

# Università Degli Studi Di Napoli Federico II



## Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Corso di Laurea Magistrale in

### **Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio**

(Classe delle Lauree magistrali in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Classe LM-35)

Indirizzo magistrale: Difesa del Suolo

Sintesi dell'elaborato di tesi:

## **ANALISI SPERIMENTALE ED INTERPRETAZIONE DEL TRATTAMENTO ELETTROCINETICO DI UN TERRENO A GRANA FINE**

### **RELATORI**

Ch.mo Prof. Ing. Alessandro Flora  
Ch.mo Prof.ssa Ing. Stefania Lirer  
Dott.ssa Sara Gargano

### **CANDIDATO**

Gianmarco Tammaro M67/257

## Introduzione

Il riconoscimento del ruolo determinante che rivestono i trasporti marittimi nello sviluppo dell'economia del nostro paese, ha contribuito alla nascita di importanti progetti di dragaggio in tutte quelle aree portuali che vogliono offrire l'accesso e la movimentazione anche alle navi di ultima generazione (8000 o più TEU). In tale contesto operativo, viene sempre di più riconosciuta l'importanza dei fanghi di dragaggio, fanghi che possono essere visti non più come un rifiuto da smaltire a causa delle sue scadenti caratteristiche meccaniche ed il suo elevato contenuto d'acqua, ma come risorsa da sfruttare per realizzare vasche di colmata.

Tali vasche sono utili sia per lo stoccaggio di ingenti volumi di sedimenti dragati, sia per la realizzazione di nuove aree di terra, necessarie alla movimentazione ed allo stoccaggio delle merci.



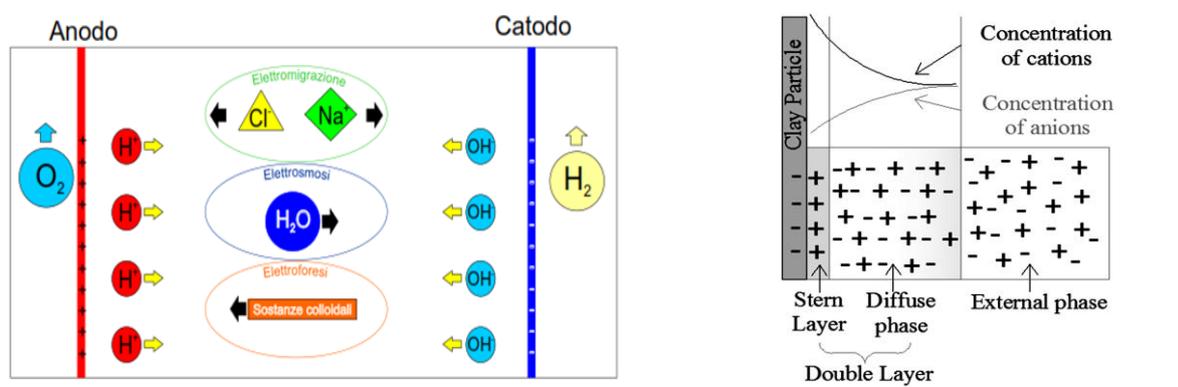
I metodi per consolidare il terreno sono oggi numerosissimi: alcuni sono ben consolidati, altri sono in fase di sperimentazione.

In particolare, in questo lavoro di tesi si è posto l'accento sulle modifiche idrauliche del terreno tramite la consolidazione elettrocinetica. Tale tecnica sperimentale risulta essere all'avanguardia per due motivi fondamentali: accelerare il processo di consolidazione (che altrimenti sarebbe troppo lungo per terreni a grana fine saturi) e migliorare il comportamento meccanico dei sedimenti dragati.

## Teoria della consolidazione elettrocinetica

L'applicazione di una corrente elettrica continua all'interno di un terreno a grana fine saturo comporta la nascita di processi elettrocinetici: elettrosmosi, elettromigrazione ed elettroforesi.

L'elettromigrazione è responsabile del trasporto degli ioni disciolti nell'acqua di porosità verso l'elettrodo di carica opposta, l'elettromigrazione si verifica nel caso in cui il pH del terreno è basso e porta all'allontanamento delle sostanze colloidali dal catodo verso l'anodo, ed infine il fenomeno più rilevante, l'elettrosmosi, che permette il movimento dell'acqua all'interno della matrice solida dall'anodo verso il catodo. Tale movimento è permesso perché vengono messi in movimento i cationi contenuti nel doppio strato diffuso, zona nella quale vi è una forte attrazione tra i cationi disciolti nell'acqua e la superficie della particella di argilla caricata negativamente.



All'innescarsi del fenomeno elettrocinetico agli elettrodi si verifica un' espulsione di gas che porta ad una desaturazione del materiale trattato, ovvero ad un aumento di suzione nel terreno e quindi un miglioramento delle caratteristiche meccaniche.

## Prove sperimentali

Sono state realizzate diverse prove sperimentali al fine di dimostrare l'efficacia del trattamento elettrocinetico. Il materiale in esame è un'argilla con limo debolmente sabbiosa. Per la preparazione dei campioni da testare tale terreno è stato miscelato con acqua al fine di ottenere un contenuto d'acqua pari a 1.4 volte il limite liquido. Le prove sono state effettuate in due apparecchiature appositamente realizzate: l'edometro speciale (fig.1) e la cella elettrosmotica (fig.2), in cui – applicando carichi meccanici e/o elettrici – è possibile consentire grandi spostamenti ed estrarre provini alla fine delle fasi di carico per poter realizzare prove triassiali.

**ANALISI SPERIMENTALE ED INTERPRETAZIONE DEL TRATTAMENTO ELETTROKINETICO  
DI UN TERRENO A GRANA FINE**

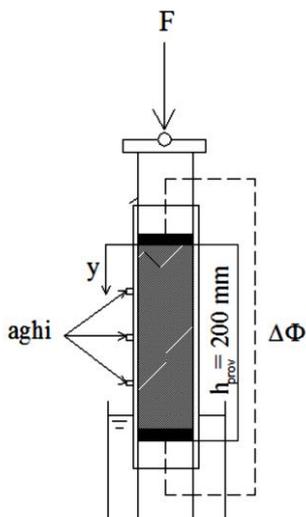


Figura 1: L'edometro speciale

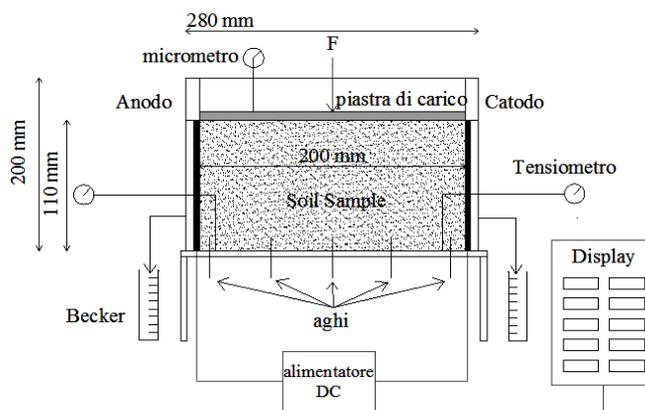


Figura 2: La cella elettrosmotica

I risultati ottenuti sono stati incoraggianti, infatti, sono state osservate, a parità di carico meccanico, maggiori riduzioni dell'indice dei pori al crescere del gradiente elettrico applicato ed aumenti del coefficiente di consolidazione rispetto al valore ricavato con solo carico meccanico.

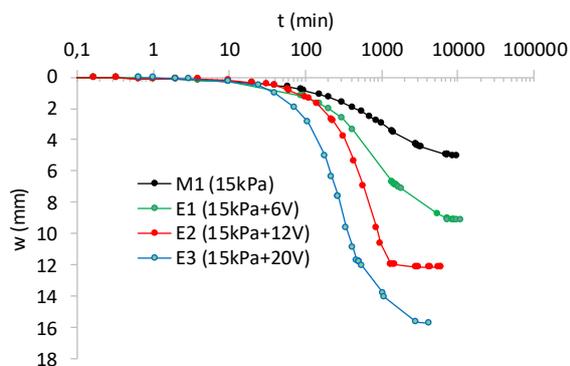


Figura 3: Risultati step di carico 8 → 15kPa relativi prove svolte in edometro speciale

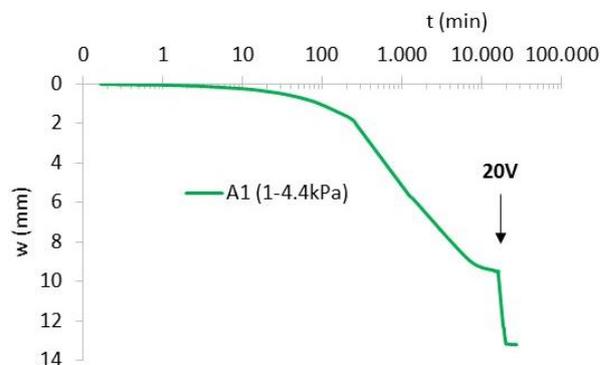
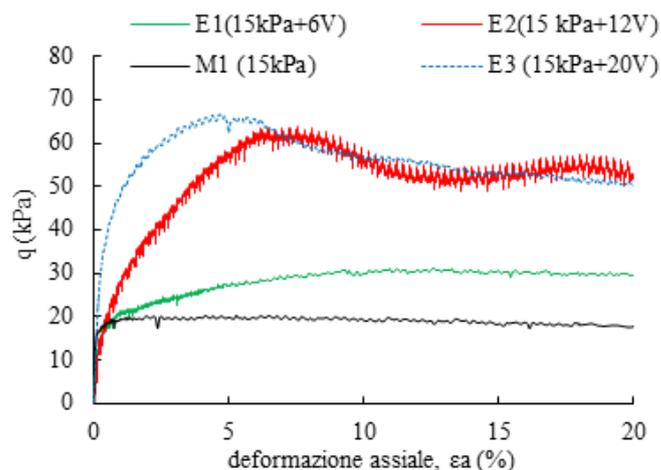


Figura 4: Risultati step di carico 1 → 4.4kPa relativi prova svolta in cella elettrosmotica

Dalle prove CIU realizzate post-trattamento si è osservata una sovraconsolidazione dei provini sottoposti a carichi elettrici.

**ANALISI SPERIMENTALE ED INTERPRETAZIONE DEL TRATTAMENTO ELETTROKINETICO  
DI UN TERRENO A GRANA FINE**

---



*Figura 5: Risultati prove CIU*

La teoria della consolidazione monodimensionale di Terzaghi risulta poco adatta a studiare questi fenomeni; nel caso in esame, infatti, per tenere conto delle rilevanti variazioni dell'indice dei vuoti e delle conseguenti rilevanti variazioni fisiche, meccaniche e geometriche che il terreno sperimenta durante il processo è necessario modellare i fenomeni impiegando la teoria della consolidazione monodimensionale nella formulazione in grandi deformazioni [GIBSON et al., 1967]. È stato pertanto utilizzato un codice di calcolo alle differenze finite "Condes" [YAO e ZNIDARCIC, 1997].

$$\pm \left( \frac{\rho_s}{\rho_f} - 1 \right) \frac{d}{de} \left[ \frac{k(e)}{1+e} \right] \frac{\partial e}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \frac{k(e)}{\rho_f(1+e)} \frac{\partial \sigma'}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial z} \right] + \frac{\partial e}{\partial t} = 0$$

I risultati ottenuti sono riportati in tabella, e sono coerenti con le misure di suzione effettuate durante le prove e con i dati di letteratura. A titolo di sintesi si riporta un grafico contenente coefficiente di consolidazione e resistenza a taglio non drenata in funzione del gradiente elettrico.

Prova	$\Delta\sigma'$ [kPa]	$\Delta\Phi/L$ [V/cm]
M1	-	0
E1	13	0,6
E2	31	1,2
E3	48	2

