



TABELLA DEI MATERIALI		additivi	disperdente/antiflocculante con funzione fluidificante e stabilizzante; eventuali additivi potranno essere usati come complemento al primo, qualora necessari per conferire alla miscela i requisiti di progetto;
Tubi a manchettes			
materiale	PVC;		
diametro nominale	≥ 1" 1/8;		
spessore	≥ 5 mm;		
tipo di valvole a manchettes	esterne al tubo, con coppia di anelli di ritegno;		
interasse valvole a manchettes	50 cm.		
Miscela di guaina		rapporto Cemento/Acqua	0.33 + 0.67 (A/C = 3.0 + 1.5);
cemento	qualsiasi CEM che soddisfa la UNI EN 197-1;	rapporto Bentonite/Acqua	3 + 6%;
bentonite	limite liquido 300-400 e adeguata alla miscelazione con cemento;	rapporto Additivo/Acqua	0.3 + 0.6%;
rapporto Cemento/Acqua	0.4 + 0.5 (A/C = 2.5 + 2.0);	densità	teorica + 2% / -1%;
rapporto Bentonite/Acqua	4 + 5%;	viscosità Marsh	38 s;
densità	teorica + 2% / -1%;	resa volumetrica	≥ 99%;
viscosità Marsh	≥ 40 s;	resistenza a compressione 28gg	≥ 0.8 MPa.
resa volumetrica	≥ 99%;	Le composizioni delle miscele a base cementizia sono da intendersi indicative e dovranno essere meglio definite dall'Appaltatore mediante specifici campi prova.	
Miscela di iniezione a base cementizia ad elevata penetrabilità		Miscela di iniezione integrativa a base silicatica	
cemento	CEM I, classe 52.5 (ad elevata finezza di macinazione);	tipo di miscela	composta da liquore di silice, reagente sodico alcalino e reagente inorganico minerale a base di calcio; essa, nella reazione tra i componenti, deve produrre idroclorici di calcio aventi struttura cristallina, stabile nel tempo, analoga a quella che si ottiene nella fase di idratazione e presa dei leganti idraulici;
bentonite	limite liquido 300-400 e adeguata alla miscelazione con cemento;	viscosità	≤ 10 cP (mPaxs);
		densità	≥ 1.30 kg/l;
		tempo di presa	45 + 90 min;
		resistenza a compressione	≥ 0.5 MPa.

Campo prova	Lunghezza Trattamento (m)	Lunghezza perforazione (m)
A	22.50	25.50
B	24.00	27.00
C	25.50	28.50
D	27.00	30.00

TABELLE RIEPILOGATIVE DEI CONTROLLI

PROVE PRELIMINARI ANTE ESECUZIONE TRATTAMENTO DI INIEZIONI							
PROVE IN SITO			PROVE IN LABORATORIO				
Descrizione	U.M.	Quantità	Note	Descrizione	U.M.	Quantità	Note
Perforazioni carotate (verticali)	n°	2	L = 3 m più profondo della base del trattamento	Analisi granulometrica mediante vagliatura e per sedimentazione (per la parte fine)	n°	3	
Prove SPT	frequenza	1 ogni 3m	per tutta l'altezza	Determinazione del contenuto naturale d'acqua (media di 3 o più misure)	n°	2	
Prove Lefranc	frequenza	1 ogni 1,5 m	alle profondità del trattamento di prova più 2 m sopra e 2 m sotto	Determinazione del peso di volume mediante fustella tarata (media di 3 o più misure)	n°	2	
Selezione campioni per laboratorio	frequenza	1 ogni 1,5 m	alle profondità del trattamento di prova più 2 m sopra e 2 m sotto	Determinazione limite di liquidità	n°	1	solo se si dovessero campionare terreni coesivi
Installazione tubo inclinometrico	n°	2	L = 3 m più profondo della base del trattamento	Determinazione limite di plasticità	n°	1	solo se si dovessero campionare terreni coesivi
Misure inclinometriche	n°	2		Determinazione limite di ritiro	n°	1	solo se si dovessero campionare terreni coesivi
Cross-hole tomografico	n° sez.	1		Determinazione del coefficiente di permeabilità mediante permeometro, a carico costante	n°	1	solo se si dovessero campionare terreni coesivi
Prospezione geosismica attiva di superficie del tipo MASW, tramite stendimento con 24 geofoni	n° stendim.	1		Prova di compressione semplice ad espansione laterale libera con rilievo della curva sforzi-deformazioni	n°	3	solo se si dovessero campionare terreni coesivi
				Prova di compressione triassiale	n°	1	solo se si dovessero campionare terreni coesivi

PROVE DI CONTROLLO FINALI POST ESECUZIONE TRATTAMENTO DI INIEZIONI							
PROVE IN SITO			PROVE IN LABORATORIO				
Descrizione	U.M.	Quantità	Note	Descrizione	U.M.	Quantità	Note
Analisi a posteriori dei parametri di iniezione	-	SI		Analisi granulometrica mediante vagliatura e per sedimentazione (per la parte fine)	n°	8	
Perforazioni carotate (verticali)	n°	2	L = 3 m più profondo della base del trattamento	Determinazione del contenuto naturale d'acqua (media di 3 o più misure)	n°	8	
Prove SPT	frequenza	1 ogni 3m	per tutta l'altezza	Determinazione del peso di volume mediante fustella tarata (media di 3 o più misure)	n°	8	
Prove Lefranc	frequenza	1 ogni 1,5 m	alle profondità del trattamento di prova	Determinazione del contenuto di cemento mediante analisi chimica	n°	8	
Selezione campioni per laboratorio	frequenza	1 ogni 1,5 m	alle profondità del trattamento di prova				
Installazione tubo inclinometrico	n°	2	L = 3 m più profondo della base del trattamento				
Misure inclinometriche	n°	2					
Cross-hole tomografico	n° sez.	6					
Prospezione geosismica attiva di superficie del tipo MASW, tramite stendimento con 24 geofoni	n° stendim.	1					

NOTE RELATIVE AD ASPETTI GENERALI

I campi prova iniezioni in verticale dalla superficie dovranno essere sviluppati in conformità con le specifiche tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto - Parte B - Sezione 9: Consolidamenti.

I campi prova di questo tipo dovranno essere almeno 4 e andranno ubicati in aree interessate dalla stessa tipologia di terreni entro cui si dovranno eseguire gli interventi di progetto.

L'ubicazione dei campi prova dovrà essere individuata dall'Appaltatore all'interno delle aree di cantiere e approvata dalla D.L. Le aree selezionate dovranno essere sottoposte a bonifica bellica, liberate da reti di sottoservizi eventualmente interferenti e bonificate da eventuali sostanze contaminanti.

La progettazione costruttiva dei campi prova è a carico dell'Appaltatore che la sottoporrà all'approvazione della D.L.

L'Appaltatore eseguirà inoltre, a proprie spese, una campagna di qualificazione dei prodotti impiegati e delle miscele ottenute, i cui risultati, se accettati dalla D.L., avranno valore di riferimento per i successivi controlli.

Sarà cura dell'Appaltatore selezionare ed utilizzare attrezzature e modalità esecutive degli interventi di consolidamento adeguate alle condizioni ambientali, morfologiche, strutturali e idrogeologiche dei terreni da consolidare. La scelta delle attrezzature e delle modalità esecutive dovrà essere sottoposta per approvazione alla D.L., che ne verificherà l'adeguatezza con il Progetto, il Programma dei Lavori e le Specifiche Tecniche.

Per i parametri minimi prestazionali del trattamento si dovrà fare riferimento ai seguenti valori:

- angolo di resistenza al taglio $\phi \geq 36^\circ$
- coesione drenata $c' \geq 150$ kPa
- modulo elastico $E \geq 450$ MPa.

Per i trattamenti sotto falda, dovrà anche essere garantita una riduzione della permeabilità tale da ottenere $K \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s.

OBBIETTIVO E STRATEGIA DEL CAMPO PROVA

I campi prova per le iniezioni in verticale dalla superficie ha come obiettivo principale la messa a punto delle modalità operative più appropriate per le iniezioni, la scelta dei parametri operativi e la verifica dell'efficacia del trattamento.

Il progetto di campo prove è basato sulla seguente strategia:

- le perforazioni per l'installazione dei TAM saranno realizzate in verticale;
- la maglia di TAM sarà quella prevista in progetto per i previsti trattamenti a calotta e a cortina propedeutici al passaggio della TBM;
- il trattamento di iniezioni sarà realizzato ad una profondità simile a quelle previste per i trattamenti di progetto;
- i risultati ottenuti saranno verificati mediante analisi a posteriori dei parametri di iniezione, carotaggi all'interno della zona trattata e prove in situ e in laboratorio.

PRESCRIZIONI PER L'ESECUZIONE DELLE PERFORAZIONI

Tutte le perforazioni previste per i campi prova saranno eseguite operando da un piano di lavoro posto in superficie. Esse saranno eseguite con metodo convenzionale, saranno tutte rettilinee e ad andamento verticale.

Le perforazioni dovranno essere eseguite con gli utensili più appropriati alle caratteristiche dei terreni da attraversare (si dovrà considerare anche la probabile diffusa presenza di "puddinga").

Man mano che la perforazione avanza, si procederà a considerare costantemente all'installazione del rivestimento provvisorio.

PRESCRIZIONI PER L'INSTALLAZIONE DEI TAM

Completata la perforazione, saranno estratte le aste di perforazione.

Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno del rivestimento e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia.

Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rimboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

PRESCRIZIONI PER L'ESECUZIONE DELLE INIEZIONI

Le iniezioni dovranno essere realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio packer da posizionare su ciascuna valvola a manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive.

I TAM dovranno essere iniettati in sequenza, prima con la miscela cementizia ad elevata penetrabilità e poi con la miscela integrativa a base silicatica.

Il criterio da adottare per la gestione dell'iniezione di ciascuna valvola dovrà essere "a volume massimo predeterminato, con pressione di rifiuto e soglia di pressione minima da raggiungere". Tali parametri dovranno essere definiti preliminarmente dall'Appaltatore.

Il criterio di gestione dell'iniezione che dovrà essere adottato sarà il seguente:

- l'iniezione cementizia di ciascuna valvola dovrà essere arrestata quando si raggiunge il primo in ordine cronologico tra il volume massimo e la pressione di rifiuto;
- se l'arresto avviene per raggiungimento della pressione di rifiuto, l'iniezione della valvola con questa miscela sarà considerata completata;
- se l'arresto avviene per raggiungimento del volume massimo, l'iniezione della valvola con questa miscela sarà considerata completata solo se è stata raggiunta la soglia minima di pressione;
- viceversa, la valvola dovrà essere ripresa con una passata successiva della stessa miscela, dopo almeno 24 ore;
- una volta completata l'iniezione cementizia di tutte le valvole del TAM, si procederà all'iniezione della miscela integrativa, adottando lo stesso criterio già descritto per l'iniezione cementizia, ma, in linea generale, con diversi valori dei parametri di iniezione;
- anche in questo caso, quando l'iniezione si arresta per raggiungimento del volume massimo senza che sia stata raggiunta la soglia minima di pressione prestabilita, la valvola dovrà essere ripresa con una passata successiva della stessa miscela, dopo almeno 24 ore.

Per il monitoraggio del processo, l'impianto di iniezione dovrà essere predisposto ed attrezzato per la misura, l'acquisizione e la registrazione automatica e sistematica dei parametri d'iniezione utilizzando un sistema di cui l'Appaltatore dovrà sottoporre alla DL, per approvazione, la necessaria documentazione tecnica prima dell'avvio delle lavorazioni.

Dovranno essere registrati, per ciascuna valvola e per ciascuna passata di iniezione, come minimo i seguenti parametri:

- profondità della valvola;
- pressione istantanea di iniezione della miscela;
- portata istantanea di iniezione della miscela;
- volume cumulativo della miscela iniettata;
- pressione finale ottenuta
- durata dell'iniezione della valvola.

Il sistema dovrà inoltre essere in grado di controllare e gestire il processo di iniezione, provvedendo all'arresto dell'iniezione al raggiungimento dei parametri stabiliti dal progetto (volume massimo e pressione di rifiuto).

I dati acquisiti dovranno essere riportati in schede analitiche e grafici che ne consentano un'agevole interpretazione. Alla DL verranno forniti giornalmente sia le restituzioni cartacee sia i supporti informatici dei dati acquisiti.

L'Appaltatore, almeno 15 giorni prima dell'inizio del campo prove, dovrà sottoporre alla Direzione Lavori una Procedura Esecutiva di dettaglio che contenga come minimo le seguenti informazioni:

- esatta ubicazione del campo prove nell'ambito dell'area di cantiere;
- pianta di dettaglio con la numerazione dei TAM e dei fori di controllo e la sequenza esecutiva che si intende adottare;
- attrezzature e modalità esecutive impiegate per la perforazione (tipo di perforatore, tipo di utensile, diametro delle aste, diametro dell'utensile, tipo di fluido di perforazione, tipo di strumentazione per la guida delle perforazioni, ecc...);
- composizione e caratteristiche delle miscele di iniezione;
- attrezzature e modalità esecutive impiegate per l'iniezione (tipo di iniettori, diametro e corsa dei pistoni, cilindrata idraulica, diametro delle tubazioni, ecc...);
- parametri esecutivi prescritti per l'iniezione (portata, volume massimo per passata, pressione massima, pressione minima, ecc...);
- il piano di controllo qualità in fase esecutiva;
- eventuali ulteriori informazioni utili.

PROVE PRELIMINARI ANTE ESECUZIONE TRATTAMENTO DI INIEZIONI

Le prove preliminari antecedenti l'esecuzione delle colonne di prova consistono in:

- n. 2 perforazioni a carotaggio continuo di lunghezza tale da oltrepassare di 3 m la prevista base del trattamento di prova;
- prove penetrometriche SPT ogni 3 m;
- prove di permeabilità Lefranc ogni 1.5 m, alle profondità del trattamento di prova più 2 m sopra e 2 m sotto;
- selezione campioni per prove di caratterizzazione in laboratorio, ogni 1.5 m, alle profondità del trattamento di prova più 2 m sopra e 2 m sotto;
- installazione di tubo inclinometrico in ambedue le perforazioni carotate;
- su ambedue i tubi inclinometrici installati sarà eseguita la misura di deviazione dall'asse teorico della perforazione mediante sonda inclinometrica, al fine di conoscere con precisione l'interdistanza tra i tubi a ogni profondità;
- prova cross-hole tomografico "ante trattamento" nel terreno naturale, che sarà utilizzata come riferimento "zero" per la valutazione dei risultati delle prove cross-hole tomografiche "post trattamento";
- prospezione geosismica attiva di superficie del tipo MASW, tramite stendimento con 24 geofoni, che sarà utilizzata come riferimento "zero" per la valutazione dei risultati della prova MASW "post trattamento";
- prove di laboratorio per la caratterizzazione del terreno naturale presente in sito.

PROVE DI CONTROLLO FINALI POST ESECUZIONE TRATTAMENTO DI INIEZIONI

Le prove di controllo finali sul trattamento consistono in:

- analisi a posteriori dei parametri di iniezione registrati durante il processo di iniezione;
- n. 2 perforazioni di controllo, a carotaggio continuo nella zona del trattamento, di lunghezza tale da oltrepassare di 3 m la base del trattamento di prova eseguito;
- prove penetrometriche SPT ogni 3 m;
- prove di permeabilità Lefranc ogni 1.5 m alle profondità del trattamento di prova;
- selezione campioni per prove di laboratorio, ogni 1.5 m, alle profondità del trattamento di prova;
- installazione di tubo inclinometrico in ambedue le perforazioni carotate;
- su ambedue i tubi inclinometrici installati sarà eseguita la misura di deviazione dall'asse teorico della perforazione mediante sonda inclinometrica, al fine di conoscere con precisione l'interdistanza a ogni profondità tra tutti i 4 tubi inclinometrici installati (2 ante e 2 post trattamento);
- prova di cross-hole tomografico "post trattamento" nel terreno consolidato attraverso le 6 sezioni disponibili tra i 4 tubi installati; i risultati ottenuti saranno da mettere in relazione con i risultati ricavati nel terreno naturale nel corso delle prove "ante trattamento";
- prospezione geosismica attiva di superficie del tipo MASW, tramite stendimento con 24 geofoni, i cui risultati saranno da mettere in relazione con i risultati ricavati nel terreno naturale nel corso delle prove "ante trattamento";
- prove di laboratorio per la caratterizzazione del terreno consolidato.

Per quanto concerne i carotaggi si specifica che:

- il carotiere da utilizzare dovrà essere del tipo "doppio", T6S, con diametro ≥ 130 mm;
- su tutti i fori carotati si dovranno eseguire le misure di deviazione dall'asse teorico mediante sistema affidabile e certificato;
- Al termine del campo prove l'Appaltatore dovrà produrre la relazione finale riportante la descrizione dettagliata di tutte le attività di sperimentazione svolte e i risultati ottenuti dai controlli in corso d'opera e finali sul trattamento eseguito.



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE

Mims
COMUNE DI TORINO
CITTA' DI TORINO

METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 2 - TRATTA POLITECNICO - REBAUDENGO
PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Lotto Generale: Politecnico - Rebaudengo

PROGETTO DEFINITIVO		INFRA.TO INFRASTRUTTURE PER LA MOBILITÀ		INFRASTRUTTURE S.p.A.		
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA	SUBSIDENZE, PRESIDIO E MONITORAGGI				
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S		Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 933K		INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI		
				TIPOLOGICO CAMPO PROVE INIEZIONI DALLA SUPERFICIE		
ELABORATO		REV. 0	0	SCALA	DATA	
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MTL2T1A0DPRCGENT 004		VARIE	04/10/2023	
AGGIORNAMENTI Fig. 1 di 1						
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.	VISTO
0	PRIMA EMISSIONE	23/12/22	Vm	Pdm	FBI	RCr
1	EMMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	04/10/23	Vm	Pdm	FBI	RCr
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

STAZIONE APPALTANTE
DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ
Ing. R. Bertasio
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. A. Strozziro