

**NOTE RELATIVE AD ASPETTI GENERALI**

Il campo prova T.O.C. e iniezioni dovrà essere sviluppato in conformità con le specifiche tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto - Parte B - Sezione 9: Consolidamenti.

Si dovrà realizzare almeno un campo prove di questo tipo, che andrà ubicato in un'area interessata dalla stessa tipologia di terreni entro cui si dovranno eseguire gli interventi di progetto.

L'ubicazione del campo prova dovrà essere individuata dall'Appaltatore all'interno delle aree di cantiere e approvata dalla D.L. L'area selezionata dovrà essere sottoposta a bonifica bellica, liberata da neli di sottoservizi eventualmente interferenti e bonificata da eventuali sostanze contaminanti.

La progettazione costruttiva del campo 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, stratigrafiche 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'idoneità 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  $c \geq 150 \text{ kPa}$
- modulo elastico  $E \geq 450 \text{ MPa}$ .

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

**OBBIETTIVO E STRATEGIA DEL CAMPO PROVA**

Il campo prova per le perforazioni T.O.C. e per le iniezioni ha come obiettivo principale la messa a punto delle modalità operative più appropriate per la realizzazione delle perforazioni teleguidate, la scelta dei parametri operativi delle iniezioni e la verifica dell'efficacia del trattamento.

Il progetto di campo prove è basato sulla seguente strategia:

- le perforazioni teleguidate per l'installazione dei TAM saranno realizzate con una geometria simile a quella prevista in progetto;
- la maglia di TAM sarà quella prevista in progetto per i trattamenti all'esterno della calotta della costruenda galleria;
- 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.

**PRESCRIZIONI PER L'ESECUZIONE DELLE PERFORAZIONI**

Le perforazioni pilota del campo prova per l'installazione dei TAM sono previste ad andamento parzialmente curvilineo; esse dovranno essere teleguidate, mediante tecnica T.O.C. (Trivellazione Orizzontale Controllata).

Le attrezzature impiegate per le perforazioni teleguidate (T.O.C.) dovranno essere equipaggiate con la strumentazione necessaria ad individuare in tempo reale la effettiva posizione dell'utensile di perforazione e per conoscere il trattamento da esso percorso. I parametri misurati saranno registrati, restituiti su supporto cartaceo e informatico e consegnati giornalmente alla D.L.

Le perforazioni dovranno essere "floguidate", con l'assistenza di un ingegnere di guida e di un sistema di guida di tipo magnetico MGS di ultima generazione, fino alla massima profondità di progetto. Il campo magnetico di riferimento potrà essere generato o tramite stendimenti in superficie o mediante appositi fori sacrificali realizzati con metodologia convenzionale e monitorati in termini di traiettoria reale. Il metodo più appropriato per la realizzazione del campo magnetico di riferimento dovrà essere individuato, progettato e messo a punto dall'Appaltatore.

La sonda di misura, che tramite filo in via i dati necessari all'ingegnere di guida, verrà alloggiata all'interno delle aste di perforazione amagnetiche, che appositamente private del magnetismo, allontanano per quanto possibile le interferenze di natura magnetica, proprie dei materiali metallici di cui sono composte le aste di perforazione.

Le perforazioni pilota dovranno essere eseguite con gli utensili più appropriati alle caratteristiche dei terreni da attraversare (si dovrà considerare anche la probabile diffusa presenza di "pudlinga"); la guida dovrà essere assicurata mediante punta asimmetrica, o asta a gomito e appropriato utensile di perforazione a rotazione o roto-percussione, o motore a fango (mud motor).

Man mano che il foro pilota avvanzerà, si procederà contestualmente all'installazione del rivestimento provvisorio, con tubi camicia o wash pipe, guidati dalle aste di perforazione; il diametro interno dovrà essere tale da consentire correttamente, e senza incastri, la manovra di estrazione della batteria di perforazione del foro pilota.

Le perforazioni dei tratti curvilinei nel piano verticale dovranno avere un raggio di curvatura verticale  $R_v \geq 120 \text{ m}$ . Qualora vi fosse simultaneamente una curvatura nel piano orizzontale, il raggio combinato  $R_c$  dovrà essere  $\geq 105 \text{ m}$ .

**PRESCRIZIONI PER L'INSTALLAZIONE DEI TAM**

Completata la perforazione del foro pilota, il rivestimento provvisorio sarà spinto fino alla massima profondità raggiunta.

A seguire, dovranno essere estratte le aste di perforazione interne al rivestimento provvisorio.

Dopodiché si procederà all'installazione dei TAM all'interno del rivestimento provvisorio 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 tubi a manchettes sono previsti posizionati sui vertici di un triangolo, in accordo con la maglia di progetto. I TAM dovranno essere iniettati in sequenza, prima con la miscela cementizia ad elevata penetribilità 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:

- iniezione cementizia di ciascuna valvola dovrà essere arrestata quando si raggiunga 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 completa;
- 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;

vicversa, 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 montaggio del processo, l'impianto di iniezione dovrà essere predisposto ed attrezzato per la misura, l'acquisizione e la registrazione automatica e sistemistica dei parametri d'iniezione, utilizzando un sistema di cui l'Appaltatore dovrà sottoporre alla D.L., 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 D.L. verranno forniti giornalmente sia le restituzioni cartacee sia i supporti informatici dei dati acquisiti.

L'Appaltatore, almeno 15 giorni prima dell'inizio del campo prova, 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 prescelti per l'iniezione (portata, volume massimo per passata, pressione massima, pressione minima, ecc...);
- il piano di controllo qualità in fase esecutiva;
- il piano di controllo qualità post trattamento;
- eventuali ulteriori informazioni utili.

**PROVE PRELIMINARI ANTE ESECUZIONE TRATTAMENTO DI INIEZIONI**

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

- n. 2 perforazioni a carotaggio continuo di lunghezza tale da oltrepassare di 3 m la base del trattamento;
- 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 consistiranno in:

- analisi a posteriori dei parametri di iniezione registrati durante il processo di iniezione;
- n.2 perforazioni di controllo, a carotaggio nella zona del trattamento;
- 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 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 di cross-hole tomografico "post trattamento" nel terreno consolidato, i cui risultati 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 carotere da utilizzare dovrà essere del tipo "doppio", T6S, con diametro  $\geq 130 \text{ mm}$ ;
- 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.

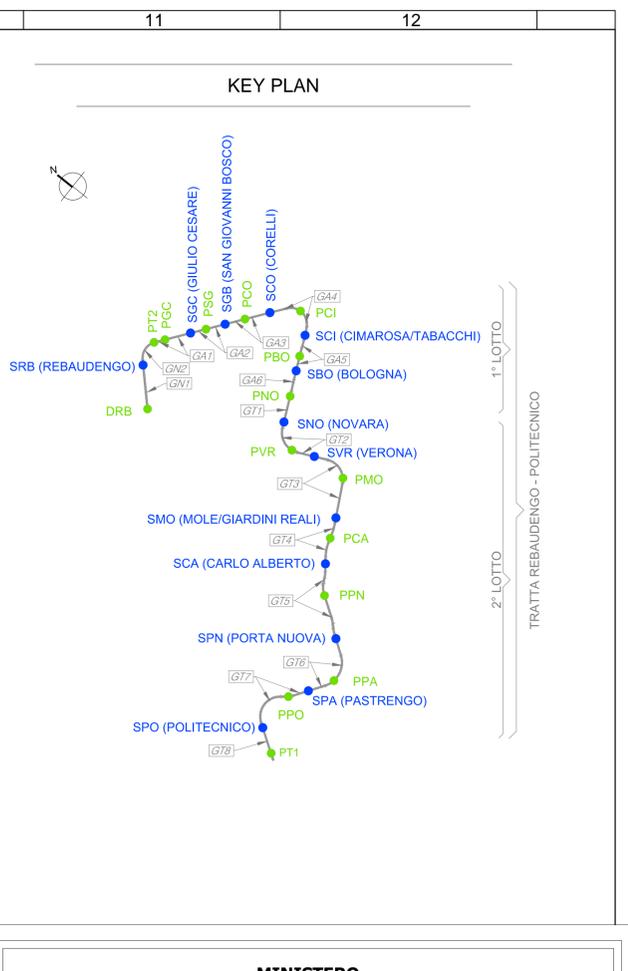


TABELLA RIEPILOGATIVA DEI CONTROLLI

PROVE PRELIMINARI ANTE ESECUZIONE TRATTAMENTO DI INIEZIONI				PROVE IN LABORATORIO			
Descrizione	U.M.	Quantità	Note	Descrizione	U.M.	Quantità	Note
Perforazione carotata (verticale)	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 3 m	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 permeametro, 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°	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 LABORATORIO			
Descrizione	U.M.	Quantità	Note	Descrizione	U.M.	Quantità	Note
Analisi a posteriori dei parametri di iniezione	-	51		Analisi granulometrica mediante vagliatura e per sedimentazione (per la parte fine)	n°	4	
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°	4	
Prove SPT	frequenza	1 ogni 3 m	per tutta l'altezza	Determinazione del peso di volume mediante fustella tarata (media di 3 o più misure)	n°	4	
Prove Lefranc	frequenza	1 ogni 1,5 m	alle profondità del trattamento di prova più 2 m sopra e 2 m sotto	Determinazione del contenuto di cemento mediante analisi chimica	n°	4	
Selezione campioni per laboratorio	frequenza	1 ogni 1,5 m	alle profondità del trattamento di prova più 2 m sopra e 2 m sotto				
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°	1					

**TABELLA DEI MATERIALI**

**Tubi a manchettes**  
materiale PVC;  
diametro nominale  $\geq 2"$ ;  
spessore  $\geq 12,5 \text{ mm}$  o, comunque, tale da sopportare gli sforzi che si generano durante tutte le fasi del processo, dato l'andamento parzialmente curvilineo e l'eccezionalità della loro lunghezza; esterno al tubo, con coppia di anelli di ritengo;

tipo di valvole a manchettes interasse valvole a manchettes 50 cm.

**Miscela di guaina**  
cemento qualsiasi CEM che soddisfa la UNI EN 197-1;  
bentonite limite liquido 300-400 e adeguata alla miscelazione con cemento;  
rapporto Cemento/Acqua  $0,4 + 0,5 \text{ (A/C} = 2,5 + 2,0)$ ;  
densità teorica  $+ 2\% / -1\%$ ;  
viscosità Marsh  $\geq 40 \text{ s}$ ;  
resa volumetrica  $\geq 99\%$ ;

**Miscela di iniezione a base cementizia ad elevata penetribilità**  
cemento CEM I, classe 52,5 (ad elevata finezza di macinazione);  
bentonite limite liquido 300-400 e adeguata alla miscelazione con cemento;  
additivi disperdente/antifloculante con funzione fluidificante e stabilizzante; eventuali ulteriori additivi potranno essere usati come complemento al primo, qualora necessari per conferire alla miscela i requisiti di progetto;

rapporto Cemento/Acqua  $0,33 + 0,67 \text{ (A/C} = 3,0 + 1,5)$ ;  
rapporto Bentonite/Acqua  $3 + 6\%$ ;  
rapporto Additivo/Acqua  $0,3 - 0,6\%$ ;  
densità teorica  $+ 2\% / -1\%$ ;  
viscosità Marsh  $38 \text{ s}$ ;  
resa volumetrica  $\geq 99\%$ ;

resistenza a compressione  $28\text{gg} \geq 0,8 \text{ MPa}$ .

Le composizioni delle miscele a base cementizia sono da intendersi indicative e dovranno essere meglio definite dall'Appaltatore medianti specifici campi prova.

**Miscela di iniezione integrativa a base silicatica**  
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 idrossilicati di calcio aventi struttura cristallina, stabile nel tempo, analoga a quella che si ottiene nella fase di idratazione e presa dei leganti idraulici;  
viscosità  $\leq 10 \text{ cP (mPaxx)}$ ;  
densità  $\geq 1,30 \text{ kg/l}$ ;  
tempo di presa  $45 + 90 \text{ min}$ ;  
resistenza a compressione  $\geq 0,5 \text{ MPa}$ .

**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**

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	<b>INFRA.TO</b> Infrastrutture per la mobilità	<b>INFRATRASPORTI.TO S.r.l.</b>
<b>DIRETTORE PROGETTAZIONE</b> Responsabile integrazione discipline specialistiche	<b>IL PROGETTISTA</b>	
<b>Ing. R. Crova</b> Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S	<b>Ing. F. Rizzo</b> Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 933K	
<b>ELABORATO</b>	<b>REV. ind. aut.</b>	<b>SCALA</b>
<b>BIM MANAGER</b> Geom. L. D'Accardi	<b>0 1</b>	<b>VARIE</b>
<b>MTL2T1A0DPRCGENT 003</b>	<b>DATA</b>	<b>04/10/2023</b>
<b>AGGIORNAMENTI</b>		
<b>REV.</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>DATA</b> <b>REDATTO</b> <b>CONTROL.</b> <b>APPROV.</b> <b>VISTO</b>
0	PRIMA EMISSIONE	23/12/22 VMa Pdm FRI RCr
1	EMMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	04/10/23 VMa Pdm FRI RCr
-	-	- - - -
-	-	- - - -
-	-	- - - -

Fig. 1 di 1

**STAZIONE APPALTANTE**

DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ  
**Ing. R. Bertasio**

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
**Ing. A. Strozzi**