

RECUPERO A FINI METRICI DI FOTOGRAMMI AEREI STORICI PER LO STUDIO DELLE DINAMICHE TERRITORIALI IN AMBITO URBANO: UN CASO DI STUDIO

Gabriele BITELLI (*), Giorgia GATTA (*), Giulio GIORGINI (*),
Andrea MINGHETTI (**), Alessandro MOGNOL (*), Elisa PASELLI (**)

(*) DISTART - Università di Bologna, (*gabriele.bitelli, giorgia.gatta, alessandro.mognol*)@mail.ing.unibo.it;

(**) Comune di Bologna - Area Urbanistica, Ambiente e Mobilità - SIT,
(*andrea.minghetti, elisa.paselli*)@comune.bologna.it

Riassunto

Il nostro Paese possiede un patrimonio storico inestimabile in termini di fotogrammi aerei, che può rappresentare uno strumento fondamentale per un'analisi delle dinamiche territoriali che hanno contrassegnato l'ultimo secolo di storia.

Purtroppo il recupero di dati storici di questo tipo comporta spesso dei problemi: da una parte la scarsa qualità dei fotogrammi stessi (la maggior parte sono in bianco e nero, a piccola scala e spesso di qualità fotografica non elevata), dall'altra la totale mancanza di informazioni riguardanti le camere con le quali sono stati acquisiti, i dati riguardanti l'orientamento interno (certificato di calibrazione) e l'orientamento esterno. Queste carenze rappresentano un ostacolo per l'utilizzo a fini metrici delle immagini, rendendo impossibile utilizzarle nel processo fotogrammetrico classico o procedere ad una loro ortorettifica. Il problema può essere meglio affrontato con le moderne tecniche di fotogrammetria digitale, utilizzando procedure di autocalibrazione, applicando metodi di triangolazione aerea con punti di appoggio ricavati dall'analisi del territorio attuale, infine con la produzione di ortofoto e la loro mosaicatura.

Il presente lavoro riguarda un caso relativo ad un volo effettuato nel 1937 sulla città di Bologna, le cui immagini sono state scansionate dal SIT del Comune di Bologna; nell'ambito di questa struttura è da tempo in corso un'attività di valorizzazione del patrimonio fotogrammetrico storico, con l'intento di fornire un contributo alla conoscenza del territorio e della sua evoluzione nell'ultimo secolo, con strumenti di consultazione e confronto multitemporale che si sono rilevati di notevole efficacia ed interesse. Nel lavoro vengono in particolare presentati i risultati ottenuti per un'area test pedecollinare ed esaminate alcune problematiche relative a queste metodologie.

Abstract

Historical heritage of aerial photogrammetry represents a basic tool in the study of territorial development. Unfortunately, the frequent lack of camera parameters and of data for external orientation makes difficult the task of a metrical recovery of historical data. A possible approach to solve the problem is the use of self-calibrating bundle block adjustment techniques, with additional parameters models. In the work, results of self-calibration procedure and subsequent processing on photograms of an historical flight (Bologna, 1937) are reported.

1. Introduzione

La pianificazione della città e la gestione del territorio si basano sull'analisi delle dinamiche territoriali in ambito urbano, su scala temporale e a diversi livelli di risoluzione spaziale. Per poter condurre analisi di questo tipo, risulta fondamentale la conoscenza del territorio stesso, e non solo allo stato attuale, ma anche a quello passato; preliminarmente occorre dunque una raccolta di informazioni storiche, si tratti di cartografia o di fotogrammi derivanti da voli aerei.

In generale, l'ostacolo in cui ci si imbatte più frequentemente è la difficoltà nel reperire materiale storico; in secondo luogo, occorre accertarsi della qualità di tale materiale. Nel caso di fotogrammi

storici, sorge poi un ulteriore problema: poter avere fotogrammi corredati di tutte le informazioni necessarie alla successiva fase di elaborazione fotogrammetrica. Per realizzare da essi un prodotto di tipo cartografico, occorre una fase di orientamento interno ed esterno delle immagini, a cui può seguire una restituzione vettoriale o, più verosimilmente, un processo di ortorettifica e di mosaicatura. Per il primo passo, sono necessari i parametri di orientamento interno della camera, deducibili dal relativo certificato di calibrazione, documento che però, nel caso di voli aerei storici, spesso risulta non reperibile. Una possibile soluzione al problema può venire dalle moderne tecniche di fotogrammetria digitale, mediante autocalibrazione dei fotogrammi con modelli a parametri addizionali, a partire da un valore approssimato di focale e quota di volo, e da punti di coordinate note identificabili sui fotogrammi. Una esperienza in tal senso è in corso su un volo effettuato circa settanta anni fa sulla città di Bologna.

In questo studio si illustrano i risultati ottenuti dalla calibrazione di fotogrammi aerei di un volo storico su Bologna, facendo uso del software *Erdas Imagine 9.0*, di *Leica*, ed in particolare del suo modulo *Leica Photogrammetry Suite (LPS) 9.0*.

2. Il volo su Bologna del 1937

Nel 1937 venne effettuato un volo con copertura fotogrammetrica sulla città di Bologna; i fotogrammi relativi sono stati forniti al Comune di Bologna dall'Istituto per i beni artistici, culturali e naturali della Regione Emilia Romagna (IBC) nell'ambito di un accordo quadro per la predisposizione del Piano Strutturale Comunale. Il SIT ha provveduto a scansionare i fotogrammi in forma digitale ad una risoluzione consona ai fini di studio e divulgazione sul Web (800 dpi).

Il dato originale era di formato 13x18, e la camera risulta fosse una Santoni, probabilmente modello I, con focale nominale di 210 mm. Il territorio coperto, relativo all'area bolognese, è in parte pianeggiante e in parte a carattere collinare.

Al fine di generare a partire da questo dato un prodotto di tipo metrico, pur in presenza delle forti limitazioni legate alla mancanza di informazioni accessorie e ad una scansione con caratteristiche non propriamente idonee ad un uso fotogrammetrico di qualità, si è deciso di effettuare una sperimentazione operando su un'area test (San Ruffillo - Monte Donato) posta a Sud-Est, in una parte del territorio che è di transizione tra l'area di pianura e quella collinare. Ci si è posti l'obiettivo di verificare le possibilità di calibrazione dei fotogrammi e di generazione da essi di un'ortofotomosaico, operando su un primo blocco campione costituito da cinque fotogrammi (fig. 1), dei quali non era disponibile alcuna informazione addizionale.

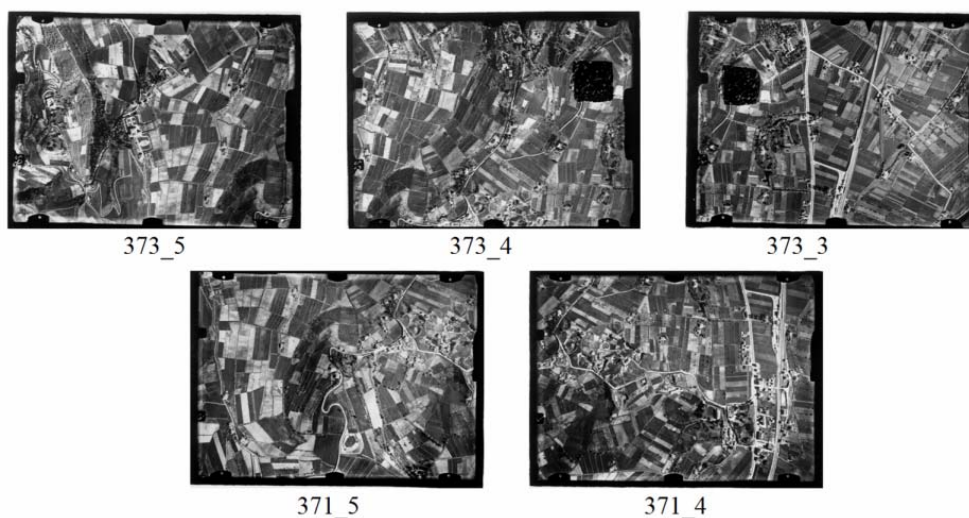


Figura 1: fotogrammi aerei del volo Bologna 1937 relativi all'area di San Ruffillo - Monte Donato: alto: strisciata 373 (fotogrammi 373_5, 373_4, 373_3); basso: strisciata 371 (fotogrammi 371_5, 371_4).

3. Il processo di orientamento

Non essendo possibile effettuare la procedura fotogrammetrica standard, si è operato con una triangolazione aerea con contemporanea autocalibrazione, per orientare il blocco di fotogrammi e risalire così ai parametri di orientamento della camera ed esterno delle immagini.

E' stata effettuata una triangolazione avvalendosi di un elevato numero di punti di appoggio (GCPs, *Ground Control Points*) riferiti ad elementi del territorio ancora presenti e riconoscibili sul patrimonio cartografico più recente (le coordinate sono state dedotte dalla Carta Tecnica Comunale numerica in scala nominale 1:2000 prodotta nel 2000 dal Comune di Bologna). Si è trattato, come ovvio, di una operazione non semplice, sia per l'ampio intervallo temporale trascorso che per le difficoltà di collimazioni di alta precisione su fotogrammi in bianco-nero che erano di per sé di non elevatissima qualità, sia per loro natura che per il processo di scansione subito.

In tal modo si è operata un'autocalibrazione dei fotogrammi, ottenendo in uscita, oltre ai parametri di orientamento esterno dei singoli fotogrammi, anche i dati di calibrazione della camera. Tra le possibili scelte per la modellazione degli inevitabili e numerosi elementi che allontanano da un modello ideale di presa (distorsione radiale e tangenziale delle lenti, deformazione e non planarità del film, errori di scansione, ecc.) si sono sperimentati alcuni modelli a "parametri addizionali" che potessero essere in grado di considerare e compensare errori sistematici di varia natura e di entità anche considerevole, valutabile anche in centinaia di micron.

Sono state svolte diverse prove nell'utilizzo di vari modelli a parametri addizionali con un numero diverso di parametri, modificando di volta in volta il numero di GCPs (comunque in numero sempre elevato e con buona distribuzione planimetrica ed altimetrica, compatibilmente con la possibilità di recuperarli in zone che all'epoca non avevano edifici o elementi di sicura identificazione), di tie points e di check points, ed effettuando le prove su blocchi costituiti da un diverso numero di fotogrammi (1, 3 o 5); tra gli elementi di valutazione, si sono esaminati i valori di scarto quadratico medio totale sulle immagini, gli errori quadratici medi sui punti di controllo, le precisioni associate ai parametri di orientamento interno ed esterno.

Per quanto riguarda il tipo di modello, i risultati migliori si sono ottenuti con modelli a 12 e 14 parametri addizionali, con la necessità in questi casi di disporre di un elevato numero di GCPs; l'introduzione di un elevato numero di parametri, causando una riduzione della ridondanza dei dati, rischia di non garantire una triangolazione di buona precisione e affidabilità se non è sufficientemente alto il numero di GCPs. Si è infine scelto di adottare il modello fisico proposto da D.C. Brown a 14 parametri incogniti, che compensano la maggior parte degli errori di tipo lineare e non lineare dovuti a cause fisiche sulle lenti, sul fotogramma e sul suo trattamento. Si è utilizzato il software implementato in una procedura SCBA (*Self-Calibrating Bundle Adjustment*) nel modulo Leica Photogrammetric Suite (LPS) 9.0 in combinazione con Erdas Imagine 9.0.

Il modello è retto dalle seguenti equazioni, in cui x e y sono le coordinate immagine, c è la costante della camera ed a_i sono i parametri:

$$\Delta x = a_1x + a_2y + a_3xy + a_4y^2 + a_5x^2y + a_6xy^2 + a_7x^2y^2 + a_{13}\frac{x}{c}x^2y^2 + a_{14}x(x^2 + y^2)$$

$$\Delta y = a_8xy + a_9x^2 + a_{10}x^2y + a_{11}xy^2 + a_{12}x^2y^2 + a_{13}\frac{y}{c}x^2y^2 + a_{14}y(x^2 + y^2)$$

E' risultata una quota di volo intorno ai 1750 metri, con una scala fotogramma di circa 1:8500. L'analisi dei residui sui punti di appoggio e sui punti di controllo ha messo in evidenza in alcuni casi problemi di scarsa precisione, in aree nelle quali d'altra parte non era possibile effettuare scelte diverse; pur considerando questi punti, la precisione sulle coordinate dopo la triangolazione aerea a fasci proiettivi è risultata accettabile, considerando le condizioni al contorno.

Anche utilizzando una sola immagine, i parametri di orientamento interno ed esterno risultano vicini a quelli ottenuti utilizzando 3 o 5 immagini; è necessario tuttavia avere una elevata densità di GCPs (se ne sono usati 39 in questo caso) ed una buona distribuzione spaziale degli stessi; la possibilità di autocalibrare un fotogramma singolarmente può essere interessante nel caso della fotogrammetria storica, quando può accadere di disporre di una sola immagine aerea che ricopre

un'area di interesse. La procedura di stima congiunta degli orientamenti interni ed esterni nell'ambito della triangolazione aerea sarebbe rinforzata dalla disponibilità di più fotogrammi, possibilmente convergenti tra loro per diminuire l'effetto di correlazione tra i parametri.

4. Ortorettifica e mosaicatura

Effettuata la calibrazione delle immagini, è stato possibile passare alla loro ortorettifica (fig. 2) ed alla relativa mosaicatura. Per l'ortorettifica si è utilizzato il modello digitale con passo 5 m prodotto dal SIT del Comune di Bologna, anche se a rigore il processo risulterebbe di maggiore correttezza se il DTM utilizzato allo scopo fosse contemporaneo ai fotogrammi da ortorettificare (perché solo in tal caso rispecchia il reale andamento del terreno all'epoca, in un'area che ha subito forti interventi di tipo antropico); sarà prossimamente verificata anche questa possibilità mediante un processo di estrazione automatica.

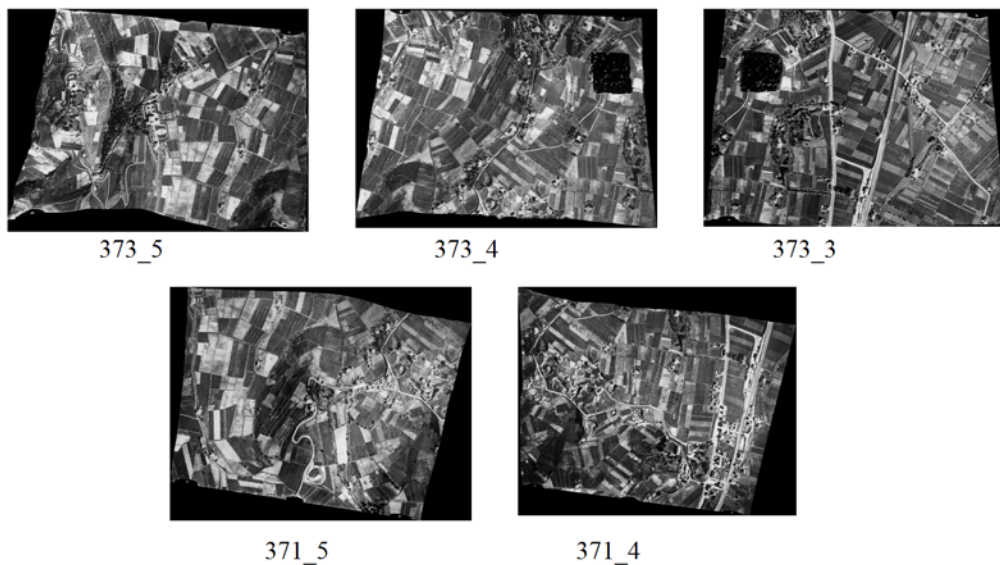


Figura 2: ortofoto ottenute dai fotogrammi aerei di fig. 1:
(a) strisciata 373 (fotogrammi 373_5, 373_4, 373_3); (b) strisciata 371 (fotogrammi 371_5, 371_4).

Si è potuta constatare la buona qualità del procedimento di ortorettifica sovrapponendo alle immagini ortorettificate le cartografie numeriche a disposizione (CTR 1:5.000 e CTC 1:2000); la sovrapposizione dei pochi elementi rimasti immutati nell'arco degli anni risulta evidente (fig. 3).

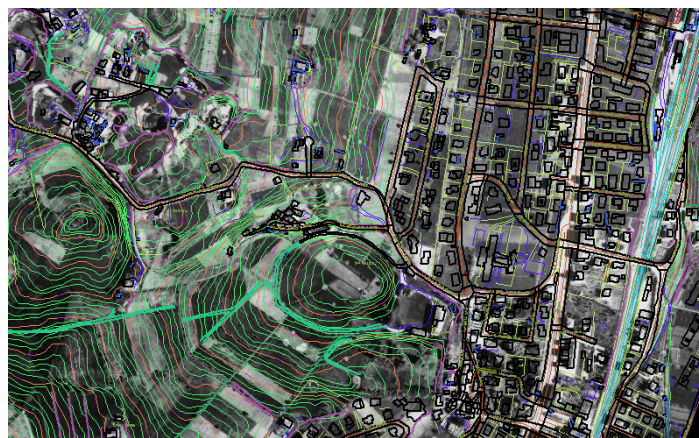


Figura 3: sovrapposizione tra l'ortofoto ottenuta dal fotogramma 371_4 e la cartografia numerica 1:2000.

I risultati appaiono leggermente inferiori per le aree coperte da due fotogrammi (373_3 e 373_4) per i quali i risultati della triangolazione apparivano di minore qualità, avendo dovuto utilizzare un

numero inferiore di GCPs rispetto agli altri fotogrammi, per le difficoltà nel riconoscere su questi fotogrammi oggetti comuni alla cartografia attuale.

Per creare un'unica ortofoto dal gruppo di fotogrammi ortorettificati, si è proceduto infine alla loro mosaicatura (fig. 4); a questo scopo si è preliminarmente ricorso a tecniche di miglioramento radiometrico delle immagini, per minimizzare le inevitabili differenze presenti tra i fotogrammi. Sono stati testati e confrontati tra loro diversi metodi di correzione, scelta dei pixels nelle aree di sovrapposizione e ricampionamento delle immagini per ottenerne una unica.

Ancora una volta è stato opportuno sovrapporre al risultato la cartografia attuale, al fine di valutare più correttamente la qualità della mosaicatura, soprattutto nelle zone di sovrapposizione tra i fotogrammi adiacenti, dove potrebbero emergere le eventuali incongruenze. Nel caso in questione, la coincidenza tra cartografia vettoriale recente e fotopiano mosaicato è apparsa buona.

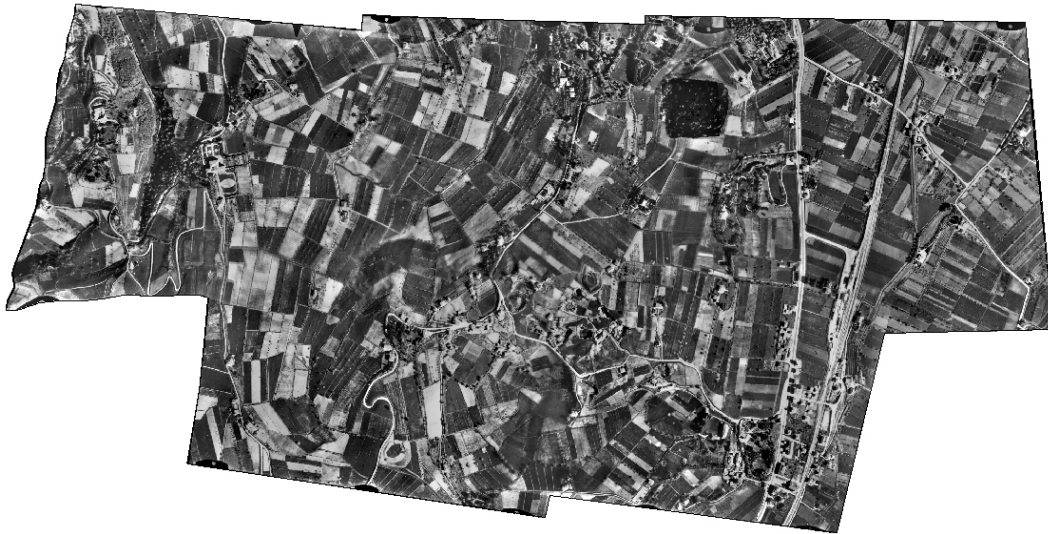


Figura 4: mosaico delle 5 ortofoto di fig. 2.

5. Studio delle dinamiche territoriali

L'ortofotomosaico generato può essere utilizzato in analisi territoriali in congiunzione con altre basi di tipo cartografico relative a differenti periodi storici.

Il confronto può essere condotto, a seconda degli scopi, con modalità diverse, tra cui:

- semplice confronto comparato o sovrapposizione grafica dei diversi database georeferenziati;
- calcolo della posizione e della variazione di singole *features* estratte in modo manuale o automatico da immagini georeferenziate multi-temporali;
- uso di tecniche automatiche o semiautomatiche di *change detection*
- adozione di tecniche di visualizzazione dinamica, per esempio basate su metodi di "morphing", che producono un risultato di grande impatto visivo ed espressività permettendo il passaggio da un'immagine alla successiva nel tempo in modo fluido e graduale. Tali tecniche, quando adottate tra immagini *raster* relative a situazioni molto diverse (es. nell'uso di antiche cartografie storiche in combinazione con immagini recenti) richiedono una scelta oculata dei punti o delle *features* su cui viene vincolato l'adattamento.

Quest'ultimo metodo di confronto permette di individuare in modo qualitativo, ma molto rapido, i cambiamenti avvenuti sul territorio nell'arco degli anni. Nell'ambito del presente lavoro, per visualizzare i cambiamenti avvenuti nella sottozona studiata, il mosaico ottenuto dal volo 1937 è stato inserito in una visualizzazione dinamica che ha integrato cartografia storica del XIX secolo, ortofoto recenti ed infine immagini satellitari ad alta risoluzione; questa situazione è d'altra parte emblematica e rappresentativa dell'evoluzione delle tecniche di rilevamento e rappresentazione del territorio che si sono susseguite nei secoli recenti.

I maggiori cambiamenti nell'area in studio si sono avuti nel centro abitato di San Ruffillo, dove si è avuto un forte sviluppo urbanistico soprattutto tra il 1937 e gli anni '70 (in primo luogo in seguito alle distruzioni avvenute con la Seconda Guerra Mondiale), per poi rallentare fino agli anni recenti, in cui lo sviluppo ha interessato soprattutto la viabilità.

6. Conclusioni

Con il presente studio si è messo in evidenza che, pur disponendo di fotogrammi aerei non corredati di certificato di calibrazione, e quindi privi delle informazioni sui parametri della camera, e mancando di informazioni sul rilievo topografico di appoggio, è possibile calibrare un blocco di immagini storiche mediante tecniche di triangolazione aerea con utilizzo di modelli a parametri aggiuntivi. Da qui, disponendo di un DTM o estraendolo dai fotogrammi stessi, è poi possibile generare delle ortofoto e quindi mosaicarle, ottenendo un prodotto di tipo cartografico, che presenta fondamentalmente due vantaggi: la valenza metrica e la veste fotografica che consente una immediata valutazione qualitativa dell'uso del suolo.

Attraverso l'utilizzo di metodologie diverse, dal confronto diretto delle immagini (in quest'ottica il Comune di Bologna ha realizzato il servizio Web di "Consultazione comparata del repertorio storico" (Minghetti et al., 2004)) all'adozione di tecniche di visualizzazione dinamica quali il *morphing*, è possibile individuare e valutare i cambiamenti del territorio in diversi intervalli temporali.

Il contributo che i prodotti fotogrammetrici ottenuti da fotogrammi storici, nonché le stesse basi cartografiche storiche, dopo opportuna georeferenziazione e co-registrazione reciproca e verso i prodotti recenti, possono apportare alla conoscenza del territorio è importante e di notevole interesse: agevolare la comprensione delle dinamiche di sviluppo del territorio nel tempo e fare da supporto alla valutazione delle politiche di gestione intraprese nel passato dalle amministrazioni locali, in ultima analisi essere uno strumento per consentire una migliore progettazione e pianificazione degli interventi futuri.

Bibliografia

Bezoari G., Selvini A. (1999), *Gli strumenti per la fotogrammetria - storia e tecnica*. Liguori editore, Napoli

Giorgini G. (2006), *Recupero a fini metrici di fotogrammi aerei storici nell'analisi dell'evoluzione in ambito urbano*. Tesi di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, DISTART, Bologna.

Leica (2005), *Leica Photogrammetric Suite Project Manager – User's Guide*.

Minghetti A., Africani P., Gattei M., Milani M., Paselli E. (2004), Strumenti innovativi a supporto del bilancio della pianificazione, Atti VIII Conferenza ASITA, 1493-1498

Ringraziamenti

Parte dell'attività rientra nell'ambito del progetto di ricerca PRIN2005 "Analisi, comparazione e integrazione di immagini digitali acquisite da piattaforma aerea e satellitare" (Resp. Naz. Prof. S. Dequal).