

ESTRAZIONE AUTOMATICA DI MODELLI DIGITALI DEL TERRENO IN FOTOGRAMMETRIA DIGITALE

Massimo FABRIS (*), Paolo BALDI (*)

(*) Dipartimento di Fisica – Settore Geofisica

Università di Bologna, Viale Berti Pichat, 8 – 40127 Bologna

(**) Laboratorio di Rilevamento e Geomatica – DAUR – Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Rilevamento

Università di Padova, Via Marzolo, 9 – 35131 Padova, e-mail: massimo.fabris@unipd.it

Riassunto

Una delle metodologie più efficienti per la produzione di Modelli Digitali del Terreno (DTM) di aree anche di grandi dimensioni, è la fotogrammetria digitale aerea; nel lavoro vengono analizzati differenti DTM prodotti tramite estrazione automatica dal software *Socet Set*, e valutati i coefficienti di correlazione forniti per ciascun punto.

Dopo aver corretto manualmente in stereoscopia il DTM estratto, è stato effettuato il confronto tra ciascun DTM editato (di riferimento) e quelli ottenuti automaticamente: la distribuzione dei residui così ottenuta, la mappa delle pendenze, delle aree vegetate, e quella che rappresenta la distribuzione planimetrica del parametro (FOM) legato al processo di estrazione automatica, sono state quindi confrontate. Dai risultati si evincono elevate correlazioni tra le mappe delle pendenze e quelle del FOM.

Abstract

The Digital Elevation Models (DTMs), which provide a tridimensional representation of the physics surface of the earth, can be extracted by means of different methodologies as the digital aerial photogrammetry; in the work are analyzed different DTMs automatically extracted with the *Socet Set* software evaluating the correlation coefficient provided for each single extracted point.

The DTMs has been manual edited by means of the stereoscopic vision and has been compare each DTM edited (reference) with the automatic ones; the residual distribution obtained, the slope map and the planimetric distribution of the correlation coefficient has been compare. The results provide high correlation only between slope maps and correlation coefficient ones.

Introduzione

La fotogrammetria digitale aerea è una tecnica di rilievo che permette di ottenere Modelli Digitali del Terreno (DTM) in tempi relativamente brevi e con precisioni elevate. Tuttavia, anche se i processi fotogrammetrici digitali sono in gran parte automatizzati, non sempre i prodotti estratti soddisfano le esigenze di accuratezza e precisione richieste: l'intervento manuale dell'operatore è indispensabile per la rimozione di *outliers*, per la correzione della quota dei punti nelle aree di scarsa correlazione e per l'adattamento delle curve di livello alla reale morfologia del terreno nelle aree urbane e boschive. Spesso la fase più critica, in termini di tempo necessario alla generazione del prodotto finale, consiste proprio nella fase di *editing* manuale del DTM estratto automaticamente.

Nel lavoro vengono analizzati sette differenti *set* di dati relativi ad un'area in frana (Rocca Pitigliana – Bologna) (quattro rilievi effettuati nel 1976, 1986, 1988 e 1993), e a tre diversi edifici vulcanici (l'isola di Vulcano – isole Eolie, rilievo del 1996, il vulcano *Piton de la Fournaise* – isola di *La Reunion* – Francia, rilievo del 1997 e l'isola di Panarea – isole Eolie, rilievo del 2003).

Da ciascun rilievo è stato estratto automaticamente un DTM mediante il software *Socet Set*, valutando il rispettivo parametro di correlazione (*Figures Of Merit* – FOM) fornito automaticamente per ciascun punto estratto (Baltsavias et al., 1996; Baltsavias et al., 2001).

Il parametro di correlazione FOM

Il parametro di correlazione FOM fornisce, per ciascun punto estratto, un valore che rappresenta la qualità nel calcolo automatico della quota del punto: può indicare che la misura automatica è discutibile (ma non necessariamente che i punti devono essere editati manualmente), il successo della correlazione, o il tipo di *editing* che è stato utilizzato per la correzione della quota dei punti. Il FOM fornisce valori numerici compresi tra 0 e 99: valori compresi tra 0 e 32 indicano che la correlazione ottenuta nell'estrazione dei punti non è soddisfacente, mentre negli altri casi il coefficiente dovrebbe essere proporzionale al grado di affidabilità del dato misurato.

I valori inferiori a 33 indicano categorie diverse di approcci utilizzati per risolvere il problema della mancata correlazione: ad esempio, il valore 4 corrisponde a punti in corrispondenza dei bordi della griglia del DTM dove, dopo il fallimento della correlazione automatica, viene associata una quota estrapolando le quote dei punti interni alla griglia che hanno fornito un buon FOM; il valore 6 corrisponde invece ai punti interni alla griglia del DTM la cui quota, fallendo la correlazione, viene calcolata tramite interpolazione partendo dalle quote dei punti circostanti.

L'analisi effettuata ha lo scopo di valutare se il valore del coefficiente di correlazione può essere utilizzato per delimitare le aree che necessitano effettivamente dell'*editing* manuale (BAE Systems, 2006).

I dataset analizzati

L'analisi è stata condotta utilizzando sette rilievi aerofotogrammetrici effettuati negli ultimi decenni in quattro diverse aree: la frana di Rocca Pitigliana (valle del fiume Reno, Appennino bolognese), il vulcano *Piton de la Fournaise* (Isola di *La Reunion*, Francia), l'Isola di Vulcano e l'Isola di Panarea (Arcipelago delle Isole Eolie).

Le caratteristiche morfologiche delle quattro aree analizzate possono sostanzialmente dividersi in due parti: vi sono tre aree vulcaniche con la presenza di pendii molto ripidi e falesie pronunciate che complicano la procedura di correlazione automatica delle immagini, e un'area in frana sull'Appennino bolognese con pendenze ridotte; inoltre, la prima serie di immagini è caratterizzata da una ridotta presenza di vegetazione.

La tabella 1 riassume le principali caratteristiche dei rilievi fotogrammetrici considerati. Le diapositive, ad eccezione di quelle derivate dal rilievo effettuato su *Piton de la Fournaise*, sono state rasterizzate mediante l'utilizzo dello scanner fotogrammetrico *Wehrli Raster Master RM2*.

Area	Data	Camera metrica	N. immagini	Scala media	Risoluzione (dpi)	Dimensione pixel a terra (cm)
Panarea	2003	Wild RC20	3	1:10000	1016	25
Piton	1997	RMK TOP 15	2	1:30000	1814	42
Rocca Pitigliana	1976	RMK A 15/23	2	1:17000	2116	20
Rocca Pitigliana	1986	RMK A 15/23	2	1:37000	2116	45
Rocca Pitigliana	1988	Wild RC10	2	1:34000	2116	41
Rocca Pitigliana	1993	Wild RC20	2	1:36000	2116	44
Vulcano	1996	Wild RC20	36	1:10000	1016	25

Tabella 1 – Caratteristiche principali dei sette rilievi aerofotogrammetrici considerati

Orientamento delle immagini

L'orientamento delle immagini digitali per la creazione dei modelli stereoscopici è stato effettuato mediante il software *Socet Set*: per tutti i rilievi fotogrammetrici era disponibile il certificato di calibrazione delle relative camere metriche.

Per i voli sulle isole di Panarea e Vulcano sono stati utilizzati come punti fotografici d'appoggio appositi segnali a terra misurati con la metodologia GPS; nel caso dei restanti rilievi, sono stati identificati a posteriori su tutte le immagini punti naturali localizzati in zone ritenute stabili e successivamente misurati con il GPS. In ogni caso i risultati dell'orientamento interno ed esterno hanno presentato valori compatibili con la scala media dei fotogrammi e la risoluzione a terra.

Estrazione automatica di DTM

L'estrazione automatica di DTM è stata effettuata con il software *Socet Set*, utilizzando il formato *grid* e modalità *adaptive ATE* (*Automatic Terrain Extraction*).

Per i rilievi delle isole di Panarea e Vulcano, l'estrazione automatica ha evidenziato, come atteso, valori non corretti (FOM inferiore a 33) in corrispondenza del mare (figura 1): eliminando queste aree il valore medio del FOM è risultato 57.1 per Panarea e 54.4 per Vulcano.

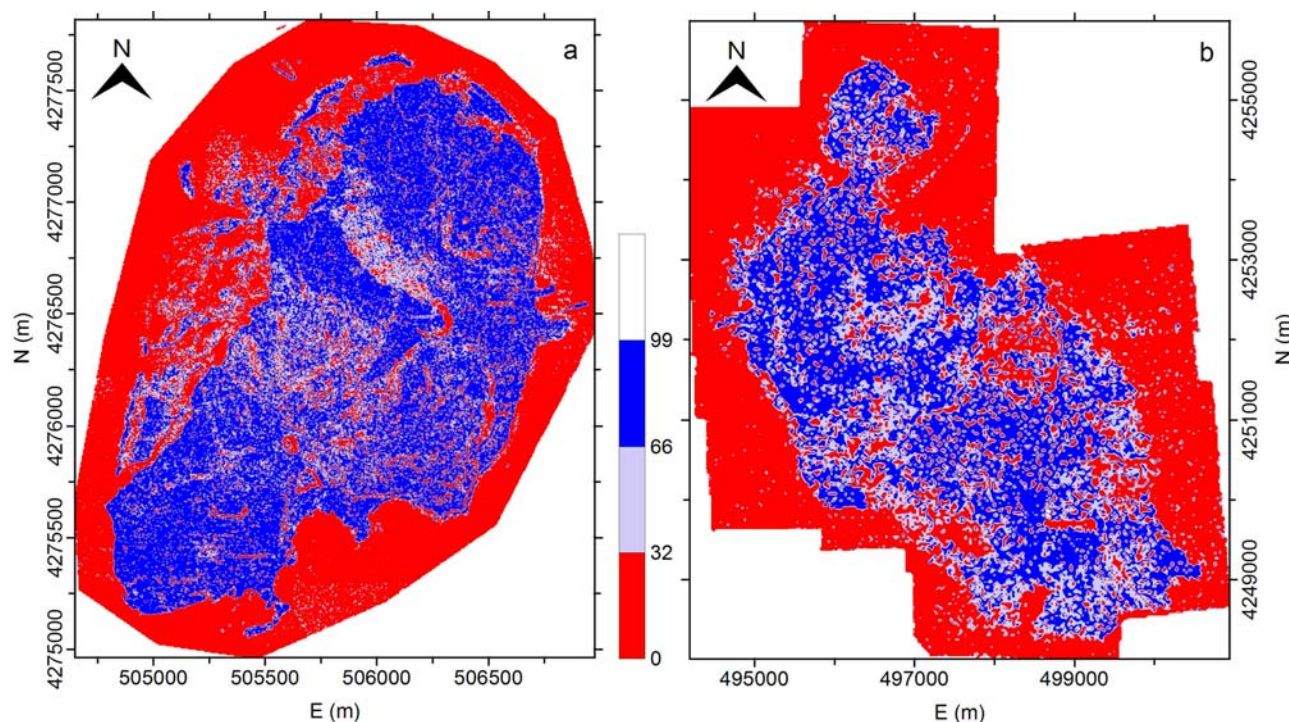


Figura 1 – Distribuzione planimetrica del parametro FOM per le Isole di Panarea (a) e Vulcano (b); le aree corrispondenti alla superficie del mare non consentono la correlazione automatica e la conseguente estrazione del DTM

Per quanto riguarda le altre aree analizzate, l'assenza di zone a priori non correlabili ha permesso di considerare nell'analisi l'intero *dataset* ottenuto.

Le caratteristiche principali dei DTM prodotti sono evidenziate in tabella 2.

I DTM prodotti automaticamente sono stati quindi editati per adattare le curve di livello del modello digitale alla reale morfologia del terreno nelle zone di scarsa correlazione (~ 30% del totale), ma anche in corrispondenza della vegetazione e di edifici isolati (~ 50% del totale).

Dopo aver corretto manualmente in stereoscopia il DTM estratto, è stato effettuato il confronto tra ciascun DTM editato (di riferimento) e quelli ottenuti automaticamente: la distribuzione dei residui così ottenuta, la mappa delle pendenze, quella della vegetazione e quella che rappresenta la distribuzione planimetrica del coefficiente di correlazione FOM, sono state quindi confrontate.

Area	Data	Passo di griglia del DTM (m)	N. di punti del DTM	FOM medio	FOM minore di 33 (%)
Panarea	2003	2.5	944929	57.1	31.2
Piton	1997	5.0	1559993	49.3	34.3
Rocca Pitigliana	1976	1.0	1287290	43.7	51.9
Rocca Pitigliana	1986	1.0	825536	35.2	55.9
Rocca Pitigliana	1988	1.0	958402	51.3	33.4
Rocca Pitigliana	1993	1.0	1187174	66.8	21.9
Vulcano	1996	10.0	394422	54.4	29.6

Tabella 2 – Caratteristiche dei modelli digitali del terreno estratti automaticamente: le diapositive dei rilievi effettuati su Rocca Pitigliana nel 1976 e 1986 riportavano elementi estranei all’oggetto (tratti, righe, macchie), che hanno degradato il processo di correlazione (oltre il 50% dell’area è stata caratterizzata da FOM inferiore a 33)

Analisi dati

Nella figura 2a viene riportata la rappresentazione in *shaded relief* del DTM estratto automaticamente (griglia di passo 2.5 metri) mentre la figura 2b è relativa alla rappresentazione finale del DTM editato (di riferimento) relativamente all’isola di Panarea.

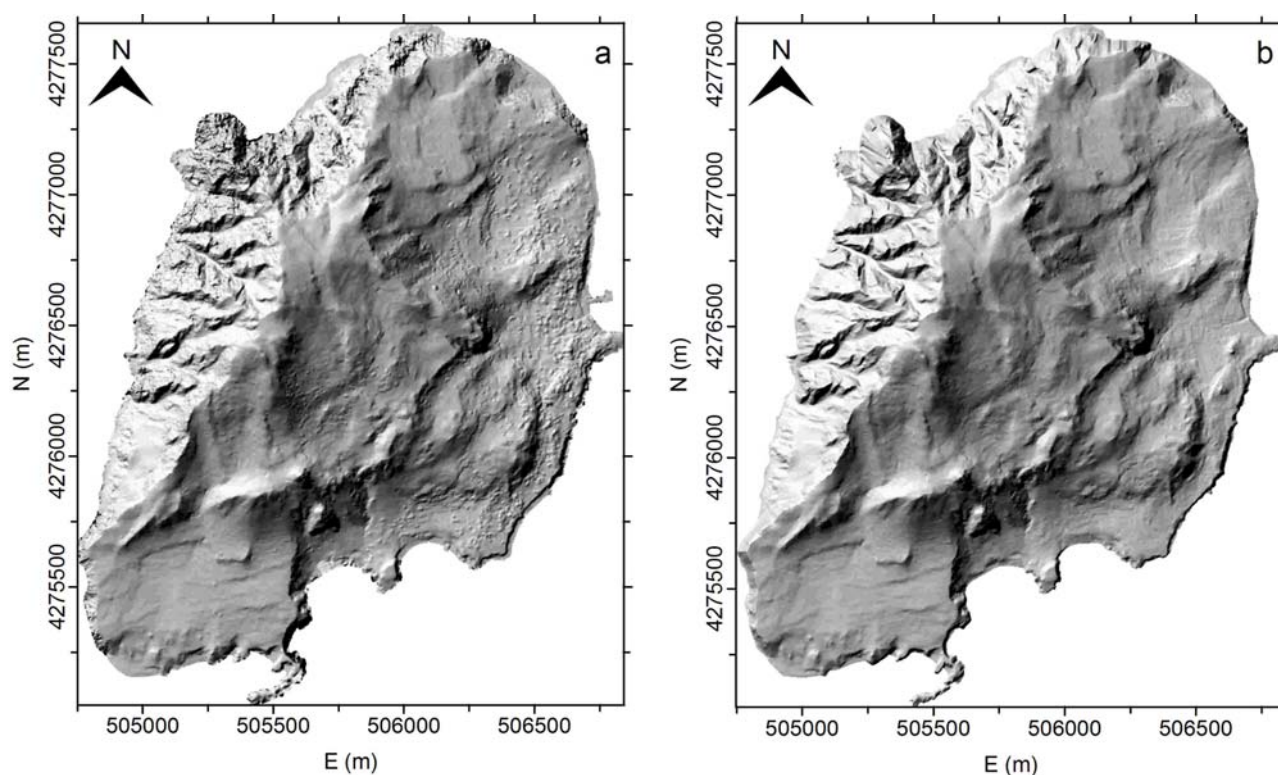


Figura 2 – Rappresentazione in shaded relief del DTM estratto automaticamente a) e di quello editato b) per l’isola di Panarea

E’ da notare che in corrispondenza a pareti sub-verticali (frequenti in queste aree) la fotogrammetria aerea è una metodologia di rilievo che non si presta ad una descrizione dettagliata e precisa della morfologia del versante ripido.

Effettuando il confronto tra questi due DTM, la mappa dei residui fornisce le aree che sono state interessate dall’*editing* manuale (figura 3d).

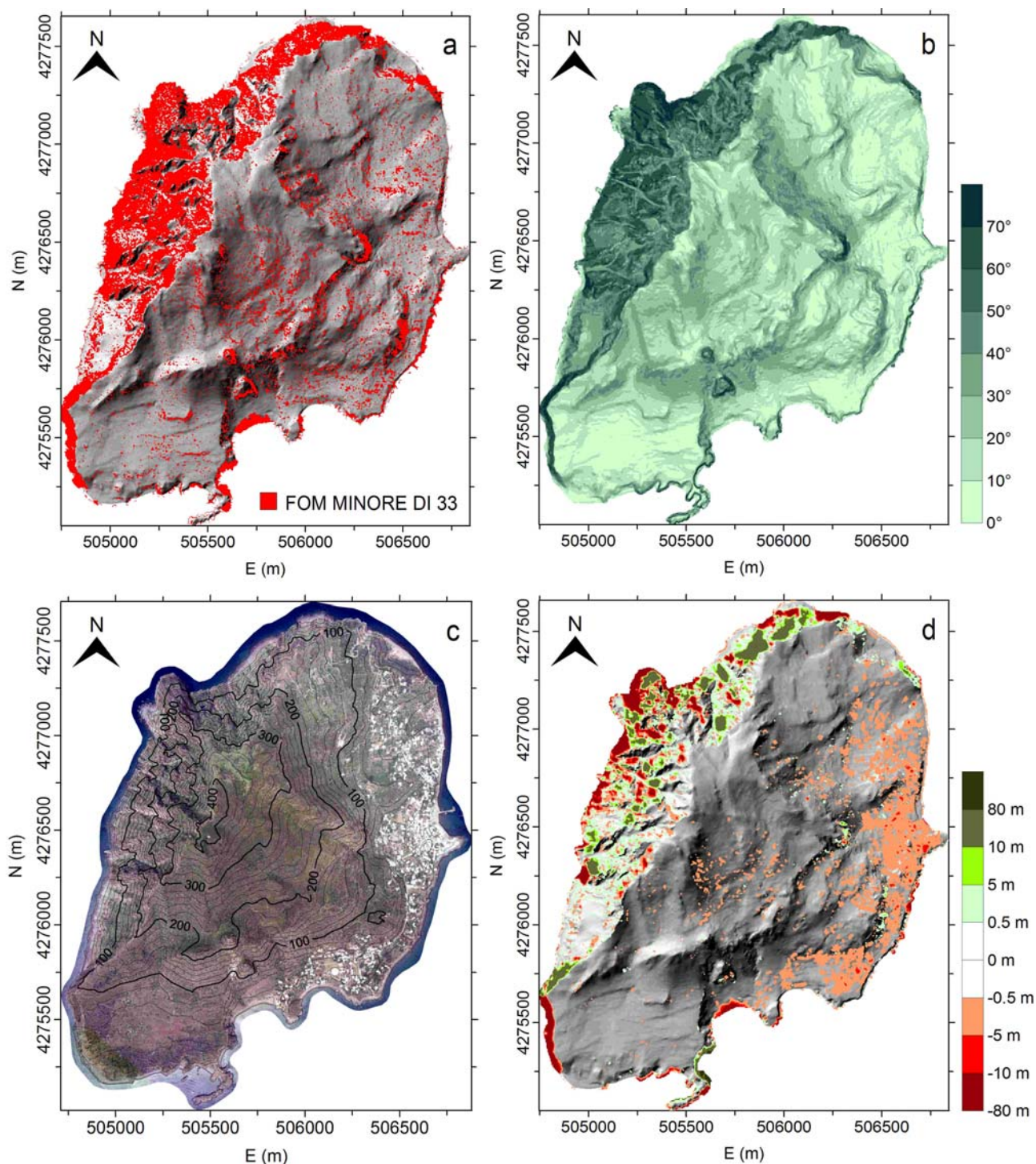


Figura 3 – a) Mappa della distribuzione planimetrica del FOM; b) Mappa delle pendenze; c) Ortofoto dell'isola di Panarea; d) Mappa della distribuzione planimetrica dei residui ottenuti dal confronto tra il DTM editato e quello automatico

Effettuando un confronto visivo tra la mappa di distribuzione del FOM (figura 3a), la mappa delle pendenze (figura 3b), l'ortofoto (figura 3c) e la mappa dei residui (figura 3d), risulta che la maggior parte delle aree che sono state interessate dall'*editing* si trovano in corrispondenza ai valori del FOM inferiori a 33, nella zona a nord-ovest dell'isola (aree caratterizzate da versanti molto ripidi): in queste aree la correlazione automatica non ha fornito valori soddisfacenti e le operazioni di correzione manuale sono state più onerose.

Anche in corrispondenza alle zone abitate e vegetate è stato effettuato l'*editing* manuale; in questo caso l'intervento non è dovuto a problemi di correlazione (il FOM è risultato, generalmente, superiore a 32, figura 3a), quanto piuttosto alla necessità di adattare le curve di livello alla reale morfologia del terreno.

Si nota inoltre che l'*editing* non ha interessato tutte le aree con FOM inferiore a 33 in quanto gli algoritmi di interpolazione utilizzati automaticamente dal software nelle aree dove la correlazione ha fallito, riescono, in alcuni casi, a sopperire correttamente alle carenze del processo.

Per valutare la corrispondenza delle differenti aree delle mappe, è stato calcolato il coefficiente di correlazione tra la mappa di distribuzione del FOM e quella dei residui (35.65%), tra la mappa del FOM e quella delle pendenze (83.43%) e tra la mappa dei residui e quella delle pendenze (26.41%): si nota come solo nel caso del confronto tra la mappa del FOM e quella delle pendenze la correlazione risulta elevata, indicando una buona corrispondenza tra versanti ripidi e scarsa capacità dell'algoritmo di definire direttamente la quota del punto.

Lo stesso approccio è stato utilizzato per l'analisi dei dati relativi agli altri rilievi; i risultati sono riportati in tabella 3.

Nonostante le diverse morfologie, tipo di copertura arborea, presenza di edifici, caratteristiche delle immagini, l'unica correlazione evidente risulta quella fra mappe di FOM e acclività.

Area	Data	Correlazione FOM – Residui (%)	Correlazione FOM – Pendenze (%)	Correlazione Residui – Pendenze (%)
Panarea	2003	35.7	83.4	26.4
Piton	1997	34.4	70.1	45.7
Rocca Pitigliana	1976	27.6	74.8	51.9
Rocca Pitigliana	1986	58.5	86.6	63.9
Rocca Pitigliana	1988	52.1	78.5	53.8
Rocca Pitigliana	1993	49.6	68.7	46.6
Vulcano	1996	23.2	72.8	21.3

Tabella 3 – Coefficienti di correlazione tra le mappe del parametro FOM e quelle dei Residui, tra FOM e Pendenze e tra Residui e Pendenze per i sette DTM analizzati

La mappa di distribuzione del parametro FOM può quindi essere utilizzata per individuare le aree che potrebbero richiedere l'*editing* manuale, senza la necessità del controllo visivo da parte dell'operatore su tutto il modello stereoscopico. All'interno di queste tuttavia possono essere presenti alcune porzioni dove il processo ha già raggiunto un risultato soddisfacente.

A queste aree andranno aggiunte le aree edificate o con presenza di vegetazione, individuabili sull'ortofoto.

Bibliografia

BAE Systems (2006), "SOCET SET – User's Manual", BAE Systems

Baltsavias E. P., Favey E., Bauder A., Bösch H., Pateraki M. (2001), "Digital surface modelling by airborne laser scanning and digital photogrammetry for glacier monitoring", *Photogrammetric Record*, 17, 98: 243-273

Baltsavias E. P., Li H., Stefanidis A., Sinning M., Mason S. (1996), "Comparison of two Digital Photogrammetric Systems with emphasis on DTM generation: case study glacier measurement", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31, B4: 104-110