

# INTEGRAZIONE DEI DATI SATELLITARI QUICKBIRD E FOTO AEREE IN AMBITO ARCHEOLOGICO: IL CASO DI IURE VETERE IN CALABRIA.

Rosa LASAPONARA\*, Rossella COLUZZI, Antonio LANORTE<sup>1</sup>, Nicola MASINI<sup>2</sup>, Maria Rosaria POTENZA<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (CNR-IMAA), C.da S. Loja, Tito Scalo (PZ) Italy, lasaponara@imaa.cnr.it

<sup>2</sup> Consiglio Nazionale delle Ricerche- Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (CNR-IBAM) , via Federico II, Lagopesole, (PZ) Italy, n.masini@ibam.cnr.it

## Riassunto

La recente disponibilità di dati satellitari multispettrali ad elevata risoluzione spaziale, quali quelli forniti dai sensori Ikonos e QuickBird, apre nuove prospettive per l'utilizzo dei dati satellitari nel campo delle prospezioni archeologiche.

Questo studio mostra i risultati ottenuti dall'integrazione di foto aeree e di dati satellitari QuickBird per l'analisi di un sito monastico medievale, fondato da Gioacchino da Fiore nella Sila calabrese.

In particolare, nel 1998 l'interpretazione di foto aeree aveva fornito informazioni preliminari inerenti l'area di interesse archeologico, dove recenti scavi (2002-04) hanno riportato alla luce l'impianto della chiesa. Successivamente, l'ampliamento dell'area di indagine e le caratteristiche fisiche della superficie di tale area, hanno suggerito di integrare il data set del lavoro di telerilevamento con immagini QuickBird (2004). Ottimizzando il contributo informativo derivante dai vari canali, i dati QuickBird hanno consentito di individuare tracce di forma rettilinea riconducibili ad una cinta muraria del complesso monastico, successivamente verificate attraverso delle prospezioni geofisiche.

## Abstract

The recent availability of Very High Resolution (VHR) satellite images, such as IKONOS (1999) and Quickbird (2001), can provide high potentiality for the application of satellite data in the field of archaeological prospection.

In this study, both aerial photos and Quickbird satellite images have been used in order to compare their performances for the identification of typical marks and surface anomalies expected in the presence of buried remains.

The investigations were performed for a study case located in the Southern Italy. It is a medieval monastery founded by Gioacchino da Fiore in the Sila territory (Calabria).

In 1998 aerial photos provided information on the area before the archaeological excavation (2002-04) which unearthed structures related to a church.

Afterwards, the enlargement of the study area and its physical characteristics suggested to integrate the remote sensing data set by using QuickBird imagery (2004).

The paper shows the results of QuickBird data based analysis which allowed the identification of surface anomalies linked to walls of the monastery. Such anomalies were confirmed by geophysical prospections performed in 2005.

## 1 Introduzione

Fino a qualche decennio fa la fotografia pancromatica da aereo è stato l'unico strumento di prospezione dall'alto impiegato per documentare e rilevare siti archeologici o individuare tracce riconducibili ad antiche opere di trasformazione antropica del territorio. L'identificazione di segni e tracce riconducibili ad attività antropiche è stato perciò sinora affrontato mediante tecniche di fotointerpretazione la cui efficacia dipende sensibilmente dalle caratteristiche geologiche, pedologiche, climatiche e di uso del suolo.

Un avanzamento notevole nella direzione di migliorare la quantità e la qualità delle informazioni mediante l'acquisizione e l'interpretazione di immagini a differenti lunghezze d'onda è stato ottenuto mediante l'utilizzo di dati acquisiti da sensori attivi e passivi installati su piattaforme aeree e satellitari. Tuttavia, l'impiego di sensori multispettrali per lo studio dei beni archeologici è attualmente assai limitato. Ciò è dovuto prevalentemente all'elevato costo delle campagne di volo, per quanto concerne i sensori montati a bordo di piattaforma aerea, o alla scarsa risoluzione spaziale dei dati multispettrali telerilevati da satellite. Infatti, la risoluzione geometrica dei dati multispettrali fino a pochi anni fa non superava i venti metri. Strumenti con queste caratteristiche sono stati utilizzati per studi paleogeografici (Drake 1997, White *et al.* 1999) e di archeologia del paesaggio. Sheets and Sever 1988, Clark *et al.* 1998, Sever 1998).

La recente disponibilità di dati satellitari multispettrali ad elevata risoluzione spaziale, quali quelli forniti dal sensore Ikonos (1 metro il pancromatico e 4 m il multispettrale) e QuickBird (70 cm il pancromatico e 2,80 m il multispettrale) apre nuove prospettive per l'utilizzo dei dati multispettrali satellitari per prospezioni archeologiche.

Il principale obiettivo del presente lavoro è quello di verificare le effettive potenzialità dei dati satellitari QuickBird per la identificazione di anomalie superficiali riconducibili alla presenza di strutture sepolte di interesse archeologico. L'applicazione fa parte di una campagna di indagine multidisciplinare volta a ricostruire le vicende costruttive e socio-economiche di un insediamento monastico medievale situato nella Sila.

## 2. Area di studio e data set

L'area oggetto di indagine è "Jure Vetere Sottano", in territorio di S. Giovanni in Fiore in Calabria, (figura 1), dove recenti scavi archeologici (2002-04) hanno riportato alla luce una chiesa ed altre strutture del protocenobio di Gioacchino da Fiore (Roubis and Sogliani, 2003).

Il sito archeologico si trova all'interno di una radura in falsopiano nel bosco della Sila, vicino alla confluenza di due corsi d'acqua. L'intera area è ampiamente vegetata, in particolare, si contraddistinguono terreni coltivati, pascoli e boschi costituiti soprattutto da pini, querce e castagni. Nonostante gli esiti positivi della campagna di scavo vi sono ancora molti problemi non risolti. Tra questi vi è quello relativo all'ubicazione e l'estensione del complesso monastico. A tal fine sono state condotte ulteriori indagini dal 2004 al 2005, basate sull'uso integrato di prospezioni geofisiche e di archeologia aerea.

L'applicazione di archeologia aerea dispone dei seguenti dati:

- foto aeree ad uso fotogrammetrico (con risoluzione spaziale di 30 cm) acquisite nel 1998, prima della campagna di scavo (conc. S.M.A. n. 1/669 del 12.10.1998)
- dati satellitari QuickBird acquisiti l'11/6/2004, costituite da un'immagine pancromatica con risoluzione spaziale pari a 0.64 m ed immagini multispettrali acquisite in 4 bande (dal blue al vicino infrarosso) con risoluzione spaziale pari a 2.56 m (vedi tab. I).

Acquisition date	2004-06-11
Cloud cover	5%
Catalog id	1010010003025A01
Pan resolution	0.64 meters
Multi resolution	2.56 meters
Environmental	70-Good

quality	
Off-nadir	14 degrees

Tabella I. Metadati relativi all'immagine QuickBird

### 3 Metodologia

L'utilizzo del telerivevamento in archeologia si basa essenzialmente sul fatto che ogni oggetto sepolto induce anomalie nelle caratteristiche dello strato superficiale del terreno. Su questo principio si basa l'interpretazione della fotografia pancromatica in ambito archeologico.

Ampia è la casistica relativa alla tipologia di tracce o anomalie riferibili alla presenza di strutture sepolte, si possono comunque discriminare due situazioni "tipo":

- presenze 'positive', riferibili a manufatti sepolti o parzialmente in evidenza
- presenze 'negative' a cui sono assimilabili tutte quelle opere di trasformazione del territorio che avvengono attraverso l'asportazione di materiale (quali, ad esempio, fossati, sistemi di drenaggio, etc.)

La classificazione delle tracce o anomalie ricalca essenzialmente quella riportata nella letteratura inglese (Crawford, 1929; Wilson, 1982) integrata con quella italiana (Alvisi, 1989) e francese (Dassie, 1978).

Fra le più significative tipologie di segni annoveriamo:

- tracce di colore su suolo privo di vegetazione (soil-marks)
- tracce di umidità (damp marks)
- tracce di accrescimento differenziale della vegetazione (crop marks)
- tracce di umidità temporanea e da neve
- tracce di microrilievo o da creatori di ombra (shadow marks)
- anomalie o indici topografici.

A partire da questo approccio, recentemente Lasaponara e Masini (2005a, 2005b) hanno messo a punto un metodologia di analisi dei dati satellitari ad alta risoluzione spaziale per applicazioni in ambito archeologico. I casi di studio affrontati hanno mostrato che l'analisi di immagini Quickbird effettuata con algoritmi di edge detection consente non solo di identificare segni e tracce riconducibili alla presenza di strutture sepolte ma anche di studiarne la morfologia e la distribuzione spaziale. Inoltre, la disponibilità di immagini multispettrali acquisite in contemporanea con immagini pancromatiche a più elevata risoluzione spaziale, può fornire, mediante l'utilizzo di algoritmi di data fusion, una interessante combinazione ed integrazione del contenuto informativo dei due diversi tipi di dati satellitari (Lasaponara e Masini 2005a, 2005b).

L'obiettivo principale del presente lavoro è stato quello di integrare il contenuto informativo ricavato dall'analisi delle foto aeree con i dati Quickbird : sia quelli acquisiti in modalità pancromatica e multispettrale che quelli ottenuti da combinazioni delle diverse bande, quali, ad esempio, gli indici di vegetazione. Tra gli indici di vegetazione il più utilizzato è il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ottenuto dalla seguente combinazione del rosso (RED) e del vicino infrarosso (NIR),  $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ . L'utilizzo dell' NDVI per investigazioni in campo archeologico può consentire l'identificazione di strutture sepolte in quanto queste possono favorire o inibire la crescita e lo sviluppo delle piante. Ad esempio, nel caso di fossati, l'accrescimento delle piante può essere favorito dalla presenza di l'acqua che ristagna nel suolo, nel caso, invece, di strutture murarie sepolte l'accrescimento delle piante può essere inibito poiché l' acqua è limitata dalla presenza delle strutture murarie.

Sul dato satellitare, l'identificazione di anomalie superficiali è stata effettuata mediante l'utilizzo di un algoritmo di edge detection che, per il dato pixel P, calcola la media  $\mu_p$  del valore assoluto della differenza di P e dei pixel contenuti in un intorno dato da una finestra di dimensioni n x n (con n dispari). La formula 1 e la matrice riportano il caso in cui l'algoritmo è applicato su una finestra di dimensioni pari a 3x3 pixel.

$$\mu_p = \sum_{i=1}^8 \frac{|(P-P_i)|}{8} \quad [1]$$

### 3 Risultati e discussione.

La figura 1 mostra l'immagine aerea (1998) che ha fornito informazioni preliminari per gli scavi condotti negli anni 2002-04 da Dimitris Roubis e Francesca Sogliani dell'IBAM-CNR che hanno riportato alla luce l'impianto della chiesa del cenobio di Gioacchino da Fiore (Roubis e Sogliani, 2003).

Dopo il ritrovamento della chiesa sono sorti altri quesiti, in particolare riguardanti l'impianto dell'intero complesso monastico. Il processamento dell'immagine aerea del 1998 non ha fornito indicazioni utili a tal riguardo. Pertanto, nel 2004 si è ritenuto di integrare le immagini aeree con dati satellitari QuickBird.

Le immagini QuickBird sono state processate con vari algoritmi di edge detection. I risultati migliori sono stati ottenuti mediante l'impiego dell'algoritmo riportato in formula (1) applicato al canale NIR (v. fig. 3).

Dall'ispezione visuale di quest'ultima immagine sono emersi due fatti di particolare rilievo:

- 1) l'area di maggiore interesse è situata a sud dello scavo;
- 2) le anomalie in gioco sono legate al differente accrescimento della vegetazione (crop-marks)

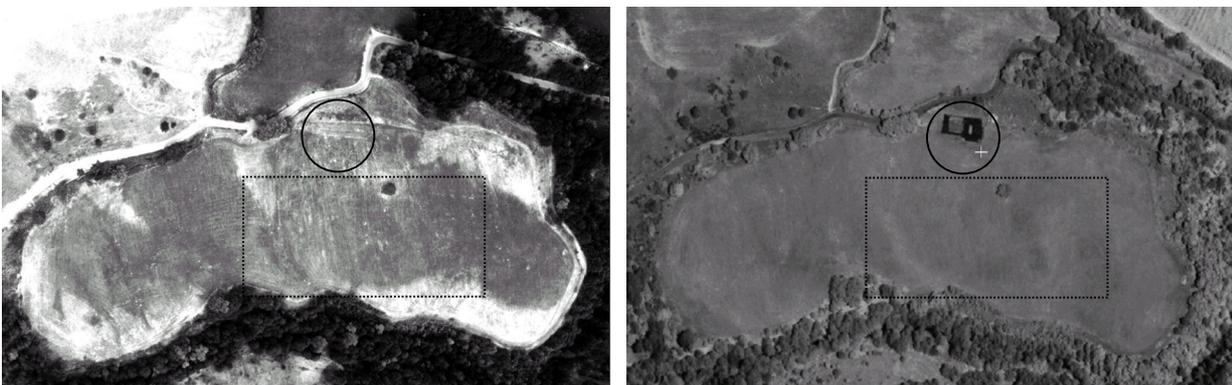
Da quest'ultimo dato è emerso l'esigenza di effettuare analisi in grado di enfatizzare lo stress della vegetazione.

Pertanto, dai canali rosso e NIR è stata estrapolata la mappa NDVI. L'edge detection di tale mappa ha ulteriormente migliorato la qualità visiva delle anomalie che, come si evince dalla figura 5a, individuano una forma quadrangolare di circa 40 x 100 m, probabilmente riconducibile alla presenza di una cinta muraria del complesso monastico.

I crop-marks così ricavati sono stati recentemente verificati (luglio 2005) con delle prospezioni geofisiche che hanno confermato la presenza di anomalie in corrispondenza dei marks rettilinei (fig. 5b).

A questo stadio della conoscenza si ferma il nostro studio di archeologia aerea eseguito sul sito di Iure Vetere: dopo la validazione geofisica si attende la verifica a terra con saggi di scavo archeologico.

Il caso di studio affrontato conferma ancora una volta la rilevanza delle potenzialità informative dei dati satellitari ad alta risoluzione per l'individuazione e l'analisi spaziale di anomalie riferibili a strutture sepolte di interesse archeologico.



Figg. 1 e 2. Foto aerea (1998) e immagine QuickBird pancromatica (2004). Il cerchio individua l'area oggetto di scavo. Il box di forma rettangolare include l'area oggetto di prospezioni geofisiche e indagini con il telerilevamento.

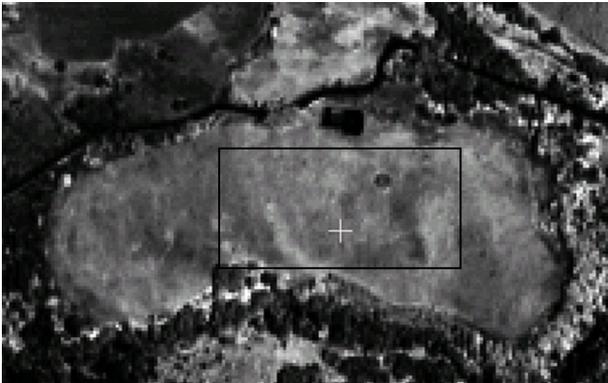


Fig.3. Immagine QuickBird canale NIR

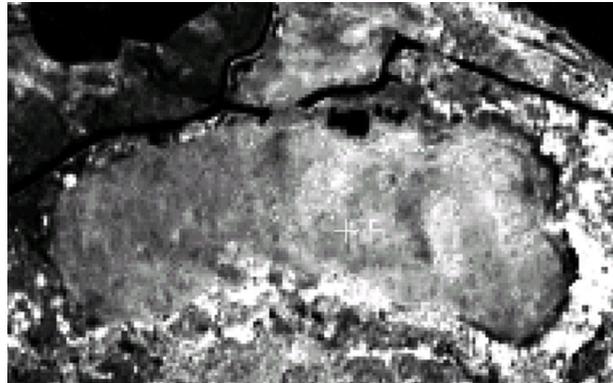


Fig.4. NDVI

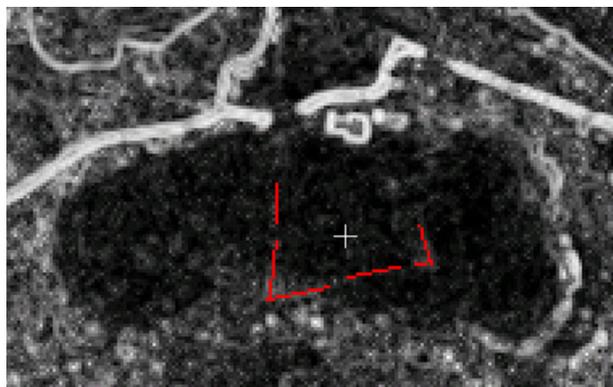


Fig.5. (a) Immagine NDVI processata con algoritmo di edge detection; (b) Interpretazione.

## Reference

Alvisi G. (1989), *La fotografia aerea nell'indagine archeologica*, Roma, La Nuova Italia Scientifica.

Clark C.D., Garrod S.M., Parker Pearson M. (1998), "Landscape archaeology and Remote Sensing in southern Madagascar", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 19, No 8, 1461-1477.

Crawford O. G. S. (1929), "Air Photography for Archaeologists", *Ordnance Survey Professional Papers*, new series 12, Southampton.

Dassie J. (1978), *Manuel d'archeologie aeriennne*, Paris, Editions Technip.

Drake N.A.(1997), "Recent aeolian origin of superficial gypsum crusts in Southern Tunisia: geomorphological, archaeological and remote sensing evidence", *Earth surface processes and landforms*, vol.22, pp.641-656.

Lasaponara R., N. Masini (2005a), "QuickBird-based analysis for the spatial characterization of archaeological sites: case study of the Monte Serico Medioeval village", *Geophysical Research Letter*, Vol. 32, No. 12, L12313.

Lasaponara R, N. Masini (2005b), "On the potential of Quickbird data for archaeological prospection", *International Journal of Remote Sensing*, in press.

Roubis D., Sogliani F.(2003), "Lo scavo archeologico a Jure Vetere. La scoperta di un nuovo insediamento monastico", in *Daidalos. Beni culturali in Calabria*, III, 4, pp. 8-18.

Sever T.L. (1998), "Validating prehistoric and current social phenomena upon the landscape of Peten, Guatemala", in LIVERMAN, D., MORAN, E. F., RINFUSS R. R., and STERN, P. C., (eds.), *People and pixels: Linking Remote Sensing and Social Science*, National Academy Press, Washington, D.C.

Sheets P., Sever, T.(1988), "High tech wizardry", *Archaeology*, 41 (6), Nov/Dec, pp. 28-35.

White K., El Asmar H.M (1999), "Monitoring changing position of coastlines using Thematic Mapper imagery, an example from the Nile Delta", *Geomorphology*, vol.29, pp.93-105.

Wilson D. R. (1982), *Air photo interpretation for archaeologists*, London, St. Martin's Press.