

**Borsa di studio attivata ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021**

Titolo del progetto: Sviluppo di materiali innovativi di origine naturale come alternativa sostenibile all'utilizzo di cemento per iniezioni, stabilizzazioni e consolidamenti di terreno

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:  
INGEGNERIA STRUTTURALE E GEOTECNICA

Responsabile scientifico: Prof. Salvatore Miliziano

Area per la quale si presenta la richiesta: GREEN

Numero di mensilità da svolgere in azienda: 12

Numero di mensilità da svolgere all'estero: 6 presso Deltares (The Netherlands) - Prof. Eng. Adam Bezuijen

Azienda: GEEG s.r.l. Geotechnical and Environmental Engineering Group srl, Corso d'Italia, 97 - 00198 Roma

Il Dipartimento è disponibile a cofinanziare per un importo pari a euro: 10000,00

Dipartimento finanziatore: DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE E GEOTECNICA con delibera del 20/09/2021

Progetto di ricerca:

Il consolidamento dei terreni consiste nel miglioramento delle caratteristiche del suolo in situ. In funzione dell'obiettivo da raggiungere con il consolidamento dei terreni (miglioramento della permeabilità, aumento della resistenza, ecc.), il progettista può scegliere tra una serie di tecniche tra cui, ad esempio, dreni, iniezioni, miscelazione meccanica e compattazione dinamica.

Le tecniche di consolidamento hanno l'obiettivo di modificare, anche solo localmente, le proprietà del terreno (densità, permeabilità, deformabilità, resistenza a compressione ecc.) al fine di migliorarne le caratteristiche meccaniche.

Ad oggi le tecniche sono numerosissime, alcune ben note e altre in fase di sperimentazione. La scelta della tecnica ottimale è molto complessa ed è possibile utilizzarle singolarmente o in combinazione fra loro.

Le iniezioni sono un metodo molto diffuso nella stabilizzazione dei terreni sia per un miglioramento delle caratteristiche meccaniche sia nella riduzione della permeabilità.

Il consolidamento per permeazione consiste nell'iniezione nel sottosuolo di una miscela che tende a variare il proprio stato nel tempo andando a modificare le caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno trattato. Nelle tradizionali applicazioni geotecniche non in roccia, questo trattamento viene in genere eseguito con bassa pressione di iniezione: la pressione deve essere tale da fornire i necessari gradienti idraulici alla miscela iniettata nei pori senza però modificare la struttura originale del terreno, o facendolo in misura ridotta. Questo permette di garantire un minimo disturbo alle opere circostanti il punto di iniezione e fa sì che questa tecnica si presti molto bene all'uso in ambiente urbano. Inoltre, il cantiere è poco ingombrante e le perforazioni sono di piccolo diametro in quanto il trattamento può essere effettuato in modo graduale ed eventualmente con iniezioni ripetute.

Bisogna però tener conto che questa tecnica è affetta da relativa incertezza riguardo all'esito del trattamento, sia in termini di estensione sia in termini di proprietà meccaniche del mezzo trattato. Inoltre, le caratteristiche del materiale di riempimento in relazione a quelle del terreno da iniettare condizionano molto l'applicabilità delle tecnologie.

Il consolidamento si esplica attraverso la formazione di precipitati insolubili all'interno dei pori del terreno da trattare. L'azione consolidante si ha grazie alla formazione di un gel, che ingloba, totalmente o parzialmente, i grani del terreno all'interno di un reticolo continuo, e la sua successiva trasformazione in un materiale vetroso indurito a seguito dell'evaporazione dell'acqua.

Attualmente le miscele più utilizzate risultano essere quelle a base di cemento in quanto queste garantiscono

significativi incrementi di resistenza, rendendo il terreno trattato più resistente e rigido di quello naturale.

Il cemento è un legante idraulico che si presenta sotto forma di una polvere inorganica finemente macinata che, se mescolata con acqua, forma una pasta che fa presa e indurisce sviluppando una certa resistenza meccanica ed alte proprietà adesive.

Questo indurimento idraulico si deve soprattutto alla formazione di silicati idrati di calcio in seguito alla reazione tra l'acqua aggiunta per la miscela e i componenti del cemento.

Il cemento Portland e il calcestruzzo sono i materiali da costruzione più importanti e utilizzati, ma hanno un impatto ambientale altamente negativo.

L'industria del cemento è uno dei maggiori consumatori delle risorse naturali limitate come acqua, sabbia, ghiaia, poiché richieste come materie prime. Inoltre, contribuisce al 10% del totale delle emissioni dei gas serra e consuma circa 1.5 miliardi di Gigajoules annualmente (in particolare la quantità di CO<sub>2</sub> prodotta rappresenta il 5-7% del totale delle emissioni di CO<sub>2</sub> causate dall'uomo come riportato da Hendricks et al. (1998) e Humphreys e Mahasenan (2002)), tenendo presente che una tonnellata di cemento produce circa 900 kg di CO<sub>2</sub> e consuma 5Gj di energia, e per questo considerato ad alta intensità energetica.

Il costante aumento di CO<sub>2</sub> nell'aria è stato anche associato all'aumento della temperatura media terrestre (Duarte et al., 2013); Le emissioni di CO<sub>2</sub> sono il principale contributo al riscaldamento globale come conseguenza della produzione di cemento (circa il 98%); altri gas come CH<sub>4</sub> o N<sub>2</sub>O hanno invece un'influenza molto più bassa riporta Josa et al. (2007).

Inoltre, con particolare riferimento all'utilizzo del cemento nel sottosuolo si deve ricordare il rilevante effetto in termini di modifica del pH (elemento estremamente rilevante negli equilibri di un ecosistema) legato al processo di maturazione del calcestruzzo stesso.

Considerata l'enorme diffusione delle tecniche di consolidamento ma anche il rilevante impatto ambientale legato all'utilizzo di cemento nelle miscele utilizzate per le iniezioni, risulta particolarmente importante ripensare tali materiali sostituendo il cemento con soluzioni green che includano, nel loro sviluppo, processi di economia circolare.

Esistono, e sono già una concreta opzione spesso utilizzata in progetti di ingegneria civile, una serie di soluzioni alternative all'utilizzo di cemento estremamente importanti in quanto riescono a garantire resistenze meccaniche paragonabili a quelle dei classici materiali cementizi, con l'ulteriore vantaggio di dare un contributo nel raggiungimento degli obiettivi di riduzione dell'impatto ambientale e protezione degli ecosistemi. Inoltre, poiché le materie prime utilizzate sono spesso sottoprodotti di scarto di altri processi industriali, come ceneri volatili e scorie di altoforno, il loro utilizzo promuove pratiche più sostenibili nel settore edile sia in termini di costo che di emissioni.

Il progetto dal titolo "Sviluppo di materiali innovativi di origine naturale come alternativa sostenibile all'utilizzo di cemento per iniezioni, stabilizzazioni e consolidamenti di terreno" punta proprio a ripensare i materiali utilizzati per le iniezioni e più in generale per il consolidamento dei terreni in ottica green.

Nel progetto è inclusa una parte di studio e analisi critica delle differenti opzioni di utilizzo e una analisi sperimentali degli effetti in termini di miglioramento delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni.

Saranno inoltre attentamente valutati tutti gli aspetti legati al processo di produzione di tali materiali, gli effetti ambientali, eventuali rilasci e la durabilità degli effetti nell'ambiente a breve e a lungo termine.

Il progetto si propone quindi di fornire soluzioni concrete per la sostituzione del cemento per applicazioni di miglioramento e consolidamento dei terreni insieme ad una serie di informazioni sull'utilizzo, sugli impatti attesi e sui parametri da monitorare nell'utilizzo.

Tali applicazioni potrebbero quindi essere facilmente implementate in progetti in corso e in via di definizione, comportando notevoli vantaggi dal punto di vista tecnico, logistico e ambientale.

Infine, un altro aspetto di non minore importanza nel panorama nazionale e nella crescita della futura generazione di ingegneri è certamente la multidisciplinarietà del tema oggetto del presente Progetto in grado di coniugare aspetti propri dell'ingegneria geotecnica con aspetti chimici, ambientali, amministrativi ed economici. Questo certamente porterà ad acquisire un bagaglio di conoscenze ricco e variegato utile ad affrontare attività professionali e di Ricerca in modo consapevole.

Titolo del progetto (inglese): Development of innovative materials of natural origin as a sustainable alternative to the use of cement for injections, stabilizations and consolidations of soils

Progetto di ricerca (inglese):

The consolidation and stabilization of soil consists in improving the geotechnical, hydraulic and mechanical characteristics of the soil in situ. Depending on the objective of the soil consolidation (reduction of permeability, increase of strength and stiffness), the designer can choose from a number of techniques including, for example, injections, mechanical mixing and dynamic compaction.

Consolidation techniques aim to modify, even only locally, the properties of the soil (density, permeability, deformability and strength).

To this day, the techniques are numerous, some are well-known and others still in the testing phase. The choice of the optimal technique is very complex and it is possible to use each of them individually or in combination with one another. Injections are a very common methodology in soil stabilization both for an improvement of the mechanical characteristics and for reduction of permeability.

Consolidation/stabilization by permeation consists in the injection into the ground of a mixture that tends to vary its state over time by modifying the mechanical and physical characteristics of the treated soil. In traditional non-rock geotechnical applications, this treatment is generally performed with low injection pressure: the pressure must be such as to provide the necessary hydraulic gradients to the mixture injected into the pores without, however, modifying the original soil structure, or doing it to a reduced extent. This ensures minimal disturbance to the element / environment surrounding the injection point and makes this technique very suitable for use in an urban area.

However, it must be taken into account that this technique is affected by relative uncertainty regarding the outcome of the treatment, both in terms of extension and in terms of mechanical properties of the treated medium. Furthermore, the characteristics of the filling material in relation to those of the soil to be injected greatly affect the applicability of the technologies.

Consolidation takes place through the formation of insoluble precipitates within the pores of the soil to be treated. The consolidating action occurs thanks to the formation of a gel, which totally or partially incorporates the grains of the soil within a continuous network, and its subsequent transformation into a hardened glassy material following the evaporation of water. Currently the most used mixtures are those based on cement as these guarantee significant increase in resistance, making the treated soil more resistant and rigid than the natural one.

Cement is a hydraulic binder that comes in the form of a finely ground inorganic powder which, when mixed with water, forms a paste that sets and hardens, developing a certain mechanical strength and high adhesive properties. This hydraulic hardening is mainly due to the formation of hydrated calcium silicates following the reaction between the water added to the mixture and the components of the cement.

Portland cement and concrete are the most important and used building materials, but they have a highly negative environmental impact.

The cement industry is one of the major consumers of limited natural resources such as water, sand, gravel, as they are required as raw materials. Furthermore, it contributes 10% of total greenhouse gas emissions and consumes about 1.5 billion Gigajoules annually. In particular, the amount of CO<sub>2</sub> produced represents 5-7% of total human-caused CO<sub>2</sub> emissions as reported by Hendricks et al. (1998) and Humphreys and Mahasenan (2002).

The constant increase of CO<sub>2</sub> in the air has also been associated with the increase in the Earth's average temperature (Duarte et al., 2013); CO<sub>2</sub> emissions are the main contributor to global warming as a consequence of cement production (about 98%); other gases such as CH<sub>4</sub> or N<sub>2</sub>O, on the other hand, have a much lower impact, reports Josa et al. (2007).

Furthermore, with particular reference to the use of cement in the ground, the significant effect in terms of pH modification (an extremely important element in the balance of an ecosystem) linked to the curing process of the concrete itself must be taken into account.

Given the enormous diffusion of consolidation techniques but also the significant environmental impact associated with the use of cement in the mixtures used for injections, it is particularly important to replacing cement with green

materials including in their development circular economy processes.

There are a series of alternative solutions to the use of concrete that are extremely important as they are able to guarantee mechanical strengths comparable to those of classic cementitious materials, with the further advantage of giving a contribution to achieving the objectives of reducing environmental impact and protecting ecosystems. Furthermore, as the raw materials used are often waste by-products of other industrial processes, such as fly ash and blast furnace slag, their use promotes more sustainable practices in the construction sector both in terms of costs and emissions.

The project entitled "Development of innovative materials of natural origin as a sustainable alternative to the use of cement for injections, stabilization and soil consolidation" aims to rethink the materials used for the injections and more generally for the consolidation of soil with specific attention to green and circular processes.

The project includes a part of study and critical analysis of the different use options and an experimental analysis of the effects in terms of improving the physical and mechanical characteristics of the soils.

All aspects related to the production process of these materials, the environmental effects, any releases and the durability of the effects in the environment in the short and long term will also be carefully evaluated.

The project therefore aims to provide concrete solutions for the replacement of cement for soil improvement and consolidation applications together with a series of information on use, expected impacts and parameters to be monitored.

Such applications could be, therefore, easily implemented in projects in progress and in the process of being defined, resulting in significant advantages from a technical, logistical and environmental point of view.

Finally, another aspect of great importance in the national panorama and in the growth of the future generation of engineers is certainly the multidisciplinary nature of the subject of this Project, capable of combining elements of geotechnical engineering with chemical, environmental, administrative and economic aspects. This will certainly lead to the acquisition of a rich and varied set of knowledge useful for facing professional and research activities in a conscious way.