

APPLICAZIONE DEGLI INDICI DI VEGETAZIONE PER LO STUDIO DI AREE ARCHEOLOGICHE

Pasquale MEROLA (*), Daniela GUGLIETTA(*), Simone SAMPIERI(*),
Alessia ALLEGRINI(*)

(*) CNR-Istituto sull'Inquinamento Atmosferico– V. Salaria km. 29.300,
00016 Monterotondo St.(Roma-Italia)
tel: +39 0690672973
fax: +39 0690672660
e-mail: guglietta@iia.cnr.it

Riassunto

Gli studi archeologici impiegano nuove tecnologie non-invasive di *remote sensing*, che sono divenuti strumenti di investigazione conoscitiva e diagnostica.

Il principio su cui si basa l'utilizzo dei dati telerilevati in archeologia è che ogni oggetto sepolto, di origine umana o naturale, induce nel tempo delle anomalie (tracce) nelle proprietà chimico-fisiche dei suoli e nello stato della copertura vegetale del terreno sovrastante.

In questo lavoro abbiamo analizzato le possibilità offerte dall'analisi delle immagini iperspettrali MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) per lo studio di alcuni parametri biofisici della vegetazione, utili per l'individuazione e il riconoscimento di testimonianze archeologiche sepolte presenti nelle aree a copertura vegetale.

In particolare su un sito archeologico dell'Italia meridionale si sono calcolati diversi Indici di Vegetazione e le immagini risultanti dalle cosiddette Trasformazioni Ortogonali (Analisi delle Componenti Principali).

Obiettivo fondamentale è la formalizzazione di una procedura per determinare la quantità di informazione archeologica presente in ogni singola immagine derivante dalle diverse elaborazioni, per determinare in maniera statistica e puntuale quale metodologia, in quei determinati parametri ambientali, si è dimostrata più significativa allo scopo della ricerca archeologica.

Le immagini telerilevate, e in particolare i dati iperspettrali MIVIS, offrono un'opportunità significativa per studiare ed esaminare la vegetazione e le sue dinamiche al fine di individuare strutture antropiche sepolte.

Abstract

The archaeological studies employ new no-invasive technologies of remote sensing, that became instruments of cognitive and diagnostic investigation. The use of remote sensing technologies to identify buried archaeological structures is based on the principle that any buried object, either of human or natural origin, affects over time the anomalies (traces) in soil chemical-physical features and in the vegetation cover status. In this work we analyzed the possibility to study some biophysical vegetation parameters useful to recognize buried archaeological structures located in the covered green areas by processing hyperspectral MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) data. In particular we calculated Vegetation Indices and the images obtained to Orthogonal Transformations (Principal Components Analysis) in an archaeological area of southern Italy. Fundamental goal is to recognize a procedure to determine the archaeological information in every image deriving to the various processes and in order to determine a right methodology to archaeological search. The remote sensing images, in particular hyperspectral data

MIVIS, offer a meaningful opportunity to study and to examine vegetation and its dynamics to characterize buried anthropic structures.

Introduzione

Ogni oggetto sepolto, di origine naturale o umana, produce nel tempo dei cambiamenti nelle caratteristiche superficiali del suolo, in termini tessitura, umidità e nella copertura da parte della vegetazione. Questi cambiamenti possono essere studiati mediante *scanners* iperspettrali i quali permettono sia di discriminare i diversi materiali presenti sulla superficie dell'area esaminata, sia di individuare le variazioni nella loro firma spettrale attraverso analisi di dettaglio, sia di focalizzare l'attenzione sullo stato di salute della vegetazione. Infatti, grazie alle tecniche di *remote sensing* è possibile stimare alcuni parametri collegati allo *status* della vegetazione. La possibilità di analizzare lo stress della vegetazione dalle immagini telerilevate è molto utile anche per gli studi in campo archeologico: in condizioni normali, la clorofilla viene distrutta e prodotta di continuo. L'azione di vari fattori, come la presenza di strutture antropiche sepolte, potrebbe alterare il normale processo di crescita della vegetazione inducendo quindi uno stress. Tutte le strutture sepolte inducono cambiamenti nell'umidità del suolo formando zone con contenuto d'acqua diverso dove la vegetazione può crescere più lussureggiante. In questo lavoro, illustriamo i risultati ottenuti studiando l'area archeologica di *Sipontum* (Regione Puglia) attraverso l'uso degli Indici di Vegetazione e delle Trasformazioni Ortogonali (Analisi delle Componenti Principali).

Area di studio

L'antica *Sipontum* è situata vicino la chiesa di Santa Maria Maggiore di Siponto, a circa 3 km a Sud della città di Manfredonia (Fg) ed è stata costruita su una piccola altura rocciosa di fronte al "Golfo di Manfredonia" (*Figura 1*). Le ricerche archeologiche e le fonti storiche hanno dimostrato che il nucleo romano- medievale di *Sipontum* era collocato nell'area di Santa Maria Maggiore di Siponto, mentre la città daunia era situata in un'altra area, in località "Masseria Cupola- Beccarini". Prima della conquista da parte dei Romani, *Sipontum* era un importante porto della Daunia. Le mura sono lunghe 3000 metri e larghe 2-3 metri, sono caratterizzate dalla presenza di torri quadrate ed è presente un'uscita situata di fronte al mare. In età Augustea furono costruiti importanti edifici: l'anfiteatro, edificato all'interno dell'area urbana, lungo il lato N-E della città e le due terme situate una a Nord e una a Sud.

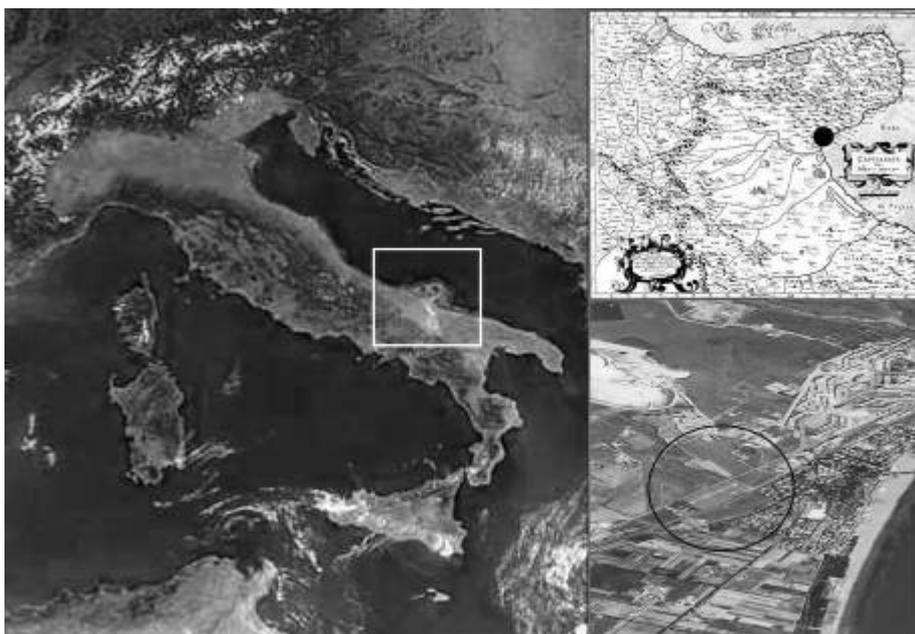


Figura 1- Area di studio.

Dati MIVIS

Il MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer), è uno *scanner* elettro-ottico modulare aviotrasportato costituito da 4 spettrometri che riprendono simultaneamente, con un angolo istantaneo di vista di 2 mrad, le radiazioni provenienti dalla superficie terrestre nelle lunghezze d'onda del visibile (20 bande tra 0,43-0,83 μm), dell'infrarosso vicino, NIR, (8 bande tra 1,15-1,55 μm), dell'infrarosso medio, MIR, (64 bande tra 2,0-2,5 μm) e dell'infrarosso termico, TIR, (10 bande tra 8,2-12,7 μm) per un totale di 102 bande. Caratteristica fondamentale del MIVIS è la corregistrazione di tutte le 102 bande che permette una composizione delle immagini sia in colori reali *RGB* che in *falsi colori*.

Le immagini iperspettrali MIVIS che ricoprono l'area archeologica di *Sipontum* sono state acquisite durante i sorvoli effettuati il 20 Agosto 2002 alle 10:06 ora locale, da un'altezza di volo di 2000 m. a.s.l. (4 m/pixel di risoluzione a terra).

Per mettere in risalto le anomalie, nelle variazioni di tessitura, di umidità e di crescita anomala della vegetazione, determinate dalla presenza di materiale antropico sepolto, sono stati applicati alle immagini MIVIS gli Indici della Vegetazione e Trasformazioni Ortogonali:

- *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), le bande utilizzate sono: 19(0,80 μm) e 13(0,68 μm);
- *Ratio Vegetation Index* (RVI)
- *Principal Components Analysis* (PCA).

Indici di Vegetazione

RVI e NDVI enfatizzano il contrasto tra il suolo e la vegetazione (Bannari et al., 1995) e rappresentano uno strumento molto efficace per la ricerca, il monitoraggio e per quantificare i cambiamenti ambientali.

NDVI è lo strumento principale e più utilizzato per una descrizione dettagliata dei cambiamenti che riguardano la vegetazione; si basa sulla differenza normalizzata dei valori di riflettività nell'infrarosso vicino e nel rosso. Mette in relazione l'assorbimento spettrale della clorofilla nel rosso, con il fenomeno della riflessione nell'infrarosso vicino che è influenzato dalla struttura fogliare. E' stato dimostrato che questo indice è in stretta relazione con lo stato di salute della vegetazione, intesa come biomassa e area fogliare (Gong Dao-Yi e Shi Pei-Jun 2003), ed ai processi biochimici ad essa correlati.

Le anomalie riscontrate nell'area archeologica indagata (*Figura 2a*) sono collegate soprattutto allo stato della copertura vegetale. In particolare analizzando l'immagine NDVI sono state individuate:

- una traccia che corrisponde al *cardo maximus* (un importante asse stradale);
- una traccia che corrisponde al lato N- W delle muracittadine.

Analisi delle Componenti Principali (PCA)

La PCA è una tecnica di pre-classificazione utilizzata per rimuovere o ridurre la ridondanza spettrale delle bande individuali di un'immagine multispettrale che sono altamente correlate, cioè che sono visivamente e numericamente simili. La trasformazione Principal Components dà come risultato un nuovo insieme k- dimensionale di dati ottenuti come combinazione lineare delle k caratteristiche originali e consiste in una rotazione degli assi coordinati originali affinché essi coincidano con le direzioni di massima varianza dei dati. L'origine viene spostata nel punto medio dei dati.

L'analisi dell'immagine PCA (*Figura 2b*) permette di riconoscere una serie di anomalie che si riferiscono all'area antica della città:

- perimetro urbano;
- mura (lato N-W del centro romano);
- antica linea di costa.



Figura 2 a -Immagine NDVI.



Figura 2b-Immagine PCA.

Risultati

L'informazione archeologica che risulta dall'analisi dei dati iperspettrali MIVIS permette di ipotizzare una struttura topografica di *Sipontum* differente da quella finora accettata.

A Sud dell'area archeologica, nella zona un tempo occupata dal mare, si è sviluppata l'attuale città di Siponto. L'antico nucleo della città è diviso da N-W a S- E dall'ex strada statale 89 e dalla linea ferroviaria che collega Foggia a Manfredonia, costruite alla fine del XIX secolo.

Una parte dell'area è destinata all'attività agricola intensiva (cereali) mentre un'altra parte viene lasciata incolta. Lo studio delle immagini MIVIS ha permesso di correggere la tradizionale forma trapezoidale della città: l'ipotesi di ricostruzione del lato S-E delle mura può essere accettato solo per il tratto a nord, mentre per il lato sud le mura dovrebbero seguire la direzione della ferrovia che a sua volta segue l'andamento dello stesso rilievo topografico. Le mura in quel punto, centro di una depressione marcata, potrebbero non svolgere un'azione difensiva; infatti sarebbe più logico costruire le fortificazioni su un'altura piuttosto che ai suoi piedi.

Il lato N-W della città potrebbe essere individuato da una traccia scura che corre lungo la "Masseria Garzia", la quale include l'anfiteatro situato all'interno dell'area cittadina. Tale ipotesi trova la conferma nei recenti scavi effettuati lungo questo lato che hanno riportato alla luce i resti delle mura cittadine.

Anche l'ipotesi che riguarda la ricostruzione della linea delle mura sul lato nord della città andrebbe modificata: se nel passato gli studiosi hanno sostenuto che le mura si chiudevano su se stesse formando un angolo retto, oggi grazie alle immagini MIVIS si può accettare la ricostruzione di Danti (Danti, 1999), secondo la quale il lato N-E e il lato N-W sono uniti attraverso una parte obliqua: questa traccia di colore scuro si può identificare sull'immagine MIVIS (Figura 3).



Figura 3- Mura identificate nell'immagine NDVI.

Conclusioni

Mediante l'elaborazione delle immagini iperspettrali MIVIS è stato possibile acquisire informazioni utili per il riconoscimento dell'antica città di *Sipontum*, in particolare grazie all'individuazione delle anomalie dovute alle variazioni di tessitura, umidità e dello *status* della vegetazione causate dalla presenza di strutture antropiche sepolte.

Le anomalie, correlate alle strutture archeologiche, sono state caratterizzate sulla base di cambiamenti nella copertura da parte della vegetazione e solo indirettamente dall'umidità del suolo. I risultati ottenuti confermano e a volte cambiano le ipotesi archeologiche ottenute attraverso i tradizionali metodi di indagine. Ovviamente questi risultati devono essere confermati andando *in situ* anche per pianificare in seguito una precisa strategia per le future campagne di scavi.

Bibliografia

- Bannari A., D. Morin and F. Bonn (1995), A review of Vegetation Indices. *Remote Sensing*, 13:95-120.
- Cavalli R.M., P. Merola, S. Pignatti and M. Poscolieri (2005), Telerilevamento iperspettrale MIVIS per lo studio delle testimonianze antropiche nell'area archeologica di Arpi (FG). *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 33/34: 109-117.
- Danti A. (1999), L'area portuale. *Siponto antica*. Foggia.
- GONG DAO-YI e Shi Pei-Jun (2003), Northern hemispheric NDVI variations associated with large-scale climate indices in spring. *International Journal of Remote Sensing*, 24: 2559-2566.
- Holben B.N. and C.O. Justice (1981), An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 2.: 115-133.
- Huete A.R. (1984), Soil spectral effects on vegetation discrimination. *Ph. D. Thesis*. Department of Soils, Water and Engineering; University of Arizona, USA.
- Huete A.R. (1989), Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra. *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. Wiley, Washington, USA, pp. 107-141.
- Major D.J., F. Baret and G. Guyot (1984), A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. *International Journal of Remote Sensing* 11 (5): 727-740.
- Marin M.D. (1970), Topografia storica della Daunia antica. *Civiltà della Daunia*, pp. 64-68.
- Mazzei M. (1995), Arpi. L'ipogeo della Medusa e necropoli. Bari.
- Mazzei M. (1999), Siponto antica. Foggia.

