

L'abitato di Ligosullo è situato nella parte apicale della valle del Torrente Pontaiba, a poco più di una ventina di chilometri da Tolmezzo; la morfologia è caratterizzata da estesi fenomeni franosi di scivolamento di probabile origine post-glaciale.

L'aspetto fondamentale che differenzia il presente studio dai precedenti, consiste nell'aver evidenziato, per la prima volta, la natura "profonda" del meccanismo di frana, potendo così indirizzare le proposte d'intervento in maniera certamente più adeguata ai fenomeni in atto.

La complessa serie di indagini effettuate nel corso della recente Convenzione tra il Servizio Geologico regionale e l'OGS, ha consentito di accertare, parallelamente alla presenza di fenomeni di scivolamento confinati nella coltre di alterazione superficiale, l'esistenza di una superficie di scivolamento molto evidente che si colloca fino a 70 m di profondità, coinvolgendo 7 milioni di m³ di ammasso roccioso.

Le misure, protrattesi per oltre nove anni, hanno consentito di evidenziare la presenza di un evento franoso attivo, di natura complessa che, sulla base dei dati disponibili, si colloca nell'area del capoluogo comunale ed ha un movimento stagionale dell'ordine di circa 2 centimetri all'anno.

A fronte della necessità di adeguare l'indagine, mediante approfondimento dei pozzi inclinometrici, alle evidenze dell'analisi geologica di superficie dalla quale emergeva l'esistenza di un rapporto non stratigrafico tra le arenarie della Formazione delle Arenarie di Val Gardena ed i gessi della Formazione a Bellerophon, hanno comportato l'esecuzione di 6 pozzi inclinometrici a carotaggio continuo e di 7 pozzi piezometrici a distruzione di nucleo per complessivi 560 m di terreno investigato.



Fig.1: Vista panoramica dell'abitato di Ligosullo.

Su numerosi campioni di terreno recuperati sia in zone significative dei carotaggi in pozzo e in siti superficiali posti al piede del fronte di frana, sono state effettuate prove di laboratorio geotecnico atte a classificare e a definire le caratteristiche di comportamento dei terreni e della massa rocciosa instabile.

I test sono stati condotti in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Trieste: eseguite le prove di classificazione e proprietà indice, si sono determinate le caratteristiche meccaniche dei terreni sottoponendoli a taglio anulare per la definizione dell'angolo di attrito residuo.

Mediante l'impiego di un sistema di acquisizione sismica multicanale della Oyo Geospace, sono state effettuate misure di sismica a rifrazione in superficie e misure di velocità nei vari pozzi geognostici perforati (down-hole). Queste misure hanno consentito la determinazione della velocità e dello spessore delle fasce di terreno alterato superficiale e di ricostruire l'andamento delle velocità sismiche (onde longitudinali) lungo la verticale dei pozzi. Per le misure sismiche a rifrazione di superficie si è fatto uso di uno stendimento a 24 canali con geofoni verticali da 10 HZ. Per le misure in pozzo, si è impiegato la configurazione a 4 canali (3 geofoni in pozzo + 1 in piano campagna).

In entrambi i casi l'energizzazione è stata effettuata mediante l'uso di una massa battente accelerata.

In tutti i pozzi inclinometrici realizzati sono state effettuate delle misure per valutare le deformazioni del terreno: con periodicità sistematica si sono eseguiti dei profili mediante sonda inclinometrica mobile biassiale, mentre in due pozzi sono stati installati inclinometri fissi a registrazione continua. Le possibilità di analisi e visualizzazione sono molteplici. Il differenziale locale è un confronto diretto dei dati passo-passo: ad ogni quota di misura viene determinato il differenziale rispetto la lettura zero, che permette di valutare la qualità del lavoro e di sottolineare le eventuali zone di maggior deformazione. Il differenziale integrale dal basso è il grafico più rappresentativo perché si presuppone che il piede del pozzo è vincolato ad un terreno non in frana, quindi stabile. I dati vengono confrontati e le differenze positive e negative sono esposte come sommatoria dal basso.

Con queste rappresentazioni grafiche si determinano il modulo di spostamento orizzontale, il verso e la direzione della deformazione del tubo nel tempo.

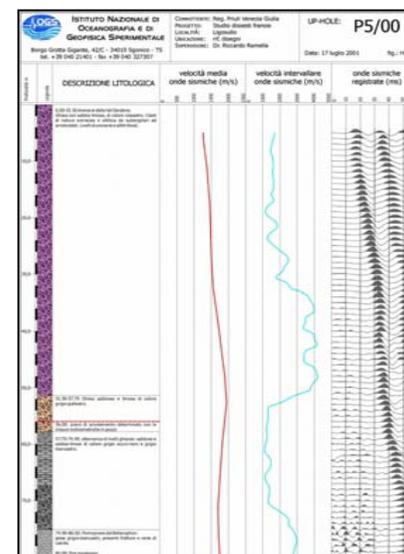


Fig.2: Sismica in pozzo down-hole.

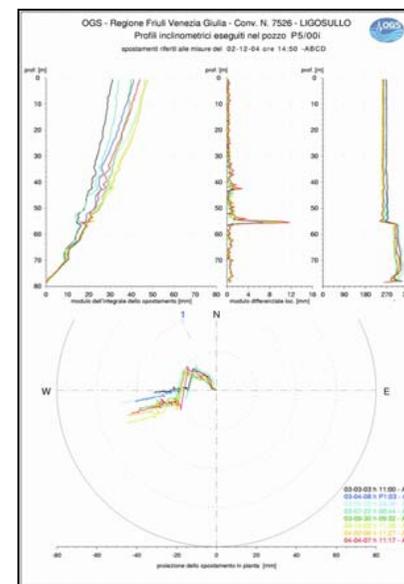


Fig.3: Grafici delle deformazioni dei tubi inclinometrici.

Le misure piezometriche e meteorologiche sono utilizzate per la caratterizzazione idrogeologica dell'area. Viene fatto ricorso ad un modello di bilancio molto semplificato, che ha come obiettivo quello di individuare la quantità di acqua soggetta ad infiltrazione, che alimenta la falda idrica, e le acque di ruscellamento superficiale, responsabili di locali fenomeni di destabilizzazione che possono agire sfavorevolmente nel quadro della complessa condizione di instabilità dell'intero versante considerato.

L'intera zona presenta caratteristiche di piovosità piuttosto elevate, con precipitazione medie annue di 1690 mm.

I valori ricavati, sono stati utilizzati per le successive operazioni di dimensionamento delle opere idrauliche che sono progettate con lo scopo di favorire un più rapido allontanamento delle acque piovane dall'area in frana e ridurre conseguentemente la quantità di acqua di infiltrazione.



Fig.5: Stazione meteorologica per la valutazione del bilancio idrologico.

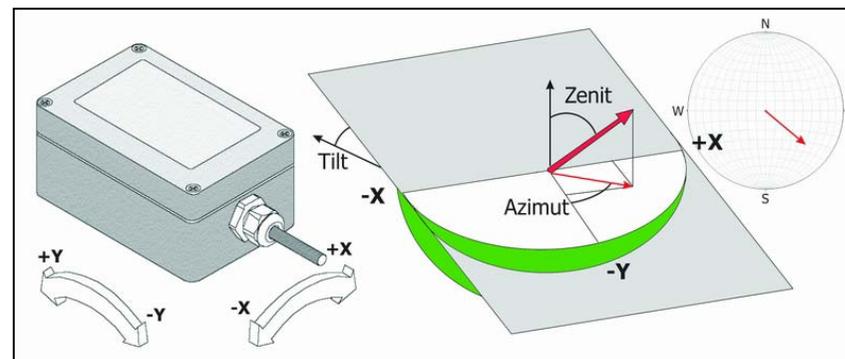


Fig.4: Misure tiltmetriche superficiali.

Le misure clinometriche di tipo biassiale servono a misurare le variazioni angolari di giacitura del piano superficiale che viene mobilitato dai movimenti franosi. I dati vengono campionati ogni ora con la possibilità di un controllo remoto del fenomeno.

Il sensore tiltmetrico è di tipo potenziometrico. Questi sensori sono costituiti da celle elettrolitiche; viene effettuata una misura elettromeccanica del potenziale resistivo in funzione dell'inclinazione del fluido elettrolitico.

Per la determinazione dei movimenti verticali dell'area in esame, è stato realizzato un percorso di livellazione, lungo la strada che collega Murzalis all'abitato di Ligosullo costituito da 30 capisaldi.

Per poter disporre di una base cartografica adeguata alla scala dello studio, è stato realizzato nel passato un rilievo aerofotogrammetrico su di un'area di 100 ettari che ha interessato l'abitato di Ligosullo e le aree immediatamente limitrofe.

L'area comunale è stata inoltre studiata mediante analisi di immagini radar da satellite ad apertura sintetica (SAR). Esse differiscono principalmente dai sistemi ad apertura reale poiché ottengono una migliore risoluzione nella direzione di azimuth, ossia lungo la traiettoria di volo dell'aereo o del satellite su cui è montata l'antenna radar. L'antenna radar del SAR ERS trasmette e riceve alternativamente impulsi elettromagnetici a una frequenza di circa 5.3 GHz corrispondenti ad una lunghezza d'onda di 56.6 mm e polarizzati verticalmente (VV). Mentre il satellite si muove lungo l'orbita l'antenna radar illumina lo stesso punto al suolo da più angolazioni e i sistemi radar SAR come quelli utilizzati a bordo dei satelliti ERS permettono l'acquisizione di immagini indipendentemente dall'illuminazione solare e dalle condizioni meteorologiche dell'area.

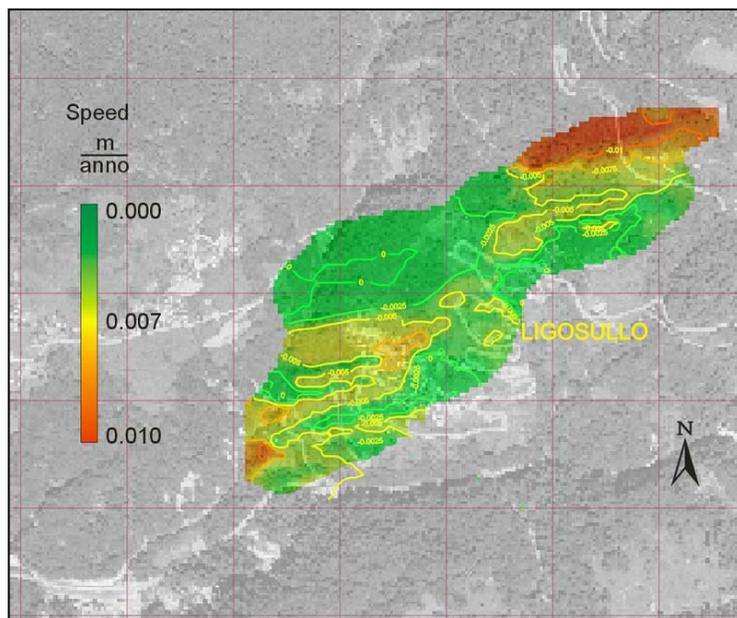


Fig.7: Immagine radar da satellite (SAR)

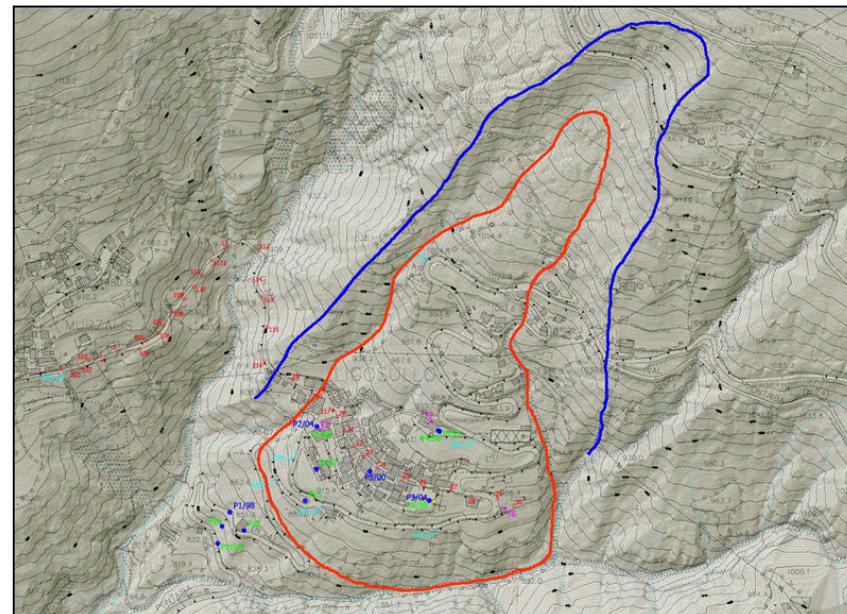


Fig.6: Rilievo geomorfologico da elicottero (DEM LIDAR)

Per consentire l'analisi tridimensionale del territorio di interesse, si è creato un innovativo Modello di Elevazione del Terreno (DEM), generato dall'acquisizione il LIDAR (Light Detection And Ranging).

Il sistema ALTM 3033 consiste in un laser infrarosso, un sistema di misura inerziale, un sistema di navigazione e posizionamento basato su GPS ed una unità di controllo centrale montati a bordo di un elicottero.

Il primo prodotto viene automaticamente classificato dal sistema laser e rappresenta il primo impulso (first pulse) di ritorno, che in pratica è legato alla prima riflessione occorsa.

Questo impulso è legato alla superficie limite dei sistemi ottici ovvero quella topograficamente più elevata. I prodotti successivamente generati sono classificati di secondo ordine e derivano dall'applicazione ai dati grezzi di particolari algoritmi.

Il principale obiettivo del lavoro è stato quello di determinare il cosiddetto "ground" ovvero il terreno reale rimuovendo per quanto possibile sia la vegetazione (sia di alto fusto che quella erbosa) che gli edifici ed i manufatti in genere.

Dai dati classificati preventivamente come ground abbiamo definito un sottoinsieme rappresentante i punti che sono necessari per la generazione di una superficie di triangolazione di una accuratezza determinata a priori generando un dataset di dimensioni limitate dai punti classificati.

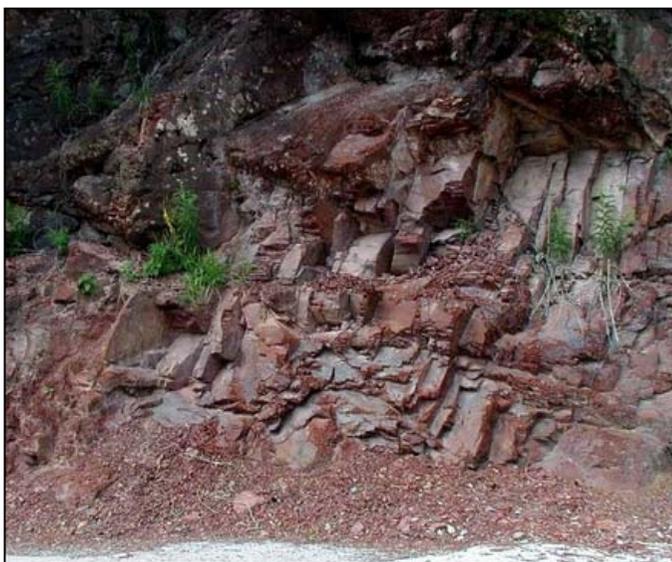


Fig.9: Affioramento delle Arenarie della Formazione della Val Gardena.

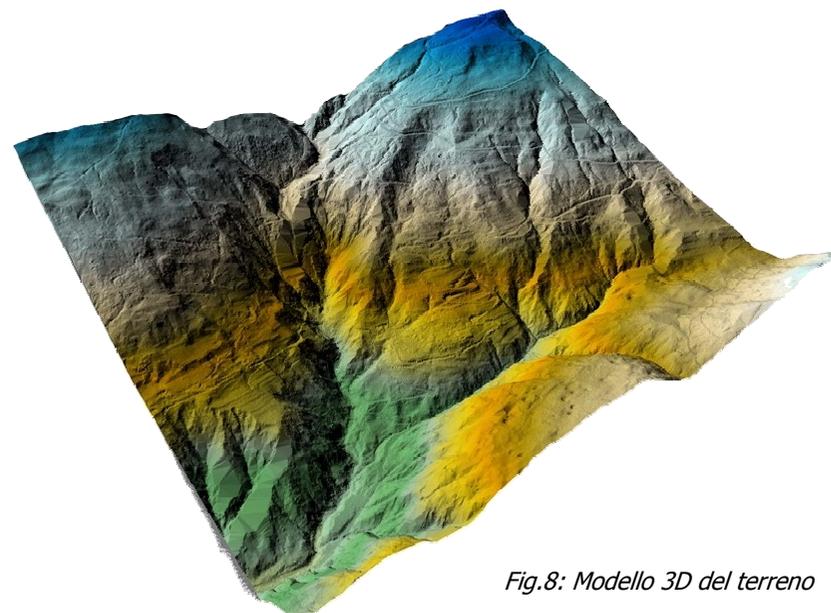


Fig.8: Modello 3D del terreno

Il sistema permette di eseguire ortophoto, fotografie aeree digitali in cui ogni singolo pixel ha un riferimento di coordinate. Sono il prodotto del raddrizzamento delle immagini digitali della ripresa aerofotogrammetrica, georeferenziate nel sistema geodetico-cartografico di riferimento e geometrizzate sulla base di un DEM.

A seguito di questi studi e monitoraggi, sono state effettuate delle proposte di intervento di sistemazione idraulica e di drenaggio che consentano di controllare e progressivamente arrestare l'evoluzione del fenomeno in atto; pur risultando impegnativi, sia dal punto di vista esecutivo che da quello finanziario, sono proporzionati alla natura e alla dimensione dello stesso.

a cura di
Riccardo Ramella
Roberto Romeo
RIMA - GEA

L'Unità di Ricerca GEA (Geofisica Ambientale) del Dipartimento per lo Sviluppo delle Ricerche e delle Tecnologie Marine dell'OGS si occupa di ricerche e servizi concernenti la geofisica ambientale, con particolare riguardo alla conservazione del territorio, alle problematiche inerenti al dissesto idrogeologico, all'idrologia, ai fenomeni di dinamica costiera e alle rilevazioni e mappatura di aree marine di pregio ambientale.

Su incarico e per conto del Servizio Geologico della Direzione Centrale Ambiente e Lavori Pubblici della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, il gruppo di Geofisica Ambientale ha eseguito diversi studi e monitoraggi dei dissesti idrogeologici che interessano il territorio regionale.

I progetti di monitoraggio inerenti al dissesto idrogeologico attualmente attivi sono quelli presso il Comune di Barcis (PN), Il Comune di Ligosullo (UD) e quello di Rio Fulin nel Comune di Forni Avoltri (UD).

Riccardo Ramella

Direttore del Dipartimento per lo Sviluppo
delle Ricerche e delle Tecnologie Marine

