

Claudio Bozzini\*  
 Marco Conedera\*  
 Patrik Krebs\*

Die Einzelbildauswertung:  
 die Entwicklung eines Instruments für das  
 Monitoring, die Planung  
 und die Geschichte der Landschaft

# La monofotogrammetria

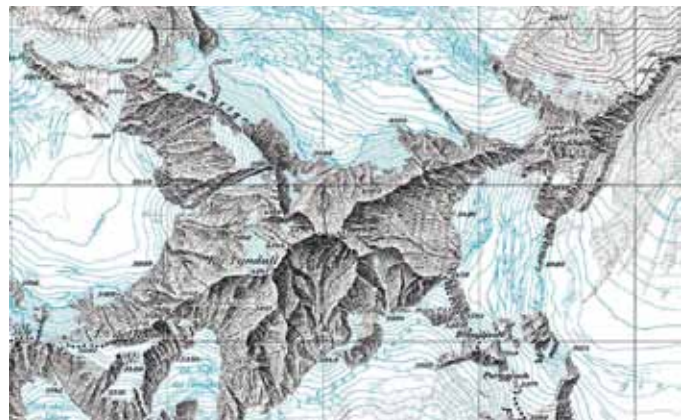
L'evoluzione di uno strumento per il monitoraggio, la pianificazione e la storia del paesaggio

Nel corso dell'Ottocento la tecnica fotografica s'impose come mezzo prodigioso per fissare e documentare a futura memoria ogni aspetto visibile della realtà. Nel secolo successivo si diffuse anche la fotografia aerea che in breve si accaparrò un ruolo preminente per la sua vocazione di tecnica molto efficace al servizio della cartografia. Di conseguenza, la fotografia terrestre si ritrovò perlopiù accantonata in campo artistico o ricreativo, lasciando alla stereofotogrammetria aerea il ruolo principale quale strumento scientifico di misurazione e documentazione sistematica del paesaggio. Così ai giorni nostri per studiare le trasformazioni del paesaggio si utilizza soprattutto le foto aeree, le immagini satellitari e il confronto cartografico, ritenendo le fotografie terrestri meno interessanti in quanto difficilmente georeferenzabili e quantificabili.

Quest'evoluzione non considera però i numerosi e innegabili vantaggi del metodo fotografico tradizionale, in particolare in termini di costi di esecuzione, disponibilità d'immagini, coincidenza con la visione umana (fig. 1), livello di risoluzione, resa nelle zone montagnose<sup>1</sup> e possibilità di arretramento nel tempo (Krebs 2004, pp. 345-346). Basti pensare all'importanza della fotografia terrestre come fonte impareggiabile di dati territoriali molto dettagliati per tutta la seconda metà dell'Ottocento e fin verso gli anni trenta del Novecento allorquando le foto aeree erano ancora una rarità.

Oltre a questi vantaggi, i tempi sono propizi anche per rivalutare il difetto maggiore che si suole assegnare alla fotografia terrestre, vale a dire la difficoltà di georeferenziarne i contenuti. Infatti sfruttando i principi della monofotogrammetria e il perfezionamento dei modelli digitali di elevazione (DEM: *Digital Elevation Model*) risulta attualmente più agevole calcolare la posizione geografica di ogni pixel fotografico e quindi trarre preziose informazioni cartografiche e quantitative da qualsiasi immagine digitalizzata.

In questo articolo dapprima spieghiamo le tappe storiche che hanno condotto allo sviluppo della monofotogrammetria, in seguito discutiamo i vari problemi che rendono difficile l'applicazione di questa tecnica alle foto terrestri, quindi presentiamo un nuovo software di monofotogrammetria studiato appositamente per semplificare queste applicazioni permettendo anche a un utilizzatore occasionale di trarre precise informazioni geografiche e quantitative da normali fotografie oblique. Nell'ultima parte le potenzialità del nuovo software vengono dettagliate con alcuni esempi di applicazioni pratiche.



1. Confronto tra il Cervino (4478 m) visto sulla mappa nazionale 1:25000, visto su una fotografia aerea e visto su una normale fotografia terrestre. La magnifica montagna, nota in tutto il mondo per la sua particolare forma piramidale, risulta immediatamente riconoscibile unicamente nella visione da terra.

### Dalla fotografia alla monofotogrammetria

L'invenzione della fotografia risale agli anni venti dell'Ottocento, ma la tecnica si diffuse su ampia scala solo a partire dagli ultimi decenni del secolo anche in seguito all'avvento degli apparecchi fotografici portatili e delle cartoline postali illustrate. In particolare le cartoline d'epoca rappresentano una risorsa di grandissimo valore per lo storia del paesaggio, e questo in ragione soprattutto del numero molto elevato di vedute panoramiche prodotte soprattutto dal 1890 in poi. Basti pensare che per la sola città di Bellinzona si hanno diverse migliaia di immagini distinte per i soli quattro decenni dal 1890 al 1930. La qualità delle cartoline d'epoca in termini di risoluzione e nitidezza può variare notevolmente, ma non di rado si riscontrano livelli di dettaglio molto elevati (fig. 2).

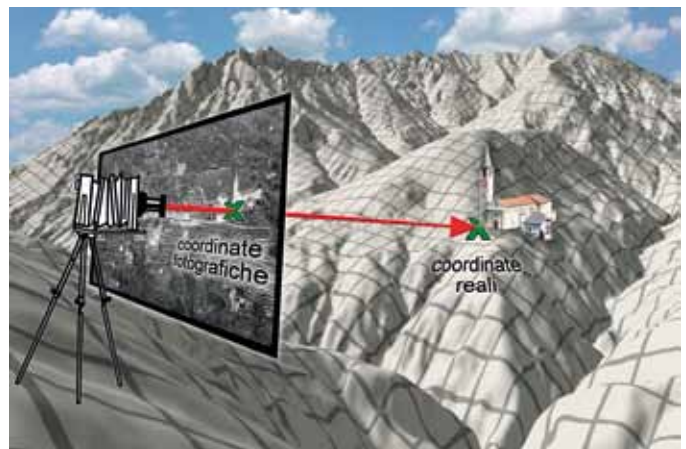
La fotografia aerea, dal canto suo, comparve già nel corso dell'Ottocento, in particolare grazie ad alcuni pionieri come il sangallese Spelterini. In seguito, in Svizzera, i passi fondamentali per lo sviluppo della fotografia aerea avvennero tra il 1913 ed il 1935. A cavallo tra i due conflitti mondiali s'impose anche la fotogrammetria, intesa come scienza delle misurazioni geometriche o cartografiche su immagini fotografiche. Si trattò di un importante progresso della tecnica fotografica, decisivo per l'ottenimento di dati geografici e quantitativi a partire dalle fotografie. Fondamentale per la fotogrammetria è la realizzazione di due prospettive fotografiche della medesima porzione di territorio atte a fornire una visione stereoscopica con possibilità di misurare le caratteristiche spaziali degli oggetti identificabili. In un primo tempo si sperimentò soprattutto la fotogrammetria terrestre. Così in Svizzera tra il 1915 e il 1947 il servizio topografico federale produsse almeno 40000 coppie di immagini stereofotografiche (o *stereofotogrammi*) realizzate in quasi 7000 stazioni terrestri poste solitamente in ambiente montano e in punti molto panoramici ed esposti. Poi nel 1935 venne acquistato il primo aereo attrezzato per la fotogrammetria aerea. Nel 1938, mettendo a profitto la fotogrammetria aerea, venne pubblicato il primo foglio della Carta nazionale 1:50000. Il primo foglio 1:25000 venne pubblicato nel 1952.

La monofotogrammetria apparve negli anni '70 del Novecento come sviluppo particolare della fotogrammetria applicabile a singole immagini fotografiche. In pratica, grazie ai primi sviluppi dei calcolatori digitali (Ceruzzi 2003) e dei modelli digitali di elevazione (Miller e Laflamme 1958), si cominciò a sperimentare la realizzazione di misure cartografiche precise su singole immagini fotografiche, partendo dall'acquisizione completa dei parametri di orientamento interno ed esterno della fotocamera e calcolando di volta in volta il punto d'intersezione tra il raggio ottico e la superficie del modello del terreno (fig. 3). La concezione del metodo mono-fotogrammetrico si deve soprattutto allo sloveno Branko Makarovič che

aprì la strada con diverse pubblicazioni fondamentali (Makarovič 1973 e 1982). La tecnica del *monoplotting* (così veniva designata la restituzione monofotogrammetrica), applicata alle fotografie oblique, ebbe nei decenni successivi diversi promotori<sup>2</sup> ma in definitiva non riuscì a farsi notare oltre a qualche cerchia isolata di specialisti. Soprattutto a partire dagli anni Novanta, il medesimo principio è stato applicato pure alle immagini aeree e satellitari (Jauregui et al. 2002; Willneff et al. 2005), spesso relazionandole a modelli di superficie prodotti con scansione laser (Ressl et al. 2006), e mostrando quindi segni promettenti di rinnovamento e diffusione.



2.



3.



### Sviluppi recenti e futuri della monofotogrammetria

Tra gli sviluppi più interessanti degli ultimi decenni notiamo l'entrata in scena di alcuni software generici che offrono qualche procedura di monofotogrammetria, come ad esempio *SCOP++* dell'Università Tecnica di Vienna, *ILWIS* sviluppato in Olanda e *Barista* sviluppato in Australia. Col cambio di millennio sono comparsi pure i primi prototipi di software specifici centrati sul principio del monoplotting applicato alle foto oblique, come ad esempio i progetti *OP-XFORM* (Doytsher e Hall 1995), *JUKE method* (Aschenwald 2001), *Georeferencing oblique terrestrial photography* (Corripio 2004), *3D Mono-plotter* (Mitshita et al. 2004) e *DiMoTeP* (Fluehler et al. 2005). Il progetto di Corripio (2004) è forse l'unico ad aver raccolto un certo interesse attorno a sé, in particolare per lo studio della copertura nevosa in ambiente alpino (Farinotti 2010). Si tratta però ancora di un applicativo per certi versi incompiuto, non dotato di un'interfaccia veramente conviviale e soprattutto volto a generare un'ortofotografia<sup>3</sup> partendo da una foto terrestre obliqua con parametri di orientamento precisati. La trasformazione per intero di una foto terrestre in ortofoto presenta un notevole interesse per il monitoraggio a basso costo (*low-cost monitoring*) dei fenomeni ambientali. Vi sono però anche degli effetti negativi in termini di perdita di leggibilità dell'immagine fotografica. Infatti ogni pixel fotografico, per collocarsi nelle coordinate reali corrette, subisce una proiezione specifica, compromettendo così la corrispondenza originale tra un pixel e l'altro e le possibilità di riconoscimento oggetti sull'immagine (fig. 4).

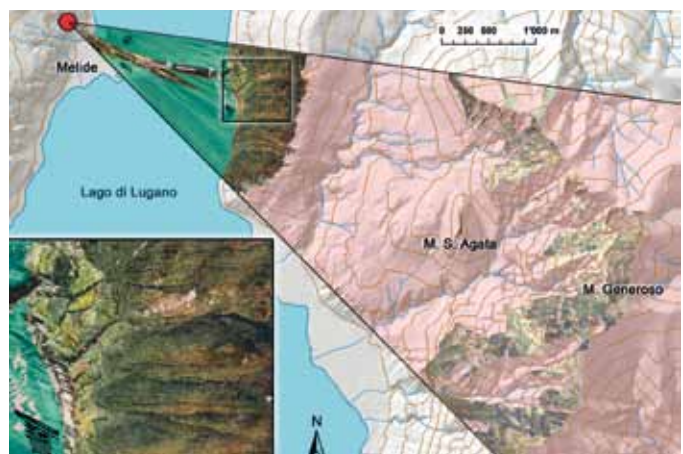
Così ai giorni nostri, grazie anche alla confluenza di condizioni propizie, la monofotogrammetria sembrerebbe essere ormai pronta per effettuare quel salto di qualità che la renderebbe fruibile su larga scala:

- I modelli digitali del terreno diventano sempre più precisi, sempre più diffusi e a buon mercato.
- La digitalizzazione delle foto storiche ha compiuto enormi progressi sia in termini qualitativi che quantitativi<sup>4</sup>.
- L'esplosione del mercato delle fotocamere digitali pone nelle mani di tutti uno strumento davvero efficace per documentare l'ambiente circostante.
- Vi è una proliferazione di studi storico-geografici che fanno appello al confronto tra foto oblique d'epoca e attuali (*repeat photography*, *re-photography*) quale fonte essenziale d'informazioni sull'evoluzione del paesaggio (Kull 2005). In questo ambito, alcuni studiosi hanno pure tentato di trarre informazioni quantitative dalle foto d'epoca e in certi casi persino espresso chiaramente l'urgenza di nuovi strumenti per la georeferenziazione delle immagini (Roush et al. 2007).

Affinché la georeferenziazione di singole foto oblique riesca davvero a imporsi come metodo efficace per lo studio dell'evoluzione del paesaggio, manca-

no però ancora alcuni ingredienti importanti. Vi è in particolare una palese carenza di collaborazione tra i diversi centri di competenza in questo ambito. Emblematico il fatto che a tuttora non esista un termine appropriato e unanimemente riconosciuto che definisca questo tipo particolare di fotogrammetria. Infatti il termine inglese *monoplotting* suona obsoleto e mal s'inserisce nel mondo digitale contemporaneo. Il termine *monofotogrammetria* potrebbe essere una valida alternativa, ma si tratta di un concetto troppo generico.

La lacuna principale consiste nella mancanza di un software specifico, dotato di un'interfaccia davvero conviviale, che permetta all'utilizzatore anche



4.

2. Esempio di cartolina postale di notevole qualità. Si tratta di una fotografia di Artore e Bellinzona databile attorno al 1920. Si noti la ricchezza di dettagli che si può trarre da un'immagine così piccola (13 x 9.5 cm) semplicemente scansandola ad alta risoluzione.
3. Schema illustrante il principio del monoplotting. Conoscendo la posizione e l'orientamento della fotocamera, per ogni coordinata fotografica (in pixel) si può generare un raggio ottico passante per il punto focale. Le coordinate reali corrispondenti si ottengono calcolando geometricamente il punto d'incidenza di quel raggio sulla superficie del modello digitale di elevazione (DEM).
4. Ecco come si presenta una fotografia da terra (nello specifico una cartolina di Bissone d'inizio Novecento) quando viene trasformata per intero in un'ortofoto. Il punto rosso rappresenta la posizione del fotografo. Il quadrante in basso a sinistra mostra un ingrandimento di una porzione dell'ortofoto. Si noti la perdita di leggibilità dell'immagine fotografica dovuta alla proiezione differenziata di ogni pixel fotografico nelle coordinate cartesiane.

inesperto di realizzare tutta una serie di operazioni geografiche e monofotogrammetriche partendo da singole fotografie digitali o da scansioni di immagini analogiche, anche realizzate con fotocamere normali (non metriche) e anche non disponendo di tutte le informazioni concernenti la fotografia stessa. Un tale software dovrebbe inoltre permettere lo scambio dati coi i più comuni software GIS, nonché giustapporre in modo immediato la visione fotografica a quella cartografica, e rispondere alle esigenze di un'utenza anche molto diversificata.

**Il nuovo software di monofotogrammetria prodotto dal wsl**

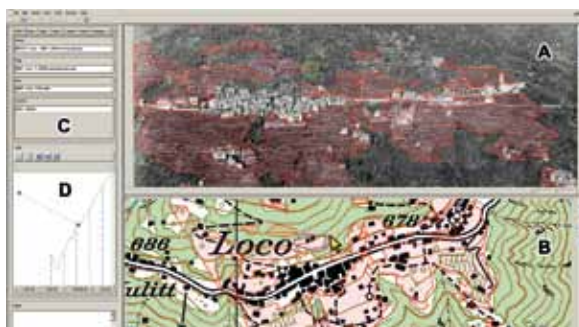
Volendo dare seguito alla fioritura di idee, interessi e potenzialità legate all'analisi e georeferenziazione di singole fotografie oblique, abbiamo sviluppato un nuovo software di fotogrammetria e cartografia progettato appositamente per lavorare con delle fotografie comuni, quindi non metriche e con incognite su posizione e orientamento. Il progetto nacque nel 2004 allorquando all'interno del nostro team di ricerca si afferrò il valore degli archivi fotografici per lo studio del paesaggio e si presagì la possibilità di sfruttare i DEM più precisi di ultima generazione per trarre dati cartografici e fotogrammetrici da normali fotografie (Krebs 2004, p. 354). Alcuni lavori successivi<sup>5</sup> ci permisero di meglio comprendere la ricchezza di dettagli e informazioni storiche contenute delle lastre fotografiche. Sul finire del 2009 venne iniziato il lavoro di programmazione, tuttora in corso unitamente alle prime verifiche della precisione<sup>6</sup>. Attualmente diversi moduli e strumenti sono già perfettamente funzionanti. Nella schermata iniziale si trovano due finestre principali, una di navigazione nella prospettiva fotografica e una di navigazione nella prospettiva cartografica (fig. 5). Fra i dati richiesti dal programma figurano essenzialmente la fotografia da georeferenziare, un modello digitale di elevazione (DEM), le coordinate reali e fotografiche di almeno 3 punti di controllo oltre a quelle riferite al centro della fotografia. Per consolidare il progetto di lavoro si può anche fornire al programma ulteriori dati come ad esempio mappe geografiche, ortofotografie o files vettoriali (shapefiles).

La prima funzione svolta dal programma è la calibrazione del modello della camera: in pratica il software si occupa di stimare tutti i parametri di posizione, orientamento e caratteristiche ottiche della camera al momento dello scatto sulla base dei dati in suo possesso. Questa procedura può avvenire in modo manuale o semi-automatico<sup>7</sup>. Una volta definiti tutti i parametri del modello della camera, la fotografia è georeferenziata permettendo di relazionare direttamente lo spazio fotografico con quello cartografico. Il software è quindi in grado di calcolare istantaneamente quali coordinate reali corrispondono ad ogni punto sulla fotografia, e viceversa. Così scorrendo il cursore sulla

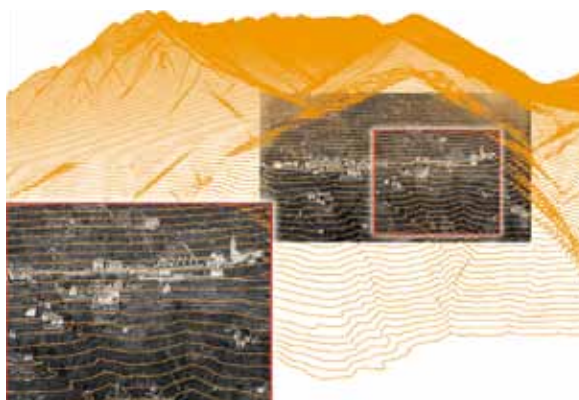
fotografia si può vedere in contemporanea la posizione corrispondente sulla mappa. L'edizione (*editing*) di dati vettoriali georeferenziati (*shapefiles* di punti, polilinee o poligoni) può venir realizzata indifferentemente nella finestra fotografica e nella finestra cartografica. Utilizzando questi strumenti di edizione si può così cartografare qualsiasi elemento visibile sull'immagine fotografica, purché si trovi a contatto con la superficie del terreno. Ad esempio si possono cartografare degli alberi isolati, ponendo un punto alla base di ogni tronco, oppure si può mappare un sentiero generando una polilinea che ne segua il tracciato sulla foto, o ancora si può cartografare un campo coltivato creando un poligono lungo tutto il suo perimetro. Durante l'edizione di questi punti vettoriali il programma genera una tabella dove ad ogni punto vengono associati diversi valori, tra cui le coordinate reali e fotografiche. Infine i documenti vettoriali prodotti possono venir esportati verso i più comuni software GIS.

Nel prossimo futuro è prevista l'aggiunta di altre funzioni interessanti:

- La possibilità di stimare i parametri di orientamento della camera tramite algoritmi di calibrazione automatica.
- L'*editing* di linee verticali (per rappresentare alberi o simili) o volumi aventi spigoli verticali (per rappresentare edifici o simili) in modo analogo alla funzione «Monoplot buildings» di *Barista*.
- La possibilità di misurare distanze tra punti posti sulla superficie del terreno o altezze tra punti disposti su una verticale.



5.



6.



- Per ogni punto editato, il computo e il salvataggio di diversi indici descrittivi il grado di precisione delle coordinate calcolate.
- La trasformazione dell'intero fotogramma in un'ortofoto georeferenziata (analogamente al software di Corripio), e viceversa la proiezione di qualsiasi mappa o ortofoto nella prospettiva fotografica.

**Esempi di applicazioni del nuovo software**

In quest'ultimo capitolo presentiamo brevemente alcuni esempi di campi di applicazione per i quali il software potrebbe fornire dei risultati di un certo interesse.

**1) Sovrapposizione di curve di livello su foto d'epoca**

Come detto in precedenza, tramite la calibrazione della camera e la georeferenziazione della fotografia, si ottiene una relazione di coincidenza tra lo spazio fotografico e quello cartografico. Questo permette ad esempio di proiettare sulla fotografia qualsiasi insieme di oggetti vettoriali georeferenziati (fig. 6).

**2) Stima della variazione nel tempo della superficie vignata**

In un precedente studio (Krebs e Conedera 2005) ci eravamo occupati delle trasformazioni del territorio di Loco in Onsernone nel corso dell'ultimo secolo. In particolare ci eravamo avvalsi di una bella fotografia d'epoca risalente al lontano 1885 e ritraente in modo indiscutibile la presenza di terrazzamenti vignati su una grande estensione attorno al villaggio. Nella ricerca del 2005 ci eravamo rassegnati a stimare la variazione della superficie vignata semplicemente confrontando la percentuale di superficie fotografica occupata dai vigneti nella foto in bianco e nero del 1885 e in una foto digitale del 2004 scattata esattamente dal medesimo punto di vista. Il risultato indicava un crollo della superficie vignata dal 30.8 al 2.6% della superficie fotografica. Per quanto convincente, quel dato mostrava solo una tendenza non essendo trasformabile in misure di superficie. Il problema è stato risolto grazie al nuovo software che ci ha permesso di quantificare con esattezza la superficie dei vigneti sulla foto del 1885 in 27.5 ettari (fig. 7), contro i soli 2.2 ettari visibili sull'immagine del 2004.

**3) Cartografia su vecchie cartoline dei canali per l'esbosco del legname**

L'utilizzo di canali semi-naturali per avvallare il legname è una tecnica tradizionale di esbosco ampiamente documentata lungo tutto l'arco alpino, soprattutto grazie alle discipline della dialettologia e della toponomastica. Per la Svizzera sudalpina si conoscono ad esempio i termini dialettali «óva»,

«tracióo» «tröcc», «vandüll» e «vestacc» (Less. dial. Sv. It. 2004, vol. 3 e 5). In pratica si sfruttava la conformazione naturale dei versanti montani e in particolare la presenza di vallette con pendenza sufficiente per permettere lo scivolamento spontaneo dei carichi di legna lungo buona parte del tragitto. Erano quindi dei canali perlopiù naturali, modificati solo in alcuni punti (ampliando il solco, liberando il tracciato, allestendo brevi collegamenti artificiali tra vallette contigue, costruendo qualche sponda, ecc.) per deviare, controllare o favorire il passaggio e lo scorrimento verso valle del legname. In alcune cartoline postali risalenti al periodo 1890-1960 e ritraenti i versanti montani attorno al Lago di Lugano si nota abbastanza chiaramente la presenza di questi canali.

Utilizzando il nuovo software di mono-fotogrammetria si può quindi georeferenziare le immagini più significative e procedere alla restituzione cartografica



5. Schermata iniziale (screenshot) del nuovo software di monofotogrammetria, con le seguenti finestre:  
 A navigazione nella prospettiva fotografica;  
 B navigazione nella prospettiva ortogonale cartografica;  
 C immissione e selezione dei dati di base;  
 D profilo d'incidenza sul DEM del raggio ottico.
6. Le curve di livello con equidistanza di 10 metri proiettate su una fotografia storica di Loco (Valle Onsernone) risalente al 1885.
7. L'area vignata attorno a Loco nel 1885, digitalizzata direttamente sulla foto d'epoca, georeferenziata col nuovo software di monofotogrammetria, e infine sovrapposta su una mappa.

precisa dei percorsi di esbosco riconoscibili (fig. 8). Ripetendo quest'operazione per tutte le fotografie d'epoca con contenuti simili, si potrebbe ottenere una visione cartografica generale della distribuzione di questi canali attorno ai laghi insubrici, fornendo agli storici una preziosa documentazione delle ultime rimanenze di queste vie di avvallamento prima del loro definitivo abbandono. Tramite una paziente ricerca nei fondi fotografici disponibili si potrebbe riunire anche più immagini coetanee o disetanee degli stessi versanti, così da permettere una verifica incrociata della fotointerpretazione, nonché una documentazione visiva dell'evoluzione nel tempo delle strutture di avvallamento.

#### 4) Monitoraggio delle acque superficiali

Una ricerca in corso presso l'Istituto per lo studio della neve e delle valanghe di Davos (WSL-SLF) condotta da tre specialisti in idrologia<sup>8</sup> intende studiare i processi relativi al suolo e all'ecosistema di un bacino imbrifero a valle di un ghiacciaio in forte retrazione (Dammagletscher, Andermatt, Canton Uri). In quest'area di studio la fotografia da terra permette di monitorare, regolarmente e a basso costo, il flusso d'acqua derivante dallo scioglimento della neve e del ghiaccio. Ogni ora, da maggio a ottobre, tramite un'installazione fissa, viene scattata automaticamente una fotografia del bacino a valle del ghiacciaio. Utilizzando il nuovo software di monofotogrammetria, la superficie dei corsi d'acqua viene quindi cartografata direttamente su ogni istantanea (fig. 9), servendo poi quale indicatore del flusso dell'acqua derivante dallo scioglimento della neve e del ghiaccio.

Come si evince da questi esempi, il nuovo software offre degli strumenti di analisi fotografica che potrebbero tornare utili nei più disparati ambiti di studio del paesaggio. Così ad esempio il glaciologo che volesse misurare le variazioni dell'albedo potrebbe trasformare interi fotogrammi in altrettante ortofoto georeferenziate. L'architetto che volesse evidenziare la crescita edilizia attorno a un nucleo storico potrebbe importare un disegno 3D con i volumi dei nuovi edifici, per poi trasformarlo in prospettiva fotografica e sovrapporlo a una fotografia storica ritraente il nucleo originale. L'ecologo che volesse studiare lo spostamento del limite superiore della foresta su un versante montano nel corso dell'ultimo secolo potrebbe importare una foto d'epoca, zoomare sui particolari più interessanti ed editare direttamente sulla foto ingrandita una polilinea rappresentante questo limite in formato vettoriale georeferenziato. Col presente contributo speriamo di aver reso attento il lettore sulle nuove opportunità che si offrono a chiunque volesse trarre informazioni geografiche precise dalle comuni fotografie.

\* Istituto federale di ricerca WSL, Gruppo ecosistemi insubrici, Bellinzona



8.



9.

8. Analizzando nel dettaglio la scansione di una cartolina ritraente il ponte di Melide e Bissone a inizio Novecento, si possono identificare, con diversi gradi di certezza (verde: alta attendibilità, rosso: bassa attendibilità), numerosi canali semi-naturali di esbosco del legname. Utilizzando il nuovo software questi canali vengono quindi cartografati e riportati sul piano corografico 1:10000.
9. Il nuovo software permette il monitoraggio della superficie dei corsi d'acqua nel bacino imbrifero a valle del Dammagletscher. I percorsi delle acque di scioglimento vengono così cartografati direttamente su ogni singola foto obliqua.



**Bibliografia**

- Aschenwald 2001: Aschenwald, Janette; Leichter, Karin; Tasser, Erich; Tappeiner, Ulrike; 2001. *Spatio-temporal landscape analysis in mountainous terrain by means of small format photography: a methodological approach*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 39, no. 4, pp. 885-893.
- Ceruzzi 2003: Ceruzzi, Paul E.; 2003. *A history of modern computing*. 2nd edition, Cambridge: MIT Press, 445 pp.
- Corripio 2004: Corripio, Javier González; 2004. *Snow surface albedo estimation using terrestrial photography*. International journal of remote sensing, vol. 25, no. 24, pp. 5705-5729.
- Doytsher e Hall 1995: Doytsher, Yerahmiel; Hall, John K.; 1995. *FORTRAN programs for coordinate resection using an oblique photograph and high-resolution DTM*. Computers & Geosciences, vol. 21, no. 7, pp. 895-905.
- Farinotti 2010: Farinotti, Daniel; Magnusson, Jan; Huss, Matthias; Bauder, Andreas; 2010. *Snow accumulation distribution inferred from time-lapse photography and simple modelling*. Hydrological Processes, vol. 24, no. 15, pp. 2087-2097.
- Fluehler et al. 2005: Fluehler, Matthias; Niederoest, Jana; Akca, Devrim; 2005. *Development of an educational software system for the digital monoplottting*. Proceedings of the ISPRS, Working group VI/1 - VI/2 (Tools and Techniques for E-Learning), Potsdam (Germany), June 1-3 2005, 6 pp.
- Jauregui et al. 2002: Jauregui, Manuel; Vilchez, José; Chacón, Leira; 2002. *A procedure for map updating using digital mono-plotting*. Computers & Geosciences, vol. 28, no. 4, pp. 513-523.
- Krebs 2004: Krebs, Patrik; Conedera, Marco; 2004. *La fotografia terrestre: un mezzo di grande efficacia per comprendere il passato e prepararsi al futuro*. Quaderni Grigionitaliani, vol. 73, no. 4, pp. 342-354.
- Krebs e Conedera 2005: Krebs, Patrik; Conedera, Marco; 2005. *Come è cambiato il territorio di Loco negli ultimi cento anni ?*. La Voce Onsernonese, vol. 186, pp. 7-12.
- Kull 2005: Kull, Christian A.; 2005. *Historical landscape repeat photography as a tool for land use change research*. Norwegian Journal of Geography, vol. 59, pp. 253-268.
- Makarovič 1973: Makarovič, Branko; 1973. *Digital monoplotters*. The ITC journal, no. 4, pp. 583-600.
- Makarovič 1982: Makarovič, Branko; 1982. *Data base updating by digital monoplottting*. The ITC journal, no. 4, pp. 384-390.
- Miller e Laflamme 1958: Miller, C. L.; Laflamme, R. A.; 1958. *The digital terrain model - theory and application*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 24, pp. 433-442.
- Mitishita et al. 2004: Mitishita, E. A.; Machado, A. L.; Habib, A. F.; Gonalves, G.; 2004. *3D monocular restitution applied to small format digital airphoto and laser scanner data*. ISPRS Congress, Istanbul 2004, Proceedings of Commission III, 6 pp.
- Ressler et al. 2006: Ressler, Camillo; Haring, Alexander; Briese, Christian; Rottensteiner, Franz; 2006. *A concept for adaptive mono-plotting using images and laserscanner data*. International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 36, no. 3, pp. 98-104.
- Roush et al. 2007: Roush, W.; Munroe, J. S.; Fagre, D. B.; 2007. *Development of a spatial analysis method using ground-based repeat photography to detect changes in the alpine treeline ecotone, Glacier National Park, Montana, U.S.A. Arctic, Antarctic and Alpine Research*, vol. 39, no. 2, pp. 297-308.
- Willneff et al. 2005: Willneff, J.; Poon, J.; Fraser, Clive; 2005. *Monoplottting applied to high-resolution satellite imagery*. Journal of Spatial Science, vol. 50, no. 2, pp. 1-11.

**Note**

1. Le montagne coprono quasi i due terzi del territorio svizzero. La pendenza del suolo tende a sfavorire la precisione del telerilevamento dall'alto avvantaggiando invece la resa delle immagini da versante a versante.
2. La lista è troppo lunga per essere presentata in questa sede. Tra gli autori più ricorrenti troviamo Peter Waldhäusl, Jörg Aschenbrenner, William S. Warner e Martien Molenaar.
3. Un'ortofotografia è una fotografia che è stata trasformata geometricamente e georeferenziata in modo tale da poter essere sovrapposta a una mappa.
4. Ricordiamo ad esempio l'Archivio Donetta a Corzozeso e la fototeca dell'Archivio di Stato a Bellinzona.
5. Krebs, Patrik; Conedera, Marco; 2005. *Viaggio nel tempo alla scoperta dei cambiamenti del paesaggio*. Diaporama inserito nell'esposizione del 2005-2006 presso il Museo di Valmaggia di Cevio dedicata alle foto di Rudolf Zinggeler (1864-1954).
6. La precisione può variare notevolmente a dipendenza di numerosi fattori tra i quali l'accuratezza e distribuzione dei punti di controllo, la qualità del modello digitale di elevazione (DEM) e dell'immagine fotografica, l'angolo d'incidenza del raggio ottico sul DEM e tanti altri. In molti casi, utilizzando dati di buona qualità, si può contenere l'errore medio anche ben al di sotto dei 5 metri.
7. Il software propone un modulo di simulazione che permette di correggere progressivamente l'orientamento della camera, ottenendo di volta in volta una stima dell'errore residuo in forma grafica e numerica.
8. Tobias Jonas, Jan Magnusson e Florian Kobierska: [http://www.wsl.ch/fe/gebirgshydrologie/schnee\\_hydro/projekte/cces\\_biglink](http://www.wsl.ch/fe/gebirgshydrologie/schnee_hydro/projekte/cces_biglink)

*Erfindung wurde die Fotografie in kurzer Zeit extrem populär zur Dokumentation der realen Welt. Die Fortschritte in der Einzelbildauswertung ermöglichten präzise räumliche Messungen und die Kartierung von Landschaftselementen auf der Grundlage von Halbbildpaaren. Mit dem Erfolg der Luftfotografie wurde die kartografische Nutzung von terrestrischen Schrägbildern obsolet. Erdbildmessungen bieten jedoch für die Untersuchung von Landschaftsveränderungen eine Reihe von Vorteilen wie die Ähnlichkeit mit der Perspektive des Menschen, bessere Ergebnisse in Berggebieten, bessere Auflösungsstufen und einen reichhaltigen Bildbestand, der bis ins neunzehnte Jahrhundert zurückreicht. In jüngster Zeit wurde die räumliche Georeferenzierung eines einzelnen terrestrischen Schrägbilds (Monoplottting) dank verbesserter Computerleistungen und der Erstellung von hochauflösenden digitalen Höhenmodellen vereinfacht. Keines der bisher entwickelten Monoplottting-Softwareprogramme überzeugt jedoch in Bezug auf Eigenständigkeit als komplettes Kartografieprogramm, Anspruchlosigkeit im Hinblick auf die erforderlichen Daten und Benutzerfreundlichkeit. Daher haben wir ein neues Tool entwickelt, das ausgehend von gängigen Einzelbildern Kartenlayer erstellt (z.B. georeferenzierte Vektordaten). Als Basisinformation ist nur das entsprechende DHM erforderlich, gemeinsam mit den Weltkoordinaten einer angemessenen Anzahl von Kontrollpunkten in der dargestellten Landschaft. In diesem Beitrag werden die aktuelle Version des Tools sowie die Ergebnisse der ersten Fallstudien dargestellt, zukünftige Entwicklungen erörtert und Anwendungsfelder aufgezeigt.*