

**Title:** Dynamic landslide susceptibility modeling: a new generation of artificially intelligent early warning systems

**Tutor:** Dr Diego Di Martire, Prof. Luigi Lombardo (Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente, Enschede, Netherlands)

**Co-tutor:** Prof. Domenico Calcaterra

## **Research Program**

Geo-hydrological hazards are expected to increase as the frequency of extreme weather events is projected to increase in response to climate change. This implies that estimates of how prone a given landscape is to generate landslides (a concept referred to as susceptibility) may not be useful or at least informative in the years to come. In other words, the notion that landslide susceptibility is a static landscape characteristic may need to be revised in favor of a much more dynamic susceptibility. In fact, dynamic properties such as land use, vegetation density, road development, ground motion and rainfall discharge contribute to significant temporal variations of the susceptibility.

Where the community has acknowledged the temporal complexity of the landslide phenomenon usually falls within the early-warning-system (EWS) category. However, the way traditional EWS are built exclusively look at rainfall patterns, then intersect this information with a previous landslide presence/absence dataset, only to retrieve rainfall thresholds. This framework may also be flawed as it uniquely relies on the spatio-temporal distribution of the rainfall and neglects the predisposing factors of a given landscape.

In this context, large improvements can be made by merging the two frameworks into a single one, effectively moving from rainfall thresholds to landslide probability thresholds. This can be done by using a consolidated modeling framework typical of the susceptibility assessment, while introducing the rainfall as an additional parameter. In turn, an artificial intelligence should be capable of: 1) extracting both the static characteristics that make any landscape prone to slope failures, 2) while contextually assessing whether an incoming storm may generate clusters of potentially unstable slopes in space and time.

Multiple geohazards have been under consideration of assessing the threat they bring, with the increase in frequency of extreme weather events. Human settlements, spread over different topographies and landscapes face one or more natural disasters which result in economic and human loss. One of the many concerning hazards are landslides, which are widely classified as the downward movements of the slope under the influence of gravity but can be triggered by external factors. With the advancement and availability of large remotely-sensed datasets, expanding globally, that aid in the assessment and understanding of landslide occurrences supported the development of landslide analysis and resulted in common preparation of susceptibility maps. However, these maps are commonly built from a single event-inventory covering an affected region and lack a temporally dynamic component. Such maps are static in time and nature, because they rely upon a single isolated event in time over a region which most likely has dynamic patterns affecting its slope stability. The time-variant components can be influential, and even the main trigger factor such as changing rainfall patterns. This lack of understanding poses a greater threat when such information is distributed to management authorities to make decisions affecting a larger community. Multiple Early Warning

Systems (EWS) are based on the reasoning and reliance of empirical models, which may be consuming incomplete information to define the probability of failure.

Steps in this research direction have already been made. For instance, to run real-time forecasting of rainfall triggered landslides, Landslide Hazard for Situational Awareness (LHASA) was developed at National Aeronautics and Space Administration's (NASA) Goddard Space Flight Center. This LHASA uses surface susceptibility as the static base layer and integrates Global Precipitation Measurement (GPM) as the time-variant component to create real-time visualization of landslide susceptibility. However, the current version of this model is solely valid on a global scale and at a resolution which is far from any real application. The artificial intelligence behind the LHASA can also be vastly improved, an uncertainty estimation is not part of the NASA near-real-time routines and in general the rainfall data they use comes from satellite estimates at a very coarse spatial scale.

The proposed PhD position aims at developing a new generation of artificially intelligent EWS, by improving on the research directions mentioned above and by making it so that its applicability can be extended towards regional and even catchment scales.

### **Proposal for PhD Position**

A PhD position is proposed in a multi-disciplinary and cross-national scientific environment, with several research centers already envisioned to work together towards a common goal. Specifically, analyses of large spatio-temporal landslide databases, as well as the required landscape and rainfall characteristics will be conducted in collaboration with the University of Twente (Netherlands) and the King Abdullah University of Science and Technology (Saudi Arabia). We consider such collaborations fundamental for the cultural growth of the doctoral student, as well as for the achievement of shared and validated scientific results within the international scientific community. Therefore, during the three years of the PhD several multi-disciplinary and international activities are expected to take place, and details are provided below:

- 1- First year experience in big data management, this will set the standard for processing, handling, analysing and later produce probabilistic estimates of landslide occurrences. And, it will make use of cloud computing platforms such as Google Earth Engine.
- 2- The second and part of the third years will move to the analytical aspects of the doctoral experience and specifically towards two aspects of artificial intelligence. On the one side, statistical models will support interpretation of the analytical results whereas a machine/deep learning architecture will offer a complementary perspective on the potential predictive skill that the expected EWS will produce.
- 3- Part of the third and final year will be dedicated to translating the results into a WEB-GIS platform, accessible to the public and where the EWS will automatically update itself on a daily basis, as the incoming weather forecast data is streamlined from cloud resources.

Potential study areas will fall in portions of the territory affected by different geohazards known from the literature (landslides, floods...), where the availability of monitoring data is known at the same time.

Cost for field surveys and other project-related activities will be covered by the departmental funds of the Research Group in Engineering Geology.

The candidate should have a solid background in natural hazard analysis, mathematics, physics, geo-statistics, computer science and GIS. Knowledge of programming languages represents an appreciate skill (Matlab, R, etc.).

**Titolo:** Modellazione dinamica della suscettibilità da frane mediante algoritmi di intelligenza artificiale

**Tutor:** Dr Diego Di Martire, Prof. Luigi Lombardo (Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente, Enschede, Netherlands)

**Co-tutor:** Prof. Domenico Calcaterra

Si prevede che i rischi connessi ai fenomeni naturali aumentino nei prossimi decenni, poiché è sempre più alta la frequenza degli eventi meteorologici estremi indotti dai cambiamenti climatici. Ciò implica che le valutazioni effettuate in passato circa la propensione di un determinato contesto a dar luogo a fenomeni naturali (suscettibilità), quali frane, alluvioni etc., potrebbero non essere più corrette o quanto meno non utilizzabili negli anni a venire. In altre parole, la nozione di suscettibilità come caratteristica statica del paesaggio potrebbe dover essere rivista in favore di una suscettibilità molto più dinamica. Infatti, parametri predisponenti come l'uso del suolo, lo sviluppo urbano, le precipitazioni, contribuiscono a possibili variazioni temporali significative della suscettibilità.

Quando la comunità scientifica ha riconosciuto la complessità in termini temporali dei fenomeni naturali, quali le frane, ha introdotto il concetto di sistema di allerta precoce (early warning system - EWS). Tuttavia, il modo in cui i sistemi di allerta precoce tradizionali sono implementati, considera esclusivamente i modelli di precipitazioni, quindi confrontano queste informazioni con un precedente set di dati sulla presenza/assenza di un fenomeno, solo per stimare le soglie di precipitazioni che potrebbero dar luogo ad ulteriori eventi. Questa struttura potrebbe talvolta indurre in errore, poiché si basa esclusivamente sulla distribuzione spazio-temporale delle precipitazioni e trascura la dinamicità dei fattori predisponenti di un determinato contesto.

In quest'ottica, si potrebbero ottenere significativi miglioramenti fondendo i due schemi in uno solo, passando di fatto dalle soglie di pioggia alle soglie di probabilità di evento. Ciò può essere fatto utilizzando un modello consolidato tipico della valutazione della suscettibilità, introducendo però le precipitazioni come parametro aggiuntivo. A sua volta, algoritmi di intelligenza artificiale dovrebbero essere in grado di: 1) estrarre le caratteristiche statiche che rendono un contesto propenso a dar luogo a frane, 2) valutare contestualmente se un evento pluviometrico significativo possa indurre instabilità nello spazio e nel tempo.

Pertanto, la concomitanza di fenomeni naturali è di fondamentale importanza, per valutare la minaccia che questi comportano, con l'aumento della frequenza degli eventi meteorologici estremi. Pertanto, sarà fondamentale al tempo stesso analizzare l'evoluzione degli insediamenti umani, distribuiti su differenti contesti morfologici, i quali potrebbero essere interessati da vari fenomeni e di conseguenza causare perdite economiche e umane.

L'incremento delle conoscenze e la disponibilità di ampie serie di dati potrebbero aiutare nella valutazione e nella comprensione dei fenomeni. Tuttavia, ad oggi, tali valutazioni sono comunemente condotte a partire da un singolo evento-inventario che copre una regione interessata e mancano di una componente temporalmente dinamica. Tali valutazioni sono statiche nel tempo e nello spazio, perché si basano su un singolo evento isolato nel tempo in un contesto che molto probabilmente ha

modelli dinamici che influenzano la sua stabilità. Le componenti variabili nel tempo potrebbero essere influenti e persino il principale fattore scatenante.

Pertanto, il non considerare tale dinamicità potrebbe indurre le autorità competenti ad assumere decisioni talvolta non appropriate. In tale contesto si inquadra questa ricerca, la quale si propone di superare i modelli empirici ampiamente utilizzati, che potrebbero fornire informazioni incomplete, attraverso l'utilizzo di algoritmi di intelligenza artificiale.

Sono già stati fatti passi avanti in questa direzione di ricerca. Ad esempio, per eseguire previsioni in tempo reale di frane meteo indotte, è stato sviluppato presso il Goddard Space Flight Center della National Aeronautics and Space Administration (NASA) un sistema definito Landslide Hazard for Situational Awareness (LHASA). LHASA utilizza la suscettibilità come strato di base statico e integra il Global Precipitation Measurement (GPM) come componente variabile nel tempo per creare una visualizzazione in tempo reale della suscettibilità. Tuttavia, la versione attuale di questo modello è valida solo su scala globale ed utilizza una risoluzione che è lontana da qualsiasi applicazione reale. Anche gli algoritmi di intelligenza artificiale alla base di LHASA potrebbero essere notevolmente migliorati, attraverso una stima dell'incertezza.

La posizione di dottorato proposta mira a sviluppare una nuova generazione di sistemi di allerta precoce mediante algoritmi di intelligenza artificiale, migliorando i filoni di ricerca sopra menzionate e facendo in modo che la sua applicabilità possa essere estesa a scale regionali e persino locale.

## **Proposta per una posizione di dottorato**

Si propone una posizione di dottorato in un ambiente multidisciplinare, che consentirà la collaborazione con diversi centri di ricerca che già prevedono di lavorare su tali tematiche. In particolare, l'analisi di ampi database spazio-temporali di frane, dei parametri predisponenti e di serie di dati pluviometrici sarà condotta in collaborazione con l'Università di Twente (Paesi Bassi) e la King Abdullah University of Science and Technology (Arabia Saudita). Tali collaborazioni, saranno fondamentali per la crescita culturale del dottorando, nonché per il raggiungimento di risultati scientifici. Pertanto, durante i tre anni di dottorato saranno previste diverse attività multidisciplinari e internazionali, di cui si forniscono di seguito i dettagli:

1- Primo anno di esperienza nella gestione dei big data, che costituirà lo standard per l'elaborazione, la gestione, l'analisi e la successiva produzione di stime probabilistiche dell'occorrenza di frane. Inoltre, le attività si avvarranno di piattaforme di cloud computing come Google Earth Engine.

2- Il secondo e parte del terzo anno si sposteranno sugli aspetti analitici dell'esperienza dottorale e in particolare sugli aspetti relativi all'applicazione di algoritmi di intelligenza artificiale. Da un lato, infatti, i modelli statistici supporteranno l'interpretazione dei risultati analitici, mentre un'architettura di machine/deep learning offrirà una prospettiva complementare sulla potenziale capacità predittiva che l'EWS previsto produrrà.

3- Parte del terzo e ultimo anno sarà dedicata alla restituzione dei risultati in una piattaforma WEB-GIS, accessibile al pubblico e in cui l'EWS si aggiornerà automaticamente su base giornaliera, man mano che i dati di previsione meteorologica in arrivo saranno ottimizzati dalle risorse cloud.

Le potenziali aree di studio ricadranno in porzioni di territorio interessate da diversi geo-rischi noti in letteratura (frane, alluvioni...), dove la disponibilità di dati di monitoraggio è nota.

I costi per le indagini sul campo e le altre attività legate al progetto saranno coperti dai fondi dipartimentali del gruppo di ricerca in Geologia Applicata.

Il candidato deve avere una solida formazione in analisi dei rischi naturali, matematica, fisica, geostatistica, informatica e GIS. La conoscenza dei linguaggi di programmazione rappresenta una competenza necessaria (Matlab, R, ecc.).