

## **Aspetti metodologici di analisi multi temporale, integrata con GPS e laser scanner 3D e modelli matematici per la valutazione del rischio idrogeomorfologico**

Luciano Blois (\*), Cristiano Blois (\*\*), Michele Caponi (\*\*),  
Silvia Logozzo (\*\*\*), Maurizio Rotondi (\*\*\*\*)

(\*) Università Telematica Guglielmo Marconi, Via Plinio 44, 06193 Roma, Italy, Tel. +39-06-377251  
Email: info@unimarconi.it

(\*\*) Laboratorio di Ricerca Altamente Qualificato IRIDE S.r.l., Via Luigi Catanelli 26, 06123 Perugia (PG), Italy  
Tel. +39-5990021, Email: info@iridelab.it

(\*\*\*) Università degli studi di Firenze, Dipartimento di Meccanica e Tecnologie industriali  
(\*\*\*\*) Funzionario tecnico Comune di Norcia

Il contributo proposto intende illustrare i risultati scientifici ottenuti dalla applicazione di un brevetto industriale dal titolo “METODO PER INDIVIDUARE ALMENO UN TERRENO A RISCHIO IDROGEOMORFOLOGICO” depositato grazie all’attività di ricerca del Prof. Luciano Blois. Il metodo studiato è impiegato per individuare e monitorare l’evoluzione nel tempo di eventuali terreni a rischio idrogeomorfologico, soggetti a possibili frane o subsidenze del terreno, e predire quando tale fenomeno potrebbe verificarsi, definendo la dinamica e la geometria del movimento di massa, nonché la sua evoluzione nel tempo. I risultati scientifici del metodo sono impiegabili per determinare il tipo di monitoraggio e/o bonifica da effettuare, ad esempio nel caso di una frana o una subsidenza e/o altre possibili variazioni multi temporali della morfologia della superficie di un terreno, dovute anche da attività antropiche come ad esempio avviene in alvei fluviali dopo un’alluvione o in discariche, cave e miniere a cielo aperto a seguito di scavi e riporti. Il metodo prevede di acquisire ad intervalli temporali differenti (T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>,..., T<sub>n</sub>) una pluralità di mappe topografiche, tridimensionali e georeferenziate (L<sub>0</sub>, L<sub>1</sub>,..., L<sub>n</sub>), e di sovrapporre ciascuna mappa topografica (L<sub>0</sub>, L<sub>1</sub>,..., L<sub>n-1</sub>) con la mappa topografica successiva (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, ..., L<sub>n-1</sub>) per ottenere una o più coppie (L<sub>0</sub>,L<sub>1</sub>; L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>;...; L<sub>n-1</sub>, L<sub>n</sub>) di mappe topografiche, tridimensionali e georeferenziate, sovrapposte della zona osservata. A partire dal data set ottenuto da misure fotogrammetriche, laser scanner 3D e satellitari è possibile individuare attraverso interpolazione matematica e l’impiego di superfici NURBS l’equazione matematica tempo-variante della superficie di scivolamento.

**Caso di studio.....** Il metodo è stato sperimentato a Nottoria una frazione del comune di Norcia ed in particolare è stata effettuata una campagna di misure sperimentali per lo studio della stabilità di un ammasso roccioso che sovrasta a pochi metri le case del centro storico. In particolare sono state effettuate misure laser scanner 3D georeferenziate attraverso GPS topografici e sono state individuate coppie stereoscopiche storiche restituite attraverso tecniche di fotogrammetria digitale. I risultati ottenuti hanno consentito di definire un piano operativo di bonifica per la messa in sicurezza della zona interessata dall’intervento.

### **I. Introduzione**

Lo studio di tecniche integrate per il controllo di dissesti idrogeologici è un obiettivo di straordinaria importanza per la protezione civile, al fine di evitare il verificarsi di disastri naturali.

Pertanto sono stati effettuati enormi sforzi per investigare le cause e i meccanismi alla base del fenomeno di frana. In questo articolo, è proposta una tecnica di studio dell'evoluzione cinematica del caso di studio in esame attraverso una ricostruzione multi temporale basata sull'elaborazione di immagini fotogrammetriche acquisite da archivi storici e con rilievi di dettaglio laser scanner e GPS. In particolare, sono state acquisite n° 2 fotogrammi aerei dal Volo Regione Umbria del 1980 a bassa quota (scala foto 1:3.000). L'area oggetto dell'indagine è situata nella parte bassa del versante S-Ovest del monte Sezza, ad una quota media di circa 960 m s.l.m., in prossimità del piccolo centro abitato di Nottoria. L'affioramento roccioso nel suo insieme ha una estensione di 40 m per un'altezza di 12 m circa. Gli agenti esogeni hanno disarticolato l'ammasso in grossi blocchi che insieme formano una struttura a gradoni con pendenze sub-verticali irregolari sia per altezze che per estensioni laterali. L'instabilità del fronte potrebbe infatti dar luogo a fenomeni di instabilità legati essenzialmente a eventi di crollo di materiale instabile che andrebbero a coinvolgere le abitazioni limitrofe. A tale proposito si è resa necessaria l'esigenza di studiare e perfezionare una soluzione progettuale per la bonifica del sito. L'utilizzo della metodologia proposta ha permesso di effettuare un confronto multi temporale attraverso la sovrapposizione di DTM ottenuti dalla restituzione digitale aerofotogrammetrica e il rilievo di dettaglio laser scanner 3D terrestre.

## II. Analisi multitemporale

I risultati dell'analisi multi temporale mettono in risalto l'intervallo di tempo in cui il movimento si è attivato ed è progredito, la tipologia del movimento di massa con la sua geometria di superficie ed in profondità. Lo studio è finalizzato alla analisi multi temporale dell'ammasso roccioso. I fotogrammi storici individuati sono:

1980 ripresa aerea volo Regione Umbria – scala foto 1:3000

I fotogrammi sono stati acquisiti con fotocamere analogiche, che producono diapositive (23 x 23 cm) trasformati successivamente in immagini digitali tramite l'utilizzo di scanner aerofotogrammetrici di proprietà dell'I.G.M. il quale acquisisce immagini a 1200 d.p.i con la precisione di un micron. La precisione è quindi quantificabile mettendo in relazione la dimensione del singolo pixel con la corrispondente misura a terra. Stabilito che a 1200 d.p.i la dimensione del singolo pixel sul fotogramma corrisponde a 21 micron, alle diverse scale corrisponde la misura del pixel sul terreno:

es. Foto a 2600 di scala...pixel a terra = 55 cm

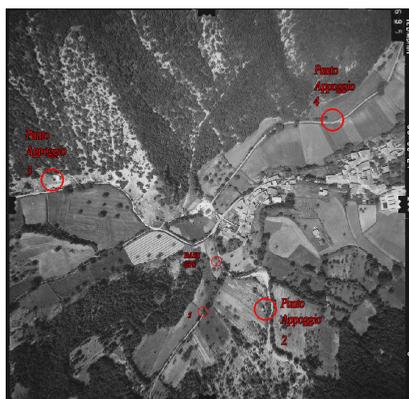


Figura 1 – Distribuzione punti di georeferenziazione GPS.

### III. Rilievo laser scanner 3D-GPS

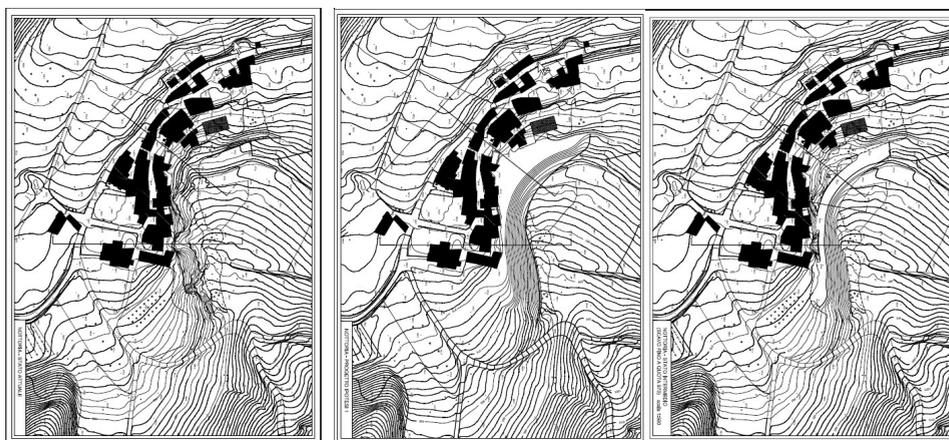
A partire dall'analisi multi temporale, si è passati allo studio, la progettazione e l'esecuzione di rilievi laser scanner 3D e GPS. Il rilievo è stato effettuato con l'utilizzo dello strumento laser RIEGL LMS-Zi420 e sistema RX/TX GPS Leica 1200. Il dato laser ha permesso in fase di elaborazione di creare un modello solido e una griglia tridimensionale del rilevato dal quale è stato possibile estrapolare sezioni ad intervalli con risoluzione centimetrica. In particolare, la nuvola di punti laser è stata elaborata utilizzando dei modellatori di superficie basati sulla matematica NURBS (Non Uniform Rational B-Splines), al fine di ricostruire il modello tridimensionale del sito e quindi estrarre gli elementi vettoriali, quali sezioni verticali e orizzontali con passo millimetrico. Gli oggetti estratti dal modello 3D vengono automaticamente esportati in ambiente CAD. Particolarmente interessante è questa ultima caratteristica, in quanto, disponendo del modello CAD tridimensionale, è possibile effettuare tutte le successive operazioni: l'estrazione dei parametri geometrici, la catalogazione e la ricostruzione dell'oggetto intero. La meshatura poligonale è un metodo standard per realizzare una descrizione geometrica di una superficie irregolare. Per la maggior parte delle applicazioni topografiche la soluzione a  $2 \frac{1}{2} D$  è sufficiente, ossia l'intera geometria può essere descritta fissando un valore di altezza in base alle distanze verticali da un piano di riferimento fino ai vertici bidimensionali definiti su questo stesso piano. In questo particolare caso, invece, è stato necessario applicare il metodo di meshatura 3D e di volume che permette la restituzione di geometrie chiuse e la modellazione di forme concave. I limiti presenti in ogni algoritmo di meshing spesso determinano degli errori di risultato che si traducono in irregolarità della maglia (fori, triangoli irregolari) e necessitano quindi di un editing della maglia triangolare. Le procedure per la rilevazione degli errori e loro correzione sono presenti in modo tale da pervenire ad un risultato soddisfacente in tempi ragionevoli (hole detection, riorganizzazione dei triangoli, smoothing, etc.). Alla fine del processo di estrazione di una geometria a partire da una nuvola di punti la visualizzazione dei risultati ha un'importanza fondamentale. Questa fase può essere enfatizzata da un buon algoritmo di texturizzazione dell'insieme di superfici trovate. Le texture possono derivare da un database di default a secondo del materiale o più facilmente dalle foto scattate dal dispositivo di acquisizione durante la scansione. Dalla superficie ottenuta tramite NURBS si possono automaticamente estrarre le sezioni planari di interesse esportabili in ambiente CAD. Il sistema proposto consente quindi di valutare la stabilità dell'ammasso roccioso e la sua ricostruzione tridimensionale al fine di perfezionare un progetto di bonifica e messa in sicurezza del sito. Grazie alle immagini aerofotogrammetriche digitalizzate come descritto sopra, è possibile individuare un numero sufficientemente alto di punti di riferimento esterni all'area studiata  $Pe_1, Pe_2, Pe_3, \dots, Pe_n$  (considerati stabili) e dei punti di riferimento interni  $Pi_1, Pi_2, Pi_3, \dots, Pi_n$ . L'interpolazione matematica NURBS nel tempo di ciascun punto di riferimento interno  $Pi_1, Pi_2, Pi_3, \dots, Pi_n$  ed esterno  $Pe_1, Pe_2, Pe_3, \dots, Pe_n$ , permette di determinare in tempo reale, rispettivamente, l'equazione matematica tempo-variante  $E(V(t))$  della superficie di movimento  $V$  e l'equazione matematica tempo-variante  $E(S(t))$  della superficie di scivolamento  $S$ . Una volta determinate le equazioni tempo-varianti della superficie di scivolamento  $E(S(t))$  e della superficie di movimento  $E(V(t))$ , è possibile calcolare la velocità  $Vel$  e l'accelerazione  $Acc$  di ciascun punto dell'equazione matematica della superficie di movimento e della superficie di scivolamento, in modo tale da conoscere con quale rapidità si verifica lo spostamento della porzione di terreno a rischio idrogeomorfologico. A questo punto è possibile calcolare il rapporto di stabilità  $R_s$  tra le forze stabilizzanti  $F_s$  e le forze destabilizzanti  $F_b$  di ciascun punto dell'equazione matematica della superficie di movimento  $V$  e della superficie di scivolamento  $S$  e verificare se il valore medio  $R_{sm}$  del rapporto di stabilità calcolato, è inferiore ad un determinato valore di soglia. Tale valore di soglia è compreso tra 0,9 e 1,4, ed è, preferibilmente, 1,3. Si osservi che, in maniera alternativa, si può suddividere il volume  $T(V,S)$  individuato dalle superfici  $E(V(t))$  e  $E(S(t))$ , precedentemente ottenute, in varie celle  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , ad esempio, mediante il metodo dei volumi finiti, o degli elementi finiti, e predisporre, per ciascuna cella  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , il calcolo delle forze stabilizzanti e destabilizzanti che agiscono su ciascuna cella  $C_1, C_2, C_i$ . Quindi è possibile calcolare il relativo rapporto di stabilità del terreno, mediante il valore medio  $R_{sm}$  del rapporto di stabilità calcolato per ciascuna cella ( $C_1, C_2, \dots, C_i$ ) di indagine.

#### IV. Risultati

Attraverso l'analisi multi temporale, è stato possibile individuare l'evoluzione dell'ammasso roccioso attraverso la generazione dei DTMs nei vari istanti temporali e la loro comparazione. Il confronto tra i DTM è stato possibile grazie all'individuazione di un numero significativo di punti di controllo esterni comuni. Di seguito si riportano i risultati ottenuti. In particolare, dalla valutazione della stabilità del versante e dalla generazione dei modelli tridimensionali ad alta definizione, è stato possibile definire in collaborazione con gli enti coinvolti, un progetto di intervento finalizzato alla messa in sicurezza dell'area. A tale riguardo, si riportano di seguito gli elaborati planimetrici ottenuti riguardanti lo stato attuale, quello intermedio e quindi quello finale.



*Figura 2 – Foto sito studiato.*



*Figura 3 – Modello 3D a curve di livello dello stato attuale-intermedio-progetto.*



## V. Conclusione

E' stato proposto un metodo basato sulla ricostruzione e caratterizzazione di dissesto idrogeomorfologico attraverso una innovativa metodologia multi temporale basata su processi di interpolazione NURBS. L'analisi multi temporale ha permesso di ottenere la massa volumica e l'area coinvolta dal fenomeno. A partire dall'analisi della stabilità del versante, e dalla ricostruzione tridimensionale è stato possibile perfezionare al CAD un progetto di intervento che tiene conto di una fase iniziale, intermedia e finale, estraendo elementi geometrici come modelli a curve di livello, DTM e sezioni.

## Riferimenti bibliografici

- L. Blois, C. Blois, M.Caponi (2009) Aspetti metodologici di analisi multi temporale, integrata con GPS e stazione totale robotizzata e modelli previsionali per la valutazione di movimenti franosi in località San Giuliano e Colletorto, ASITA 2009.
- E. Brückl, F.K. Brunner , K. Kraus (2006), Kinematics of a deep seated landslide derived from photogrammetric” ELSEVIER, Engineering Geology 88 (2006) 149–159
- Arianna Pesci (1), Paolo Baldi (2), Alessandro Bedin (3), Giuseppe Casula (1), Nicola Cenni (2), Massimo Fabris (3), Fabiana Loddo (1), Paolo Mora (4) and Massimo Bacchetti (2), “Digital elevation models for landslide evolution monitoring: application on two areas located in the Reno River Valley (Italy),” ANNALS OF GEOPHYSICS, VOL. 47, N. 4, August 2004
- Giordano Teza , Arianna Pesci b, Rinaldo Genevois a, Antonio Galgaro “Characterization of landslide ground surface kinematics from terrestrial laser scanning and strain field computation. Res., ELSEVIER, Geomorphology 97 (2008) 424–437
- Cristina Squarzonil, Antonio Galgaro1, Rinaldo Genevois1, Francesco Paoli1, Roberto Francesel, Luigi Veronese 2, Paolo Campedel 2, “A multidisciplinary approach to landslide modelling: the case of Campodenno, north-eastern Alps, Italy”, Giornale di Geologia Applicata 3 (2006) 257-262, doi: 10.1474/GGA.2006-03.0-33.0126