

# LE ORTOFOTO DIGITALI AD ALTA RISOLUZIONE: NUOVE FRONTIERE NELLE ANALISI AMBIENTALI E TERRITORIALI

Maurizio MINCHILLI(\*), Loredana Francesca TEDESCHI (\*\*)

(\*) DAP, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Sassari, E-mail: [minchilli@uniss.it](mailto:minchilli@uniss.it)

(\*\*) DAP, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Sassari, E-mail: [ltedeschi@uniss.it](mailto:ltedeschi@uniss.it)

## Riassunto

La costruzione di una base di conoscenza territoriale a scala regionale, omogenea per contenuti, tolleranze geometriche ed epoca delle acquisizioni appare oggi possibile solo con l'uso dei sensori digitali ad alta risoluzione su piattaforma aerea o satellitare.

Le tecniche di produzione di ortofoto digitali, sia a colori che in bianco-nero, hanno conosciuto una buona diffusione ed una media rapidità esecutiva essendo basate tipicamente sul processo ibrido analogico-digitale che a partire da riprese aeree su pellicola conduce alla ortoproiezione digitale attraverso l'acquisizione digitale dei fotogrammi.

La Regione Puglia, prima in Italia, ha acquisito la copertura ortofotografica a scala regionale eseguita con processo totalmente digitale e completata in pochi mesi. Lo strato informativo disponibile, strutturato in sezioni di ortofoto digitali a colori alla scala nominale 1:10.000, possiede una risoluzione a terra molto elevata (0,5 x 0,5 m) maggiore di tutti i prodotti ortoproiettati fino ad oggi disponibili in pari scala.

Vengono esaminate le caratteristiche produttive dell'intero processo digitale, le prestazioni geometriche e radiometriche delle immagini e le problematiche connesse all'uso ed all'archiviazione di basi di dati raster di grandi dimensioni ed al loro impiego cartografico in ambiente GIS.

## Abstract

The building of a base of land knowledge at regional scale, homogeneous in its contents, in its geometric resolution and time of acquisition, appears possible nowadays only with the use of high resolution airborne or satellite digital sensor.

The production of digital orthophotos, both in colour and in black & white, have known a good diffusion and a medium executive speed being typically based on the hybrid analogical-digital process which starting from aerial shooting on film arrives at the digital orthoprojection through the acquisition of the single photo frames.

The Puglia District (in south of Italy), first in Italy, acquired the global covering executed with a totally digital process and completed in a few months. The available layer of information, has a very high ground resolution (0,5 x 0,5 m) higher than all the satellite images available today on the same scale.

The entire digital process are examined, in particular the geometrical and radiometric performance of the images and the problems related to the use of raster data base of very high size and their integration in GIS procedures.

## INTRODUZIONE

Le esigenze di conoscenza, nel settore delle analisi territoriali in genere ed in particolare delle analisi ambientali, risulta di primaria importanza in una struttura regionale con compiti di tutela e di gestione.

La presenza, in tali strutture, di personale non particolarmente specializzato nel settore della cartografia e dei Sistemi Informativi a base Geografica impone la costruzione di basi di dati, geograficamente riferite, che siano di facile lettura ed abbiano tempi di costruzione assai rapidi e comprendano quindi coperture temporalmente ben definite.

I tempi di costruzione di una cartografia tecnica vettoriale, alle usuali scale di rappresentazione delle CTR (1:10.000 o 1:5.000), continuano ad essere molto dilatati anche in presenza di progressi tecnologici e metodologici oggi operativi:

- Le riprese aeree digitali e la loro georeferenziazione (posizionale ed angolare) diretta;
- La triangolazione aerea semi-automatica;
- La restituzione digitale comprendente la produzione automatica delle altimetrie (D.T.M. e C.d.L.) ed il riconoscimento semi-automatico di feature.



*Fig.1 – Vieste (FG), espansione extra-urbana fra il 1998 ( a sinistra, it2000) ed il 2004 (prese digitali).*

Alcuni processi produttivi non hanno ricevuto, dallo sviluppo delle tecniche totalmente digitali, alcun progresso e fra questi va ricordata la fase di ricognizione e la fase di editino grafico. Un forte aggravio di tempi, e costi, è stato recentemente introdotto da norme tecniche complesse – ma necessarie – riferite alla necessità di strutturare la cartografia vettoriale non come semplice numerizzazione di una rappresentazione cartografica ma come un insieme di oggetti interrogabili in un Sistema Informativo georeferenziato. Queste considerazioni, puramente tecniche, vengono accompagnate da grandi difficoltà nel gestire, in tempi rapidi, un appalto pubblico che interessi un intero territorio regionale di media estensione (per esempio i circa 2 milioni di ha della Sardegna o della Puglia) senza dividere in più lotti l'intero complesso delle operazioni.

La base di dati, geograficamente riferita, risulta il supporto multifunzione su cui ogni strato informativo elaborato o acquisito deve essere correttamente posizionato. La disponibilità di cartografia, dalla scala geografica a quella topografica di dettaglio, è oggi assai varia e spesso disomogenea sia per qualità che per copertura spaziale.

L'evoluzione delle tecniche cartografiche attuali sta indirizzando le applicazioni in campo ambientale (studio degli habitat, analisi degli inquinamenti, analisi paesaggistiche, etc) maggiormente sui prodotti cartografici raster (di tipo fotografico come ortofotomosaici di immagini aeree e telerilevate) piuttosto che sui prodotti vettoriali (Carte Tecniche Numeriche ottenute da stereorestituzione fotogrammetrica).

La grande diffusione delle ortofoto digitali in scala media, avvenuto per molte considerazioni sia tecniche che economico-politiche di cui si è ampiamente dibattuto, merita alcune riflessioni in particolar modo per alcune regioni, come la Puglia, in cui la copertura cartografica è ancora, ad oggi, fortemente disomogenea, discontinua e temporalmente varia.

La costruzione di un moderno sistema di conoscenza territoriale, finalizzato allo sviluppo ed alla pianificazione e programmazione della rete regionale delle aree naturali protette, deve essere basato sui seguenti step evolutivi:

- Acquisizione, organizzazione, omogeneizzazione degli strati informativi sia di tipo cartografico che alfa-numerico;
- Implementazione di procedure avanzate per la elaborazione numerica di cartografie vettoriali e raster, di immagini ortoproiettate e da Remote Sensing, di Data\_Base relazionali contenenti dati progettuali, di analisi, di monitoraggio e di gestione in ambiente GIS;
- Accesso all'ambiente così integrato per le finalità interne, sia progettuali che gestionali, della struttura regionale;
- Distribuzione e diffusione dei materiali informativi di base verso il mondo esterno.



*Fig.2 – Taranto, stabilimento ex ILVA, mancanza (a destra, 2005) delle obliteratezioni militari.*

Una copertura aerofotogrammetria (o satellitare), che garantisca in pochi mesi dalla data di acquisizione la disponibilità del prodotto ortoproiettato, offre straordinarie possibilità di utilizzo essendo uno strato informativo omogeneo per tempi di acquisizione e per caratteristiche dei contenuti qualitativi. Questa caratteristica, se estesa ad un territorio regionale, consente analisi di dettaglio con dei costi, da parte dell'Ente pubblico, facilmente affrontabili.

La scelta della scala nominale riguarda essenzialmente la densità della griglia del D.T.M., e la conseguente tolleranza planimetrica, infatti la risoluzione a terra permessa dai sensori digitali aerotrasportati, oggi disponibili, consente una leggibilità del territorio con almeno uno step in più rispetto al fattore di scala nominale. L'esperienza produttiva mostra una vasta produzione di

ortofotomosaici nella scala 1:10.000 (per evidenti disponibilità di D.T.M. attendibili) rispetto alle restituzioni in scala nominale 1:5.000 che richiedono l'esecuzione di modelli delle altimetrie a maglia più fitta ottenuti, per le sole zone appaltate, direttamente dai modelli stereoscopici aerofotogrammetrici. Infine bisogna ricordare che lo strato informativo basato sulle ortofoto digitali è un indispensabile complemento ma non è, come alcuni frettolosamente asseriscono, un sostituto delle C.T.R. vettoriali. Esperienze dirette, vissute all'interno di una struttura regionale, confermano come sia agevole l'addestramento, di personale non specializzato, alla lettura fotointerpretativa di I livello (elementi territoriali primari) ma come sia rischioso affidare a questi una lettura più raffinata che comprenda la conoscenza di base dell'agronomo, del forestale, del geologo e del pianificatore.

## **PROCESSO DIGITALE**

Un grande impulso alla crescita qualitativa delle ortofoto, ed ai ridotti tempi di esecuzione, è stato dato dal recente uso di sensori digitali aerotrasportati che consente di integrare il classico processo seriale basato sulle riprese su pellicola – sviluppo e stampa – acquisizione allo scanner fotogrammetrico – orientamento interno. In tali casi, infatti, la missione aerea produce direttamente – dopo elaborazioni svolte in quasi totale automatismo, fotogrammi – o strisciate – direttamente georiferite e quindi direttamente ortoproiettabili sui Modelli Digitali del terreno. Questo processo produttivo consente l'accorciamento dei tempi produttivi oltre che un vantaggio economico assorbito, solo inizialmente, da un maggior investimento strumentale e di formazione degli addetti alla restituzione.

La Regione Puglia, nell'ambito del POR Puglia 2000-2006, Misura 1.6 - Salvaguardia e Valorizzazione dei beni naturali e ambientali – ha ottemperato alla linea di intervento 1: *Implementazione del sistema delle conoscenze di base ai fini dello sviluppo, della pianificazione e della programmazione della rete regionale delle aree naturali protette*. In tale indirizzo operativo sono state proseguite le azioni relative alla “implementazione del SIT delle aree naturali protette e realizzazione di un data-base geografico e alfa-numerico contenente i monitoraggi e le analisi previste, oltrechè il controllo e monitoraggio degli usi del suolo e delle trasformazioni del territorio attraverso la costruzione di strati informativi da cartografia e telerilevamento”. Con questo quadro operativo nel corso del 2005 si è proceduto, con una convergenza sugli interessi operativi di varie strutture tecniche interne, alla commessa di una copertura globale di tutto il territorio amministrato.

La scelta della metodologia operativa è stata indirizzata su quanto, al tempo, era in grado di offrire la Compagnia Generale Ripreseeree SpA di Parma che aveva da poco acquisito il sensore digitale aerotrasportato ADS40 prodotto dalla LH System ed offriva, ai medesimi prezzi unitari delle classiche ortofoto a colori Terraitaly™2000 (it2000), una moderna copertura ortoproiettata con risoluzione 0,5x0,5 m a terra.

Dal punto di vista prestazionale una risoluzione simile superava di poco anche quelle offerte dai satelliti ad alta risoluzione di ultima generazione (Ikonos, QuickBird) e l'intera fornitura (circa 1,9 milioni di ha) poteva essere eseguita, come in effetti è stato, in pochi mesi dalla data dell'ordine.

L'esecuzione della copertura digitale, prima in Italia con questa tecnica, è stata eseguita in due fasi, con una interruzione dovuta alle condizioni di illuminazione e meteo-climatiche della stagione invernale, fra l'autunno 2004 e la primavera 2005. Il completamento delle consegne delle sezioni ortoproiettate è avvenuto nel luglio 2005 rispettando una successione dei tempi inusuale per una copertura di così vaste proporzioni.

A differenza delle tradizionali camere fotogrammetriche, il nuovo sensore digitale ADS40 acquisisce in continuo intere strisciate di territorio attraverso un elemento chiave del processo di acquisizione della camera digitale che è un componente optoelettronico a trasferimento di carica (CCD) formato da un insieme pixel disposti regolarmente lungo una linea. Il singolo "pixel" costituisce un'area elementare del CCD. Le immagini sono generate da otto sensori CCD lineari, formati da 12000 pixel della

dimensione di  $6,5\ \mu\text{m}$ , paralleli tra loro e posizionati nel piano focale di un unico sistema ottico: 2 sensori pancromatici, 3 sensori per il colore nello spettro del visibile e 3 sensori per l'infrarosso. I due sensori pancromatici sono formati da due CCD lineari tra loro traslati di 0,5 pixel in modo da ottenere una risoluzione complessiva di 24000 pixel.

Le immagini sono acquisite con differenti angoli di visione dai diversi sensori lineari. I due sensori pancromatici sono infatti denominati rispettivamente "forward" e "backward" poiché, rispetto al senso di avanzamento dell'aereo, il sensore pancromatico "forward" (PANF) riprende la scena "in avanti" mentre il sensore pancromatico "backward" (PANB) acquisisce l'immagine dietro l'aereo. I sensori del colore (RED, GRN e BLU) in posizione centrale sul piano focale consentono invece una registrazione "nadirale". La CGR ha ottenuto dalla LH Systems una personalizzazione con il montaggio dei tre sensori del visibile in posizione nadirale rispetto al piano focale; in tale modo l'effetto dello scostamento prospettico viene annullato nel verso del volo e risulta presente solo trasversalmente a tale direzione. Appare evidente come con queste caratteristiche, volute per una finalizzazione spinta alla produzione di ortofoto, il prodotto proiettato mostra complessivamente deformazioni (per gli elementi altimetricamente più variabili) molto più contenute rispetto a quelle ottenibili con le classiche camere a pellicola o con le camere digitali con sensori di tipo "frame" (v. *figura sotto, Bari, periferia Sud*).



Un particolare sistema ottico, denominato tricoide, è applicato ai tre sensori del colore. Il tricoide suddivide il raggio di luce incidente l'obiettivo nelle tre bande rosso, verde e blu, con la minima perdita di energia, che sono diretti ai rispettivi sensori lineari R, G, B. Questo sistema evita l'allineamento geometrico "a-posteriori" delle singole immagini registrate dai tre sensori del colore per comporre l'immagine a colori.

Le caratteristiche della camera digitale ADS40 e dei suoi sensori sono così riassunte:

Lunghezza focale 62.5 mm; field of view  $64^\circ$ ; risoluzione ottica 150 lp/mm ad f/4;

Dimensione Pixel  $6.5\ \mu\text{m}$ ; risoluzione massima sensore PAN 24,000 pixels;

Risoluzione sensori RGB and NIR 12,000 pixels.

Il sistema della camera digitale si compone anche di un'unità di misura inerziale (IMU), prodotta e fornita da APPLANIX; in questa sono abbinate le funzioni di un giroscopio e di accelerometri digitali con elevata precisione di misura. Nell'IMU tre giroscopi e tre accelerometri misurano le variazioni di assetto angolare e di velocità con una frequenza di 200 Hz; è così possibile conoscere l'assetto spaziale della camera in ogni istante della ripresa aerea e risolvere le sei incognite (tre lineari  $X_c$ ,  $Y_c$  e  $Z_c$ , tre

angolari  $\Omega$ ,  $\Theta$  e  $K$ ) dell'orientamento assoluto. Le misure effettuate dall'IMU sono integrate con le registrazioni del sistema di posizionamento GPS consentendo di determinare con estrema accuratezza le coordinate e l'assetto angolare dell'asse ottico della camera. Pertanto, dal punto di vista tecnologico ed operativo, l'impiego del sistema IMU/GPS consente di georeferenziare tutti i dati direttamente ed indipendentemente da operazioni topografiche e/o fotogrammetriche.

Secondo la geometria di presa delle camere digitali, la risoluzione del pixel sul terreno è diretta funzione della quota di volo. La copertura è stata acquisita alla quota media relativa di volo di 20.000 feet (circa 6.000 metri) e quindi la risoluzione media (ottica) del pixel è risultata inferiore ai 0,60 m.

La risoluzione radiometrica è apparsa, sui prodotti finali, particolarmente elevata con una leggibilità migliorata nelle ombre ed una risposta più "secca" nella lettura dei particolari con tessitura più minuta. Un confronto diretto con un prodotto classico, come il Terraitaly™2000 (it2000; riprese su pellicola a colori, scansione a 21  $\mu\text{m}$  e dimensione del pixel a terra variabile fra 0,75 m e 0,92 m) fa apparire il nuovo prodotto non solo di maggiore nitidezza (dovuta alla risoluzione raddoppiata) ma anche di migliore microcontrasto.

La maggiore risoluzione ha naturalmente comportato un maggiore ingombro dei file (forniti in formato RGB \*.TIF con files di georeferenziazione \*.TFW) che sono passati dai circa 150 MB del prodotto Terraitaly™2000 (da un minimo di 120 a 180 MB) ai circa 500 MB del prodotto ad alta risoluzione. Queste dimensioni, notevoli anche per la lettura di una singola sezione in sistemi grafici non particolarmente dotati, comporta un'occupazione totale dell'intera banca dati che supera, per il territorio regionale, i 300 GB. Tale dimensione, complessiva per le 597 sezioni fornite, non consente la lettura di molte sezioni contemporaneamente ed impone il ricorso a tecniche di compressione mosaicatura.

In linea con le attuali tendenze in questo settore, mirate all'uso di algoritmi di compressione poco invasivi e con lettura piramidale delle immagini, l'intera base di dati è stata compressa e successivamente mosaicata in formato \*.ECW (in ambiente ER Mapper 6.4) con un fattore 1:20. La scelta del fattore di compressione è stata eseguita dopo alcuni test, svolti su immagini dotate di varia tessitura in ambiente urbano ed extra-urbano, che hanno mostrato uno scadimento qualitativo non apprezzabile fino alla scala massima di leggibilità delle ortofoto (circa 1:3.000-1:2.000). L'intero territorio regionale è stato suddiviso in tra grandi mosaici di ingombro non superiore ai 4,5 GB; in tale modo si è garantita la trasportabilità su un supporto DVD e la gestione in Sistemi grafici con almeno 1 GB di memoria volatile RAM.

L'ambiente GIS in uso nelle strutture interessate, il GeoMedia Professional della Intergraph, ha mostrato grande agilità nell'apertura e nell'esplorazione di tali mosaici ed in particolar modo ha permesso, con tolleranza pari al pixel, l'uso indifferenziato dei file accessori \*.TFW forniti sia nel Sistema Gauss-Boaga, fuso Est, datum Roma '40 che nel Sistema ETRF '89, fuso 33, datum WGS 84.

## **BIBLIOGRAFIA**

V.Casella, A.Cavazzini, G.Gentili, *"La camera aerofotogrammetria digitale Leica ADS40: i nuovi orizzonti nelle applicazioni delle riprese aeree digitali per la rappresentazione del territorio"*.

R.Sandau et al., *"Design principles of the LH Systems ADS40 airborne digital sensor"*, IAPRS, Amsterdam 2000, WG I/3.

POR Puglia 2000-2006, Misura 1.6 *"Salvaguardia e Valorizzazione dei beni naturali e ambientali"*, BURP R.Puglia 2001.