

## COLLABORAZIONE TRA AGEA E REGIONE EMILIA-ROMAGNA PER LA DEFINIZIONE, REALIZZAZIONE E VALIDAZIONE DI “ORTOFOTO MULTIFUNZIONE”

Giulio MONALDI (\*), Fabio VOLPE (\*\*), Livio ROSSI (\*\*), Pietro PIRREDDA (\*\*),  
Elisabetta PETROCCHI (\*\*), Roberto GAVARUZZI (\*\*\*), Stefano CORTICELLI (\*\*\*\*)

(\*)AGEA SIN - giulio.monaldi@sin.it

(\*\*) Consorzio Telaer - telaer@telaer.it

(\*\*\*) Regione Emilia-Romagna - rgavaruzzi@regione.emilia-romagna.it

(\*\*\*\*) scorticelli@regione.emilia-romagna.it

### Riassunto

L'obiettivo della collaborazione è stato quello di individuare un buon rapporto costi/benefici per una moderna ortofoto di utilizzazione in ambito generale per la pubblica amministrazione.

Considerato che le moderne camere fotogrammetriche digitali, sia quelle che acquisiscono a frame, sia quelle che acquisiscono a modulo continuo hanno la possibilità di una acquisizione integrata sia del colore che dell'infrarosso; è stata scelta, denominandola “*ortofoto multifunzione*”, una produzione integrata data da tre prodotti: il primo è costituito da ortofoto a colori naturali pixel 50 cm; il secondo da ortofoto all'infrarosso FC pixel 50 cm; il terzo DSM (Digital Surface Model) grid 2x2 m e  $\pm 3$  m in quota.

La collaborazione ha quindi comportato la definizione di specifiche tecniche condivise adottate nella convenzione tra gli Enti per la realizzazione nel 2008 di ortofoto multifunzione sul 100% del territorio regionale.

Di particolare interesse per acquisire agevolmente dati con bassissima nuvolosità (< 2%) è risultata l'utilizzazione di specifiche previsioni meteorologiche messe a punto dal Servizio Idro Meteorologico regionale - ARPA Emilia-Romagna.

### Abstract

Most of modern photogrammetric camera can collect at the same time both visible and near infrared images. Based on this, a “*multifunctional orthophoto*”, given by the combination of three different products, has been designed. The products are: a natural color 50-cm orthophoto, a CIR 50-cm orthophoto and a 2x2 meters grid size DSM. Technical specifications of the products have been jointly agreed between AGEA and the Regione Emilia-Romagna.

It is important to stress the point that flights have been planned and carried out according to the use of weather forecast provided on a detailed scale with high temporal frequency by the Servizio IdroMeteorologico Regionale – ARPA Emilia-Romagna, in order to obtain images with very limited cloud coverage.

### 1. Introduzione

Scopo dell'attività è stata la realizzazione della copertura aerofotogrammetrica, delle relative ortofoto e del DSM dell'intero territorio della Regione Emilia Romagna, con un duplice scopo:

- impiego dell'ortofoto per le attività istituzionali di AGEA (controlli integrati in agricoltura);

- impiego dell'ortofoto e del DSM per le attività e le esigenze generali di telerilevamento della Regione e degli Enti Locali in Emilia Romagna (attività di pianificazione, gestione, controllo e promozione del territorio in ambito fiscale, urbanistico, ambientale e turistico).

In questa sede viene analizzata, con maggior dettaglio, la realizzazione della copertura aerofotogrammetrica, realizzata utilizzando una camera fotogrammetrica digitale a frame, e la realizzazione delle relative ortofoto.

La Regione ha richiesto che, al fine di assicurare una buona corrispondenza delle nuove ortofoto con la Carta Tecnica Regionale 1:5.000 (CTR5), che essa fosse utilizzata (insieme con il DTM da essa derivato) quale riferimento di georeferenziazione per le fasi di triangolazione aerea e di correzione ortoprospectica dei fotogrammi.

I prodotti richiesti sono stati:

- 1) fotogrammi stereoscopici digitali;
- 2) ortofoto a 4 bande (colori naturali e vicino infrarosso), pixel di 50 cm;
- 3) DSM (Digital Surface Model) con pixel size di 2 m.

Il sistema di riferimento cartografico adottato primariamente è il Gauss-Boaga / Roma40 con derivate standard anche, mediante le procedure "Verto" ed i relativi grigliati IGM, in UTM WGS84; per quanto riguarda il DSM, primariamente sono state adottate le quote ortometriche.

## 2. Caratteristiche del prodotto

L'ortofoto finale è stata generata in base alle seguenti specifiche di prodotto:

- dimensione del pixel: 50 cm;
- sistema di riferimento Gauss-Boaga;
- profondità radiometrica 8 bit per banda;
- bande spettrali: blu, verde, rosso, vicino infrarosso;
- campo cartografato di ogni singolo file ortofoto corrispondente alle *sezioni* CTR10, ovvero alla sedicesima parte di un *foglio* della serie topografica nazionale IGM50 e contraddistinta, analogamente ai fogli della CTR10, da un codice a sei cifre di cui le prime tre sono mutate dal codice numerico del foglio IGM50, la quarta e la quinta dalla progressione righe/colonne delle sue 16 ripartizioni, la sesta è costantemente zero e qualifica, nel contesto applicativo italiano, la rappresentazione cartografica alla scala 1:10.000;
- formato digitale tiff + tfw non compresso;
- errore assoluto di posizione di un particolare puntiforme perfettamente identificabile sull'ortofoto e di cui siano note le coordinate precise inferiore a  $\pm 4$  metri;
- le *sezioni* devono essere, anche in prossimità dei limiti amministrativi regionali, completamente coperte da ortofoto, fatta eccezione per eventuali aree di confine con il mare in cui la superficie ne risulti predominante;
- le sezioni devono essere radiometricamente omogenee, e comunque il mosaico dei fotogrammi relativi a voli di data diversa deve essere realizzato secondo linee di taglio che seguono limiti fisici naturali del territorio in modo da non accentuarne l'evidenza;
- nubi e foschia devono essere inferiori al 5% nelle singol sezioni e minori del 2% sull'intera Emilia-Romagna; inoltre è stato richiesto specificatamente dalla Regione anche che le zone con centri e nuclei abitati risultino sostanzialmente prive di nuvole.

Associato alle singole *sezioni*, viene fornito, come metadato, l'identificativo dei fotogrammi impiegati e relativo attributo data di volo. Inoltre, a livello di dataset complessivo, vengono forniti metadati descrittivi delle caratteristiche del prodotto e delle sue procedure di generazione.

### 3. Preparazione al volo

La redazione dei piani di volo è stata realizzata mediante applicazioni software dedicate, tenendo conto della specifica configurazione di missione richiesta dalla camera fotogrammetrica impiegata (UltracamX di Microsoft-Vexcel).

Come indicazione di progetto, sono stati impiegati i seguenti parametri:

- pixel medio 43 cm;
- direzione di volo est-ovest, con possibilità di seguire altre direzioni in funzione delle caratteristiche morfologiche del territorio;
- ricoprimento longitudinale non inferiore al 60%, e trasversale di almeno il 25%, con ricoprimento maggiore nelle zone di montagna
- copertura stereoscopica in ogni punto.

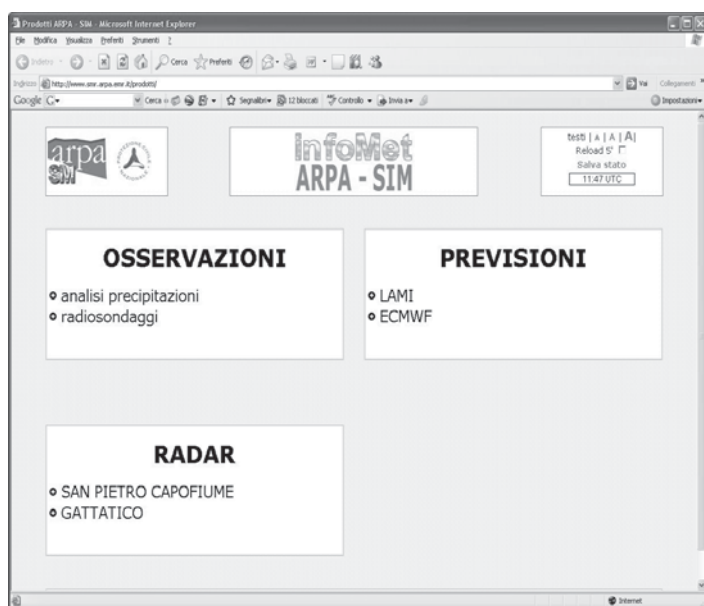
Per soddisfare i requisiti di missione, sono stati realizzati voli secondo la direzione est-ovest su tutta la regione, mentre sulla parte montuosa a sud della regione è stato realizzato anche un volo a quota maggiore ed in direzione nordovest-sudest

I fotogrammi acquisiti hanno una risoluzione media al suolo di 43 cm, cioè inferiore ai 9/10 della risoluzione finale, in modo da garantire una risoluzione effettiva di 50 cm nel prodotto finale.

### 4. Volo

La copertura della Regione è stata ottenuta tramite 22 missioni, effettuate durante l'estate 2008.

Nella pianificazione delle missioni di acquisizione, ha rivestito un ruolo di particolare importanza il sito <http://www.smr.arpa.emr.it/prodotti/> ARPA Regione Emilia Romagna.



Infatti, per ottenere un'ottimizzazione dei voli e garantire la copertura integrale del territorio regionale in tempi brevi, è stato fondamentale determinare dove formazioni di nubi esistenti si sarebbero trovate nelle ore successive, oltre a individuare posizione e sviluppo di nuove formazioni nuvolose (previsione), in modo da sfruttare finestre anche brevi di condizioni meteo idonee per il volo.

I bollettini che vengono rilasciati per l'aviazione (Metar, TAF) a volte non segnalano presenze di formazioni di nubi non pericolose per il volo, nubi che però potrebbero rendere vana una missione di acquisizione di foto aeree.

Nella sezione *Radar* del sito, sia la struttura di *San Pietro Capofiume* che di *Gattatico* (generalmente producono gli stessi tipi di informazioni e, nell'insieme, coprono l'intera area Emilia-Romagna), forniscono una buona indicazione su dove sono già presenti significative formazioni di nuvole.

E' tuttavia importante notare che piccole formazioni nuvolose possono essere presenti, ma non visualizzate sul radar. Il link *Nowcasting* mostra l'eventuale presenza di formazioni significative di nubi, ma anche la previsione di come queste nubi evolveranno nelle ore successive; questo strumento, in particolare, si è rivelato estremamente utile per la fase di pianificazione dei voli.

La sezione *Previsioni* si è rivelata molto utile per la determinazione dell'evoluzione del tempo in un dato intervallo. I link *ECMWF* e *LAMI* (forniscono generalmente le stesse informazioni) consentono l'osservazione di dati inerenti "geopotenziale, temperatura e vento" a 500hPa.

La differenza di isobare fornisce infatti indicazioni sulla stabilità dell'aria, informazione che può essere utilizzata per prevedere lo sviluppo nubi.

Anche la differenza di temperatura fornisce indicazioni sulla stabilità del clima e per individuare fenomeni di inversione che possono esistere in quel momento.

Il vento aiuta a prevedere la direzione del movimento delle formazioni di nubi. Il grafico a 700 hPa (10.000ft) oltre a fornire le informazioni di cui sopra, è utile anche per la previsione della circolazione dei cumulonembi, in quanto i temporali in Europa in generale si muovono a 10.000ft.

E' quindi importante avere la possibilità di osservare carte a diversi livelli, al fine di considerare le differenze ed essere in grado di determinare stabilità o inversioni di masse d'aria.

Anche il link *Altezza Dello Zero Termico* permette di determinare stabilità e inversione delle masse d'aria. Il link *Nuvolosità Totale* è stato uno dei più utilizzati, in fase di acquisizione, per prevedere la formazione di nubi su un lungo periodo di tempo, da alcune ore fino ad alcuni giorni, permettendo di pianificare più missioni su un periodo più lungo.

## 5. Preprocessing dati

La camera digitale acquisisce immagini su 4 bande spettrali (blu, verde, rosso e vicino infrarosso) più una banda pancromatica.

I fotogrammi grezzi vengono elaborati tramite un apposito software per portarli dal livello 0, cioè dal dato grezzo, al livello 2, in cui si ha un pancromatico a piena risoluzione e un set di quattro bande multispettrali a risoluzione ridotta coregistrate tra loro.

Il dato pancromatico viene impiegato per il *wokflow* finalizzato alla generazione del DSM, mentre invece le bande multispettrali vengono fuse con il dato pancromatico mediante procedure di "pansharpening" per ottenere le immagini di livello 3, in cui si ha un unico file a 4 bande a piena risoluzione, 8 bit per banda, che vengono impiegate per la triangolazione e la successiva generazione delle ortofoto.

La procedura di passaggio dal livello 2 al livello 3 è stata opportunamente sviluppata per ottenere dei fotogrammi caratterizzati da omogeneità radiometrica almeno a livello di singola strisciata, con il criterio, però, di non "appiattare" troppo il contenuto radiometrico complessivo, perdendo così informazione territoriale.

Durante la fase di processamento radiometrico vengono anche effettuati, sui quick-look delle immagini prodotte dal software, dei controlli sulla nuvolosità dei fotogrammi.

Parallelamente si procede all'acquisizione ed all'elaborazione dei dati GPS/INS, servendosi di un network di stazioni fisse, per ottenere i dati di orientamento dei fotogrammi da impiegare come input per il calcolo della triangolazione aerea.

## 6. Triangolazione aerea

La triangolazione viene fatta con almeno tre punti di legame longitudinale e almeno due punti di legame con le strisciate adiacenti per ciascun modello. Per quanto riguarda i punti di controllo, la distribuzione dei punti di appoggio è di almeno un punto ogni 2/3 modelli all'esterno del blocco, e di un punto ogni 4/5 modelli all'interno del blocco; sui vertici del blocco, poi, sono stati acquisiti almeno due punti.

Per quanto riguarda la parallasse residua Y, sono stati adottati RMSE (root mean squared error) inferiori a 0,8 pixel, con errore massimo inferiore a 1.5 pixel

Nella compensazione del blocco, è stato adottato un modello rigoroso a stelle proiettive. Sono state utilizzate delle soglie massime sugli scarti nella compensazione del blocco in planimetria pari a 2 metri CE90% (max. 3 metri) e 1.80 metri LE90% (max 2.70 metri) in altimetria

Per l'estrazione dei punti di appoggio fotogrammetrico sono stati utilizzati punti estratti dalla CTR regionale. Per l'ortoproiezione dei fotogrammi è stato invece utilizzato il DTM della Regione, fornito per fogli 1:50.000 sotto forma di file export (.e00) di un dato raster (formato GRID).

Il passo del DTM è di 5 metri. Per ciascun punto estratto dalla CTR viene creata una monografia, ed al fine di assicurare un'adeguata distribuzione dei punti, vengono misurati almeno 2 punti per ogni *sezione* 1:10.000.

## **7. Ortoproiezione e mosaicatura**

Le ortofoto sono il risultato di due processi consecutivi: la proiezione ortogonale dei fotogrammi ed il successivo mosaico.

L'intero processo produttivo di ortoproiezione viene realizzato utilizzando applicazioni software di georeferenziazione delle immagini installate su postazioni fotogrammetriche dotate di schermo secondario 3D e mouse 3D e corredate, inoltre, di un sistema di calcolo multiprocessore per velocizzare le operazioni non interattive.

Tutte le fasi del processamento sono concretizzate seguendo delle rigorose modalità operative, con continuo controllo di qualità dei semilavorati ottenuti; le procedure di controllo individuano le operazioni da effettuare per la verifica e le azioni correttive da adottare in caso di mancato soddisfacimento dei requisiti di qualità.

Ogni ortofoto, comunque, è il frutto del mosaico di più fotogrammi (in alcuni casi volati in condizioni non omogenee) e può presentare, quindi, alcune variazioni radiometriche non conseguenti ad analoghe variazioni degli elementi del territorio.

Per meglio gestire questa delicata fase, è stato adottato il criterio di "estrarre" elementi omogenei del territorio (ad es. campi coltivati) per quanto possibile da uno stesso fotogramma, portando le linee di taglio del mosaico su dividenti naturali, quali strade, bordi o fossi.

Nel flusso produttivo è stata quindi introdotta una fase interattiva piuttosto pesante dedicata alla definizione di queste linee di taglio, supportata da strumenti in grado di assicurare:.

- equalizzazione per minimizzare le differenze radiometriche con eliminazione di eventuali punti caldi;
- generazione automatica delle linee di taglio;
- editing delle linee di taglio;
- generazione ortomosaico finale.

## **8. Controllo di qualità**

Come illustrato in precedenza, tutte le fasi del processo sono sottoposte a collaudo di qualità "on the job". A maggior garanzia della qualità complessiva del prodotto, viene ulteriormente effettuato un controllo di qualità al termine delle operazioni di processamento dell'ortofoto; in particolare:

- un controllo di tipo radiometrico, viene effettuato visualizzando sia le ortofoto che i fotogrammi, con l'obiettivo di evidenziare la presenza di nuvole, saturazioni ed altre anomalie radiometriche;
- un controllo di tipo geometrico, viene effettuato confrontando punti sull'ortofoto con punti sulla CTR, con l'obiettivo di verificare la qualità geometrica del prodotto.

## **9. Conclusioni**

In questo lavoro è stata presentata la metodologia di generazione dell'ortofoto multifunzione nell'ambito della collaborazione operativa tra AGEA e la Regione Emilia-Romagna.

Tale percorso rappresenta la pratica attuazione delle specifiche tecniche in corso di consolidamento da parte di un apposito gruppo di lavoro operante nell'ambito del *Comitato per le regole tecniche*



sui dati territoriali delle pubbliche amministrazioni (istituito con l'articolo 59, comma 2, del decreto legislativo 7 marzo 2005, n. 82, recante "Codice dell'amministrazione digitale").

Il prodotto ottenuto, pertanto, si configura come un primo "prototipo operativo" dell'ortofoto multifunzione digitale a colori, adottabile, con modalità analoghe, su tutto il territorio nazionale nell'ambito di applicazioni a supporto di attività di tipo urbanistico e controllo del territorio.

Particolare enfasi è stata data, nella realizzazione pratica della sperimentazione, all'impiego delle previsioni meteo a brevissimo termine e con elevato dettaglio fornite dal Servizio Meteorologico Regionale, che hanno ottimizzato la programmazione e la realizzazione delle missioni per l'acquisizione aerea dei fotogrammi, abbreviando in modo significativo il tempo necessario per ottenere una copertura con nuvolosità prossima a zero dell'intera area regionale.

## 10. Ringraziamenti

La presente ricerca, nella sua realizzazione, si è avvalsa della collaborazione di *Stefano Tibaldi*, *Carlo Cacciamani* e *Andrea Selvini* del Servizio Idro Meteorologico regionale ARPA Emilia-Romagna.

## 11. Allegati operativi



area	data			
	30 sett.	30 ott.	30 nov.	10 dic.
Ferrara	XXXXX			
Ravenna	XXXXX			
Bologna		XXXXX		
Parma		XXXXX		
Rimini			XXXXX	
Forlì-Cesena			XXXXX	
Piacenza				XXXXX
Modena				XXXXX
Reggio Emilia				XXXXX

### Piano di consegna delle ortofoto