

N° 3
2009

Rivista bimestrale - anno 13 - Numero 3/09 - Sped. in abb. postale 70% - Filiale di Roma

GEO MEDIA

La prima rivista italiana di geomatica e geografia intelligente

► **La storia del
telerilevamento in Italia
e in Europa**

► **Osservazione della Terra con
tecnologia Grid e SOA da ESA**

► **Un report dalla Conferenza ESRI 2009**

► **Il Corpo Forestale presenta il
progetto TARGET-STARS**

► **L'International Cartographic
Association compie 50 anni**

Ortorettifica di foto aeree storiche per lo studio delle dinamiche ambientali in regioni montane

di Giuseppe Pulighe

Spesso il recupero del patrimonio storico in termini di fotogrammi aerei comporta dei problemi quali la scarsa qualità dei fotogrammi o la mancanza di metadati riguardanti le camere con le quali sono stati acquisiti (certificato di calibrazione). Queste carenze rappresentano un ostacolo per l'utilizzo delle immagini all'interno di un GIS, e rendono difficile l'implementazione del processo rigoroso di ortorettifica per blocchi dei fotogrammi. Il problema può essere risolto con le moderne tecniche di fotogrammetria digitale, utilizzando procedure e metodi di ortoproiezione con punti di appoggio a terra ricavati dall'analisi del territorio attuale e DTM di precisione.

A partire dagli anni '30 del secolo scorso la fotografia aerea ha rappresentato una importante fonte di dati per l'interpretazione del rilievo terrestre, l'individuazione di modelli di paesaggio e la loro variazione nel tempo. Inizialmente utilizzate solo per scopi militari, le foto aeree trovano oggi una vasta applicazione che va dall'aggiornamento e produzione di cartografia, alla geologia, alle scienze agrarie, all'archeologia, fino all'individuazione dell'abusivismo edilizio e ambientale. La ricognizione aerea fotogrammetrica rappresenta una metodologia di studio e documentazione che permette un'immediata acquisizione di dati tematici per l'individuazione e la misura di modificazioni del territorio indotte da processi naturali e antropici.

Le moderne tecniche di fotogrammetria digitale consentono descrizioni grafiche e numeriche puntuali e danno la possibilità di realizzare periodici e sistematici controlli ai fini del monitoraggio ambientale.

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 (Bitelli *et al.*, 2006), in quanto la serie storica delle riprese aeree dà elementi di lettura a sostegno degli studi ambientali, ed in generale per la pianificazione del territorio.

Nel nostro paese le prime applicazioni pionieristiche riguardarono l'uso di macchine fotografiche montate su palloni frenati a circa 1000m di quota per la documentazione degli scavi del Foro Romano, di Pompei e di Ostia.

Tuttavia l'Italia, come altri paesi europei, ha dovuto pagare un considerevole ritardo rispetto ai paesi anglosassoni nell'utilizzo e diffusione delle immagini aeree, il cui controllo era assegnato al Ministero della Difesa Aeronautica (R.D. 1732/39).

Il panorama complessivo è cambiato in coincidenza dei mutamenti politici seguiti alla fine della Guerra Fredda, che hanno permesso il libero accesso agli archivi di foto

aeree e stimolato una revisione e semplificazione delle norme vigenti in materia di riprese aeree, dando forma in Italia alla pubblicazione del DPR 367/2000 (Vatteroni, 2005).

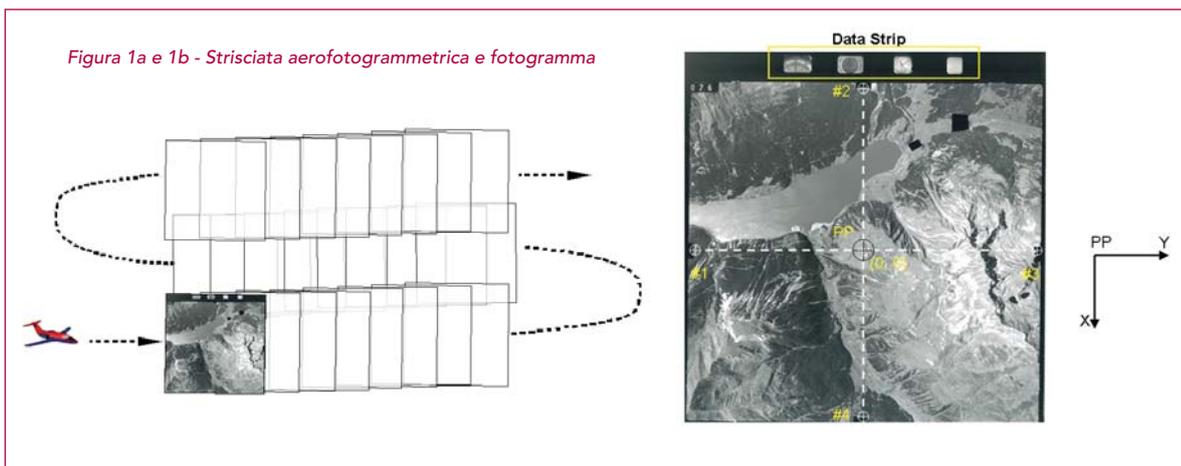
Il nostro paese possiede un importante patrimonio storico di foto aeree, che può rappresentare un prezioso strumento d'analisi delle dinamiche territoriali che hanno contrassegnato l'ultimo mezzo secolo di storia (Bitelli *et al.*, 2006). Questa possibilità di lettura è data dal fatto che fino alla seconda metà degli anni '50 l'Italia era caratterizzata da scarsa antropizzazione del territorio e limitata utilizzazione agricola intensiva.

Il presente lavoro riguarda l'ortorettifica di alcune foto aeree del volo realizzato dal Gruppo Aeronautico Italiano, noto come Volo GAI, relative ad un'area test dell'Alto Adige.

Il Volo Base rappresenta la prima ricognizione sistematica e completa di tutta l'Italia, e venne effettuato su committenza dell'*Army Map Service* del Governo USA in tre anni, tra il 1954 ed il 1956. Ai lavori partecipò un consorzio italiano tra le imprese EIRA e SIRTA, che fornì velivoli attrezzati con le strumentazioni necessarie per coprire l'intero territorio nazionale, volando a quote comprese tra 5.000 e 10.000m, in grado di acquisire coppie stereoscopiche a scala 1: 33.000 nell'Italia peninsulare, a scala 1:58.000 per le zone alpine.

Oggi tutta la documentazione fotografica, fonte privilegiata di studio per tutto il territorio italiano, è conservata presso l'Istituto Geografico Militare Italiano di Firenze e messa a disposizione per consultazione e vendita al pubblico. Anche presso l'Aerofototeca Nazionale del Ministero per i Beni e le Attività Culturali si possono consultare delle collezioni provenienti da ricognitori della *Royal Air Force britannica* (RAF), della *United States Army Air Force* (USAAF) e della *Luftwaffe* tedesca, nonché collezioni storiche donate o acquistate da società private.

Figura 1a e 1b - Strisciata aerofotogrammetrica e fotogramma



Materiali e metodi

Il presente lavoro riguarda l'ortorettifica di alcuni fotogrammi relativi al volo planimetrico realizzato dal Gruppo Aeronautico Italiano (GAI) effettuato tra il 1954 ed il 1956.

Tecniche di fotogrammetria digitale sono state applicate per l'ortorettifica di 16 foto aeree storiche in bianco e nero datate 1954. L'area oggetto di studio è situata nell'Alto Adige occidentale e comprende la parte Nord della Val Venosta, in provincia di Bolzano, delimitata a Nord-Ovest dal confine con l'Austria e la Svizzera, compresa tra le latitudini $46^{\circ}51'30''77$ e $46^{\circ}38'40''$.

I fotogrammi utilizzati hanno una risoluzione di 300 dpi, sono privi di marche fiduciali e metadati, e solo dal piano di volo è possibile risalire alla strisciata in cui si collocano i fotogrammi. L'assenza delle marche fiduciali ha comportato l'impossibilità di adottare il modello rigoroso di ortorettifica, che prevede la conoscenza dei parametri della camera di presa per eseguire l'orientamento interno ed esterno. Per orientamento interno si intende l'orientamento dei fotogrammi relativamente alla camera fotogrammetrica che ha prodotto le immagini stesse, e per determinarlo è necessario disporre di un certificato di calibrazione che descriva le caratteristiche geometriche della fotocamera. L'orientamento esterno serve ad orientare i fotogrammi rispetto al sistema terreno e viene determinato imponendo la corrispondenza tra alcuni punti individuati sul fotogramma e le rispettive coordinate nel sistema di riferimento oggetto.

Questa procedura viene effettuata mettendo in relazione i file immagine con il sistema di riferimento terreno, collimando punti a terra di coordinate note, i *Ground Control Points* (GCPs) con i pixel corrispondenti a tali punti sull'immagine.

La foto aerea riporta sul bordo una striscia o *data-strip* (figura 1a e 1b) dove sono visualizzati l'altimetro, la livella, l'orologio ed il contatore necessari a ricavare dati identificativi del volo quali l'altezza, l'orizzontalità del volo ed il numero progressivo, e ai margini le marche fiduciali necessarie a stabilire l'orientamento del fotogramma rispetto alla camera di presa. Spesso vengono riportati altri dati quali la distanza focale, la marca della camera e i dati sulla società che ha compiuto la ripresa. La strisciata è una successione di aerofotografie scattate ad intervalli regolari lungo una rotta predeterminata che si sovrappongono del 60% (*overlap*), mentre due strisciate contigue si sovrappongono del 20% (*sidelap*) per evitare vuoti di copertura sul territorio, e nella zona di sovrapposizione c'è anche la visione stereoscopica del rilievo terrestre.

Da ricerche storiografiche è stato possibile risalire alle caratteristiche principali della *frame camera* utilizzata: macchina *Fairchild*, focale di 153,16 mm, formato 23x23 cm, ripresa pancromatica in bianco/nero, supporto pellicola.

L'ortorettifica dei fotogrammi è stata implementata all'interno del modulo *OrthoEngine* del software *PCI Geomatica*, secondo la seguente procedura:

- 1 Creazione del progetto ed acquisizione dei fotogrammi;
- 2 Individuazione dei GCPs su ortofoto a colori;
- 3 Orientamento dei fotogrammi e produzione dell'ortofoto finale utilizzando come informazione altimetrica il DTM (*Digital Terrain Model*) con passo 2.5m.

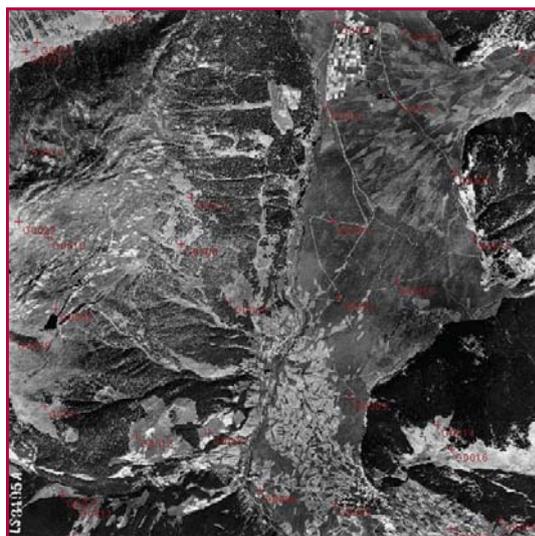


Figura 2 - Distribuzione dei GCPs

Le ortofoto digitali relative al volo 2006 effettuato dalla Compagnia Generale RipreseAeree (CGR), con risoluzione a terra di 50cm, sono state utilizzate per estrarre le coordinate planimetriche X e Y dei GCPs da assegnare ai fotogrammi (figura 2). Il sistema di georeferenziazione usato è il WGS84 associato alla proiezione UTM. Le coordinate Z associate ai GCPs relative alla quota altimetrica sono state estratte utilizzando un DTM ottenuto da tecnologia LiDAR con precisione a terra di 2.5x2.5m.

La zona di studio è tipicamente montagnosa, con forte copertura vegetale, rocciosa e nevosa, per cui la maggior parte dei punti di appoggio è stata individuata in corrispondenza di formazioni rocciose, incroci stradali ed edifici (figura 3a e 3b).



L'ortorettifica

Al fine di utilizzare dei dati telerilevati all'interno di un GIS, la loro correzione geometrica è fondamentale. Tale correzione è nota come ortoproiezione perché basata sull'utilizzo di DTM, ed avviene mediante modelli matematici che in linea generale servono per correlare i pixel di una immagine con la loro corretta posizione a terra tramite la modellizzazione delle distorsioni geometriche indotte da diversi fattori quali l'orientamento della camera di presa, le distorsioni delle lenti, le discontinuità altimetriche. La scelta di un modello piuttosto che di un altro è legata sostanzialmente a due fattori: i dati in possesso dell'operatore e l'accuratezza metrica dell'output finale.

In linea generale i modelli si possono dividere in

- 1 modelli fisico-geometrici o parametrici, in cui viene descritto in maniera rigorosa il processo di acquisizione dell'immagine;
- 2 modelli generalizzati o non parametrici, i quali effettuano la trasformazione tramite relazioni di tipo matematico che non tengono in considerazione il processo fisico di generazione dell'immagine.

In questo caso di studio, considerando l'assenza delle marche fiduciali, sono state utilizzate le Funzioni Polinomiali Razionali, note anche come *Rational Functions Models* (RFM), modelli non parametrici che consentono la relazione tra coordinate immagine e coordinate del terreno tramite funzioni di tipo matematico senza tenere conto della geometria di presa del sensore (Tao & Hu, 2001). È un modello generalizzato che presenta il vantaggio di non richiedere la conoscenza a priori dei parametri che descrivono la piattaforma di acquisizione ed il sistema di proiezione, quindi risulta di ampia applicabilità anche con immagini satellitari prive di metadati (Toutin, 2004, Boccardo et al., 2005).

Il modello *Rational Functions* è calcolato separatamente per ogni immagine. Esso utilizza un rapporto di due funzioni polinomiali per calcolare l'immagine in riga, e un analogo rapporto per calcolare l'immagine in colonna. Tutti e quattro i polinomi sono funzioni di tre coordinate al suolo, latitudine, longitudine e quota (Toutin, 2004).

I coefficienti polinomiali, spesso chiamati anche *Rapid Positioning Capability* (RPC) data, sono stati ottenuti a partire da punti di controllo a terra (GCPs).

L'acquisizione dei GCPs è una fase critica in quanto condiziona direttamente i risultati delle correzioni geometriche, e il loro numero è fondamentale sia per la qualità dell'ortoimmagine che per il tempo che comporta la loro determinazione. Infatti i modelli RFM basano la stima del modello solo sulle informazioni provenienti dai GCPs e pertanto l'effetto di un punto palesemente sbagliato potrebbe distorcere la stima e solo in parte rimarrebbe visibile negli scarti residui dei GCPs al quale compete (Baiocchi et al., 2004, Liu & Tong, 2008).

Foto 1954	Coefficienti	GCPs	RMS
4 7LS 3495	18	39	0.83
4 6RS 3504	20	42	0.86
4 6LS 3505	20	39	0.68
4 7LS 3496	14	33	0.63
4 7LS 3494	20	39	0.77
4 7LS 3493	18	40	0.68
4 6LS 3504	20	40	0.97
4 6LS 3506	20	39	0.98
4 6LS 3507	20	40	0.70
4 5 3574	14	23	0.78
4 6LS 3508	20	41	0.48
4 6LS 3509	12	27	0.76
4 6RS 3504	18	36	1.22
4 6RS 3503	10	21	0.68
4 6RS 3506	20	40	0.75
4 6RS 3507	20	44	0.87

Tabella 1 - Residui della ortorettifica sulle coordinate GCPs

Risultati e discussione

Tenuto conto della qualità delle immagini di partenza, si è potuta constatare una buona precisione metrica del procedimento di ortorettifica adottato, desumibile dalla sovrapposizione alle immagini finali delle cartografie numeriche a disposizione e anche dal confronto con le ortofoto CGR 2006 (figura 4).

Il numero di GCPs che bisogna identificare per stabilizzare il modello varia sensibilmente da immagine ad immagine (Tabella 1). Per valutare la precisione del modello e l'accuratezza estraibile da ogni immagine non ci si può basare su un piccolo numero di GCPs, per non sovrastimare la prima (RMS troppo basso), e sotto-stimare la seconda (RMS troppo elevato).

Per la verifica delle precisioni conseguibili nelle procedure di ortorettifica sono stati scelti dei *Check Point* distribuiti in maniera uniforme sulle intere immagini. Questi sono dei punti indipendenti, acquisiti con le medesime modalità dei GCPs, su cui confrontare i valori di RMS. Allo scopo di individuare il numero minimo dei GCPs e il grado del polinomio utilizzabile per

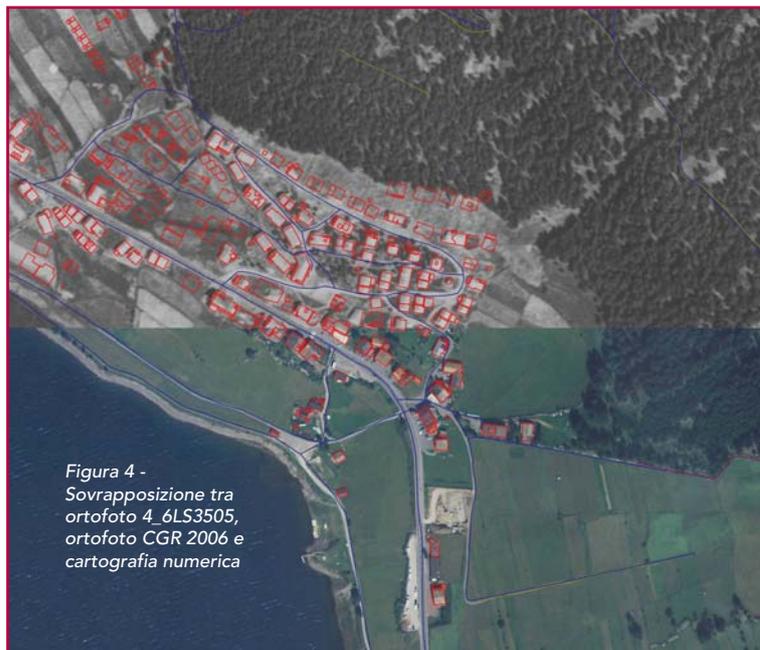


Figura 4 - Sovrapposizione tra ortofoto 4_6LS3505, ortofoto CGR 2006 e cartografia numerica

ottenere buone precisioni metriche, inizialmente sono state eseguite alcune prove con diverse configurazioni su un'immagine test. Sono stati presi in esame un numero di GCPs crescente pari a 19, 27, 32, 39, e sono stati calcolati gli scarti con le funzioni polinomiali del 2° e 3° ordine (tabella 2). I risultati sono stati riportati graficamente mettendo in relazione il numero dei GCPs con i loro scarti e con quelli ottenuti per i *Check Point*. L'andamento mostra che all'aumentare del numero dei GCPs gli scarti tendono a stabilizzarsi, mentre gli scarti dei *Check Point* tendono a diminuire e a raggiungere i valori dei punti di controllo a terra. Gli scarti si stabilizzano intorno ai 39 GCPs, quando sono presenti tutti i coefficienti necessari per l'applicazione della funzione del 3° grado tali da garantire un RMS inferiore a 1.

N° GCP	Densità (GCPs/km²)	Ground Control Point			Check Point		
		RMS	RMS x	RMS y	RMS	RMS x	RMS y
19	0.57	2.61	0.99	2.42	6.63	6.26	7
27	0.81	0.51	0.45	0.25	10.53	13.12	7.94
32	0.97	0.84	0.73	0.41	3.975	4.68	3.27
39	1.17	0.75	0.6	0.45	1.925	1.03	2.82

Tabella 2 - Andamento degli scarti per l'ortofoto 4_6LS_3505

Per le diverse combinazioni a 19, 27, 32 e 39 GCPs sono state realizzate le relative ortorettifiche utilizzando il DTM con passo 2.5 metri a cui poi sono stati sovrapposti alcuni *layer* vettoriali della Carta Tecnica Provinciale. Il confronto ha dimostrato che l'ortofoto prodotta con il polinomio del 3° ordine a 20 coefficienti con 39 GCPs da mediamente i migliori risultati globali di congruenza metrica, pur presentando RMS leggermente maggiori ad altre combinazioni.

Il risultato della sperimentazione evidenzia, in accordo con quanto osservato in immagini satellitari IKONOS (Palazzo et al., 2004), come l'utilizzo di un numero di GCPs superiore a quello minimo indispensabile per la risoluzione del modello non incrementi significativamente l'accuratezza dell'ortorettifica, mentre l'adozione di un modello incompleto, in aree ortograficamente complesse come quella in esame, dia risultati inadeguati.

Per creare un'unica ortofoto finale dall'insieme di fotogrammi ortorettificati si è proceduto alla mosaicatura e ricampionamento con il metodo *cubic convolution*, in quanto garantisce una buona accuratezza geometrica e un buon contrasto senza creare i classici effetti di scalinatura dei pixel tipici del metodo *nearest neighbour*.

Conclusioni

L'utilizzo delle moderne tecniche di fotogrammetria digitale e dei modelli delle Funzioni Polinomiali Razionali rappresentano utilissimi strumenti che consentono il recupero e l'uso del vasto materiale fotogrammetrico storico presente negli archivi italiani. Questo materiale costituisce un patrimonio imprescindibile per l'analisi e lo studio delle dinamiche ambientali intercorse negli ultimi 50 anni, anche in combinazione con altre fonti cartografiche relative a differenti periodi storici; questo è particolarmente interessante per lo studio dell'evoluzione del territorio, al fine di individuare eventuali cambiamenti come l'evoluzione del paesaggio agricolo, l'espansione delle aree edificate e le modificazioni dei boschi. **G**

Bibliografia

- Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Giannone F. (2004) - *Ortorettificazione di immagini satellitari ad alta risoluzione per scopi cartografici: metodologie ed implementazione di un nuovo software*. Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia, SIFET, n.2/2004.
- Bitelli G., Gatta G., Giordini G., Minghetti A., Mogno A., Passelli E. (2006) - *Recupero a fini metrici di fotogrammi aerei storici per lo studio delle dinamiche territoriali in ambito urbano: un caso di studio*. Atti 10° Conferenza Nazionale ASITA.
- Boccardo P., Borgogno Mondino E., Tonolo F.G. (2005) - *Correzione geometrica di immagini satellitari ad alta risoluzione: metodi non parametrici*. Rivista Italiana di telerilevamento 2005, 32: 3-17.
- Crespi M., Baiocchi V., De Vendictis L., Lorenzon F. (2003) - *Ortorettificazione di immagini EROS A mediante polinomi razionali: problemi e risultati*. Atti 7° Conferenza Nazionale ASITA.
- Di K., Ma R., Li R. (2003) - *Rational functions and potential for rigorous sensor model recovery*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69(1), pp. 33-41.
- Liu S.J., Tong X.H. (2008) - *Transformation between rational function model and rigorous sensor model for high resolution satellite imagery* - Proceedings ISPRS Congress Beijing 2008.
- Novak K. (1992) - *Rectification of digital imagery*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 58(3): 339-344.
- Palazzo M., Vasanelli L. (2004) - *Correzione geometrica di immagini satellitari ad alta risoluzione mediante modelli indipendenti dal sensore*. Rivista italiana di telerilevamento 2004, 29: 9-18.
- Tao C.V., Hu Y. (2001) - *A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 67(12), pp. 1347-1357.
- Toutin T. (2004) - *Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods*. International Journal of Remote Sensing, 25, pp. 1893-1924.
- Vatteroni C. (2005) - *In volo nel presente. L'utilizzo della fotografia aerea nella documentazione dei siti archeoindustriali: il caso di Niccioleto (Massa Marittima, GR)*. Tesi di Master, Università degli Studi di Siena, 100 pp.

Abstract

Airborne historical images orthorectification for mountain regions environmental dynamics studies

Often the recovery of historical data from aerial photographs involves problems (poor quality of the frames and total lack of metadata about the frame camera). The problem can be better handled by adopting modern techniques of digital photogrammetry, using procedures and methods of ortho-projection with the support derived from analysis of the current territory and DTM (Digital Terrain Model) accuracy and finally with the production of mosaic. This work concerns the ortho-rectification process of 16 historic aerial photos for a test area of South Tyrol, Italy, on the Gruppo Aeronautico Italiano planimetric fly (Volo GAL) performed between 1954 and 1956. The aim is to bring out this photogrammetric historical heritage and provide a contribution to the knowledge of South Tyrol landscape and its evolution over the half century, with tools of consultation and multi-temporal comparison.

Autori

GIUSEPPE PULIGHE - REDHAVEN@EXCITE.IT

EURAC RESEARCH - Institute for Applied Remote Sensing, Viale Druso 1, 39100 Bolzano (Italy)