POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI OTTIMALI DI CONDIZIONAMENTO DEI TERRENI DURANTE LO SCAVO CON EPB TRAMITE SLUMP TEST

Original
DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI OTTIMALI DI CONDIZIONAMENTO DEI TERRENI DURANTE LO SCAVO CON EPB TRAMITE SLUMP TEST / Barla, M., Bonini, M.. - ELETTRONICO. - (2012). (IARG 2012 Padova 2-4 Luglio 2012).

Availability:
This version is available at: 11583/2497638 since:

Publisher:
Grafiche Turato Edizioni

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

27 November 2026

DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI OTTIMALI DI CONDIZIONAMENTO DEI TERRENI DURANTE LO SCAVO CON EPB TRAMITE SLUMP TEST

Marco Barla, Mariacristina Bonini,
Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino
marco.barla@polito.it, mariacristina.bonini@polito.it

Sommario

La nota descrive i risultati di una campagna di prove di consistenza (slump test), finalizzata alla determinazione speditiva delle condizioni ottimali di condizionamento del terreno nel caso dello scavo di gallerie con TBM-EPB. In particolare il lavoro si concentra sul confronto tra il comportamento di terreni di caratteristiche granulometriche diverse tra loro, indagando un campo più ampio rispetto a quanto attualmente disponibile in letteratura.

Attività sperimentale

L'attività sperimentale ha riguardato la caratterizzazione di tre terreni di differenti caratteristiche granulometriche su cui sono state poi eseguite prove di tipo speditivo (slump test) per la determinazione delle condizioni ottimali di condizionamento nel caso dello scavo di gallerie con metodo meccanizzato, in particolare mediante TBM-EPB (Tunnelling Boring Machine-Earth Pressure Balance). Approfondimenti sulle metodologie di prova (speditive e avanzate) adottate in questo particolare ambito sono reperibili in AFTES, 2001, EFNARC, 2005, Merritt e Mair, 2006, Vinai et al., 2008.

Le prove sono state condotte in presenza di percentuali variabili di un tensioattivo e di un additivo a base polimerica disponibili in commercio: Globalfoam HG e Globalcril 46. Globalfoam HG è un agente schiumogeno formulato con speciali tensioattivi anionici biodegradabili, stabilizzati con polimeri naturali. Globalcril 46 è un polimero liquido sintetico ad elevato peso molecolare, formulato con speciali copolimeri acrilammide/sodio acrilato. I tre terreni sottoposti a prova sono stati preventivamente classificati ottenendo i risultati riportati nella Figura 1 e nella Tabella 1.

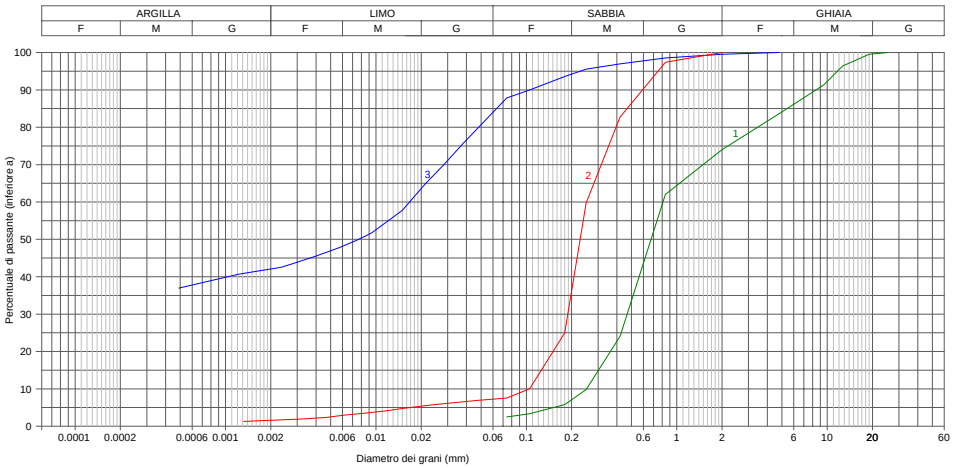


Figura 1. Curve granulometriche dei terreni sottoposti a prova.

Tabella 1. Principali parametri di classificazione dei terreni sottoposti a prova.

Terreno	**1**	**2**	**3**
Denominazione	ghiaia con sabbia	sabbia debolmente limosa	argilla con limo sabbioso
% ghiaia	26.0	-	-
% sabbia	71.6	92.7	16.0
% limo	2.4	5.8	41.9
% argilla	-	1.5	42.1
Coefficiente di uniformità (U)	3.22	2.41	-
Peso specifico dei grani	-	2.681	2.728
Limite liquido (LL)	-	-	51.76
Limite plastico (LP)	-	-	22.10
Indice plastico (IP)	-	-	29.66

Prove di Slump

Sono state eseguite con l'intento di determinare la consistenza e la lavorabilità dei terreni sottoposti a prova. Ciascuna prova è caratterizzata dai seguenti parametri quantitativi:

- Foam Expansion Ratio – FER (%): è definito come rapporto fra il volume di schiuma ottenuto e il volume di soluzione schiumogena (acqua più agente chimico). Ai fini della ricerca si è assunto un intervallo compreso fra 14 e 18.
- Foam Injection Ratio – FIR (%): è definito come rapporto fra il volume della schiuma e il volume di terreno da condizionare. Ai fini della ricerca sono stati usati valori compresi fra il 20 e l'80%.
- Contenuto d'acqua – w_n (%): è definito come rapporto fra il peso di acqua contenuto in un campione e il peso del campione una volta essiccato.
- Abbassamento o Slump (mm): è la variazione di altezza subita dal campione a causa della rimozione dello stampo.

La prima fase della prova consiste nella preparazione di un volume noto di terreno, opportunamente scelto per ottenere il parametro FIR previsto, cui si aggiunge acqua in misura tale da ottenere il contenuto d'acqua richiesto. Il terreno 1 è stato sottoposto a prova previa essiccatura a temperatura ambiente. Il terreno 2 è stato invece preventivamente pestellato e vagliato al setaccio ASTM n.4 per ottenere campioni in cui l'elemento di dimensione maggiore fosse sufficientemente piccolo rispetto al volume totale del campione stesso. Il terreno 3 è stato impiegato così come estratto dal sito.

Successivamente un volume noto di schiuma (tale da ottenere il FIR richiesto), preventivamente pesato in modo da verificare che soddisfi il criterio relativo al parametro FER, viene mescolato al terreno in modo da ottenere un mix il più possibile omogeneo. Infine, il mix viene trasferito nello stampo secondo la procedura comunemente utilizzata per determinare la consistenza nel calcestruzzo fresco mediante la misurazione dell'abbassamento al cono (UNI EN 12350-2:2001).

Tale procedura prevede il riempimento di un apposito stampo preventivamente inumidito mediante il materiale che viene disposto in 3 strati successivi assestati ciascuno con 25 colpi di barra di costipazione (Figura 2). Successivamente si rimuove lo stampo sollevandolo verticalmente con cura. L'operazione di rimozione dello stampo deve essere compiuta in un tempo compreso fra 5 s e 10 s con un sollevamento regolare senza impartire al campione movimenti laterali o torsionali. L'intera operazione, dall'inizio del riempimento alla rimozione dello stampo, deve essere compiuta senza interruzione e completata entro 150 s. Immediatamente dopo aver rimosso lo stampo si misura l'abbassamento (h) determinando la differenza tra l'altezza dello stampo e quella del punto più alto del campione e si procede alla

classificazione visiva del risultato, definendo il comportamento del campione in termini di plasticità e lavorabilità accettabile, non accettabile o limite (Figura 3).
Nel corso della ricerca, le prove di consistenza sono state effettuate con 6 combinazioni di terreno e schiuma. In particolare, sono state preparate le seguenti soluzioni schiumogene:

- Schiuma A: acqua + 2% Globalfoam HG,
- Schiuma B: acqua + 1% Globalfoam HG,
- Schiuma C: acqua + 2% Globalfoam HG+ 3‰ Globalcril 46,

e sono state sottoposte a prova le seguenti combinazioni:

- Terreno 1 – Schiuma A (combinazione 1A),
- Terreno 2 – Schiuma A (combinazione 2A),
- Terreno 3 – Schiuma A (combinazione 3A),
- Terreno 2 – Schiuma B (combinazione 2B),
- Terreno 3 – Schiuma C (combinazione 3C).



Figura 2. Procedura di prova. In senso orario: attrezzatura, riempimento, costipazione, sollevamento.

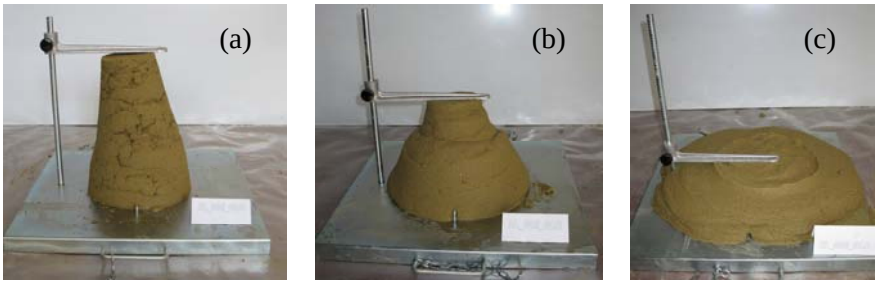


Figura 3. Classificazione dell'esito della prova: (a) condizionamento non accettabile, troppo asciutto, (b) condizionamento ottimale, (c) condizionamento non accettabile, troppo fluido.

Risultati

Per l'interpretazione dei risultati delle prove di consistenza i parametri FIR e w_n di ciascuna prova sono riportati su un diagramma come quello illustrato nella Figura 4a per la combinazione 2A. Ogni prova viene indicata con un simbolo. Sulla base del giudizio sulla bontà del comportamento della mescola, si è utilizzata una simbologia che associa un cerchio verde per le prove caratterizzate da un comportamento ottimale, un quadratino rosso per quelle che risultavano o eccessivamente asciutte o al contrario troppo liquide e un triangolino giallo nel caso di situazioni intermedie, non chiaramente classificabili in una della due precedenti categorie. L'area che rappresenta le condizioni ottimali di condizionamento per ciascuna combinazione terreno-schiuma è stata determinata includendo tutte le prove considerate ottimali, escludendo quelle non idonee e utilizzando le prove limiti per definirne i contorni.

La Figura 4b mostra il risultato in termini di aree ottimali ottenute dalle prove di consistenza eseguite sui terreni 1, 2 e 3 con la schiuma A (combinazioni 1A, 2A e 3A). Nel caso del terreno 1, che si presenta grossolano e mancante delle componenti fini, l'area ottimale è compresa al di sotto del 10% di contenuto d'acqua. Nel caso del terreno 2 le aree ottimali sono comprese tra il 7 e il 17% di contenuto d'acqua e tra il 35 e l'80% di FIR mentre, per ciò che concerne invece il terreno 3, le aree ottimali sono comprese tra il 40 e il 60% di contenuto d'acqua e il 30 e 80% di FIR.

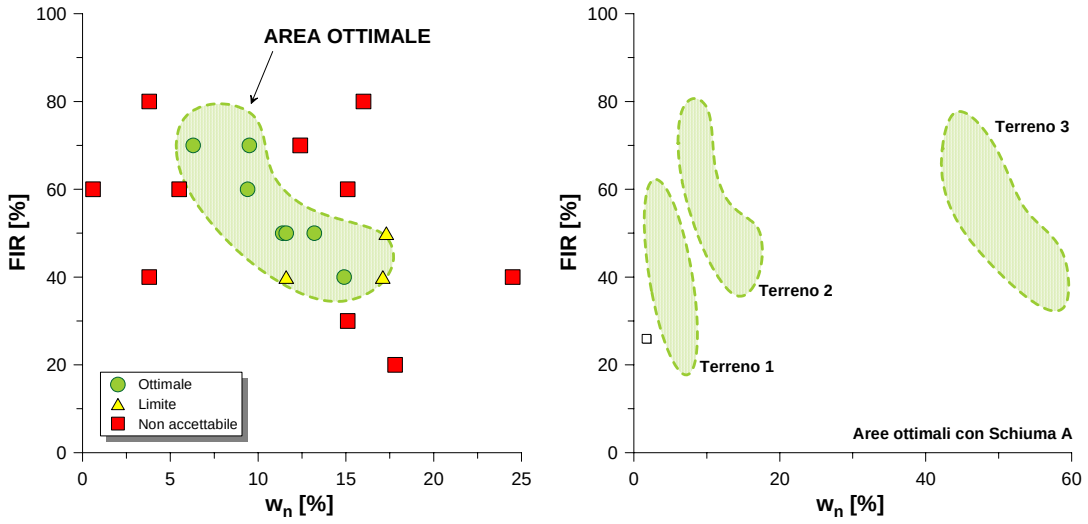


Figura 4. Risultati delle prove di slump effettuate per la combinazione 2A (a) e sui 3 terreni con la schiuma A (b).

L'utilizzo della schiuma B, con una percentuale di tensioattivo del 50% inferiore, è stato testato con il terreno 2 e, come si evince dalla Figura 5a, comporta un aumento del contenuto d'acqua (mediamente del 5%) rispetto al caso precedente, per ottenere una consistenza ottimale. L'intervallo di contenuto d'acqua ottimale, per analoghe percentuali di FIR, trasla tra il 10 e il 25%.
Con riferimento al terreno 3 di granulometria fine, è stata studiata l'influenza dell'additivo (Globalcril 46). Come illustrato nella Figura 5b, l'area di composizione ottimale resta sostanzialmente analoga, leggermente ampliata, e compresa tra il 35 e il 60% di contenuto d'acqua e analogo intervallo di FIR. L'additivo non sembra pertanto influenzare particolarmente la lavorabilità del terreno condizionato.
Risulta invece molto più marcata l'influenza dell'additivo sull'andamento della consistenza nel tempo. La Figura 6 mostra la variazione del contenuto d'acqua e dello slump (Sl) nel tempo per le combinazioni 3A e 3C. Il terreno condizionato mantiene una condizione di lavorabilità ottimale per una durata inferiore alle 10 ore nel caso del condizionamento con la schiuma A. La durata aumenta ad oltre 40 ore con l'aggiunta dell'additivo (schiuma C).

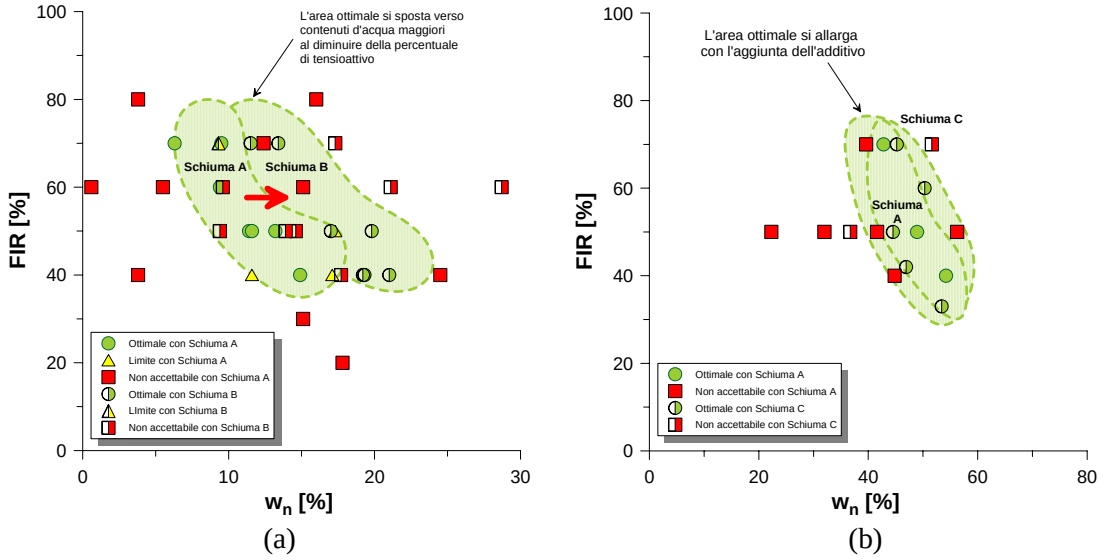


Figura 5. Risultati delle prove di slump effettuate per le combinazioni 2A e 2B (a) e 3A e 3C (b).

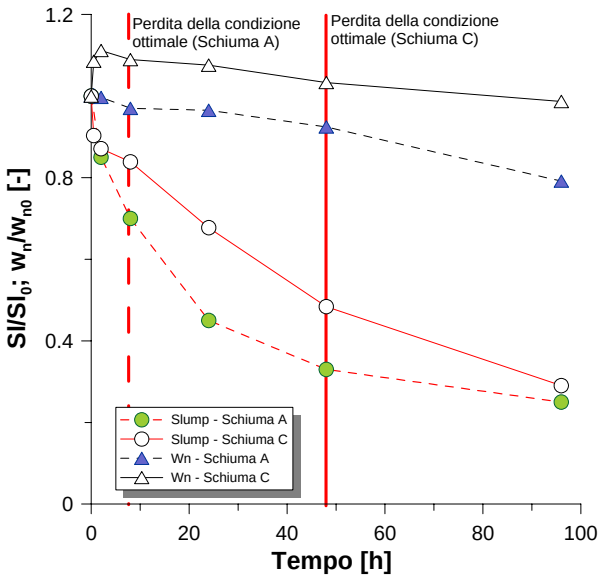


Figura 6. Risultati delle prove di slump nel tempo sul terreno 3.

Conclusioni

L'attività sperimentale ha consentito di indagare il comportamento di alcuni terreni condizionati da schiume e di mettere in luce alcune caratteristiche di comportamento della combinazione schiuma-terreno.

La natura molto differente dei tre terreni sottoposti a prova ha evidenziato i diversi effetti del condizionamento su terreni a matrice prevalentemente sabbiosa e a matrice prevalentemente limosa, confermando e ampliando le conclusioni di altri Autori (e.g. Vinai et al. 2008, Borio et al., 2011). In particolare è emerso che:

- ad una maggior concentrazione nel terreno di costituenti fini si associa la necessità di un più alto contenuto d'acqua per l'ottenimento di una condizione di condizionamento ottimale;
- l'utilizzo di una schiuma con una percentuale di tensioattivo inferiore, comporta la necessità di un contenuto di acqua maggiore per ottenere una composizione ottimale;
- l'additivo Globalcril 46 consente di incrementare la durata nel tempo del mantenimento della condizione ottimale di lavorabilità del terreno coesivo condizionato;
- la presenza di ghiaia nel terreno riduce l'area ottimale di condizionamento con la conseguenza che il contenuto d'acqua acquista un ruolo determinante e pone interrogativi in presenza di scavi sottofalda.

Bibliografia

AFTES, 2001. EUPALINOS 2000. Synthése, AFTES (ed.), Octobre 2001, Paris (in French).

EFNARC, 2005. Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling (TBM) in Soft Ground and Hard Rock. www.efnarc.org

Merritt A., Mair R.J., 2006. Mechanics of tunnelling machine screw conveyor: model tests. Geotechnique 56 (9), 605–615.

Vinai R., Oggeri A., Peila D. 2008. Soil conditioning of sand for EPB applications: A laboratory research. Tunnelling and Underground Space Technology 23 (2008) 308–317.

UNI EN 12350-2, 2001. Prova di abbassamento al cono.