

Elaborazione di un indice per il monitoraggio della desertificazione da dati telerilevati

Sergio Lo Curzio), Filippo Russo

Dipartimento di Scienze per la Biologia, la Geologia e l'Ambiente, Università del Sannio
Via dei Mulini 59/A, 82100 Benevento (Italia), Tel. 0824-323659, Fax 0824-323623

Riassunto

La desertificazione è uno dei problemi ecologici e ambientali che affligge gravemente le regioni dell'Italia centro-meridionale e insulare esposte a stress di natura climatica. Infatti, la desertificazione implica la perdita irreversibile o difficilmente reversibile della possibilità di una produzione agricola e forestale economicamente o ecologicamente sostenibile nonché compromette pesantemente lo sviluppo sociale e l'economia correlata.

In questo lavoro viene proposta una nuova procedura tecnica, basata su dati telerilevati, per ricavare un indice di desertificazione (*DI - Desertification Index*) per il rilevamento e il monitoraggio di aree soggette a desertificazione a grande scala. In accordo con gli studi precedenti sul medesimo argomento, sono stati selezionati quattro parametri geoambientali (Albedo, *FPAR*, *LST*, *NDVI*), ritenuti indicatori della desertificazione, ottenuti dall'analisi dei prodotti MODIS. Utilizzando algoritmi di *Map Algebra* questi parametri sono stati elaborati per ottenere un indice di desertificazione su base annua con relativa mappatura all'interno di un sistema informativo geografico (GIS).

La mappa ottenuta rappresenta la spazializzazione dell'indice di desertificazione dell'area di studio considerata ovvero l'Italia centro-meridionale e parte della regione balcanica e albanese. Il calcolo dell'indice è stato effettuato in modo da assumere valori compresi tra 0 e 1.

La metodologia proposta per determinare l'Indice di Desertificazione (*DI*) da dati MODIS risulta speditiva e pienamente coerente con i risultati ottenuti con altre metodologie utilizzate per rappresentare lo stesso fenomeno, come si evince dai confronti effettuati.

Abstract

Desertification is an ecological and environmental problem seriously affecting the Central and Southern regions of Italy and part of the Albanian-Balkan region. In fact, they are exposed to climatic stress. Desertification implies irreversible, or difficult to reverse, loss of the ability of agricultural and forestry production. That are economically or ecologically sustainable and severely impairs social development and economy related.

In this paper we propose a new technical procedure, based on remote sensing data, finalized to derive a desertification index (*DI - Desertification Index*) for the large scale surveying and monitoring areas affected to desertification.

In agreement with previous studies on this subject, four geo-environmental parameters (Albedo, *LST*, *NDVI*, *FPAR*), indicator-likes of desertification, were selected from the MODIS products. These parameters have been processed using *Map Algebra* algorithms to have an yearly desertification index and its mapping in a Geographic Information System (GIS).

The map obtained represents the spatialization of the desertification index of the study area (the Central-Southern Italy and part of the Albanian-Balkan region). The calculation of the index was made to assume values between 0 and 1.

The proposed methodology to determine the Desertification Index (DI) from MODIS data is speed and fully consistent with the results derived by other methodologies used to represent the same phenomenon, as evidenced by the comparisons we made.

Introduzione

Quando si parla di desertificazione non ci si riferisce solo alla espansione naturale dei deserti ("desertizzazione"), ma anche a tutti quei processi sociali ed economici che comportano il depauperamento delle risorse naturali. Quest'ultimo si manifesta spesso con il degrado del potenziale vitale dei terreni anche a causa di pratiche agricole (ma non solo) insostenibili, di eccessiva pressione demografica e di cattiva gestione politica del territorio e delle sue risorse. Talvolta ad aggravare questo fenomeno concorrono anche gli eventi calamitosi naturali (cambiamenti climatici, erosione idrica e/o eolica, salinizzazione dei terreni, ecc.), sempre più catastrofici perché risultano da squilibri ambientali determinati da inopportuni interventi antropici.

Middleton e Thomas (1992) hanno definito la desertificazione come il <<...*degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali le variazioni climatiche e le attività umane...*>>, tale definizione circoscrive il fenomeno ad un ambito di territoriale ristretto caratterizzato da precise caratteristiche climatiche, introducendo esplicitamente fra le cause del fenomeno, oltre all'azione dell'uomo, anche le variazioni climatiche.

In relazione a questa definizione, vari autori (Middleton, Thomas, 1992; Eswaran H., Reich P., 1998; Enne, Zucca, 2000; Liu et al., 2005; Kosmas et al, 1999; 2005; Costantini et al., 2007) hanno caratterizzato in modi diversi la desertificazione e di conseguenza la mappatura delle aree che ne sono interessate. Alcuni di questi (Basso et al., 2000; Liu et al., 2005; Ladisa et al., 2011) hanno proposto metodologie e procedure diverse, basate su vari parametri fisici e ambientali, per rilevare e monitorare il fenomeno a varie scale. Tali metodologie sono ampiamente applicate ma necessitano di molti dati di *input*, talvolta difficili da ottenere. Inoltre, i risultati non sono facilmente confrontabili o sovrapponibili in quanto non corrispondono a procedure standardizzate e per questo non sono facilmente ripetibili.

Carte del rischio di desertificazione in Italia sono già state realizzate in tempi e con scale diverse (p. es.: Kosmas et al., 1999; Costantini et al., 2007). In esse sono stati combinati in un unico indice attributi diversi riguardanti il clima, il suolo, la vegetazione e gli aspetti socio-economici, per stimare le pressioni agenti sul territorio e lo stato del suolo e della vegetazione. I risultati sono molto diversi in funzione delle banche dati e conoscenze utilizzate, più ancora che dell'approccio metodologico scelto.

Con questo lavoro si vuole proporre una più semplice e speditiva procedura basata su dati satellitari per rilevare e mappare il fenomeno desertificazione, attraverso la definizione di un indice ricavato dall'elaborazione di alcuni indicatori o parametri geoambientali, come FPAR, Albedo, NDVI e LST. Tali indicatori, rilevati da immagini satellitari MODIS, rappresentano in questo studio uno strumento appropriato per fornire un supporto operativo ad un ampio spettro di attività tra cui la stima, la valutazione e la mappatura delle aree desertificate. Con essi si intende raggiungere lo scopo di realizzare un'osservazione sistematica della *Land degradation* per ottenere una migliore comprensione del fenomeno: in questo senso diventa fondamentale il contributo dei dati satellitari legati agli aspetti climatici, in particolare alla desertificazione, in quanto forniscono una visione macroscopica delle variabili ambientali e la loro evoluzione nel tempo.

Materiali e metodi

Il principale dato utilizzato è quello del sensore MODIS, disponibile sui satelliti Terra e Aqua della NASA. I dati di *input*, di seguito elencati, sono riferiti al periodo 2000-2010 e provengono dal sito della NASA (<http://modis.gsfc.nasa.gov>):

- MODIS/Terra+Aqua Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 1km SIN Grid V005 (44.9137° Lat, 22.0562° Long);
- MODIS/Terra+Aqua Albedo 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V005;

- MODIS/Aqua Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km SIN Grid V004 (45.0000° Lat, 22.0786° Long);
- MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km SIN Grid V005 (45.0000° Lat, 22.0786° Long);
- MODIS/Aqua Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V005 (44.9137° Lat, 22.0562° Long);
- MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V005 (44.9137° Lat, 22.0562° Long).

Da questi dati di *input* sono stati selezionati i seguenti quattro indicatori o parametri geoambientali che caratterizzano o influenzano il fenomeno della desertificazione:

1) L'indicatore o parametro FPAR (*Fraction of absorbed Photosynthetically Active Radiation*, 400-700 nm) rappresenta la frazione di radiazione fotosinteticamente attiva. Esso misura quanta radiazione, in queste lunghezze d'onda, assorbe la copertura vegetale. Lo studio di questo indicatore aiuta ad ottenere risposte sui cambiamenti degli ecosistemi e in particolare quelli ambientali globali riguardanti la copertura del suolo e le relative cause (Myneni et al., 1997).

2) L'Albedo è la quantità di radiazione solare riflessa verso lo spazio direttamente dalla superficie terrestre. Si tratta di un parametro importante per la modellizzazione della superficie e del clima e dei diversi fattori che li influenzano. Tra questi, particolarmente importante è il ruolo della vegetazione; infatti, Löw et al. (2008) e SEDAC (2009) sostengono che <<... la progressiva eliminazione della vegetazione cambia l'albedo superficiale e può anche ridurre l'umidità atmosferica influenzando la formazione delle nubi e delle precipitazioni...>>.

3) La temperatura della superficie terrestre (*LST – Land Surface Temperature*) è un parametro chiave nella dinamica dei processi che avvengono sul rilievo terrestre, sia a scala regionale che globale, in quanto è coinvolta, a vari livelli, nel bilancio energetico (Crag et al., 1995; Diak, Whipple, 1993). Essa è determinante ai fini della desertificazione e nei processi di evapotraspirazione (Yu et al., 1995). Per tale motivo *LST* è un buon indicatore della degradazione del paesaggio (*Land degradation*) e dei cambiamenti climatici e morfologici che lo caratterizzano.

4) Il *Normalised Difference Vegetation Index (NDVI)* è il più noto e maggiormente utilizzato degli indici di vegetazione, questo indice è il risultato della differenza normalizzata tra la radiazione registrata nell'infrarosso vicino e quella del rosso (Rouse et al., 1974). Esso è stato ampiamente utilizzato per monitorare da satellite lo stato di salute della vegetazione.

Il software utilizzato per l'analisi e l'elaborazione dei dati MODIS è ENVI 4.5. In particolare è stato utilizzato il modulo aggiuntivo *MODIS Conversion Toolkit (MCTK)* che è una *utility* per la conversione e proiezione di tutti i prodotti MODIS conosciuti e che restituisce in *output* almeno un formato dati ENVI. Per l'analisi, la visualizzazione e la rappresentazione dei dati è stato utilizzato il software ArcGis 9.2 con i vari moduli applicativi.

La pre-elaborazione dei dati

La pre-elaborazione dei dati relativi agli indicatori prescelti (*FPAR*, Albedo, *LST* e *NDVI*) ha previsto in *primis* la ri-proiezione dei dati dalla primitiva proiezione Equivalente Sinusoidale (*SIN*) alla proiezione Universale Trasversa di Mercatore (*Universal Transverse Mercator, UTM Zone 33, WGS84*). Successivamente è stato effettuato il ricampionamento con l'algoritmo *Nearest Neighbour (NN)* in quanto è il solo in grado di mantenere la struttura codificata dei bit durante il ricampionamento senza l'interpolazione fra i valori dei bit esistenti. Il numero di *warp-point* utilizzato è 50x50 che si traduce in 2.500 punti di controllo a terra (*Ground Control Points - GCPs*) distribuiti uniformemente in tutta l'area esaminata ovvero l'Italia centro-meridionale e parte delle regioni albanese e balcanica (fig 1).

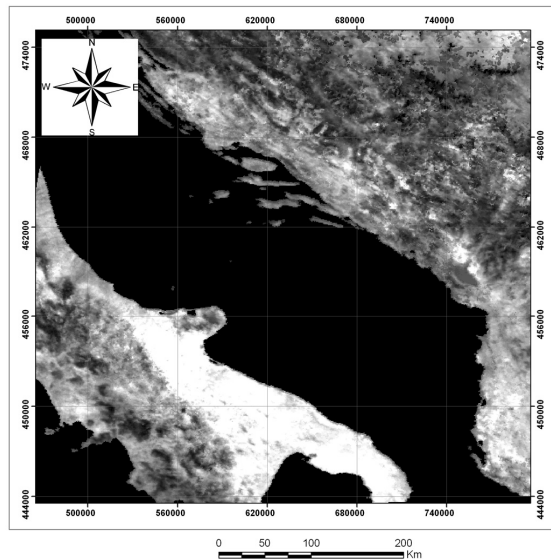


Figura 1 – Rappresentazione dell'area di studio.

I dati sono stati convertiti nel formato *img format* (.img) per poter essere analizzati e rappresentati nel software GIS utilizzato (fig. 2).

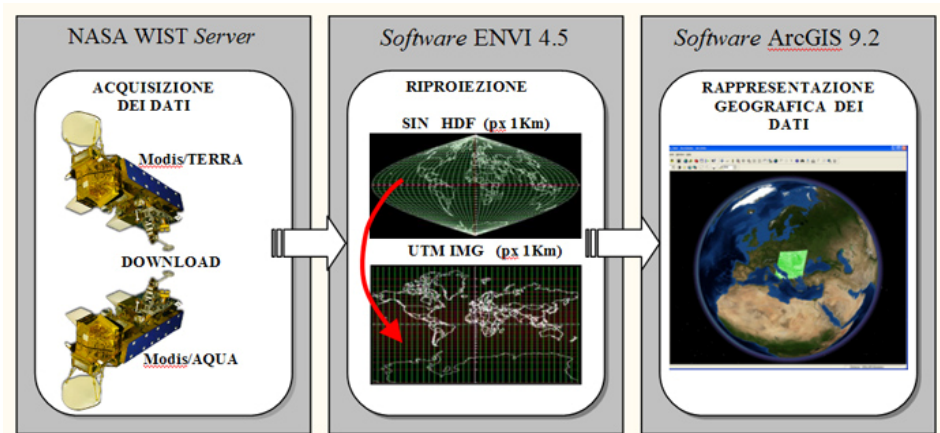


Figura 2 – Schema semplificato delle procedure di acquisizione, di pre-elaborazione e di rappresentazione.

I risultati ottenuti con la pre-elaborazione, illustrati nella figura 2, hanno permesso di ottenere una mappatura temporale (periodo 2000-2010) dei dati relativi agli indicatori prescelti. Le caratteristiche di questi dati sono riportati nella figura 3.

Copertura temporale	Dal 24 Febbraio, 2000
Area	~10 x 10 gradi lat/long
Dimensioni File	~ 7 MB
Proiezione	UTM
Formato Dati	<i>img format</i>
Dimensione immagine	1200 x 1200 righe/colonne
Risoluzione	1Km

Figura 3 – Caratteristiche dei dati di output.

Tale mappatura è un passaggio importante per poter organizzare le informazioni sul territorio esaminato. Tali informazioni sono di tipo quali-quantitativo e finalizzate ad avere una visione globale dei dati. Inoltre, in un’ottica multitemporale, la corretta rappresentazione dei dati ottenuti con le procedure descritte, consente un’agevole monitoraggio del territorio.

I prodotti ottenuti sono stati importati e gestiti all’interno del Sistema Informativo Geografico (GIS) che ha permesso di effettuare rapide ed approfondite analisi spaziali sui dati territoriali. Per la rappresentazione dei dati, oltre alla forma proiettata (fig. 2), è stata scelta la soluzione della visualizzazione virtuale sul globo in ambiente GIS (fig. 4). Questa scelta permette la gestione di grandi moli di dati, quali sono appunto i dati satellitari, una visione d’insieme e tutte le analisi che possono essere effettuate con un *software* GIS.

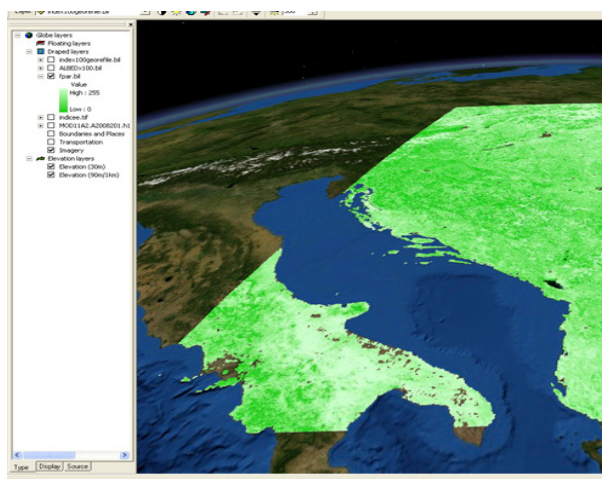


Figura 4 – Esempio di rappresentazione del dato FPAR su un globo virtuale.

L’elaborazione dei dati

I dati digitali sono stati elaborati in ambiente GIS con l’utilizzo di algoritmi di *Map Algebra*. L’applicazione di tali algoritmi ha richiesto l’omogeneizzazione dei dati di *input* rappresentati dalla mappatura digitale dei parametri geoambientali prescelti. Ciò ha obbligato, operativamente, ad avere mappe dello stesso formato e delle stesse dimensioni, sia in termini di risoluzione che di dominio. Quindi, sono state effettuate operazioni di verifica, di conversione e di modifica delle dimensioni spaziali dei dati di *input*.

Per ciascun parametro geoambientale (X_i), cartografato in formato digitale *img format* dal 2000 al 2010, è stata calcolata la media aritmetica su base annua ($\overline{X}_i^{(anno)}$) delle N acquisizioni satellitari [1].

$$\overline{X}_i^{(anno)} = \frac{\sum_{x=1}^N X_i}{N} \quad [1]$$

Dopo questa operazione è stato necessario rendere omogenei i dati in quanto rappresentanti grandezze fisiche diverse e quindi non confrontabili. A tal fine tutti i dati sono stati normalizzati calcolando gli indici, su base annua, dei relativi parametri ($G_{index}^{(anno)}$) mediante la formula generale [2], i cui risultati assumono valori compresi tra 0 e 1.

$$G_{index}^{(anno)} = \frac{(X_i - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \quad [2]$$

Nell'applicazione della [2] sono stati considerati i parametri che favoriscono la desertificazione e quelli che invece la contrastano. Ad esempio, un'alta albedo è un indicatore di degrado del suolo, invece un alto valore di NDVI rappresenta una situazione di non degrado o con bassissimo degrado del suolo.

Per tale ragione la [2] assume forme specifiche a seconda del parametro considerato:

$$ALBEDO_{index}^{(anno)} = \frac{(ALBEDO_i - ALBEDO_{\min})}{(ALBEDO_{\max} - ALBEDO_{\min})} \quad [3]$$

$$LST_{index}^{(anno)} = \frac{(T_i - T_{\min})}{(T_{\max} - T_{\min})} \quad [4]$$

$$NDVI_{index}^{(anno)} = \frac{(-NDVI_i - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})} \quad [5]$$

$$FPAR_{index}^{(anno)} = -\frac{(FPAR_i - FPAR_{\min})}{(FPAR_{\max} - FPAR_{\min})} \quad [6]$$

Albedo e LST sono parametri il cui elevato valore è indice di degrado del suolo o desertificazione, per cui anche i rispettivi indici calcolati avranno lo stesso significato. Invece, NDVI e FPAR sono parametri il cui elevato valore si contrappone al degrado del suolo, per questo nella [5] e nella [6] sono stati introdotti segni negativi (fig. 5).

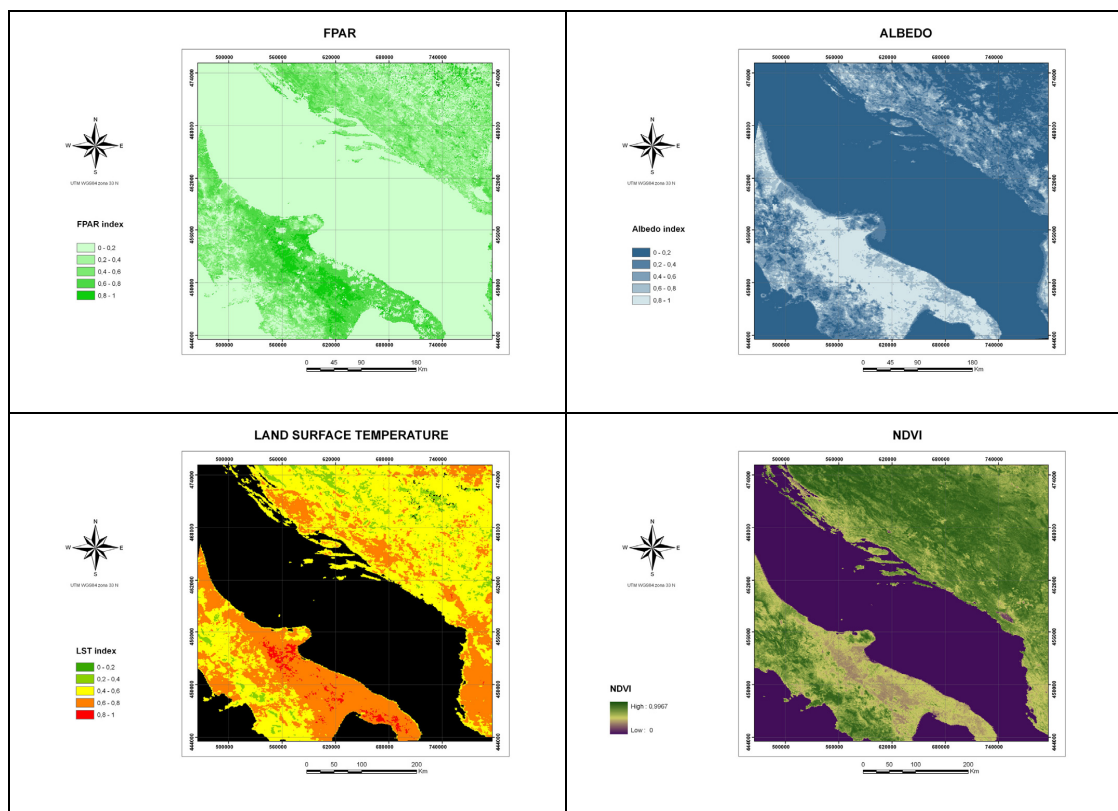


Figura 5 – Mappe degli indici normalizzati dei prescelti parametri geoambientali della desertificazione.

Infine, per il calcolo dell'Indice di desertificazione (*DI*), e la sua rappresentazione cartografica, è stata elaborata la formula generale [7]:

$$DI = \frac{\sum_{x=1}^N G_{index_i}}{N} \quad [7]$$

Tale formula, rappresentante una media aritmetica, è stata applicata, nel caso specifico in ambiente GIS, come *overlay* dei vari indici dei parametri prescelti (fig. 6). Il valore dell'Indice ottenuto in tal modo [8]

$$DI^{(anno)} = \frac{FPAR_{index}^{(anno)} + ALBEDO_{index}^{(anno)} + LST_{index}^{(anno)} + NDVI_{index}^{(anno)}}{4} \quad [8]$$

varia fra un minimo teorico di 0, in cui non si hanno fenomeni di degrado del suolo o desertificazione, e un massimo teorico di 1, in cui l'area è totalmente desertificata (fig. 6).

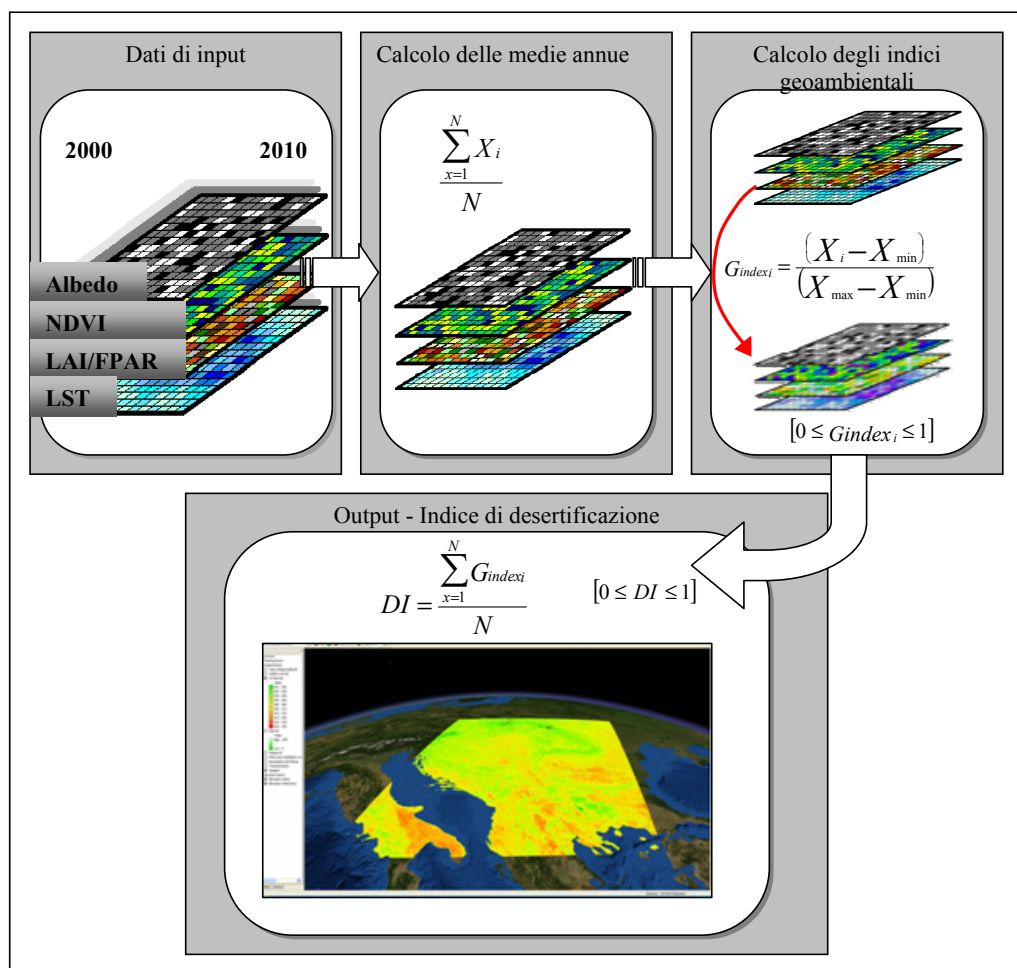


Figura 6 – Schema del processo di elaborazione per il calcolo e la rappresentazione dell'Indice di desertificazione (DI).

Discussione dei risultati e conclusioni

Con questo procedimento si è ottenuta la mappatura, per tutta l'area investigata coperta dai dati satellitari MODIS, dell'Indice di Desertificazione (DI) relativamente al periodo 2000-2010 (fig. 7). Tale rappresentazione costituisce un'ottima base di partenza per l'elaborazione ulteriore di dati all'interno di modelli ambientali per il monitoraggio della desertificazione.

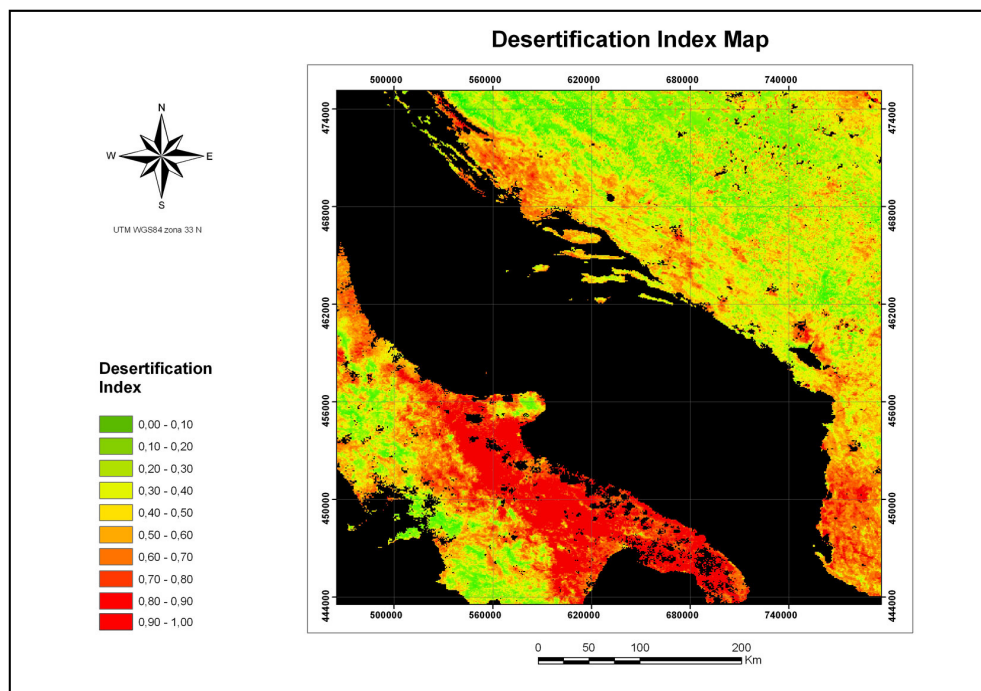


Figura 7 – Carta dell’Indice di Desertificazione.

In particolare, si osserva che la regione italiana rappresentata è caratterizzata essenzialmente da alti valori dell’Indice di desertificazione soprattutto sul versante adriatico e ionico (Puglia e Basilicata), mentre valori bassi e intermedi dello stesso sono più caratteristici del versante tirrenico. Eccetto il promontorio garganico, in cui l’altitudine potrebbe giocare un ruolo importante nell’abbattere i valori di desertificazione, come si vede la Puglia e parte della Basilicata rappresentano in questo senso eccezionali campioni di aree in desertificazione: un dato che merita di essere “attenzionato” dagli addetti ai lavori. Ciò risulta anche dal confronto effettuato con i dati provenienti da altri e simili studi condotti per le stesse finalità (Basso et al., 2000; Ferrara et al., 2005; Costantini et al., 2007; Ladisa et al., 2011). Le regioni balcanica e albanese (quest’ultima in condizioni di desertificazione più accentuate) mostrano nel complesso una diffusa distribuzione di bassi e intermedi valori dell’Indice di Desertificazione che assume, invece, valori più critici (alti e medio-alti), ma in maniera disomogenea, solo lungo la costa adriatica dove, forse, la presenza delle catene montuose costiere funge da barriera topografica ai flussi d’aria fresca e umida di provenienza orientale e nord-orientale.

Va considerato che le aree italiane, però, sono esposte oltre allo stress di natura climatica anche a quello dovuto alla pressione, spesso non sostenibile, delle attività umane sull’ambiente (Ladisa et al., 2011).

La metodologia utilizzata in questo articolo permette di ottenere come risultato la carta dell’indice di desertificazione basata interamente su dati satellitari. Il risultato ottenuto è stato confrontato con quelli di altre metodologie che utilizzano dati non satellitari o anche misti. Ciò conforta che il procedimento utilizzato in questo studio è altrettanto affidabile, ma più speditivo in quanto si basa sull’analisi e sull’elaborazione di solo 4 parametri geoambientali (*FPAR*, Albedo, *LST* e *NDVI*) i quali, a nostro parere, influenzano fortemente il grado di desertificazione di un’area.

In conclusione, si possono ottenere con questa metodologia, non solo una rappresentazione areale dell’indice di desertificazione, ma anche il possibile monitoraggio di questo indice nel tempo. I

limiti di tale applicazione risiedono solo nella risoluzione geometrica del dato MODIS (pixel di 1 km), nella possibilità di coperture nuvolose che influenzano negativamente il dato e nella disponibilità della serie temporale della stessa piattaforma (dal 2000 in poi per MODIS).

Bibliografia

- Basso F., Bove E., Dumontet S., Ferrara A., Pisante M., Quaranta G., Taberner M. (2000), "Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remote sensed data: an example covering the Agri basin (Southern Italy)", *Catena*, 40: 19–35.
- Costantini E.A.C., Urbano F., Bonati G., Nino P., Fais A. (a cura di) (2007), *Atlante nazionale delle aree a rischio di desertificazione*, CRA-INEA, Roma, 1-108.
- Crag R., Sugita M., Brutsaert W. (1995), "Satellite-derived surface temperatures with boundary layer temperatures and geostrophic winds to estimate surface energy fluxes", *J. Geophys. Rev.*, 100: 25447-25451.
- Diak G. R., Whipple M. S. (1993), "Improvements to models and methods for evaluating the land-surface energy balance and effective roughness using radiosonde reports and satellite-measured skin temperature data", *Agricul. and Forest Meteorol.*, 63: 189-218.
- Enne G., Zucca C. (2000), "Desertification indicators for the European Mediterranean region. State of the art and possible methodological approaches". *ANPA*, Roma, 1 - 261.
- Eswaran H., Reich P. (1998), "Desertification: A global assessment and risk to sustainability". Proc. Of 16th Int. Congr. Soil Science, Montpellier (F), 1 – 7.
- Ferrara A., Bellotti A., Faretta S., Mancino G., Baffari P., D'Ottavio A., Trivigno V. (2005), "Carta delle aree sensibili alla desertificazione della regione Basilicata", *Forest@*, 2: 66-73.
- Kosmas C., Kirkby M., Geeson N. (1999), *The MEDALUS project. Mediterranean Desertification and land use. Manual on key indicators of Desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. EUR 18882, Bruxelles (B), 1 – 88.
- Kosmas C., Tsara M., Moustakas N., Kosma D., Yassoglou N. (2005), *Environmental Sensitive areas and Indicators of Desertification*. In: Kepner et al. (Eds.), "Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue", NATO Security through Science Series, Volume 3, Springer Publishers, Germany, 527 – 547.
- Ladisa G., Todorovic M., Trisorio Liuzzi G. (2011), "A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia Region, SE Italy", In press on: *Physics and Chemistry of the Earth*.
- Liu A.X., Wang J., Liu Z.J., Wang C.Y., LV C.Y. (2005), "Remote sensing monitoring of desertification in China", *Proceedings of the SPIE*, 5983: 255-262.
- Löw A., Brovkin V., Raddatz T., Claussen M. (2008), "Land surface albedo products for land surface and climate modelling". *ESA GlobAlbedo User Consultation meeting* (http://due.esrin.esa.int/files/GlobAlbedo_Loew.pdf).
- Middleton N., Thomas D.S.G. (1992), *World Atlas of desertification*, Ed. Arnold E., London (UK), First edition, 1 - 69.
- Myneni R.B., Nemani R.R., Running S.W. (1997), "Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models", *IEEE T. Geosci. Remote*, 35: 1380 – 1393.
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., Harlan J.C. (1974), *Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation*, NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, USA, 1-371.
- SEDAC - Socioeconomics Data and Application Center (2009), "The causes of land degradation and desertification". Website: <http://sedac.ciesin.columbia.edu>.