

L'EROSIONE DEL SUOLO NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SAN GIULIANO DI PUGLIA (CB)

S. GRAUSO, V. VERRUBBI, M. GRILLINI

ENEA – Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Modelli e tecnologie per la riduzione degli impatti antropici e dei rischi naturali
Laboratorio Ingegneria sismica e prevenzione dei rischi naturali
Centro Ricerche Casaccia

C. CROVATO

ENEA – Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale
Laboratorio Biogeochimica ambientale
Centro Ricerche Casaccia



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

L'EROSIONE DEL SUOLO NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SAN GIULIANO DI PUGLIA (CB)

S. GRAUSO, V. VERRUBBI, M. GRILLINI

ENEA – Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Modelli e tecnologie per la riduzione degli impatti antropici e dei rischi naturali
Laboratorio Ingegneria sismica e prevenzione dei rischi naturali
Centro Ricerche Casaccia, Roma

C. CROVATO

ENEA – Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale
Laboratorio Biogeochimica ambientale
Centro Ricerche Casaccia, Roma

I Rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina
<http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici>

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia.

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

L'EROSIONE DEL SUOLO NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SAN GIULIANO DI PUGLIA (CB)

S. GRAUSO, V. VERRUBBI, M. GRILLINI, C. CROVATO

Riassunto

Nel presente Rapporto vengono riportati i risultati dell'indagine volta alla stima della perdita media annua di suolo nel territorio del Comune di San Giuliano di Puglia, attraverso l'applicazione del modello RUSLE che sintetizza le relazioni empiriche e funzionali guidate dai fattori legati alle proprietà chimico-fisiche del suolo, al clima, alla morfologia ed all'uso del suolo. Il modello ha consentito di individuare le zone sottoposte ad intensa erosione ed esposte al rischio di impatti negativi a carico di edifici ed infrastrutture. Nonostante la combinazione di condizioni climatiche e morfologiche relativamente favorevoli, la quota maggioritaria (> 50%) del territorio esaminato è risultato sottoposto ad erosione da severa a molto severa, in stretta relazione con l'estensione delle terre arabili; mentre il 42% è soggetto ad erosione da nulla o trascurabile a moderata, associata alle coperture boschive ed agli oliveti che caratterizzano la porzione occidentale ed ai versanti poco acclivi diffusamente presenti sul territorio. L'1% della superficie risulta soggetto ai valori massimi di erosione (> 200 Mg ha⁻¹ anno⁻¹), corrispondenti alla classe di erosione definita "catastrofica". Questi valori risultano concentrati sui versanti circostanti l'abitato di San Giuliano, in particolare su quello orientale. Proprio in quest'area, dove peraltro maggiormente insistono infrastrutture ed opere idrauliche, si può individuare la zona nella quale può essere opportuno calibrare degli interventi di protezione che possano contribuire alla riduzione del rischio di erosione e relativa movimentazione di sedimenti nonché del rischio associato di movimenti rapidi di versante (*mud flow*).

Parole chiave: suolo, erosione, GIS, mitigazione

SOIL EROSION ESTIMATE IN THE AREA OF SAN GIULIANO DI PUGLIA MUNICIPALITY (ITALY)

Abstract

The present work presents the results of the investigation carried out in the framework of a Technical Agreement between the ENEA (Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development) and the local Authorities, aimed to the assessment of soil erosion in the area of San Giuliano di Puglia municipality (central-southern Italy) by means of the RUSLE model. The model allowed to individuate the areas subject to deep erosion and to the risk of negative impacts on infrastructures. Notwithstanding the combination of relatively good climatic and morphologic conditions, the most part of the area suffers from severe to very severe erosion, in tight connection with the extent of arable lands; 42% of the area is subject to negligible to moderate erosion, thanks to woods and olive covers mostly present in the western portion and to the gentle slopes scattered throughout the territory; 1% of the area is prone to major erosion rates (> 200 Mg ha⁻¹ year⁻¹). These latter are concentrated on the slopes around the built-up area of San Giuliano, mostly on the eastern side. Protection and mitigation actions should be addressed in this area where catastrophic erosion and the associated risk of slope mass wasting (mudflows) threaten people and infrastructures.

Keywords: soil, erosion, GIS, mitigation.

INDICE

PREMESSA	6
1.INTRODUZIONE	7
2.STATO DELLE CONOSCENZE	7
3.APPLICAZIONE DEL MODELLO RUSLE	18
3.1 Erosività della pioggia	20
3.2 Erodibilità dei suoli	22
3.3 Fattore topografico	26
3.4 Fattore uso del suolo	26
4. RISULTATI	30
5. IPOTESI DI INTERVENTI DI RISANAMENTO SU AREE IN EROSIONE ACCELERATA.	31
BIBLIOGRAFIA	36
SITI WEB	37

PREMESSA

Nel mese di Marzo del 2012 fu sottoscritta una Convenzione tra ENEA ed il Soggetto Attuatore per la Ricostruzione di San Giuliano di Puglia (CB), avente per oggetto la realizzazione di un sistema informativo territoriale, tramite GIS *Open Source*, con la finalità di fornire all'Amministrazione Comunale uno strumento di supporto per una corretta gestione e pianificazione del proprio territorio. In tale ambito veniva prevista l'implementazione del sistema di monitoraggio sismico ed ambientale, già in atto per effetto di una precedente Convenzione, con il controllo delle acque e dell'erosione del suolo e la individuazione di possibili strategie di intervento ecologiche ed a bassissimo impatto ambientale. Nel presente Rapporto vengono riportati i risultati dell'indagine volta alla valutazione dell'entità dei processi di erosione del suolo nonché all'indicazione delle aree maggiormente esposte a rischio dove appaiono più urgenti gli interventi di prevenzione e mitigazione.

1. INTRODUZIONE

Il suolo costituisce la matrice che regola i flussi idrici superficiali e sotterranei e fa da supporto alla vegetazione naturale ed alle attività agricole.

L'erosione del suolo costituisce un problema strettamente connesso alle dinamiche di stabilità dei versanti oltre che a quelle della vegetazione e della produttività agricola, soprattutto in relazione all'aumento tendenziale, negli ultimi anni, dei periodi di siccità e dell'incidenza di eventi piovosi di forte intensità con effetti fortemente erosivi e conseguente squilibrio dei versanti.

Adeguate misure di conservazione del suolo dovranno quindi essere messe in atto, mediante la scelta degli interventi agro-ingegneristici più efficaci e/o degli ordinamenti colturali più adatti. La capacità di previsione quantitativa della perdita di suolo nonché l'individuazione delle aree maggiormente vulnerabili, sono elementi fondamentali per l'individuazione e l'attivazione di tali misure.

L'obiettivo del presente lavoro è quindi di definire, in termini quantitativi, il rischio di erosione ovvero di perdita di suolo nell'ambito del Comune di San Giuliano di Puglia, cercando di integrare ed approfondire, ad un maggior livello di dettaglio, quanto finora determinato nell'ambito degli studi già condotti e/o tuttora in corso da parte della Regione Molise.

L'impostazione e l'approccio del presente studio è di tipo prettamente geomorfologico, mirante alla descrizione e quantificazione del processo geodinamico di erosione mediante l'impiego di un modello di previsione basato su pochi parametri ambientali e territoriali.

Pertanto, sono stati tralasciati tutti gli aspetti relativi alla descrizione sistematica dei caratteri pedo-agronomici dei suoli presenti. Non sono state eseguite trivellate né profili, ma ci si è limitati al prelievo di un numero minimo di campioni superficiali, in base ai quali caratterizzare i suoli unicamente dal punto di vista tessiturale, informazione sufficiente per la valutazione dell'erodibilità dei suoli e l'applicazione del modello RUSLE per la stima quantitativa dell'erosione.

2. STATO DELLE CONOSCENZE

Forme del paesaggio, dinamiche geomorfologiche e suoli sono ovviamente strettamente legati alla natura litologica ed all'assetto morfo-tettonico del substrato geologico. Nell'area in esame, questo è costituito prevalentemente (~ 58%) dalla Formazione di Faeto (Tortoniano-Serravalliano). Nel settore occidentale, ossia nei dintorni dell'abitato di San Giuliano, tale formazione è costituita da calcari marnosi e marne bianche e rosate con intercalazioni di biocalcareni e calciruditi torbiditiche in strati da centimetrici a decimetrici, di età Serravalliano-Tortoniano (Festa et al., 2006) ed è intervallata a tratti da calcareniti con intercalazioni di conglomerati (2,3 %) e da argille marnose azzurre (3,5 %) ascrivibili alla Successione di Palombaro-Casalanguida-Larino (Pliocene medio-Pliocene inf.). La Formazione di Faeto, verso l'alto, passa stratigraficamente ad una successione di argille marnose grigio-azzurre e marne argillose con intercalazioni di arenarie, di età Tortoniano-Messiniana denominate Formazione di Vallone Ferrato (Festa et al., 2006) e note anche con il nome di Unità di Toppo Capuana. Gli affioramenti di questa seconda litologia sono generalmente più rari (4,6%) (es. 1 km NNE dell'abitato di San Giuliano o lungo la strada tra San Giuliano e Colletorto). Nel settore centrale ed orientale, in corrispondenza delle morfologie più dolci, la Formazione di Faeto è rappresentata dal membro argilloso-marnoso. La seconda unità

geolitologica, per estensione, è data dalle argille e marne dell'Unità Monte Daunia (~ 20%). Seguono, con estensioni di pari entità (~ 3,5 %), Argille azzurre (Avanfossa Plio-Pleistocene), depositi alluvionali terrazzati e depositi fluviali, di età recente ed attuale.

Tutti i litotipi argillosi citati danno luogo a diffusa reptazione, movimenti di massa lungo i versanti (anche se di debole inclinazione) e a numerosi fenomeni franosi principalmente per colate rapide (debris flow) e secondariamente con meccanismi di roto-traslazione. L'intera area è interessata da processi fluvio-denudazionali dovuti ad erosione superficiale, a luoghi con modalità di erosione idrica concentrata e lineare accelerata (ad es. sul versante orientale della collina su cui sorge il centro abitato, in prossimità dell'imbocco della galleria stradale di recente costruzione).

In base alla "Carta dei Pedopaesaggi Molisani", realizzata nel 2002 dall'allora Ente Regionale di Sviluppo Agricolo del Molise (ERSAM, ora ARSIAM: Agenzia Regionale per l'Innovazione e lo Sviluppo dell'Agricoltura del Molise) ed ispirata alla classificazione delle "Soil Regions" europee (European Soil Bureau, 1999), il territorio in esame ricade quasi interamente nella Regione Collinare (cod. 61.1). Solo l'estremo margine orientale e sud-orientale del territorio, corrispondente ad un breve tratto della valle alluvionale del fiume Fortore, ricade nella Regione Costiera (cod. 74.1).

Tali regioni, nella codifica adottata dall' ARSIAM, sono articolate in successivi livelli gerarchici, che danno luogo ai "sistemi", ai "sottosistemi" e quindi alle "unità" di pedopaesaggio.

La regione collinare, che copre gran parte del territorio molisano, prevede un solo sistema, suddiviso in 4 sottosistemi caratterizzati sulla base di tre parametri idro-geo-morfologici (potenza del rilievo, densità di drenaggio e geolitologia). Di tali sottosistemi, nel territorio di San Giuliano di Puglia, sono rappresentati quelli identificati con i codici CD e CE, ossia i sottosistemi caratterizzati, rispettivamente da:

- alta potenza di rilievo (> 300 m) e debole densità di drenaggio su flysch calcareo e calcareo-marnoso, marne e, in subordine, Argille Varicolori; nell'area in esame, tale sottosistema corrisponde all'estremità occidentale, incentrata nell'abitato di San Giuliano, con un'estensione areale di circa 10 km² pari al 23% della superficie totale del territorio in esame.
- media potenza del rilievo (200-300 m) su calcari, marne, argille, argille sabbiose; tale sottosistema, con una superficie di circa 30 km², estesa da ovest verso est, costituisce più dei 2/3 del territorio.

La regione costiera, sempre nella codifica ARSIAM, è suddivisa in 3 sistemi (s. delle colline costiere, s. di pianura, s. costiero) dei quali, nel tratto vallivo dell'area in esame (circa 3 km² pari al 7 % del territorio), è rappresentato il sistema di pianura (PA) che non è suddiviso in ulteriori sottosistemi.

Scendendo in dettaglio ed esaminando i singoli sottosistemi, si perviene alle "unità di pedopaesaggio" che, nella nomenclatura adottata dall' ARSIAM, corrispondono ai "Soilscales" a livello europeo, ovvero ai suoli o associazioni di suoli.

Il Laboratorio Cartografico Pedologico dell'ARSIAM ha eseguito studi approfonditi sui suoli e sulle condizioni climatiche e geomorfologiche delle Regione in relazione alle potenzialità, al corretto utilizzo ed alla gestione e conservazione della risorsa suolo. In tale ambito sono state effettuate indagini di campagna con l'esecuzione di numerose trivellate sulle quali sono state eseguite analisi

di laboratorio riguardanti i caratteri chimico-fisici dei suoli indagati e la descrizione di molteplici profili. Tra questi, 9 profili sono stati eseguiti nell'area del Comune di San Giuliano o nelle sue vicinanze (cfr. Fig. 7). A tutt'oggi, tuttavia, i risultati di tale lavoro, sotto forma di volumi tematici, schede descrittive e cartografie, sono stati solo parzialmente pubblicati (<http://www.arsiam.it/pedologia-attivita-128>) ed il territorio del Comune di San Giuliano non rientra tra quelli oggetto di pubblicazione. Nelle pagine web dell'ARSIAM e dell'Agenzia Regionale di Protezione Civile, alla voce territorio-rischio idrogeologico, viene menzionata una Carta dei Suoli del Molise alla scala 1:50.000, fatta risalire al 1994, che però ha interessato solo 120.000 ha, cioè circa 1/4 del territorio regionale. Anche di questa non è stata rinvenuta alcuna pubblicazione che riguardi il Comune di San Giuliano. Ciononostante, le schede descrittive dei profili effettuati nell'area in esame, sono state gentilmente messe a disposizione, anche se relative ad una caratterizzazione puntuale, poco utile per una descrizione generale.

Prendendo a riferimento il complesso dei suoli rilevati in ambito regionale, sulla base dei lavori finora pubblicati dall'ARSIAM, si può procedere ad una descrizione, pur largamente approssimativa, dei suoli ricadenti nell'area oggetto del presente studio. In termini generali, la regione collinare 61.1 è caratterizzata da suoli del tipo Cambisol-Regosol con la presenza di Luvisols e Vertisols. Nella regione 74.1 i Regosol sono prevalenti rispetto ai Cambisol. Nel sottosistema di medio-alta collina con substrato da calcareo ad argilloso (CD), i suoli sono per lo più poco profondi o sottili, ben drenati, con pietrosità assente, tessitura fine, da molto calcarei a fortemente calcarei. Nel sottosistema di media collina con substrato calcareo-marnoso-argilloso (CE), i suoli principali sono ben drenati, da sottili a poco profondi, con pietrosità scarsa e piccola, franco argillosi, estremamente calcarei. Nel sistema di pianura alluvionale (PA), i suoli sono generalmente poco evoluti, fini, con profondità elevata, moderatamente ben drenati, calcarei, con riserva idrica elevata. Ma sono presenti anche suoli a tessitura fine, argillosi o argillo-limosi, presenza di scheletro scarsa e livelli ghiaiosi.

A parte l'aspetto della potenzialità agronomica e delle relative tipologie di gestione, l'ARSIAM ha anche affrontato quello relativo alla vulnerabilità ed all'erosione dei suoli molisani. In particolare, nel territorio regionale, le aree maggiormente suscettibili all'erosione sono quelle situate nella porzione centrale della regione pedologica dell'alta e media collina (61.1). L'uso eccessivo della meccanizzazione agricola e di tecniche di lavorazione inadatte a versanti predisposti al dissesto, quali quelli su substrati con forte componente argillosa, viene citato quale causa di peggioramento della stabilità dei versanti stessi. Viene anche denunciata la scarsa efficacia dei tentativi di sistemazione idraulico-forestale (rimboschimenti, vimate ecc.) non eseguiti tempestivamente, dove invece sarebbe stato opportuno intervenire con scelte rivolte all'incremento della vegetazione spontanea o semi-naturale, in modo da non esporre le superfici argillose all'azione degli agenti atmosferici e permettere così al sistema roccia-suolo-vegetazione di riequilibrarsi. Altro problema poi è quello dovuto alla progressiva diminuzione della sostanza organica.

Un ampio capitolo dedicato al problema dell'erosione dei suoli molisani ed alla sua valutazione è riportato nella monografia divulgativa "Pedopaesaggi Molisani" (2002) alla quale è allegata una Carta della Suscettibilità all'erosione in scala 1:300.000, espressa in sette gradi qualitativi, da molto bassa o nulla a molto elevata. Tale classificazione è stata ottenuta mediante l'applicazione della metodologia semiquantitativa PSIAC (1968), basata sull'attribuzione di fattori-peso a diversi caratteri e parametri fisici del territorio e del suolo, in funzione della loro significatività rispetto al processo di erosione e produzione di sedimenti: piovosità, copertura vegetale, litologia, tipi di

suolo, acclività, uso del suolo, deflusso, erosione sugli interfluvi (*upland erosion*), erosione negli impluvi (*channel erosion*). Da tale molteplicità di valori scaturisce una matrice la cui integrazione fornisce il valore finale di suscettibilità all'erosione che rappresenta, tuttavia, una categoria qualitativa, anche se fatta corrispondere, nel modello originale, ad un intervallo predefinito di valori di perdita di suolo per unità di superficie. Nel lavoro dell'ARSIAM viene proposto uno schema classificativo basato su 7 livelli, mentre nella formulazione originale le classi sono solo 5. Sono stati infatti aggiunti due livelli, tra il livello di suscettibilità moderata (*moderate*) e quello di suscettibilità elevata (*heavy*), con le attribuzioni di suscettibilità "media" e "medio-elevata", rispettivamente.

La Carta della Suscettibilità, essendo stata ottenuta a partire dalla Carta dei Pedopaesaggi, redatta alla stessa scala, risente fortemente delle delimitazioni contenute in quest'ultima. Infatti, si può vedere che il territorio del Comune di San Giuliano presenta tre gradi crescenti di suscettibilità all'erosione in perfetta coincidenza con i sistemi e sottosistemi di paesaggio. Pertanto, la suscettibilità passa da **molto bassa o nulla**, in corrispondenza del sistema di pianura alluvionale (PA), ossia nel tratto ricadente nel fondovalle del Fortore, a **medio-elevata** nel tratto centrale, di maggior estensione, corrispondente al sottosistema di collina CE, fino ad **elevata**, in corrispondenza del sottosistema di collina CD. Per cui, si può concludere che la gran parte dell'area in esame è soggetta ad erosione del suolo di medio-alta intensità.

Nel capitolo conclusivo della pubblicazione, viene preannunciato un approfondimento delle indagini riguardanti i suoli, con adeguamento ad una scala di semidettaglio e riferimento specifico ai fenomeni di erosione nelle aree già cartografate come soggette a suscettibilità elevata e molto elevata.

Non si hanno informazioni circa lo stato di avanzamento di tali approfondimenti di indagine. L'area del Comune di San Giuliano non dovrebbe comunque rientrare, se non in piccola parte, tra quelle considerate.

In base alle osservazioni condotte direttamente in campo dagli scriventi, è possibile aggiungere, a quanto fin qui riportato, che nell'area in esame, in realtà, non si ravvisano forme apprezzabili di erosione lineare. La dinamica dei versanti appare, piuttosto, associata a fenomeni gravitativi di varia estensione e profondità, dalla dimensione del piccolo smottamento dovuto ad erosione di sponda in corrispondenza di fossi ed incisioni torrentizie (Fig. 1), ai movimenti più ampi che interessano l'intero versante (Fig. 2). Questi possono dar luogo, successivamente, a forme di erosione lineare sulle rotture di pendio corrispondenti alle zone di distacco, dove viene messo a nudo il substrato, o al piede stesso del cumulo di frana. Tuttavia, non si assiste a forme di incisione massima, per profondità ed estensione, come i calanchi che generalmente caratterizzano i paesaggi argillosi appenninici.

Nel complesso, la morfologia di gran parte dell'area appare piuttosto dolce, con forme arrotondate e prive di gradienti altimetrici tali che, data la natura prevalentemente argillosa del substrato, possano impostarsi fenomeni erosivi importanti e diffusi. Pertanto, la perdita di suolo è dovuta prevalentemente all'erosione laminare o per solchi superficiali che agisce sui suoli privi di copertura vegetale, quindi, sulle zone coltivate e nei periodi di semina e pre-vegetativi, tipicamente, quindi, nel periodo autunnale-invernale nel quale, peraltro, si verificano le maggiori quantità di pioggia.



Figura 1 - Smottamento da erosione di sponda (contorno evidenziato dalla linea rossa tratteggiata; foto in basso: dettaglio).



Figura 2 - Movimenti gravitativi di versante.

L'andamento delle piogge può essere descritto mediante i dati registrati alle stazioni pluviometriche di Bonefro e Colletorto (Tabb. 1 e 2), le più prossime all'area di studio. Il grafico dei valori annui (Fig. 3) mostra un andamento sinusoidale con periodo approssimativo di 5 anni ed una precisa corrispondenza tra gli andamenti delle due serie di dati, ma con una più marcata tendenza alla diminuzione nella stazione di Colletorto (quota: 515 m slm) rispetto a quella di Bonefro (quota: 631 m slm), nella quale non si evidenzia una tendenza significativa.

Tabella 1 - Precipitazioni mensili e annue registrate alla stazione di Bonefro.

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Valori della precipitazione media mensile (mm)													(mm)
1951	130	61	190	48	63	37	33	56	130	64	93	17	922
1952	76	62	55	39	54	31	49	6	93	51	59	92	667
1953	131	39	7	61	36	53	20	24	33	115	62	69	650
1954	163	151	60	144	109	45	30	5	2	102	174	44	1.029,00
1955	200	38	124	67	7	32	23	55	57	253	123	68	1.047,00
1956	53	153	60	55	20	68	--	--	24	42	135	122	732
1957	224	25	90	76	98	1	39	6	67	136	144	156	1.062,00
1958	74	37	122	99	26	27	34	3	32	18	208	64	744
1959	49	10	102	142	100	39	41	109	83	35	78	85	873
1960	95	69	99	47	36	17	9	--	17	3	93	145	630
1961	149	58	43	57	51	31	33	7	13	180	126	131	879
1962	98	97	262	34	30	26	24	--	94	154	148	141	1.108,00
1963	89	99	31	41	77	78	41	7	29	181	83	112	868
1964	82	56	92	46	44	104	16	52	51	100	89	123	855
1965	43	104	42	106	9	9	--	103	70	6	39	63	594
1966	117	20	137	17	85	33	26	16	48	84	68	84	735
1967	85	30	52	227	6	49	41	30	89	18	31	171	829
1968	186	71	27	1	35	66	29	59	23	39	78	190	804
1969	39	58	120	109	55	36	9	54	107	23	64	181	855
1970	77	44	39	14	42	17	25	15	108	37	32	75	525
1971	62	156	126	82	22	60	20	--	105	51	124	26	834
1972	119	66	39	89	81	9	30	192	108	83	32	96	944
1973	74	131	111	102	2	11	21	72	47	68	14	106	759
1974	55,6	87,4	29,2	134	21,8	25,2	--	12	52,6	84,6	53,4	37,4	593,2
1975	11,2	71,8	72,6	24,6	84,4	22,2	22,4	44	15,8	92,4	168	66	695,4
1976	41	58,4	58,6	88,6	53,2	134,2	58,8	73,6	11	47,6	72	65,2	762,2
1977	43,1	33,4	19,6	17,8	39,8	37,4	6,8	42,6	99,8	12,2	10	54,2	416,7
1978	37,6	40,2	77,6	216,6	58,8	19,4	8	60	70	120,4	33,8	74	816,4
1979	124,2	113,2	31,8	40	31	7,6	9,2	41,8	14,6	68,4	117	15,8	614,6
1980	143	21,4	92,2	13	192,6	37,6	21	32,8	8,6	56,6	63	64,2	746
1981	70,4	64,6	35,6	40,4	13,2	23,4	61,8	25	82	40,4	89	59,4	605,2
1982	29,1	60,4	146,2	20,2	11,8	76,2	44,4	19,8	23	45,4	56,2	97	629,7
1983	34,4	101,6	55,8	10,8	18	65	65,2	158	17,6	96	73,6	157,2	853,2
1984	50,6	152,3	59	93,2	34,4	25	1,2	63,6	40,6	66,4	113,4	199,4	899,1
1985	55,9	39,2	116,6	141	29,6	15	8,8	30,8	20,2	75,4	175,8	8,6	716,9
1986	60,8	174,4	105,4	22	54,4	63,2	77,8	6,4	36	26,2	174,8	42,6	844
1987	110	129,2	57,6	20,6	65	38,2	78	18,8	65,4	61,2	151,2	31	826,2
1988	84,4	92,8	102,4	110,8	127,2	95,4	--	15,2	76,6	47	101,2	93	946
1989	42	19	50,8	27,8	45,2	104,2	65,2	52,8	74	52,4	54,6	31,8	619,8
1990	14	3,2	23,2	80,8	35,2	10	20	50,4	66,8	37,4	246	170	757
1991	118,4	30	78,8	182,2	92,8	10,4	38,6	21,8	18,4	71,4	113,8	119,8	896,4
1992	45,6	37	49,4	347,4	31	52,4	34,4	12,4	22,8	70,6	96,6	74,6	874,2
1993	46,8	131,8	117	10	75	23,2	41,8	16,8	61,2	68,6	194,2	82,6	869
1994	150,2	108,6	3	63,4	42,2	56,6	10,6	80,6	83,4	107,6	54,4	57,2	817,8
1995	108,8	83,8	69,2	89	40,4	15,4	33,6	161,4	68,8	4,2	105,6	79,8	860
1996	73,2	101	120,2	31,6	161,4	26,2	14,8	68	96,8	204,8	64,8	243,8	1.206,60
1997	88,8	59,8	88,8	138,4	26,6	5,2	10,8	78,8	51,2	163,6	180	47,4	939,4
1998	94,8	61	121,8	14,4	97,2	11,6	56	73,6	62,2	78,2	166,4	89,6	926,8
1999	94	35,8	35,6	76,2	21	49,4	62,6	19,8	78,8	42,4	106,4	125,8	747,8
2000	44,6	79,2								56,2			>>

Tabella 2 - Precipitazioni mensili e annue registrate alla stazione di Colletorto.

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Valori della precipitazione media mensile (mm)													(mm)
1951	130	90	179	43	87	26	41	88	107	56	116	47	1.010,00
1952	96	42	45	27	53	--	56	5	66	30	63	108	591
1953	56	60	--	34	76	66	20	34	21	186	73	60	686
1954	120	95	31	149	104	45	--	--	3	37	104	48	736
1955	194	105	99	44	--	5	7	34	58	240	130	57	973
1956	49	106	39	30	6	48	2	--	6	35	175	96	592
1957	240	30	87	60	137	--	72	18	81	161	132	174	1.192,00
1958	64	32	117	109	30	55	7	2	41	15	170	52	694
1959	40	4	90	140	104	50	98	95	63	43	81	112	920
1960	78	60	92	95	24	50	9	--	37	14	88	136	683
1961	136	46	49	69	41	13	23	4	6	198	89	88	762
1962	92	71	61	27	26	12	48	--	72	106	120	78	713
1963	71	73	30	24	38	39	18	4	17	149	40	70	573
1964	67	51	48	37	46	70	60	36	42	97	91	158	803
1965	64	53	33	80	15	6	--	108	120	--	18	59	556
1966	95	21	104	18	79	--	67	27	22	88	50	48	619
1967	58	27	36	206	12	96	61	25	36	8	16	177	758
1968	126	64	14	3	27	129	17	40	14	38	82	142	696
1969	30	53	116	106	36	28	58	52	74	21	53	155	782
1970	63	46	34	19	31	20	8	15	112	44	47	111	550
1971	77	110	100	82	37	65	45	--	56	49	127	36	784
1972	123	56	49	39	62	18	58	149	132	114	31	80	911
1973	124	116	180	78	2	42	28	71	60	89	28	139	957
1974	57,8	81,8	32,4	145	27,7	30,4	0,3	45,1	64,3	109,9	70,7	53,3	718,7
1975	4,9	70,8	88,7	33,8	70	12,9	24,3	35,6	17,1	108,2	149	77,6	692,9
1976	29,6	59,9	55,9	130,8	32,4	136,8	140,5	75,5	23,6	111,7	72,9	73	942,6
1977	58,4	25	16,4	14,1	37,2	29	3	48,5	47,1	10,3	11,9	43	343,9
1978	39,5	29,3	54	224,9	51,6	11,3	1,6	42,9	42,5	148,4	30,5	62,2	738,7
1979	120,2	115	37,9	37,9	31,1	108,4	23,5	62,4	19,4	84	109,2	17,8	766,8
1980	128,2	14,6	82,9	21,4	215,6	72,5	22,5	37,2	9	57,4	87,7	71,3	820,3
1981	103,2	75,6	37,5	44,3	29,7	19,1	55,8	24,5	84,9	36,1	76,4	70,9	658
1982	17	47,1	117	28,8	4	64,9	44,4	16,8	21,2	41,3	55,2	69,2	526,9
1983	23,6	91,6	38,4	11	17,9	77,3	53,1	130,9	3,7	73	62,3	163,6	746,4
1984	59	124,2	57,3	90,3	38,8	36,1	1,7	48,2	61,4	80,1	106	151,1	854,2
1985	52,1	38,2	97,2	109	41,8	8,2	14,8	37,8	10,2	80,4	168,8	6,2	664,7
1986	57,8	174,6	103,2	14,8	32,4	72,8	136,6	2,4	25,6	6,6	139,4	43,2	809,4
1987	96	135,4	65,4	18,6	67,2	13,2	56	4,6	20,4	75	117,2	26,6	695,6
1988	74,4	54,2	83	39,8	70,6	117	--	6	56,8	44,8	53,4	63,6	663,6
1989	24,8	10	38	18,6	25,2	89	63	67,2	99,4	55,6	109,2	54	654
1990	12,2	3	26,6	91,6	64	32,8	23,6	56,4	49,4	20	144,6	77	601,2
1991	94,2	34,6	40,8	179	57,6	8	32,2	20,6	13,8	45,2	105	60,8	691,8
1992	35,8	18	56,4	240	30,8	36	46,6	4,2	17,4	62,8	69,4	76,6	694
1993	39,6	97,8	79,8	7,8	77,2	13,6	7,8	6	52,8	50,8	175,6	65,8	674,6
1994	135	79,2	2,4	54,8	27,8	35,6	7,6	44,4	50,6	63,8	31,2	38,2	570,6
1995	130,8	49,2	57	61,2	22,6	21	25,4	76	45,8	1,6	69,2	60	619,8
1996	46,8	68,6	81,2	18,4	81,2	25,2	7,8	21	75,4	134,6	55,4	194,6	810,2
1997	67,8	49,2	55,2	117	7,8	1,6	28	96,6	68,4	132,8	180,4	34,8	839,6
1998	68,8	57,2	86,4	12,8	94,2	15,2	51,8	91,6	52,6	59,4	140	66	796
1999	82	23,6	36,8	86,8	22,2	61	51	16,6	60	53,8	68	93	654,8
2000	38,2	60,2	>>	106,8	36,8	14,2	12,6	6,8	24,4	61,4	>>	35,4	>>

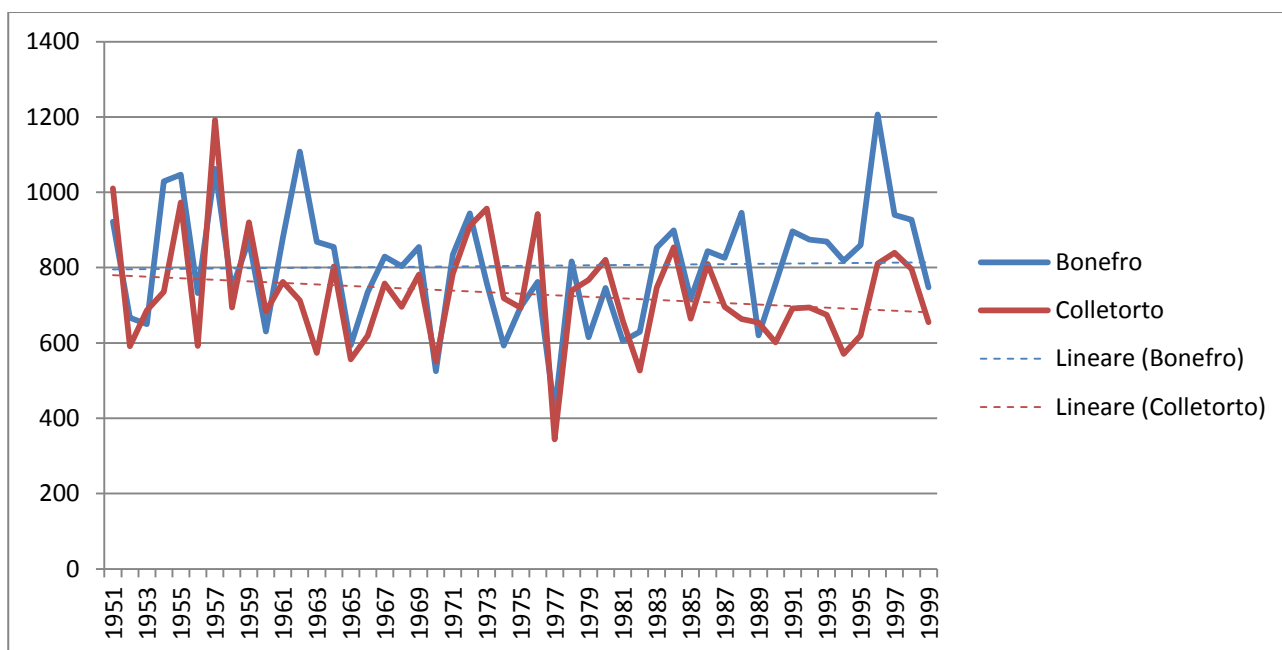


Figura 3 - Andamento delle precipitazioni annue registrate a Colletorto e Bonefro.

Le elaborazioni già pubblicate sul sito web della Regione Molise evidenziano la distribuzione mensile e stagionale e le variazioni avvenute nel corso del cinquantennio 1951-2000 (Tab. 3a-b). In particolare, è interessante notare la variazione che ha interessato l'ultimo decennio di osservazione rispetto alla totalità del periodo. Nell'ultimo periodo, infatti, la variazione positiva registrata su base annua a Bonefro è stata maggiore, in valore assoluto, rispetto a quella osservata a Colletorto, caratterizzata da segno negativo. Se si considera la variazione rispetto al decennio precedente (1981-1990), si può vedere che, in entrambe le stazioni, le precipitazioni annue sono aumentate, ma a fronte di una diminuzione nel trimestre estivo, con punte nel mese di giugno, ed un sensibile aumento, quindi una maggior concentrazione delle precipitazioni, in quello primaverile, con valori massimi nel mese di aprile.

Tabella 3a - Medie e variazioni mensili di pioggia.

Stazione Pluviometrica di COLLETORTO (quota: 515 m slm)													
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Precipitazione media periodo 1951 - 2000	77,8	62	65,9	69,6	48,7	43,5	37	43	47,3	74	89,4	81,6	730,4
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1951 - 2000	-5	-13,3	-16,3	27,2	-6	-46,8	-26,8	-10,6	-2,4	-10	11,1	-11,1	-3,4
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1981 - 1990	42,1	-28,7	-17	89,5	17	-56,4	-45,7	-2,8	6,5	29,9	-3,8	0	2,7

Stazione Pluviometrica di BONEFRO (quota: 631 m slm)													
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Precipitazione media periodo 1951 - 2000	85,8	72,5	78,5	76,7	52,9	39,4	32,1	47,8	56,1	74,8	100,7	92,8	804,6
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1951 - 2000	0,9	0,4	-3,3	38	23,5	-29,3	4,9	23,9	7,7	16	19,5	10,2	12,4
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1981 - 1990	56,9	-13	1	86,5	50,4	-46	-28,2	34,4	20,3	58,4	-2,7	14,9	17,5

Tabella 3b - Medie e variazioni stagionali di pioggia.

Stazione Pluviometrica di COLLETORTO (quota: 515 m slm)													
	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Anno
Precipitazione media periodo 1951 - 2000	221,4			184,2			123,5			210,7			730,4
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1951 - 2000	-9,6			2,8			-28,2			0,7			-3,4
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1981 - 1990	0,1			24,4			-37,8			7,2			2,7

Stazione Pluviometrica di BONEFRO (quota: 631 m slm)													
	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Anno
Precipitazione media periodo 1951 - 2000	251,1			208,1			119,3			231,6			804,6
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1951 - 2000	4,2			18,7			1,2			15,5			12,4
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1981 - 1990	14,8			40,9			-15,3			17			17,5

In sintesi, dai dati riassuntivi, si può desumere che, nel decennio 1991-2000 si sia verificato un aumento dell'aggressività climatica rispetto al periodo precedente. Questo potrebbe essere meglio evidenziato tramite l'esame di parametri che esprimano specificamente l'aggressività della pioggia, come il fattore di erosività R (descritto più avanti). Purtroppo, la mancanza di disponibilità di dati storici su base mensile, relativamente alle precipitazioni di massima intensità oraria e giornaliera, non rende possibile effettuare questa verifica. Il grafico dell'andamento dei valori annui del fattore R, tuttavia, evidenzia una decisa tendenza alla crescita lungo l'intero periodo di osservazione, con un forte aumento proprio nell'ultimo decennio (Fig. 4).

Un altro parametro che può essere utilizzato a tale scopo, è l'indice climatico di Fournier, dato dal rapporto tra il quadrato dell'altezza di pioggia relativa al mese i e l'altezza totale annua p_i^2/P (mm).

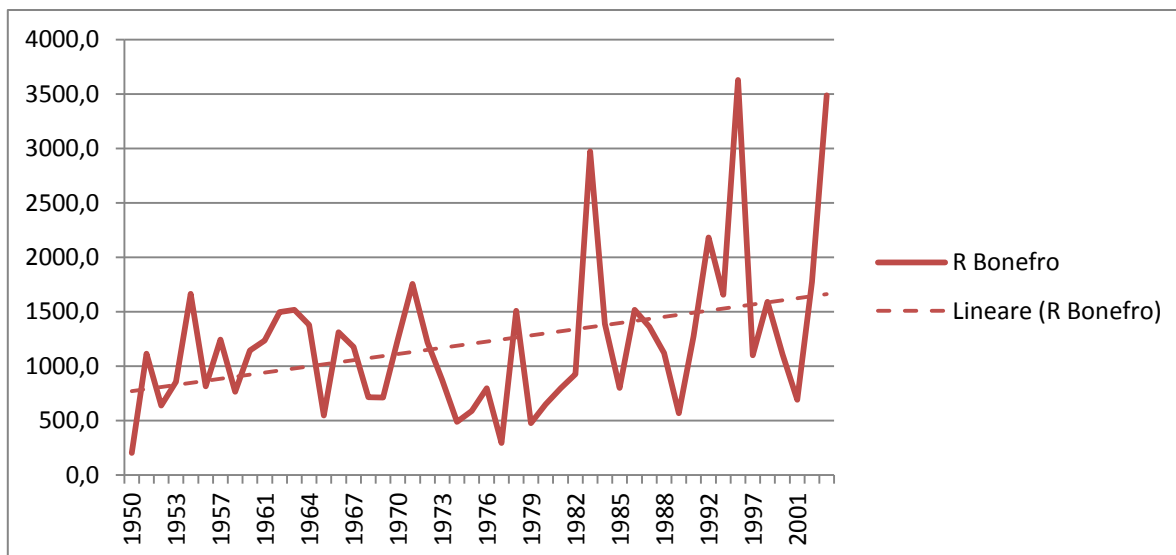


Figura 4 - Andamento del fattore erosività R calcolato in base alle precipitazioni annue registrate alla stazione pluviometrica di Bonefro.

L'andamento delle medie dei valori mensili e annui di tale indice, calcolato per l'area in esame, ricalca quanto già detto per i valori di precipitazione. In particolare, nel confronto tra il decennio 1991-2000 e il decennio precedente, viene messa in risalto la forte diminuzione registrata nel mese di giugno e l'estremo aumento occorso invece nel mese di aprile, nel quale il valore di aggressività climatica risulta quasi quadruplicato (Tab. 4). Essendo però quest'aumento avvenuto nel periodo di maggior crescita vegetativa, probabilmente ad esso non ha corrisposto un'erosione del suolo altrettanto severa.

Tabella 4 - Medie e variazioni mensili dell'Indice climatico di Fournier.

Stazione Pluviometrica di COLLETORTO (quota: 515 m slm)													
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Indice di Fournier media periodo 1951 - 2000	10,84	6,99	7,30	11,08	4,86	4,01	2,90	4,06	4,80	10,62	13,79	11,79	93,05
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1951 - 2000	3,41	-28,55	-31,69	69,57	-14,75	-66,94	-45,57	-1,15	-20,66	-24,89	22,68	-10,05	-2,89
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1981 - 1990	113,44	-55,83	-38,59	277,54	41,52	-77,73	-66,50	-3,53	-8,95	72,91	-4,39	2,85	7,30

Stazione Pluviometrica di BONEFRO (quota: 631 m slm)													
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Indice di Fournier media periodo 1951 - 2000	11,7	8,8	9,9	12,4	5,1	3,1	1,7	4,9	5,6	9,6	15,9	13,6	102,1
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1951 - 2000	-8,68	-20,02	-22,67	95,48	18,17	-56,39	2,87	28,11	-15,91	20,06	17,62	0,81	11,14
Variazione percentuale periodo 1991 - 2000 rispetto al periodo 1981 - 1990	123,76	-40,88	-19,72	274,66	77,28	-73,08	-53,04	37,51	11,02	163,30	-22,60	-6,52	17,50

3. APPLICAZIONE DEL MODELLO RUSLE

Sulla base delle considerazioni svolte nel paragrafo precedente, la dinamica erosiva che caratterizza l'area in esame può essere ben descritta attraverso un modello di previsione quale la RUSLE, particolarmente indicata per valutazioni su terreni coltivati e soggetti ad erosione laminare e per solchi superficiali (*sheet e rill erosion*).

Il modello nasce come USLE, Universal Soil Loss Equation (Wischmeier & Smith, 1978), a partire dagli '30-'40 del secolo scorso, nell'ambito di un progetto del Dipartimento per l'Agricoltura degli Stati Uniti (U.S.D.A.) finalizzato alla previsione dell'erosione del suolo a scala di singolo appezzamento e con l'intento di fornire ai coltivatori indicazioni dirette sulle pratiche gestionali più idonee. Esso è stato largamente utilizzato negli ultimi decenni in tutto il mondo, grazie soprattutto alla sua semplicità concettuale e facile applicabilità.

Il modello, di tipo empirico-parametrico, esprime la perdita di suolo media annua (A) di una determinata porzione di versante in rapporto ad una superficie standard (terreno nudo, con lunghezza di 22.2 m e pendenza del 9%, lavorato a rittochino e privo di materia organica). La perdita di suolo viene espressa in $Mg\ ha^{-1}$, come prodotto di due gruppi di fattori che costituiscono, rispettivamente, i fattori naturali che predispongono il suolo ai processi erosivi e quelli legati all'azione antropica. Tale prodotto è espresso mediante la nota formula:

$$A = (R \cdot K \cdot LS) \cdot (C \cdot P)$$

in cui il primo gruppo tra parentesi rappresenta la componente naturale del processo di erosione, data dal prodotto tra l'erosività delle piogge (espressa in $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ anno^{-1}$), l'erodibilità del suolo (espressa in $Mg\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$) e la morfologia del terreno, a sua volta espressa dal prodotto combinato di lunghezza ed acclività del versante (adimensionale); mentre il secondo gruppo rappresenta la componente antropica-gestionale, espressa dalla tipologia di colture e dalle tecniche di conservazione e protezione del suolo eventualmente adoperate, entrambi fattori adimensionali.

Questi ultimi, salvo pochi casi, come specificato nel seguito, rappresentano un fattore di riduzione dell'erosione naturale, per cui assumono quasi sempre un valore inferiore all'unità, quest'ultimo essendo il valore corrispondente al suolo nudo privo di qualsiasi protezione dall'erosione. Considerando solo il primo gruppo di fattori, in particolare i soli fattori R e K, si ha la misura dell'erosione cosiddetta "potenziale", cioè dovuta all'azione della pioggia e del ruscellamento sul suolo erodibile, a prescindere da lunghezza e pendenza del versante ed in assenza di qualsiasi tipo di copertura vegetale e di opere di conservazione e protezione; l'erosione potenziale assume poi un valore "massimo", se si considera anche l'effetto del fattore LS.

Nella forma originaria del modello, i fattori prima descritti venivano quantificati necessariamente mediante la raccolta dei dati direttamente sul terreno. Nel corso dei decenni, il modello è stato ulteriormente affinato, per giungere alla attuale forma *revised*, da cui l'acronimo RUSLE (Renard et al., 1991, 1997). Attraverso la nuova formulazione, pur rimanendo inalterata la struttura del modello, è possibile pervenire ai dati quantitativi in modo indiretto, mediante formule di correlazione ed algoritmi di calcolo che utilizzano dati di facile acquisizione, generalmente disponibili sotto forma di cartografia digitale o di database alfanumerici.

Lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie di geo-informazione (*GIS, remote sensing e image processing*) hanno infatti introdotto la possibilità di determinare i parametri della RUSLE in maniera semi-automatica, avvalendosi degli strumenti e delle tecniche avanzate di acquisizione, elaborazione ed integrazione dei dati geo-spaziali.

In particolare, grazie alla messa a punto di tecniche di interpolazione spaziale, come il *kriging*, a partire da variabili determinate in singoli punti, è possibile estrapolare e distribuire nello spazio, ad es., i valori di erosività della pioggia relativi alle singole stazioni pluviometriche ubicate nell'area di interesse, determinando così i valori del fattore R anche in aree prive di informazione.

Altrettanto è possibile fare, per quanto riguarda la valutazione dell'erodibilità dei suoli, con i dati pedologici relativi a singoli punti di campionamento secondo un grigliato predefinito, riuscendo, anche in questo caso, ad attribuire il fattore K ad aree in cui il dato diretto non è disponibile. In alternativa, il valore del fattore K può essere attribuito per analogia con suoli simili in aree diverse da quella in esame, dove esso sia stato determinato. Un'altra tecnica è invece quella qui adoperata, basata sulla classificazione del territorio, operata sempre in ambiente GIS, in unità omogenee pedo-morfologiche e/o di paesaggio, sulla base della quale è possibile ridurre al minimo il campionamento che andrà calibrato sulla distribuzione e rappresentatività delle classi predeterminate.

Inoltre, sono stati sviluppati specifici metodi ed algoritmi per il calcolo del fattore LS sulla base di modelli digitali di elevazione, risolvendo il problema della misura della lunghezza e pendenza dei versanti su aree vaste.

Per quanto riguarda il fattore C, sono state messe a punto formule di correlazione che utilizzano, ad esempio, l'indice NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) derivabile dall'elaborazione delle immagini satellitari (Rouse et al., 1973). In alternativa, il fattore C, analogamente a quanto detto per il fattore erodibilità, può essere attribuito alle diverse classi di uso del suolo sulla base dei valori medi annui valutati per i diversi tipi di colture e coperture vegetali naturali, secondo la procedura originale della USLE.

In tal modo, è possibile applicare il modello a scala di bacino o regione, ed operare delle classificazioni per la visualizzazione dei risultati su base geografica nonché stagionale e multi-temporale.

Nello schema riportato in figura è visualizzata la struttura del modello, i parametri utilizzabili per il calcolo dei singoli fattori in forma semplificata e le possibili fonti dei dati:

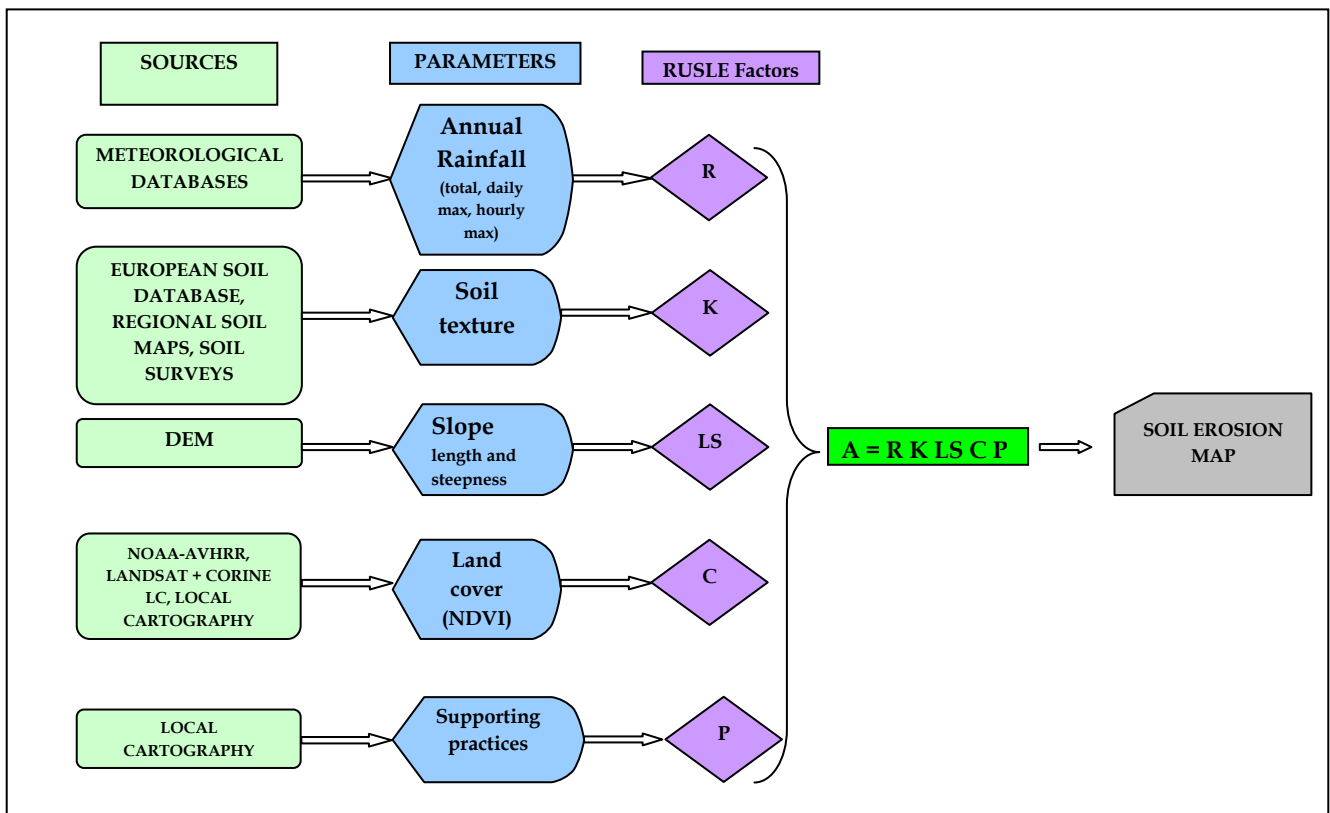


Figura 5 - Struttura del modello RUSLE e possibili fonti dei dati.

3.1 Erosività della pioggia

Il fattore R - erosività della pioggia - è stato determinato sulla base dei dati pluviometrici registrati alle stazioni di Bonefro, Castelnuovo della Daunia e Torremaggiore (Fig. 6). Queste ultime due, pur essendo distanti l'una 10 km e l'altra circa 15 km dall'area di studio, sono state inserite al fine di descrivere le eventuali differenze climatiche tra l'area più elevata e quella più valliva, prossima al fiume Fortore, del territorio in esame. La stazione di Colletorto non è stata considerata, ai fini del calcolo dell'erosività, a causa dell'insufficienza dei dati relativi alle precipitazioni orarie e giornaliere, limitati solo agli ultimi cinque anni del periodo di osservazione. Il valore di R attribuito ad ogni stazione è quello medio annuo calcolato sul periodo:

$$R = \frac{1}{N} \sum_{1}^N EI_{30\text{-annual}}$$

dove N è il numero di anni in cui sono state effettuate le misure.

I valori annui di R sono stati calcolati per ciascuna delle stazioni (Tab. 5) mediante la formula di correlazione messa a punto da Diodato (2004) sulla base di dati pluviometrici relativi all'Italia peninsulare:

$$EI_{30R-annual} = 12.142 \cdot (a \cdot d \cdot h)^{0.6446}$$

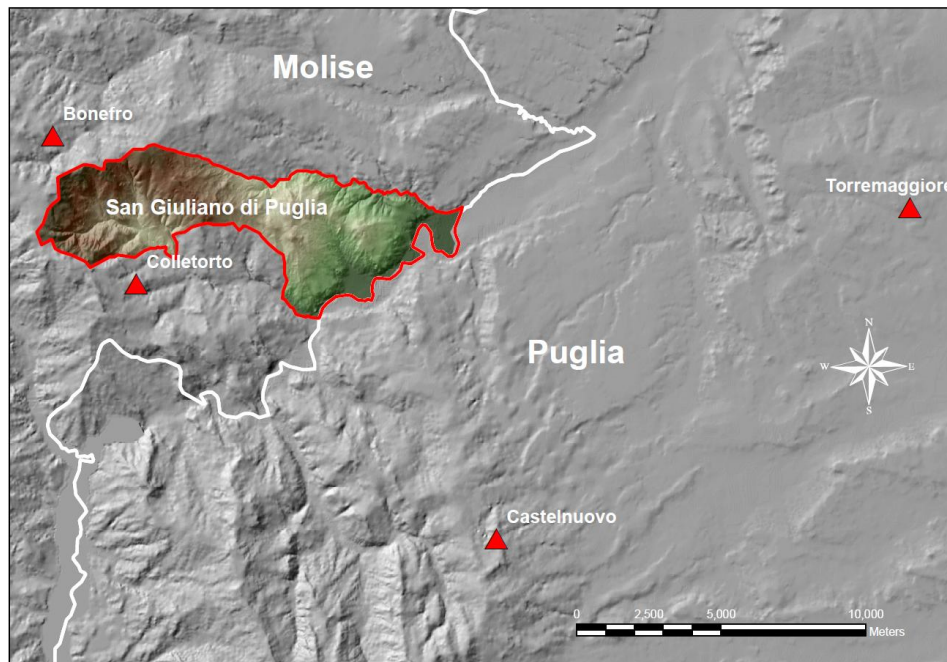


Figura 6 - Ubicazione delle stazioni pluviometriche.

dove $EI_{30-annual}$ ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$) corrisponde all'indice di erosività della pioggia, così come definito nel modello originario, e a , d e h sono, rispettivamente, il totale di pioggia, la massima altezza di pioggia giornaliera e la massima altezza di pioggia oraria, tutte considerate su base annua ed espresse in cm. Tale formula, che raggruppa variabili relative a tre diverse scale temporali, si è dimostrata più efficace di altri modelli di correlazione nel riprodurre ed esprimere il potere erosivo della pioggia. Concettualmente, la variabile a è rappresentativa delle precipitazioni meno erosive, ma con effetto cumulativo sul lungo periodo, mentre le variabili d e h descrivono gli effetti più severi dovuti alle precipitazioni di forte intensità. Inoltre, il vantaggio non trascurabile nell'uso di tale formula è rappresentato dal fatto che le variabili richieste sono di facile accessibilità e generalmente disponibili in serie pluriennali, mentre il procedimento di calcolo originariamente previsto dal modello di Wischmeier and Smith (1978) è certamente più oneroso in termini di raccolta e disponibilità dei dati.

Tabella 5 – Valori medi annui di pioggia e di erosività R calcolati per il periodo 1950-2003.

Nome_stazione	Altezza s.l.m. (m)	Anni di osservazione	Max_1h (mm)	Max_giorn (mm)	Tot_annuo (mm)	Fattore R $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$
Bonefro	631	43	21,5	71,1	798,1	1216,0
Castelnuovo Daunia	543	31	23,0	60,6	721,2	1041,6
Torremaggiore	169	34	23,5	52,5	579,4	889,6

I valori di R relativi alle singole stazioni sono stati spazializzati mediante interpolazione geostatistica, con il metodo dell'Inverse Distance Weighting (IDW), per giungere alla carta dell'erosività del territorio comunale di San Giuliano, rappresentata in figura 9. I massimi valori di erosività interessano l'estremità occidentale dell'area, mentre spostandosi sempre più verso il fondovalle del fiume Fortore, questi vanno man mano a decrescere. I valori medi dell'area si attestano intorno ai 1135 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, valore indicativo di una erosività di moderata entità.

3.2 Erodibilità dei suoli

I dati analitici relativi ai profili pedologici effettuati dall'ARSIAM sarebbero utili per la determinazione del fattore di erodibilità K mediante la metodologia originariamente prevista per la RUSLE. Dalle schede descrittive è infatti possibile risalire alla tessitura, al contenuto di sostanza organica, alla struttura ed alla permeabilità, i cui valori numerici, inseriti nell'equazione risolutiva del nomogramma di Wischmeier (USDA, Hb No 537, 1978), consentono di ottenere il valore finale di K:

$$K = 0,1317 * [2,1 * 10^{-4} * (12 - OM) * M^{1,14} + 3,25 * (S - 2) + 2,5 * (p - 3)] / 100$$

dove :

OM = % sostanza organica

M = (% limo + sabbia molto fine) * (100 - % argilla)

S = struttura

p = permeabilità

Data l'esiguità di tali dati, tuttavia, si è ritenuto opportuno procedere ad una integrazione mediante il prelievo di altri campioni di suolo, per la caratterizzazione dell'intera area di studio. Allo scopo di ridurre al minimo il numero di campioni da esaminare, onde limitare i tempi di lavoro in campagna ed in laboratorio e, di conseguenza, contenere i costi finali, è stata adottata una metodologia, già impiegata con successo in precedenti occasioni (Grauso et al., 2008), alternativa a quella classica che prevede l'imposizione di una griglia predeterminata di campionamento. Tale metodologia prevede l'incrocio, in ambiente GIS, di tre tematismi relativi, rispettivamente, alla classificazione pedologica, alle classi di acclività ed all'uso del suolo. A tale scopo, sono stati utilizzati i *layer* ed il DEM realizzati dalla Regione Molise e messi a disposizione per il presente lavoro. Nel caso specifico, in assenza della cartografia pedologica a copertura dell'area esaminata, è stata utilizzata la Carta dei Pedopaesaggi Molisani già citata, il cui contenuto tematico ottenuto, come detto, dall'incrocio di tre parametri relativi a potenza del rilievo, densità di drenaggio e geolitoologia, è stato considerato come *proxy* delle diverse tipologie di suolo presenti. La sovrapposizione di tale classificazione con l'uso del suolo e la carta delle acclività elaborata da DEM, ha consentito di delineare le "unità pedomorfologiche", cioè le aree con caratteristiche omogenee relativamente ai tre tematismi considerati. È stato quindi sufficiente selezionare, per ciascuna di tali unità, singoli punti rappresentativi che fossero i più facilmente e rapidamente raggiungibili. Questo è stato possibile tramite la sovrapposizione della ortofotocarta dell'area, nella quale è evidente il reticolo stradale principale e secondario percorribile con un autoveicolo. Ne è scaturita una "semina" di circa 50 punti, diffusi nel territorio da esaminare, come mostrato in figura 7. Per la determinazione

del fattore K relativo ai campioni di suolo così prelevati, si è scelto di adoperare un metodo più speditivo e "parsimonioso" del nomogramma di Wischmeier; la formula di correlazione suggerita da Renard et al. (1997) consente di limitare le osservazioni sul terreno alla semplice tessitura:

$$K = \left\{ 0.0034 + 0.0405 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(Dg) + 1.659}{0.7101} \right)^2 \right] \right\}$$

dove

$$Dg = \exp(0.01 \sum f_i \ln m_i)$$

Dg rappresenta la media geometrica delle dimensioni delle particelle di suolo, espressa tramite la percentuale f_i delle singole frazioni granulometriche (argilla, limo o sabbia) e la media aritmetica m_i dei valori-limite delle frazioni stesse secondo la classificazione USDA.

I risultati dell'analisi tessiturale effettuata sui campioni così prelevati sono mostrati nella tabella 6 e nel diagramma in figura 8. Dai dati risulta che i suoli campionati presentano prevalentemente tessitura media (suoli franco-limosi) con valori moderati di K (valore medio: $0.041 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). I singoli valori di K così determinati sono stati quindi attribuiti alle corrispondenti unità pedomorfologiche per consentirne la mappatura.

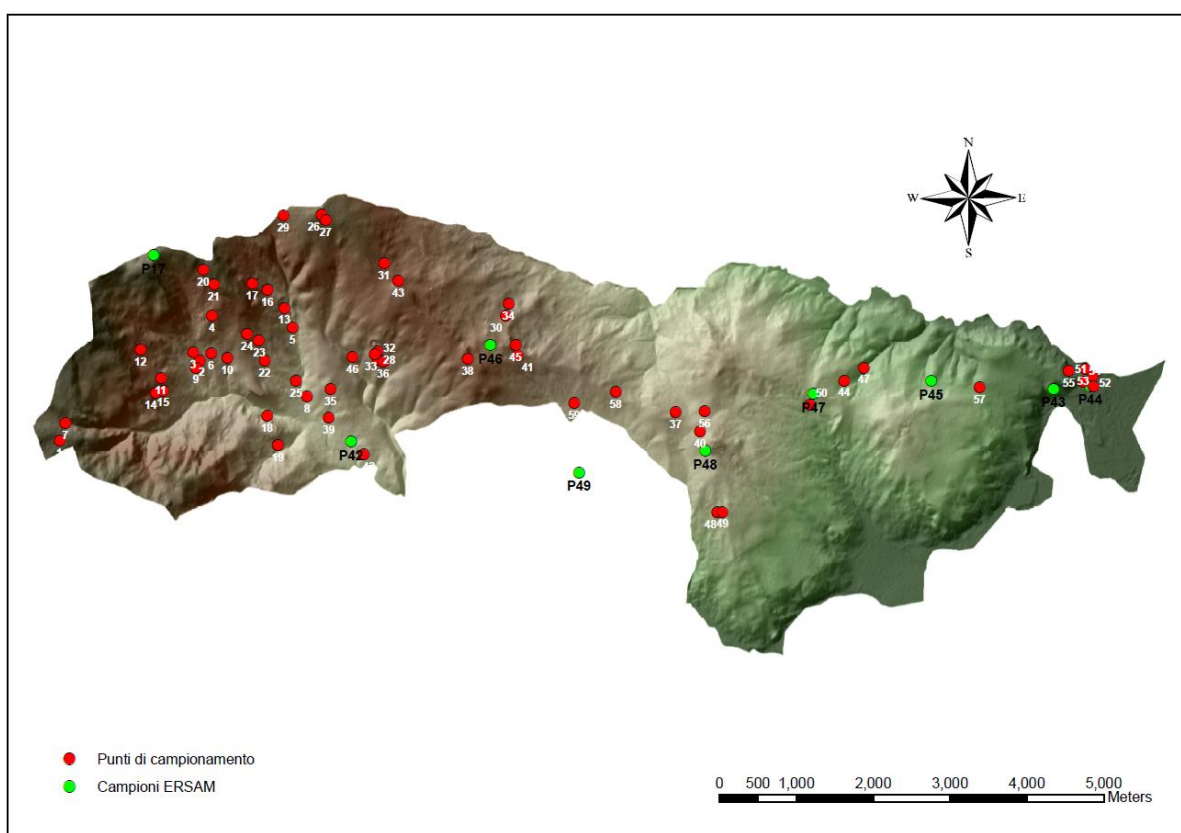


Figura 7 - Ubicazione dei punti di campionamento. In verde l'ubicazione dei profili ARSIAM.

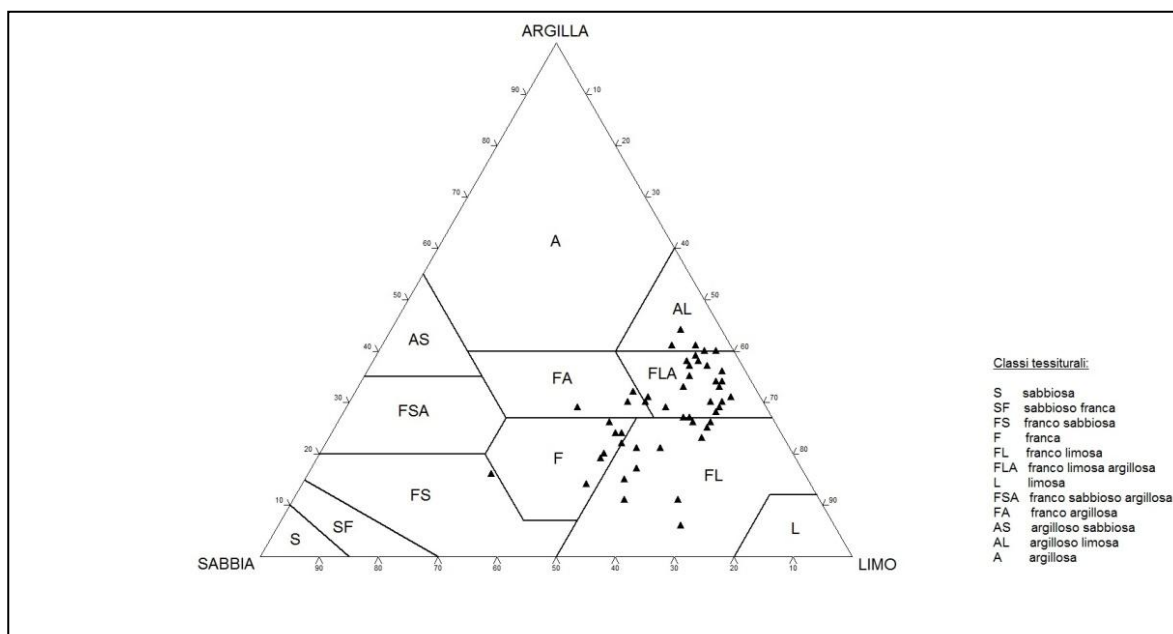


Figura 8 - Diagramma per la determinazione della classe tessiturale USDA dei campioni di suolo.

Tabella 6 – Classi granulometriche e valori del fattore K determinati sui campioni di suolo.

Campione	SABBIA > 50 μ m	LIMO	ARGILLA < 2 μ m	K _R	classi tessiturali
SG1	21	47	32	0,044	franco argilloso
SG2	20	50	30	0,044	franco argilloso-franco limoso argilloso
SG5	6	60	34	0,040	franco limoso argilloso
SG6	9	61	30	0,042	franco limoso argilloso
SG8	10	55	35	0,041	franco limoso argilloso
SG9	5	61	34	0,040	franco limoso argilloso
SG11	31	54	15	0,039	franco limoso
SG12	19	50	31	0,044	franco limoso argilloso
SG13	4	60	36	0,039	franco limoso argilloso
SG14	28	46	26	0,043	franco
SG15	8	63	29	0,042	franco limoso argilloso
SG17	11	63	26	0,043	franco limoso
SG18	24	65	11	0,040	franco limoso
SG19	53	31	16	0,029	franco sabbioso
SG20	14	59	27	0,044	franco limoso argilloso-franco limoso
SG21	22	57	21	0,043	franco limoso
SG22	6	57	37	0,039	franco limoso argilloso
SG25	9	53	38	0,040	franco limoso argilloso
SG26	7	54	39	0,039	franco limoso argilloso
SG27	5	55	40	0,038	argilloso limoso-franco limoso argilloso
SG28	14	63	23	0,044	franco limoso
SG29	10	49	41	0,039	argilloso limoso
SG30	23	47	30	0,044	franco argilloso
SG31	15	58	27	0,044	franco limoso argilloso-franco limoso
SG32	33	56	11	0,037	franco limoso
SG33	26	68	6	0,038	franco limoso
SG34	14	60	26	0,044	franco limoso
SG35	38	48	14	0,036	franco
SG36	28	55	17	0,041	franco limoso
SG37	9	63	28	0,043	franco limoso argilloso

SG38	28	50	22	0,042	franco-franco limoso
SG39	12	55	33	0,042	franco limoso argilloso
SG40	9	54	37	0,040	franco limoso argilloso
SG41	26	53	21	0,042	franco limoso
SG42	32	39	29	0,043	franco argilloso
SG43	15	58	27	0,044	franco limoso argilloso-franco limoso
SG44	6	60	34	0,040	franco limoso argilloso
SG45	32	48	20	0,040	franco
SG46	33	48	19	0,040	franco
SG47	7	55	38	0,039	franco limoso argilloso
SG48	6	53	41	0,038	argilloso limoso
SG49	9	61	30	0,042	franco limoso argilloso
SG50	7	49	44	0,037	argilloso limoso
SG51	27	49	24	0,043	franco limoso argilloso
SG52	17	54	29	0,044	franco limoso argilloso
SG53	28	48	24	0,043	franco
SG54	14	59	27	0,044	franco limoso argilloso-franco limoso
SG55	12	63	25	0,044	franco limoso
SG56	6	61	33	0,041	franco limoso argilloso
SG57	3	57	40	0,037	franco limoso argilloso-franco limoso
SG58	5	64	31	0,041	franco limoso argilloso
SG59	7	63	30	0,042	franco limoso argilloso

Lo stesso procedimento è stato applicato ai campioni ARSIAM, onde effettuare un confronto e verificare la congruenza dei dati calcolati. In tabella 7 sono mostrati i valori del fattore K, calcolati, rispettivamente, con le formule di Renard et al. (K_R) e di Wischmeier (K_W). Come si vede, le differenze sono abbastanza contenute, nella media dei casi, ma appaiono significative in tre di essi. Queste discrepanze così marcate, tuttavia, possono essere ragionevolmente causate dai valori attribuiti alla permeabilità degli specifici profili osservati, la cui valutazione può essere affetta da un certo grado di soggettività e quindi di incertezza. In questi tre profili la permeabilità viene infatti descritta come "moderatamente alta" e l'indice corrispondente, nell'abaco di Wischmeier, sarebbe pari a 2. Di conseguenza, il corrispondente valore di K_W si riduce. Per contro, al resto dei profili viene attribuita una permeabilità da "bassa" a "moderatamente bassa" (indici 5 e 4 di Wischmeier) che restituisce valori coerenti con i valori del K_R . Questi ultimi sono tutti perfettamente in accordo con quelli determinati sui campioni prelevati nel presente lavoro.

Tabella 7 – Valori del fattore K determinati sui campioni ARSIAM.

<i>Campione</i>	K_R	K_W	$\Delta\% K_R-K_W$
P17	0,043	0,038	14%
P42	0,044	0,045	-3%
P43	0,040	0,029	39%
P44	0,043	0,027	61%
P45	0,040	0,041	-4%
P46	0,044	0,047	-6%
P47	0,041	0,042	-1%
P48	0,037	0,023	59%
P49	0,043	0,043	0%
media	0,042	0,037	12%

3.3 Fattore topografico

Il fattore topografico LS è stato determinato mediante l'algoritmo messo a punto da Van Remortel et al. (2004), sulla base di un DEM con risoluzione 5mx5m. La frequenza di distribuzione dei valori di LS nell'area è illustrata nella tabella 8. Tali dati, come si può vedere anche nella figura 9, sono indicativi di un assetto plano-altimetrico prevalentemente privo di forti contrasti morfologici, con scarse incisioni, forme arrotondate e versanti debolmente inclinati e con discreto sviluppo lineare. Le maggiori asperità si riscontrano nel settore occidentale, nei dintorni dell'abitato, corrispondente all'unità di pedopaesaggio CD, e nell'estremo settore orientale, in corrispondenza del brusco raccordo con la pianura alluvionale del Fortore, marcato da una breve scarpata di erosione fluviale.

Tabella 8 – Estensione e frequenza areale delle classi del fattore topografico.

Classi LS	area (ha)	%
0 - 2	1982	47,8
3 - 6	1510	36,4
7 - 11	489	11,8
12 - 19	144	3,5
20 - 69	23	0,6

3.4 Fattore uso del suolo

Per il calcolo del fattore C è stata utilizzata la cartografia vettoriale della Regione Molise relativa all'uso del suolo. Si è prima provveduto ad una semplificazione della legenda adoperata nella cartografia regionale. Alle classi così semplificate sono stati poi attribuiti i valori derivati dai valori medi annui valutati da Bazzoffi (2007) per diversi tipi di colture, quali valori di prima approssimazione ma di sufficiente attendibilità, per l'applicazione della RUSLE in Italia (Tab. 9).

Tabella 9 - Classi di uso del suolo semplificate e corrispondenti valori del fattore C.

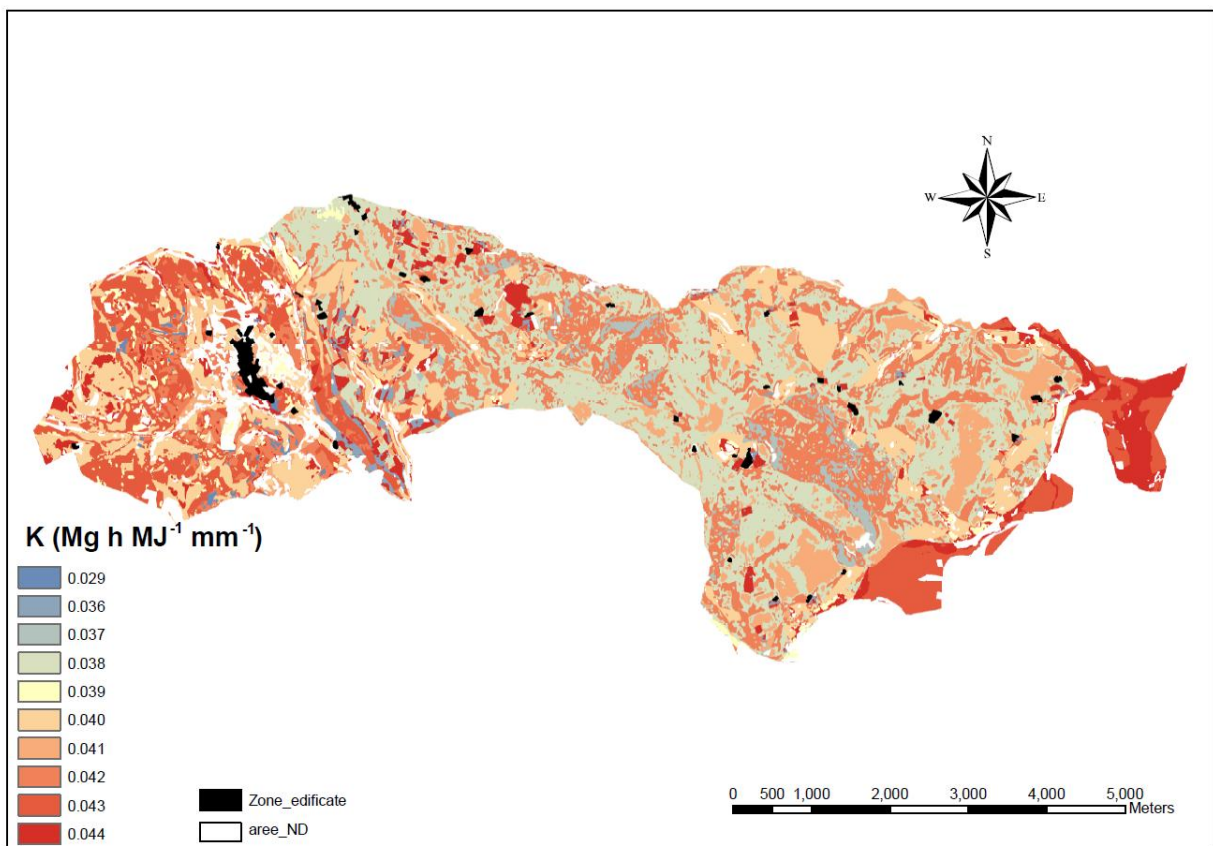
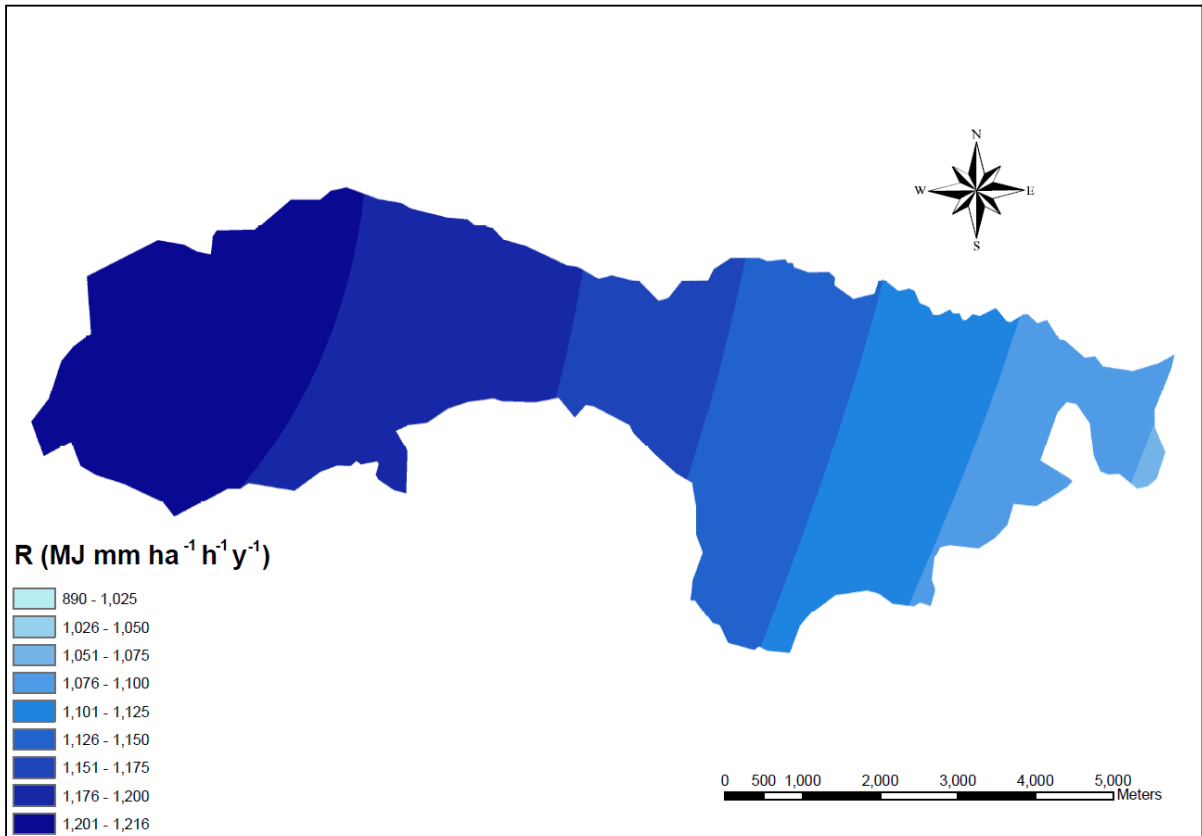
Tipo di copertura	Fattore C	area (ha)	%
Coperture boschive	0,004	321	7,7
Oliveti	0,020	373	8,9
Vegetazione ripariale	0,050	44	1,0
Prati-pascoli	0,086	221	5,3
Praterie naturali con alberi e arbusti	0,123	1	0,03
Vigneti	0,252	26	0,6
Terre arabili (seminativi)	0,331	3191	76,4
Aree edificate	0	38	0,90

L'uso del suolo prevalente, come evidenziato anche in figura 9, è quello dei seminativi (frumento, orzo, avena), cui corrisponde il valore più alto del fattore C. Seguono le coperture arboree (boschi e oliveti) cui corrispondono invece i valori più bassi. Del tutto subordinati vigneti, praterie arborate e altre tipologie di copertura.

I valori qui attribuiti sono da considerare di larga massima, in quanto andrebbero considerati i diversi tipi di colture e/o di lavorazioni e tecniche gestionali. In particolare, quello relativo alle terre arabili andrebbe variato a seconda del periodo dell'anno e della stagione colturale. Nel caso di suolo appena arato, preparato per la semina e senza alcun tipo di copertura, infatti, il valore di C sarebbe pari a 1, cioè al valore che darebbe luogo ad erosione massima, secondo il concetto su cui si basa il modello qui adoperato. Salvo questo caso e quello della lavorazione e semina a rittochino, le varie tipologie colturali e gestionali, generalmente, rappresentano un fattore di riduzione dell'erosione potenziale prodotta dai soli fattori naturali ed assumono, pertanto, valori inferiori a 1.

Inoltre, andrebbe considerato l'ultimo fattore della RUSLE, cioè il fattore P relativo alle pratiche antierosive che tende, ovviamente, a ridurre ulteriormente il tasso d'erosione risultante dal prodotto degli altri fattori.

Data la natura e la finalità del presente lavoro, tuttavia, si è considerata accettabile l'approssimazione introdotta con i suddetti valori attribuiti al fattore C e, come spesso accade in applicazioni similari della RUSLE, vale a dire ad estensioni areali superiori alla dimensione del campo o azienda, si è considerato trascurabile il contributo del fattore P, il cui valore viene quindi posto uguale a 1. Tutto ciò onde pervenire ad un risultato accettabile, nella valutazione dell'entità dell'erosione alla scala relativamente ampia del territorio comunale considerato.



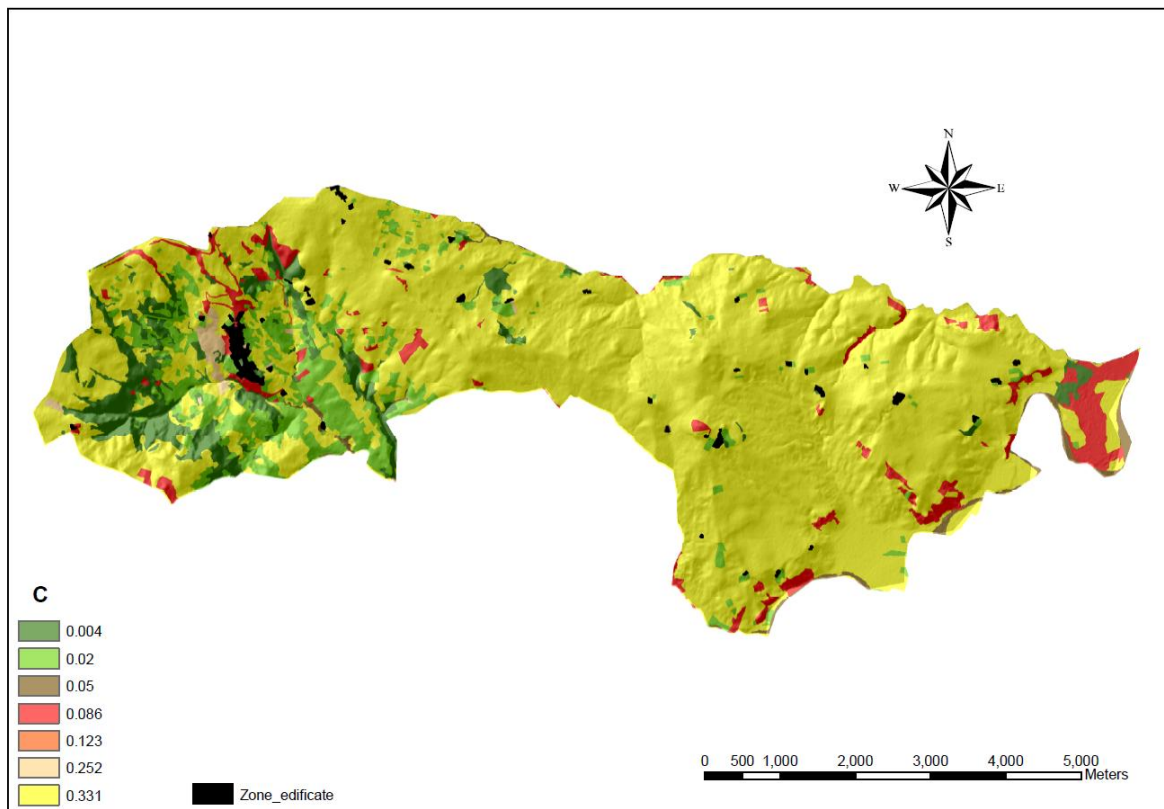
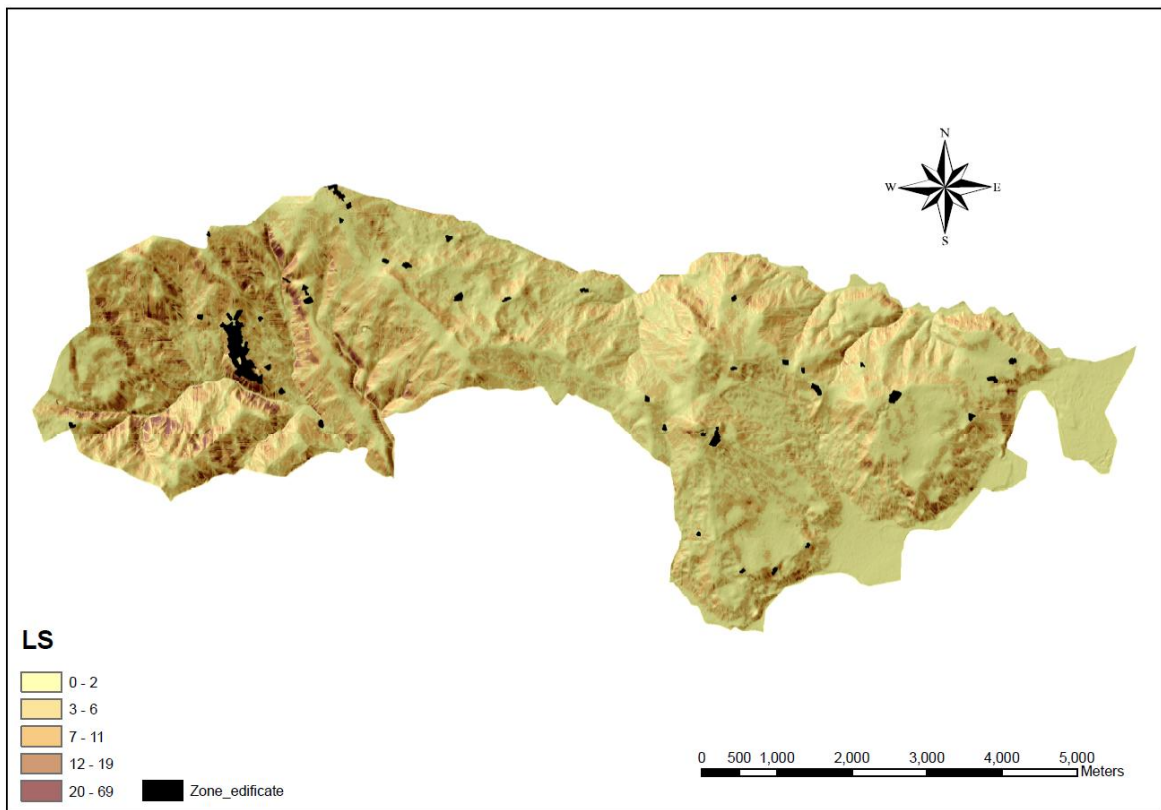


Figura 9 - Distribuzione dei valori dei fattori RUSLE sul territorio comunale di San Giuliano di Puglia.

4. RISULTATI

La combinazione dei layer corrispondenti a ciascuno dei suddetti fattori, attraverso l'operatore spaziale della piattaforma GIS utilizzata (ArcGis™), ha consentito infine il calcolo della RUSLE, restituendo la mappa di distribuzione della perdita di suolo nel Comune di San Giuliano, riportata in figura 10. In Tabella 10 è mostrata la distribuzione di frequenza dei valori di perdita di suolo ottenuti.

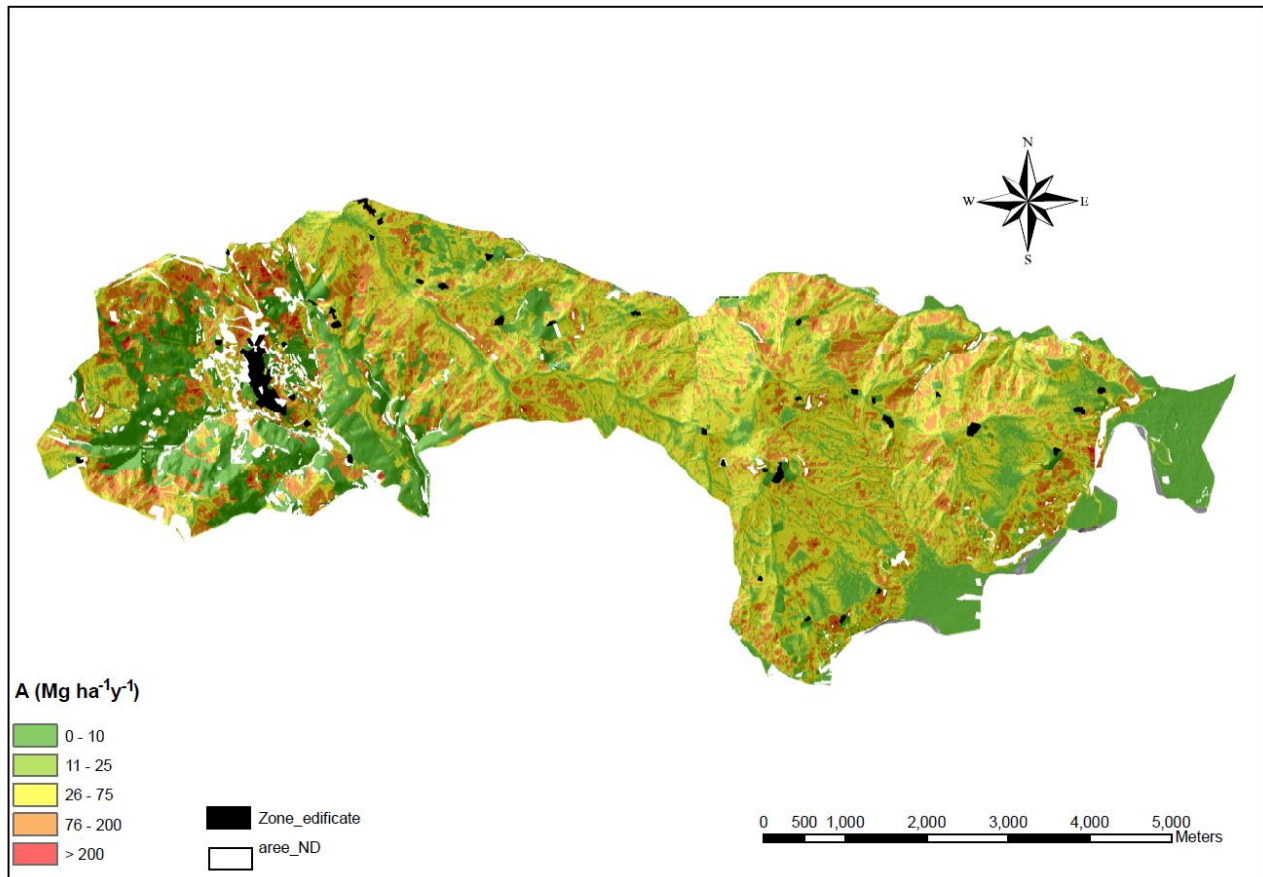


Figura 10 - Distribuzione dei valori di perdita di suolo.

Tabella 10 – Estensione e frequenza percentuale delle varie classi di perdita di suolo.

classi	A (Mg ha ⁻¹ y ⁻¹)	area (ha)	%
1	0 - 10	975	25
2	11 - 25	667	17
3	26 - 75	1551	39
4	76 - 200	733	18
5	> 200	37	1

Tabella 11 – Indici statistici dei valori di perdita di suolo.

Indici statistici	
Min	0
Max	751
Media	44.6
Std. Dev.	44.1

La distribuzione dei valori di erosione ricalca grosso modo lo schema delineato nella Carta della Suscettibilità della Regione, citata all'inizio del capitolo. Nell'elaborazione qui presentata, vengono meglio dettagliate sia la frequenza e la relativa localizzazione che i valori quantitativi. Gli indici statistici (Tab. 11) mostrano che c'è un'alta dispersione dei valori di erosione intorno al valore medio che quindi assume scarso significato statistico.

In premessa, occorre precisare che, riguardo alla descrizione delle diverse classi di erosione così individuate, in termini di intensità o grado di severità, nella letteratura scientifica sono state pubblicate diverse scale convenzionali. Ad esempio, il valore medio, calcolato per l'area di San Giuliano, pari a 44,6 Mg ha⁻¹ anno⁻¹, corrisponderebbe ad una erosione di grado "severo", secondo la classificazione proposta da Zachar (1982) ed adottata in Italia ad es. per la Calabria (Terranova et al., 2009) o per il Parco Nazionale dei Monti Sibillini (2005); lo stesso valore verrebbe invece associato ad un'erosione "media", in base alla classificazione impiegata per la Sicilia da Bagarello et al. (2008).

Facendo riferimento alla prima delle classificazioni citate, come si può vedere, nonostante la combinazione di condizioni climatiche e morfologiche relativamente favorevoli, la quota maggioritaria (> 50%) del territorio esaminato è sottoposto ad erosione da severa a molto severa (classi 3 e 4 della tabella 10), in stretta relazione con l'estensione delle terre arabili; mentre il 42% è soggetto ad erosione da nulla o trascurabile a moderata (classi 1 e 2), associata alle coperture boschive ed agli oliveti, che caratterizzano la porzione occidentale, ed ai versanti poco acclivi diffusamente presenti sul territorio. L'1% della superficie risulta soggetto ai valori massimi di erosione (> 200 Mg ha⁻¹ anno⁻¹), corrispondenti alla classe definita "catastrofica". Questi valori risultano concentrati sui versanti circostanti l'abitato di San Giuliano, in particolare su quello orientale. Proprio in quest'area, dove peraltro maggiormente insistono infrastrutture ed opere idrauliche, si può individuare la zona nella quale può essere opportuno calibrare degli interventi di protezione che possano contribuire alla riduzione del rischio di erosione e relativa movimentazione di sedimenti nonché del rischio associato di movimenti rapidi di versante (*mud flow*).

5. IPOTESI DI INTERVENTI DI RISANAMENTO SU AREE IN EROSIONE ACCELERATA

La presenza di versanti sottoposti ad erosione accelerata, con formazione di solchi più o meno profondi dovuti alle acque di ruscellamento superficiale, costituisce in generale sia un rischio per la sicurezza e l'incolumità di cose e persone, in quanto può evolvere verso veri e propri fenomeni franosi, sia una possibile causa di danno economico, in quanto limita fortemente l'utilizzo dei terreni interessati ai fini agricoli e produttivi ovvero minaccia la funzionalità di manufatti quali

strade, opere di drenaggio, pozzetti di raccolta etc. a causa della continua produzione di materiale detritico e/o la diffusione di piccoli dissesti superficiali con relative variazioni plano-altimetriche. Per questi motivi, si è ritenuto opportuno effettuare, nell'ambito del presente studio, un'indagine volta a verificare la presenza di fenomeni erosivi rilevanti in merito alla generazione dei rischi prima citati.

L'analisi dei dati conoscitivi territoriali relativi a uso e copertura del suolo, caratteri tessiturali e acclività e lunghezza dei versanti, mediante l'applicazione del modello RUSLE, ha messo in evidenza le aree maggiormente soggette a rischio di erosione, in termini di perdita stimata di suolo, entro il territorio esaminato. Come detto, queste risultano concentrate sui versanti circostanti l'abitato di San Giuliano, in particolare su quello ad est. In tale zona del territorio, proprio per la presenza del centro abitato, insistono diverse opere, soprattutto strade, ed è presente il cantiere per la realizzazione della galleria stradale di collegamento con la strada provinciale SP148, situata oltre lo spartiacque che coincide col confine settentrionale del territorio comunale.

La presenza di tali opere fa sì che la tendenza naturale all'erosione costituisca un fattore di rischio da valutare. Il fatto che, nel resto del territorio comunale, la presenza umana e di infrastrutture sia molto limitata, rende meno rilevanti le conseguenze di tale fenomeno, in termini di sicurezza e salvaguardia, e quindi meno necessari eventuali interventi strutturali.

L'indagine si è quindi limitata alla verifica in campo dello stato dei versanti con riguardo ai fenomeni di erosione accelerata nelle immediate vicinanze dell'abitato e delle vie di comunicazione. Il Comune di San Giuliano è stato già oggetto di interventi programmati e finanziati dalla Regione Molise, in relazione ai fenomeni di ruscellamento ed intensa erosione e connessi movimenti di versante. Si possono citare i seguenti interventi, tutti concentrati in un'area immediatamente a monte del centro abitato:

- l'intervento in località Colle Monte, realizzato nell'ambito del Programma Triennale 2001-2003, in attuazione della Legge 18 maggio 1989 n.183, consistente nella realizzazione di drenaggi, fossi di scolo, graticciate vive e rimboschimento di una vasta area, ma di cui è documentato il solo intervento di adeguamento, mediante ulteriori tiranti attivi, di un muro di contenimento pre-esistente;
- la realizzazione di un muro di sostegno in c.a. fondato su pali, a salvaguardia del complesso di case popolari, in seguito ad un fenomeno di scorrimento rotazionale;
- la realizzazione di drenaggi profondi e la sistemazione idraulica superficiale per la prevenzione di colamenti di fango, a monte della S.P. di accesso al paese.

Questi ultimi due interventi sono stati attuati nell'ambito del P.O.R. Molise 2000/2006.

I sopralluoghi effettuati hanno consentito di verificare, oltre a quelle citate, la presenza di numerose altre opere di sistemazione e regimazione delle acque di ruscellamento (Fig. 11) nonché di interventi di contenimento mediante gabbionate e muri di sostegno, opportunamente drenati (Fig. 12).



Figura 11 - Sistemazione della rete idrografica superficiale nell'incisione valliva ad est del centro abitato.



Figura 12 - Gabbionata di contenimento realizzata in prossimità del cimitero.

Nel corso dei sopralluoghi erano inoltre in svolgimento i lavori di adeguamento, con realizzazione di relative opere di drenaggio, della strada che lungo il settore nord-ovest collega San Giuliano all'abitato di Colletorto.

Gli interventi attuati hanno sicuramente contribuito a ridurre il rischio di erosione e di dissesto. In linea generale, nell'area esaminata, non si sono rilevate situazioni di elevata compromissione e di particolare urgenza. In diversi punti, tuttavia, lungo la rete stradale sussistono ancora condizioni di possibili alluvionamenti e deposito di sedimenti provenienti da campi lavorati in cui il suolo, nel periodo autunnale-invernale, rimane privo di copertura vegetale e quindi soggetto agli agenti erosivi in concomitanza con eventi di pioggia di forte intensità (Fig. 13).

Un'altra situazione poco favorevole alla conservazione di condizioni di stabilità si è riscontrata sotto le case al margine del versante orientale dell'abitato (Fig. 14). Anche qui è presente un pendio lavorato dove la mancanza di copertura vegetale, almeno nel periodo invernale, unita all'acclività crescente verso l'alto ed alla lavorazione cosiddetta a "rittochino" possono innescare fenomeni di erosione concentrata che, a loro volta, possono dar luogo a veri e propri movimenti di massa, con possibile minaccia verso gli edifici.

In entrambi gli esempi riportati, basterebbe una modifica degli ordinamenti colturali passando, ad esempio, a colture arboree o prative che esercitano una maggiore protezione del suolo; in ogni caso, si dovrebbe evitare la lavorazione a rittochino ed adoperare invece tecniche che riducano il ruscellamento superficiale, come la realizzazione di gradonature e/o muretti a secco o filari di arbusti che seguano l'andamento delle curve di livello, in associazione con opportuni drenaggi.



Figura 13 - Campo arato a ridosso della strada provinciale SP40.

Una nota a margine del presente rapporto riguarda la scelta delle tecniche e dei materiali per la realizzazione delle opere di difesa, consolidamento e sistemazione. Le opere già realizzate, sia quelle citate che le altre presenti nel territorio in esame, hanno visto l'impiego di tecnologie convenzionali che prevedono il massiccio uso del cemento armato, con il conseguente impatto in termini paesaggistici. In talune situazioni, peraltro abbastanza frequenti, sarebbe preferibile l'impiego di tecnologie e materiali alternativi, quali legname e materiale vegetale vivo, previsti dall'ingegneria naturalistica, oltre al pietrame, materiali ferrosi e geosintetici e/o fibre naturali, che possono essere selezionati in base alle condizioni morfo-strutturali, alla tipologia dei terreni e dei relativi dissesti da trattare e/o prevenire.

Nell'ambito della prevenzione dell'erosione, nel rispetto di un favorevole rapporto costi/benefici, il trattamento dei versanti mediante l'impiego di sementi di piante erbacee perenni a radicazione profonda si è rivelato, in diversi casi documentati in varie parti d'Italia, particolarmente efficace allo scopo. È preferibile però impiegare specie autoctone (evitando l'introduzione di tipologie estranee all'ecosistema locale) in grado di rinaturalizzare i versanti con forti vantaggi ambientali, tecnici ed economici sia in fase realizzativa che in fase di esercizio.



Figura 14 - Suolo nudo su versante sottostante l'abitato.

BIBLIOGRAFIA

Bagarello V., Di Stefano C., Ferro V. (2008). I fattori topografici della USLE e la carta dell'erosione massima. In: Linee-guida per l'applicazione della USLE in ambiente mediterraneo (a cura di V. Ferro), Quaderni di Idronomia Montana, 28/1: 71-85.

Bazzoffi P. (2007). Erosione del suolo e sviluppo rurale. Fondamenti e manualistica per la valutazione agroambientale. Edagricole, Bologna.

Diodato N. (2004). Estimating Rusle's rainfall factor in the part of Italy with a Mediterranean rainfall regime. *Hydrology & Earth System Science*, 8: 103–107.

ERSAM (2002). Carta dei pedopaesaggi molisani. Quaderno divulgativo n. 1.

EUROPEAN SOIL BUREAU (1999). Georeferenced soil database of Europe. Manual of procedures. Version 1.0. EUR 18092 EN : pp. 184.

Grauso S., Onori F., Esposito M., Neri M., Armiento G., Bartolomei P., Crovato C., Felici F., Marcinnò M., Regina P., Tebano C. (2008). Soil-erosion assessment at basin scale through ¹³⁷Cs content analysis based on pedo-morphological units. *Environmental Geology* (2008) 54: 235–247. DOI 10.1007/s00254-007-0810-y

Pacific Southwest Inter Agency Committee (1968). Factors affecting sediment yield in the Pacific southwest area. Report of the Water Management subcommittee, ASCE, 98, Report No. HY12.

Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Porter PJ (1991). RUSLE-revised universal soil loss equation. *J. of Soil and Water Conservation* 46:30–33

Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC (1997). Predicting soil erosion by water - a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS) Handbook no. 703. United States Government Printing Office, Washington, DC

Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309-317.

Terranova O., Antronico L., Coscarelli R., Iaquinta P. (2009). Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: an application model for Calabria. *Geomorphology*, 112: 228-245.

Van Remortel R.D., Maichle R.W., Hickey R.J. (2004). Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. *Computers & Geosciences* 30: 1043–1053

Wischmeier W.H., Smith D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. United States Department of Agriculture–Handbook no. 537. United States Government Printing Office, Washington, DC.

Zachar D. (1982). Soil erosion. Elsevier, Amsterdam: 547 pp.

SITI WEB

<http://www.arsiam.it/pedologia-attivita-128>

<http://www.protezionecivile.molise.it/>

http://www.regione.molise.it/schemiidrici/html/Tabelle/St_pluvi.htm

<http://www.sibillini.net/attivita/pianoPerIlParco.htm>

http://cartografia.regione.molise.it/html183_cb/main/1183cb013a_scd.html

http://cartografia.regione.molise.it/difesa_suolo/main/cbpor013.html

http://cartografia.regione.molise.it/difesa_suolo/main/cbapq009.html

ISPRA Atlante delle opere di sistemazione dei versanti

(<http://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00003400/3486-atlante-versanti-2edizione.pdf/view>)

http://www.regione.lazio.it/binary/rl_ingegneria_naturalistica/tbl_argomenti/Capitolo_01.1225814200.pdf

http://www.regione.piemonte.it/ambiente/tutela_amb/dwd/tesi05052011/cap_tesi/003%20TECNICHE%20NATURALISTICHE%20SUPERFICIALI.pdf

Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni.
(http://www.provincia.terni.it/urbanistica/ptcp/Manu_Ing.htm)

<http://www.pratiarmati.it/>

Edito dall'ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma

www.enea.it

Pervenuto il 12.11.2015

Stampato presso il Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati
Finito di stampare nel mese di novembre 2015