

RILEVAMENTO DEGLI EFFETTI DEI PROCESSI MORFODINAMICI MEDIANTE ANALISI ED ELABORAZIONE DI DATI SATELLITARI LANDSAT

Sergio LO CURZIO, Paolo MAGLIULO, Antonio DI LISIO, Filippo RUSSO

Dipartimento di Studi Geologici e Ambientali, Università degli Studi del Sannio, Via dei Mulini 59/A – 82100
Benevento. Tel. 0824-323657, fax: 0824-23013, e-mail: locurzio@unisannio.it

Riassunto

Nel presente lavoro vengono analizzate le relazioni tipiche tra la riflettanza delle superfici soggette a fenomeni erosionali o di neoformazione, espressa in termini di profili spettrali, e le caratteristiche geomorfologiche delle superfici stesse. Queste ultime costituiscono il prodotto dell'azione di processi erosivi superficiali di tipo prevalentemente gravitativo e/o connessi all'azione delle acque dilavanti e sono, pertanto, fortemente rappresentative dello stato di spinta degradazione dei suoli in un'ampia area, a drenaggio adriatico, ubicata al confine tra Molise e Puglia. I risultati di questo studio sono opportunamente espressi in termini di cartografie tematiche, nelle quali i paesaggi erosionali individuati sono cartografati sulla base della loro più tipica risposta spettrale. Lo studio si è avvalso di dati desunti da immagini satellitari Landsat, successivamente validati da riscontri diretti sul terreno. Tali dati sono stati elaborati mediante tecniche di telerilevamento quali: la composizione di immagini in falso colore, il miglioramento del contrasto, l'analisi delle componenti principali e *decorrelation stretching*. Il lavoro ha consentito di realizzare in tempi brevi e con costi relativamente contenuti una mappatura *ad hoc* delle superfici erose, che si configura quale risultato della valutazione, del monitoraggio e della distribuzione dei fenomeni erosionali nell'area di studio.

Abstract

In this paper, we outline the typical relationships between the spectral reflectance of erosional or newly-formed landsurfaces and the geomorphological features of the landsurfaces at issue. These latter represent the products of superficial erosional processes due to the action of the gravity and/or water; thus, such landsurfaces are highly representative of the strong soil degradation occurring in a wide area located at the boundary between Molise and Puglia regions (Southern Italy). The results of this study has been reported on thematic maps; on such maps, the detected erosional landsurfaces have been mapped on the basis of their typical spectral signature. The study has been performed using Landsat satellite imagery data which have been then validated by means of field survey data. The satellite data have been processed using remote sensing techniques, such as: false colour composite, contrast stretching, principal component analysis and decorrelation stretching. The study has permitted us to produce, in a relatively short time and at low expense, a map of the eroded landsurfaces. Such a result represents a first and fundamental step in evaluating and monitoring the erosional processes in the study area.

Introduzione

Attualmente, il fenomeno dell'erosione del suolo rappresenta, purtroppo, il principale problema di *land degradation* a scala globale (Eswaran et al., 2001). E' ormai accertato che gli effetti negativi dei processi di erosione del suolo sulla produzione agricola, sulle infrastrutture e sulla qualità delle acque creano, da un lato, un notevole impatto ambientale e, dall'altro, arrecano gravi danni

economici (Pimentel et al., 1995; Lal, 1998). Lo sviluppo di linee programmatiche per la conservazione del suolo richiede una valutazione dell'erosione a scala regionale (Vrieling, 2006). In tale ottica, tuttavia, un'importante limitazione è rappresentata dalla disponibilità e dalla qualità dei dati (Van Rompaey e Govers, 2002). Il Telerilevamento è in grado di fornire dati omogenei relativi ad ampie aree e può perciò contribuire in maniera estremamente efficace alla valutazione dell'erosione su scala regionale (King e Delpont, 1993; Siakeu e Oguchi, 2000). I dati satellitari possono essere utilizzati sia per l'individuazione di singole forme di erosione che per quella di intere aree soggette ai processi erosivi. Nel primo caso, tuttavia, le risoluzioni spaziali offerte da immagini satellitari tipo Landsat o SPOT consentono al massimo il riconoscimento di singoli *gullies* di medie o grandi dimensioni e risultano, pertanto, di limitata utilità (Millington e Townshend, 1984); al contrario, queste immagini possono essere efficacemente utilizzate per lo studio di aree soggette ad erosione diffusa (Vrieling, 2006). E' noto che i processi erosivi asportano gli orizzonti pedologici di superficie (*topsoil*) caratterizzati da una risposta spettrale influenzata da diverse proprietà del suolo, quali la tessitura, il contenuto in sostanza organica, l'umidità, gli ossidi di ferro e i minerali presenti (Escadafal, 1994). L'asportazione del *topsoil* esuma i sottostanti orizzonti profondi (*subsoil*) caratterizzati da contenuti minori di sostanza organica ed ossidi di ferro e, quindi, da una differente risposta spettrale che rende le aree erose facilmente individuabili su immagini satellitari (De Jong et al., 1999).

Nella presente nota sono illustrate le relazioni tra paesaggi erosionali e loro espressione spettrale, con particolare riferimento alle relazioni tra la riflettanza di superfici erose e gli aspetti geomorfologici complessivi del paesaggio investigato. Lo studio è stato condotto su un'area dell'Italia meridionale, al confine tra Molise e Puglia, a forte vocazione agricola e caratterizzata da una combinazione di aspetti geografico-fisici che la rendono particolarmente vulnerabile all'azione dei processi erosivi. Il lavoro ha consentito di realizzare una cartografia tematica *ad hoc* delle superfici erose, che rappresenta un primo e fondamentale risultato per la valutazione ed il monitoraggio degli effetti dei processi erosivi nell'area di studio.

Inquadramento dell'area

L'area di studio (fig. 1), a drenaggio adriatico, è ubicata al confine tra il Molise e la Puglia e ricade nel bacino idrografico del Torrente Saccione; le quote sono comprese tra 30 e 320 m s.l.m. e la sua estensione è di 228,6 Km².

Il substrato dell'area (Boni et al., 1969) è prevalentemente costituito da argille marnose grigio-azzurre aventi età Pliocene medio-(?) Calabrian. Su tali terreni poggiano in discordanza depositi

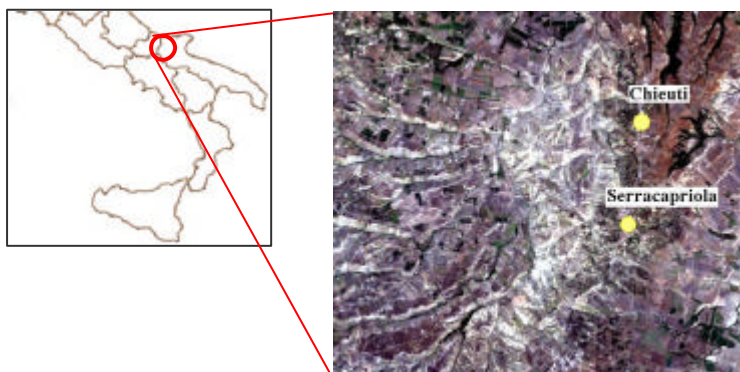


Fig. 1 - Ubicazione dell'area di studio.

fluviali e fluvio-lacustri di età pleistocenica, costituiti da ghiaie più o meno cementate; i più antichi di tali depositi contengono livelli lentiformi travertinosi, argilloso-sabbiosi e sabbiosi. Il quadro litologico è completato da depositi alluvionali prevalentemente argilloso-limosi, di età alto-pleistocenica.

Da un punto di vista geomorfologico, l'area è prevalentemente collinare e dominata da versanti dolci ed irregolari impostati sul substrato argilloso

pliocenico. A luoghi il rilievo culmina in piccole superfici sub-pianeggianti di origine erosionale. I versanti si raccordano, verso valle, al più antico ed altimetricamente più elevato di tre ordini di terrazzi impostati sui depositi fluviali e fluvio-lacustri pleistocenici; le quote di tali terrazzi sono comprese tra 20 e 200 m s.l.m.

Sotto l'aspetto pedologico (Servizio Cartografico Regione Puglia, 2002), l'area di studio è caratterizzata da due tipologie di suoli dominanti: nell'area di fondovalle predominano suoli con proprietà vertiche fortemente espresse, a tessitura fine, molto calcarei, con *topsoil* di colore bruno oliva che rientrano nei Chromic Calcixererts fini misti termici secondo la *Soil Taxonomy* (USDA, 1998). Nella parte medio-alta dei versanti predominano invece suoli caratterizzati da un orizzonte superficiale di accumulo di sostanza organica umificata, di colore bruno scuro; questi suoli sono molto calcarei, hanno tessitura fine e rientrano nei Typic Calcixerolls fini misti termici secondo la *Soil Taxonomy* (USDA, 1998).

Gli usi del suolo prevalenti nell'area di studio sono: i seminativi, nelle parti medio-alte dei versanti, e le colture foraggiere permanenti, in quelle medio-basse.

Materiali e metodi

Per la realizzazione di questo studio sono stati utilizzati i *software* RSI ENVI 4.0, per la gestione e l'elaborazione dei dati satellitari, ed ArcViewGIS 9.0, per la parte relativa al GIS e per la realizzazione delle cartografie tematiche telerilevate. Il dato satellitare utilizzato è rappresentato da un'immagine Landsat7 ETM+, ripresa il 29/08/2004 e relativa alla scena 189/031. Sono stati utilizzati, quali dati ancillari: ortofoto digitali a colori (scala nominale: 1:10000), carta geologica - Foglio n. 155 - S. Severo (Servizio Geologico d'Italia, 1969), carta dei suoli della Regione Puglia (Servizio Cartografico Regione Puglia, 2002) e tavolette topografiche IGMI 155-III-NE e 155-III SE, oltre a dati rilevati direttamente in campo.

I dati satellitari sono stati sottoposti ad una fase di *pre-processing* consistente nella georeferenziazione, nel sistema di riferimento UTM-WGS84 33N, mediante l'introduzione di 23 GCPs (*Ground Control Points*) desunti dalle ortofoto digitali. La registrazione dell'immagine è stata effettuata utilizzando un algoritmo polinomiale di primo grado ed i valori dei pixel sono stati ricampionati (*resampling*) utilizzando un altro algoritmo del tipo *Nearest Neighbour*. Successivamente, si è passati alla scelta dell'area campione su cui approfondire l'analisi delle caratteristiche relative alle superfici soggette a fenomeni di erosione. L'area prescelta, di forma rettangolare e i cui vertici opposti hanno le seguenti coordinate: E=502032, N=4636825 e E=518142 e N=4622635, è il risultato di un procedimento di *resizing*. Su quest'area è stato svolto un lavoro di fotointerpretazione servendosi anche dei dati ancillari: in particolare, le ortofoto digitali di maggiore dettaglio hanno consentito un migliore riconoscimento degli oggetti; la carta topografica ha permesso di ottenere informazioni sulle caratteristiche morfotopografiche del rilievo; la carta geologica ha consentito di identificare i limiti e le caratteristiche delle diverse formazioni; la carta pedologica ha reso possibile individuare le diverse caratteristiche dei suoli ed i limiti delle unità di suolo-paesaggio.

Supportati dalle informazioni territoriali, si è proceduto all'esame dei dati satellitari. L'immagine Landsat, consistente in un *dataset* di 7 bande spettrali, è stata sottoposta a procedure qualitative di analisi, quali: composizione in falsi colori RGB, miglioramento del contrasto in singola banda, analisi delle componenti principali (PCA) e *decorrelation stretching*. In particolare quest'ultima ha enfatizzato le differenze esistenti tra le caratteristiche spettrali degli oggetti presenti nell'immagine (fig. 2).

Di fondamentale importanza sono stati i rilievi diretti sul campo che hanno permesso di validare gli oggetti riconosciuti per via indiretta e fare considerazioni sullo stato delle superfici analizzate e sui processi morfodinamici agenti. Tali rilevamenti sono stati facilitati per quanto riguarda la posizione e l'identificazione degli oggetti dall'utilizzo del GPS.

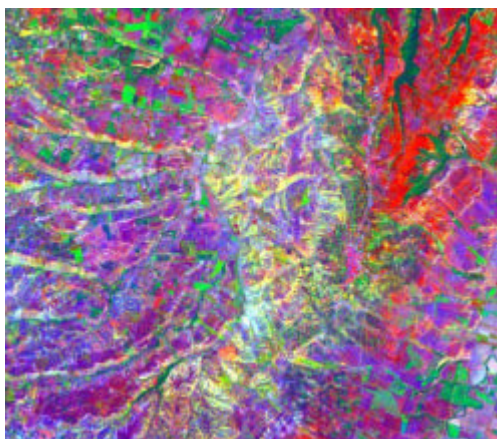


Fig. 2 – Immagine composita in falsi colori RGB della Decorrelation Stretching.

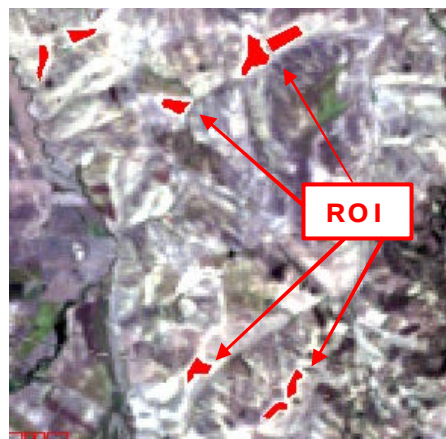


Fig. 3 – Regioni di interesse (ROI) delle superfici soggette a fenomeni di erosione.

A questo punto, il software utilizzato (ENVI 4.0) per l'analisi dell'immagine multispettrale ci ha permesso di delimitare le porzioni dell'immagine relative alle superfici soggette ad erosione mediante poligoni denominati Regioni d'Interesse (ROI). Questi poligoni rappresentano la “verità a terra” e racchiudono i pixel le cui caratteristiche spettrali contraddistinguono le superfici di erosione (fig. 3); ciò ha permesso di estrapolare le statistiche dei valori digitali dei pixel, in modo da delineare le caratteristiche spettrali di massima delle superfici individuate (fig. 4).

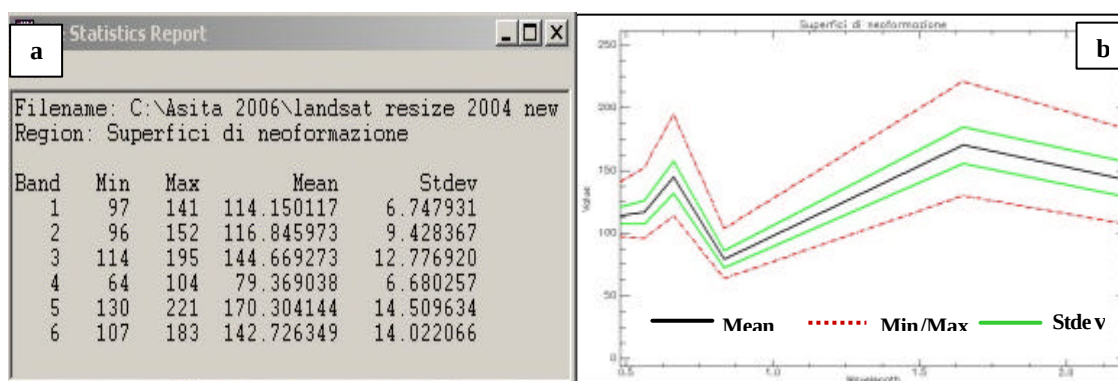


Fig. 4 – Dati spettrali statistici relativi alle superfici di erosione individuate. a) Tabella con i valori statistici dei DN all'interno delle ROI; b) profili spettrali caratteristici per tali valori statistici.

Si è, infine, proceduto alla classificazione dell'immagine con classificatore *Maximum Likelihood* per differenziare le superfici soggette ad erosione dal resto degli “oggetti” presenti nell'immagine. Tali superfici, così classificate, sono state convertite in formato vettoriale ed esportate nel software GIS con il quale si è proceduto alla verifica dell'attendibilità del dato classificato ed alla creazione della carta finale.

Esposizione dei risultati e considerazioni finali

L'applicazione delle metodologie precedentemente descritte ha permesso di elaborare, come risultato finale, la Carta della distribuzione delle superfici di erosione nell'area di studio (fig. 5). Nella Carta, le superfici soggette a fenomeni erosionali, prodotte da processi erosivi sia di tipo gravitativo (frane e soliflussi) che connessi all'azione, lineare e diffusa, delle acque di ruscellamento superficiale, sono evidenziate in rosso ed hanno una tipica distribuzione a “macchia di leopardo”. Una tale configurazione è giustificata dalle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio dell'area di studio. Infatti, le zone soggette a maggior erosione sono

concentrate in corrispondenza delle maggiori acclività del locale rilievo (versanti ed impluvi) e/o dell'affioramento di litotipi particolarmente erodibili o in condizioni morfotopografiche che favoriscono la loro erodibilità. Tra queste ultime, particolare risalto va attribuito a quelle situazioni, anche antropogeniche, legate all'uso del suolo o all'adozione di pratiche agricole non conservative. Quest'ultima asserzione è dimostrata dal raffronto tra l'immagine Landsat dell'area di studio acquisita nel mese di giugno e quella acquisita in agosto (fig. 6): nell'immagine di giugno, le superfici soggette a fenomeni erosionali sono assenti o, al più, obliterate dalle pratiche agricole; al contrario, nell'immagine di agosto dette superfici appaiono con tutta evidenza essendo il suolo spoglio e significativamente aggredito dai processi erosionali. Più in generale, però, la verifica diretta sul campo ha consentito di confermare il complesso delle deduzioni in quanto è emerso che

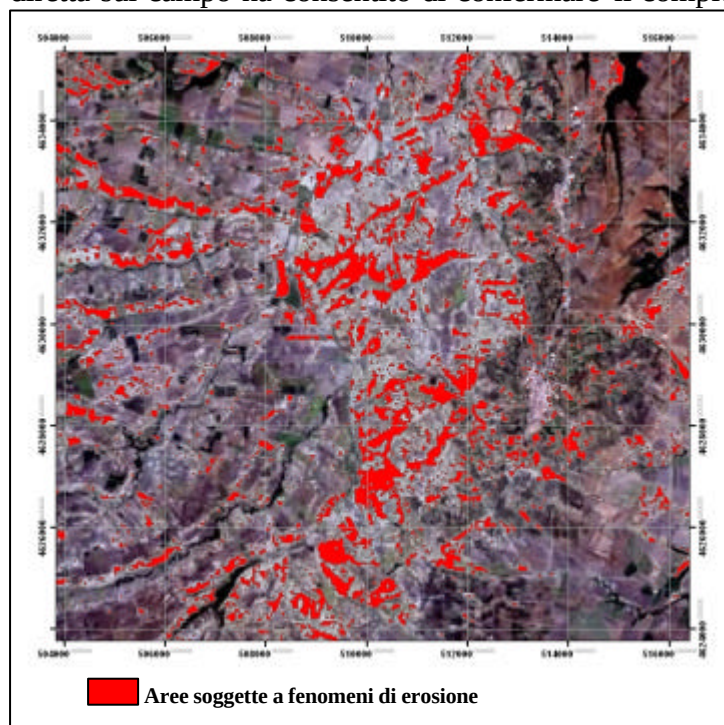


Fig 5. – Carta delle superfici soggette a fenomeni di erosione superficiale

Infatti, sfruttando le funzioni di analisi spaziale risulta che l'estensione di dette superfici è complessivamente di 29.3 Km², pari a circa il 13% dell'intera area di studio.

effettivamente le superfici cartografate come superfici di erosione sono caratterizzate da evidenti segni di solifluzione, erosione idrica lineare e diffusa, nonché interessate da fenomeni franosi di varia tipologia. Ciò emerge anche dai confronti effettuati tenendo conto dei dati ancillari e particolarmente da quelli di natura geologica e pedologica. Infatti, confrontando la distribuzione delle superfici di erosione o neoformazione con i dati geologici e pedologici emerge che dette superfici sono impostate quasi esclusivamente sui depositi argilloso-marnosi pliocenici sui quali si sviluppano suoli ricchi in carbonati, con moderato accumulo di sostanza organica in superficie e, talora, proprietà vertiche.

L'elaborazione dei dati in ambiente GIS ha permesso di quantificare l'estensione areale delle superfici di erosione e quindi di ottenere una loro stima percentuale.

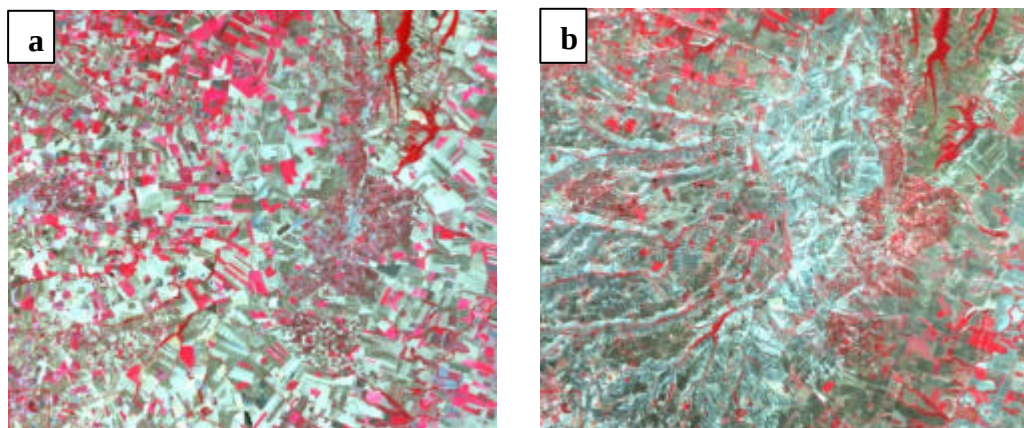


Fig. 6 - Superfici soggette ad erosione areale visibili nelle immagini Landsat 432: a) giugno; b) agosto. Gli elementi lineari di colore chiaro visibili in "b" corrispondono ai versanti denudati dai processi erosivi.

Conclusioni

Con questo studio, sono stati messi a confronto i dati territoriali di natura geologica, morfotopografica e pedologica già noti in letteratura con dati originali desunti dall'analisi e dall'elaborazione, anche in ambiente GIS, dell'immagine satellitare Landsat del 29/08/2004, al fine di individuare, rappresentare e quantificare le superfici soggette a fenomeni di erosione o superfici di neoformazione per fenomeni erosivi. La fig. 5 mostra il risultato ottenuto e la distribuzione delle superfici di erosione individuate nell'area di studio, ubicata al confine molisano-pugliese. I dati e le deduzioni sono stati opportunamente confrontati e validati da riscontri effettuati sul campo e dall'analisi diretta *in situ* delle caratteristiche delle superfici di erosione.

Riferimenti bibliografici

- Boni A., Casnedi R., Centamore E., Colantoni P., Cremonini G., Elmi C., Monesi A., Selli R., Valletta M. (1969), "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 155 - San Severo". Servizio Geologico d'Italia, Roma, 45 pp.
- De Jong S.M., Paracchini M.L., Bertolo F., Folving S., Megier J. De Roo A.P.J. (1999), "Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data". *Catena*, 37(3-4): 291-308.
- Escadafal R. (1994), "Soil spectral properties and their relationships with environmental parameters: examples from arid regions". In: Hill J. Mégier J. (Eds.), *Imaging spectrometry – a tool for environmental observations*. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, The Netherlands: 71-87.
- Eswaran H., Lal R., Reich P.F. (2001), "Land degradation: an overview". In: Bridges E.M., Hannam I.D., Oldeman L.R., Penning de Vries F.W.T., Scherr S.J., Sombaptanit S. (Eds.), *Response to Land Degradation*. Sc. Pub. Inc., Enfield, NH, USA: 20-35.
- King C., Delpont G. (1993), "Spatial assessment of erosion: contribution of remote sensing, a review". *Remote Sensing Reviews*, 7: 223-232.
- Lal R. (1998), "Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality". *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17(4): 319-464.
- Millington A.C., Townshend J.R.G. (1984), "Remote sensing applications in African erosion and sedimentation studies". In: Walling D.E., Foster S.S.D., Wurzel P. (Eds.): *Challenges in African Hydrology and Water Resources*: Proc. of the Harare Symposium. IAHS Publ., IAHS Press, 144: 373-384.
- Pimentel D., Harvey C., Resosudarmo P., Sinclair K., Kurz D., McNair M., Crist S., Shpritz L., Fitton L., Saffouri R., Blair R. (1995): "Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits". *Science*, 267: 1117-1123.
- Servizio Cartografico Regione Puglia (2002), "Carta Pedologica". www.regione.puglia.it
- Servizio Geologico d'Italia (1969), "Carta geologica d'Italia 1:100.000, Foglio 155 (S. Severo)". Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Siaeku J., Oguchi T. (2000), "Soil erosion analysis and modelling: a review". *Transactions of Japanese Geomorphological Union*, 21(4): 413-429.
- USDA (1998), "Keys to Soil Taxonomy". 8th Edition NRSC: 325 pp.
- Van Rompaey A.J.J., Govers G. (2002), "Data quality and model complexity for regional scale soil erosion prediction". *Geomorphology*, 16(7): 61-68.
- Vrieling A. (2006), "Satellite remote sensing for water erosion assessment: a review". *Catena*, 65: 2-18.