

Analisi del paesaggio e della suscettività all'erosione dei suoli nel bacino idrografico del Rio Santa Lucia (Sardegna sud-occidentale)

Gianluigi BACCHETTA^{1*}, Davide PILI², Gianluca SERRA²

¹Centro Conservazione Biodiversità del Dipartimento di Scienze Botaniche, Università degli Studi di Cagliari, Viale Sant'Ignazio da Laconi 13, I-09123 Cagliari

²Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Cagliari, Via Trentino 51, I-09123 Cagliari

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: bacchet@unica.it

RIASSUNTO - *Analisi del paesaggio e della suscettività all'erosione dei suoli nel bacino idrografico del Rio Santa Lucia (Sardegna sud-occidentale)* - Sulla base di studi esistenti, di nuovi rilevamenti pedologici e vegetazionali e con la successiva analisi delle informazioni acquisite, georeferenziate ed organizzate in banche dati, è stato realizzato uno studio integrato del bacino idrografico del Rio Santa Lucia (Sardegna sud-occidentale). In particolare, è stato valutato lo stato di conservazione dei suoli e della vegetazione in relazione ai processi di erosione, alla morfologia dei luoghi e ai caratteri bioclimatici dell'area indagata. Infine, allo scopo di contrastare i processi di degradazione in atto e di favorire un uso sostenibile del paesaggio, è stato realizzato un Sistema Informativo Geografico ed è stato elaborato un modello di "suscettibilità all'erosione dei suoli", elaborato considerando quattro livelli informativi: pedopaesaggio, pendenze, densità di drenaggio, tipologia e grado di copertura vegetale. Il G.I.S. ed il modello proposto sono utilizzabili sia nei processi di pianificazione razionale delle risorse naturali, sia negli interventi di mitigazione dei fenomeni di degradazione, a vantaggio di un uso sostenibile del paesaggio.

SUMMARY - *Analysis of landscape and soil erosion sensitivity in the Rio Santa Lucia catchment (SW Sardinia, Italy)* - An integrated study of biotic and abiotic factors, in a marginal area of Sardinia has been realized in the Santa Lucia catchment (southern-western Sardinia). The study has been carried out on the ground of previous studies, adding new environmental surveys for soils and vegetation. In particular, has been realized an evaluation of soils and vegetation state of conservation and relationships with erosion processes, geomorphology and bioclimate in the catchment basin. A Geographical Information System and a "soil erosion suitability" model has been elaborated by analysis of georeferenced data and their organization into databases, starting from environmental aspects as geopedology, slopes, drainage density and degree of vegetation cover. The G.I.S. and the soil erosion suitability model can be a useful tool in the regional and local planning policy of biotic and abiotic resources. Moreover it can be used to better contrast soil degradation processes and get a rational and sustainable use of landscape and natural capitals.

Parole chiave: vegetazione, suoli, paesaggio, erosione, G.I.S., Sardegna

Key words: vegetation, soils, landscape, erosion, G.I.S., Sardinia (Italy)

1. INTRODUZIONE

L'erosione accelerata dei suoli è un processo di degradazione ambientale determinato, nella gran parte dei casi, dall'impatto delle azioni antropiche dirette ed indirette sul territorio. Di seguito viene presentata una metodologia di valutazione della suscettività all'erosione dei suoli applicata ai paesaggi collinari e montani del bacino idrografico del Rio Santa Lucia (Sardegna sud-occidentale), per i quali si dispone di informazioni puntuali ed areali relative alle componenti abiotiche e biotiche. Il risultato dello studio è una delimitazione delle aree caratterizzate da differente suscettività all'erosione dei

suoli e, pertanto, da una differente predisposizione ai fenomeni di degradazione. L'obiettivo finale è quello di proporre una metodologia operativa in grado di coadiuvare sia la pianificazione e la gestione ambientale del territorio, sia gli interventi necessari per il recupero dei settori compromessi dalle azioni antropiche.

2. AREA DI STUDIO

2.1. Inquadramento geografico

Il settore collinare e montano del bacino idrografico

del Rio Santa Lucia è ubicato nella porzione nord-orientale del Sulcis (Fig. 1).

Il bacino si estende per circa 110 km². La porzione montana indagata ha un'estensione di circa 80 km² ed è costituita dai due sub-bacini idrografici dei Rii

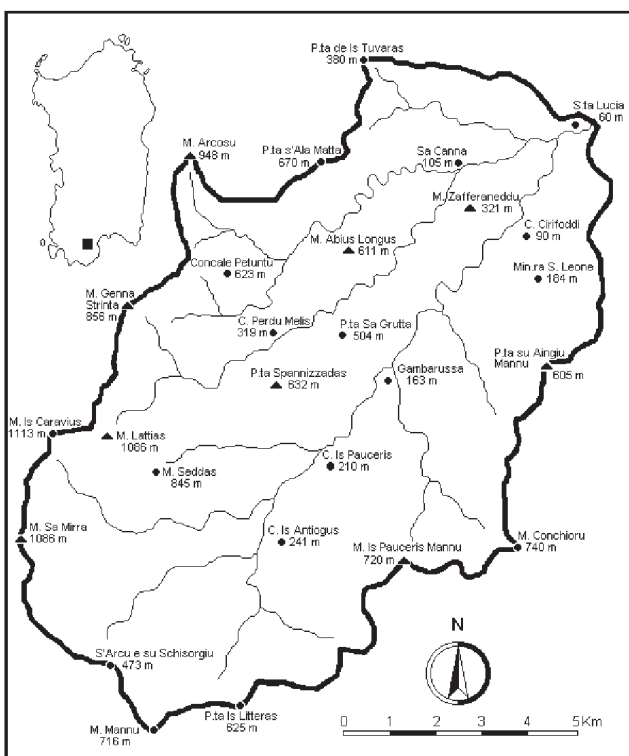


Fig. 1 - Inquadramento geografico del settore montano del bacino idrografico del Rio Santa Lucia.

Fig. 1 - Geographic framing of the catchment basin mountain section of Rio Santa Lucia.

Gutturu Mannu e Gutturreddu che, confluendo in prossimità della piana di Capoterra, danno origine al Rio S. Lucia. Le quote variano da 62 m del punto di confluenza dei suddetti corsi d'acqua a 1113 m del M. Is Cavarius. L'altimetria media è di circa 450 m e solo alcune cime impostate sui graniti, come il M. Lattias (1086 m), il M. Arcosu (946 m) e il M. Seddas (850 m), si innalzano in maniera evidente.

I riferimenti cartografici sono costituiti dalle tavole I.G.M (scala 1:25000) n° 556 sez. II "Assemini",

n° 565 sez. IV "Narcao", n° 565 sez. I "Capoterra". Dal punto di vista amministrativo il territorio in esame ricade interamente nella provincia di Cagliari, nei comuni di Capoterra, Uta, Assemini (isola amministrativa) e Santadi per una minima porzione.

2.2. Geologia

La geologia dell'area, anche per l'interesse verso l'attività estrattiva, è stata ampiamente studiata (Barca *et al.* 1986; Carmignani *et al.* 1978; Carmignani *et al.* 1982; Leone *et al.* 1991; Vardabasso 1971).

Le metamorfite paleozoiche (metarenarie, metaquartziti, metasiltiti e metapeliti) sono i tipi litologici più rappresentati dell'area studiata. Al Paleozoico viene pure riferito il batolite granitico del basso Sulcis, la cui messa in posto è attribuibile alle intrusioni verificatesi durante l'orogenesi tardo-ercinica, quindi successiva ad ogni movimento di deformazione compressiva del basamento.

Al Quaternario sono ascrivibili i depositi di natura alluvionale e colluviale, geneticamente legati alle variazioni climatiche ed alle conseguenti variazioni del profilo di base dei corsi d'acqua principali.

2.3. Caratteri climatici e bioclimatici

Sulla base dei dati pubblicati dal Servizio Idrografico Nazionale (Ministero LL. PP. 1966-1980) per le vicine stazioni termopluviometriche di Is Cannoneris (716 m s.l.m.) e Santadi (135 m s.l.m.) e in accordo con la classificazione bioclimatica proposta da Rivas-Martinez *et al.* (1999, 2002), si conferma per l'area il macrobioclima mediterraneo, essendo il periodo di siccità ($P < 2T$) sempre superiore a due mesi dopo il solstizio d'estate (Tab. 1).

Per quanto concerne i bioclimi, in base all'indice di continentalità semplice (I_c) e all'indice ombrotermico (I_o), si evidenzia che entrambe le stazioni, e quindi anche i territori esaminati, rientrano nel bioclima pluvistagionale oceanico poiché presentano valori di I_c inferiori a 21 e di I_o superiori a 2,0 (Tab. 2).

Dai dati termopluviometrici e dall'analisi della vegetazione si può ipotizzare un piano termomediterraneo esclusivamente per le aree nord-orientali del

Tab. 1 - Precipitazioni medie mensili e annue.

Tab. 1 - Mean monthly and annual rainfall.

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno	giorni piovosi
Is Cannoneris	166,1	164,7	134,3	90,7	64,6	16,0	3,9	13,5	47,3	133,3	143,6	193,5	1171,5	89,6
Santadi	93,0	77,3	64,9	42,8	36,3	10,8	3,8	10,9	33,2	77,9	98,6	111,7	661,2	68,4

Tab. 2 - Temperature medie mensili e annue, indici di continentalità e ombrotermico.

Tab. 2 - Mean monthly and annual temperatures, continentality index and ombrothermic index.

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	media annua	I_c	I_o
Is Cannoneris	6,7	5,7	7,1	9,1	15,5	18,3	22,7	22,0	19,9	12,9	9,6	7,3	13,3	16	7,2
Santadi	9,8	9,2	12,2	14,5	14,8	23,6	26,8	27,6	24,0	20,3	15,3	12,0	16,7	15,3	3,3

bacino, al di sotto dei 200 m di quota, e un termotipo mesomediterraneo per la generalità dell'area.

Per la stazione di Santadi si conferma un ombrotipo secco superiore ($I_o=3,3$) al limite del subumido inferiore e per quella di Is Cannoneris un ombrotipo umido inferiore ($I_o=7,2$).

Nel bacino montano del Rio Santa Lucia è pertanto ammissibile, sulla base delle risposte della vegetazione e dei dati bioclimatici spazializzati, la presenza di un ombrotipo subumido che, seppur non determinabile direttamente, risulta dominante in tutta l'area.

2.4. Flora e vegetazione

Le ricerche floristiche condotte nella parte montana e collinare del bacino idrografico del Rio Santa Lucia (Mossa *et al.*, 1996; Mossa & Bacchetta 1998) hanno permesso di censire 669 taxa di cui 628 di rango specifico, 35 sottospecifico, 2 varietale e 4 ibridi; afferenti a 364 generi e 101 famiglie. Le *Dicotyledones* con 70 famiglie, 266 generi e 486 entità sono risultate dominanti rispetto agli altri gruppi sistematici.

Per effetto dei tagli pregressi, del pascolamento e degli incendi, circa il 50% della vegetazione dell'area risulta oggi costituita da macchie riconducibili al *Quercion ilicis* Br.-Bl. *ex* Molinier 1934 *em.* Rivas-Martínez 1975 e all'*Oleo-Ceratonion* Br.-Bl. *ex* Guinochet *et* Drouineau 1944 *em.* Rivas-Martínez 1975. Il 30% dell'area è occupato da boschi di leccio

ceduati e da sugherete. Queste ultime complessivamente non ricoprono più del 5% della superficie e risultano concentrate nella valle di Gutturu Mannu.

Le aree cacuminali più frequentemente appaiono ricoperte da una vegetazione camefitica e da pratelli cespitosi.

Gli alvei dei rii sono caratterizzati da macchie inquadrabili nell'alleanza *Rubio ulmifolii-Nerion oleandri* O. Bolòs 1985 e, dove la falda freatica è superficiale o lungo i corsi d'acqua a regime e portata costanti, da boschi ripariali inseribili nella suballeanza *Hyperico hircini-Alnenion* Dierschke 1975 o nel *Nerio oleandri-Salicion purpureae* De Foucault 1991.

2.5. Pedologia

I tipi pedologici appartengono prevalentemente agli ordini degli Entisuoli, Inceptisuoli e Alfisuoli.

Alla scarsa diversità delle tipologie di suolo si contrappone una differente estensione delle stesse a seconda del substrato, con una netta prevalenza degli Inceptisuoli sui graniti e degli Entisuoli sulle metamorfite (Aru *et al.* 1995).

Le informazioni di carattere pedologico, unitamente a quelle geolitologiche, geomorfologiche e geobotaniche, hanno portato all'elaborazione della "Carta delle unità di paesaggio" (Fig. 2), nella quale sono state definite 19 unità di pedopaesaggio poste alla base delle successive elaborazioni ed applicazioni.

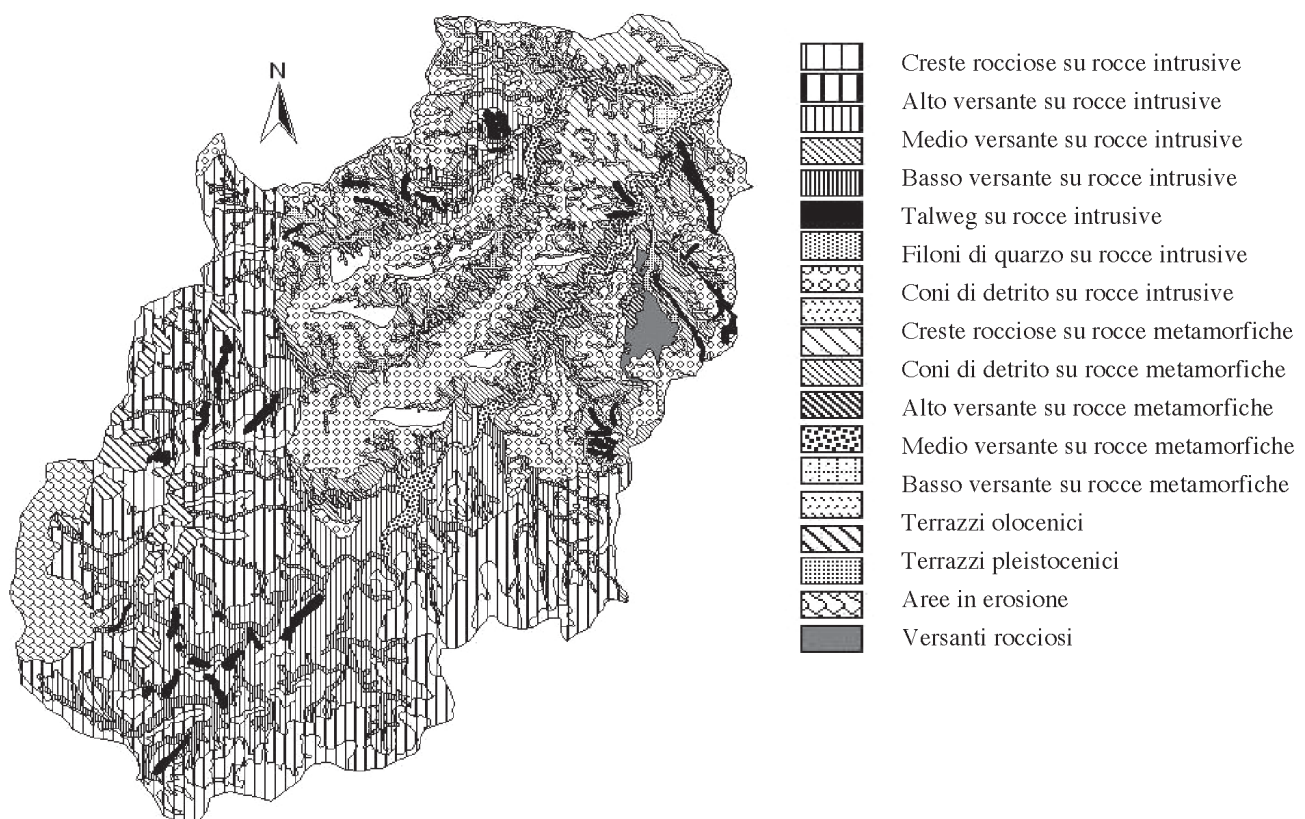


Fig. 2 - Carta delle unità del paesaggio del settore montano del bacino idrografico del Rio Santa Lucia.

Fig. 2 - Land units map of the catchment basin mountain section of Rio Santa Lucia.

3. METODI

Le informazioni geopedologiche e geobotaniche esistenti (Camarda *et al.* 1993; Camarda *et al.* 1995; Aru *et al.* 1995; Mossa *et al.* 1996; Mossa & Bacchetta 1998; Bacchetta 2000; Bacchetta *et al.*, 2000) sono state selezionate e, nel presente studio, integrate mediante rilevamenti di dettaglio.

I suoli sono stati descritti e classificati secondo il sistema americano (Soil Survey Staff 1998). Le indagini di carattere geobotanico sono state condotte seguendo il metodo della scuola sigmatista di Zurich-Montpellier (Braun-Blanquet 1951). Le analisi climatiche e bioclimatiche sono state effettuate seguendo la classificazione bioclimatica della terra proposta da Rivas-Martínez *et al.* (1999).

L'analisi integrata dei dati e le elaborazioni finali dei tematismi cartografici sono state realizzate mediante tecniche G.I.S. e di *overlay mapping* (Eastman 2001), elaborati e posti in relazione tra loro a seconda

della significatività di ognuno verso l'erosione del suolo.

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

I modelli di misura dell'erosione del suolo possono essere diretti ed indiretti. I primi, quantitativi o semiquantitativi, sono generalmente molto costosi da realizzare e, spesso, non offrono risultati attendibili al di fuori dei contesti ambientali per cui sono stati elaborati. Inoltre, poiché il numero di fattori che influenzano la pedogenesi è molto elevato, questo approccio non sempre ha fornito risultati accettabili dal punto di vista quantitativo (Ferro 2002).

Pertanto si è assistito a uno sviluppo dei metodi di misura indiretta dell'erosione (Ciccacci *et al.* 1980; Lupia Palmieri *et al.* 1995; Centamore *et al.* 1996; Del Monte 1996). In questi casi i modelli si basano su equazioni empiriche nelle quali compaiono una serie di

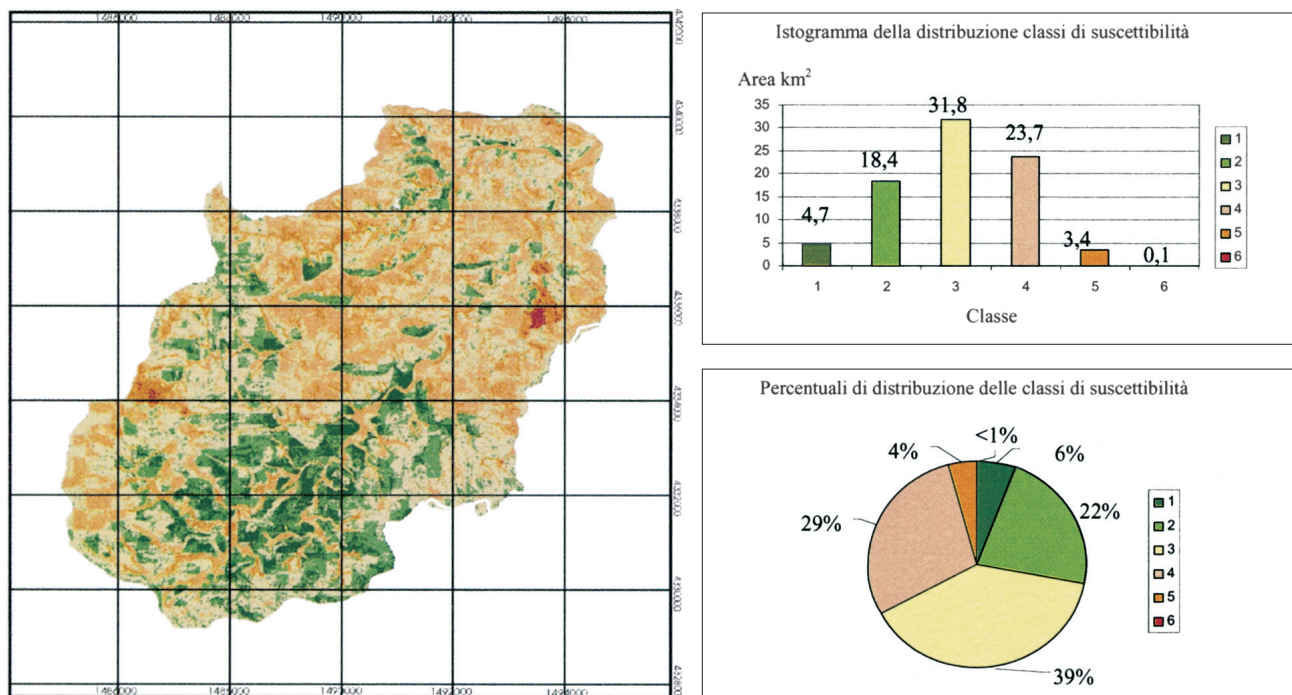


Fig. 3. Carta della suscettibilità all'erosione dei suoli del bacino montano del Rio S. Lucia con la distribuzione areale e percentuale delle classi di suscettibilità utilizzate.

Fig. 3 - Soil suitability for erosion, spatial and percentage distribution of erosion suitability classes in the mountain section of the Rio Santa Lucia catchment basin.

Tab. 3 - Livelli di suscettibilità all'erosione risultanti dal modello.

Tab. 3 - Erosion model suitability levels.

Classe	Sommatoria indici	Attributi di suscettibilità all'erosione
1	2,55-3,72	Nulla o scarsa
2	3,72-4,9	Bassa
3	4,9-6	Moderata
4	6-7,2	Elevata
5	7,2-8,4	Molto elevata
6	8,4-9,6	Estremamente elevata

variabili correlabili con l'entità dell'erosione, ma in genere risultano necessarie delle stazioni torbimetriche che permettano di ottenere dati di confronto per il modello matematico.

In questo studio si è scelto di stimare, mediante tecniche G.I.S. e di *overlay mapping*, la suscettibilità dei suoli all'erosione e non l'erosione stessa, a causa dell'indisponibilità di misure della torbida che permettessero di risalire al volume di suolo eroso nel bacino e, quindi, dell'impossibilità di formulare le correlazioni tra erosione e parametri ambientali.

Il modello per la valutazione della suscettibilità all'erosione dei suoli del bacino collinare e montano del Rio Santa Lucia è stato elaborato attraverso la sovrapposizione di quattro livelli informativi: pedopaesaggio, pendenze, densità di drenaggio, tipologia e grado di copertura vegetale. Inoltre, si è tenuto conto della significatività di ogni tematismo verso l'erosione del suolo mediante l'attribuzione di pesi. In particolare, il tema pedopaesaggio, con le informazioni geologiche e pedologiche, è posto alla base della valutazione in oggetto. I temi pendenza e densità di drenaggio rappresentano rispettivamente l'intensità dei processi di versante e dei processi di natura fluviale o torrentizia. Il tema copertura vegetale, infine, rappresenta l'azione mitigante l'energia cinetica delle acque meteoriche, esplicita dalla tipologia vegetazionale e dallo stadio dinamico di sviluppo delle fitocenosi (Pili 2003).

Per l'attribuzione dei pesi ai vari tematismi utilizzati per il modello, si è seguita la procedura in due fasi riportata nel manuale d'uso del software Idrisi 32 (Eastman *op. cit.*): nella prima fase i livelli informativi sono stati posti a confronto a due a due, attraverso i *boolean approaches* e, nella seconda fase di analisi *Multi-criteria evaluation* (MCE), il software ha calcolato i pesi relativi a ciascun livello basandosi su un algoritmo di tipo *fuzzy*. Le risposte del modello sono state quindi verificate e validate grazie alla conoscenza approfondita dei caratteri ambientali.

Nel caso del bacino in esame si è definita la seguente formula:

$$(1) \quad S 0,30 + V 0,15 + P 0,40 + Dd 0,15$$

dove S indica i suoli, V il grado di copertura vegetale, P le pendenze, Dd la densità di drenaggio.

Infine, i pesi di ciascuna classe per ciascun tema sono stati convertiti, durante l'operazione di *gridding*, da dati vettoriali a dati tipo *raster*. La griglia, realizzata con passo di 25 m, individua le celle per ciascuna delle quali è attribuito un valore di suscettibilità. Graficamente, l'insieme delle informazioni definisce la carta della suscettibilità all'erosione dei suoli del bacino idrografico (Fig. 3). Nel caso specifico, sono considerati sei livelli di suscettibilità all'erosione, risultanti dall'applicazione del metodo proposto (Tab. 3).

Il risultato dello studio indica che i valori più alti di suscettività all'erosione (classi 4, 5, 6) si hanno lungo l'alveo del Rio Gutturu Mannu, sulle creste dei rilievi

metamorfici e dei rilievi a nord del Monte Lattias, oltre che in tutta l'area estrattiva della miniera di S. Leone e in vari impluvi del 1° e 2° ordine, confluenti a loro volta nelle aste del 5° ordine.

Per contro, le aree più stabili (classi 1, 2, 3) si rilevano su litologia granitica, generalmente a bassa quota, in condizioni morfologiche di basso e medio versante, con copertura vegetale evoluta sia in termini sinecologici che fisionomico-strutturali.

La classe di suscettività più rappresentata è la 4 (elevata). Interessa principalmente la parte settentrionale del bacino, caratterizzato da litologie relativamente meno alterabili ai fini pedogenetici, e pertanto caratterizzate da un maggior rischio di riduzione della qualità dei suoli e delle fitocenosi.

5. CONCLUSIONI

La metodologia illustrata è da considerarsi come uno strumento applicativo utile per la definizione e l'ubicazione di eventuali interventi di mitigazione dei processi erosivi e degradativi dei suoli e del territorio. In particolare, ne è auspicabile l'utilizzo a livello locale nell'ambito degli investimenti finalizzati alla protezione idrogeologica, al recupero ed alla valorizzazione dell'ambiente naturale, previsti da strumenti di programmazione quali il Programma Operativo Regionale (P.O.R.) ed il Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Sardegna.

BIBLIOGRAFIA

- Aru A., M.R. Lai, S. Loddo, R. Puddu & P. Baldaccini, 1995 - Geological, soil and environmental survey in the Rio Santa Lucia basin. In: Enne G., A. Aru & G. Pulina (eds), *Land use and soil degradation. Medalus in Sardinia*. Proceedings of the conference held in Sassari, Italy, 27 May 1994. Tipolitografia La Celere, Alghero: 99-114.
- Bacchetta G., 2000 - *Flora, vegetazione e paesaggio dei Monti del Sulcis (Sardegna sud-occidentale)*. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Ancona.
- Bacchetta G., C. Pontecorvo & L. Mossa, 2000 - Contributo alla conoscenza dei fitotoponimi del Sulcis (Sardegna sud-occidentale). *Rend. Semin. Fac. Sc. Univ. Cagliari*, 70 (Suppl.): 199-213.
- Barca S., T. Cocuzza & F. Leone, 1986 - Il Paleozoico dell'area di San Leone: nuovi dati stratigrafico-strutturali (Sulcis, Sardegna SW). *Boll. Soc. Geol. It.*, 105: 21-26.
- Braun Blanquet J., 1951 - *Pflanzensoziologie. Grundzüge der vegetationnskunde*. Springer-Verlag, Wien.
- Camarda I., F. Lucchese, S. Pignatti & E. Wikus-Pignatti, 1993 - La flora di Pantaleo - Gutturu Mannu - Punta Maxia nel Sulcis (Sardegna sud-occidentale). *Webbia*, 47 (1): 79-120.
- Camarda I., F. Lucchese, S. Pignatti & E. Wikus-Pignatti, 1995 - La vegetazione dell'area Pantaleo - Gutturu Mannu - Punta Maxia - Monte Arcosu nel Sulcis-Inglesiente (Sardegna sud-occidentale). *Webbia*, 49 (2): 141-177.

- Carmignani L., T. Coccozza, N. Minzioni & P.C. Pertusati, 1978 - The Hercinian Orogenic Revolution in Sardinia. *Z. dt. geol. Ges.*, 129: 485-493.
- Carmignani L., T. Coccozza, C. Ghezzi, P.C. Pertusati & A.C. Ricci, 1982 - Lineamenti del basamento sardo. Guida alla geologia del Paleozoico sardo. *Mem. Soc. Geol. It., Guide Geol. Reg.*: 11-23.
- Centamore E., S. Ciccacci, M. Del Monte, P. Fredi & E. Lupia Palmieri, 1996 - Morphological and morphometric approach to the study of the structural arrangement of northeastern Abruzzo (central Italy). *Geomorphology*, 16: 127-137.
- Ciccacci S., P. Fredi, E. Lupia Palmieri & F. Pugliese, 1980 - Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali. *Boll. Soc. Geol. It.*, 99: 455-516.
- Del Monte M., 1996 - Rapporti tra caratteristiche morfometriche e processi di denudazione nel bacino idrografico del torrente Calandrella (Basilicata). *Geol. Rom.*, 32: 151-165.
- Eastman R., 2001 - *Manuale d'uso Idrisi 32*. Release 2. Clark University, 950 Main Street Worcester, MA-USA.
- Ferro V., 2002 - *La sistemazione dei bacini idrografici*. McGraw-Hill, New York.
- Leone F., W. Hammann, R. Laske, E. Serpagli & E. Villas, 1991 - Lithostratigraphic units and biostratigraphy of the post-sardic Ordovician sequence in south-west Sardinia. *Boll. Soc. Paleont. It.*, 30: 201-235.
- Lupia Palmieri E., S. Ciccacci, G. Civitelli, L. Corda, L. D'Alessandro, M. Del Monte, P. Fredi & F. Pugliese, 1995 - Geomorfologia quantitativa e morfodinamica del territorio abruzzese: I - Il bacino idrografico del fiume Sinello. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 18: 31-46.
- Ministero LL. PP., 1966-1980 - *Annali Idrologici*. Ed. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- Mossa L. & G. Bacchetta, 1998 - The flora of the catchment basin of Rio S.ta Lucia (Sulcis, south-west Sardinia). *Fl. Medit.*, 8: 135-196.
- Mossa L., G. Bacchetta, C. Angiolino, M. Ballero, 1996 - A contribution to the floristic knowledge of the Monti del Sulcis: Monte Arcosu (S.W. Sardinia). *Flora Mediterranea*, 6: 157-190.
- Pili D., 2003 - *Proposta di un modello di suscettibilità all'erosione attraverso l'applicazione di un GIS nel bacino montano del Rio S. Lucia (Sardegna sud-occidentale)*. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Cagliari.
- Rivas-Martínez S., T.E. Díaz, F. Fernández-González, J. Izco, J. Loidi, M. Lousã & A. Penas, 2002 - Vascular plant communities of Spain and Portugal. Addenda to the syntaxonomical checklist of 2001. *Itinera Geobot.*, 15(1): 5-432.
- Rivas-Martínez S., F. Fernandez-Gonzalez & J. Loidi, 1999 - Checklist of plant communities of Iberian Peninsula, Balearic and Canary Islands to suballiance level. *Itinera Geobot.*, 13: 353-451.
- Soil Survey Staff, 1998 - *Keys to Soil Taxonomy*. 8th ed., USDA-NRCS. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.
- Vardabasso S., 1971 - *Geomorfologia delle coste del Sulcis*. Ed. Fossataro, Cagliari.