



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Roma



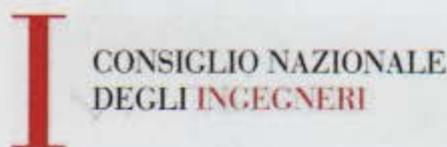
5° IAGIG

Incontro Annuale dei Giovani Ingegneri Geotecnici

22 e 23 Maggio 2015

Aula Magna, Università Europea,
Via degli Aldobrandeschi, 190 Roma

Patrocinato da:



CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI



Società Italiana Gallerie
Italian Tunnelling Society



Consiglio Nazionale delle Ricerche



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

oice

Associazione delle organizzazioni di ingegneria
di architettura e di consulenza tecnico-scientifica



CONFININDUSTRIA



fastigi

FORMAZIONE ADDESTRAMENTO SCIENZA
TECNOLOGIA INGEGNERIA GALLERIE E INFRASTRUTTURE

VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE DI MASSA SU TORBE E FANGHI DI DRAGAGGIO

Marco Curti (ing.curti_m@libero.it)

Ingegnere libero professionista

Quintilio Napoleoni (q.napoleoni@eandg.it)

Ingegnere, Direttore Tecnico E&G S.r.l.

Luigi Tramonti (luigitramonti@gmail.com)

Ingegnere libero professionista

Fabio Garbin (fabio.garbin@geoplanning.it)

Geoplanning Servizi per il territorio S.r.l.

Maurizio Scarapazzi (m.scarapazzi@geoplanning.it)

Geoplanning Servizi per il territorio S.r.l.

ABSTRACT

Il trattamento chimico dei terreni è una tecnica molto diffusa in ambito geotecnico e ambientale. Attraverso la miscelazione del terreno con un agente legante (calce o cemento) è possibile migliorare sia le caratteristiche meccaniche sia quelle di deformabilità dei terreni. Attualmente la tecnica si è notevolmente specializzata in una serie di tecnologie che si differenziano sostanzialmente per le finalità, per i macchinari e per i leganti utilizzati. Le attuali metodologie non si limitano alla formazione di strati superficiali come in ambito stradale, ma consentono di operare su grandi masse di terreno variando anche le geometrie di trattamento. Questi interventi prendono il nome di stabilizzazione di massa.

1. Introduzione

I campi di applicazione di questa tecnica sono fondamentalmente due: geotecnico e ambientale. Nel primo l'obiettivo è il miglioramento delle caratteristiche meccaniche mentre nel secondo si mira a stabilizzare (microincapsulamento) gli inquinanti all'interno della matrice terreno. In talune situazioni queste due applicazioni si sovrappongono sfruttando a pieno le potenzialità di questa tecnica. Ne è un esempio la formazione di banchine portuali mediante sedimenti di dragaggio, solitamente molto inquinati, prelevati all'interno del porto stesso.

I casi applicativi presentati in questo articolo, che si riferiscono esclusivamente all'aspetto geotecnico della stabilizzazione di massa, hanno riguardato terreni torbosi e fanghi di dragaggio.

Un aspetto importante che accomuna i trattamenti di massa, qualunque ne sia lo scopo, è che non possono prescindere da una fase di studio preliminare di laboratorio per la scelta del tipo di legante e del quantitativo necessario a raggiungere le prestazioni richieste e necessitano, sempre, un successivo campo prova. In bibliografia (Tabella 1) esiste una guida indicativa EuroSoilStab (2002) in cui sono riportate indicazioni delle migliori miscele da utilizzare per diversi tipi di terreno:

Terreno (C _o =cont. org.)	Limo (C _o 0-2%)	Argilla (C _o 0-2%)	Suoli organici (C _o 2-30%)	Torba (C _o 50-100%)	Legenda
Legante					
Cemento	••	•	•	••	x = legante non adatto
Cemento + gesso	•	•	••	••	
Cemento + loppa	••	••	••	•••	• = legante buono in qualche caso
Calce + cemento	••	••	•	x	

Calce + gesso	••	••	••	X	•• = legante buono in molti casi
Calce + loppa	•	•	•	X	
Calce + gesso + loppa	••	••	••	X	••• = legante molto buono nella maggior parte dei casi
Calce + gesso + cemento	••	••	••	X	
Calce	X	••	X	X	

Tabella 1. Riassunto dei risultati delle prove.

Per rendere confrontabili i risultati dei test l'attività di laboratorio necessita di una fase preliminare di quartatura utile ad omogenizzare il materiale. La fase sperimentale inizia con i test di presa al fine di selezionare qualitativamente i tipi di leganti da utilizzare. Queste prove sono svolte per mezzo dell'Ago Vicat su varie miscele di terreno e leganti. Successivamente ai risultati ottenuti in questa prima fase di studio, sono confezionati un certo numero di provini costituiti dal materiale di prova con diverse percentuali di leganti scelti (Mix) ed eventuale inerte sabbioso-ghiaioso al fine di creare uno scheletro solido di supporto. Ciascun Mix di prova è introdotto all'interno di tubi forma di idonee dimensioni in relazione al diametro massimo dei granuli presenti (diametro del provino maggiore di 10 volte il diametro dei clasti superiori). Per l'introduzione del Mix nei cilindri al fine di evitare la formazione di bolle d'aria sono usate tecniche specifiche (Marzano 2013). I provini così formati sono posti a stagionare affinché si sviluppino tutte le reazioni di presa tra i leganti e il terreno. Questa fase di stagionatura dei campioni, che deve rappresentare il più possibile le condizioni ambientali in cui il terreno matura in sito, è molto importante. Ovviamente, essendo queste delle variabili aleatorie, in laboratorio sono riprodotte delle condizioni di riferimento che sono ambiente saturo, temperatura (20°) e umidità (>95%) controllata, con o senza un precarico iniziale. Solitamente l'acqua utilizzata sia per il confezionamento delle miscele che per la maturazione è quella prelevata dalla falda in sito. I provini quindi, a tempi di maturazione prestabilita (normalmente almeno 7, 14, 28 giorni), vengono estratti dai tubi forma, rettificati e sottoposti a prove di schiacciamento uniassiale (UCS) secondo modalità standard.

2. Casi studio

Un'applicazione della stabilizzazione di massa a scopo geotecnico è rappresentata dal miglioramento meccanico delle torbe. Questi terreni sono caratterizzati da resistenze estremamente esigue e da una fortissima compressibilità che dà origine a cedimenti notevoli che durano per anni anche con l'applicazione di carichi modesti. La stabilizzazione di massa per questo tipo di terreni si configura come un rimedio efficace proponendosi come un'alternativa, relativamente economica, alle usuali tecniche più diffuse (precarico e dreni, sostituzione di suolo, rilevati alleggeriti, ecc.) e con ridotto impatto sull'ambiente. Questa tecnologia è spesso usata nel nord Europa.

Esperienze condotte su una torba italiana (Lago di Massaciuccoli - Lucca) hanno fornito risultati notevoli, se confrontati con la resistenza di un campione di torba non trattato (in *bianco*). Nel grafico di Figura 1 sono mostrati i risultati di prove UCS su provini ottenuti miscelando diverse quantità di cemento Portland ordinario e sabbia (da 100 a 250 kg/m³), a diversi tempi di maturazione, realizzata con o senza sovraccarico (18 kPa). In tal modo si è potuto individuare una soglia minima di quantità di cemento al di sotto della quale non si hanno effetti sostanziali (Miscela 9 e 10 – 100 kg/m³). In particolare la Miscela 3 e la s0 sono composte dalla stessa quantità di cemento (200 kg/m³), ma diverso contenuto in sabbia (200 kg/m³ della 3, contro 0 della s0).

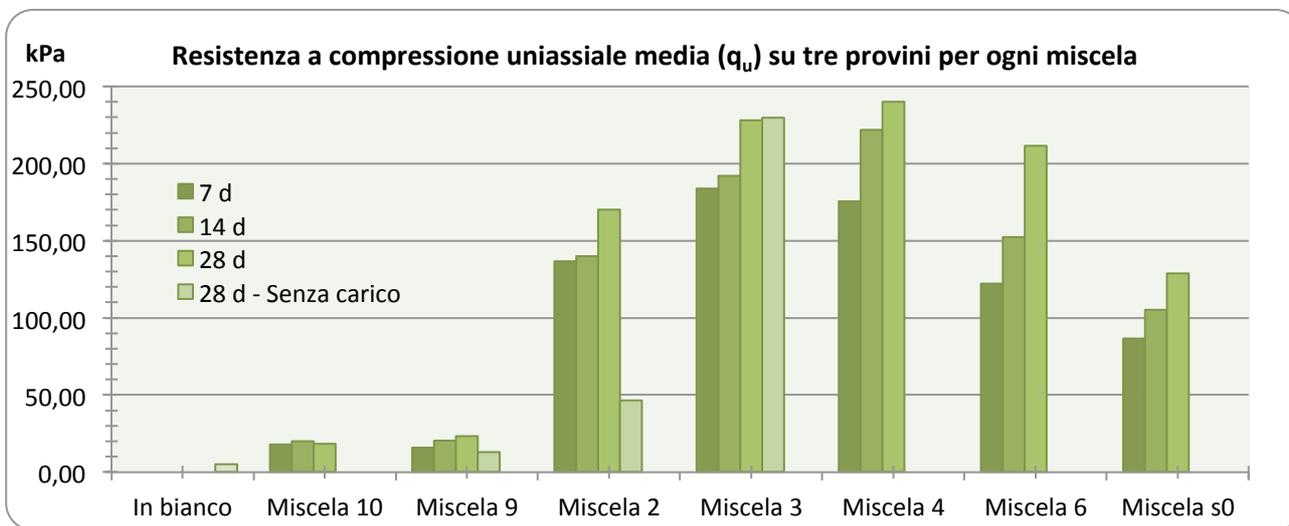


Figura 1. Resistenza UCS Mix con torba.

Si noti che la resistenza a compressione della torba analizzata passa da 5 kPa del terreno naturale ai 240 kPa della Miscela 4 (250 kg/m³ di cemento + 250 kg/m³ di sabbia) dopo 28 giorni, con un aumento di quasi 50 volte. Nel grafico seguente si mostrano i risultati di una serie di prove CPT a confronto, realizzate sulle medesime miscele a 28 giorni di maturazione in appositi campi prova.

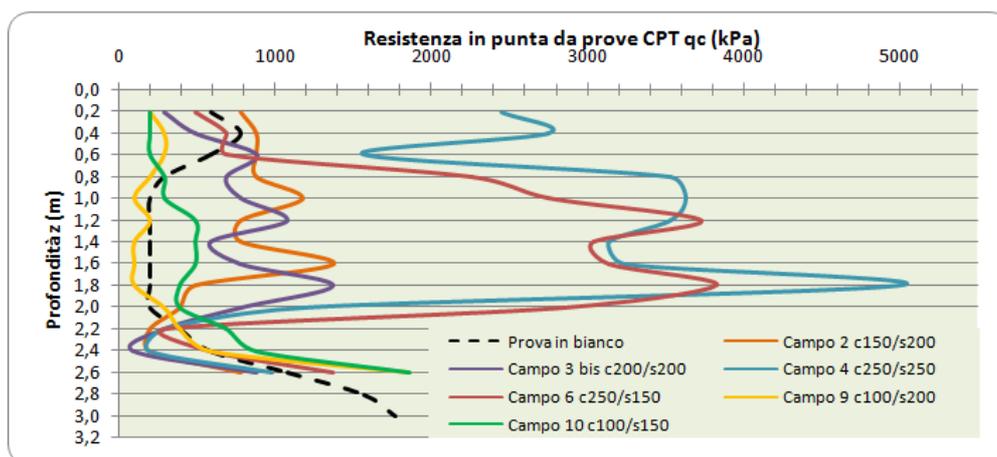


Figura 2. Curve resistenza qc da CPT in campi prova.

La disomogeneità dei risultati dipende dalla non perfetta miscelazione in sito, la quale non può raggiungere la stessa qualità ottenibile in laboratorio con condizioni controllate. I risultati del campo prova comunque si sono rivelati in buon accordo con le indicazioni di laboratorio.

Un'ulteriore applicazione esemplificativa ha riguardato la stabilizzazione di fanghi di dragaggio portuali. Lo scopo di tale lavorazione è stato quello di esaminare l'idoneità dei fanghi al trattamento di massa come riempimento di una cassa di colmata da destinare a Terminal containers. I fanghi in laboratorio sono stati trattati cautelativamente secondo gli standard di prova dei terreni organici. Tutti i provini di fango sono stati preparati con un dosaggio di 100 kg/m³ di legante rappresentato da cemento Portland 325 (Legante A) o con un premiscelato a base di calce (Legante B). Dai test di Vicat l'effetto di presa non si è manifestato nei provini con il Legante B. La sperimentazione è quindi stata orientata sulla realizzazione di Mix aventi percentuali variabili del Legante A. E' stata aggiunta inoltre una quantità variabile di inerte siliceo sabbioso, derivato da attività di riciclo, in quantità comprese tra 100 e 150 kg/m³ di fango da trattare. I provini realizzati per essere sottoposti a schiacciamento uniaassiale sono stati lasciati a stagionare senza precarico nelle condizioni precedentemente viste. I risultati delle prove sono riportati nella Tabella 2.

ID Mix	Composizione	UCS a 7 gg (kPa)	UCS a 28 gg (kPa)	UCS a 150 gg (kPa)
C1a	200 Kg/m ³ di legante e 100 Kg/m ³	41	94	315
C1b	150 Kg/m ³ di legante e 100 Kg/m ³	28	68	186
C1c	150 Kg/m ³ di legante e 150 Kg/m ³	--	63	--
C2a	200 Kg/m ³ di legante e 100 Kg/m ³	48	119	--
C2b	150 Kg/m ³ di legante e 100 Kg/m ³	--	104	--
C3a	200 Kg/m ³ di legante e 100 Kg/m ³	57	150	320
C3b	150 Kg/m ³ di legante e 100 Kg/m ³	64	126	--

Tabella 2. Riassunto dei risultati delle prove.

Da questi risultati è stato possibile definire una prima valutazione delle caratteristiche geotecniche e quindi orientarsi verso una miscela "ottimale" da testare in un campo prova. La resistenza a compressione ricavata da prove UCS ha evidenziato in generale una progressione con il tempo di maturazione e in tal senso si sono dimostrati utili i test a 150 gg.

3. Conclusioni

Le esperienze relative alla stabilizzazione di massa, qui brevemente descritte, dimostrano che questo tipo di trattamento ha delle notevoli potenzialità riuscendo a fornire a terreni assolutamente inidonei a qualunque utilizzo, un certo livello di resistenza nettamente superiore a quella che presentano allo stato naturale. Nello stesso tempo quanto qui presentato evidenzia che la fase di studio e test delle miscele di legante è un passaggio fondamentale e indispensabile per il corretto dimensionamento dell'intervento stesso. Questa tecnologia, largamente utilizzata in molte parti del mondo, conta applicazioni notevoli, rappresentando un giusto compromesso tra costi, efficacia e rispetto dell'ambiente. La necessità di prevedere un campo prova deriva dalle inevitabili difformità fra il materiale miscelato in laboratorio ed il materiale trattato in sito. In particolare sono da rilevare differenti modalità e tempi di miscelazione nonché differenti condizioni al contorno. Un ruolo importante, sia in laboratorio che in sito, è rivestito dal precarico che si riesce ad imporre sul materiale trattato durante la maturazione. Dalle esperienze mostrate, si può ricavare l'efficace impiego di prove CPT nel collaudo del trattamento.

4. Bibliografia

- Curti M., Giannini R., Pardini A. (2008), *"La stabilizzazione di massa della torba"* - Strade & Autostrade n° 5 Settembre/Ottobre 2008.
- Curti M., Napoleoni Q., Pardini A., Scarapazzi M., (2008) *"Il consolidamento delle torbe con stabilizzazione di massa"* - Strade & Autostrade n° 4 Luglio/Agosto 2008.
- EuroSoilStab "Design Guide Soft Soil Stabilization, *"Development of design and construction methods to stabilize soft organic soils"* - EC CT97-0351 Project No. BE 96-3177 (2002).
- Grisolia M., Kitazume M., Leder E., Marzano P. (2011), *"Studio comparativo sulla standardizzazione internazionale delle procedure di laboratorio per il confezionamento di miscele terreno cemento"* – Incontro annuale dei ricercatori di geotecnica IARG 2011.
- Leppänen M., Havukainen J. *"Mass stabilization of peat mud and contaminated sediment"* - Geoteknikerdag, Ramboll Finland (2007).
- UNI EN 14679:2005 Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Miscelazione profonda.