

Le misure da elicottero: miglioramento del servizio e riduzione dei costi

Per migliorare il servizio e ridurre i costi l'industria ferroviaria statunitense sta cercando di ottimizzare la capacità di trasporto passeggeri e merci ed aumentarne l'affidabilità. A causa degli altissimi costi di investimento per la realizzazione di nuovi corridoi, molte compagnie cercano di quantificare e confrontare le strutture già esistenti per renderle eventualmente compatibili con i fini produttivi da raggiungere. L'obiettivo è quello di aumentare il numero di treni, la loro capienza e la loro velocità, ma per farlo con i dovuti margini di sicurezza è necessario conoscere molti dati quali la posizione relativa tra i treni, la loro velocità, il binario che stanno percorrendo e le condizioni reali dello stesso. John E. Chance & Associates, un membro della Fugro sta mettendo a punto un sistema integrato LIDAR (Light Detecting and Ranging) dal Maggio 1995. Il suo nome è FLI-MAP ed è un sistema di scansione laser montato su un elicottero, in grado di registrare 8000 punti georeferenziati al secondo. Il sistema fa uso del GPS cinematico post-elaborato On-The-Fly (OTF) per dare la posizione dell'elicottero rispetto all'asse del rilievo, registrare l'assetto di volo, la gamma delle frequenze radar ed i dati immagine.

Ogni scansione ha una ampiezza di 60 gradi e contiene 200 misure allineate con tutte le relative informazioni. La velocità di scansione è di 40 volte al secondo con un'ampiezza di copertura che è circa uguale all'altezza dal suolo. Il sistema è accompagnato da due telecamere a colori che riprendono il terreno sorvolato dal mezzo aereo; inoltre vengono registrate tutte le comunicazioni del pilota e dell'operatore per agevolare poi l'interpretazione delle immagini. L'esatto tempo UTC viene codificato su ogni fotogramma del videofilm così da fornire un'accurata registrazione per la correzione.

Ovviamente la gestione di una quantità di dati quali 8000 punti al secondo richiede un'elaborazione a terra piuttosto complessa compiuta attraverso un PC Pentium e un software creato appositamente: FLIP 7; infine combinando questi dati georeferenziati con quelli registrati in volo si produce il DTM.

Nonostante la complessità del sistema il risparmio di tempo è notevole: la compagnia Armtrack doveva costruire un file GIS di tutte le risorse (compresi segnaletica, ponti, incroci etc.) sulla sua linea principale lunga oltre 700 km. Ebbene, il rilievo è stato completato da una squadra in soli sei giorni, fatto che consentirà ad Armtrack di raggiungere il suo scopo, cioè l'ammodernamento della linea nord-occidentale entro il 1999.



Il sistema Flimap.

(fonte: GIM international)

Dalle immagini al processo decisionale

Estrazione e impiego dei dati con le tecniche di telerilevamento

Le immagini da acquisizione remota (fotogrammetria, telerilevamento, etc.) costituiscono un patrimonio di informazioni essenziali nelle decisioni sull'utilizzo e la tutela delle risorse del territorio. Il processo di estrazione delle informazioni da tali immagini avviene in genere attraverso quattro fasi primarie:

- acquisizione delle immagini o dati raster
- correzione dell'immagine
- estrazione delle informazioni
- analisi ed interpretazione delle informazioni

Ognuna di queste fasi richiede strumenti e procedure specifiche che descriveremo brevemente nella nota che segue.

Acquisizione dei dati

In questa prima fase l'immagine della superficie terrestre viene acquisita in maniera remota (a grande distanza). I tipi di immagini remote normalmente impiegati sono i seguenti:

- immagini da satellite ad alta risoluzione, sia pancromatiche (bianco e nero) che multi-spettrali. Le immagini disponibili in commercio ed usate più comunemente sono Landsat Thematic Mapper (7 bande, risoluzione di 30m), SPOT pancromatiche (1 banda, risoluzione di 10m) e SPOT multispettrali (3 bande, risoluzione di 20m);
- fotografie aeree, disponibili a diverse scale (1:1.000/1:60.000) sia in bianco e nero che a colori. Le immagini all'infrarosso

(monocromatiche e a colori) sono utilizzate spesso per monitorare e studiare la copertura vegetale;

- immagini radar, acquisite sia dallo spazio che da aereo. Si ha un certo numero di sensori funzionali, sebbene la metodologia per l'uso commerciale delle immagini radar sia ancora da sviluppare. L'elaborazione e l'analisi delle immagini radar non viene qui discussa, nonostante molte delle fasi descritte di seguito possano essere applicate a tale tipo di immagini.

Inoltre per quanto riguarda l'acquisizione delle immagini sono necessarie ulteriori informazioni, quali:

- punti di controllo al suolo determinati con rilievi tradizionali o GPS;
- informazioni reali del suolo, ad esempio osservazioni e documentazione dettagliata delle coperture del suolo.

La fase finale dell'acquisizione dei dati (immagini e/o sensori) è la pre-elaborazione dei dati immagine. Per le immagini da satellite questa viene normalmente effettuata nella stazione di ricezione a terra ed il suo fine è quello di convertire le immagini dalla forma in cui vengono acquisite dai sensori al formato standard immagine. Varie correzioni specifiche dei sensori (calibrazione) devono essere effettuate durante questa fase. Per le fotografie aeree bisognerà prevedere una fase di conversione da formato analogico a digitale.

La maggior parte delle attività vengono compiute da providers di immagini. Al ter-

mine di questa prima fase l'utente riceve le immagini digitali in forma grossolana da un punto di vista geometrico e radiometrico, accompagnate dagli altri dati e parametri necessari all'uso.

Correzione e miglioramento dell'immagine

Le immagini non ancora elaborate ottenute dai providers di dati contengono sempre distorsioni geometriche e spesso capita anche che non siano adatte, dal punto di vista radiometrico, per la restituzione. Tali errori vengono corretti o minimizzati nella fase di Correzione e Miglioramento dell'Immagine.

Esistono tre categorie di distorsioni geometriche inerenti le immagini ancora non elaborate:

- distorsione legata alla posizione del sensore, al suo orientamento e alla sua geometria;
- distorsioni provocate dai rilievi del terreno;
- distorsioni rispetto al sistema di coordinate che si vuole adottare.

Alcune distorsioni appartenenti al primo gruppo sono comuni a tutti i tipi di immagini, ad esempio la rifrazione atmosferica e la distorsione panoramica (i pixel situati al centro dell'immagine sono più piccoli di quelli situati ai suoi margini). Altri effetti sono caratteristici di un dato tipo di sensore, per esempio l'inclinazione della camera di ripresa, le imperfezioni radiali delle lenti o le discontinuità nelle immagini da satellite causate dalla rotazione terrestre durante l'acquisizione delle linee di scansione consecutive.

Le distorsioni prodotte dai rilievi del terreno si manifestano come uno spostamento dei singoli pixel sul piano dell'im-

agine rispetto alla posizione occupata sulla carta. La grandezza dello spostamento, chiamata parallasse, è una complessa funzione della geometria del sensore e dell'immagine, della posizione del pixel nell'immagine e dell'elevazione dal terreno ad un punto dato. Per una risoluzione bassa e quasi verticale era possibile rimuovere questo tipo di distorsione con una semplice "deformata" polinomiale delle immagini. Sfortunatamente questo approccio non è adatto ad un'alta risoluzione o ad un'immagine non verticale, in cui gli spostamenti possono essere dell'ordine delle centinaia di pixel. Per tali immagini si dovrebbe conoscere l'elevazione dal terreno di ogni pixel di output dell'immagine stessa per consentire il calcolo e quindi la rimozione della parallasse. L'elevazione dal terreno può essere introdotta in varie forme, sebbene la migliore per la correzione dell'immagine sia la forma a griglia di valori di elevazione, comunemente chiamata DEM (Digital Elevation Model).

Il terzo tipo di distorsioni è causato da un orientamento sostanzialmente arbitrario delle immagini originali rispetto al sistema di coordinate della carta. Prima di poter essere analizzate, le immagini devono essere convertite in un sistema di coordinate desiderato ed allineate con gli assi. Questa operazione normalmente implica una rotazione ed una trasformazione di scala dell'immagine, ma talvolta si rendono necessarie anche trasformazioni più complesse di tipo non lineare.

Tutti e tre i tipi di correzione geometrica necessitano del ricampionamento delle immagini originali.

Il ricampionamento, comunemente definito "resampling" in letteratura specializzata, è un processo nel quale

per ogni pixel in output nel sistema di coordinate di riferimento, è necessario calcolare la posizione corrispondente nell'immagine originale (definita in letteratura come "raw image data") e ricavare il valore di input del pixel. Di solito il valore del pixel (lucentezza) deve essere interpolato dai pixel circostanti. **Tale procedimento funziona al contrario di quella che potrebbe apparire la normale logica del calcolo: si calcola per prima la futura posizione del pixel corretto, dopodiché si cercano le coordinate e i valori del pixel nell'immagine originale. Tale procedimento fa sì che nella composizione della nuova immagine non vi siano lacune o pixel vuoti.**

Il processo di interpolazione in ogni caso presenta alcune lacune o distorsioni delle informazioni nell'immagine. Inoltre è indispensabile rendere minimo il numero di passaggi di ricampionamento.

Quindi i requisiti per ottenere una correzione geometrica ottimale sono i seguenti:

- la correzione geometrica viene effettuata in un unico step di ricampionamento bidimensionale;
- tutte le fonti di distorsione sono stimate in forma esplicita;
- tutte le trasformazioni necessarie vengono descritte analiticamente, utilizzando formulazioni matematiche esatte anziché approssimazioni polinomiali;
- le immagini, sia ad un'unica banda che multi-banda, possono essere elaborate;
- i parametri dell'immagine in output (sistema di coordinate utilizzato, dimensione e posizione del pixel,

dimensioni dell'immagine corretta) sono selezionabili dall'utente.

I valori di elevazione del terreno, necessari in questo tipo di approccio, dovrebbero essere forniti da un DEM. Se non è disponibile un DEM esistente, lo strumento di correzione geometrica dovrebbe avere la capacità di derivarne uno accurato da una coppia di immagini stereoscopiche dell'area di interesse.

Lo strumento di correzione geometrica la maggior parte delle volte è implementato come un pacchetto software indipendente. Il software deve riunire le conoscenze di fotogrammetria e dinamica del satellite, la teoria delle trasformazioni di coordinate e gli elementi di elaborazione di immagini come il ricampionamento. Se è compresa anche la funzione di estrazione automatica di DEM, allora sarà necessario l'utilizzo di tecniche di interpretazione dell'immagine, dell'elaborazione statistica e di ulteriori elementi per l'elaborazione più approfondita dell'immagine, come il filtraggio e l'editing automatico di DEM.

Le immagini geometricamente corrette, che si trovano in un dato sistema di proiezione e coordinate, sono pronte per essere elaborate al computer.

La correzione radiometrica e la fase di correzione cromatica migliorano la qualità delle immagini modificando i loro istogrammi. Le tecniche usate variano dai semplici "stretches" lineari alle trasformazioni non lineari (irrazionali, esponenziali, logaritmiche). Le trasformazioni sono spesso operate in tempo reale sullo schermo, poi possono anche essere utilizzate per modificare permanentemente i valori dei singoli pixel.

Ulteriori approcci di trattamento radiometrico sofisti-

cato considerano altre proprietà ottiche, che intervengono nell'atmosfera e nel sensore che raccoglie l'immagine, per correggere la distorsione del segnale tra la superficie riflettente e il sensore.

Estrazione delle informazioni

L'obiettivo di questa fase è di convertire la variazione dei valori in pixel dell'immagine in una descrizione del contenuto dell'immagine stessa. A seconda del tipo di immagine e degli strumenti che possiede l'utente, possono essere effettuate le seguenti operazioni:

- classificazione dell'immagine;
- digitalizzazione vettoriale;
- estrazione delle caratteristiche;
- compressione dell'informazione;
- analisi geomorfologica, nel caso in cui sia stato estratto, durante la fase precedente, un DEM.

La classificazione dell'immagine (o segmentazione) la suddivide in aree dello stesso tipo di copertura del territorio: ad esempio forestale, urbano e agricolo. A seconda del contenuto dell'immagine (la sua risoluzione spaziale e il numero di bande spettrali), può essere fatta anche una classificazione più precisa, ad esempio dividendo le foreste in conifere o decidue o anche in singole specie di alberi. Ci sono molti algoritmi di classificazione, da quelli per una classificazione più grossolana, automatica e non supervisionata, a quelli che utilizzano nuove tecniche di "fuzzy logic" e reti neurali.

Ogni algoritmo ha i suoi pregi e i suoi difetti ed è importante rendere compatibile lo strumento con le proprietà dell'immagine che si ha sotto mano. La possibilità di post-elaborare i risultati della clas-

sificazione è ugualmente importante, per esempio per rimuovere piccolissime "isole" da una classe ad un'altra.

Normalmente la classificazione consiste nella divisione dell'immagine in un certo numero di poligoni non sovrapponibili appartenenti alle classi già determinate. Se si ha anche un'informazione indipendente (le caratteristiche proprie del terreno), i poligoni possono essere corredati di attributi che descrivono il loro contenuto.

Il fine della digitalizzazione vettoriale è quello di ricavare la forma ed altre caratteristiche di elementi lineari, come le strade, le ferrovie, etc.. I vettori vengono usati anche per delineare zone, come laghi o confini di aree urbane. La digitalizzazione vettoriale in genere può essere eseguita su immagini singole o in sovrapposizione di vecchie mappe, come nel caso di progetti di aggiornamento.

La digitalizzazione vettoriale talvolta viene assistita dall'estrazione di caratteristiche in automatico. In questi casi un elemento lineare può essere derivato automaticamente, lasciando ad un operatore il compito di risolvere situazioni ambigue (per esempio i margini di una strada offuscata dagli alberi) e della modifica finale dei vettori trovati.

Un altro tipo di estrazione delle caratteristiche coinvolge l'analisi spettrale (molto spesso trasformazioni di Fourier) per trovare nell'immagine elementi direzionali non evidenti, spesso a larga scala, come i lineamenti geologici.

Infine, la disponibilità di un DEM permette di ricavare numerose altre caratteristiche del terreno, che migliorano la comprensione dell'immagine stessa. L'estrazione della pendenza, ad esempio, sarà utile per quantificare il deflusso del-

le acque ed il rischio associato all'erosione, mentre la definizione dell'esposizione potrà servire a capire l'esposizione solare o al vento, elementi che entrambi condizionano la crescita e il tipo di vegetazione.

Le funzioni descritte a questo stadio sono fornite nella maggior parte delle analisi compiute sull'immagine e dei sistemi di elaborazione, sebbene il grado di potenza, efficienza e semplicità d'uso varino enormemente. L'elaborazione in questa fase si esplica in diversi tipi di informazioni, immagazzinate digitalmente come immagini (ad esempio immagini della pendenza del terreno), vettori digitalizzati, poligoni per la classificazione, allocazione delle varie caratteristiche e dei loro attributi. Il ruolo del software per l'elaborazione dell'immagine termina qui, poiché i dati vengono esportati a sistemi dedicati, normalmente GIS, che effettuano l'analisi e l'interpretazione finale.

Analisi ed interpretazione dell'informazione

I sistemi di analisi estraggono l'informazione dalle immagini; nella maggior parte delle applicazioni pratiche l'informazione così ottenuta deve essere combinata con altri dati per arrivare alle decisioni richieste.

Questi dati ulteriori includono comunemente un insieme di diverse informazioni spaziali e di attributi, in una vasta gamma di tipi di dato e di formati. I dati referenziati nello spazio possono essere presenti in forma di carte (digitali o analogiche), di insiemi di dati vettoriali, di censimenti, risultati di rilievi geofisici e geologici, etc.

Un sistema di analisi spaziale o GIS viene spesso usato per riunire l'immagine e le al-

tre informazioni spaziali o non spaziali con il proposito di analizzarle ed interpretarle. Il GIS facilita l'analisi e consente all'operatore di produrre risposte formattate spazialmente a problemi formulati nello spazio. In un senso molto ampio i risultati di tali analisi sono una rappresentazione del costo della soluzione.

La rappresentazione digitale raramente è l'ultimo passo del processo. La gran parte degli utenti richiede un output formattato graficamente per la presentazione di un progetto, anche perché è indispensabile per prendere delle decisioni. L'analisi spaziale e i GIS sono strumenti utili tanto per l'interpretazione e l'analisi dei dati immagine quanto per la loro praticità fornita attraverso le varie opzioni in output. Ciò consente all'utente di rappresentare i risultati dell'analisi spazialmente, in forma di carte, grafi o diagrammi statistici, oppure in relazioni tabellari e riassuntive.

Dalle immagini acquisite in forma remota alle applicazioni di analisi territoriali complesse, la tecnologia odierna è in grado di portare grossi contributi per la risoluzione accurata e tempestiva di problemi spaziali.

Assumendo quindi che il problema sia stato definito correttamente, che i dati disponibili contengano sufficienti informazioni per indurlo e che gli strumenti analitici vengano selezionati ed utilizzati propriamente, in tal modo l'informazione estratta dall'immagine acquisita in forma remota costituisce indubbiamente una risorsa inestimabile per prendere decisioni in campo territoriale.

Julius A. Ostrowski è Senior Scientist presso la PCI Enterprises e John Crant è Sales Manager per l'Asia (versante Pacifico) presso la Tydac Technologies

Traduzione a cura M. Bertolini