

# CAMERE AEREE OBLIQUE:

## SISTEMI, APPLICAZIONI E PROSPETTIVE FUTURE

di Fabio Remondino, Francesco Nex, Evelina Rupnik e Isabella Toschi



Fig. 1 - Esempi di camere aeree storiche per l'acquisizione di immagini oblique: USGS-9 (sinistra) e sistema Zeiss (centro). Un'immagine obliqua di Trento acquisita dalla RAF nel 1944 (destra).

CON L'AVVENTO DEI SENSORI DIGITALI, L'USO DI IMMAGINI OBLIQUE PER IL RILIEVO DI AREE URBANE SI PONE COME VALIDA ALTERNATIVA ALLE ACQUISIZIONI NADIRALI, E COME ANELLO DI CONGIUNZIONE FRA ACQUISIZIONI AEREE E ACQUISIZIONI TERRESTRI. DI SEGUITO VENGONO ILLUSTRATI SISTEMI, APPLICAZIONI E PROSPETTIVE FUTURE DELLE CAMERE AEREE OBLIQUE.

L'uso di immagini oblique per il rilievo di aree urbane è tutt'altro che nuovo: i primi esempi di queste immagini risalgono ad oltre un secolo fa e acquisizioni sistematiche di questo genere furono effettuate durante la seconda guerra mondiale per monitorare le città nemiche (fig.1). Tuttavia, lo sviluppo di tali sistemi di ripresa aerea fu limitato dai costi dell'uso simultaneo di più camere e per lo sviluppo (analogico) di un maggior numero di fotografie. È solo con l'avvento di sensori digitali che l'acquisizione di immagini oblique ha conosciuto una "seconda giovinezza", ponendosi oggi come valida alternativa alle tradizionali acquisizioni nadirali. Le principali aziende operanti nel settore della Geomatica hanno sviluppato e commercializzato il proprio sistema multi-camera (Leica, Microsoft Vexcel, TrackAir, ecc.), mentre un numero crescente di nuove imprese ha fatto

dello sviluppo di queste piattaforme e dell'acquisizione di immagini oblique il core-business della loro attività (VisionMap, IGI, Pictometry, ecc.). Attualmente, questi sistemi acquisiscono immagini di piccolo o medio formato e vengono principalmente suddivisi in sistemi a *Croce di Malta* o *basculanti* a seconda della strategia adottata per l'acquisizione delle immagini (Fig.2): i primi prevedono l'uso di più camere sincronizzate (solitamente 5) orientate verso il nadir e in 4 direzioni oblique (ad es. IGI Quattro DigiCam, Leica RCD30 Penta, Vexcel Ultracam Osprey); i sistemi *basculanti* invece utilizzano un numero inferiore di sensori (1 o 2) che oscillano durante il volo trasversalmente alla direzione di volo (ad es. VisionMap A3). Il vantaggio nell'uso delle immagini oblique risiede principalmente nella capacità (a differenza dei voli tradizionali) di acquisire informazioni relative alle facciate di edifici e in generale di

strutture verticali, rendendo l'interpretazione del dato maggiormente immediata anche per non esperti del settore. L'acquisizione obliqua permette inoltre di migliorare la generazione di modelli tridimensionali di edifici, completare le informazioni necessarie in applicazioni di tipo catastale e per il monitoraggio di scenari urbani anche in caso di emergenze quali terremoti. Per molti aspetti, le immagini oblique vanno a chiudere il tradizionale *gap* fra acquisizioni aeree ed acquisizioni terrestri. Il processamento di immagini oblique è relativamente diverso da quello tradizionale per la presenza di diverse occlusioni (Fig. 3), a causa dalla configurazione più complessa dei blocchi di immagini che presentano risoluzioni geometriche variabili nonché per la mancanza di soluzioni commerciali affidabili in grado di processare correttamente grandi blocchi.



Fig. 2 - Esempi di sistemi multi-camera per l'acquisizione di immagini oblique da aereo.



Fig. 3 - Rappresentazione schematica delle diverse occlusioni nel caso di immagini aeree oblique e nadirali.

Il riconoscimento di una stessa scena da punti di vista differenti (Fig. 4) può essere tutt'altro che banale per un operatore umano e a maggior ragione da parte di algoritmi automatici di fotogrammetria. Se a questo si aggiungono altri problemi quali le variazioni di illuminazione fra immagini, la presenza di maggiori riflessioni e saturazioni dovute a zone vetrate e i cambiamenti di scala nelle immagini, si capisce come gli algoritmi tradizionali debbano necessariamente essere rivisti per il trattamento di immagini oblique.

**ORIENTAMENTO AUTOMATICO DI IMMAGINI**

I sistemi multi-immagine presenti sul mercato sono solitamente accoppiati a sistemi di navigazione GNSS/IMU capaci di fornire un'approssimazione sufficiente per un primo orientamento diretto delle immagini. Tali parametri, sebbene accurati, non sono però utilizzabili per fini metrici e cartografici e pertanto le immagini necessitano una compensazione con un approccio fotogrammetrico.

Rispetto ad un tradizionale volo aereo con sole immagini nadirali, un blocco di immagini oblique ha una configurazione geometrica che lo rende per molti aspetti più simile ad una acquisizione terrestre con prese convergenti. Il primo problema da affrontare è la generazione - in tempi ragionevoli - di punti omologhi fra le immagini, tenendo in considerazione il numero elevato di scatti (oltre 1000 per aree medio-piccole) e i problemi di occlusione e intervisibilità descritti in precedenza. A tale scopo viene eseguita un'analisi di connettività, sfruttando le informazioni fornite dal

GNSS/IMU per poter derivare una matrice di connessione tra le immagini ("grafo di connettività"). Il grafo permette di identificare le relazioni fra le immagini del blocco, permettendo di selezionare (e processare) solo le immagini che si sovrappongono, velocizzando l'estrazione dei punti omologhi. Due immagini sono collegate se e solo se sono spazialmente compatibili, ovvero se rispettano alcune condizioni: (i) l'impronta a terra delle immagini deve essere in sovrapposizione per una percentuale minima; (ii) le camere devono avere direzioni di vista simili; (iii) il numero dei punti omologhi estratti deve essere superiore un certo valore di soglia. L'analisi di connettività permette

rendendo più stabile l'orientamento. Inoltre, l'orientamento interno di ciascuna immagine può essere considerato incognito oppure noto da calibrazioni di laboratorio. In ogni caso il processo di orientamento deve gestire *n* camere con differenti calibrazioni interne. La grande ridondanza delle immagini oblique permette sovente di selezionare le migliori corrispondenze migliorando l'accuratezza finale dell'orientamento.

**GENERAZIONE DI NUVOLE DI PUNTI DENSE**

Blocchi di immagini oblique permettono di generare nuvole di punti dettagliate in 3D di ambienti urbani con informazioni su facciate ed edifici (Fig. 6) utili nel campo cartografico e nell'ambito di applicazioni *smart city*. Gli algoritmi di *dense image matching* devono tenere in considerazione (i) le differenti scale fra le immagini acquisite, (ii) il numero elevato di zone occluse fra differenti direzioni di vista, (iii) la variazione del pixel a terra (GSD) all'interno della stessa im-

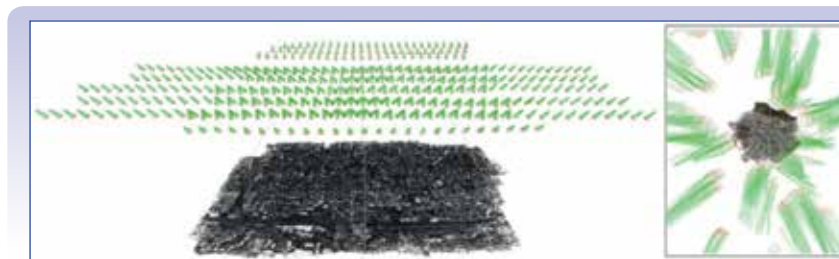


Fig. 5 - Esempio di orientamento ottenuto con un sistema a Croce di Malta (a) e basculante (b).

di ridurre il numero di *outlier* riducendo fortemente i tempi di calcolo. Successivamente viene eseguita la triangolazione aerea per derivare i centri di presa e le coordinate oggetto dei punti omologhi (Fig. 4).

Gli orientamenti delle camere possono essere ottenuti senza vincoli (ogni camera è orientata indipendentemente) oppure considerando la posizione relativa fra le diverse camere del sistema aereo, diminuendo pertanto il numero di incognite e

magine, (iv) gli angoli di intersezione e le basi fra le immagini processate. Grazie alle elevate sovrapposizioni fra le immagini e ad appositi algoritmi di *matching* e di filtratura del dato è comunque possibile produrre nuvole di punti dense e dettagliati. In generale, a parità di estensione dell'area analizzata e di sovrapposizione fra le immagini, i sistemi multi-camera forniscono un numero da 5 a 10 volte più elevato di immagini rispetto alle tradizionali acquisizioni:

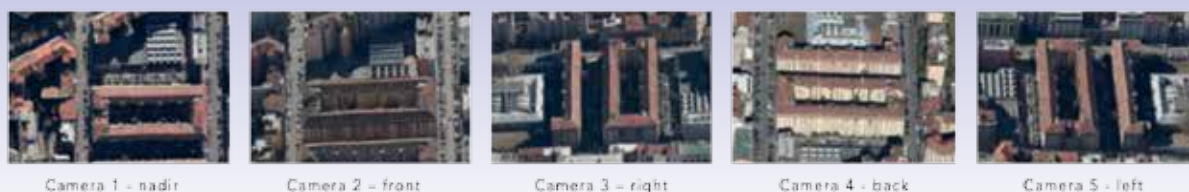


Fig. 4 - Esempio di viste nadirali e oblique di una medesima area urbana (Milano, volo Blom-CGR 2012 con camera MIDAS).

di conseguenza anche le nuvole di punti generate hanno dimensioni un ordine di grandezza superiore, con i conseguenti problemi di gestione del dato e di visualizzazione.

Partendo dalle nuvole dense, le applicazioni più comuni sono (i) la generazione di modelli 3D di città, in formato vettoriale o poligonale, (ii) il monoplotting per estrarre misure impiegando singole immagini, (iii) la classificazione e interpretazione della scena rilevata.

**CONCLUSIONI**

Gli attuali sistemi di acquisizione aerea multi-camera stanno rendendo le immagini oblique un dato estremamente utile per numerose applicazioni, destinate a crescere negli anni a venire. L'impiego simultaneo di immagini nadirali e oblique rappresenta per molti aspetti l'anello di congiunzione fra acquisizioni aeree e terrestri offrendo l'opportunità di concepire in maniera più integrata l'acquisizione dei dati in aree urbane e di facilitare il

rilievo e la mappatura del nostro territorio. Le applicazioni cartografiche e catastali ne traggono anche vantaggi in quanto le immagini oblique permettono di vedere (e quindi mappare) le facciate e i bordi degli edifici.

L'interesse della comunità scientifica nei confronti delle immagini oblique è sicuramente in crescita come mostrato dalle iniziative presentate da associazioni internazionali quali ISPRS (<http://www.isprs.org/news/newsletter/2013-05/ISPRS-SI-5.pdf>) ed EuroSDR ([https://www.surveymonkey.com/s/EuroSDR\\_oblique](https://www.surveymonkey.com/s/EuroSDR_oblique)) per l'uso di queste immagini in applicazioni cartografiche e la loro integrazione con dati da RPAS (droni) e terrestri. Visto il recente "ritorno" di questi sistemi per fini metrici, occorre ancora consolidare a livello software e commerciale delle metodologie di processamento affidabili per questo genere di immagini. Come descritto precedentemente, le immagini oblique presentano alcune differenze (positive e negative) rispetto alle ac-

quisizioni tradizionali che devono essere considerate attentamente nell'orientamento e nel matching denso. Al momento, sono ancora in fase di sviluppo algoritmi per l'estrazione e misura automatica di *feature* di interesse (volumi, aree su facciate, altezza edifici, ecc.) anche se, visto il grande interesse per questo tipo di applicazioni, tali applicazioni non tarderanno ad essere presentate.



Fig. 6 - Nuvole di punti su un'area urbana visualizzate con informazioni RGB e in modalità color-code (sopra). Dettaglio di un'area in versione ombreggiata e con informazioni colore (sotto).

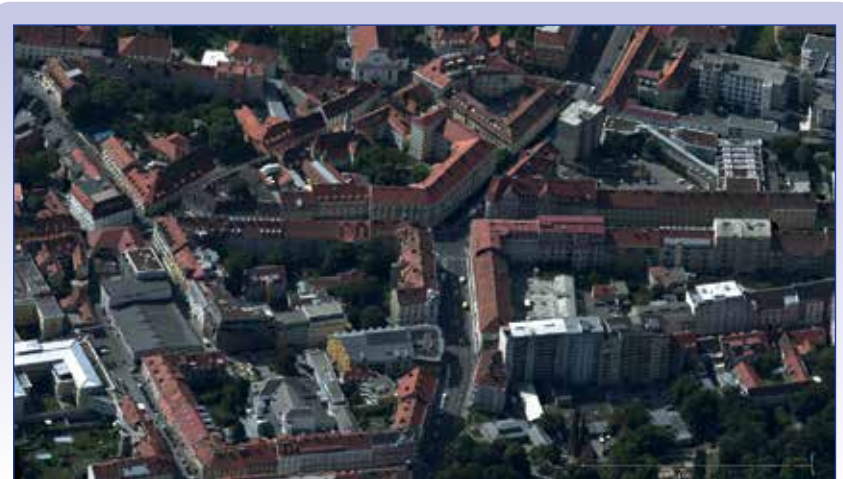


Fig. 7 - Nuvola di punti di una parte della città di Graz generata da un blocco di immagini aeree oblique acquisite con una camera Vexcel Osprey."

**BIBLIOGRAFIA**

Gerke, M., 2009. Dense matching in high resolution oblique airborne images. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38 (3/W4), pp. 77-82.

Gerke, M., and Xiao, J., 2013. Supervised and unsupervised MRF based 3D scene classification in multiple view airborne oblique views. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 2(3/W3), pp. 25-30, Antalya, Turkey.

Fritsch, D., and Rothermel, M., 2013. Oblique image data processing: potential, experiences and recommendations. *Proc. 54th Photogrammetric Week*, pp. 73-88.

Nex, F., Rupnik, E., Remondino, F., 2013: Building footprints extraction from oblique imagery. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 2(3/W3), pp.61-66, Antalya, Turkey.

Rupnik, E., Nex, F., Remondino, F., 2013: Automatic orientation of large blocks of oblique images. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 40(1/W1), pp.299-304, Hannover, Germany.

Rupnik, E., Nex, F., Remondino, F., 2014: Oblique multi-camera systems - orientation and dense matching issues. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-3/W1, EuroCOW 2014 Workshop, Castelldefels, Spain.

**PAROLE CHIAVE**

FOTOGRAMMETRIA; CAMERE AEREE OBLIQUE; DENSE IMAGE MATCHING; NUVOLE DI PUNTI; 3D;

**ABSTRACT**

The use of oblique imagery has become a standard for many civil and mapping applications, thanks to the development of airborne digital multi-camera systems, as proposed by many companies. The indisputable virtue of oblique photography lies in its simplicity of interpretation and understanding for inexperienced users allowing their use of oblique images in very different applications, such as building detection and reconstruction, building structural damage classification, road land updating and administration services, etc. We report an overview of the actual oblique commercial systems and the workflow for the automated orientation and dense matching of large image blocks. Perspectives, potentialities, pitfalls and suggestions for achieving satisfactory results are given too.

**AUTORI**

FABIO REMONDINO  
remondino@fbk.eu

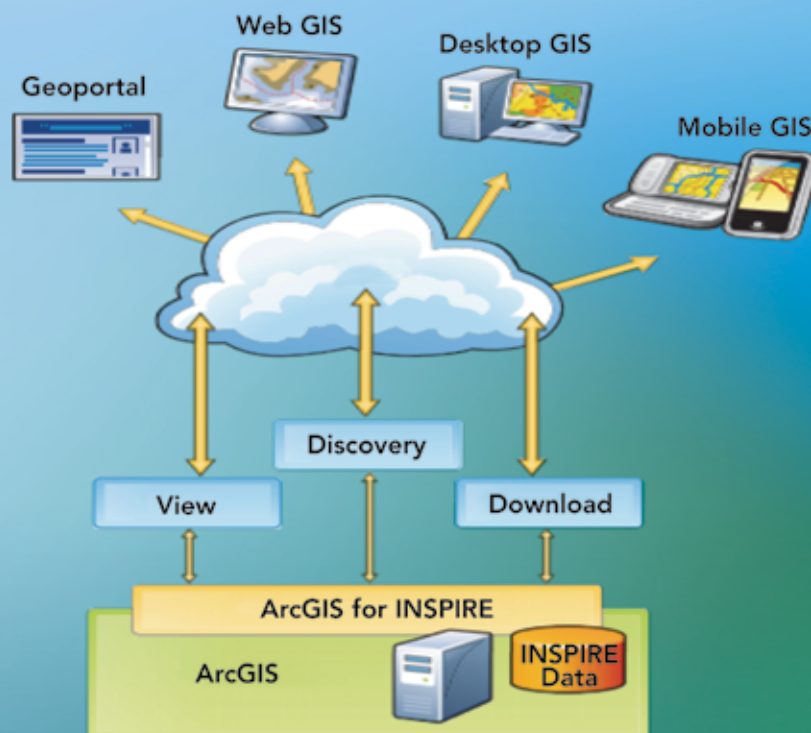
FRANCESCO NEX  
franex@fbk.eu

ISABELLA TOSCHI  
toschi@Fbk.eu

EWELINA RUPNIK  
rupnik@fbk.eu

3D OPTICAL METROLOGY UNIT, FONDAZIONE BRUNO KESSLER (FBK), TRENTO, ITALIA

# Soluzioni Esri per Inspire



## ArcGIS® for INSPIRE

La tecnologia Esri più efficace per gli standard europei

Esri Italia offre  
le soluzioni,  
la tecnologia e i servizi  
necessari per sistemi  
100% INSPIRE compliant  
e in linea con le  
normative e gli  
standard italiani

*Per applicare INSPIRE in Italia c'è una marcia in più*

Interfaccia in italiano

Funzioni specifiche per la ricerca e la gestione dei metadati

Viewer avanzato per discovery, view e download

Profili RNDT (Repertorio Nazionale Dati Territoriali)

Gestione di cataloghi federati

Consulenza specialistica e personalizzazione



Per saperne di più:

[www.esriitalia.it](http://www.esriitalia.it)



**esri** Italia