

Università degli Studi di Napoli Federico II Scuola Politecnica e delle Scienze di Base



Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale Tesi di laurea triennale in Ingegneria per l'ambiente e il territorio **"Studio di fenomeni franosi mediante tecniche di fotointerpretazione"**

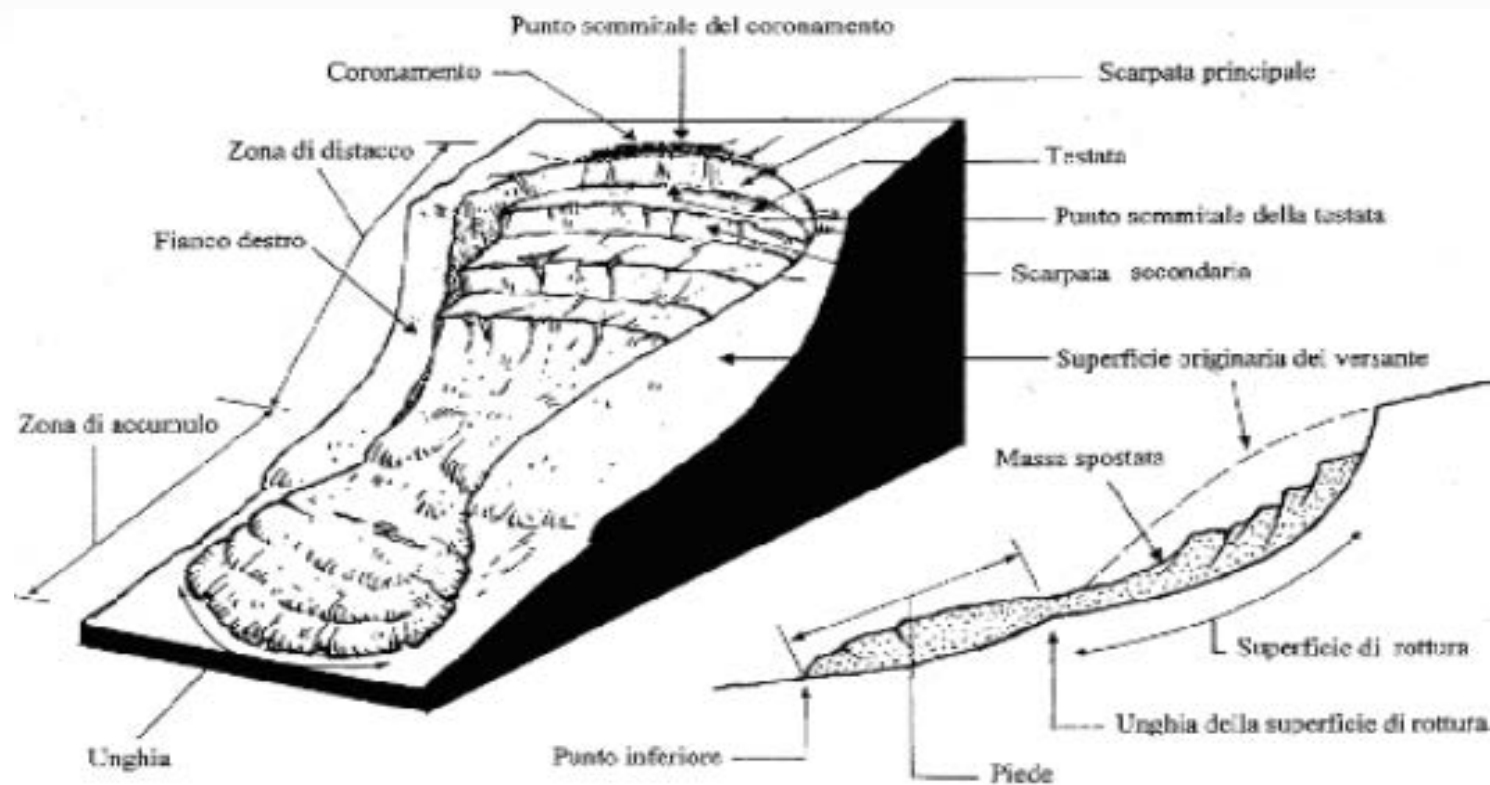
Relatore
Prof. Paolo Budetta

Candidato
Pietro Casalino
M. N49000418

Anno Accademico 2017/2018

Il presente studio affronta alcune problematiche inerenti i “metodi di studio e analisi delle frane ad evoluzione lenta ed a cinematisma intermittente” e le tecniche di fotointerpretazione usate per il loro controllo e monitoraggio degli spostamenti dei corpi di frana.

E' noto che le frane sono movimenti di masse rocciose, sciolte o lapidee, che si generano lungo una superficie di scorrimento in seguito all'azione della gravità. Sono processi morfodinamici che provocano il modellamento dei versanti.



Classificazione e riconoscimento

Le frane lente e intermittenti sono quelle che si muovono con basse velocità di spostamento ma con incrementi repentini dovuti, di solito, ad apporti meteorici ingenti o eventi sismici.

La velocità è da moderata ad estremamente bassa (da 2 m/ora fino a circa 16 mm/anno o meno), classi da 1 a 4 di Cruden & Varnes (1996).

Classe	Caratteri cinematici				Morfologia		
	Descrizione	Velocità (m/s)	Propagazione	Tipo di frana			
7	Estremamente rapido	5 m/s	5	Fino ad alcuni km	Valanghe di detrito e colate di fango, colate di detrito e di materiali a grana medio-grossa	Pendio molto acclive, ambiente montano, reticolo di drenaggio	detrito di roccia o blocchi grossa
6	Molto rapido	3 m/min	$5 \cdot 10^{-2}$	Fino a qualche km o alcuni hm	Colate di detrito e di materiali a grana medio-grossa, crolli di roccia, scivolamenti in roccia, colate di fango in terreni a grana medio-fina	inciso	
5	Rapido	1.8 m/h	$5 \cdot 10^{-4}$	Alcuni hm	Colate rapide di argilla, ribaltamenti	Pendio acclive o mediane acclive	
4	Moderato	13 m/mese	$5 \cdot 10^{-6}$	Qualche hm o alcuni dam	Colate di argilla, scivolamenti traslativi di neo-formazione in terreni consistenti		
3	Lento	1.6 m/anno	$5 \cdot 10^{-8}$	Qualche dam	Colate di argilla, scivolamenti rotazionali di neo-formazione, scivolamenti traslativi di neo-formazione In argille	Pendio mediamente acclive o poco acclive, ambiente collinare	Ammasso roccioso Terreno a granulometria fine
2	Molto lento	16 mm/anno	$5 \cdot 10^{-10}$	Qualche m	Scorrimenti rotazionali e traslativi su superfici di taglio esistenti	Pendio poco acclive	
1	Estremamente lento				Scorrimenti traslativi su superfici di taglio esistenti, soliflussi, espansioni laterali in argilla, movimenti gravitativi profondi	Situazioni varie	

detrito di roccia o blocchi grossa

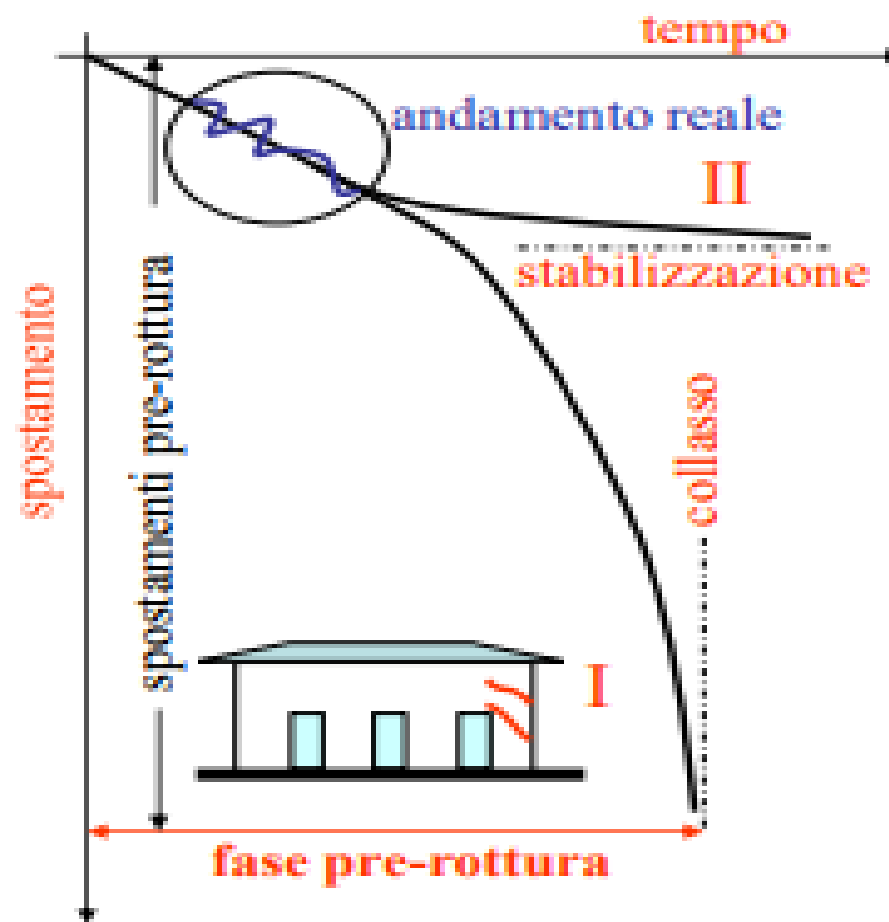
detrito di roccia o blocchi grossa

Ammasso roccioso

Terreno a granulometria fine

Effetti degli spostamenti orizzontali sui manufatti

Date le basse velocità, il danno è per lo più patrimoniale e interessa i manufatti. I segni premonitori di un tale evento possono essere: lesioni alle strutture e nel terreno, rotazioni di opere rigide, deformazioni di opere flessibili. Consentono di abbandonare l'area in tempo utile e quindi, di solito, hanno un basso livello di rischio per la vita umana ma non per gli altri elementi a rischio (infrastrutture viarie, acquedottistiche, manufatti, ecc.).



Pericolosità, vulnerabilità e rischio per le frane

La pericolosità (hazard – H) di una frana si definisce come la probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo di determinata intensità, si verifichi in un dato tempo ed in una determinata area.

Si esprime in termini di probabilità annuale o tempo di ritorno di un evento di frana.

La pericolosità, dunque, espressa in tal modo, si riferisce ad una determinata intensità del fenomeno:

$$H = H(I)$$

L'Intensità è un parametro che descrive la scala di un evento. Nel caso delle frane si fa riferimento alla Magnitudo, ovvero al volume del materiale coinvolto nell'evento.

La vulnerabilità esprime il legame tra l'intensità del fenomeno e le sue possibili conseguenze, ovvero gli elementi esposti al rischio E (manufatti, infrastrutture, etc.) :

$$V = V(I;E)$$

Il Rischio da frana

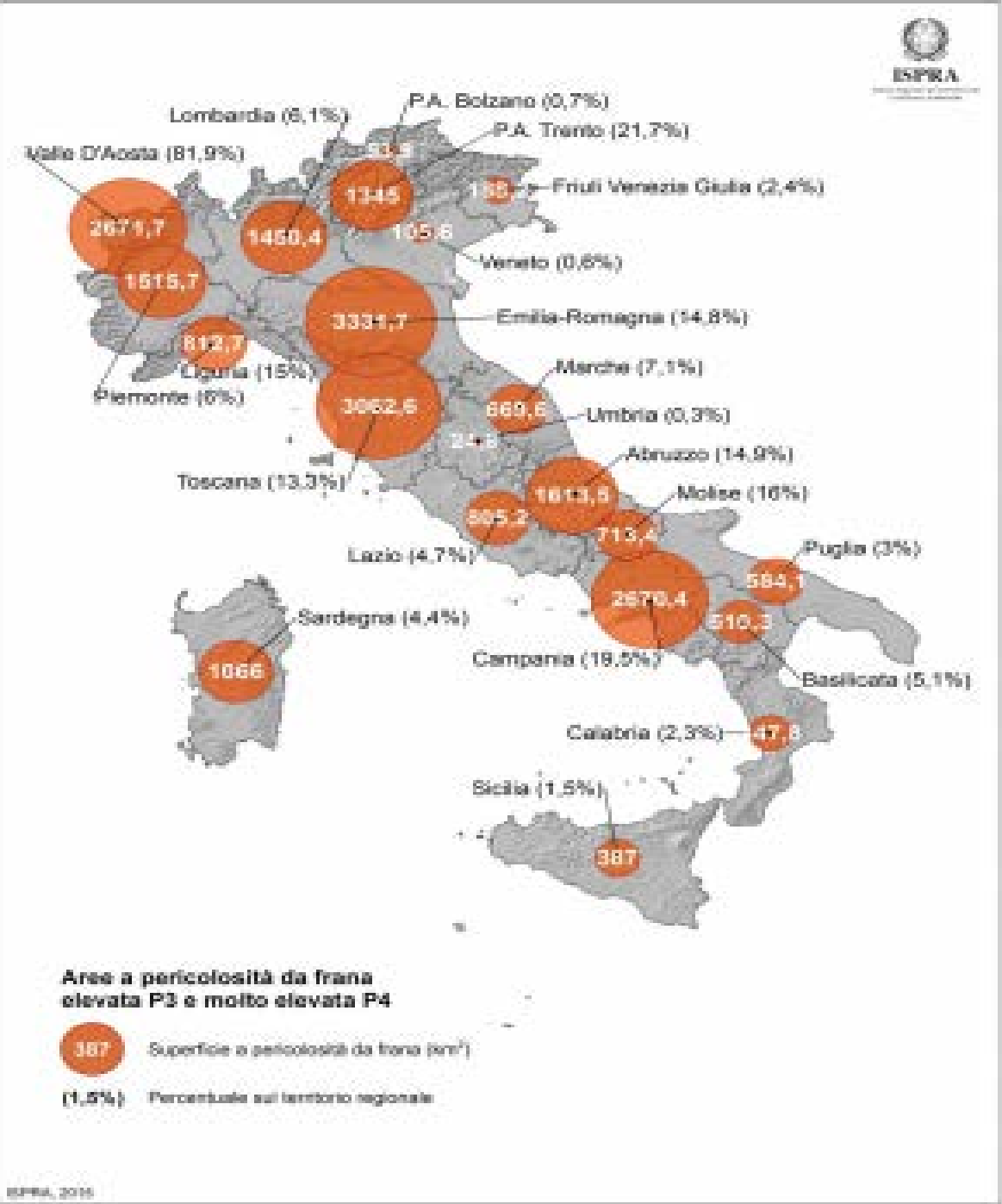
Il rischio viene definito come valore delle perdite, in termine di vite umane, danni alle proprietà, alle strutture ed alle attività economiche dovuti all'occorrenza di un fenomeno franoso. Esso è dato dal prodotto dell'intensità I del fenomeno franoso di frana (quindi alla pericolosità) per gli elementi a rischio E (e quindi della vulnerabilità);

$$R(I;E) = H(I) \times V(I;E)$$

Nella pratica vengono allestite “**carte del rischio**” nelle quali il territorio viene suddiviso in aree caratterizzate da livelli di rischio diversificato (**classi di rischio**).

Aree a pericolosità da frana			
		km ²	% su territorio nazionale
P4	Molto elevata	8.816,7	2,9%
P3	Elevata	15.112,7	5,0%
P2	Media	12.404,7	4,1%
P1	Moderata	13.516,0	4,5%
AA	Aree di Attenzione	8.425,0	2,8%
Totale Italia		58.275	19,3%

Aree a pericolosità da frana elevata P3 e molto elevata P4, PAI su base regionale:

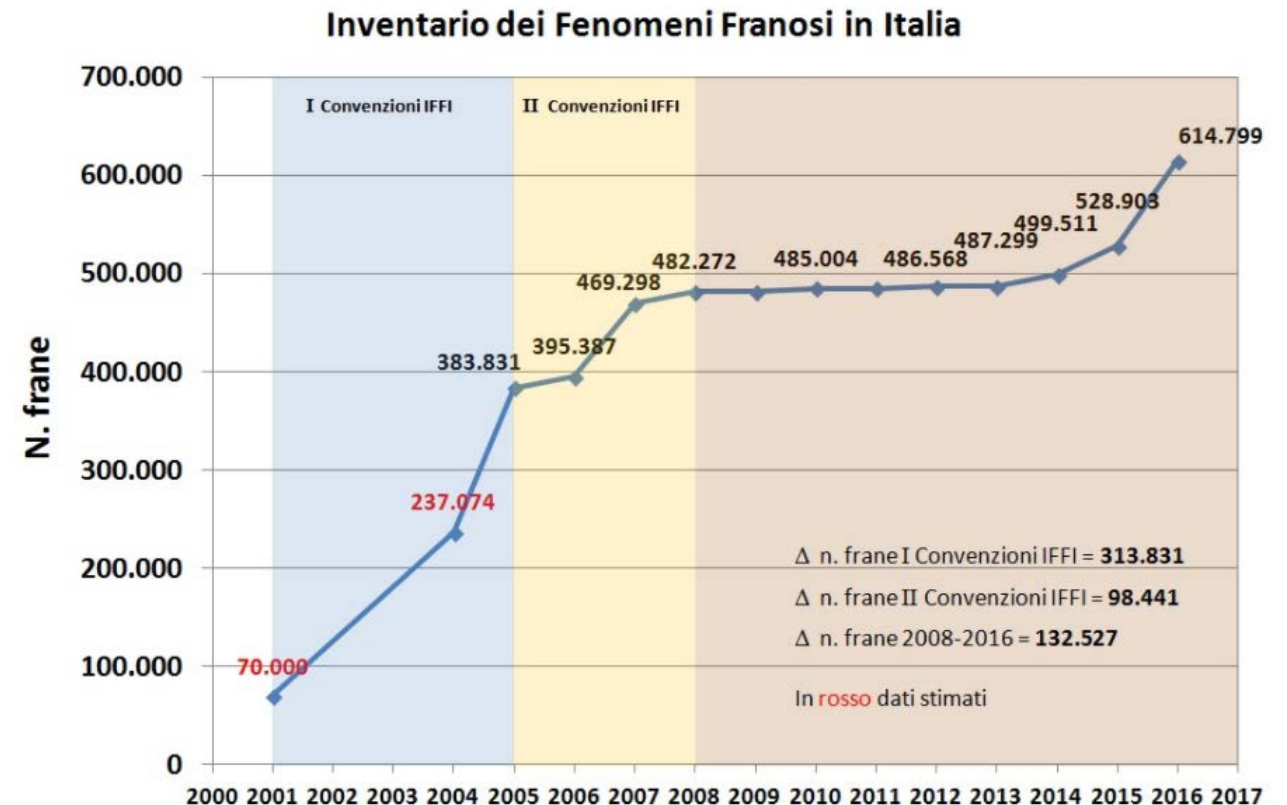


Monitoraggio delle frane mediante tecniche fotogrammetriche

- Modello di rilevamento standard per eventi franosi:

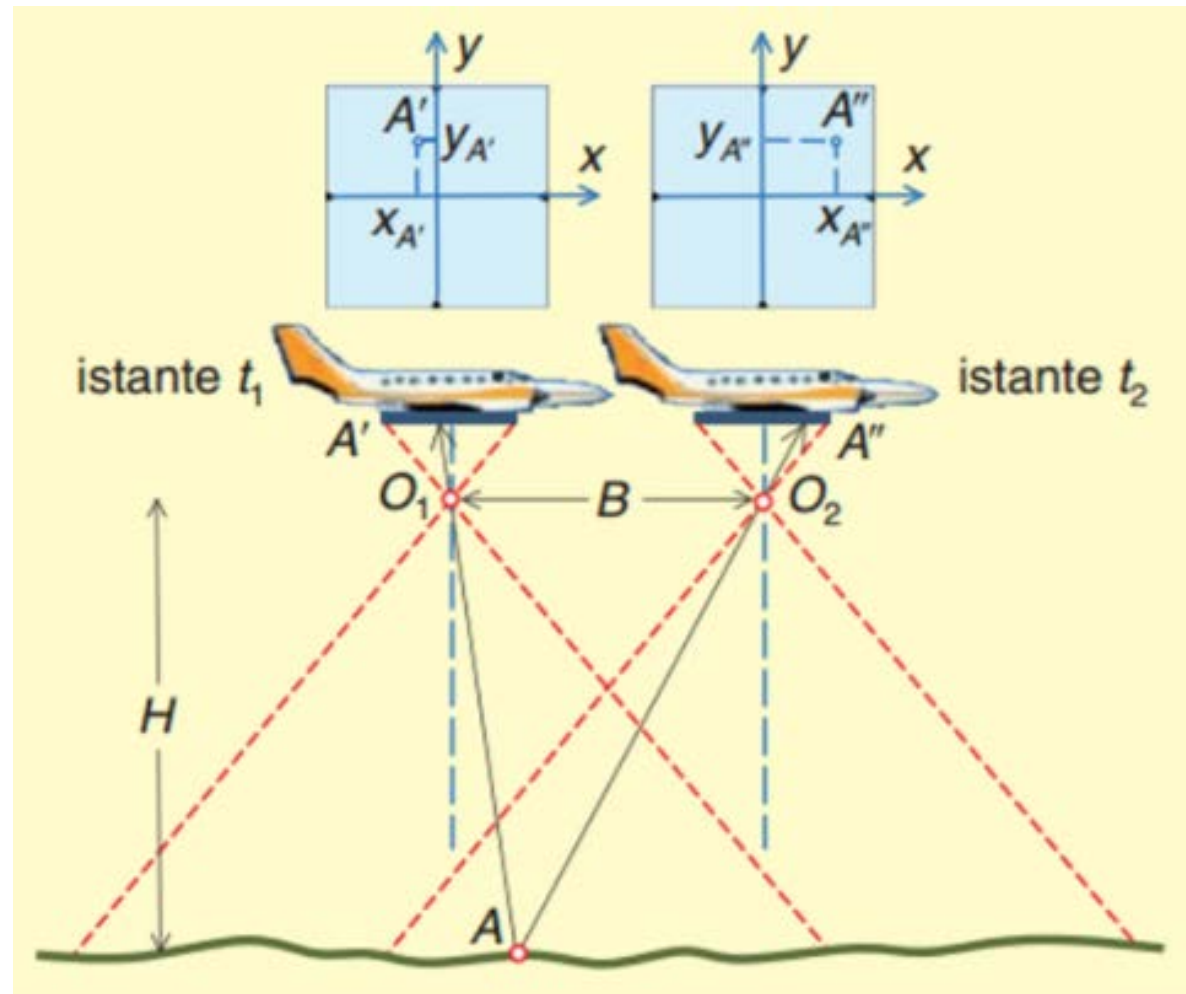
L'attività di identificazione e rilevamento delle frane a scala nazionale, effettuata nei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatti dalle Autorità di Bacino, si avvale di una **“Scheda di rilevamento standard”**, allestita nell'ambito delle attività del **gruppo IFFI** (Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani).

PROGETTO		Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali Servizio Geologico		SCHEDA DI CENSIMENTO DEI FENOMENI FRANOSI Vers. 2.24 a cura di: ANTONI M., BERTOLINI G., COCCONE G., CHIESI V., DE NARDI W.T., EROGLIO L., GASPARI P., GUZZETTI P., LANDRINI C., MARTINI M. G., RANCONI M., SARDI M., VANDINI A., VANDINI M.	
Sigla		ID Frana			
GENERALITÀ					
Compilazione		Localizzazione			
Data		Regione	Provincia		
Compilatore		Comune			
		Autorità di bacino			
Istituzione		Toponimo IGM			
CTR	Scala	Numero	Toponimo		
MORFOMETRIA FRANA			POSIZIONE FRANA SUL VERSANTE		
Dati generali			Testata		
Quota corona (m)			Quota		
Quota unghia (m)			Iniziale		
Lung. orizz. L _h (m)			Pendenza alla del versante		
Dislivello H (m)			Pendenza media del versante		
Pendenza β (°)			Pendenza minima del versante		
Profondità sup. sciv. G. (m)			Iniziale		
GEOLOGIA					
Unità 1		Unità 2		1 2 Litologia	
Descrizione 1		Descrizione 2		☐ rocce carbonatiche ☐ travertini ☐ marmo ☐ flysch calcareo-marcoso ☐ arenarie, flysch arenacei ☐ argilliti, siltiti, flysch pellici ☐ rocce effusive laviche acide ☐ rocce effusive laviche basiche ☐ rocce effusive porfiritiche ☐ rocce intrusive acide ☐ rocce intrusive basiche ☐ rocce metamorfiche ☐ rocce granitiche, andritiche, saline ☐ rocce sedimentarie calcaree ☐ conglomerati e breccie ☐ detriti	
Discontinuità 1: immers./inclinat.		Discontinuità 2: immers./inclinat.		1 2 Assetto discontinuità	
				☐ orizzontali ☐ poggiggio ☐ trasvers. poggiggio (generico) ☐ trasvers. erofcinale ☐ trasvers. poggiggio ☐ trasvers. poggiggio (generico) ☐ trasnap. + inclinato pendio ☐ trasnap. - inclinato pendio ☐ trasnap. inclinato + pendio	
1 2 Struttura		1 2 Litoecnica		1 2 Degradazione	
☐ massivo ☐ stratificata ☐ fessile ☐ fessurata ☐ fratturata ☐ erodibile ☐ vorticosa ☐ cistica		☐ roccia ☐ roccia lapidea ☐ roccia debole ☐ detrito ☐ terra granulare ☐ terra granulare addensata ☐ terra granulare sciolta ☐ terra coesiva ☐ terra coesiva consistente ☐ terra coesiva poco consist. ☐ terra organica ☐ unità complessa ☐ unità complessa, alterata ☐ unità complessa, instabile		☐ fresco ☐ leggerm. degradata ☐ median. degradata ☐ molto degradata ☐ completamente degradata ☐ Se necessario aggiungere i dati di ☐ altre unità su un foglio a parte	
1 2 Spazialità				☐ termini prec. ghiaccio ☐ termini prec. ghiaccio ☐ termini prec. limo ☐ termini prec. argilla ☐ termini eterogenei ☐ termini di riporti	
☐ molto ampia (> 2m) ☐ ampia (50cm - 2m) ☐ moderata (10cm - 25cm) ☐ fitta (20cm - 60cm) ☐ molto fitta (< 10cm)					
USO DEL SUOLO					
ESPOSIZIONE DEL VERSANTE					

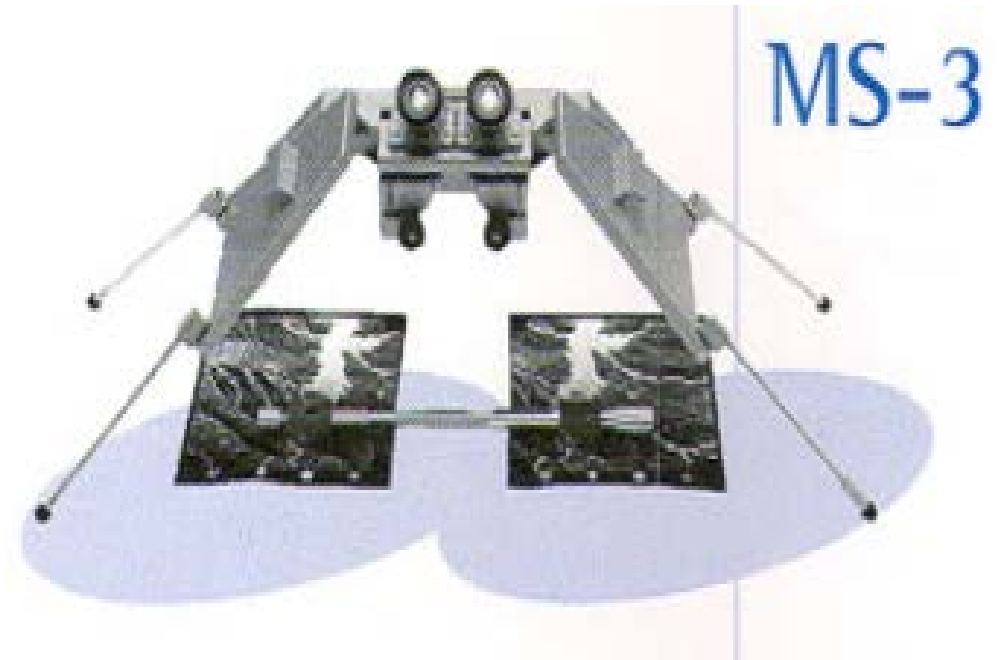


- Le foto aeree: uso della fotogrammetria stereoscopica

La fotogrammetria nello studio e nell'interpretazione delle frane, consente l'individuazione e la misura delle modifiche morfologiche mediante fotografie aeree e satellitari stereoscopiche.

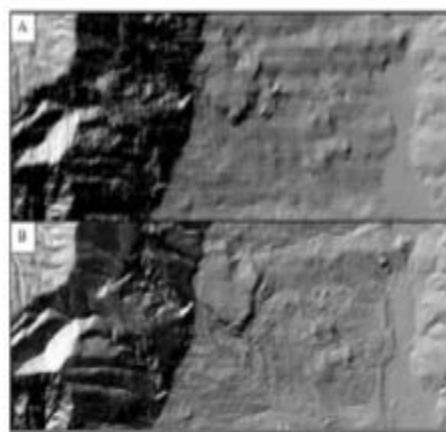


L'aereo segue una rotta prefissata e durante il volo le foto sono riprese ad intervalli temporali prefissati, in modo da ottenere delle coppie di immagini (**stereo-coppie**) che riprendono parzialmente la stessa zona. Le stereo-coppie vengono poi analizzate con gli **stereoscopi** che permettono una visione tridimensionale dell'area fotografata.

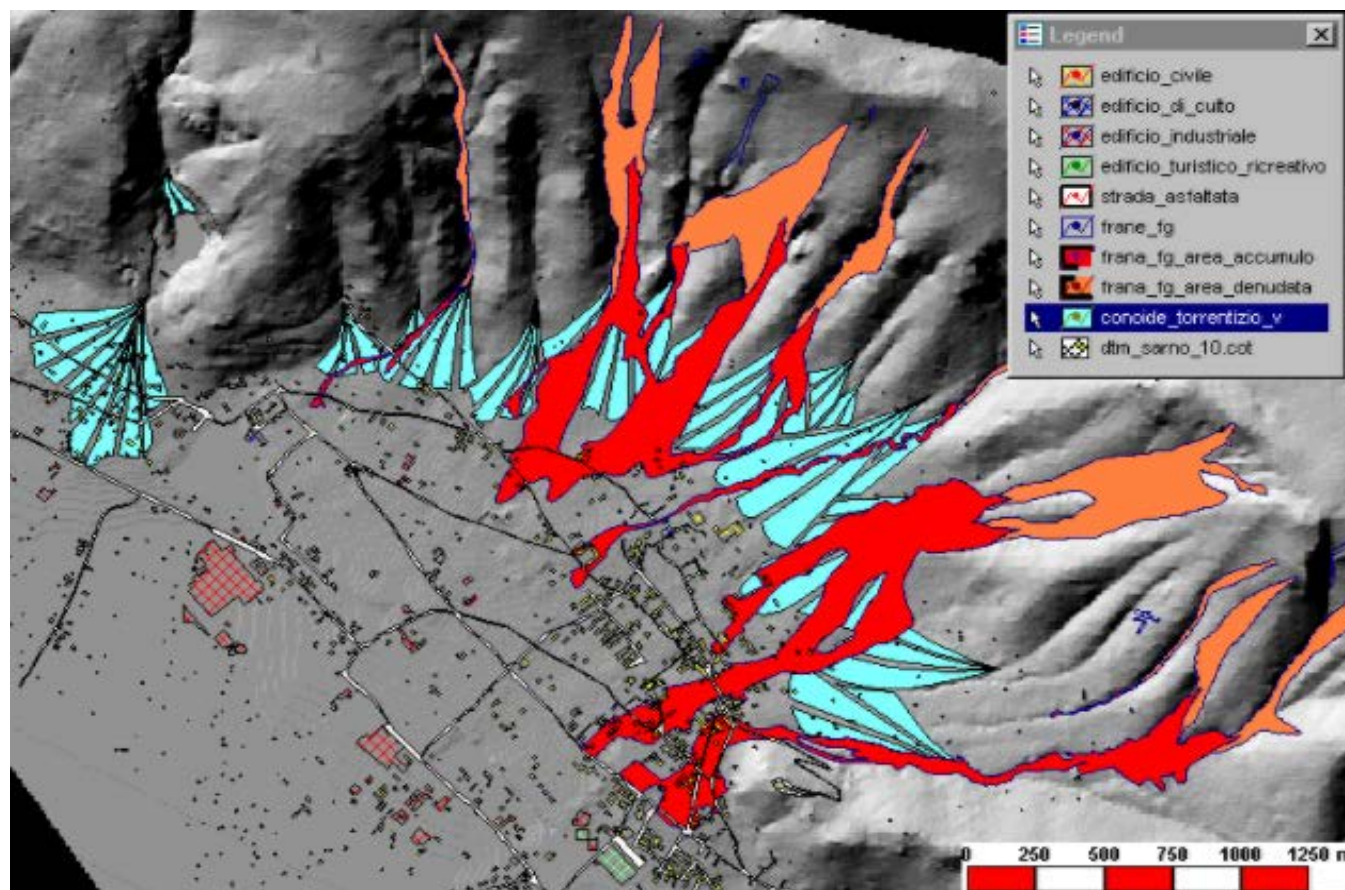


Di recente grazie all'utilizzo dei **DEM**, ovvero dei **modelli digitali del terreno** il confronto può essere effettuato in maniera rapida e dettagliata.

Un modello digitale del terreno (DEM – Digital Elevation Model) è una rappresentazione della distribuzione delle quote di un'area in formato digitale. Il modello digitale di elevazione viene in genere prodotto in formato **raster** (immagine bitmap) associando, a ciascun pixel in un'immagine satellitare la sua quota assoluta.

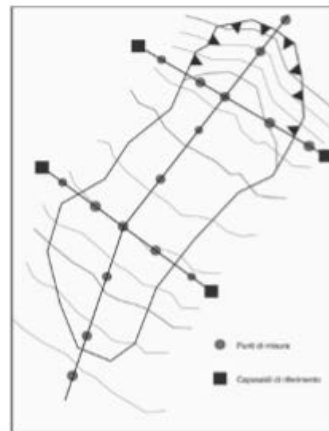


A sinistra: DEMs a confronto di una stessa zona, per la quale cambia la risoluzione (25 e 5 metri). A destra: DEM 3D



- **Controlli e monitoraggio degli spostamenti dei corpi di frana**

Il controllo dei movimenti può essere fatto mediante tecniche di posizionamento satellitare **GPS (Global Position System)**, che sfruttano una costellazione di satelliti artificiali in orbita geostazionaria intorno alla Terra ed opportuni ricevitori di segnali radio emessi dai satelliti stessi. La misura dei **movimenti superficiali** viene fatta utilizzando **metodi geodetico-topografici**, basati sulla misura di spostamenti di punti di misura posizionati nel corpo di frana, rispetto a **capisaldi fissi** ubicati al di fuori della zona franosa. Si realizza una **maglia di punti** di misura, in relazione alla forma ed estensione della frana.



I vantaggi del metodo GPS sono diversi:

- non è necessaria l'intervisibilità tra i capisaldi;
- la ricezione delle onde radio avviene in qualsiasi condizione climatica e le misure possono essere continue sia diurne che notturne.

Il GPS può essere utilizzato in varie modalità:

- Posizionamento assoluto:** le coordinate di un punto sono determinate con un solo ricevitore e la precisione è bassa (metrica). Tale modalità viene utilizzata per rilievi di modesta precisione,
- Posizionamento relativo:** si opera con almeno due ricevitori e con 5 – 6 satelliti. I ricevitori vanno mantenuti in posizione per durate variabili da pochi minuti ad alcune ore. La precisione delle misure può essere inferiore al cm.
- Posizionamento differenziale:** si opera con un ricevitore, ma si acquisiscono contemporaneamente le correzioni trasmesse da un secondo ricevitore di posizione nota. Si ottengono pertanto coordinate dei punti in tempo reale con una precisione dell'ordine del metro.

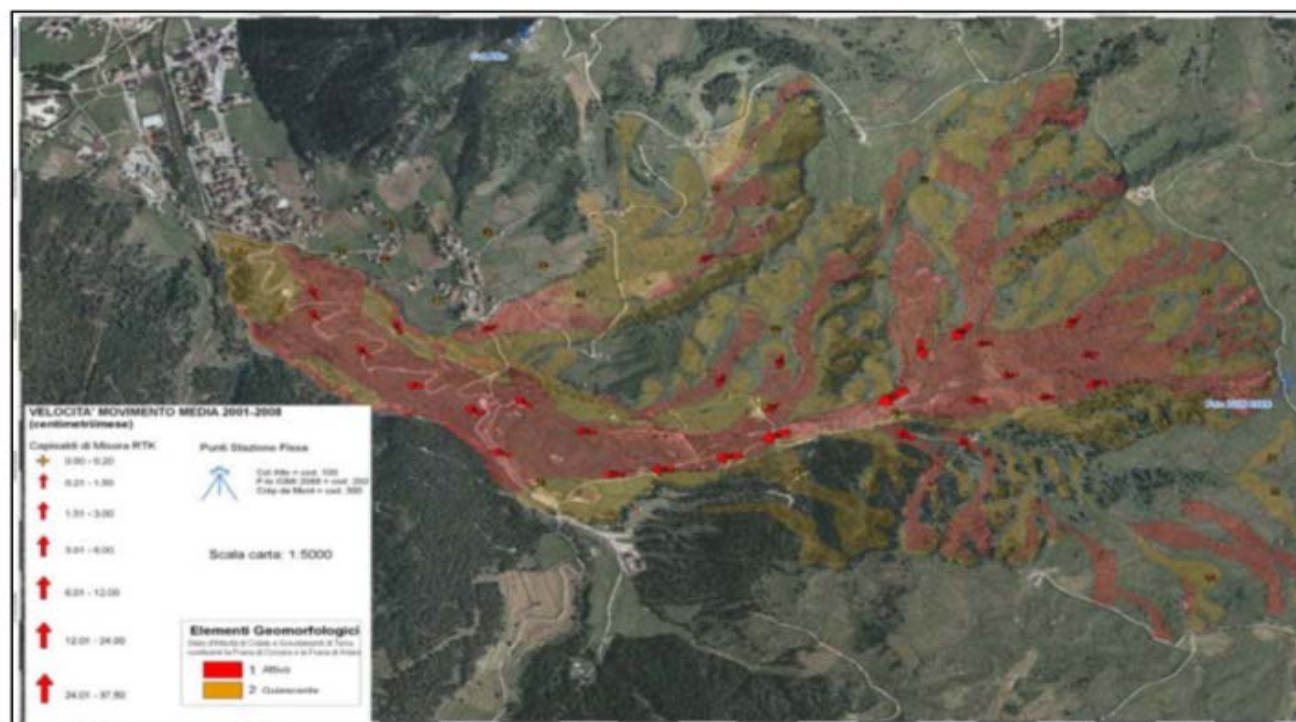


Si può operare in sito in modalità:

-**Statica**: un ricevitore acquisisce con continuità per tempi lunghi (dell'ordine delle ore) i segnali trasmessi dalla costellazione di satelliti GPS. I dati raccolti dal ricevitore sono successivamente elaborati insieme a quelli provenienti da una rete di ricevitori che acquisiscono in sincrono. Questo permette un'elevata precisione di posizionamento (dell'ordine di alcuni mm). Si usa per monitoraggi di alta precisione.

-**Cinematica**: si utilizzano due ricevitori, un ricevitore master che rimane su un punto base per tutta la durata del rilievo, mentre il ricevitore rover si sposta sui punti di dettaglio in modo continuo (registrando i punti in base al tempo in base alla distanza), stop & go (permanendo sul punto dai 5 ai 10 secondi) oppure Real Time (il ricevitore rover acquisisce per tempi brevissimi dell'ordine dei secondi).

Risultati di un rilievo GPS sulla frana di Corvara (Val Badia)



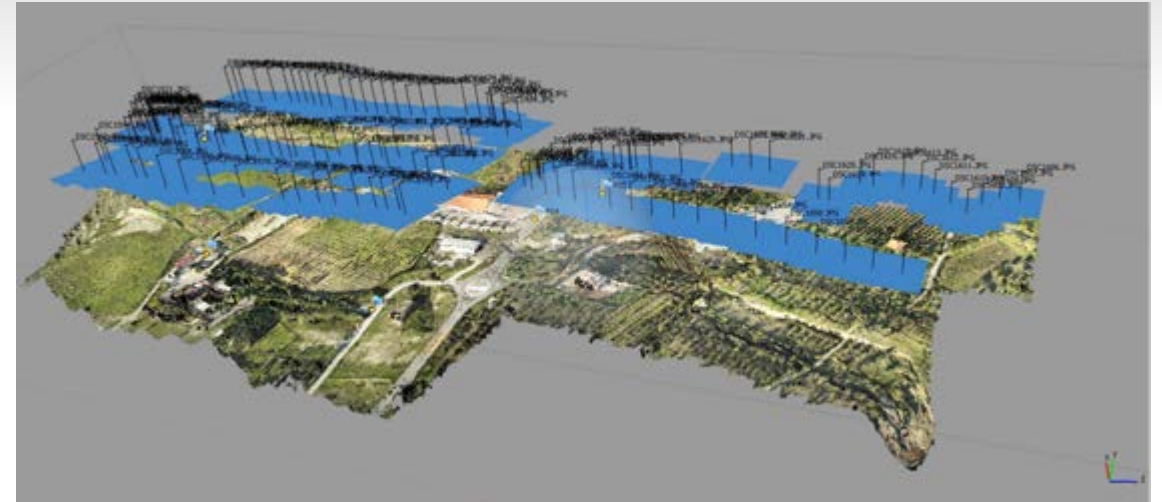
Intervallo temporale 2001 - 2008; velocità dei punti monitorati varianti tra 0 e circa 37 cm/mese

- Monitoraggio in emergenza di una frana mediante SAPR (Sistema Aereo a Pilotaggio Remoto):

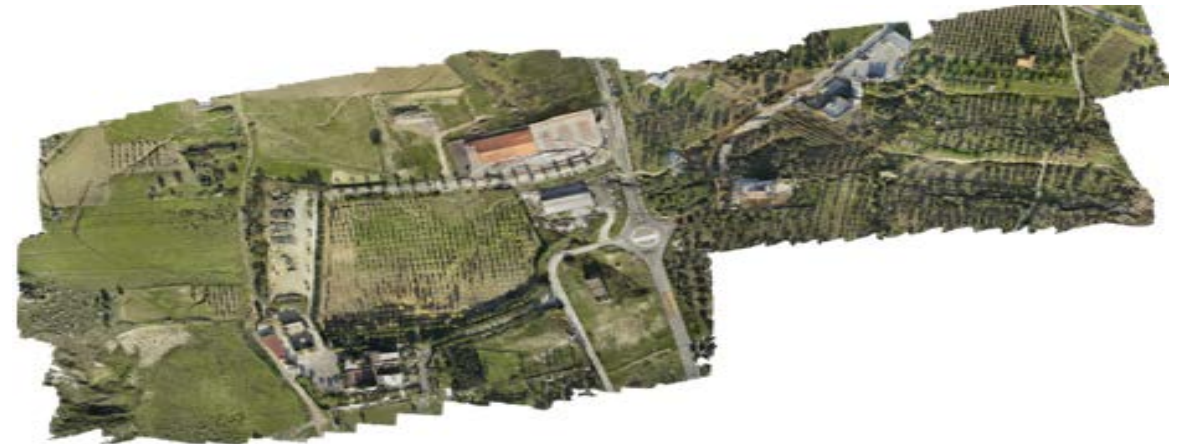
Negli ultimi anni lo sviluppo dei **SAPR** (comunemente chiamati **DRONI**), la miniaturizzazione della sensoristica e, soprattutto, la versatilità e la sicurezza di impiego hanno permesso di utilizzare questi mezzi nei più svariati ambiti. In particolare su accadimenti legati al dissesto idrogeologico si è sviluppata l'esperienza della **ricostruzione in emergenza del modello tridimensionale ad altissima risoluzione di una frana** con la possibilità, per gli operatori impiegati nel ripristino o nella progettazione di nuove opere, di avere una mappa e un modello digitale aggiornato e dettagliato per soddisfare le loro esigenze, come ad esempio il calcolo dei volumi di materiale da asportare.



Per la ricostruzione completa del territorio occorrono molti fotogrammi parzialmente sovrapposti, che formano il cosiddetto **piano di volo** . Ogni fotogramma riporta: codici identificativi del lavoro, della strisciata e del fotogramma, nonché bolla a livella, orologio, altimetro (quota di volo), distanza focale dell'obiettivo della fotocamera, numero del fotogramma.



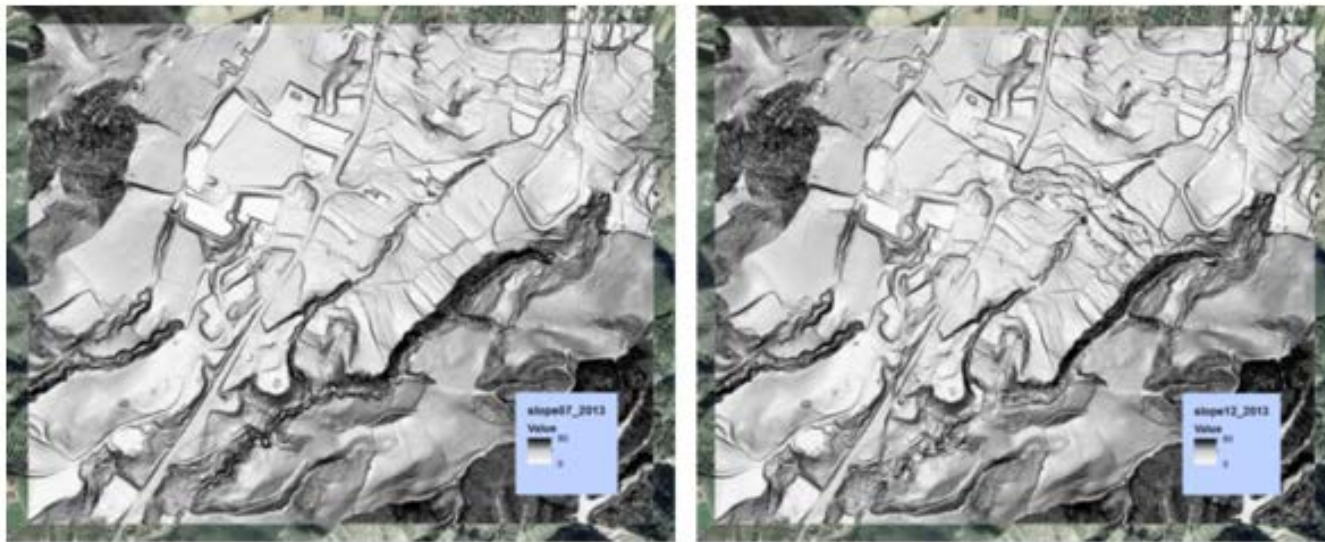
Attraverso tali strumenti è quindi possibile elaborare **ortofoto** e modelli 3D con l'ausilio di una tecnologia di ricostruzione 3D multi-vista che opera con le immagini.



Acclività

Il parametro acclività rappresenta un elemento geometrico molto importante che **influisce sulla stabilità dei versanti**, in quanto all'aumentare della pendenza cresce l'instabilità, sul comportamento delle acque in termini di dinamica erosiva e sul clima, poiché la quantità di energia solare che arriva in superficie dipende dall'inclinazione di quest'ultima.

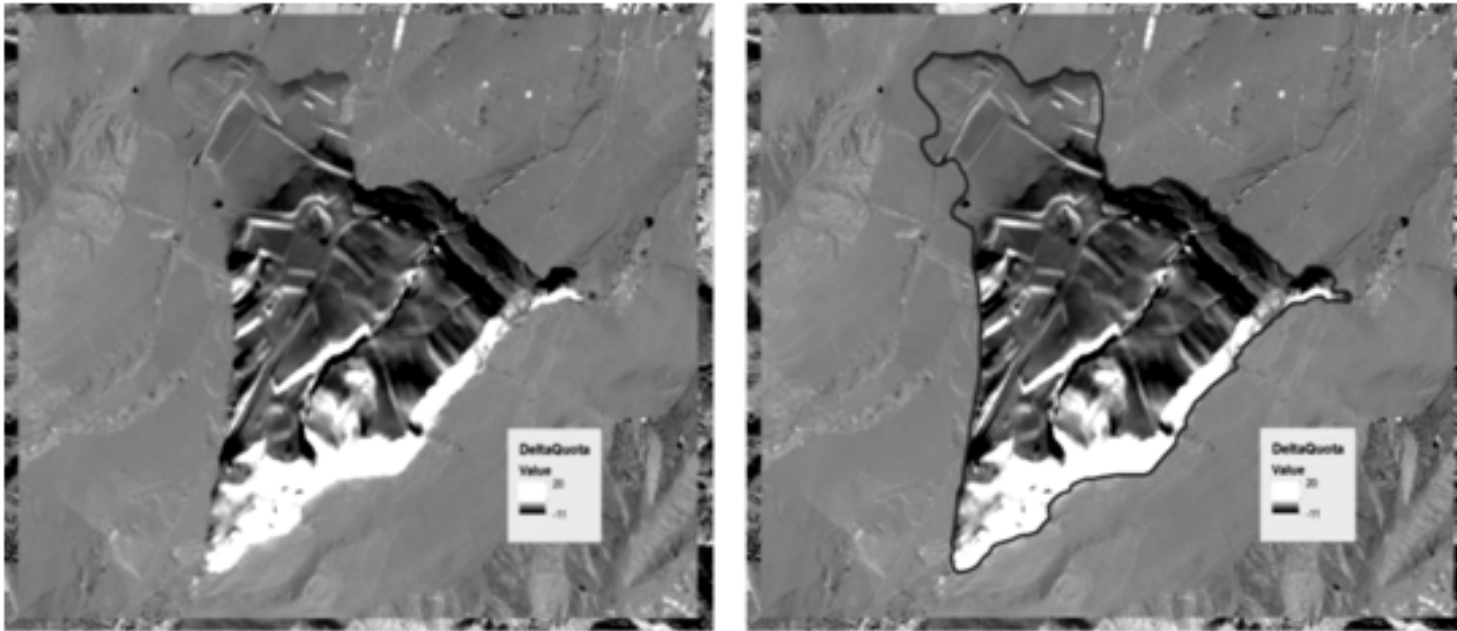
Nel caso di seguito illustrato relativo alla **frana di Montescaglioso (MT)**, utilizzando carte già esistenti precedenti all'evento e carte sviluppate in seguito ad esso, attraverso un'operazione di confronto è stato possibile valutare le acclività presenti sul territorio.



In particolare sono state confrontate la carta dell'acclività del luglio 2013 (precedente all'evento) e quella del dicembre 2013 (successiva all'evento). Attraverso tale confronto si è potuto riscontrare che i **valori delle pendenze sono relativamente modesti**.

Spostamenti verticali

Le carte delle differenze di quota vengono ricavate tramite operazioni di **map-algebra**, ovvero un insieme di operazioni primitive in un **sistema di informazioni geografiche (GIS)**, che consente di produrre, partendo da due o più immagini raster di dimensioni e risoluzioni simili, una nuova immagine raster utilizzando operazioni algebriche quali l'aggiunta, la sottrazione ecc.



In generale l'analisi di queste caratteristiche e dei loro rapporti reciproci lascia ipotizzare una **fenomenologia di movimento di tipo traslativo** su buona parte dell'area in esame.

Spostamenti planari

Un aspetto molto importante, soprattutto per il monitoraggio della frana, è l'**analisi vettoriale degli spostamenti superficiali**. Tale analisi viene svolta, generalmente, attraverso il confronto di rilievi aerofotogrammetrici e topografici relativi ad un ampio arco temporale, **pre e post evento**.



Il **vettore spostamento** è risultato **dell'ordine del metro**, considerando le potenziali fonti di imprecisione insite nel metodo, e anche per quanto riguarda gli azimuth i valori sono approssimati al grado intero.

Conclusioni:

- La scelta dell'oggetto della tesi sulle frane lente ed intermittenti e il monitoraggio di esse mediante tecniche di fotointerpretazione è stata influenzata dall'elevato rischio idrogeologico del territorio italiano e dalle sempre più nuove tecnologie impiegate per il controllo e la messa in sicurezza dei corpi di frana, nonché dei SAPR.
- I PAI, redatti dalle Autorità di Bacino, Regioni e Province Autonome, hanno definito vincoli e regolamentazioni d'uso del territorio nelle aree a pericolosità da frana e costituiscono quindi uno strumento fondamentale per una corretta pianificazione territoriale.
- L'uso del GPS e dei DEMs associati ad esso è di fondamentale importanza per la salvaguardia e la protezione del territorio.
- I SAPR sono l'ultima frontiera per il monitoraggio delle frane. Più comunemente chiamati Droni, permettono di svolgere l'attività di monitoraggio in totale sicurezza anche in situazioni d'emergenza, dove l'uomo non può materialmente operare sul campo d'interesse. Tramite il confronto dei dati aerofotogrammetrici e topografici acquisiti pre e post evento siamo in grado di gestire al meglio l'evento franoso al fine di evitare danni a persone e alle infrastrutture interessate.

Grazie per l'attenzione