Aumento della Risoluzione di DEM Mediante Integrazione di Dati Multi-Source

Francesco PIROTTI*, Alberto GUARNIERI*, Antonio VETTORE*

*CIRGEO – Centro Interdipartimentale di Cartografia, Fotogrammetria, Telerilevamento e SIT - Università degli Studi di Padova – Viale dell'Università 16 – 35020 Legnaro (PD) – Tel. 049-8272688/2522 Fax. 049-8272686
e-mail: cirgeo@unipd.it – web: www.cirgeo.unipd.it

Riassunto:
Negli ultimi tempi si è visto un aumento esponenziale della disponibilità di dati acquisiti da sensori remoti provenienti da strumenti diversi per diverse necessità. Per quanto riguarda l'informazione sulla quota della superficie terrestre vengono utilizzati strumenti quali il laser da aeromobile (Lidar), l'interferometria RADAR (SAR), immagini digitali stereoscopiche e strumenti a terra facenti uso di piattaforme remote come il GPS. Spesso gli operatori sono confrontati dalla disponibilità di dati provenienti da diverse fonti, con risoluzione diversa, accuratezze diverse e formati differenti. Poter integrare questi dati tra loro in una singola unità, mantenendo le caratteristiche di accuratezza e mettendo solo il valore aggiunto di ogni elemento è un'operazione di interesse operativo e scientifico.

Metodi già utilizzati nell'analisi statistica, come l'analisi delle componenti principali, o prettamente nell'analisi delle immagini digitali, come il metodo delle armoniche nel dominio della frequenza, possono essere operazioni valide per trovare le soluzioni più adatte per questo obiettivo. Il metodo dovrebbe però essere implementabile su dati in formato raster con risoluzioni diverse, e poter fornire miglioramenti sensibili sulla risoluzione finale dell'immagine.

Nel seguente lavoro è stato creato un modello in scala di un territorio orograficamente irregolare . Questo modello servirà come controllo per i nostri risultati in quanto risulta facilmente misurabile e rilevabile. Viene infatti fotografato e rilevato mediante diversi strumenti per ricavare una quantità di dati con diverse caratteristiche che verranno poi integrate tra loro per migliorare la qualità totale. Infine il modello viene scansionato ad altissima risoluzione per ottenere un modello digitale del terreno con un'alta accuratezza e poter quindi controllare i nostri risultati.

Introduzione

L'utilizzo ormai comune delle immagini digitali e delle tecnologie per elaborarle ha dato luogo ad una crescente serie di applicazioni per migliorare o velocizzare le operazioni. Una di queste applicazioni è la generazione automatica di DEM da immagini digitali. I DEM sono spesso utilizzati insieme ad immagini telerilevate per assistere al processo di classificazione. Inoltre un DEM permette di creare modelli tridimensionali mediante la procedura di *draping* e quindi di aumentare la qualità della visualizzazione di un territorio.
Nel caso della generazione automatica di DEM la risoluzione delle immagini stereoscopiche utilizzate gioca un ruolo fondamentale. Risulta perciò utile poter utilizzare delle immagini a risoluzine più bassa per creare un miglioramento della risoluzione da utilizzare poi nel processo suddetto. Questo può essere fatto riprendendo lo stesso oggetto più volte con una traslazione

spaziale di grandezza al di sotto del pixel. Ognuna di queste immagini fornisce un campionamento diverso della geometria dell'oggetto ripreso, e quindi è possibile integrare le informazioni per produrre una rappresentazione più dettagliata dell'oggetto. Per determinare il rapporto spaziale tra le immagini si utilizza un algoritmo di registrazione che utilizza un'area di sovrapposizione tra immagini e ne valuta quale matrice di rototraslazione fornisce il miglior valore di *matching*.
Per poi generare l'immagine a risoluzione migliorata si utilizza il metodo delle armoniche per assegnare i valori adatti alle singole celle nel raster.

Metodi

Le procedure per eseguire i passaggi che portano al miglioramento della risoluzione spaziale dell'immagine si dividono in una parte di registrazione ed una parte di aumento della risoluzione utilizzando i risultati delle registrazione. La parte di registrazione serve per inquadrare un'immagine rispetto ad un'altra nello spazio e quindi valutare in modo corretto le traslazioni e rotazioni di un'immagine rispetto all'altra. Come verrà esposto in seguito questo è necessario per calcolare i fattori geometrici nel modello armonico.

Per riassumere i passaggi da eseguire sono i seguenti:

- Raccolta di un numero di immagini per ogni posizione di presa della camera
- Determinare offset del pixel tra un'immagine e l'altra registrando le immagini tra loro con il metodo della minimi quadrati.
- Creare delle equazioni utilizzando gli offset osservati e utilizzando la teoria delle armoniche migliorare la risoluzione.
- Applicare le equazioni per ottenere un'unica immagine a risoluzione maggiore
- Estrarre il DEM dalle immagini migliorate per valutarne il miglioramento

Raccolta immagini

Siccome l'obiettivo è quello di produrre un modello digitale del terreno da immagini digitali stereo che abbiano risoluzione maggiore grazie al nostro metodo, vengono scattate delle foto del nostro modello da tre punti diversi, come per simulare un volo fotogrammetrico. Il centro della camera viene quindi a trovarsi a destra, in centro e a sinistra del nostro modello. Da ognuno di questi tre punti di presa, vengono scattate sei foto, modificando leggermente la posizione della camera. Questi tre set da sei immagini saranno utilizzati nelle elaborazioni. Le sei immagini a risoluzione relativa = 1 verranno migliorate per fornire un'immagine unica con risoluzione relativa = 0.6.

La registrazione relativa delle immagini

Per poter procedere al miglioramento della risoluzione è necessario orientare relativamente le immagini tra loro. Questa operazione di registrazione ha come risultato di orientare ogni immagine in un sistema di riferimento relativo ad un'immagine presa come riferimento.

Nel seguente lavoro viene utilizzato per la registrazione un metodo che si basa sul matching dell'andamento dei valori di grigio di zone corrispondenti tra le due immagini. Le differenze geometriche rilevate durante il matching delle immagini corrispondono a potenziali traslazioni e rotazioni tra immagini. Vengono considerati tre fattori importanti: non è noto l'orientamento iniziale delle due immagini tra loro; non è noto il grado di traslazione tra due immagini; il risultato deve dare risposte accurate di registrazione. Questo metodo permette di registrare tra loro immagini senza utilizzare nessun punto di controllo iniziale. Utilizza le caratteristiche spettrali delle immagini per correlarle tra loro e trovare l'orientamento che fornisce la correlazione più alta. E' anche vero che per ottimizzare i risultati le immagini devono avere delle caratteristiche che permettano di trovare zone di correlazione tra loro, ossia zone con elementi ad alto contrasto ma

non troppo netto. Un contrasto troppo netto verrebbe eliminato durante il ricampionamento dell'immagine ad una risoluzione minore. Elementi invece che hanno un alto contrasto che però si esplica nello spazio in modo non netto sono migliori per le nostre necessità. Ovviamente zone a colore uniforme non sono assolutamente utili.

La matrice di roto-traslazione che dà i risultati migliori deve essere trovata con il metodo dei minimi quadrati per evitare che differenze radiometriche tra le immagini vadano a inficiare l'elaborazione. Il target per questo genere di operazione è di ottenere un posizionamento relativo accurato fino al decimo di pixel.

Il modello armonico ed il miglioramento dell'immagine

Ogni pixel rappresenta la media della riflettanza dell'area ripresa da esso dell'oggetto. Per forza di cose l'informazione ottenuta è solo parte di quella esistente come visibile in figura 1, e si perdono dettagli. L'oggetto perde così di definizione. L'implementazione del metodo di questo lavoro vede il mappaggio dei pixel a bassa risoluzione su una griglia a risoluzione più alta (vedi figura 2).

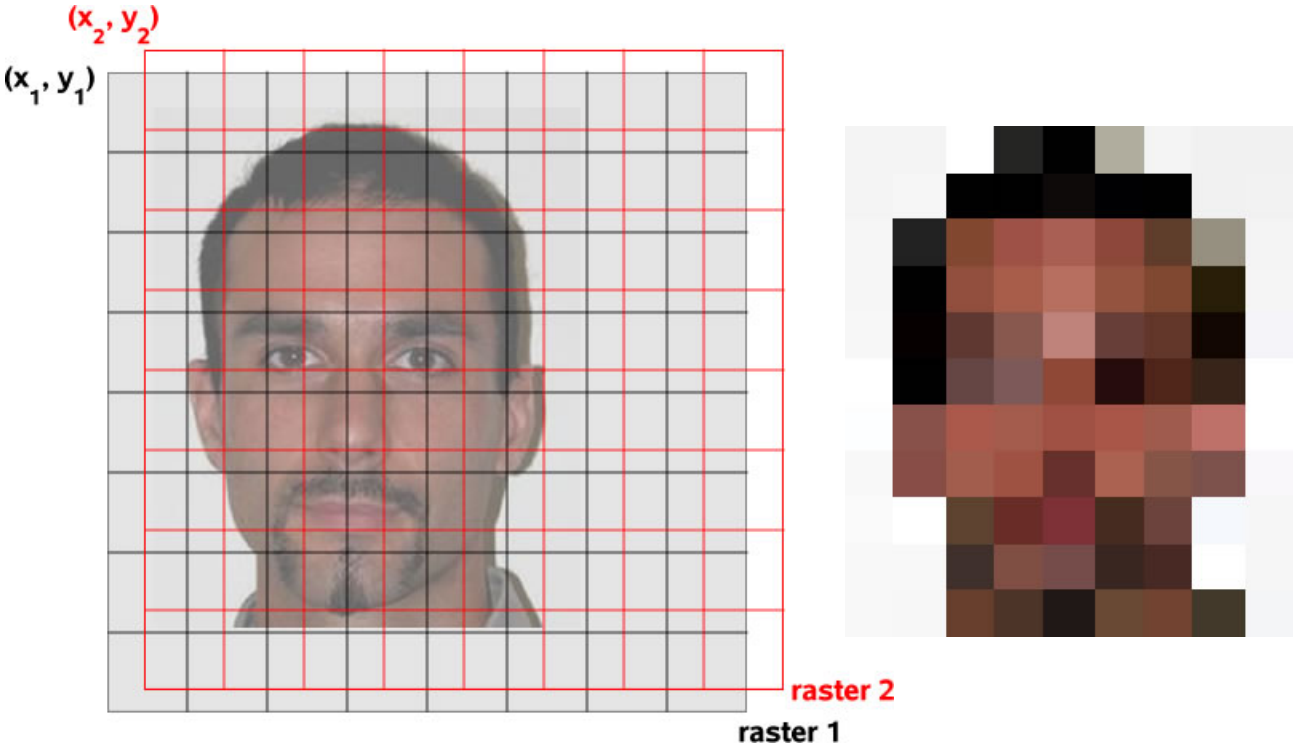

Figura 1 – Griglie di campionamento (immagini) di un oggetto (sinistra); risultato del campionamento (destra)

Definiamo con l'abbreviazione AR la griglia per l'immagine ad alta risoluzione, con le coordinate $AR_{(0,0)}$ - $AR_{(n,n)}$ e le varie immagini a bassa risoluzione BR1 BR2 BR*n*. Inoltre R è il rapporto di ricampionamento ovviamente maggiore di 1 (rapporto della risoluzione delle immagini originali e quello della risoluzione dell'immagine creata). Questo rapporto non può superare un fattore 2 per il teorema di Nyquist che un segnale continue per essere ricostruito da campionamenti, è necessario che questi campionamenti abbiano una frequenza maggiore di due volte la larghezza di banda [1]. L'elemento A invece rappresenta la proporzione dell'area del pixel dell'immagine ad alta risoluzione ricoperta dalla cella della griglia a bassa risoluzione (vedi figura 2). Si può definire così una relazione di BR in funzione di AR e viceversa (vedi equazione 1)

$$BRn_{(1,1)} = [\ A^{AR}_{(x,y)} * VG^{AR}_{(x,y)} + A^{AR}_{(x,y)} * VG^{AR}_{(x,y)} \ldots\ ] * R^{-2} \qquad [1]$$

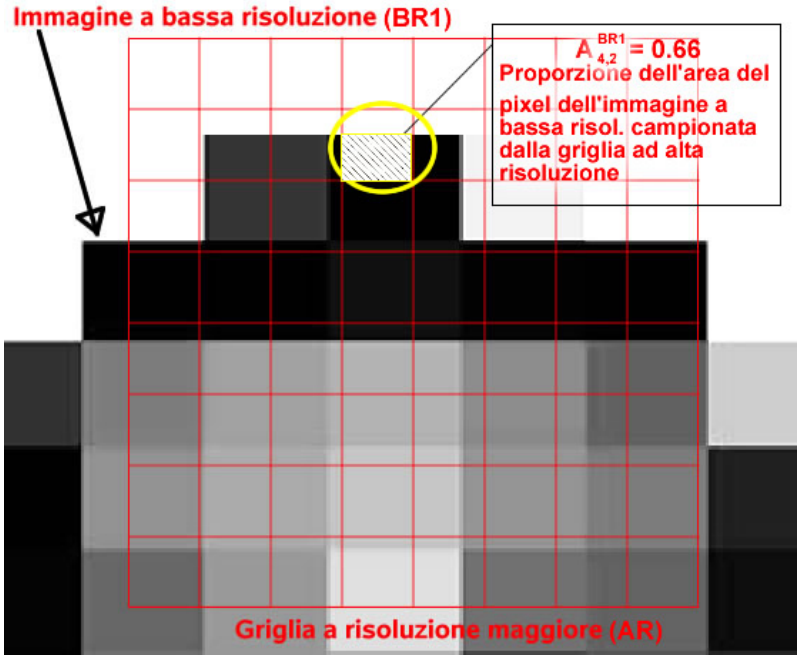

Figura 2 – Griglia ad alta risoluzione per assegnare valori delle immagini a bassa risoluzione

Per raggiungere una risoluzione che migliori di due volte quella iniziale ci sarà bisogno di un certo numero di immagini a bassa risoluzione. Il numero di immagini dipende dal rapporto S/N (signal to noise ratio) ovvero il rumore, ed inoltre alla traslazione di un'immagine rispetto all'altra. E' evidente che se per assurdo due immagini a bassa risoluzione fossero esattamente prese dalla stessa posizione ed orientamento, le griglie a bassa risoluzione sarebbero esattamente sovrapposte e non sfalsate come dovrebbero idealmente essere (vedi figura 1) e quindi non ci sarebbe un valore aggiunto di informazione dalla seconda immagine. Quindi il numero di immagini necessarie dipende anche dalla loro posizione relativa tra loro.

L'analisi di Fourier o delle Armoniche è il procedimento di trovare i parametri del segnale che approssimazione meglio la nostra immagine utilizzando il metodo dei minimi quadrati. In equazione 2 è visibile la forma standard della serie di Fourier per un segnale periodico. Risolvendo il set di equazioni della serie di Fourier con il metodo dei minimi quadrati

$$F(x) = \tfrac{1}{2}\, a_0 + a_1 \cos WX + b_1 \sin WX + a_2 \cos 2WX + b_2 \sin 2WX + \ldots. \qquad [2]$$

I coefficienti per la serie di Fourier vengono ricavati mediante la realizzazione di una serie di funzioni per risolvere per i coefficienti. Queste funzioni utilizzano la relazione spaziale delle immagini a bassa risoluzione rispetto a quelle ad alta risoluzione come in equazione 1. Risolto le equazioni con il metodo dei minimi quadrati, si ottiene la serie di Fourier che può poi essere utilizzata per ricavare i valori di grigio dell'immagine a risoluzione migliorata.

Applicazioni ed Analisi

L'applicazione prevedeva l'utilizzo del procedimento su immagini di un modello in gesso di un territorio orograficamente irregolare (vedi immagine 3). A questo punto dell' sviluppo del procedimento però non si è ancora passati a questa implementazione, ma si è nella fase di sperimentazione del processo su immagini per passare da bassa ad alta risoluzione. Il passo successivo sarà quello di applicarlo al modello in gesso. L'interesse per questo modello risiede nel

fatto che è stato rilevato con laser-scanner a precisione di 0.5 mm. Per questo dall'immagine si notano i punti di controllo costituiti da rilievi sferici, utili per la registrazione delle scansioni. Sono state eseguite ed allineate 26 scansioni per fornire il modello completo. Una volta ottenute le nuvole di punti e fatta l'operazione di meshing è stato ricavato un DEM con accuratezza sub-millimetrica (0.5 mm). Questo DEM verrà utilizzato per valutare i risultati dell'estrazione del DEM dello stesso oggetto da immagini migliorate mediante il procedimento sopra descritto.

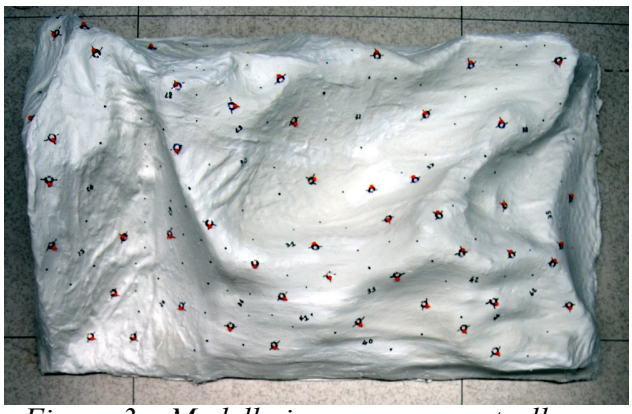

Figura 3 – Modello in gesso per controllo DEM ottenuto.

La parte che si sta sviluppando ha utilizzato invece delle immagini ricampionate a caso da un software di grafica. Queste immagini ricampionate a bassa risoluzione sono state poi elaborate per crearne una a risoluzione maggiore come visibile in figura 4. E' da notare che per ottenere un risultato soddisfacente, è stato necessario assicurarsi che il ricampionamento per ottenere le immagini a bassa risoluzione fosse fatto in maniera da ottimizzare la disponibilità di informazioni, ossia che il pixel di ogni immagine fosse spazialmente traslato in modo da creare una maglia più fitta che si adattasse meglio a quella dell'immagine a risoluzione maggiore.

Sono state utilizzate 16 immagini a bassa risoluzione, per coprire idealmente 4x per lato il pixel, quindi 16x la maglia a risoluzione bassa. Quindi il valore di A (vedi equazione 1) è un multiplo di 0.0625 (1/16) a seconda di quanto viene coperta la cella a risoluzione minore da quella a risoluzione maggiore.

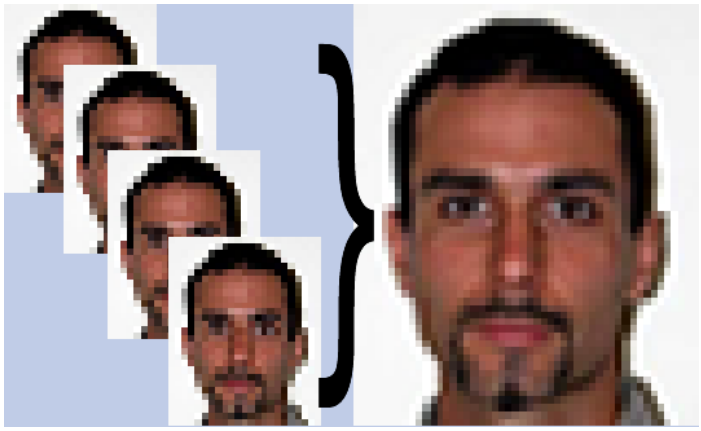

Figura 4 – Immagini a bassa risoluzione e risultato.

Conclusioni

Il naturale proseguimento di questo lavoro consiste come menzionato prima nell'applicare la procedura a immagini da fotografia digitale remota. Il modello in gesso deve essere fotografato e le immagini registrate tra loro in modo da poter proseguire con il miglioramento della risoluzione. Le caratteristiche del modello potrebbero dare delle difficoltà, come ad esempio la mancanza di zone all'interno dell'immagine con margini definiti o almeno ad alto contrasto. L'immagine in figura 3 infatti è stata elaborata per migliorare il contrasto e quindi la visualizzazione per questo articolo, quindi non fornisce una testimonianza chiara dell'andamento dei valori di grigio nell'immagine che sono più omogenei. In un caso di fotografia aerea reale questo non dovrebbe essere un problema dato che solitamente il territorio offre zone ad alto contrasto, a meno che non si utilizzano immagini del deserto sabbioso con il sole allo zenith o foreste fitte monospecie senza rilievi orografici.
Idealmente si vuole implementare la procedura al modello, e poi alle immagini digitali. Questo tipo di procedura, se automatizzata anche con un metodo ci registrazione semi-automatico, può essere di aiuto al professionista che vuole integrare immagini diverse in un'unica immagine. Gli ostacoli ci sono, come ad esempio le deformazioni, che se non sono costanti per ogni immagine

rischiano di inficiare il procedimento, o differenze nel territorio dovute ad immagini prese in momenti diversi e quindi con elementi aggiunti o sottratti (costruzioni, macchinari, disboscamenti etc…). E' però uno strumento che può essere utilizzato quando si ha la possibilità di avere diverse immagini riprese della stessa zona. Basti immaginare ad esempio un futuro dove la tecnologia potrà permettere ad un volo fotogrammetrico o anche ad un sensore satellitare di scattare diverse foto leggermente sfalsate nello spazio e quindi fornire una valida fonte di dati per questo procedimento. Le stazioni di elaborazione a terra possono automatizzare il miglioramento della risoluzione dato che hanno i parametri di orientamento della camera precisi e possono quindi registrare le immagini in modo preciso ed automatico.

Bibliografia

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist-Shannon_sampling_theorem

[2] Fryer J. Scalmana G., Improving DEM Generation by Enhancing the Resolution of Remotely Sensed Digital Imagery, Proceedings of the Open source GIS – GRASS users conference 2002 – Trento Italy 11-13 September