

## Dissertazione finale del Master in Engineering Geology A.A. 2021/2022

17 Febbraio 2023

**Dott.ssa Ilaria Barbaraci**

Caratterizzazione termo-meccanica per applicazioni non convenzionali di geoingegneria

sede di stage: NESOL (Losanna - CH)

L'attività dello stage curricolare, svolto presso la società di ingegneria Nesol – Numerical Engineering Solutions (Losanna, Svizzera), si è concentrata prevalentemente sulla caratterizzazione meccanica di argilliti, in particolare dell'Opalinus Clay di cui il territorio svizzero è ricco, e sulla caratterizzazione termica di argille di consistenza variabile. Entrambi i lavori si inseriscono in contesti di applicazione geo-ingegneristica avanzata, o comunque non convenzionale, quali lo smaltimento di scorie radioattive e la realizzazione di geo-strutture energetiche rispettivamente.

La prima parte dell'attività è stata dedicata all'approfondimento delle cosiddette shales, rocce sedimentarie con un contenuto di argilla superiore al 40% (Shaw and Weaver, 1965), e alla valutazione del comportamento meccanico al variare delle proprietà fisiche, della composizione mineralogica e della pressione di confinamento in prove di compressione triassiale. Nello specifico, ci si è concentrati sulla fase di post picco, o meglio sul passaggio dal comportamento fragile a duttile in presenza di elevati valori di tensione. Questa fase è stata necessaria per studiare più nel dettaglio l'Opalinus Clay, roccia particolarmente adatta a contenere materiale radioattivo per lunghi periodi di tempo. Proprio per questo motivo è stato scelto dalla Svizzera per la realizzazione di un deposito profondo per lo stoccaggio delle scorie nucleari del Paese. Infatti, vicino alla cittadina di St. Ursanne, nel cantone Giura, si trova il laboratorio internazionale sotterraneo di Mont Terri, finalizzato all'analisi delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geochimiche e geomeccaniche dell'Opalinus Clay. A partire dai dati di circa 150 prove di compressione triassiale eseguite in condizioni non drenate da Nagra (acronimo tedesco di Società cooperativa nazionale per l'immagazzinamento delle scorie radioattive), con cui Nesol collabora correntemente, ho condotto delle analisi avanzate sull'evoluzione della banda di taglio dei campioni di roccia durante le prove, e sull'impatto che questa ha sul valore finale della resistenza residua.

La seconda parte dello stage, invece, si è concentrata sulla realizzazione di alcune geo-strutture energetiche (GSE) nel cantone Vaud. È ormai noto che queste costruzioni sono in grado di sfruttare la capacità di immagazzinamento termico del terreno come sistema di accumulo di energia, rappresentando un'innovazione tecnologica a basso impatto ambientale. Occupandomi della fase preliminare della progettazione, si è reso necessario studiare il meccanismo di trasmissione del calore nel mezzo terreno, nello specifico argilla, e condurre specifiche analisi di laboratorio da cui ricavare le principali proprietà termiche (conduttività, diffusività e capacità termica). In seguito, è stata valutata la variabilità di queste in funzione del contenuto d'acqua dei campioni a disposizione.

**Dott. Riccardo Ortolan**

Relazione geologica per l'allargamento e l'ammodernamento della S.P. 34, tratto stradale compreso tra Montecchio Maggiore e Altavilla Vicentina (VI)

sede di stage: IGS SRL a socio unico (Trieste)

Il presente elaborato si focalizza sullo studio geologico, geotecnico, idrogeologico sismico del progetto definitivo di allargamento ed ammodernamento del tratto stradale della S.P. 34 compreso tra i Comuni di Montecchio Maggiore (VI) e Altavilla Vicentina (VI), realizzazione di un sopraelevato stradale e di due vasche di laminazione. Al fine di redigere questo progetto sono state eseguite e analizzate diverse prove geotecniche e geofisiche ricadenti all'interno dell'area di intervento.

Le prove eseguite, specificatamente per questo intervento sono state: 2 sondaggi a carotaggio continuo, 6 standard penetration test (SPT), 4 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile, 1 prelievo di campione indisturbato utilizzato poi per la caratterizzazione del peso di volume naturale, il contenuto d'acqua e l'esecuzione di 1 prova edometrica, 2 Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW) e 3 prove penetrometriche super pesanti.

I risultati così ottenuti hanno permesso di ottenere un modello geotecnico a due strati:

- Litotipo A: Argille limose con locali intercalazioni sabbiose e sabbioso-limose – terreni prevalentemente coesivi (da 0.0 a 4.20/8.00 m dal p.c.);
- Litotipo B: Ghiaie in matrice sabbioso-limosa – terreni incoerenti (da 4.2/8.0 m da p.c.).

L'analisi multicanale delle onde superficiali, in accordo con le NTC 2018, ha invece individuato, per l'area studio, la categoria di sottosuolo C: depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. Infine, le prove di permeabilità Lefranc hanno riscontrato la presenza di un terreno superficiale poco permeabile che non garantirebbe una idonea permeabilità rendendo così non perfettamente funzionali le vasche di laminazione.

In base ai risultati ottenuti è stato appurato la presenza di un contesto geologico-geotecnico-stratigrafico idoneo per l'intervento programmato prescrivendo comunque degli indirizzi dettati da un ambiente deposizionale verticalmente e lateralmente eterogeneo.

**Dott.ssa Giordana Zocco**

Aggiornamento del modello geologico e geotecnico della frana di Monte Soresano nel comune di Tavernola Bergamasca (BG)  
sede di stage: Studio Griffini s.r.l. (Roma)

Il lavoro in oggetto tratta l'aggiornamento del modello geologico e del modello geotecnico della frana di Monte Soresano sita sulla sponda occidentale del Lago d'Iseo, nei comuni di Tavernola Bergamasca e Vigolo (BG).

La frana di Monte Soresano è nota dagli anni '60 del secolo scorso e stima un volume di roccia pari a circa 1.5-2 milioni di metri cubi. La pericolosità del distacco è data dalla posizione che occupa il versante dato che a valle si trova un cementificio, la strada provinciale SP78 (già una volta dismessa per crollo di blocchi di roccia) e la sponda occidentale del Lago d'Iseo. Il processo d'instabilità è stato oggetto di approfonditi studi che hanno descritto diversi scenari di pericolosità. Il peggiore di questi si attuerebbe nel caso in cui si dovesse verificare un collasso globale dell'intero volume mobilizzabile o di una porzione cospicua di quel volume di roccia che, dopo aver investito gli insediamenti industriali e le infrastrutture ubicate alla base, si propagherebbe sino dentro il lago causando la formazione di un'onda anomala potenzialmente in grado di raggiungere gli abitati posti sulla sponda opposta del lago.

Lo sviluppo del movimento franoso si è sviluppato secondo fasi diverse in posizioni diverse, anche se, nel complesso, il cinematisimo è stato interpretato come movimento di corpo "unitario rigido".

A seguito di diffusi dissesti, quali ad esempio la Frana Pinnacoli, avvallamenti, cedimenti del terreno, formazione di trincee e scarpate e la lesione della strada provinciale, è stato realizzato un sistema di strumenti di monitoraggio posti all'interno del perimetro di frana per poter controllare i movimenti superficiali e profondi.

Nonostante i numerosi strumenti di controllo installati e gli studi precedenti, nel perimetro di frana ci sono pochi dati oggettivi derivanti da indagini dirette che vadano ad indagare direttamente l'ammasso roccioso nel sottosuolo ed in superficie. Lo studio è stato realizzato, pertanto, partendo dall'analisi di dati bibliografici della frana di Monte Soresano, integrato da una nuova campagna d'indagini geognostiche, prove di laboratorio e di rilevamento a terra, al fine di aggiornare il modello geologico e geotecnico a supporto dello sviluppo dello studio di fattibilità degli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico.

Il piano di indagini è stato programmato sia per acquisire dati da indagini dirette sia per eseguire un confronto con quelli precedenti in modo tale da condurre una validazione dei dati e permettere di interpretare con sufficiente confidenza il cinematisimo in atto e le sue cause.

Il lavoro svolto nell'ambito del tirocinio è stato quello di affiancare i tecnici dello Studio Griffini nelle attività di programmazione della campagna d'indagine, direzione lavori, Coordinamento Sicurezza in fase di Esecuzione delle indagini (CSE), esecuzione dei rilievi in sito, analisi dei dati raccolti e aggiornamento del modello geologico e geotecnico di riferimento necessario alla progettazione degli interventi di mitigazione del rischio.

Alla data odierna, anche se terminate le prove in sito, non si dispone di tutti gli elaborati finali per poter procedere all'aggiornamento del modello geologico e geotecnico ma si è in grado di dare dei risultati in campo geologico, geotecnico e geo-meccanico utilizzabili per la successiva fase di progettazione.

Dai dati in possesso ed acquisiti dalle indagini integrative si è potuto confermare nelle linee generali le caratteristiche geometriche e cinematiche della frana con stati di attività ed anche tassi di movimento differenti. Si riconosce una frana governata da diverse superfici di movimento tra le quali si distinguono una superficie ampia e profonda quiescente e due superfici attive di cui una con una profondità di circa 50 metri ed una più superficiale di 15 metri, che ad oggi risulta la porzione più mobilitata.

Non appena saranno ultimati gli elaborati di tutte le prove di laboratorio eseguite nella campagna d'indagine eseguita, si disporrà di tutti i dati necessari ad aggiornare ed integrare il modello geologico e geotecnico a supporto della progettazione degli interventi di mitigazione del rischio del fenomeno franoso.