LA RAPPRESENTAZIONE DELLE FORME DELL'ANFITEATRO MORENICO DI RIVOLI-AVIGLIANA (ALPI OCCIDENTALI) ATTRAVERSO STRUMENTI GEOMATICI

Luigi PEROTTI, Walter ALBERTO, Marco GIARDINO

(*) Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra, GeoSitLab Via Valperga Caluso 35, Torino, luigi.perotti@unito.it

Riassunto

In questi ultimi anni la Geomatica ha introdotto cambiamenti radicali nelle metodologie di studio geomorfologico, prevalentemente in relazione all'impiego dei dati digitali in campo applicativo. In particolare sono state realizzate numerose innovazioni nell'analisi e nella rappresentazione del dato di rilevamento: la prospettiva è quella di integrare i dati di terreno con quelli telerilevati per ottenere interpretazioni e rappresentazioni del territorio sempre più "reali". In questo preciso contesto, attraverso l'elaborazione di dati telerilevati, è stato realizzato un lavoro di elaborazione ed analisi di dati riguardanti alcune forme del paesaggio connesse a processi geomorfologici a lungo termine (come il Glacialismo Pleistocenico), finalizzato all'interpretazione morfoevolutiva dell'Anfiteatro Morenico di Rivoli Avigliana (AMRA) situato allo sbocco della Valle di Susa, nelle Alpi occidentali. L'AMRA ha una sua identità geomorfologica che permette di distinguerlo dai complessi di forme fluviali e di versante circostanti. Tramite lutilizzo dei dati vettoriali, di immagini da satellite e di foto aeree è stato possibile esaltare questa identità, ottenendo carte tematiche e visioni in 3D molto efficaci per lo studio e la ricostruzione delle fasi evolutive.

Abstract

In the last few **y** ars Geomatics deeply changed geomorphological methods, especially related to the use of digital data in applied studies. Particularly innovative results has been achieved in the analy is and representation of landforms: field evidences and remote-sensing data have been coupled to get close-to-reality reconstruction of the whole geomorphological aspects, multitemporal and multispatial ones. Regarding the most recent evolutionary phases, these modern techniques allow a qualitative and quantitative evaluation of the topographical surface changes.

Some research lines have been started: particularly the geological-geomorphological analy is of the lower Susa Valley and the Rivoli-Avigliana Morainic Amphitheatre (AMRA) has been enhanced, by means of Digital Elevation Models (Dems) created from ASTER stereo images. These data was used for the individualization of the AMRA terminal moraines, with respect to fluvial landforms and other landscape features around AMRA. Finally by using vectors data, satellite images and aerial photos, 3D visions has been produced in order to improve the identification of significant landforms for the reconstruction of the Pleistocene glacial evolutionary phases of the area.

Introduzione

Nell'ottica geomorfologica, l'evoluzione del paesaggio alpino è la risultante di condizionamenti statici (essenzialmente parametri lito-strutturali) e dinamici (climatici e tettonici) alla forma del rilievo montuoso. L'analisi delle fasi evolutive del rilievo richiede di indagare il rapporto tra i tassi della deformazione e la velocità del modellamento: questo comporta un approccio di tipo multitemporale e multispaziale e la Geomatica si dimostra estremamente utile attraverso dati e metodologie digitali. L'indagine sviluppata nella bassa Valle di Susa (Figura 1) ha comportato l'analisi di ampie aree per il riconoscimento delle tendenze generali in termini di evoluzione del

rilievo alpino; in particolare, l'analisi delle forme glaciali intravallive e dell'anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana è stata effettuata attraverso l'utilizzo di modelli digitali del terreno.

Interazione fra geodinamica e morfogenesi nella bassa Valle di Susa

Le considerazioni sopra esposte hanno guidato l'analisi del paesaggio attuale della Valle di Susa e la ricostruzione degli eventi della sua storia geomorfologica. In particolare si è tenuto conto della conservatività delle forme e della loro dimensione originaria. A questo proposito si è compreso che il ruolo dell'attività geodinamica nell'evoluzione geomorfologica viene esplicato da alcuni processi le cui testimonianze sono riconoscibili a grande scala, ad esempio nella progressiva migrazione dello spartiacque alpino verso l'esterno. Il



Figura 1 - Area di studio (bassa Valle di Susa, Piemonte).

generalizzato sollevamento isostatico determina un "incastramento" delle forme più recenti in quelle più antiche; in questo caso l'effetto più evidente comprende le tracce degli antichi fondovalle glaciali conservati sui fianchi della Valle di Susa a quote sempre maggiori in funzione dell'età (Carraro & Giardino, 2004).

L'Anfiteatro Morenico di Rivoli-Avigliana (AMRA)

L'AMRA è un insieme di bassi rilievi morenici e depressioni intermoreniche, a tratti con andamento rettilineo e parallelo, a tratti più o meno nettamente arcuato; nel settore meridionale le forme glaciali relitte separano la bassa Valle di Susa dal medio corso del Sangone. L'or igine di questi rilievi va posta in un intervallo di tempo compreso tra oltre 30. 000 e 12.000 anni fa ed è legata alle pulsazioni dall'antico ghiacciaio valsusino, ospitato all'interno del sistema vallivo della



Figura 2 – Rappresentazione tridimensionale in ambiente GIS della Valle di Susa, fino all'AMRA, eseguito con dati altimetrici regionali – passo 250 m.

Valle di Susa (Figura 2).

L'AMRA ha una sua identità geomorfologica che permette di distinguerla dai complessi di forme fluviali e di versante circostanti. Tramite lutilizzo dei dati vettoriali, di immagini da satellite e di foto aeree è possibile esaltare questa identità, ottenendo carte tematiche e visioni in 3D molto efficaci per lo studio e la ricostruzione delle fasi evolutive. Ovviamente è possibile anche creare diverse prospettive della nfiteatro morenico da vari punti di vista, estremamente utili dal punto di vista didattico (Giardino & Mortara, 2004). Alcuni tentativi

di visualizzazione tridimensionale sono stati eseguiti nel passato con l'utilizzo di dati cartografici su base regionale ma la cui scarsa accuratezza finale ha limitato l'interpretazione. Nel caso specifico

dell'AMRA sono stati utilizzati i dati altimetrici estratti da immagini telerilevate ASTER in modalità stereoscopica dal sensore.

I Modelli Digitali della Superficie (DSM)

I Modelli digitali di Elevazione del Terreno (DEM-DTM) costituiscono oggi un valido strumento per molti ambiti applicativi ed in particolare per la nalisi geomorfologica del territorio e la produzione di ortofoto. In particolare la disponibilità di immagini satellitari stereoscopiche a media ed alta risoluzione geometrica consente la generazione di Modelli Digitali della Superficie (DSM) cioè modelli digitali del terreno in cui sono compresi gli oggetti (boschi, edifici...) che insistono stabilmente sulla superficie. In ogni caso l'approssimazione della quota rimane ampiamente dentro l'errore stimato per i dati a media risoluzione. In ogni caso l'utilità per aree di cui manchi adeguata copertura cartografica è evidente, ma che potrebbero rivelarsi interessanti (soprattutto per i costi e le levata ripetibilità) anche in ambiti diversi. Tale adeguatezza deve però essere sempre valutata per definirne potenzialità e limiti in modo rigoroso.

Dati satellitari utilizzati

In questo lavoro sono stati effettuati test di estrazione semi-automatica di DSM da dati ASTER (di cui esiste una consistente bibliografia).

Si e proceduto alla generazione dei DSM utilizzando software commerciali disponibili quali AsterDTM (ENVI) senza trascurare gli aspetti conoscitivi degli algoritmi adottati. Sulla base dei DSM generati in fase di sperimentazione sono state condotte analisi per valutarne la qualità metrica, le ventuale presenza di errori sistematici e la loro natura. La qualità metrica (precisione) dei prodotti ottenuti è stata valutata attraverso opportune analisi statistiche dei residui calcolati per confronto con dati altimetrici di riferimento. Sono stati presi in considerazione punti quotati estratti da cartografia tecnica a scala adeguata e DTM regionali per il calcolo delle differenze; ulteriori verifiche qualitative sono state condotte mediante la sovrapposizione di profili altimetrici relativi a sezioni caratteristiche. Da alcuni anni sono disponibili le immagini ASTER che rappresentano per la geologia una ottima fonte di dati sia di tipo radiometrico che di tipo metrico. Proprio da questo punto di vista la disponibilità di dati stereoscopici da satellite risulta essere molto interessante. Il sensore ASTER consente di acquisire immagini in modalità stereoscopica *along-track*, geometriche particolari. Aster acquisisce sistematicamente coppie stereo nella banda dell'IR vicino (Figura 3), attraverso due ottiche fisse uguali ma orientate secondo angoli di vista pari a 0° (*nadir view*) e 27,6° (*backward view*). Il sistema di acquisizione è di tipo *pushbroom* (caratteristica comune a tutti i sensori ad alta risoluzione).



Parametro	Terra (Aster)
Risoluzione geometrica (m, nadir)	15 m
Quota dell'orbita ($\ln H$)	Ø 5
Lunghezza focale (m, c)	3.29
B/H	-0.6

Tabella 1 -	- Caratteristiche	della piattaforma
-------------	-------------------	-------------------

Figura 3– Schema di acquisizione stereoscopica delle piattaforme Terra (Aster)

Nella Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche di questa piattaforma che consentono di valutare quale potrebbe essere la precisione nella determinazione delle quote. Nell'ipotesi di

un'acquisizione fotogrammetrica classica (prospettiva centrale), in condizioni normali tale valore può essere determinato secondo la relazione [Kraus]:

$$_{Z} = m_{b} ! \frac{H}{B} ! P \qquad [1]$$

Dove, per quanto riguarda Aster, σ_z (m) varia tra 12 e 25 m. Poiché l'acquisizione satellitare si discosta dal modello di prospettiva centrale unica per l'intera scena per cui vale la [1], il valore di precisione riportato è da considerarsi unicamente come dato di riferimento (Boccardo, 2004). Per questo lavoro si e proceduto alla generazione di alcuni DSM (Digital Surface Model) per poter testare anche la qualità in base ad alcune scelte di parametri e di distribuzione/numero di punti di appoggio. Ai fini della generazione del DSM è stato utilizzato il software AsterDTM, modulo aggiuntivo di ENVI. Il software utilizza per la determinazione delle quote algoritmi fotogrammetrici consolidati: si procede all'orientamento esterno delle immagini mediante individuazione di punti di appoggio a terra e punti di legame (utilizzando un apposito modello di sensore); in seguito avviene la generazione delle immagini "quasi-epipolari", ovvero normalizzazione delle immagini in cui sono annullate le parallassi di altezze lungo n (righe); successivamente viene determinato il maggior numero possibile di punti omologhi mediante tecniche di autocorrelazione; infine, si effettua il calcolo del valore di quota a partire dalla misura della parallasse lungo ξ (colonne) relative ai punti individuati nel passaggio precedente e l'interpolazione dei valori di quota per ottenere un DSM come grigliato regolare. Sulla base della precisione potenziale precedentemente stimata mediante la [1], sono stati utilizzati come dati di riferimento altimetrici il DTM della Regione Piemonte (restituito con un passo di 80m ed interpolato a 50m), la cui precisione altimetrica nominale è di circa 2.5m, e 40 punti quotati estratti dalla cartografia tecnica regionale (CTR) in forma numerica alla scala 1:10.000, con la stessa precisione altimetrica. Questa cartografia è stata utilizzata anche per l'individuazione dei punti di appoggio e dei punti di legame iniziali. La validazione è stata condotta sulla zona della bassa Valle di Susa, prestando particolare attenzione all'area di Rivoli-Avigliana (Figura 4), e cioè allo sbocco vallivo sulla pianura, zona in cui l'antico ghiacciaio valsusino ha lasciato l'impronta più evidente durante le fasi del suo ritiro. Tale area è stata scelta considerandone l'elevata escursione altimetrica (circa 3000m) che consente valutazioni più robuste sulla precisione ottenibile dai dati altimetrici satellitari. Inoltre, la presenza di deformazioni importanti (con spostamenti verticali anche metrici) suggerisce di verificare se i DSM ottenuti da immagini satellitari possano essere utilizzati in fase di monitoraggio ed eventualmente con quali limitazioni. La stima della precisione altimetrica dei DSM estratti è stata condotta mediante il calcolo delle differenze tra il DTM di riferimento (il quale si può ragionevolmente ritenere omogeneo rispetto al prodotto derivato dalle immagini satellitari, in quanto entrambi sono una rappresentazione discreta della superficie reale) e quello ottenuto dalle immagini satellitari. Sono state ricavate le differenze in quota e calcolati i valori di media e deviazione standard della distribuzione (tagliandone le code al 2% e 5%) per valutare rispettivamente la presenza di eventuali sistematismi ed una stima della precisione altimetrica. La stessa procedura è stata utilizzata mantenendo come riferimento i punti quotati. I valori di media delle differenze ottenute variano tra 12m e 19m mentre lo scarto quadratico medio varia tra 22m e 26m, con i risultati migliori che riguardano il confronto con i punti quotati. Il limite maggiore in questo confronto è dovuto al fatto che il modello generato dalle immagini satellitari con procedure automatiche è concettualmente un DSM, ovvero un modello digitale di superficie in cui le quote riportate si riferiscono al terreno solo laddove questo non sia ricoperto da oggetti quali vegetazione, edifici o infrastrutture; inoltre non possono essere escluse differenze indotte da un diverso passo di restituzione/interpolazione e dal diverso posizionamento planimetrico dei punti di cui viene misurata la quota. Successivamente è stato effettuato un confronto qualitativo tra i dati di riferimento e quelli generati dalle immagini satellitari mediante la sovrapposizione di profili altimetrici caratteristici: longitudinali e trasversali rispetto alla valle, longitudinali rispetto alle cime.

Risultati

I risultati ottenuti dal dato ASTER evidenziano precisioni prossime a quelle attese. Tuttavia è possibile notare un sistematismo consistente (sovrastima delle quote) ed una forte dipendenza della precisione dalla morfologia del terreno (esposizione dei versanti e pendenza). Un decremento della

precisione in funzione dell'aumento della pendenza era sicuramente atteso, mentre la dipendenza dalla esposizione è ancora un aspetto da indagare. I valori di precisione ottenuti dimostrano come i dati ASTER DSM non siano comunque sufficienti per scopi di monitoraggio di fenomeni geomorfologici, ma si ritiene che gli ambiti applicativi maggiormente idonei a questa tipologia di DSM siano la geologia strutturale da una parte e, per quello che riguarda la rappresentazione del territorio, l'analisi geomorfologica a scala regionale e locale (Figura



Figura 4 – Rappresentazione del DSM Aster in modalità TIN (Triangulated Irregual Network), si può notare come la zona di sbocco vallivo sia interessata da una morfologia molto variabile.

4), utile per la ricostruzione di fasi morfoevolutive che hanno portato all'attuale configurazione del paesaggio. Considerando la qualità del dato satellitare questo può essere comunque utilizzato per l'ortoproiezione di immagini satellitari ad alta risoluzione (Boccardo, 2004).

Valutazioni e conclusioni

Il confronto fra le visualizzazioni tridimensionali ottenute e le rappresentazioni cartografiche dell'anfiteatro disponibili nella letteratura geologica e geomorfologica (Figure 5, 6, 7) ha permesso di valutare molto positivamente il contributo degli strumenti geomatici sperimentato nel presente lavoro. Il dato ASTER si dimostra infatti sufficientemente accurato per rappresentare le forme dell'AMRA.

Le viste tridimensionali più efficaci si sono dimostrate quelle predisposte attraverso la creazione di Triangular Irreguar Network (TIN) e mediante la rappresentazione delle fasce altimetriche con colori di tono crescente con la quota. Attraverso questi modelli si sono potute riconoscere e rappresentare con precisione le differenti forme glaciali dell'edificio morenico, nonché alcuni importanti lineamenti morfostrutturali (trasversali rispetto alle forme glaciali) difficilmente individuabili attraverso la cartografia esistente.



Figura 5 – Carta dell'Anfiteatro Morenico di Rivoli, frutto degli studi di Federico Sacco (1887, 1921) – Questa carta geomorfologica evidenzia bene il complesso di cerchie moreniche edificate dal ghiacciaio della Valle di Susa nel corso delle sue numerose fasi di avanzata e di ritiro.



Figura 6 – Particolare del Foglio "Torino" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (Bortolami et Al., 1969) – Si può notare come la necessità di far prevalere la rappresentazione delle formazioni geologiche renda le forme dell'Anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana poco riconoscibili nel loro complesso.



Figura 7 – Attraverso la visualizzazione del DSM Aster si sono potute riconoscere e rappresentare con precisione le morfostrutture vallive glaciali dell'edificio morenico (in blu), nonché alcuni lineamenti tettonici principali (in rosso).

Riferimenti Bibliografici

AA.VV. (2003), "AsterDTM 2.0. Installation and user's guide", SulSoft Ltda, 7-24.

Boccardo P., Bellone T., Borgogno Mondino E., Giulio Tonolo F., Perotti L. (2004), "Valutazione di DSM derivati da immagini satellitari stereoscopiche mediante software commerciali", VIII Conferenza Nazionale ASITA, pp. 461-466, Roma, Dicembre 2004.

Bortolami G.C., Crema G.C., Malaroda R., Petrucci F., Sacchi R., Sturani C., Tavaglini S. & Venzo S. (1969), *"Foglio 56 "Torino" della Carta Geologica d'Italia"*, II ed., scala 1:100.000. Serv. Geol. It., Roma.

Carraro F. & Giardino M. (2004) "*Quaternary glaciations in the western Italian Alps*" in Ehlers J. & Gibbard J. (eds.): Quaternary Glaciations - Extent And Chronology, Elsevier B.V. 201-208.

Giardino M. & Mortara G. (*a cura di*) (2004), "*I geositi nel paesaggio della Provincia di Torino*". Pubblicazione del Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Torino, 3 volumi.

Sacco F. (1887), "L'anfiteatro morenico di Rivoli", Boll. R. Comit. Geol. Ital., 5-6: 45 pp. Sacco F. (1921), "Il glacialismo della Valle di Susa", L'Universo, 2: 561-592.