

Telerilevamento e spaziocarte dell'I.G.M.

CARLO COLELLA

Istituto Geografico Militare

Generalità

Il telerilevamento riguarda la raccolta a distanza (generalmente per mezzo di strumentazione posta su satellite o aereo) di dati correlabili con il territorio e le sue risorse.

Questi dati descrivono le caratteristiche elettromagnetiche delle superfici osservate.

Il telerilevamento si basa infatti sulla interazione fisica tra la radiazione e la materia secondo le seguenti leggi:

- trasmissione: la radiazione può passare attraverso la materia, cambiando solamente la velocità;
- assorbimento: la radiazione può essere assorbita dalla materia e cedere ad essa la sua energia;
- emissione: la radiazione può essere emessa dalla materia in funzione della struttura e della temperatura;
- diffusione: la radiazione può essere diffusa, cioè deflessa in tutte le direzioni;
- riflessione: la radiazione può essere riflessa ovvero rinviata dalla superficie colpita.

Le interazioni sono in genere:

- selettive riguardo alla lunghezza d'onda;
- specifiche per ciascuna forma di materia e dipendono principalmente:
 - . dalle proprietà superficiali
 - . dalla struttura fisica
 - . dalla struttura molecolare e atomica.

La quantità di radiazione riflessa o emessa nell'intervallo di lunghezza d'onda prescelta viene raccolta da appositi sensori (CCD) ed espressa sotto forma di una matrice di numeri.

In questo modo, l'immagine da satellite è una rappresentazione di una porzione di territorio dove i valori dei *pixel* (*picture elements*, cioè elementi quadrati che compongono l'immagine stessa) rappresentano una o più parti dello spettro elettromagnetico.

Le immagini possono essere di due tipi: pancromatiche o multispettrali.

L'immagine pancromatica, sempre singola, registra l'intero intervallo del visibile nello spettro elettromagnetico. L'immagine finale apparirà quindi in diversi toni di grigio e sarà più adatta ad individuare le forme ed i contorni dei particolari topografici.

Le immagini multispettrali, generalmente multiple, registrano ognuna, all'interno dello spettro elettromagnetico, solo un intervallo determinato del visibile (ad esempio quello del colore giallo) o al di fuori del visibile (ad esempio l'infrarosso medio). Questo intervallo sarà più o meno piccolo a seconda del grado di discriminazione ricercato. A titolo di esempio, il Landsat5 registra la superficie terrestre contemporaneamente su sette bande distinte:

- Banda 1 Blu visibile 0,45-0,52;
- Banda 2 Verde visibile 0,52-0,60;
- Banda 3 Rosso visibile 0,63-0,69;
- Banda 4 Infrarosso vicino 0,76-0,90;
- Banda 5 Infrarosso medio 1,55-1,75;
- Banda 6 Infrarosso termico 10,4-12,5;
- Banda 7 Infrarosso medio 2,08-2,35.

L'immagine finale verrà costruita combinando due o più immagini elementari relative ad ogni intervallo prescelto e sarà più adatta ad individuare la natura fisico-chimica dei particolari topografici (ad esempio, il tipo di vegetazione). Questo perché ogni tipo di materiale avrà nello spettro elettromagnetico una risposta caratteristica dello stesso detta «firma spettrale».

Telerilevamento da satellite: vantaggi

I continui e rapidi cambiamenti, cui il territorio è soggetto per il susseguirsi delle attività umane, impongono di avere a disposizione informazioni cartografiche aggiornate in tempi brevi, con frequenza elevata e possibilmente a basso costo.

La cartografia ottenuta tramite restituzione fotogrammetrica è indiscutibilmente lo strumento più idoneo a descrivere, in modo chiaro ed esplicito, le caratteristiche del territorio mediante l'inequivocabile lettura del simbolo convenzionale. Nel contempo, però risulta fortemente penalizzata dai tempi di produzione che, dal momento del volo sull'area prescelta al momento della stampa finale dell'elemento cartografico, possono essere quantificati in almeno 2-3 anni.

I dati telerilevati da satellite costituiscono l'unico mezzo per ovviare a questo inconveniente, consentendo, almeno dal punto di vista tecnico, di realizzare

ortoimmagini dopo appena un mese dall'insorgere dell'esigenza informativa.

Oltre a questo, la piattaforma satellitare presenta, rispetto a quella aerea, i seguenti vantaggi:

- monitoraggio di grandi aree;
- basso costo per unità di area per risoluzioni geometriche fino a 2,5 m;
- ripetitività dell'osservazione su una stessa area;
- dati originali sempre in forma digitale.

Come inconveniente, il costo per unità di area aumenta enormemente nel caso che al satellite vengano richieste risoluzioni intorno al metro o inferiori, tipiche di una ripresa da aereo (satelliti ad alta risoluzione Ikonos, Quickbird, Eros).

Inoltre, il satellite risulta poco flessibile in relazione alle condizioni climatiche (foschia e nuvolosità) e di illuminazione (problema delle «ombre lunghe»).

Nel caso di zone a forte nuvolosità come quelle montuose l'unica via è quella di utilizzare acquisizioni radar (SAR, Synthetic Aperture Radar), che per motivi di brevità non verranno qui trattate.

Piattaforme satellitari

Tralasciando lo sviluppo dei satelliti ad esclusivo uso militare, che esulano da questa trattazione, il primo satellite utilizzabile per la cartografia è stato, a partire dal 1973, il Landsat, che nell'esemplare numero 4 raggiunse una risoluzione geometrica di 30 m. Con questa piattaforma l'I.G.M. realizzò, negli anni 1986-87, alcune spaziocarte sperimentali a colori alla scala 1:100 000. In questo periodo venne tra l'altro organizzato, nell'ambito dell'Istituto, il Servizio Telerilevamento.

Ed è proprio nel 1986 che ebbe luogo un notevole passo in avanti con il lancio del primo satellite francese della serie SPOT, con una risoluzione a terra di 10 metri. Con questa risoluzione divenne possibile realizzare ortoimmagini pancromatiche alla scala 1:50 000, mantenendo la possibilità di distinguere i particolari topografici salienti.

Allo stato attuale il sistema di satelliti SPOT comprende i satelliti SPOT1, SPOT2 e SPOT4 (SPOT3 non è più operativo dal novembre 1996). A questi, nel luglio 2002, si è aggiunto il satellite SPOT5, con caratteristiche innovative.

La serie satellitare SPOT1/4, percorre un'orbita circolare eliosincrona quasi polare, con una inclinazione di 98,7°, ad una altitudine media di circa 832 km. Consente riprese in proiezione verticale sulla stessa traccia al suolo con una frequenza di 26 giorni.

L'orbita satellitare è tale da realizzare una sincronizzazione solare che permette di acquisire, in uno stesso periodo dell'anno e ad una determinata latitudine, immagini della superficie terrestre in condizioni simili di luminosità.

I due sistemi di scansione HRV installati a bordo possono essere inclinati con angolo di vista variabile tra -27° e +27°, offrendo la possibilità di acquisire dati all'interno di una striscia al suolo larga 950 km, riducendo fino a 2-3 giorni, in funzione della latitudine, la frequenza di ripresa di una stessa area.

Il sistema di scansione utilizza la tecnica ad «array lineare» che consente, mediante l'allineamento di 6000 celle sensibili, rigidamente solidali al moto del satellite, di rilevare strisce di ampiezza variabile tra 60 e 81 km in funzione dell'angolo di vista, misurando l'energia elettromagnetica riflessa dalla superficie terrestre nell'intervallo 0,51-0,73 micron e convertendola in valori numerici idonei per la trasmissione alle stazioni riceventi a terra.

Il satellite SPOT5 monta a bordo, invece, il sensore HRG (High Resolution Geometric), la cui risoluzione geometrica nel pancromatico va dai 5 ai 2,5 metri. Il prodotto pancromatico a 2,5 m è il risultato di un processo di acquisizione totalmente nuovo chiamato Supermode. L'acquisizione è realizzata tramite una barra CCD con 24000 sensori costituita da due linee da 12000 sensori, ciascuno sfasato di mezzo *pixel* nella direzione perpendicolare alla traccia del satellite. L'acquisizione originale viene così fatta a 5 metri, ma i valori vengono interpolati a terra per ottenere l'immagine finale a 2,5 m.

Tutti i satelliti SPOT possiedono, come del resto altre piattaforme, la capacità di operare nel multispettrale. I satelliti SPOT4 e 5 possono, anche se con risoluzioni geometriche diverse (rispettivamente 20 e 10 m), esplorare separatamente quattro bande: verde (0,50-0,59 mm), rosso (0,61-0,68 mm), infrarosso vicino (0,79-0,89 mm) e infrarosso medio (0,58-0,75 mm). Queste bande possono essere all'occorrenza utilizzate per ottenere immagini nel cosiddetto «falso colore», che può avvicinarsi o meno al colore percepito dai nostri occhi.

I dati digitali vengono dal satellite trasmessi in tempo reale alla stazione rice-

vente di Tolosa, immagazzinati e gestiti dalla società SPOTIMAGE, la quale commercializza i propri prodotti in Italia tramite la società Telespazio di Roma.

A partire dal 1999 risultano disponibili dati di satelliti commerciali con risoluzioni metriche o submetriche:

- Ikonos, lanciato nel settembre 1999, con risoluzione di 1 m nel pancromatico e 4 m nel multispettrale a quattro bande (tre nel visibile e una nell'infrarosso vicino);
- Quickbird, lanciato nell'ottobre 2000, con risoluzione di 0,6 m nel pancromatico e 4 m nel multispettrale a quattro bande (tre nel visibile e una nell'infrarosso vicino);
- Eros, lanciato nel dicembre 2000, con risoluzione di 1,8 m nel pancromatico.

Come però già accennato, i dati provenienti da tali satelliti sono caratterizzate da un alto costo per chilometro quadrato, per cui il loro impiego è giustificato solo dalla necessità di inquadrare aree non più grandi di 20x20 km (tipicamente aree urbane o industriali) realizzando cartografia fino alla scala 1:5000.

Per tutti questi satelliti, compreso SPOT, risulta premiante la disponibilità di un numero adeguato di immagini di archivio, che riduce di molto i costi di acquisto.

I prodotti I.G.M. nel campo del telerilevamento

La possibilità di realizzare cartografia alla scala 1:50000 è sfociata, a partire dal 1993, nella produzione della spaziocarta Serie 50S, che ricalca fedelmente il taglio cartografico al 50000 (standard internazionale). Le dimensioni sono 20' di longitudine e 12' di latitudine, mentre la proiezione cartografica (UTM) e il sistema di riferimento geodetico (ED50 e, più di recente, WGS84) sono conformi agli standard utilizzati dall'I.G.M.

Il criterio fondamentale utilizzato per la spaziocarta è stato quello di ricoprire nel più breve tempo possibile una vasta porzione del territorio nazionale soprattutto in quelle zone ancor prive di cartografia alle scale 1:50000 ed 1:25000. È stata privilegiata, quindi, la velocità di elaborazione cercando di ridurre le fasi interattive ed eliminando i processi di interpretazione, che inevitabilmente comportano onerosi lavori di ricognizione sul terreno, nonché di disegno cartografico e revisione.

Si è perciò cercato di non alterare il realismo descrittivo dell'immagine, limitando la sovrapposizione di toponimi e simboli convenzionali, che determina inevitabilmente un occultamento delle informazioni e incide pesantemente sui tempi di produzione rendendo necessarie lunghe fasi di revisione.

Nei dati «fuori cornice» è stato inserito un elevato numero di informazioni per fornire un ausilio immediato nell'interpretazione dell'immagine ed indicare la metodologia più idonea alla lettura dei dati cartografici in essa contenuti.

I dati digitali pancromatici SPOT vengono acquisiti al livello di trattamento 1B ed hanno quindi subito, da parte del fornitore, un'elaborazione radiometrica per compensare i valori numerici del *pixel* mediante un modello lineare, che compensa le differenze di sensibilità dei sensori. I dati hanno, inoltre, subito una correzione geometrica per eliminare le distorsioni sistematiche dovute all'effetto panoramico, alla rotazione terrestre, alla curvatura terrestre e alla variazione della quota orbitale del satellite rispetto all'ellissoide di riferimento. La dimensione dell'immagine 1B può quindi variare in direzione est-ovest tra 60 e 81 km, mentre in direzione nord-sud è fissata in 60 km per esigenze commerciali.

La correzione geometrica di precisione ha lo scopo di correggere le distorsioni dovute alle variazioni di assetto della piattaforma spaziale e di rendere l'immagine digitale sovrapponibile al documento cartografico di riferimento.

A tale scopo viene utilizzato per ogni immagine un numero congruo di GCP (Ground Control Point), opportunamente distribuiti ed estratti da cartografia 1:25000 I.G.M.

I GCP vengono distribuiti a coppie in corrispondenza dei quattro vertici e al centro della scena SPOT, al fine di consentire, mediante selezione progressiva, durante i test preliminari di calcolo, l'eliminazione dei punti che presentano gli scarti più elevati e ottenere così validi parametri di georeferenziazione.

Per annullare l'effetto della distorsione di altezza causata dalla presenza di dislivelli nell'area di lavoro, nella fase di correzione geometrica viene utilizzato il modello numerico del terreno (DTM) realizzato dall'Istituto Geografico Militare.

Per ottenere una elevata definizione dei contorni dei particolari topografici l'immagine originale è stata finora ricampionata con un *pixel* di dimensione inferiore (6,5 m) rispetto al dato originale (10 m) ed i valori radiometrici nell'immagine corretta sono ricavati secondo il metodo della convoluzione cubica, il quale analizza la radiometria dei 16 *pixel* più vicini alla nuova posizione di ogni *pixel* dopo la trasformazione.

Nei casi in cui la singola immagine SPOT non sia in grado di ricoprire l'intera area del foglio 1:25000 occorre procedere alla mosaicatura di due o più immagini, preventivamente corrette geometricamente secondo quanto sopra esposto.

La mosaicatura consiste nella determinazione delle corrette traslazioni delle diverse immagini mediante il confronto di punti omologhi nelle zone di sovrapposizione e nella creazione di un unico file che contiene l'intera zona interessata nell'elemento cartografico. Nell'operazione di fusione tra due o più immagini spesso capita che queste siano state acquisite in date diverse e quindi, presentino contenuti radiometrici molto diversi a causa di variazioni delle condizioni meteorologiche e/o delle realtà del suolo. Occorre effettuare una giusta equilibratura radiometrica tra le due immagini, al fine di mascherare la fusione delle diverse scene; è, inoltre, fondamentale tracciare una linea

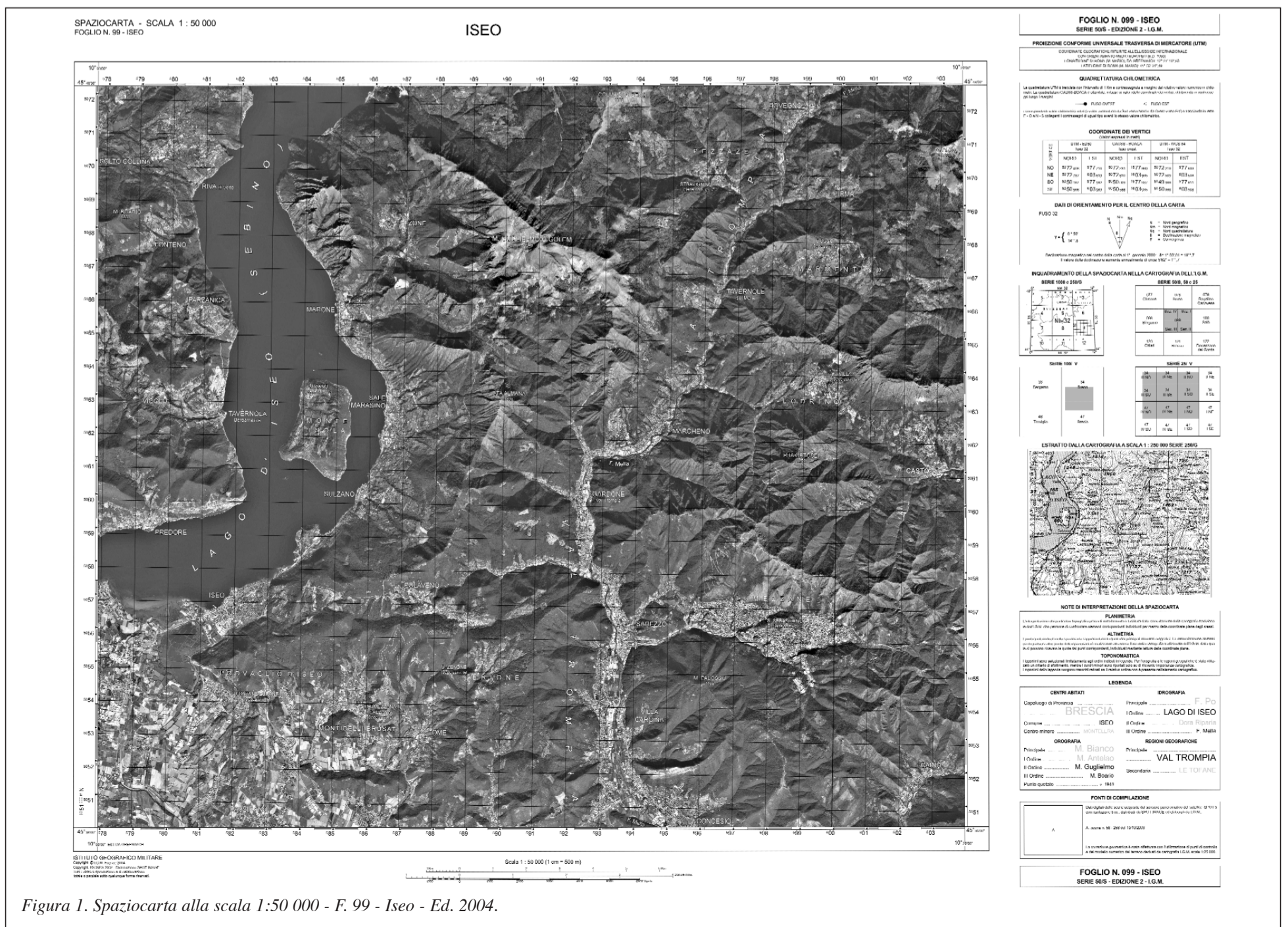


Figura 1. Spaziocarta alla scala 1:50 000 - F. 99 - Iseo - Ed. 2004.

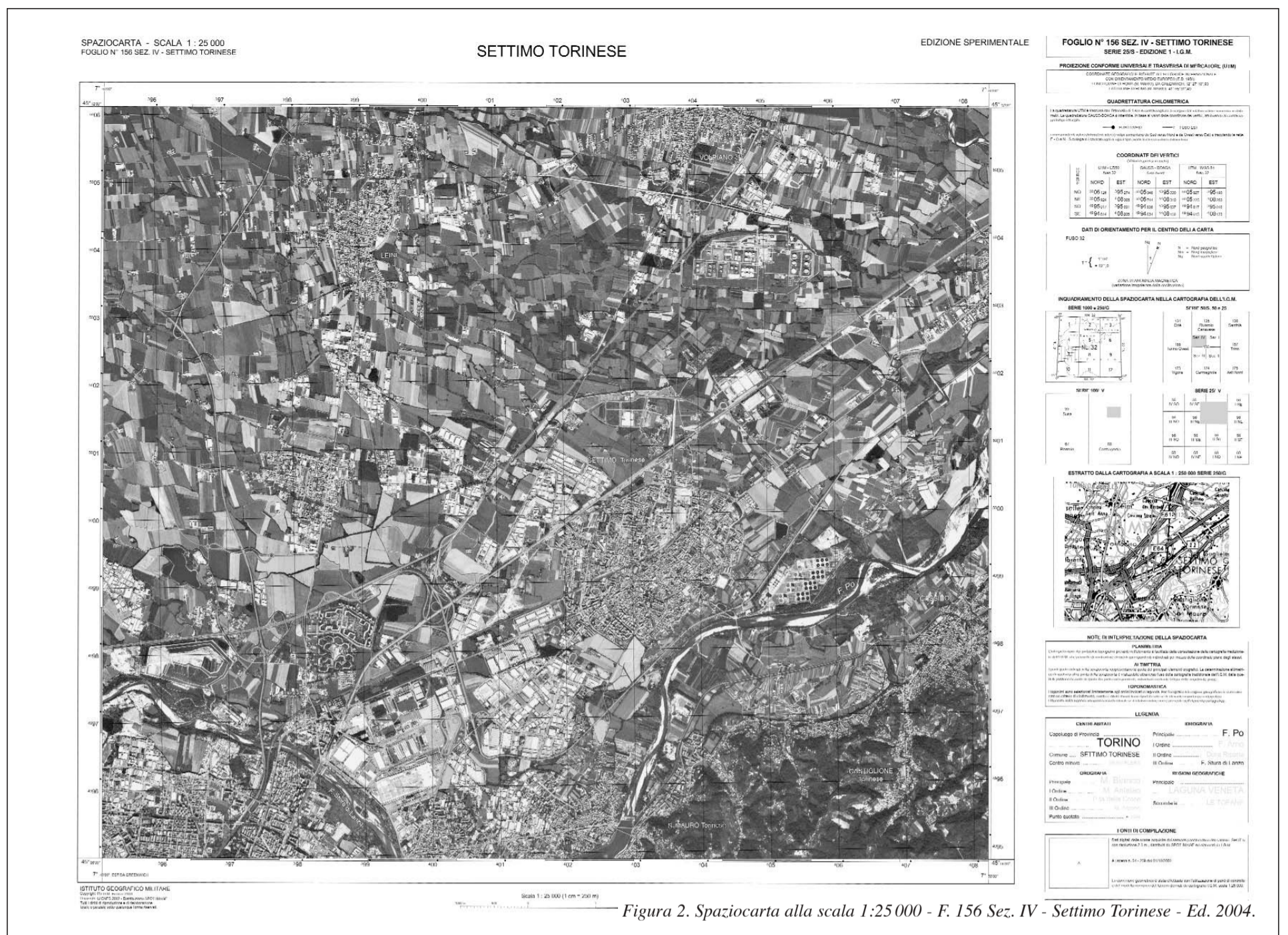


Figura 2. Spaziocarta alla scala 1:25 000 - F. 156 Sez. IV - Settimo Torinese - Ed. 2004.

di giunzione, che sia coincidente con elementi lineari di separazione tra aree con elevato scarto radiometrico.

Il miglioramento radiometrico ha lo scopo di rendere più facilmente interpretabile l'immagine, consentendo di evidenziare la presenza del maggiore numero possibile di particolari topografici; tale elaborazione viene realizzata mediante una variazione globale (*stretching*) e locale (filtraggio) dei valori radiometrici dei *pixel* che costituiscono l'immagine.

Lo *stretching* è una espansione dell'intervallo numerico utilizzato dal sistema di scansione satellitare nella registrazione dei valori di radianza della superficie terrestre. Viene realizzato mediante una tecnica interattiva che consente all'operatore di controllare in tempo reale l'effetto delle varie tecniche (lineare, equalizzazione dell'istogramma, manuale) sull'immagine rappresentata nello schermo.

Per esaltare l'effetto dello *stretching* nelle immagini che presentano zone prossime alla saturazione radiometrica, risulta conveniente la creazione di maschere grafiche, definite interattivamente o per selezione radiometrica, che consentono di operare localmente sulle singole aree individuate e di aumentare il contrasto globale dell'immagine.

Il filtraggio è realizzato con l'uso di algoritmi che, utilizzando specifici operatori 3x3 a matrice simmetrica, operano localmente sullo scarto radiometrico degli elementi limitrofi e aumentano quindi il contrasto visivo delle componenti lineari e superficiali dell'immagine.

La precisione geometrica nel posizionamento planimetrico dei particolari topografici presenti nell'immagine satellitare risulta, da apposite verifiche, inferiore ai 15 m.

Sempre nell'ambito delle immagini pancromatiche, il Servizio Telerilevamento dell'I.G.M. ha realizzato ortoimmagini per esigenze particolari, non ultime quelle militari. A titolo di esempio:

- Cartografia alla scala 1:50 000 dell'intero Kuwait da immagini SPOT (1991);
- Cartografia alla scala 1:50 000 dell'area di intervento italiano in Somalia da immagini SPOT (1992/93);
- Cartografia delle principali città dell'Albania alla scala 1:10 000 da immagini Ikonos (2000/2002)
- Cartografia dei punti sensibili ad attacchi terroristici alla scala 1:10 000 da immagini Ikonos per «Operazione Domino» (2003).

Per quello che riguarda il multispettrale, il Servizio Telerilevamento ha realizzato, soprattutto negli anni passati, alcuni prodotti, utilizzando immagini telerilevate da piattaforma aerea tramite sensore Daedalus, dotato di numerosi canali di acquisizione. Sono stati realizzati ad esempio:

- uno studio sulle emissioni termiche relative all'apparato eruttivo dell'isola di Vulcano (1989);

- uno studio sulla mucillagine nell'Adriatico (1989);
- uno studio su alcune discariche abusive in Calabria (1995).

Situazione attuale e prospettive

L'uso dei dati SPOT1/4 ha permesso la produzione, negli anni 1993/2003, di 308 su 652 elementi cartografici alla scala 1:50 000. Entro breve tempo cominceranno ad essere utilizzate le immagini alla risoluzione di 5 m dello SPOT5, consentendo di raggiungere una definizione dell'immagine senz'altro superiore rispetto al passato.

Allo stato attuale, infatti, i dati digitali della banda pancromatica dei satelliti SPOT1/5 sono ancora lo strumento più idoneo al rilievo cartografico da satellite, poiché, tra i dati per uso non militare, sono quelli che abbinano una sufficiente risoluzione geometrica ad un'ampia area abbracciata e ad un costo competitivo.

In particolare il satellite SPOT5, pur non raggiungendo le risoluzioni a terra degli altri satelliti ad alta risoluzione (1-0,6 m), presenta i seguenti vantaggi:

- basso costo di acquisto (1,5 euro/km² contro 10/22 euro degli altri);
- ampia area abbracciata dalla scena (60x60 km);
- copertura nuvolosa garantita inferiore al 10% rispetto al 20% degli altri satelliti.

Inoltre, grazie ad un più preciso posizionamento del satellite, l'immagine 1B viene fornita unitamente ad un file di coordinate relative agli angoli e al centro dell'immagine. In questo modo, l'unica correzione da effettuare è quella data dalla distorsione di altezza.

È stata adottata la scala cartografica 1:50 000, in quanto la visualizzazione dimensionale che ne deriva costituisce un valido compromesso tra l'esigenza di rappresentare un'area sufficientemente estesa e la necessità di individuare visivamente in modo agevole i particolari topografici.

Tuttavia, risulta ora possibile realizzare all'occorrenza cartografia alla scala 1:25 000 o addirittura alla scala 1:10 000, per poter coprire esigenze anche nei fuori area, a patto di disporre di adeguati punti di controllo a terra.

Nel campo del multispettrale il Servizio Telerilevamento sta sperimentando l'utilizzo delle immagini Landsat5 a 15 m di risoluzione per classificare la vegetazione e realizzare *layer* per l'aggiornamento della stessa.

In conclusione, si sta affacciando un nuovo concetto di cartografia, cosiddetta speditiva, che privilegia l'economia e la velocità di realizzazione su tutti gli altri fattori e che è destinata ad integrare la più tradizionale cartografia sistematica prodotta tramite voli fotogrammetrici. Portando al limite l'assunto, tale cartografia speditiva potrebbe addirittura essere svincolata dal concetto di serie cartografica e di scala di rappresentazione ed essere realizzata e stampata solo qualora si materializzi una determinata necessità. □