

UTILIZZO METRICO DI IMMAGINI SATELLITARI PANORAMICHE DECLASSIFICATE NELLO STUDIO DI UN'AREA DI INTERESSE ARCHEOLOGICO IN TURCHIA

Gabriele BITELLI, Valentina Alena GIRELLI

DISTART – Università di Bologna – (gabriele.bitelli, valentina.girelli)@mail.ing.unibo.it

Riassunto

Nell'ambito di un progetto multi-disciplinare condotto intorno al sito archeologico di *Tilmen Höyük* (Turchia) dall'Università di Bologna in collaborazione con l'Università di Istanbul ed il Museo Archeologico di *Gaziantep*, si è inteso verificare l'uso di immagini declassificate del programma statunitense Corona (1960-1972). Tale tipo di immagini, pur rappresentando una risorsa storica notevole, è stato molto raramente impiegato a scopi metrici, in quanto il loro trattamento geometrico viene notevolmente complicato dalle varie distorsioni che le affliggono e dalla difficoltà nel reperimento di dati tecnici sulle missioni.

Il lavoro si propone di approfondire questa tematica ponendosi due obiettivi principali: da un lato la valutazione delle potenzialità offerte da questo patrimonio, e dall'altro l'approfondimento sulle problematiche e le soluzioni adottate per l'utilizzo metrico di queste immagini, in particolare orientato alla generazione di ortofoto a supporto di uno studio a carattere regionale del territorio.

La disponibilità di immagini multi-temporali su un ampio intervallo di tempo potrebbe dotare lo studio sull'area in oggetto di strumenti di conoscenza di altissimo interesse per la comprensione dei cambiamenti intercorsi.

Abstract

In the framework of a multidisciplinary research carried out at the Tilmen Höyük archaeological site (Turkey) and its surrounding region, remote sensing data are adopted for characterization of the area and of its evolution in time.

Some old declassified satellite images are used coming from the Corona program, the first US operational space photo reconnaissance project, operating in the period 1960-1972. The images are panoramic, affected by severe distortion; a high resolution scanned copy has been processed using a digital photogrammetric workstation in order to produce metric products of acceptable quality for mapping purposes. In the paper some specific problems of these cameras are presented, together with the procedures adopted for image orientation and data processing.

Introduzione

Il tema del recupero di immagini aeree e satellitari del passato è oggi di grande interesse per un ampio spettro di applicazioni sul territorio, tra le quali la ricerca in ambito archeologico, che sta ricevendo interessanti contributi dal campo del telerilevamento (Wiseman & El-Baz, 2007). Oltre ai numerosi voli aerofotogrammetrici che, a partire dai primi decenni del '900, hanno riguardato vaste aree in tutto il mondo, rivestono senz'altro grande interesse le immagini acquisite negli ultimi 50 anni mediante piattaforma satellitare, tra le quali soprattutto quelle realizzate a scopo di spionaggio militare, ad alta risoluzione geometrica e di ottimo dettaglio. Grazie ad iniziative di declassificazione, vaste quantità di queste immagini del passato sono ora disponibili per scopi di ricerca; il loro impiego è tuttavia nella gran parte dei casi di carattere solo qualitativo, a causa di

numerose problematiche, tra le quali la mancanza o inaccessibilità di dati tecnici e la difficoltà nell'eliminare o ridurre le forti distorsioni che le caratterizzano.

Il lavoro presenta un'esperienza di utilizzo di immagini satellitari panoramiche declassificate, realizzate con l'obiettivo di fornire un dato metrico storico di buona risoluzione da impiegarsi per analisi dei cambiamenti a livello regionale e locale in un'area di elevato interesse archeologico.

Aspetti generali del progetto Corona

Il progetto statunitense Corona nacque nel 1958 su iniziativa della *Central Intelligence Agency* (CIA) e del presidente americano Eisenhower; lo scopo di questa missione segreta era quella di "fotografare" da satellite la Terra, in particolare al fine di monitorare i progressi militari e nucleari nell'Unione Sovietica e nel Medio Oriente (McDonald, 1995). Il primo satellite fu lanciato in orbita nel Febbraio del 1959, anche se solo l'anno successivo ci fu la prima missione effettivamente operativa; il progetto ebbe termine nel 1972. Le 144 missioni, di durata variabile tra 1 e 19 giorni e non tutte coronate da successo, venivano compiute su orbite quasi-polari ad altezze differenti a seconda dei sistemi via via sviluppati e terminavano con il recupero del *bucket* con il film. La mole di dati raccolti fu enorme; in totale Corona acquisì più di 800000 fotogrammi, coprendo un'area della superficie terrestre fra 1,5 e 2 milioni di km²; la risoluzione nominale a terra, pur variabile nei vari sistemi sviluppati per le diverse caratteristiche orbitali e strumentali, era molto elevata, dell'ordine di qualche metro (va notato tuttavia che, per le modalità di acquisizione, la risoluzione è variabile all'interno di una stessa immagine).

Nel 1995, facendo seguito all'approvazione da parte del governo degli Stati Uniti dello sviluppo e commercializzazione in ambito non militare di sensori satellitari in grado di raggiungere risoluzioni a terra inferiori al metro, le immagini Corona vennero "declassificate" dal settore militare e rese disponibili all'utenza civile.

L'*United States Geological Survey* (USGS) ha preso in carico la diffusione e la commercializzazione delle immagini Corona, che, a parità di risoluzione nominale a terra, presentano un costo di molto inferiore rispetto a quelle fornite da altri sensori. I prodotti (negativi, diapositive, stampe e file digitali delle immagini) sono ora visionabili e ordinabili *on-line* dal sito web dell'*EROS Data Center*; le pellicole originali ed i dati tecnici sulle missioni sono invece mantenuti dal *National Archives and Records Administration* (NARA) e disponibili esclusivamente tramite una procedura denominata FOIA (*Freedom Of Information Act*). Va sottolineato che la difficoltà nel reperimento di questo tipo di informazioni (Galiatsasos, 2004) è proprio uno degli aspetti che rende problematico il trattamento metrico di questo tipo di immagini.

Caratteristiche delle immagini Corona

Considerando gli scopi del progetto, vennero scelte per l'acquisizione soprattutto le camere panoramiche, che permettono di ottenere immagini caratterizzate sia da un'elevata risoluzione che da un'ampia copertura a terra. In tali camere la pellicola è disposta su di una superficie semi-cilindrica e la sua esposizione avviene, tramite una fessura, da un movimento delle lenti in direzione perpendicolare alla linea di volo (figura 1).

Durante i 12 anni di durata del progetto vennero apportate modifiche a tutti gli aspetti tecnologici delle piattaforme satellitari; l'evoluzione più grande riguardò i tipi di camere impiegate. Infatti, con il passare degli anni, vennero incrementate la risoluzione, la copertura a terra e la durata delle missioni; inoltre vennero modificati la pellicola impiegata ed il tempo di esposizione per ciascun fotogramma; rimasero invece sostanzialmente invariate la focale della camera, sempre pari a 24 pollici, l'ottica

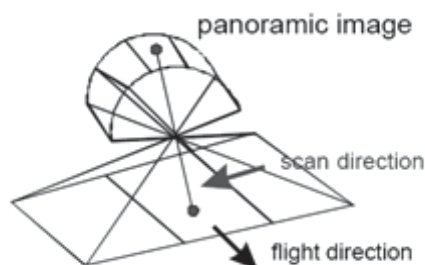


Figura 1 – Acquisizione di immagine panoramica

delle camere e l'angolo "spazzato" dal sistema di lenti in direzione trasversale alla linea di volo, il cosiddetto *scan angle*, rimasto costante e pari a circa 71° (Tabella 1).

Tutti i sistemi Corona vennero denominati con la sigla KH, ovvero *Key Hole*, ad indicare il loro ruolo di spionaggio.

Le prime missioni (KH-1, KH-2, KH-3 e KH-6) montavano una singola camera panoramica, mentre gli ultimi sistemi (KH-4, KH-4A and KH-4B) erano in grado di acquisire coppie stereoscopiche grazie a due camere panoramiche, Forward e Afterward (figura 2), montate tra loro con un angolo di 30 gradi (NRO Data Book, 1967).

Sistema	KH-1-4	KH-4A	KH-4B	KH-5	KH-6
Tipo di camera	Panoramica	Panoramica	Panoramica	Frame	Panoramica
Dimensione pellicola (cm)	7.0 × 75.7	7.0 × 75.7	7.0 × 75.7	12.7 × 12.7	12.7 × 63.5
Lunghezza focale (cm)	60.96	60.96	60.96	7.62	167.64
Max risoluzione a terra (m)	7.6	2.7	1.8	14.0	1.8
Quota orbitale nominale (km)	da 170 a 460	185	150	320	170
Scala nominale immagine	1:275000-1:760000	1:305000	1:247500	1:4250000	1:100000
Copertura immagine (km)	15×290 - 42×580	17×232	14×188	483×483	12×64

Tabella 1 – Caratteristiche dei sistemi Corona (fonte: sito web USGS).

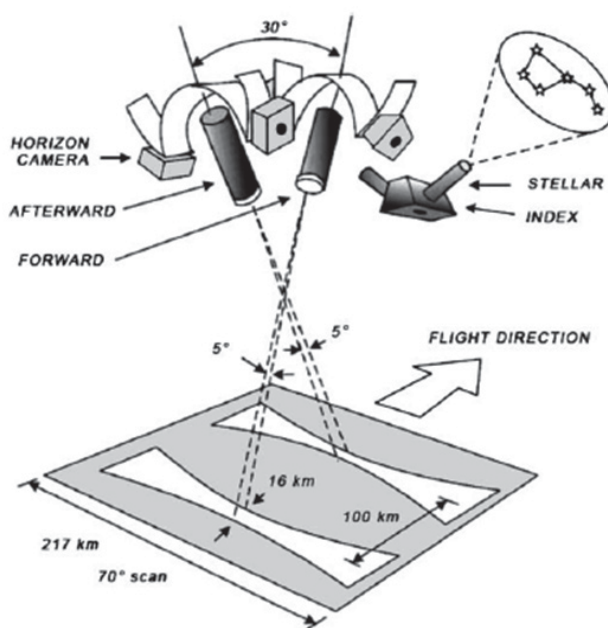


Figura 2 – L'acquisizione stereoscopica nel sistema Corona KH-4B (Sohn et al., 2004).

A causa della geometria di acquisizione panoramica, le immagini Corona presentano distorsioni differenti da quelle che generalmente affliggono le classiche immagini *frame* e sostanzialmente dovute a tre fattori: la forma cilindrica del dispositivo su cui è montata la pellicola, il movimento della piattaforma mentre il sistema di lenti "spazza" lo *scan angle*, la traslazione della pellicola dovuta al dispositivo di *Image Motion Compensation*. Considerando l'espressione di queste distorsioni è possibile formulare delle equazioni di collinearità modificate che permettono di descrivere analiticamente il principio di acquisizione panoramica (Sohn et al., 2004). Approcci differenti proposti da altri autori considerano, al fine di modellizzare le distorsioni generate dalla geometria panoramica, parametri di orientamento esterno variabili in funzione del tempo; un metodo alternativo, denominato IEPF (*Instantaneous Equivalent Frame Photograph*), riduce le

immagini panoramiche a *frame* acquisiti con la stessa inclinazione e focale (Case, 1967). In ogni caso è importante sottolineare che un approccio rigoroso al modello di camera panoramica è possibile solo attraverso la conoscenza di tutti i parametri geometrici di acquisizione; come già detto precedentemente i dati tecnici sulle immagini non sono facilmente accessibili, e quindi diviene necessario utilizzare alcuni valori approssimati noti da fonti bibliografiche e calcolare tutti i parametri incogniti per mezzo di un adeguato numero di punti di appoggio di buona qualità.

Generazione dell'ortofoto Corona nell'area del sito archeologico di Tilmen Höyük

L'Università di Bologna, nell'ambito di una missione congiunta italo-turca in collaborazione con l'Università di Istanbul e con il Museo Archeologico di Gaziantep, è impegnata dal 2004 in un'attività di ricerca multidisciplinare incentrata sul sito archeologico di Tilmen Höyük (Marchetti, 2006), nella Turchia sud-orientale, e sulla circostante regione della piana di Islahiye (fig. 3). Il sito (un importante insediamento risalente al II millennio a.C.) e l'area adiacente sono stati oggetto, tra l'altro, di rilievi di tipo geofisico e geomatrico che hanno coinvolto differenti tecniche e tecnologie: rilievi georadar e geomagnetici, telerilevamento satellitare, topografia, fotogrammetria, GPS, laser a scansione (Bitelli et al., 2007).

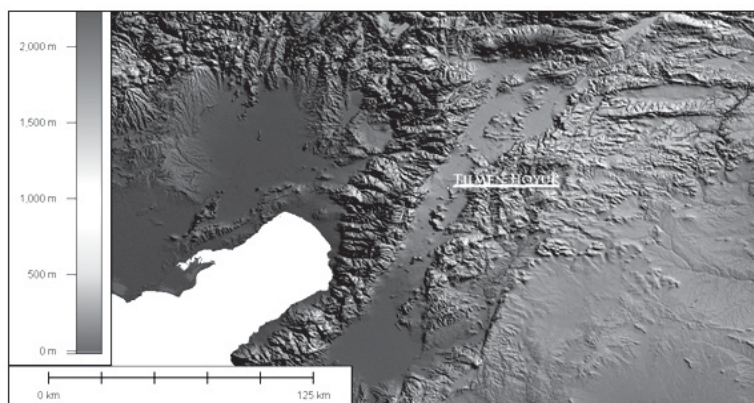


Figura 3 – Il sito archeologico di Tilmen Höyük e la piana di Islahiye (base SRTM).

La Missione archeologica ha inteso predisporre un'ampia base conoscitiva sull'area di indagine, nell'intento di acquisire e georeferenziare su un unico database diversi livelli informativi che possano supportare analisi non solo di tipo strettamente archeologico ma anche di carattere ambientale e territoriale, legate al contesto del sito. In quest'ottica, insieme ad immagini satellitari recenti ad alta e media risoluzione, sono stati acquisiti anche dati satellitari storici, che possano essere utili in uno studio sui cambiamenti intercorsi nella regione.

Nell'archivio delle immagini Corona, visualizzabile sul sito web dell'USGS, risulta disponibile per la zona di interesse un'immagine risalente al 3 Marzo 1968 e acquisita dal sistema KH-4A. L'ampia copertura dell'immagine è mostrata in figura 4.

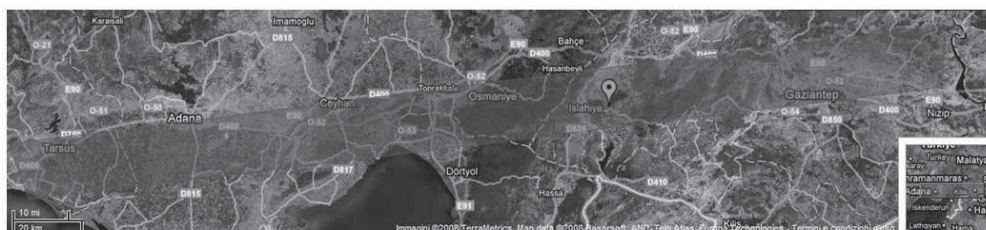


Figura 4 – Footprint dell'immagine Corona elaborata (USGS).

Mediante scansione con uno scanner fotogrammetrico professionale, con risoluzione geometrica 7 μ m, l'immagine originale su film è stata convertita in formato digitale; considerando le inusuali

dimensioni della fotografia (70 mm x 75.692 cm), la scansione ha generato 4 file singoli parzialmente sovrapposti in direzione longitudinale che costituiscono il prodotto fornito su supporto DVD (Figura 5).

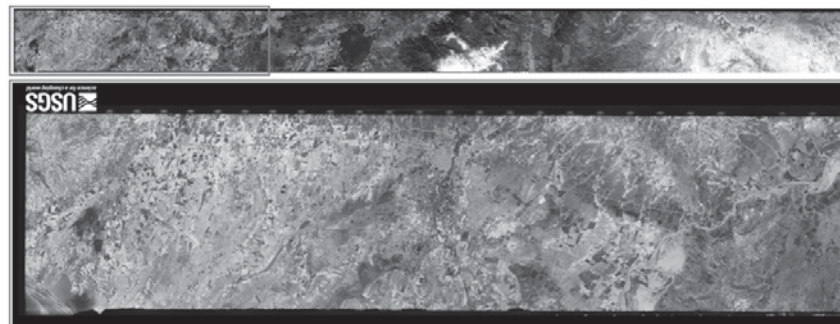


Figura 5 – In alto l'intera immagine Corona e sotto una delle 4 immagini derivate dalla scansione.

Il processamento è stato eseguito utilizzando la stazione fotogrammetrica digitale Socet Set v.5.4.0., utilizzando il *tool* di *import* delle immagini panoramiche che consente un approccio rigoroso a questo tipo di camera, con compensazione del movimento del sensore. Come già detto precedentemente, questo metodo richiede la conoscenza delle effemeridi precise del satellite e dei dati tecnici sulle immagini; l'utilizzo di valori approssimati rende indispensabile la disponibilità di un adeguato numero di punti di appoggio di buona qualità, al fine di determinare tramite un processo di triangolazione globale i parametri di orientamento interno ed esterno. Tra gli altri, è stato necessario valutare, sulla base di considerazioni geometriche, i valori degli angoli di *start* e *end scan* per ciascuna delle 4 porzioni di immagine corrispondenti ai file forniti dalla scansione.

Non disponendo al momento attuale di una base cartografica unica ed omogenea su tutta l'area coperta, una prima ortofoto test dell'immagine Corona è stata generata utilizzando, per la fase di triangolazione, 50 punti di appoggio desunti dal sistema *Google Earth* e, come Modello Digitale del Terreno, il dato SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). La fase di individuazione e collimazione dei punti ha creato notevoli problemi, legati sia ai grandi cambiamenti intercorsi nella zona dal 1968 ad oggi che alla morfologia e copertura del territorio, caratterizzato da ampie zone montuose e boschive, che rende difficile una omogenea distribuzione di punti ben identificabili.

I residui sui punti noti hanno raggiunto valori di circa 10 m in planimetria e 5 m in quota; tuttavia l'analisi sulle coordinate di alcuni *check points* ha evidenziato una certa disomogeneità nell'accuratezza del prodotto, che peraltro potrebbe essere attribuibile ad una qualità di georeferenziazione non omogenea delle immagini di *Google Earth*, in particolare considerando l'ampia area coperta dalla Corona. La seguente figura 6 mostra l'ortofoto prodotta.

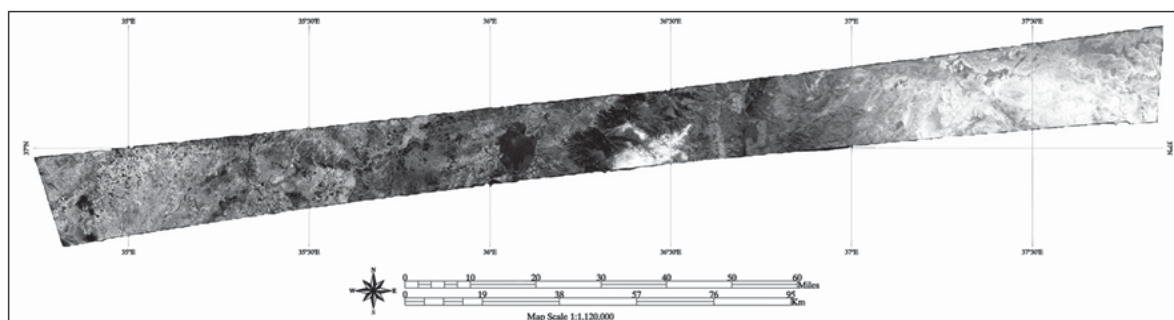


Figura 6 – Ortofoto dell'immagine Corona (WGS84, dimensione del pixel a terra 10 m).

Al fine di evidenziare l'importanza di buoni dati a terra per il trattamento di questi tipo di immagine, è stata processata una porzione di immagine relativa al sito archeologico, utilizzando

come punti di appoggio 15 punti derivati da cartografia a media scala e da immagini satellitari ad elevata e moderata scala disponibili relativamente a quest'area (QuickBird, ASTER). In questo caso l'accuratezza raggiunta è stata migliore, evidenziata da residui sui *check points* nell'ordine dei 5 m. L'ortofoto generata è mostrata in figura 7, posta a confronto con quella ottenuta da una immagine QuickBird del 2003. Sul sito archeologico, posto al centro dell'immagine, risultano evidenti, con livello di grigio chiaro, i segni degli scavi condotti in quel periodo da un'equipe archeologica turca.

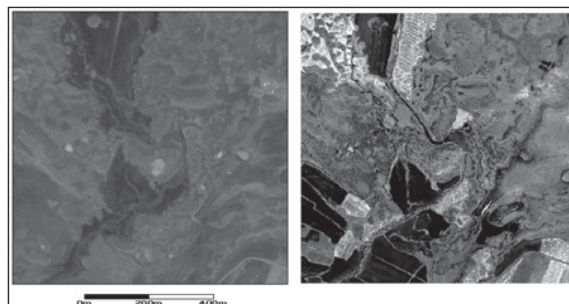


Figura 7 – A sinistra ortofoto Corona dell'area di Tilmen Höyük (GSD=5m); a destra la stessa area estratta da un'ortofoto generata da immagine QuickBird pancromatica.

Conclusioni

Un uso metrico delle immagini Corona in ambiente digitale può consentire una analisi oggettiva di *change detection* su un ampio intervallo temporale. L'utilizzo di questi dati richiede tuttavia una procedura specifica e la disponibilità di punti di appoggio adeguati. Sull'area analizzata i risultati raggiunti, che potranno essere migliorati con la disponibilità di migliori dati a terra, saranno integrati in ambiente GIS con altri livelli informativi, di tipo telerilevato e non, nell'ambito di studi sia a carattere locale che regionale.

Bibliografia

- Bitelli G., Girelli V.A., Remondino F., Vittuari L. (2007). The potential of 3D techniques for Cultural Heritage object documentation. Proc. Videometrics IX-SPIE-IS&T, 6491, San Jose, USA
- Case, J.B., (1967). The analytical reduction of panoramic and strip photography, *Photogrammetria*, p.127-141.
- Galiatsatos N. (2004). Assessment of the Corona Series of Satellite Imagery for Landscape Archaeology: a Case Study for the Orontes Valley, Syria. Durham University, PhD Thesis.
- Marchetti, N. (2006). Middle Bronze Age Public Architecture at Tilmen Höyük and the Architectural Tradition of Old Syrian Palaces. In: F. Baffi, R. Dolce, S. Mazzoni & F. Pinnock (edd.), *Ina kibrat erbetti. Studi di Archeologia orientale dedicati a Paolo Matthiae*, 275-308, Roma.
- McDonald, R.A. (1995). Corona: Success for Space Reconnaissance, A look into the Cold War, and a Revolution for Intelligence. *Phot. Eng. and Rem. Sens.*, vol. 61, 6, pp. 689-720.
- Neri S. (2008). Utilizzo metrico di immagini satellitari Corona, Tesi di Laurea specialistica, DISTART, Università di Bologna.
- NRO - National Reconnaissance Office (1967). *The KH-4B Camera System*.
- Sohn, H.G., Kim, G., Yom, J. (2004). Mathematical modelling of historical reconnaissance Corona KH-4B imagery, *The Photogrammetric Record*, vol.19, issue 105, pp. 51-66.
- Wiseman, J., El-Baz, F. (eds.) (2007). *Remote Sensing in Archaeology*, Springer.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare tutti i membri della Missione Archeologica dell'Università di Bologna in Turchia, ed in particolare il Direttore Prof. Nicolò Marchetti, per la fruttuosa collaborazione e per avere fornito le immagini oggetto dello studio.