

# Riassunto Tesi Di Laurea

Riccardo Muzi

## Sviluppo di metodologie avanzate di analisi di immagini ottiche satellitari per il monitoraggio di grandi frane

### 1. Introduzione

Le frane rappresentano uno dei maggiori fattori di pericolosità al quale la popolazione mondiale è costantemente esposta, il monitoraggio dei fenomeni di versante dei quali si hanno evidenze di attività può essere in molti casi un elemento di mitigazione dei rischi connessi all'evento stesso. Di recente (2017) un'agenzia spaziale privata, la Planet, ha messo in orbita una costellazione di oltre 130 unità di Cube-Sat "PlanetScope" equipaggiati con sensori CCD (RGB-NIR), che acquisiscono ogni giorno immagini della totalità della superficie terrestre con risoluzione a terra di circa 4m/pixel, figura 1. Questa tecnologia apre nuove prospettive riguardo alle tematiche inerenti la Earth-Observation, e in particolare nel settore delle geo-scienze che riguarda l'evoluzione dei processi naturali e antropici che interessano la superficie terrestre.

Nell'ambito delle geo-scienze da una decina di anni ha iniziato a diffondersi l'utilizzo della Digital Image Correlation (DIC), insieme ad altre tecniche di analisi di immagine, per lo studio dei fenomeni geomorfologici, geodinamici e non solo, che inducono deformazioni della superficie terrestre. La tesi magistrale dello scrivente ha portato alla realizzazione e alla prima sperimentazione su due casi di studio, di un metodo innovativo per la misura degli spostamenti di una porzione della superficie terrestre basato sulla DIC e applicato ad immagini PlanetScope.

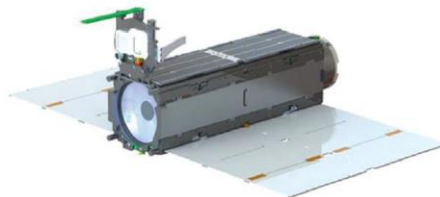


Figura 1: Cube-Sat PlanetScope, dimensioni originali e rappresentazione in assetto operativo.

## 2. Metodo

Il metodo proposto come detto si basa sull'applicazione della tecnica di analisi di immagine DIC con uno schema non convenzionale che è stato denominato STMDA (Sliding Time Master DIC Analysis). Questo si compone di 3 fasi differenti, la prima delle quali consiste nella realizzazione di un database di immagini per l'area di interesse su un certo periodo di tempo. La seconda fase prevede la realizzazione delle correlazioni secondo lo schema riportato in figura 2, che permette di migliorare il rapporto segnale/rumore e quindi ridurre l'errore nelle misure sfruttando la ridondanza di dati prodotta. La terza fase costituita dall'elaborazione del dato di spostamento 3D (2 dimensioni XY poste sul piano ortogonale alla linea di vista e una temporale), permette di ottenere mediante l'elaborazione statistica dei dati di spostamento letti per una particolare area di interesse (ROI), i valori di spostamento relativi ad ogni istante di acquisizione corredati dalla stima dell'errore.

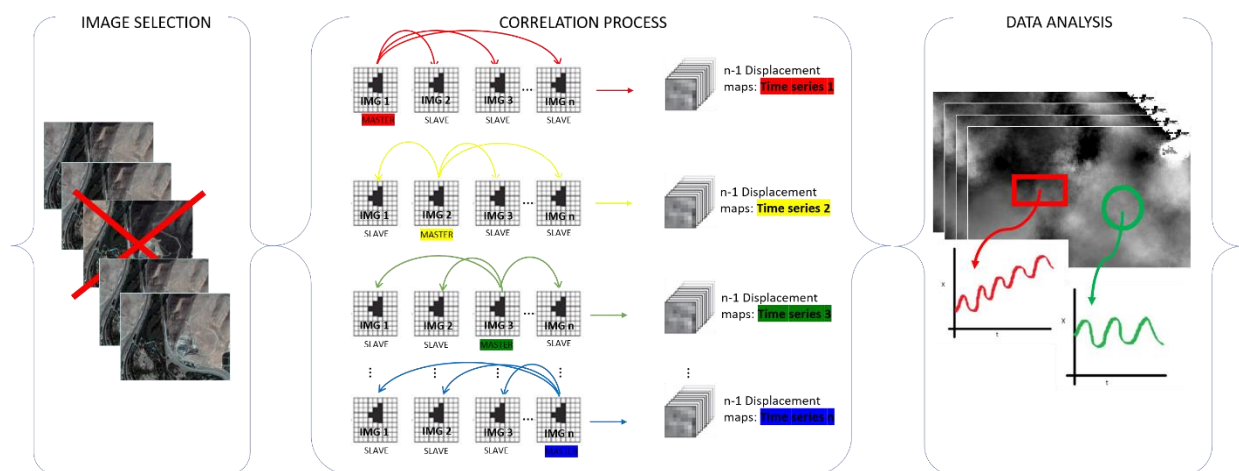


Figura 2: schema semplificato del processo di analisi dei dati ottici satellitari.

L'elaborazione dei dati cinematici così ottenuti consente di costruire la migliore curva di regressione sulla base del numero di serie temporali che fittano i dati con un coefficiente di determinazione ( $R^2$ ) superiore ad una certa soglia. In tal modo il codice può individuare i coefficienti delle funzioni polinomiali di grado I, II e III che meglio approssimano il comportamento osservato. Tale processo si ripete per ogni ROI, quindi si rende possibile individuare porzioni della frana che nel tempo mostrano comportamenti cinematici differenti, fornendo in fase di interpretazione la facoltà di formulare e verificare ipotesi riguardo alla genesi e all'evoluzione dei processi osservati.

## 3. Casi di studio

La tecnica brevemente esposta nel capitolo precedente è stata applicata a due casi di studio reali: la frana di Rattlesnake Hills negli USA, e la frana di El Pedregal, Perù. Vista la necessità di rendere più snella la trattazione del presente riassunto, in questo capitolo vengono riportati solamente i risultati relativi al primo caso di studio citato, i dati ottenuti per la frana di El Pedregal potranno essere consultati nel testo integrale.

## Frana di Rattlesnake Hills, Yakima, USA (Washington)

Il processo di instabilità interessa il versante meridionale della dorsale di Rattlesnake Hills, in corrispondenza di Union Gap pochi chilometri a Sud della città di Yakima (USA). L'assetto geologico-strutturale della dorsale di Rattlesnake rappresenta sicuramente il fattore predisponente alla instabilità di versante: si tratta infatti di una struttura anticlinale che piega la successione dei Columbia Basalts. Gli strati nella porzione del versante interessata dal fenomeno descritto di seguito immergono verso Sud con inclinazione di circa 15°. Il fattore scatenante dell'evento può essere individuato nell'attività estrattiva della cava AK Anderson ubicata proprio a valle della porzione di versante coinvolta nel processo.

Gli operatori della cava nel settembre 2017 notano delle fratture sul versante a Settentrionale della cava stessa, in seguito il Washington State Dep. Of Natural Resources (WSDNR), decide di interrompere le attività estrattive e predispone diversi sistemi di monitoraggio del processo che mette a rischio oltre la cava AK Anderson, due infrastrutture viarie quali l'autostrada I-82 e la Thorp Road (che viene chiusa per i continui crolli), un acquedotto e un piccolo centro abitato. Figura 3.



Figura 3: A) la frana di Rattlesnake vista da SW (Google Earth). B) perimetro e campo di spostamento misurato in sito (WSDNR, pagina ufficiale della frana di Rattlesnake).

Il volume coinvolto (circa 4 milioni di m<sup>3</sup>), si è mosso verso S-SW lungo un piano di rottura inclinato di circa 15°, probabilmente costituito da un orizzonte debole (paleosuolo) all'interno della successione vulcanica. Nel tempo è stata osservata una fase di accelerazione iniziale nell'inverno 2017/2018 che ha destato non poche preoccupazioni, a cui è seguita una fase di decelerazione nel periodo primavera-estate 2018 (<https://www.dnr.wa.gov/rattlesnake-hills-landslide>).

## 4. Risultati

Attraverso l'applicazione del metodo proposto alla selezione di 63 immagini PlanetScope, riprese in un periodo di 12 mesi per il caso di Rattlesnake è stato possibile costruire le serie temporali dello spostamento relative a 3 diverse ROI poste all'interno dell'area dissestata (figura 4). Sfruttando lo stesso principio è stato possibile produrre dall'analisi delle oltre 3900 mappe di correlazione, una stima dell'errore nelle misure di spostamento attraverso la variabilità nei dati ottenuti per le porzioni stabili del versante meridionale della dorsale di Rattlesnake. La media della STD per i dati di

spostamento ottenuti dalle 4 ROI poste al difuori dell'area in frana risulta 0.5 m (nell'ordine di 0,1 pixel).

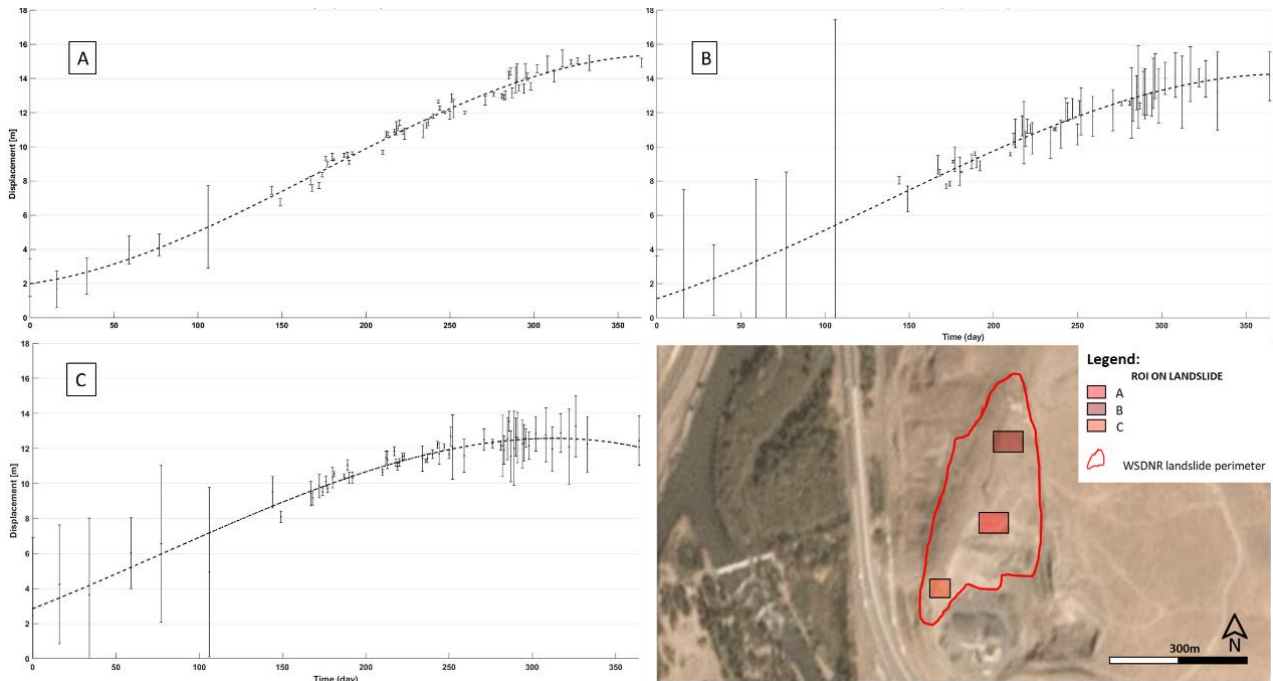


Figura 4: serie temporali dello spostamento ottenute per le 3 ROI all'interno della frana, le barre di errore mostrano la variabilità nelle misure che nel periodo invernale risulta più ingente (a causa delle variazioni di illuminazione, della vegetazione, ecc.), ma che dipende anche dalle caratteristiche della ROI stessa.

## 5. Conclusioni

In generale il lavoro di tesi dimostra che la ridondanza di dati prodotta a valle dello schema di correlazione utilizzato favorisce l'incremento del rapporto segnale/rumore, permettendo una più robusta elaborazione ed interpretazione dei dati. L'utilizzo delle immagini riprese dalla costellazione di cube sat PlanetScope permette di lavorare con una risoluzione temporale piuttosto elevata (considerando i limiti dei sensori ottici passivi), dandoci la possibilità di indagare fenomeni piuttosto rapidi. A valle delle analisi è stato possibile individuare differenti comportamenti cinematici nelle diverse ROI indagate: si è visto come la porzione centrale del corpo di frana nel tempo si è mossa più velocemente rispetto alle altre; è stato possibile ipotizzare per la porzione di monte una maggiore componente verticale del moto che giustifica la minore velocità osservata; la porzione di valle mostra nel periodo di analisi le velocità più basse, a conferma del ruolo stabilizzante ipotizzato in letteratura.

## Ulteriori Sviluppi

Nel periodo successivo alla laurea ho potuto continuare il lavoro della tesi grazie ad una borsa di studio presso il centro di Ricerca CERi del dipartimento di Scienze della Terra dell'Università La Sapienza di Roma. Le analisi ripetute per il caso di Rattlesnake utilizzando il codice sviluppato per la tesi con l'aggiunta di un algoritmo che filtra le misure di spostamento in base al Coefficiente di Correlazione (una stima della robustezza della misura,) consente di ottenere una diminuzione

significativa del rumore (figura 5). I risultati qui mostrati sono parte di un articolo inviato alla rivista Scientific Reports.

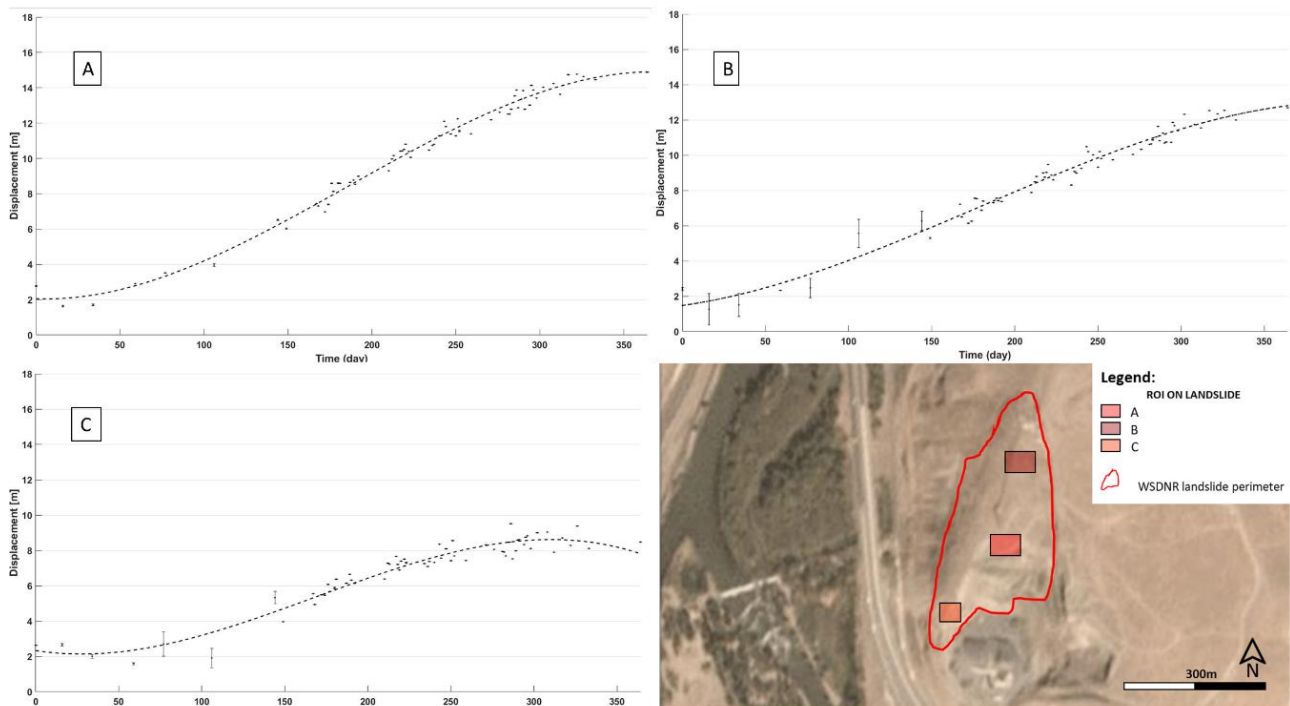


Figura 5: serie temporali ottenute per le 3 ROI all'interno dell'area in frana utilizzando i soli valori di spostamento aventi coefficiente di correlazione >0.9.

Per il caso di studio della Frana di Rattlesnake Hills è stato inoltre possibile confrontare i dati di spostamento ottenuti attraverso la tecnica proposta con i valori di velocità raccolti in sito dal WSDNR nel medesimo periodo di attività. La componente orizzontale dei valori di velocità GPS è stata ottenuta ipotizzando una superficie di rottura inclinata di  $15^\circ$  (secondo il modello geologico-tecnico proposto dal WSDNR). In figura 6 è possibile notare come le velocità medie mensili della sola componente orizzontale, misurate in sito e da 400 km, mostrino un andamento piuttosto simile. Le principali differenze sono attribuibili all'influenza del rumore nelle immagini riprese durante il periodo invernale.

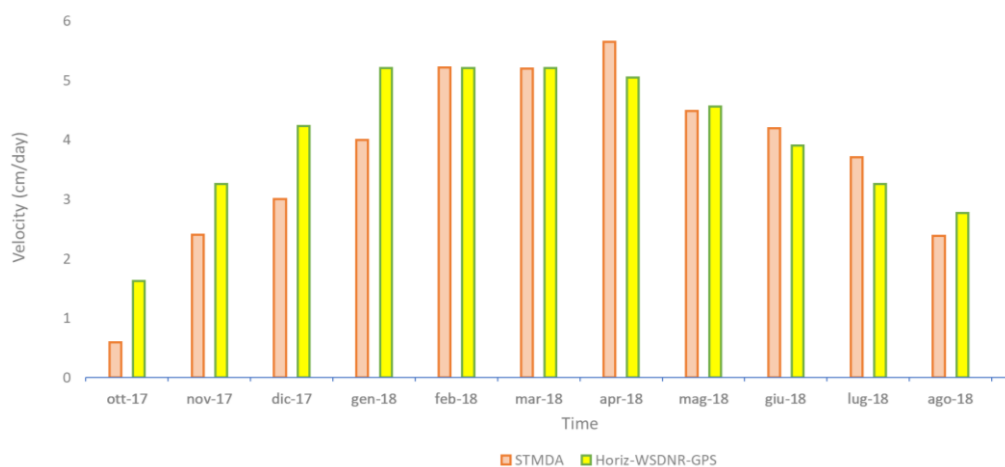


Figura 6: confronto su base mensile dell'andamento delle velocità misurate sulla componente orizzontale attraverso il metodo proposto (STMDA) e dalle misure GPS raccolte in sito (pubblicate sulla pagina ufficiale del WSDNR nel Febbraio 2019).