



# La monofotogrammetria applicata al settore forestale

Nuovo *software* sviluppato dal WSL

di MARCO CONEDERA, CLAUDIO BOZZINI, PATRIK KREBS, CRISTIAN SCAPOZZA

L'Istituto federale svizzero di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio - WSL ha sviluppato un software per rendere operativa la monofotogrammetria nell'ambito delle attività forestali, di gestione e pianificazione territoriale. Questa tecnica, immediata e poco costosa, può risultare molto utile per tecnici e ricercatori perché in grado di sfruttare normali fotografie terrestri per poi applicarle ai sistemi GIS.

**L**a fotografia terrestre, soprattutto se riferita alle zone montuose, presenta innegabili vantaggi quali la coincidenza con la prospettiva umana, l'alto livello di dettaglio, i ridotti costi di esecuzione e la grande disponibilità di immagini storiche. Ciononostante, le oggettive difficoltà di georeferenziazione ne hanno finora fortemente limitato l'applicazione pratica in campo ingegneristico e forestale.

Un nuovo software basato sulla monofotogrammetria è stato concepito per ovviare a questi inconvenienti e aprire quindi interessanti possibilità di applicazione della tecnica fotografica nella documentazione e gestione di pericoli naturali, di danni al patrimonio boschivo e di particolari aspetti selvicolturali.

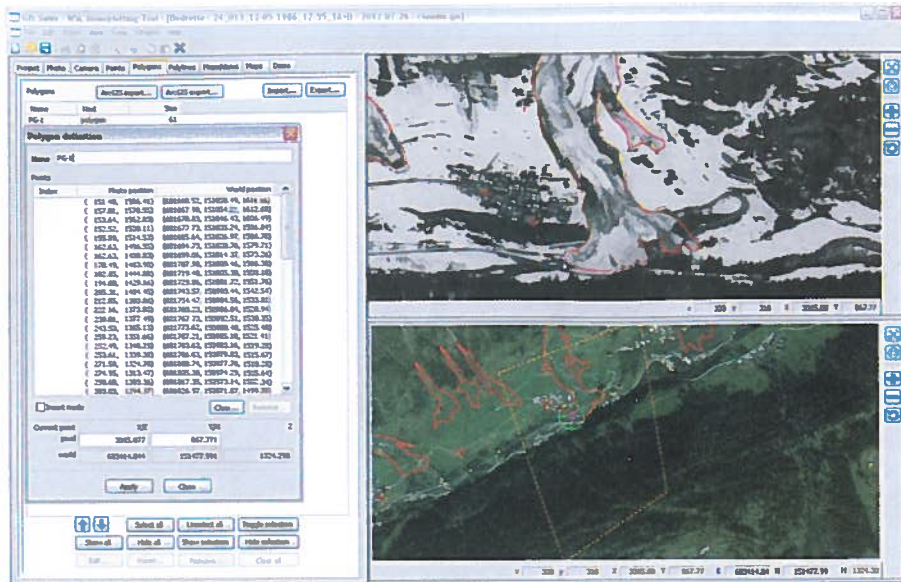
La monofotogrammetria è la branca della fotogrammetria che permette di effettuare misure cartografiche su singole immagini fotografiche. L'approccio monofotogrammetrico (detto anche *monoplotting*) presuppone la possibilità di acquisire tutti i parametri di orientamento interno ed esterno della fotocamera per poi calcolare, per ogni *pixel* della fotografia, il punto d'intersezione tra il raggio ottico e la superficie del modello del terreno corrispondente (MAKAROVIĆ 1973).

A livello pratico si tratta di mettere in relazione fotocamera, fotografia e Modello Digitale del Terreno (DTM) in modo che ogni raggio ottico che parte dalla camera e attraversa un punto della fotografia vada a intersecare il DTM nel corrispondente punto sul terreno.

**Questa procedura, detta calibrazione della camera, genera un sistema georeferenziato che permette l'analisi fotogrammetrica delle foto terrestri nelle tre dimensioni spaziali: in altre parole l'immagine diventa una carta geografica tridimensionale.**

## WSL MONOPLOTTING TOOL

Il software WSL Monoplotting Tool consiste in un'interfaccia intuitiva (Figura 1) che permette all'operatore di georeferenziare le fotografie (grazie alla calibrazione della camera), digitalizzare gli oggetti di interesse direttamente sulla foto terrestre e infine esportare punti e poligoni in sistemi GIS convenzionali, quali ESRI ArcGIS o QGIS (Bozzini *et al.* 2012).



**Figura 1 - Screenshot del WSL Monoplotting Tool.** In alto a destra: finestra di visualizzazione e navigazione nell'immagine (in questo caso una foto da elicottero degli eventi di valanghe del 1986 in Valle Bedretto/TI). Sotto a destra: finestra di visualizzazione e navigazione nella base cartografica (in questo caso una ortofotografia aerea). A sinistra esempio di finestra per l'immissione e la gestione dei dati di base (finestra per la definizione di poligoni). Una volta calibrato il sistema, le due finestre con le immagini sono perfettamente sincronizzate; ogni movimento di cursore nella finestra attiva è replicato in modo coincidente dal cursore nell'altra finestra. La posizione dei cursori è indicata nel bordo inferiore dell'interfaccia sia in pixel (riferiti all'immagine), sia in coordinate reali (base cartografica). Il quadrilatero giallo delimita sull'ortofotografia aerea la porzione di territorio in quel momento visualizzata nell'immagine superiore.

Le esigenze minime sono:

- **Immagine digitale** (originale o scansione di fotografie analogiche) **di buona qualità e risoluzione, con almeno 4 punti di controllo univoci.** Decisiva per la qualità è la densità di pixel fotografici per area rappresentata; i punti di controllo devono rappresentare elementi geomorfologici (massi singoli, speroni di roccia, confluenze di torrenti) o antropici (angoli di edifici, incroci) chiaramente riconoscibili, immutati nel tempo e omogeneamente distribuiti nello spazio rappresentato sulla foto.
- **Documento cartografico georeferenziato.** Basi cartografiche o ortofotografie aeree georeferenziate del territorio coperto dalle immagini.
- **Modello Digitale del Terreno (DTM) della zona di interesse.** Il DTM deve corrispondere alla situazione del terreno rappresentata sulla fotografia (soprattutto in caso di vecchie foto e di frane) e avere una risoluzione compatibile con il dettaglio degli oggetti da digitalizzare (con un DTM a 2 m si possono ottenere ottimi risultati).
- **Hardware.** Sistema operativo Windows a 32 o 64 bit con schermo a buona risoluzione tipo SXGA+ (1.400x1.050 pixel) o superiori.

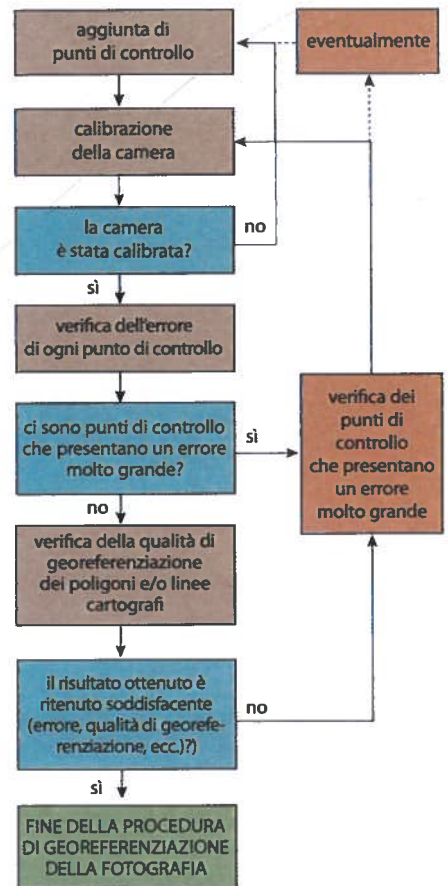
La calibrazione del sistema avviene in maniera semiautomatica e interattiva, fino alla ricostruzione del punto esatto di scatto, dell'orientamento

e delle caratteristiche della fotocamera (distanza focale, distorsioni delle lenti ecc.), seguendo lo schema operativo descritto in Figura 2.

## ESEMPI DI APPLICAZIONI

Un classico esempio di efficace utilizzo del *monoplotting* è rappresentato dalla documentazione di danni da eventi naturali come frane, colate detritiche (Figura 3) o valanghe. Spesso le priorità legate alle catastrofi naturali sono di sicurezza pubblica (salvataggio di feriti, evacuazione della popolazione in pericolo) e di logistica (ripristino delle vie di comunicazione e di trasporto): ciò non solo impedisce al personale addetto al primo intervento di occuparsi del rilievo dei danni, ma ne comporta anche la rimozione e cancellazione dei segni. In questi casi una rapida e mirata documentazione fotografica terrestre o aerea (il WSL Monoplotting Tool permette la georeferenziazione anche di fotografie aeree oblique) è la soluzione più efficace e a buon mercato.

Allorché le immagini georeferenziate esistenti (ortofoto e immagini satellitari) non contengono le informazioni necessarie allo scopo di documentazione (per esempio stagione sbagliata o dettaglio insufficiente) e una loro realizzazione allo scopo specifico risulterebbe troppo costosa, **l'approccio monofotogrammetrico può essere risolutivo anche per attività prettamente forestali, quali la delimitazione**



**Figura 2 - Schema della procedura iterativa di georeferenziazione delle fotografie oblique mediante il WSL Monoplotting tool.**

**del limite del bosco, la cartografia di perimetri di incendio, di danni da vento ai soprassuoli, o la localizzazione di individui arborei da sottoporre a trattamenti mirati** (per esempio specie pregiate potenzialmente adatte a una selvicoltura d'albero, Figura 4). A seconda delle esigenze dell'operatore, può anche rivelarsi necessario scattare più serie di fotografie, sia per tenere in considerazione fenomeni dilazionati nel tempo (per esempio fioritura precoce o differita dei singoli alberi) sia per aumentare la risoluzione dell'immagine (per esempio producendo diversi fotogrammi a lunghezze focali elevate, piuttosto che una singola immagine grandangolare). Da notare che il WSL Monoplotting Tool consente la calibrazione anche di fotografie panoramiche ad alta risoluzione ottenute unendo diversi fotogrammi tramite *image stitching* (Figura 4).

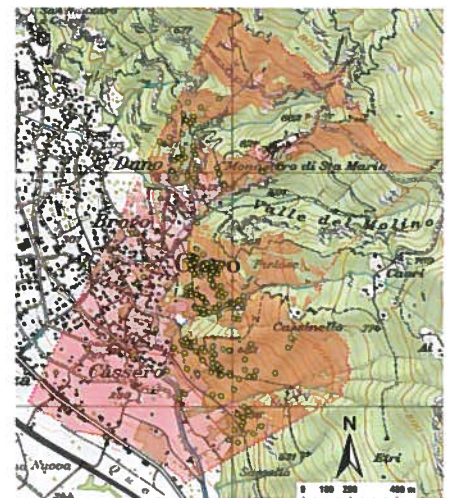
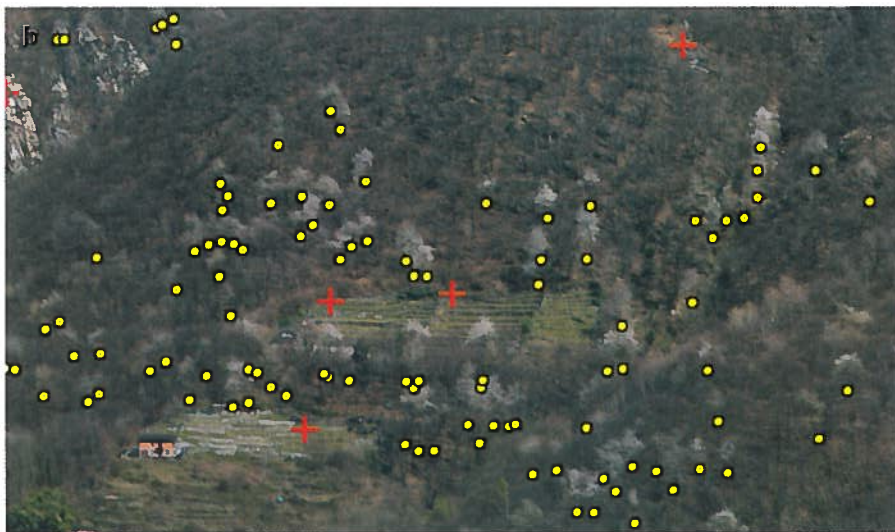
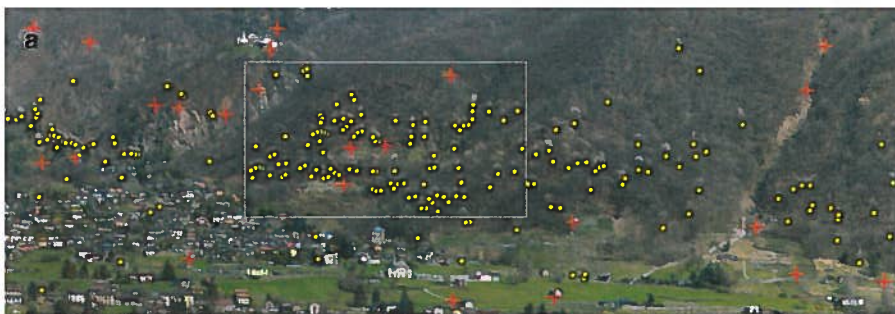
## TEMPI OPERATIVI E PRECISIONE DEL SISTEMA

Le esperienze fin qui raccolte dimostrano che, per un operatore con sufficiente dimestichezza con il WSL Monoplotting Tool, la mole di tempo necessaria per un ciclo completo di calibrazione del sistema e la digitalizzazione di



**Figura 3** - Colata di fango (*mudflow*) ad Adelboden (Canton Berna, 10 Ottobre 2011).

a) Immagine originale scattata il 18 Ottobre 2011 e relativi punti di controllo; b) immagine originale con digitalizzazione del perimetro della colata di fango; c) mappa di dettaglio con proiezione del perimetro della colata di fango. Errore teorico medio raggiunto = 1 m (0,3-2,3).



**Figura 4** - Localizzazione di ciliegi nel bosco sopra Claro (Canton Ticino - Marzo 2014).

a) Fotografia panoramica ad alta risoluzione (12.000 x 4.004 pixel) composta da 18 fotogrammi scattati il 28 Marzo 2014 e uniti tramite *image stitching* in Adobe Photoshop (funzione Photomerge). Le croci rosse indicano i 25 punti di controllo impiegati per calibrare l'immagine. I punti gialli corrispondono al pedale dei 228 ciliegi cartografati; b) Ingrandimento di un settore della medesima fotografia; c) Proiezione cartografica ortogonale degli alberi di ciliegio georeferenziati (punti gialli), del perimetro della fotografia panoramica (linea rossa tratteggiata) e dell'area fotografata (area rossastra). Errore teorico medio raggiunto = 4,4 m (0,6-11,6).

un oggetto su una foto può variare da mezz'ora per i casi più semplici fino a 4 e più ore per i casi complessi. Le fasi più onerose sono di solito rappresentate dalla preparazione del materiale di base (fino a mezz'ora) e dalla definizione dei punti di controllo e la relativa calibrazione iterativa (da 15 minuti fino a 2,5 ore), mentre per la digitalizzazione e l'esportazione dei dati occorrono generalmente da pochi minuti a mezz'ora per oggetto, in funzione della sua complessità (CONEDERA *et al.* 2013).

La precisione raggiunta dalla calibrazione del sistema dipende da diversi fattori quali la risoluzione della fotografia e del DTM da una parte e

la precisione e distribuzione dei punti di controllo dall'altra. Per ottenere una prima stima teorica dell'accuratezza della georeferenziazione si può fare riferimento all'errore tridimensionale effettivo (medio, massimo e minimo) dei punti di controllo calcolato in automatico dal WSL Monoplotting Tool, confrontando le coordinate reali fornite con quelle risultanti dalla calibrazione. Come evincibile dalle indicazioni di dettaglio riportate nelle didascalie delle rispettive figure, nei casi di studio presentati è stato raggiunto un errore teorico medio che va da pochi decimetri a qualche metro. Ovviamente in zone periferiche rispetto al centro della foto o molto lontane

dalla posizione della camera, oppure in aree poco dotate di efficaci punti di controllo, l'errore effettivo può essere maggiore.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'approccio monofotogrammetrico per mezzo del WSL Monoplotting Tool è un'interessante alternativa ai convenzionali metodi stereofotogrammetrici. I principali vantaggi sono i costi relativamente bassi, la flessibilità e la facilità con cui si possono combinare diverse fonti fotografiche (immagini d'epoca, attuali o realizzate *ad hoc*), anche da prospettive differenti, incluse immagini oblique scattate da elicottero e la

relativa precisione che può essere raggiunta (nella maggior parte dei casi più che sufficiente se commisurata allo scopo).

Il WSL Monoplotting Tool consente inoltre di operare anche con fotografie panoramiche ad alta risoluzione ottenute unendo diversi fotogrammi tramite *image stitching*.

Grazie alla monofotogrammetria è possibile anche ricostruire con precisione eventi naturali molto antecedenti alle prime foto aeree disponibili, per i quali si hanno dettagliate documentazioni fotografiche (CONEDERA *et al.* 2013). Si può così risalire fino agli ultimi decenni dell'Ottocento, ad esempio svelando nel dettaglio i movimenti e l'evoluzione di forme glaciali e periglaciali, come descritto in SCAPOZZA *et al.* (2014). **Altre tipiche applicazioni del WSL Monoplotting Tool sono le ricostruzioni e la cartografia di elementi paesaggistici tradizionali come terrazamenti, muri a secco, mulattiere e sentieri oggi inghiottiti dal bosco e quindi non visibili sulle foto aeree, o il monitoraggio a basso costo di processi ecologici** (per esempio il rinverdimento di grosse deponie) attraverso il ricorso a fotografie periodiche scattate a intervalli regolari della zona di interesse.

Grazie al nuovo software si possono inoltre visualizzare elementi topografici (come le curve di livello) o elementi paesaggistici moderni (strade o edifici) su foto d'epoca, e viceversa elementi scomparsi su foto moderne sia a scopi pianificatori che didattici.

Il WSL Monoplotting Tool è disponibile in ver-

sione Beta e viene messo a disposizione a titolo gratuito a ricercatori o professionisti che ne fanno richiesta alla condizione di partecipare a un corso di introduzione all'utilizzo, di accettare le condizioni di uso e, nel caso di ricerche in campo ambientale, di poter collaborare a livello scientifico.

#### PRIMO CORSO A FIRENZE

Il primo corso di formazione su questo software sarà organizzato da FormaFor in collaborazione con WSL e si terrà a Firenze il 5 Giugno 2015. Maggiori informazioni saranno disponibili al sito: [www.formafor.it](http://www.formafor.it)

#### Bibliografia

BOZZINI C., CONEDERA M., KREBS P., 2012 - **A New Monoplotting Tool to Extract Georeferenced Vector Data and Orthorectified Raster Data from Oblique Non-Metric Photographs**. International Journal of Heritage in the Digital Era. 1, 3: 499-518.

CONEDERA M., BOZZINI C., SCAPOZZA C., RÈ L., RYTER U., KREBS P., 2013 - **Anwendungspotenzial des WSL-Monoplotting-Tools im Naturgefahrenmanagement**. Schweiz. Z. Forstwes. 164, 7: 173-180.

MAKAROVIĆ B., 1973 - **Digital Monoplotters**. The ITC Journal, 4: 583-600.

SCAPOZZA C., BOZZINI C., MARI S., LAMBIEL C., CONEDERA M., 2014 - **Assessing the rock glacier kinematics at three different time scales: a study case from the Southern Swiss Alps**. Earth Surf. Process. Landforms 39, 2.056-2.069.

#### INFO. ARTICOLO

**Autori:** Marco Conedera, Istituto Federale di Ricerca WSL, Bellinzona. E-mail [marco.conedera@wsl.ch](mailto:marco.conedera@wsl.ch)  
Claudio Bozzini, Istituto Federale di Ricerca WSL, Bellinzona. E-mail [claudio.bozzini@wsl.ch](mailto:claudio.bozzini@wsl.ch)  
Patrik Krebs, Istituto Federale di Ricerca WSL, Bellinzona. E-mail [patrik.krebs@wsl.ch](mailto:patrik.krebs@wsl.ch)  
Cristian Scapoza, Istituto scienze della Terra, Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI), Canobbio. E-mail [cristian.scapoza@supsi.ch](mailto:cristian.scapoza@supsi.ch)

**Parole chiave:** Innovazione, cartografia, monofotogrammetria, fotografia, documentazione, georeferenziazione, GIS.

**Abstract:** Applying the monophotogrammetry in forestry. Historical or present oblique terrestrial photographs documenting landscape and natural disasters are abundant in archives, may be easily shot nowadays, and in most cases depict very informative details. In this contribution we present the potential use in natural hazards and silvicultural management of the monoplotting-software developed by the WSL in Bellinzona for georeferencing and orthorectifying ordinary individual photographs in order to produce georeferenced vector data by drawing them directly on the pictures and exchanging them with traditional GIS-Systems.

**Keywords:** Innovation, event documentation, terrestrial pictures, natural disasters, single tree silviculture, georeferencing, GIS.

#### Ringraziamenti:

Ringraziamo i colleghi Ueli RYTER, del gruppo pericoli naturali dell'Ufficio Forestale del Canton Berna, Lorenza RÈ, della Sezione Forestale del Canton Ticino, e FRANCESCO PELLER, del Centro di Ricerca per la Selvicoltura CRA di Arezzo, per l'aiuto prestato nell'ambito dell'elaborazione dei casi di studio.

I TRE nuovi LIBRI FORESTALI  
che presenteremo in anteprima a

Sherwoodstock



- **LE PIANTE DEL BOSCO**  
Forme, vita e gestione  
di Giovanni Bernetti
- **SELVICOLTURA GENERALE**  
di Pietro Piussi
- **SELVICOLTURA**  
per il turismo, il paesaggio e l'educazione ambientale  
di Roberto Del Favero, Mario Pividori,  
Barbara Crescente

