., Handbook No 703; (384 pp.).
- RENSCHLER C.S., HARBOR J., 2002. Soil erosion assessment tools from point to regional scales —the role of geomorphologists in land management research and implementation. *Geomorphology* 47; 189–209
- RICE R. M., 1982?. Sedimentation in the Chaparral: How Do You Handle Unusual Events? 39-42 pp.
- RISSE M.L., NEARING M. A., NICKS A. D., LAFLEN M., J. May-June 1993. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Soc. Am. J.*; 57, 825-833.
- SIMS S., 2003. Hillslope and Tributary Sediment Source Assessment in San Pedro Creek Watershed: Sediment Production and Methodology. *Geog* 810; 42 pp.
- SIVAPLAN M., JOTHITYANGKON C., MENABDE M., 2002. Linearity and nonlinearity of basin response as a function of scale: discussion of alternative definitions. *Water Resources Research*, VOL 38, NO. 2.
- STERPI D., 2003. Effects of the Erosion and Transport of Fine Particles due to Seepage Flow. *International Journal of Geomechanics*, Vol. 3, No. 1, 111-122.
- TAYFUR G., 2002. Applicability of Sediment Transport Capacity Models for Non steady State Erosion from Steep Slopes *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 7, No. 3; 252-259.
- VAN DER KNIJFF J.M., JONES R. J. A., MONTANARELLA L.. Soil erosion risk assessment in Europe. European Soil Bureau, Space Application Institute, Joint Research Centre of the European Commission.
- TORRI D., CALZOLARI C., RODOLFI G., 2000. Badlands in changing environment: an introduction. *Catena*, 40, 119-125
- WELTZ M.A., RENARD K.G. and SIMANTON J.R., 1987. Revised universal soil loss equation for western rangelands. In *US/Mexico Symposium on Strategies for Classification and Management of Native vegetation for Food Production in Arid Zones*. U.S: Forest Serv. Ge. Tech. Rep. RM-150., pp 104-111.
- VANDAELE K, POESEN J, MARQUES DA SILVA JR, DESMET P. 1996. Rates and predictability of ephemeral gully erosion in two contrasting environments. *Geomorphologie: Relief, Processus, Environment* 2: 83–96.

- VINEY N.R., SIVAPALAN M., 1999. "A conceptual model of sediment transport: application to the Avon River Basin in Western Australia". *Hydrol. Process.* 13, 727-743.
- WHISCHMEIER W.H., January-February 1976. Use and misuse of the universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*(5-9).
- WHISCHMEIER W.H., SMITH D. D., 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U.S. department of Agriculture; 537.
- WOODWARD DE. 1999. Method to predict cropland ephemeral gully erosion. *Catena* 37: 393–399.
- ZANCHI C., BAZZOFFI P., 1981. Metodologie per la valutazione dell'erosione: primi risultati. *ANNALI ISDS*; XII:68-95.

8.2. EROSIVITÀ

- BAGARELLO V., D'ASARO F. 1994. Estimating single storm erosion index. *Transaction of The ASAE* 37(3), 785-791
- D'ASARO F. AND SANTORO M., 1983. Aggressività della pioggia nello studio dell'erosione idrica del territorio siciliano. *Arti Grafiche Siciliane, Palermo*, 28 pages + 1 map.
- NEPPEL L., DESBORDES M., MASSON J.M., 1997. Spatial extension of extreme rainfall events: return period of isohyets area and rain gauges network evolutions. *Atmospheric research* 45; 183-199.
- PAP/RAC, 1997. Guidelines for Mapping and Measurement of Rainfall-Induced Erosion Processes in the Mediterranean Coastal Areas. PAP-8/PP/GL.1. Split, Priority Actions Programme Regional Activity Centre (MAP/UNEP), with the cooperation of FAO. pp 70.
- SALLES C., POESEN J., SEMPERE-TORRES D., 2002. Kinetic energy of rain and its functional relationship with intensity. *Journal of Hydrology*; 257, 256-270.
- SIVAPALAN M., BLÖSCHL G., 1998. Transformation to point rainfall to areal; intensity- duration – frequency curves. *Journal of Hydrology* 204; 150 – 167.
- SUN G., MC NULTY S.G., MOORE J., BUNCH C., NI J., 2002. Potential Impacts of Climate Change on Rainfall Erosivity and Water Availability in China in the Next 100 Years. In the International Soil Conservation Conference, Beijing China.
- SYVITSKI J.P.M., 2001. Supply and flux of sediment along hydrological pathways: anthropogenic influences at the global scale. *LOICZ Newsletter* N.20.
- TORRI, D., 1976. Erosività delle piogge: considerazioni e metodo rapido di calcolo. *ANNALI ISDS*; VII:43-8.
- TORRI D., BORSELLI L., GUZZETTI F., CALZOLARI C., BAZZOFFI P., UNGARO F. AND BARTOLINI D.. (in Stampa). Soil Erosion in Italy: an overview. In "Soil Erosion In Europe" . J. Boardmann & J. Poesen (eds). John Wiley editor
- VAN DIJCK A.I.J.M., BRUIJNZEEL L. A, ROSEWELL C. J, 2002. Rainfall intensity-kinetic energy relationship: a critical literature appraisal. *Journal of hydrology*; 261, 1-23.
- WILLIAMS R.G. and SHERIDAN J.M., 1991. Effect of rainfall measurement time and depth resolution on Ei calculation. *Transactions of the ASAE*, 34(2), 403-406.
- ZANCHI C., 1983. Influenza dell'azione battente della pioggia e del ruscellamento nel processo erosivo e variazioni dell'erodibilità del suolo nei diversi periodi stagionali. *ANNALI ISDS*; XIV:347-59.

8.3. ERODIBILITÀ

- COSTANTINI E.A.C., . Le analisi fisiche nella definizione della qualità dei suoli per la valutazione del territorio. Istituto Sperimentale per la difesa del suolo.
- CERTINIA G., HILLIERB S., MC MURRAYB E., EDWARDS A.C., 2003. Weathering of sandstone clasts in a forest soil in Tuscany (Italy). *Geoderma* 116; 357– 372.
- ERSO., 1990. I suoli della collina cesenate. Regione Emilia Romagna, Archivio Cartografico.

- ISSDS, Firenze . 2001. Progetto Metodologie pedologiche, sottoprogetto 1. Gruppo di lavoro "Criteri per la definizione delle Unità tipologiche di suolo (UTS)" Firenze.
- MIPAF, ISSDS, Regione Toscana, 2002. Metodologia di costruzione dell'informazione geografica e pedologica nelle aree pilota.
- Regione Campania, SeSIRCA, 2002. Metodologia di costruzione dei sottosistemi pedologici nelle Regione Campania nell'ambito della realizzazione della Carta dei Suoli d'Italia in scala 1:250.000, Napoli.
- PARLANGE J.-Y., HOGARTH W.L., BARRY D.A., PARLANGE M.B., HAVERKAMP R., ROSS P.J., STEENHUIS T.S., DI CARLO D.A. , KATUL G., 1999. Analytical approximation to the solutions of Richards equation with applications to infiltration, ponding, and time compression approximation. *Advances in Water Resources* 23, 189-194.
- TORRI D., POESEN J., BORSELLI L., 1997. Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. *CATENA*; 31, 1-22.
- POESEN J.W.A., RÖMKENS M. J. M., 1986 A global summary of the soil erodibility factor (K). First Daft As a Part of Presentation- I.S.S.S. Meeting, Hamburg.
- RÖMKENS M.J.M. The soil erodibility factor: A perspective.
- TORRI D., BORSELLI L.. Water Erosion. In M.E. Sumner (ed.) *Handbook of Soil Science*, Section G, Chapter 7, 171-194, CRC Press (Boca Raton, USA).
- TORRI D., BAZZOFFI P., BORSELLI L., 1998. I parametri fisici correlati all'erosione del suolo. Estratto Da: "La Normalizzazione Dei Metodi Di Analisi Fisica Del Suolo " I Geogofili. Quaderni III:59-93.

8.4. MORFOLOGIA VERSANTE

- CASTRO C.D., ZOBECK T. M., March April 1986. Evaluation of the topographic factor in the universal soil loss equation on irregular slopes. *Journal of Soil and Water Conservation*, 113-116.
- GOVINDARAJU R.S., 1998. Effective erosion parameters for slopes with spatially varying properties. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* Vol. 124. No.2, March April; 81-88.
- KINNELL P.I.A., 2001. Slope length factor for applying the USLE-M to erosion in grid cells. *Soil & Tillage Research* 58; 11-17
- MOORE I.D., and WILSON J.P., 1992, Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47, 423-428.
- MONTGOMERY D.R and DIETRICH W E, 1994. Landscape dissection and drainage area slope thresholds. In Kirkby M.J. (ed.) *Process Models and Theoretical Geomorphology*. 221-246

8.5. USO DEL SUOLO

- BEASLEY R.P., 1972. Soil- loss prediction equation. *Erosion control practice. Erosion and Sediment Pollution Control* . Iowa University Press. 57-62 pp.
- BOSCHI V., CHISCI G., 1978. Influenza delle colture e delle sistemazioni superficiali sui deflussi e l'erosione in terreni argillosi di collina. *Genio Rurale. Edagricole*; Anno XLI n.4, 7-16.
- COSTANTINI E. A.C., SULLI L., Land evaluation in areas with high environmental sensitivity and qualitative value of the crops: the viticultural and olive -growing zoning of the Siena province. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze, www.issds.it/cncp.
- DE TAR W.R., ROSS J. J., CUNNINGHAM R. L., January-February 1980. Estimating the C factor in the universal soil loss equation for landscapes slopes. *Journal of Soil and Water Conservation*, 40-41.
- DILLAHA T.A., SHERRARD J.H., LEE D., December 1986. Long-Term Effectiveness and Maintenance of Vegetative Filter Strips. Department of Civil Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University Bulletin 153.

- DISSMEYER G.E., FOSTER G.R., July-August 1981. Estimating the cover management factor (C) in the universal soil loss equation for forest condition. *Journal of Soil and Water Conservation* 235-240.
- FOSTER G.R, HIGHFILL R. E., January-February 1983. Effect of terraces on soil loss: USLE P factor values for terraces. *Journal of Soil and Water Conservation* 48-51.
- HOFMANN L., RIES R. E., March-April 1991. Relationship of soil and plant characteristic to erosion and runoff on pasture and range. *Journal of Soil and Water Conservation*, 143-147.
- LEONE A., 1999. "Systems approach to environmentally acceptable farming" (AgriBMPWater), contract No.EVK1-CT-1999-00025. The lake Vico (Central Italy) experimental site.
- MERZOUK A., ALAMI M.M., BERKAT O., SABIR M., Effects of rangeland changes on water balances and water quality in Morocco: a rif mountains case studies.
- RIVOIRA G., ROGGERO P., BULLITTA S., 1989. Influenza delle tecniche di miglioramento dei pascoli sui fenomeni erosivi dei terreni in pendio. *Riv. Di Agronomia*; 23, 372-377.
- MUTCHLER C.K., MURPHREE C.E. and MCGREGOR K.C., 1982. Subfactor method for computing C-factors for continuous cotton. *Transactions of the ASAE*, 25, 327-332.
- ROSE C. W., YU B., HOGARTH W.L., OKOM A.E.A., GHADIRI H., 2003. Sediment deposition from flow at low gradients into a buffer strip—a critical test of re-entrainment theory. *Journal of Hydrology* 280, 33–51.
- ROSEWELL C. J., 1993. Soilloss handbook. A program to assist in the selection of management practices to reduce erosion. Soil Conservation Service. Technical Handbook No.11. TECHNICAL HANDBOOK NO. 11; 86 pp.
- SOIL CONSERVATION SERVICE United States Department of Agriculture, 1983?. National Engineering Handbook, Section 15 Irrigation, chapter 12 Land levelling.
- SUN G., RIEKERK H., COMEFORD N.B., 1996. Modeling the hydrologic impacts of forest harvesting on Florida Flatwoods. *Journal of the American Water Resources Association* Vol 34 No 4; 843-854.
- SUN GE , MC NUTTY S. G., 1999. Modelling soil erosion and transport on forest landscape. Southern Global Change Program USDA Forest Service; 189-198 pp.
- TAKKEN I., JETTEN V., GOVERS G., NACHTERGAELE J., STEEGEN A., 2001. The effect of the tillage-induced roughness on runoff and erosion patterns. *Geomorphology*; 37, 1-14.
- VAN ELEWIJCK L., 1989. Influence of leaf and branch slope on stemflow amount. *Journal of Soil Science-Hydrology-Geomorfology*. *Catena*; 16, 525-533.
- WILKINS D., LIU H., WILLIAMS J., 1996. "Effect of residue management on predicted soil loss". Columbia Basin Agricultural Research Annual Report. Spec. Rpt. 961 pp. 48-51.

8.6. SDR

- DI STEFANO C., V. FERRO, PORTO P., 2000. Length Slope Factors for applying the Revised Universal Soil Loss Equation at Basin Scale in Southern Italy. *J. agric. Engng Res.* 75; 349-364.
- FERRO V., PORTO P., 2000. Sediment delivery distributed (SEDD) model. *Journal of Hydrologic Engineering* October; 411-422. (Gli autori utilizzano un modello basato sull'equazione U.S.L.E. nel quale l'erosività viene calcolata tenendo in considerazione sia l'intensità di pioggia che il runoff. La produzione di sedimento viene calcolata per ogni unità morfologica moltiplicando la produzione potenziale di sedimento data dalla Usle per l'SDR (Sediment delivery ratio) che permette di stimare l'effetto della ruvidità e del runoff lungo il percorso di scorrimento del deflusso)
- KASAI M., MARUTANI T., REID L.M., TRUSTRUM A., 2001. Estimation of temporally averaged sediment delivery ratio using aggradational terraces in headwater catchments of the Waipaoa river, north island, new zeland. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1-16.
- ROMPAEY A.J.J., VERSTRAETEN G., VAN OOST K., GOVERS G., POESEN J., 2001. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1221-1236.

VERSTRAETEN G., POESEN J. 1999. The nature of small-scale flooding, muddy floods and retention pond sedimentation in central Belgium. *Geomorphology* 29:275–292

VERSTRAETEN G., POESEN J. 2001. Factors controlling sediment yield from small intensively cultivated catchments in a temperate humid climate. *Geomorphology* 40 123–144

VERSTRAETEN G., POESEN J. 2001. Modelling long-term sediment trap efficiency of small ponds. *Hydrological processes*. 40: 123–144

8.7. APPLICAZIONI GIS

BRADY L. M., GRAY F., WISSLER C. A., GUERTIN D. P., 2001. Spatial variability of sediment erosion processes using GIS analysis within watersheds in a historically mined region, Patagonia Mountains, Arizona. USGS science for a changing world; Open-File Report 01- 267; 51 pp

DESMET P. J. J., GOVERS G., 1996. Comparison of routing algorithms for digital elevation models and their implications for predicting ephemeral gullies. *Journal geographical information systems*, vol. 10, no. 3, 311- 331.

DESMET P.J.J., GOVERS G., 1995. GIS-based simulation of erosion and deposition patterns in an agricultural landscape: a comparison of model results with soil map information. *Catena* 25; 389-401.

DESMET P.J.J., GOVERS, 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*; 51, 427-433.

ENGEL B., 1999. Estimating Soil Erosion Using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) Using ArcView [Web Page]. Purdue University.

HICKEY R., 2000. Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography*; 29, no. 1, 1-8.

HOFIERKA J., MITASOVA H., MITAS L., 2002. GRASS and modeling landscape processes using duality between particles and fields. *Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference 2002 - Trento*, 11pp.

MATI B. M., MORGAN R.P.C., GICHUK F.N., QUINTOR J.N., BREWER T.R, LINIGER H.P., 2000. Assessment of erosion hazard with the USLE and GIS: A case study of the Upper Ewaso Ng'iro North basin of Kenya. *JAG I Volume 2, Issue 2*; 78-86.

MITAS L. and MITASOVA H. (1998) Distributed erosion modeling for effective erosion prevention. *Water Resources Research*, 34, 505-516.

MITAS L., MITASOVA H., 1998. Terrain Analysis and erosion modeling, 1998 <http://www2.gis.uiuc.edu:2280/modviz/viz/erosion.html>

MITASOVA H., W.M. BROWN, M. HOHMANN, S. WARREN, 2002. Using Soil Erosion Modeling for Improved Conservation Planning: A GIS-based Tutorial <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/CerlErosionTutorial/denix/default.htm>

MITASOVA H., HOFIERKA J., ZLOCHA M., IVERSON L.R., 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Int.J. Geographical Information Systems*, vol. 10 n°5,629-641, 1996.

MITASOVA H., MITAS L., BROWN W. M., JOHNSTON D., 1998. Multidimensional Soil Erosion/deposition Modeling and visualization using GIS. Final report for USA CERL. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL.

MENDICINO G., 1999. Sensitivity analysis on GIS procedures for the estimate of soil erosion risk. *Natural Hazards* 20: 231-253.

NAJMODDINI N., 2003. Assessment of Erosion and Sediment Yield Processes, Using RS & GIS A case study in Rose chai sub-catchment of Orumieh basin, W. Azarbaijan, Iran. Thesis submitted to the International Institute for Geo-information Science and Earth Observation for the degree of Master of Science in Watershed and Environmental Management.

PISTOCCHI A., MAZZOLI P., Use of HEC-RAS and HEC-HMS models with ArcView for hydrologic risk management. Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli; pp 305-310.

SHIA Z.H., CAIA C.F., DINGA S.W, WANGA T.W., CHOWB T.L., 2003. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the Three Gorge Area of China. Catena article in press.

8.8. VARIE

BORSELLI L., 2001. Capacità di invaso idrico superficiale: dinamica, misura e stima. Riv. Di Irr. e Dren.; 48, 2:13-20.

ELLIOT S., SORREL B., 2002. Lake manager Handbook. Water interactions. Ministry for the environment. 76 pp.

FERRO V., 2002. La sistemazione dei bacini idrografici. Mc Graw-Hill.

FOSTER G.R., MC COOL D. K., RENARD K. G., MOLDENHAUER W. C., November-December, 1981. Conversion of the universal soil loss equation to S.I. metric units. Journal of Soil and Water Conservation 355-359.

Geomorphology 49 (2002) 71–88.

HIXSON D. H., 1969. Graphical solutions of geologic problems. U. S. Department of Agriculture Soil Conservation Service, Engineering Division Technical Release No. 41 Geology.

KLAASSEN G. J. FRIMAR – Flooding Risk in Mountain Areas. EU funded project undertaken by eight partners from five different countries, between 1994 and 1997. WL Delft Hydraulics & IHE Delft, The Netherlands.

REID L.M., PAGE M.J. 2002. Magnitude and frequency of landsliding in a large New Zealand catchments. Geomorphology 49: 71–88.

SMITH S.V., RENWICK W.H., BARTLEY J.D., BUDDEMEIER R.W., 2002. Distribution and significance of small, artificial water bodies across the United States landscape. The Science of the Total Environment 299 21–36.

U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service Engineering Division, 1984. The static cone penetrometer. The equipment and using data. Soil Mechanism note n.11

U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service Engineering Division, 1987. Potable pinhole test apparatus. Soil Mechanism note n.12.

U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service Engineering Division, 1991. Dispersive clays. Soil Mechanism note n.13.

8.9. MUGELLO

BALDACCINI P., 1962. Pedogenesi e difesa del suolo del Mugello Occidentale (Firenze). Accademia Italiana di scienze Forestali.

BARTOLINI C. et al., 1982. Carta neotettonica dell'Appennino Settentrionale. Boll. Soc. Geol. It., 101 (1982).

BAZZOFFI P., ZANCHI C., 1987. Studio della dinamica dell'erosione e di alcune caratteristiche fisiche dei sedimenti asportati, in condizioni di pioggia simulata, su un suolo franco del Mugello (Toscana). ANNALI ISDS. XVIII, 89-110.

BAZZOFFI, P. TORRI D., ZANCHI C., 1980. Stima dell'erodibilità dei suoli mediante simulazione di pioggia in laboratorio. Nota I : Simulatore di Pioggia. Annali Ist. Sper. Studio e Difesa Suolo Vol. XI.

BECHINI C., CANUTI P., CREPELLANI T., FOCARDI P., and GARZONIO, C.A., 1986. "Slope conditions in the seismic area of Mugello (Tuscany, Italy)." Geologia applicata e idrogeologia 21, pt 4, 133-145.

DI SAWICKI L., 1989. "Un profilo morfologico attraverso l'Appennino, IV. I bacini centroappenninici," Rivista Geografica Italiana XVI, 7.

DIMASE C., 1981. Carta dei suoli dell'Azienda Agricola "Il Monte" Galliano di Mugello (Firenze).

- FAZZUOLI M., GUAZZONE G., 1981. "Studi idrogeologici sul Mugello-Val di Sieve," Mem. Soc. Geol. It. 84.
- PRINCIPI P., 1942. "Alcune osservazioni sulla geologia e morfologia del Mugello" Boll.Soc.Geol.It. XLI, 1.
- PROVINCIA DI FIRENZE. Piano provinciale per i rifiuti urbani e assimilati. Capitolo 9.3 Il sistema ambientale e territoriale del Mugello e della Romagna toscana. ATO N. 6.
- RODOLFI G., 1965 Il bacino Villafranchiano del Mugello, Tesi di Laurea, Università di Firenze.
- RODOLFI G., SAVIO S., and MARTENS P., 1978. "Esperienze di cartografia tematica nel Mugello centrale (Firenze). Verifica di una metodologia di analisi delle risorse agricole del territorio," Annali dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo 9.
- SANESI G., 1965. "Geologia e morfologia dell'antico bacino lacustre del Mugello-- Firenze," Boll. Soc. Geol. It. 84,3.
- SANESI G., 1970. Il bacino del Mugello e i suoi paleosuoli," LXV Congresso della Società Geologica Italiana. Guida alle Escursioni, Firenze
- SANESI G., 1977. I suoli del Bacino dei torrenti Diaterna e lineamenti pedologici del Mugello e dell'alta Valle del Santerno (Firenze 1977).
- ZANCHI C., 1988. Soil loss and seasonal variation of erodibility in two soils with different texture in the Mugello valley in central Italy. CATENA SUPPLEMENT; 12, 167-173.

9. LEGENDA CARTA DEI SUOLI DEL BACINO DI BILANCINO (1:50.000)

(versione 2.0 – Luglio 2004)

Unità di paesaggio	Sottosistema	Paesaggio		Unità cartografica			SUOLI Suoli	Classificazione		Interpretazioni		
		Formazione geolitologica	Unità fisiografica ed elementi ambientali	N.	Nome	Sigla		USDA (8 th ed. 1998)	WRB '98	LCC	FCC	
SISTEMA: MAP – Montagna appenninica	Sottosistema 1: Rilievi di alta montagna ad alta pendenza con drenaggio subparallelo o angolato	Alternanze arenaceo-pelittiche in strati gradati da potenti a medi con base da arenitica da fine a grossolana fino a microconglomeratica. Subordinatamente siltiti marnose a stratificazione sottile molto evidente.	Versanti prevalentemente rettilinei con pendenze elevate, superiori al 40%, esposizione prevalente sud e sud-est, drenaggio subparallelo e subordinatamente angolato ben sviluppato, sporadicamente roccia affiorante. Utilizzati prevalentemente a bosco ceduo con sporadici rimboschimenti a pino nero o silvestre.	1	Poggio delle Prata 41	PRA1	Consociazione di suoli poco profondi, profondità utile alle radici scarsa, limitata da orizzonti ricchi in scheletro o da roccia, tessitura media, scheletro da frequente ad abbondante con la profondità, reazione moderatamente acida, non calcarei, AWC molto bassa (31.7 mm).	Lithic Udorthents loamy skeletal, mixed, mesic	Lepti-Dystric Regosols	Vle	LR'n5	
			Versanti prevalentemente rettilinei o debolmente convessi, pendenze comprese tra il 30 ed il 50% e drenaggio subparallelo o angolato da poco a mediamente sviluppato. Utilizzati a bosco ceduo con superfici di accumulo detritico o eluviali in versante utilizzate per lo più a pascolo o coltivi in genere abbandonati.	2	Poggio alla Mandria 1	MAN1	Consociazione di suoli moderatamente profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata dal substrato roccioso, tessitura media, scheletro da assente ad abbondante con la profondità, reazione estremamente acida, non calcarei, AWC bassa (68 mm).	Humic Dystrudepts fine loamy, mixed, mesic	Leptic Phaeozems	Illes	LHn4	
	Sottosistema 2: Rilievi di alta montagna ad alta pendenza, con drenaggio da angolato a disordinato	Materiale eterogeneo ed eterometrico accumulato lungo i versanti per gravità e ruscellamento	Versanti complessi, convessi o concavi con ondulazioni pronunciate, su detrito arenaceo stabile, pendenze da moderate ad elevate, non superiori al 40%, drenaggio da angolato a disordinato. Utilizzati a prato permanente e bosco ceduo.	3	Palobecco 38	PLB1	Consociazione di suoli moderatamente profondi, profondità utile alle radici scarsa, limitata da orizzonti ricchi in scheletro e dal substrato roccioso, tessitura media, scheletro da frequente ad abbondante, reazione molto fortemente acida, non calcarei, AWC bassa (50.6 mm)	Humic Dystrudepts loamy skeletal, mixed, mesic	Lepti-Skeletal Phaeozems	Vle	Lhn5'	
			Lembi di serpentiniti intensamente tettonizzate e gabbri tettonizzati ed alterati, a tratti breccie poligeniche ad elementi ofiolitici.	Rilievi isolati, a morfologia aspra e dirupata, con frane di roccia, su substrato costituito da ofioliti o oficalci. Utilizzato prevalentemente a bosco ceduo e solitamente oggetto di escavazione per estrazione di inerti.	4	Pallereto 3	PLL1	Consociazione di suoli moderatamente profondi, profondità utile alle radici scarsa, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura moderatamente grossolana, scheletro abbondante, reazione molto fortemente acida, non calcarei, AWC molto bassa (16.1 mm).	Typic Udorthents loamy skeletal, mixed, mesic	Dystric-skeletal Regosols	IVsw	Lhn3''

Progetto BABI – Rapporto Finale

<p>Sottosistema 3: Rilievi di media ed alta montagna a media pendenza, con drenaggio contorto o angolato e forme di degradazione diffuse</p>	<p>Peliti e siltii fogliettate, intercalate a calcari, spesso silicei, e calcari marnosi a grana fine e finissima, in strati da sottili a molto spessi. Accumuli gravitativi di materiale eterogeneo ed eterometrico privo di movimenti recenti.</p>	<p>Versanti complessi, con ondulazioni e contropendenze pronunciate, movimenti di massa attivi e inattivi diffusi. Drenaggio angolato o contorto, talvolta disordinato, pendenze moderate, inferiori al 20%. Utilizzati a prato permanente e pascolo, sporadico il bosco ceduo o il rimboschimento.</p>	5	Panna 42	PNN1	<p>Consociazione di suoli moderatamente profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti idromorfi e ricchi in scheletro, tessitura fine, scheletro da comune a frequente, reazione moderatamente alcalina, da moderatamente calcarei a calcarei con la profondità, AWC moderata (11.3 mm).</p>	<p>Aquic Udorthents fine, mixed, mesic</p>	<p>Gleyi-calcari Regosols</p>	III _s	Cg _{bn} 2
		<p>Versanti complessi, contropendenze pronunciate, con movimenti di massa poco diffusi. Drenaggio angolato o contorto, talvolta disordinato, pendenze elevate, superiori al 20%. Utilizzati a bosco ceduo, sporadicamente a pascolo e prato permanente.</p>	6	Panna 6	PNN2	<p>Fase di pendenza dei suoli PNN0, con suoli moderatamente profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti idromorfi, tessitura da fine a media con la profondità, scheletro scarso, reazione moderatamente alcalina, calcarei, AWC moderata (127.2 mm).</p>	<p>Aquic Udorthents fine, mixed, mesic</p>	<p>Gleyi-calcari Regosols</p>	III _{es}	CLg _{bn} 4
		<p>Versanti con pendenze basse o moderate, non superiori al 20%, poco ondulati, con drenaggio subparallelo, privi o quasi di movimenti di massa. Utilizzati a bosco ceduo (macchia di Panna) e, subordinatamente, a pascolo.</p>	7	Il Sergente 29	SER1	<p>Consociazione di suoli poco profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti ricchi in scheletro e con accumuli di carbonati, tessitura fine, scheletro comune, abbondante in profondità, reazione da debolmente a moderatamente alcalina con la profondità, da scarsamente a molto calcarei, AWC moderata (135.6 mm).</p>	<p>Typic Udorthents fine, mixed, mesic</p>	<p>Eutric Regosols</p>	III _s	C _{bn} 2
		<p>Versanti debolmente ondulati con frequenti ripiani in versante. Pendenze da moderate a basse e drenaggio da angolato a contorto. Forme di degradazione superficiali diffuse. Utilizzati a seminativo avvicendato e prato permanente.</p>	8	Migliari 9	MIG1	<p>Consociazione di suoli moderatamente profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti ricchi in scheletro o dal substrato marnoso, tessitura media, scheletro da comune ad abbondante con la profondità, reazione moderatamente alcalina, molto calcarei, AWC bassa (69.2 mm)</p>	<p>Typic Eutrudepts fine loamy, mixed, mesic</p>	<p>Lepti-Eutric Cambisols</p>	IV _s	L _{bn} 3
		<p>Calcari e calcilutiti gradati, passanti a calcari marnosi e marne biancastre, in strati da medi a molto spessi, localmente areniti.</p>	<p>Versanti rettilinei o convessi, molto ripidi, con pendenze superiori al 40%, con profonde incisioni torrentizie a V subparallele, substrato calcareo-marnoso. Utilizzati a bosco ceduo. Frequente roccia affiorante.</p>	9	Valirosi 14	VAL1	<p>Consociazione di suoli moderatamente profondi, profondità utile alle radici scarsa, limitata da orizzonti ricchi in scheletro o dal substrato, tessitura moderatamente fine, scheletro da comune ad abbondante con la profondità, reazione moderatamente alcalina, molto calcarei, AWC bassa (70.6 mm).</p>	<p>Humic Eutrudepts clayey skeletal, mixed, mesic</p>	<p>Molli-leptic Cambisols</p>	V _{le}

Progetto BABI – Rapporto Finale

Sottosistema 4: Forme di spianamento e crinali arrotondati	<p>Alternanze arenaceo-pelittiche in strati gradati da potenti a medi con base da arenitica da fine a grossolana fino a microconglomeratica. Subordinatamente materiale eterogeneo ed eterometrico accumulato lungo i versanti per gravità e ruscellamento e breccie poligeniche in matrice argillosa.</p>	<p>Crinali appenninici arrotondati e forme di spianamento subsommitali, a quote superiori ai 700 m slm, pianeggianti o poco inclinati, sporadicamente con depositi detritici. Drenaggio poco sviluppato ed utilizzati a bosco ceduo o denudati, con roccia affiorante argillitica diffusa, sporadicamente diffuso il pascolo.</p>	10	L'Apparita 39	APP1	<p>Consociazione di suoli poco profondi, profondità utile alle radici scarsa, limitata da orizzonti ricchi in scheletro o dal substrato siltoso o marnoso, tessitura fine, scheletro da comune ad abbondante con la profondità, reazione debolmente alcalina, calcarei, AWC molto bassa (43.2 mm).</p>	Typic Udorthents fine, mixed, mesic	Mollic Regosols	IVew	Cbn3
		<p>Superfici residuali subpianeggianti o con basse pendenze, sulla sommità di rilievi a morfologia massiccia o su versanti convessi. Drenaggio divergente o subparallelo su substrato arenaceo o detritico. Utilizzato prevalentemente a bosco ceduo, subordinatamente a seminativo avvicendato o prato permanente.</p>	11	Aglio Est 10	AGL1	<p>Consociazione di suoli profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura da media a moderatamente fine con la profondità, scheletro da comune ad abbondante con la profondità, reazione da fortemente a moderatamente acida, non calcarei, AWC moderata (130.8 mm).</p>	Ultic Hapludalfs fine loamy, mixed, mesic	Haplic Acrisols	IIIs	Lh
	<p>Calcari e calcilutiti gradati, passanti a calcari marnosi e marne biancastre, in strati da medi a molto spessi, localmente areniti. Misti a peliti e siltiti fogliettate, intercalate a calcari, spesso silicei, e calcari marnosi a grana fine e finissima, in strati da sottili a molto spessi.</p>	<p>Lunghe dorsali e crinali allungate, spianati sulla sommità, con pendenze moderate su versanti ripidi, ondulati, con movimenti di massa diffusi. Utilizzati a prato permanente, pascolo o urbanizzati.</p>	12	Castagneto 5	CST1	<p>Consociazione di suoli profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura da media a moderatamente fine, scheletro da scarso ad abbondante con la profondità, reazione da neutra a debolmente acida, non calcarei, AWC moderata (125.6 mm).</p>	Typic Hapludalfs fine loamy, mixed, mesic	Haplic Luvisols	IIIs	L'
	<p>Calcari e calcilutiti gradati, passanti a calcari marnosi e marne biancastre, in strati da medi a molto spessi, localmente areniti.</p>	<p>Crinali e dorsali montuose principali e secondarie, allungate ed a morfologia arrotondata. Con pendenze da basse a moderate, inferiori al 30%, su substrato calcareo-marnoso. Utilizzati a bosco ceduo degradato, denudati o pascolati.</p>	13	Petroio 27	PET1	<p>Consociazione di suoli poco profondi, profondità utile alle radici scarsa, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura da media a moderatamente fine, scheletro da comune ad abbondante con la profondità, reazione da debolmente a moderatamente alcalina, da calcarei a molto scarsamente calcarei, AWC bassa (83.1 mm).</p>	Typic Eutrudepts loamy skeletal, mixed, mesic	Eutri-skeletal Cambisols	IVs	Lb''
	<p>Materiale eterogeneo ed eterometrico accumulato lungo i versanti per gravità e ruscellamento</p>	<p>Superfici subpianeggianti o poco inclinate in versante, ondulata e a quote diverse. Su superfici scompagnate da movimenti di massa attuali o antichi. Utilizzati a prato permanente, pascolo e seminativo avvicendato.</p>	14	Villa Erbaia 32	ERB1	<p>Consociazione di suoli poco profondi, profondità utile alle radici scarsa, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura fine, scheletro da frequente ad abbondante con la profondità, reazione moderatamente alcalina, scarsamente calcarei, AWC bassa (55.2 mm).</p>	Typic Udorthents clayey skeletal, mixed, mesic	Lepti-skeletal Regosols	IVs	Cb''

Progetto BABI – Rapporto Finale

Sistema: CAP – Collina preappenninica	Sottosistema 5: Rilievi di alta collina a media ed alta pendenza, con drenaggio da subdendritico a subparallelo, dominati da fenomeni degradativi	Alternanze pelitico arenacee in strati gradati da sottili a medi e, subordinatamente, spessi. Granulometria prevalentemente fine	Versanti brevi, rettilinei o debolmente convessi, drenaggio da subdendritico a subparallelo evidente, pendenze moderatamente elevate. Utilizzati a bosco ceduo, sporadicamente ad oliveto.	15	S. Gavino 33 43 LS9824314	GAV1/ERB2	Complesso di suoli poco profondi, profondità utile alle radici scarsa, limitat da orizzonti ricchi in scheletro o dal substrato, tessitura moderatamente fine, scheletro da comune ad abbondante con la profondità, reazione moderatamente alcalina, calcarei, AWC molto bassa (47.9 mm) e fase fisiografica dei suoli ERB, con suoli poco profondi, profondità utile alle radici scarsa, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura fine, scheletro da frequente ad abbondante con la profondità, reazione moderatamente alcalina, scarsamente calcarei, AWC bassa (55.2 mm).	Lithic Eutrudepts fine loamy, mixed, mesic e Typic Udorthents clayey skeletal, mixed, mesic	Epileptic Cambisols e Skeletal Regosols	IVsw IVs	LRbn4 Cb''
	Sottosistema 6: Rilievi di media collina a media pendenza, con drenaggio da subdendritico a subparallelo		Versanti ondulati, tendenzialmente convessi, con drenaggio subparallelo poco evidente, pendenze da moderate a basse, non superiori al 25% e movimenti di massa diffusi (paleofrane?). Utilizzati a prato permanente ed oliveto, con bosco ceduo diffuso lungo i corsi d'acqua o sui versanti più acclivi.	16	Palazzuccio 17d Il Monte 20d	PAL1/MON1	Complesso di suoli moderatamente profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura da media a moderatamente fine, scheletro frequente, abbondante oltre i 60 cm, reazione debolmente acida, non calcarei, AWC bassa (100 mm) e suoli poco profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura media, scheletro abbondante, reazione debolmente alcalina, moderatamente calcarei, AWC bassa (91.2 mm).	Dystric Eutrudepts fine loamy, mixed, mesic e Typic Udorthents loamy skeletal, mixed, mesic	Dystric Cambisols e Calcari-skeletal Regosols	IIIsw IVs	Ln3' Lbn3''
		Alternanze pelitico arenacee in strati gradati da sottili a medi e, subordinatamente, spessi. Granulometria prevalentemente fine, con lenti di materiale eterogeneo ed eterometrico accumulato lungo i versanti per gravità e ruscellamento	Superfici di basso versante ondulate, prevalentemente concave e con pendenze basse, drenaggio superficiale poco evidente, identificabili con paleofrane stabilizzate. Utilizzate a seminativo avvicendato e prato permanente.	17	Palazzuccio 20	PAL2	Fase fisiografica dei suoli PAL, con suoli moderatamente profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura da media a moderatamente fine, scheletro da comune ad abbondante in profondità, reazione da neutra a debolmente alcalina, non calarei, AWC moderata (147.3 mm).	Dystric Eutrudepts fine loamy, mixed, mesic	Dystric Cambisols	IIIs	L'

Progetto BABI – Rapporto Finale

		Peliti e siltii fogliettate, intercalate a calcari, spesso silicei, e calcari marnosi a grana fine e finissima, in strati da sottili a molto spessi.	Versanti lunghi, con pendenze moderate, non superiori al 25%, con ondulazioni pronunciate ed evidenti movimenti di massa, anche attivi. Drenaggio da subdendritico a subparallelo e substrato argillitico a profondità inferiori ai 100 cm. Utilizzati a bosco ceduo e seminativo avvicendato con moderata diffusione del prato permanente.	18	Le Sodere 28	SOD1	Consociazione di suoli poco profondi, profondità utile alle radici scarsa, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura da moderatamente fine a fine, scheletro da frequente ad abbondante con la profondità, reazione moderatamente alcalina, scarsamente calcarei, AWC molto bassa (42.8 mm)	Typic Eutrudepts clayey skeletal, mixed, mesic	Calcari- Leptic Cambisols	IVsw	Cbn2''
			Versanti complessi, con ondulazioni e contropendenze pronunciate, con movimenti di massa attivi e inattivi diffusi. Drenaggio angolato o contorto, talvolta disordinato, pendenze moderate, inferiori al 20%. Utilizzati a prato permanente e pascolo, poco diffuso il bosco ceduo.	19	Panna 13	PNN3	Fase fisiografica e non calcarea dei suoli PNN, con suoli poco profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti ricchi in scheletro ed idromorfi, tessitura da fine a moderatamente fine, scheletro da frequente ad abbondante con la profondità, reazione da moderatamente a fortemente alcalina, non calcarei, AWC bassa (82.4 mm).	Aquic Udorthents fine, mixed, mesic	Gleyi-Dystric Regosols	IIIsw	Cbn2'
	Sottosistema 7: depositi colluviali alla base dei versanti	Detrito di versante e colluvioni	Superfici al piede di versanti acclivi, concave e con drenaggio poco evidente su substrato non consolidato. Pendenze basse o moderate. Utilizzate a seminativo arborato.	20	Pimonte 26	PIM1	Consociazione di suoli moderatamente profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura da moderatamente fine a fine, scheletro da frequente ad abbondante in profondità, reazione moderatamente alcalina, da calcarei in superficie e non calcarei in profondità, AWC bassa (92.3 mm).	Typic Eutrudepts clayey skeletal, mixed, mesic	Eutri-Skeletal Cambisols	IIIsw	Cb'
	Sottosistema 8: Crinali e forme di spianamento in versante	Alternanze pelitico arenacee in strati gradati da sottili a medi e, subordinatamente, spessi. Granulometria prevalentemente fine	Superfici di spianamento sulla sommità di versanti rettilinei o convessi, allungate, piatte sulla sommità, a substrato arenaceo. Utilizzate prevalentemente a bosco ceduo	21	Montebuiano 25	MTB1	Consociazione di suoli profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti idromorfi e con accumuli di carbonati secondari, tessitura da moderatamente fine a fine, scheletro comune, reazione da debolmente acida a neutra con la profondità, non calcarei, AWC moderata (135.7 mm).	Typic Hapludalfs fine, mixed, mesic	Haplic Luvisols	IIIs	Ch
	Sottosistema 9: Bassa collina a bassa e media pendenza, con drenaggio subparallelo	Ciottoli e massi eterodimensionali in matrice sabbiosa o limosa (Pliocene), con lenti di sabbie ed argille o argille siltose.	Superfici collinari con ampie ondulazioni e basse pendenze, non superiori al 15%, drenaggio subparallelo, con colluvi di materiali argillitici nella parte alta e movimenti di massa diffusi. Utilizzate prevalentemente a seminativo avvicendato, subordinatamente ad oliveto.	22	Casa al Fiume 44 LS9824817	FIU1	Consociazione di suoli profondi, profondità utile alle radici elevata, limitata da orizzonti massivi, tessitura da moderatamente fine a fine, scheletro da scarso a comune con la profondità, reazione moderatamente alcalina, da molto calcarei in superficie a moderatamente calcarei, AWC alta (225.9 mm).	Vertic Eutrudepts fine, mixed, mesic	Vertic Cambisols	IIesw	LCb

Progetto BABI – Rapporto Finale

Sistema: PIM – Pianura intermontana	Sottosistema 10: Terrazzi alluvionali antichi, con pendenze basse	Ghiaie, talora embriciate, e sabbie siltose (Pleistocene)	Lembi di terrazzi fluvio lacustri antichi di ordine più elevato (quarto e quinto terrazzo mindeliano), subpianeggianti o a morfologia debolmente ondulata, con scarpate evidenti che si raccordano con i terrazzi di ordine inferiore. Utilizzati a seminativo avvicendato o sporadicamente coperti da bosco ceduo o di pino silvestre.	23	Pallaio 18	PAO1	Consociazione di suoli molto profondi, profondità utile alle radici molto elevata, tessitura da moderatamente grossolana in superficie a moderatamente fine, scheletro comune, reazione da moderatamente a fortemente acida, non calcarei, AWC alta (240 mm).	Ultic Hapludalfs fine loamy, mixed, mesic	Profondic Luvisols	III _s	LCh
			Superfici subpianeggianti o debolmente inclinate, corrispondenti ai terrazzi fluvio-lacustri antichi (secondo e terzo terrazzo wurmiano e rissiano), raccordati fra loro da brevi scarpate evidenti. Pendenze molto basse o assenti, drenaggio subparallelo e utilizzate a seminativo, anche irriguo.	24	Cavallina 22	CAV1	Consociazione di suoli molto profondi, profondità utile alle radici elevata, limitata da orizzonti idromorfi e di accumulo di concentrazioni, tessitura da media a moderatamente fine, scheletro da scarso ad assente in profondità, reazione molto fortemente acida, non calcarei, AWC alta (188.8 mm).	Typic Hapludalfs fine loamy, mixed, mesic	Profondic Luvisols	III _s	Lh
			Superfici debolmente ondulate, subpianeggianti o poco convesse, corrispondenti alle superfici di terrazzo fluvio lacustre di secondo ordine (terrazzo post wurmiano), che sfuma gradatamente nella superficie di terrazzo sottostante, subrecente e con apporti colluviali dalle superfici soprastanti, utilizzate a seminativo irriguo e seminativo avvicendato.	25	Campone 9d	CAO1	Consociazione di suoli profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti idromorfi, tessitura media, scheletro comune, reazione da neutra a moderatamente alcalina, non calcarei, AWC bassa (89.1 mm).	Aquic Dystric Eutrochrepts fine loamy, mixed, mesic	Gleyi-Dystric Cambisols	III _{sw}	Lg
		Ghiaie, talora embriciate, con coperture di sabbie e limi.	Ampie superfici pianeggianti di basso terrazzo alluvionale, con deposizione di materiali sabbiosi subrecenti, poste lungo l'asse dei corsi d'acqua minori (T. Stura, F. Sieve).	26	Il Podere 8	POD1	Consociazione di suoli profondi, profondità utile alle radici elevata, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura moderatamente grossolana, scheletro da frequente ad abbondante con la profondità, reazione da moderatamente acida a neutra, non calcarei, AWC moderata (140.7 mm).	Dystric Eutrochrepts coarse loamy, mixed, mesic	Dystric Cambisols	III _s	Lh'
	Sottosistema 11: Piana alluvionale attuale e terrazzi alluvionali recenti e subrecenti	Alluvioni fluviali attuali e subrecenti (ghiaie e sabbie prevalenti)	Superfici subpianeggianti di basso terrazzo alluvionale, delimitate da brevi scarpate di raccordo con il fondovalle e i terrazzi antichi soprastanti. Pendenze assenti, drenaggio subparallelo e utilizzate a seminativo, anche irriguo.	27	Casello 15	CAS1	Consociazione di suoli poco profondi, profondità utile alle radici scarsa, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura da media a moderatamente grossolana, scheletro abbondante, reazione moderatamente alcalina, moderatamente calcarei, AWC bassa (88.0 mm).	Typic Udifluvents loamy skeletal, mixed, mesic	Calcari-skeletal Fluvisols	IV _s	Lb''

Progetto BABI – Rapporto Finale

			Superfici alluvionali afferenti ai corsi d'acqua minori (T. Tavaiano, T. Calecchia, T. Stura, T. Lora, F. Sieve), subpianeggianti e con moderata incisione dell'alveo, utilizzati a seminativo avvicendato e seminativo irriguo.	28	Campotese 1d	CMT1	Consociazione di suoli poco profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti sabbiosi o ricchi in scheletro, tessitura da media a moderatamente grossolana, scheletro da comune ad abbondante, reazione moderatamente alcalina, moderatamente calcarei, AWC alta (152.0 mm).	Typic Udifuvents fine loamy, mixed, mesic	Calcaric Fluvisols	IIIsw	Lb
			Superfici alluvionali intravallive subpianeggianti o concave dei corsi d'acqua in destra idrografica del F. Sieve (Fosso della Mulinaccia, Fosso Ritortolo), con depositi alluvionali calcarei di limitata estensione, utilizzati prevalentemente a prato permanente.	29	Cornocchio 11	COR1	Consociazione di suoli moderatamente profondi, profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti ricchi in scheletro, tessitura moderatamente fine, scheletro da frequente ad abbondante con la profondità, reazione moderatamente alcalina, calcarei, AWC moderata (119.5 mm).	Fluventic Eutrudepts Fine loamy, mixed, mesic	Fluvi-calcaric Cambisols	IIIs	Lb'
Superfici limitrofe all'invaso di Bilancino, fortemente risistemate e livellate, con ghiaie superficiali, in gran parte in corso di ripristino ambientale				30		A					
Aree miste: Cave, corpi d'acqua, ed aree non cartografabili				31		W					