

RESTITUZIONE ED ANALISI NUMERICA DI DATI FOTOGEOLOGICI 3D A PARTIRE DA FOTO AEREE E TOPOGRAFIA ANALOGICHE.

Alberto ANTINORI (*), Luigi CARMIGNANI (**)

(*) Sistemi Territoriali Srl, V. Di Lupo Parra, 144, 56023 Navacchio (PI), tel 050-768721 fax 050-768767
a.antinori@sister.it

(**) Dip. Scienze della Terra Università di Siena, Via Laterina 8, 53100 Siena, tel. 0577-233879 fax 0577-333284
carmignani@unisi.it

Riassunto

Le foto aeree sono dalla loro comparsa una ricchissima fonte di dati territoriali, ma, senza adeguata strumentazione, rimane impreciso il loro riporto su base topografica per le deformazioni presenti nei fotogrammi. La restituzione di precisione, prima prerogativa dell'I.G.M.I. e delle ditte specializzate in aerofotogrammetria dotate di costosi e voluminosi stereorestitutori, è ormai più accessibile con la comparsa dei sistemi (*hw* e/o *sw*) per la stereo-restituzione completamente digitale.

Alternativa decisamente più economica è la produzione di ortofotocarte digitali che, integrate nel SIT come sfondo di riferimento, costituiscono un'utile sorgente di dati per le numerose applicazioni del telerilevamento. In questo lavoro si perseguiva infatti un metodo relativamente economico per la fotorestituzione di precisione e l'analisi di elementi foto-geologici.

L'area scelta per testare il metodo, uno dei bacini marmiferi più ricchi delle Alpi Apuane, è una sfida e comunque giustifica tale metodo per la sua morfologia e la qualità dei dati di partenza. Le esasperate pendenze, infatti, unite alla viabilità quasi inesistente, ne impediscono a tutt'oggi il rilevamento topografico di campagna e rendono impreciso e difficoltoso il rilevamento geologico. Inoltre, le uniche cartografie utili esistenti erano una vecchia CTR 1:5.000 e la Carta Geologico-Strutturale 1:25.000, entrambe cartacee.

Previa vettorializzazione della CTR e realizzazione del DTM sono state prodotte 6 ortofoto digitali da recenti fotogrammi a grande scala da cui sono state restituite lineazioni dei sistemi di fratture presenti, oggetto della ricerca. Tracciate come segmenti 2D, queste sono state poi adagate sul DTM, ottenendo uno strato lineare 3D: entrambi sono stati analizzati per ricavarne informazioni 2D (es. azimuth) e 3D (es. giacitura di alcuni piani di frattura).

Abstract

Since their beginning, aerial photos are a richest spatial data source but for a precise mapping on a topographic base we need adequate instruments, due to photo deformation. Precise restitution, once matter of the aerophotogrammetric firms having expensive and huge stereo-plotters, nowadays is more affordable with the birth of totally digital stereo plotting systems (*hw* and/or *sw*).

A definitely cheaper alternative is producing digital ortophotos which, once integrated in the LIS, act as useful data source for the many applications of remote sensing. Goal of this project was in fact finding a cheaper method of precise mapping and analysis of photo-geologic features.

The area chosen for testing the method is a thorough test and justify it to, seen its morphology and the quality of starting data. Great slope and nearly absent roads, in fact, do not permit topographic field surveying and causes low precision and difficulties even in geological surveying. Furthermore the sole useful maps existing were an old topographic base map 1:5.000 and the Geological-Structural map 1:25.000, both in paper.

After vector tracing of CTR and DTM creation, 6 digital ortophotos were produced from a recent great scale flight. From these, lineations of the fracture systems, the research object, were traced. Formerly as 2D segments, they were draped upon the DTM obtaining a linear 3d layer: both were analysed to get 2D (azimut) and 3D information (dip & strike angles of some fracture planes).

Introduzione

Scopo di questo lavoro era la messa a punto di un processo per la restituzione di precisione e successiva analisi di dati non topografici da foto aeree che fosse più economico dell'uso di stereorestitutori optomeccanici con CAD o completamente digitali come i più recenti sistemi *hw + sw*; da quelli più collaudati, ma comunque costosi, fino ai più recenti e più economici pacchetti installabili su normali *pc* con il solo ausilio di specchi posticci. Questi ultimi, seppur meno impegnativi come dotazione, mantengono comunque alto il costo della restituzione in termini di tempo e, se vogliamo, anche di salute dell'operatore che è costretto ad accostare gli occhi a meno di 20 cm dal monitor.

Un'alternativa possibile è la produzione di ortofotocarte digitali da cui restituire per digitalizzazione referenziata gli elementi geografici del terreno oggetto di indagine in 2 dimensioni e la loro trasposizione su un dettagliato modello numerico del terreno (*DTM*) per ottenerne la quota in ogni vertice trasformandole in informazioni 3D. La precisione che si ottiene con questo metodo è funzione dell'accuratezza e quantità dei dati in input, come vedremo, e se può essere inferiore a quella dei precedenti è comunque di gran lunga superiore alla restituzione da osservazione su un normale stereoscopio ottico e riporto su base topografica a parte, metodo usuale nella produzione di dati fotogeologici.

Questa metodologia alternativa è stata sperimentata dai relatori nell'ambito di uno studio geologico-strutturale di un'area di 4 km² per la scelta del tracciato di una galleria a scopi sia di comunicazione che estrattivi attraverso il ricco bacino marmifero dei monti Sella, Macina e Alto di Sella lungo lo spartiacque tra Garfagnana e Versilia. La situazione morfologica che presenta molte pareti inaccessibili per un normale rilevamento geologico, induce la scelta del telerilevamento per motivi quindi non solo economici.

Raccolta e preelaborazione dati

Verificata l'inesistenza di dati utili in qualsiasi formato digitale, I dati di partenza per questo studio sono stati esclusivamente analogici: l'elemento N° 249111 (Resceto) della CTR 1:5.000 del 1975 e 24 fotogrammi in pancromatica di un volo dell'1-10-1997 allestito in seguito ai luttuosi dissesti in Lucchesia e Versilia di quell'anno.

La CTR (vedi fig. 1) è una delle prime prodotte in Toscana, il cui originale disegno non è su tipi separati (curve, idrografia, ecc) e non esiste negli archivi alcun tracciato numerico, perché probabilmente eseguita con stereorestitutore opto-meccanico a pantografo. Si è provveduto quindi ad una scansione ad alta risoluzione della CTR, alla sua georeferenziazione per roto-traslazione nel sistema cartografico originale (Gauss Boaga Ovest) e quindi alla vettorizzazione semiautomatica di tutti gli elementi utili alla creazione di un *DTM* della massima precisione possibile. A questo scopo sono state interpolate e talora corrette le curve di livello come visibile nella fig. 2.

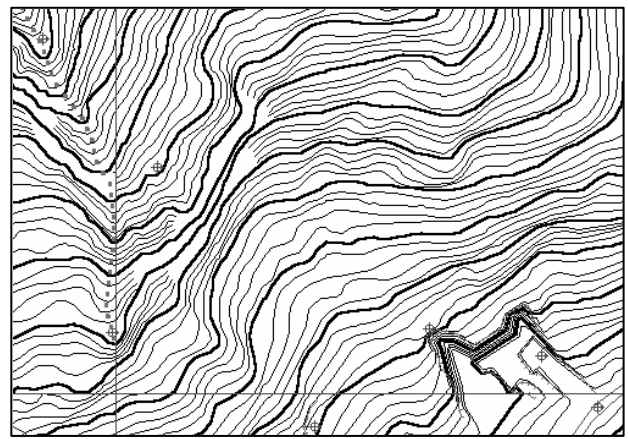
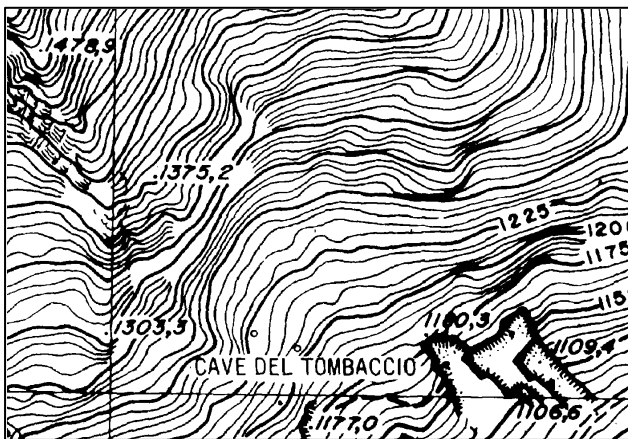


Fig. 1: Stralcio dell'elemento CTR 1:5000.

Fig. 2: Vettori delle informazioni orografiche.

I 24 fotogrammi sono divisi in tre strisciate a quote diverse con una scala media dichiarata relativamente grande (1:7.500) che le rende molto ricche di informazione. Purtroppo la data di esecuzione del volo non è la migliore per avere un grande angolo di inclinazione del sole che permetta una buona illuminazione di zone così impervie, quindi i fotogrammi presentano un alto contrasto e soprattutto ampie zone d'ombra. Esaminati tutti i fotogrammi, anche con stereoscopio ottico, sono stati selezionati i 6 migliori per coprire l'area di studio in termini di scala, nitidezza e favorevole esposizione dei versanti rispetto all'asse della ripresa. Le stampe, in mancanza della possibilità di scandire direttamente i negativi, sono state poi acquisite a 600 *dpi*, ottenendo dei *tiff* a 256 toni di grigio di circa 20 *MBytes*.

Creazione del *DTM*

Perseguendo la massima precisione, c'è bisogno di un modello del terreno più dettagliato possibile sia come dato in input nella produzione delle ortofoto che per l'appoggio delle informazioni 2D ricavabili dalla CTR e dalle ortofoto per trasformarle in 3D. Per questo sono state utilizzate nell'algoritmo di produzione del *DTM* in *ArcInfo*, nel formato *TIN* (*Triangulated Irregular Network*) anche quelle informazioni prive di quota della CTR utili come linee di interruzione della curvatura della superficie. Sono stati acquisiti e usati come *breaklines* il reticolo idrografico, la viabilità, gli spartiacque o crinali, i cigli di cave o scarpate ottenendo un *TIN* di 252.708 triangoli per 126.645 nodi. Nelle figure 3 e 4 si possono osservare alcune differenze.

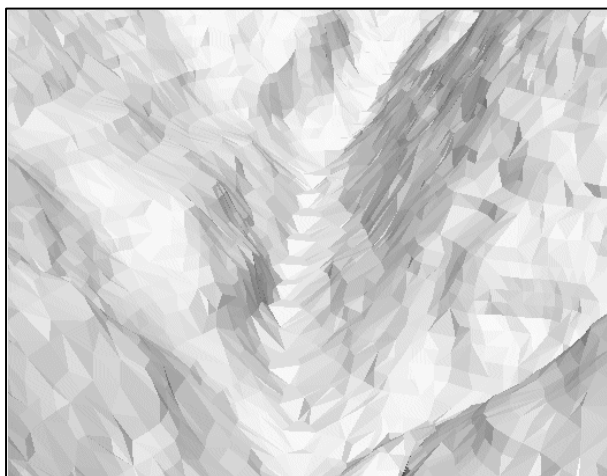


Fig. 3: *TIN* creato con solo isoipse e quote. Si notano i grandi triangoli lungo l'impluvio.

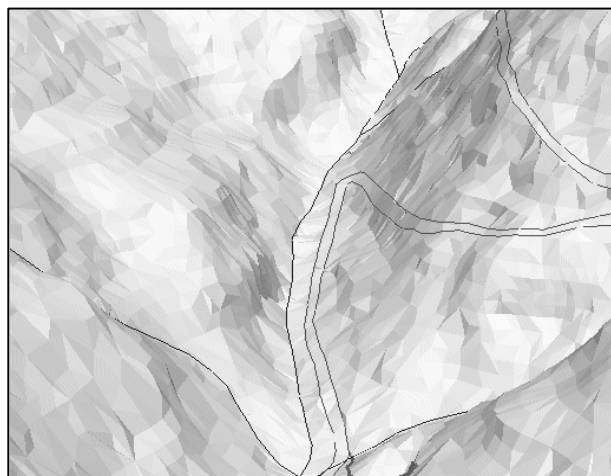


Fig. 4: *TIN* con aggiunte le *breaklines* 2D. Ora i triangoli sono spezzati e compaiono le strade.

Non introducendo nuovi vertici, la rete 3D di triangoli irregolari che lo costituisce è di fatto la registrazione più fedele dell'informazione orografica in input, non eseguendo interpolazioni se non lungo i lati e le superfici dei triangoli, esclusi i vertici. Contiene inoltre in un unico file anche le informazioni di pendenza ed esposizione che possono essere interrogate per ogni triangolo mentre la quota viene addirittura ricalcolata punto per punto anche all'interno del singolo triangolo. Dal *TIN* è stato poi ricampionato il *GRID* ovvero il *DTM raster* a passo regolare di 5 m. di 3.173 colonne e 5.381 righe, necessario per altre elaborazioni in questo formato.

Produzione delle ortofoto

Per questo *task* è stato utilizzato il *sw ERDAS Imagine* che, oltre ad una semina di punti di controllo a terra (in gergo *GCP*), accetta in input anche un *DTM raster* e tutti i parametri della presa, come quelli che costituiscono l'orientamento interno del fotogramma, ma anche i coefficienti di deformazione nel certificato di collaudo della fotocamera che dovrebbe accompagnare ogni volo. I *ground control points* sono forniti come terne di coordinate metriche (X, Y, Z) con associate le

rispettive coordinate immagine (colonna, riga) del pixel della scansione del fotogramma e sono principalmente cime o punte rocciose, stretti tornanti o incroci tra strade, sentieri e aste di reticolo idrografico, spigoli di edifici o cigli di cave inattive, tutti individuabili sia nella CTR che nelle foto. Per la raccolta di questi punti con la massima precisione possibile, sono stati usati altri accorgimenti oltre l'introduzione delle *breaklines* che, come ora vediamo, aumentano il dettaglio del DTM proprio lungo gli elementi lineari che contengono i *GCP*. Molto utile è stata la realizzazione di un rilievo ombreggiato con le stesse condizioni di illuminazione del momento di presa dei fotogrammi ottenendone azimuth e inclinazione da data, ora e latitudine attraverso appositi abachi (AMADESI 1993). L'osservazione congiunta del modello stereoscopico e della CTR raster trasparente sopra il rilievo ombreggiato le cui ombre riproducevano quelle presenti nei fotogrammi ha permesso il posizionamento relativamente rapido e preciso di 165 *GCP* distribuiti nei 6 fotogrammi che coprono i 4 km² dell'area, comunque ridotti dalle ampie zone d'ombra illeggibili. Dei punti suddetti su CTR sono state estratte le coordinate X e Y mentre la Z è stata ottenuta appoggiando i punti sul TIN, mentre dai corrispondenti *pixels* sulle 6 scansioni sono state estratte le coordinate in termini di colonna e riga. Sono stati preparati dei file testuali per l'ortorettifica di ogni fotogramma che è stato prodotto da *ERDAS* con la produzione di *geotiff* di dimensioni da 30 a 60 *MBytes*. Nella seguente fig 5 ne vediamo un particolare.

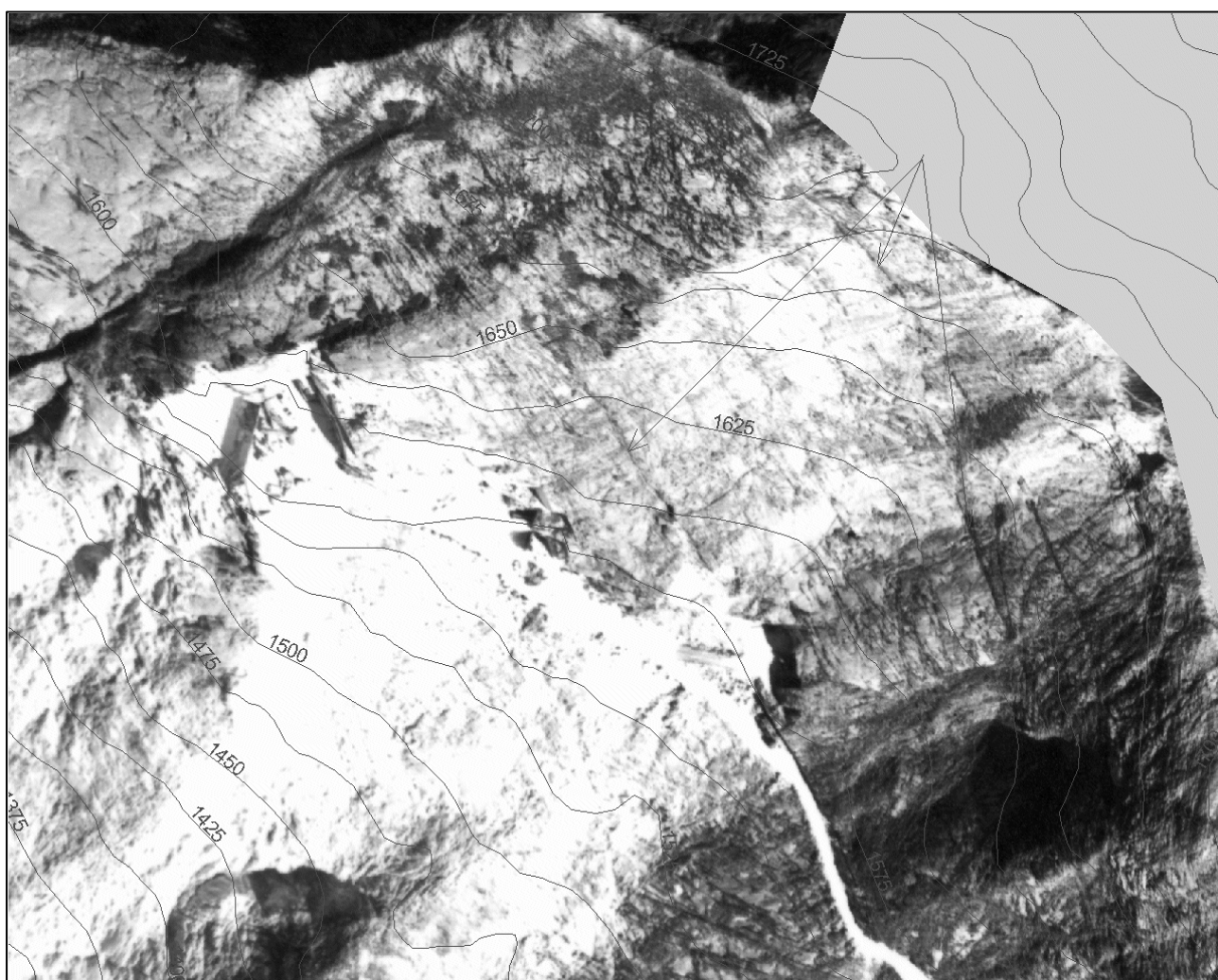


Fig. 5: Particolare dell'ortofoto che mostra la località di Piastreta con l'omonima cava nel versante occidentale del Monte Sella. L'area è la stessa inquadrata nelle successive 2 figure e presenta numerose tracce anche allineate di piani di frattura. L'area in grigio in alto a dx ricade fuori dal poligono di maggior definizione dell'ortofoto (v. par. successivo).

Restituzione ed analisi delle lineazioni.

Escludendo le aree eccessivamente deformate o buie, sono state tracciate delle aree di maggior definizione e affidabilità di posizione per ogni ortofotogramma. Queste sarebbero state utilizzate per produrre l'eventuale ortofotomosaico, se i poligoni insieme avessero coperto tutta l'area, ma si è constatata la non completa copertura del volo in almeno 3 aree lungo lo spartiacque N-S. Queste aree sono state coperte al solo scopo di restituzione con la realizzazione di un'altra ortofoto scegliendo un fotogramma da una strisciata del 1976 a scala 1:17.000, sensibilmente inferiore alle altre, ma molto più nitida, comunque inutilizzabile per il mosaico.

Da ogni fotogramma sono state restituite all'interno del rispettivo poligono di maggior definizione le lineazioni metriche e decametriche oggetto di indagine utilizzando per le zone di buco l'ortofoto a più piccola scala del '76. Questo non è l'unico motivo di una disomogeneità nel campionamento delle lineazioni: basti pensare alle zone d'ombra e all'influenza del punto di presa nella rettilineità delle lineazioni che sono per lo più tracce di piani di fratture delle formazioni lapidee.

Sono state digitalizzate complessivamente 1.442 lineazioni di lunghezza media 26,11 m. (minima 7 m., massima 108 m.) per uno sviluppo totale in lunghezza (in pianta) di 37.645 m., create con il sw ArcView come *shapefiles* lineari ovvero segmenti di 2 soli vertici. Da questo strato bidimensionale, appoggiandolo sul TIN le linee sono divenute uno *shape* di *PolyLineZ* con l'aggiunta della quota e dei nuovi vertici 3D intermedi che seguono l'andamento della superficie tra i 2 nodi.

Per mettere in luce l'entità del controllo strutturale sulla morfologia, sono poi stati tracciati 172 lineamenti del reticolo idrografico sempre come segmenti di lunghezza media 87.60 m. (minima 33 m., massima 240 m.) per uno sviluppo totale in lunghezza (in pianta) di 15.067 m.

Agli elementi di questi strati è stato attribuito automaticamente l'azimut come angolo in senso orario dal Nord in una scala da 0° a 180°. Questo ha permesso analisi sulla direzione, lunghezza e frequenza delle lineazioni (diagrammi a rosa), filtrandole via o selezionandole con criteri spaziali (maglie o aree delimitate da sottobacini, formazioni litologiche, classi di pendenza, ...), di lunghezza (es. + lunghi di, ...) e di parallelismo ($x^\circ < \text{azimut} < y^\circ$).

Va notato che l'azimut delle lineazioni tracce delle intersezioni dei piani di frattura con la superficie morfologica, si discosta dalla direzione azimutale del piano stesso proporzionalmente alla pendenza dei versanti e delle lineazioni stesse.

Per il calcolo delle giaciture 3D dei principali piani di frattura è stato necessario disporre di 3 punti raccolti a una certa distanza lungo l'emergenza di uno stesso piano: delle misure troppo vicine renderebbero imprecisa la soluzione del problema dei 3 punti. Per questo è stato necessario raccogliarli lungo allineamenti di 2 o più lineazioni (v. figg. 6, 7).

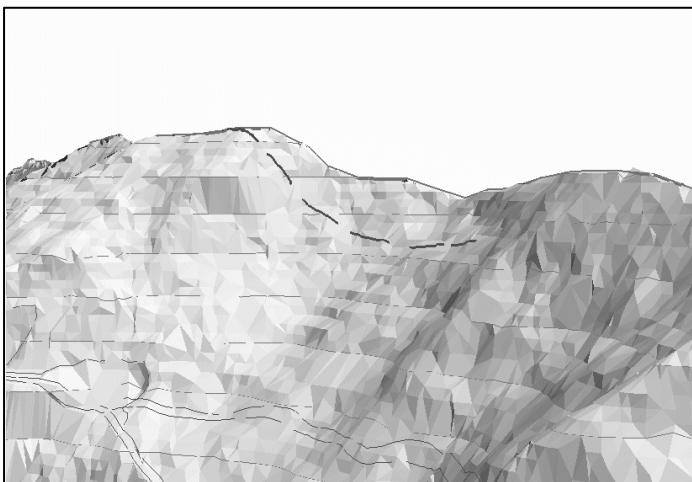


Fig. 6: Vista prospettica laterale con in evidenza un allineamento di lineazioni presso il crinale. Le fratture giacciono a monte della cava di Piastreta.

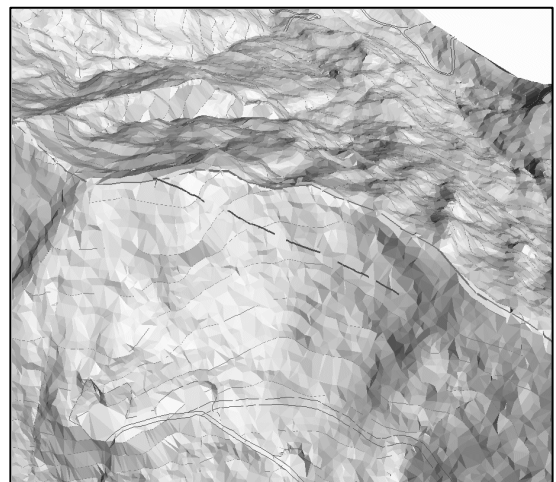


Fig. 7: Vista dall'alto delle lineazioni che da un punto di vista vicino al piano di frattura le riallinea in unica direzione.

Conclusioni

Sicuramente la restituzione in coordinate metriche dalle ortofoto realizzate è molto più precisa di quella tramite osservazioni stereoscopiche e riporto su basi topografiche a parte. Non è stato ancora possibile stimare l'errore medio controllando a campione alcune linee o altri elementi sul campo con aiuto di GPS differenziali, ma risulta più contenuto laddove è più fitta e omogenea la semina dei punti di controllo a terra, in corrispondenza dei quali tende allo 0.

La maggiore economicità del metodo è sicura rispetto alla stereorestituzione e se pur paragonabile a quella di un rilevamento di campagna (precisione compresa) permette comunque di rilevare zone inaccessibili e in tempi contenuti disponendo di buoni fotogrammi a grande scala e ovviamente di una buona base topografica possibilmente vettoriale.

Il DTM dettagliato è stato fondamentale sia nella realizzazione delle ortofoto, che nella attribuzione delle informazioni di quota a tutti gli elementi vettoriali dei vari strati informativi. La sua realizzazione, previa scansione, georeferenziazione e vettorizzazione della topografia a maggiore scala disponibile, ha impiegato buona parte delle risorse per questo lavoro.

Per quanto riguarda le altre funzioni del DTM, particolare attenzione merita l'uso combinato di modelli digitali del terreno con scene telerilevate, non solo allo scopo di produrre ortofoto, ma anche di analisi visive in 3D. E' stato interessante ad esempio comparare foto laterali da punti di vista noti con viste prospettiche equivalenti del DTM drappeggiandovi sopra i contatti geologici della Carta Geologico Strutturale in scala più piccola. Gli autori ritengono che l'ortofotocarta possa essere in questi casi un valido ausilio all'aggiornamento di cartografia geotematica.

La possibilità di integrare in un SIT ortofoto georeferenziate come documento metrico in proiezione verticale e a scala costante, aggiunge un contenuto informativo che permette infinite analisi successive, quantitative e qualitative, utili a molte discipline non solo geologiche. Questo oggi è possibile a costi relativamente contenuti grazie anche al notevole e continuo aumento di capacità di calcolo dell'hw che ha favorito la citata comparsa dei nuovi sistemi digitali su *personal computer*.

Riferimenti bibliografici

- ALLEN J., SHEARS J. (1995) "A digital view: softcopy photogrammetry in GIS", *GIS Europe Vol. 4* N° 7: 47-51.
- AMADESI E. (1993) "Manuale di FotoInterpretazione con elementi di Aerofotogrammetria" Pitagora, Bologna.
- Bemporad S., Conedera C., Dainelli P., Ercoli A. & Facibeni P. (1986), "Landsat Imagery: a valuable tool for regional and structural geology", *Mem. Soc. Geol. It.*, N° 31: 287-298.
- CANNISTRA J., GOODDEN R. (1994) "A guide to Acquiring Digital Orthophotography" *GIS Europe Vol. 7*, N° 7: 42-45.
- DRISSEN R., ZWART P. (1993) "Entering data directly from Aerial Photographs in ArcInfo" *Proceedings of 8th European ArcInfo User Conference*, Atene.
- MALAGOLI P. (1999) "Dall'analogico al digitale: un secolo di esperienze ed applicazioni nella fotogrammetria", *Mondo GIS* N°14, 43-47, N°15, 44-48.
- NICOLETTI A. (1997) "Tecnica e tecnologia in Fotogrammetria Digitale alla luce di dieci anni di esperienze" *1^a Conferenza nazionale delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali*, Parma, *Atti della conferenza* 523-528.
- PARADIS A. R., SMITH D. R. (1992) "Three-dimensional GIS for the Earth Science" *Auto-Carto 9 Proceedings*, Baltimore (USA).
- THORPE J. (1996) "Aerial Photography and Satellite Imagery: Competing or Complementary?" *Earth Observation Magazine* Vol. 5, N°6: 35-39.