

**MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**



COMUNE DI TORINO



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 2 – TRATTA POLITECNICO – REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Lotto Generale: Politecnico - Rebaudengo**

PROGETTO DEFINITIVO		 INFRA.TO <i>infrastrutture per la mobilità</i>										INFRATRASPORTI S.r.l.										
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA																					
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 60385	Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K	SUBSIDENZE, PRESIDIO E MONITORAGGI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DEL TERRENO SPECIFICHE PER L'ESECUZIONE DI CAMPI PROVA E COLLAUDI DEGLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DEL TERRENO																				
ELABORATO										REV.		SCALA	DATA									
										Int.	Est.											
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi										MT	L2	T1	A0	D	PRC	GEN	R	001	0	1	-	04/10/2023

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	27/03/23	VMa	PDm	FRi	RCr
1	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	04/10/23	VMa	PDm	FRi	RCr
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 2</td> <td>CARTELLA</td> <td>10</td> <td>5</td> <td>MTL2T1A0D</td> <td>PRCGENR001</td> </tr> </table>						LOTTO 2	CARTELLA	10	5	MTL2T1A0D	PRCGENR001	<p align="center">STAZIONE APPALTANTE</p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro</p>					
LOTTO 2	CARTELLA	10	5	MTL2T1A0D	PRCGENR001												

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

INDICE

1.	OGGETTO E PREMESSA	4
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	ELABORATI PRODOTTI NELL'AMBITO DEL PROGETTO DEFINITIVO PER I CAMPI PROVA DI CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI	5
2.2	NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO	5
3.	CAMPI PROVA	6
3.1	ASPETTI GENERALI	6
3.2	CAMPI PROVA JET GROUTING	7
3.2.1	<i>OGGETTIVO E STRATEGIA DEI CAMPI PROVA JET GROUTING</i>	8
3.2.2	<i>MATERIALI</i>	8
3.2.2.1	Cemento	8
3.2.2.2	Acqua	9
3.2.2.3	Miscela cementizia	9
3.2.3	<i>PRESCRIZIONI PER L'ESECUZIONE DELLE COLONNE DI PROVA</i>	10
3.2.4	<i>PROVE PRELIMINARI ANTE ESECUZIONE COLONNE DI PROVA</i>	12
3.2.5	<i>PROVE DI CONTROLLO FINALI POST ESECUZIONE COLONNE DI PROVA</i>	13
3.3	CAMPI PROVA PER LE INIEZIONI DI PERMEAZIONE	14
3.3.1	<i>OGGETTIVI E STRATEGIA DEI CAMPI PROVA INIEZIONI</i>	15
3.3.2	<i>MATERIALI</i>	16
3.3.2.1	Tubi a manchettes	16
3.3.2.2	Acqua	16
3.3.2.3	Cemento	17
3.3.2.4	Bentonite	17
3.3.2.5	Additivo disperdente	17
3.3.2.6	Miscela cementizia di guaina	18
3.3.2.7	Miscela cementizia di iniezione ad elevata penetrabilità	18
3.3.2.8	Miscela di iniezione integrativa a base silicatica	19
3.3.3	<i>PRESCRIZIONI PER L'ESECUZIONE DELLE PERFORAZIONI CONVENZIONALI</i>	19
3.3.4	<i>PRESCRIZIONI PER L'ESECUZIONE DELLE PERFORAZIONI TELEGUIDATE</i>	19
3.3.5	<i>PRESCRIZIONI PER L'INSTALLAZIONE DEI TAM</i>	20
3.3.6	<i>PRESCRIZIONI PER L'ESECUZIONE DELLE INIEZIONI DI PERMEAZIONE</i>	21
3.3.7	<i>PROVE PRELIMINARI ANTE ESECUZIONE TRATTAMENTO DI INIEZIONI</i>	23

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

<i>3.3.8</i>	<i>PROVE DI CONTROLLO FINALI POST ESECUZIONE TRATTAMENTO DI INIEZIONI</i>	24
4.	COLLAUDI	26
4.1	JET GROUTING	26
<i>4.1.1</i>	<i>CONTROLLI FINALI</i>	26
<i>4.1.2</i>	<i>DOCUMENTAZIONE FINALE</i>	27
4.2	INIEZIONI DI PERMEAZIONE	28
<i>4.2.1</i>	<i>CONTROLLI FINALI</i>	28
<i>4.2.2</i>	<i>DOCUMENTAZIONE FINALE</i>	30

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

1. OGGETTO E PREMESSA

Nella tratta Politecnico-Rebaudengo della Linea 2 della Metropolitana di Torino è prevista la realizzazione una serie di interventi di consolidamento del terreno propedeutici allo scavo delle gallerie e dei cunicoli di servizio, per garantire il miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni al contorno delle costruende gallerie, al fine di mitigare il rischio di cedimento sugli edifici sotto-attraversati nell'ambito della realizzazione dell'opera nel 2° Lotto Funzionale. È inoltre prevista la realizzazione di una serie di interventi di consolidamento del terreno per tappi di fondo di scavi a cielo aperto tra diaframmi, tamponi IN/OUT TBM all'esterno dei diaframmi di testata delle stazioni e blocchi consolidati per il collegamento tra pozzi di ventilazione e galleria di linea.

Tali trattamenti di consolidamento hanno l'obiettivo di garantire le geometrie di terreno trattato indicate nelle tavole grafiche di progetto e migliorare le caratteristiche fisiche e meccaniche del terreno naturale in ottemperanza ai seguenti parametri minimi prestazionali:

- Angolo di resistenza al taglio $\geq 36^\circ$
- Coesione drenata c' (KPa) ≥ 150 kPa
- Modulo elastico E (MPa) ≥ 450 MPa

Per i trattamenti sotto falda con l'obiettivo di riduzione della permeabilità, dovrà anche essere garantita l'ottenimento di un $K \leq 1 \times 10^{-6}$ m/s.

La presente Specifica Tecnica ha come oggetto i campi prova preliminari, relativi alle tecnologie previste in progetto per la realizzazione dei consolidamenti, ed i collaudi degli interventi eseguiti. Le tecnologie previste in progetto per gli interventi di consolidamento sono le iniezioni di permeazione attraverso *tubi à manchettes* e il jet grouting. In ambedue i casi sono previsti interventi in subverticale o inclinato dalla superficie e in suborizzontale o inclinato da sottterraneo. Nel caso delle iniezioni di permeazione, gli interventi in suborizzontale da sottterraneo sono generalmente realizzati mediante *tubi à manchettes*, installati all'interno di perforazioni teleguidate mediante tecnologia T.O.C. (Trivellazione Orizzontale Controllata).

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Elaborati prodotti nell'ambito del Progetto Definitivo per i campi prova di consolidamento dei terreni

- [1] MTL2T1A0DPRCGENT002: Tipologico campo prove jet grouting.
- [2] MTL2T1A0DPRCGENT003: Tipologico campo prove T.O.C. e iniezioni.
- [3] MTL2T1A0DPRCGENT004: Tipologico campo prove iniezioni dalla superficie.

2.2 Normative e raccomandazioni di riferimento

- [A] D.M. 17.01.2018 (NTC 2018): Norme tecniche per le costruzioni.
- [B] Circolare 21/01/2019 n.7: Istruzione per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni
- [C] UNI EN 1997-1:2005: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali"
- [D] UNI-EN 197/1:2011: Cemento, composizione, specificazioni e criteri di conformità – Cementi comuni.
- [E] UNI EN 12715:2021 Esecuzione di lavori geotecnici speciali: Iniezioni.
- [F] UNI EN 12716:2019 Esecuzione di lavori geotecnici speciali: Jet grouting.
- [G] ISO 10414.1:2008 Field testing of drilling fluids - Part 1: Water-based fluids.
- [H] AGI 2012 Jet grouting – Raccomandazioni

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

3. CAMPI PROVA

3.1 Aspetti generali

In linea generale, i campi prova consistono nel simulare la fase esecutiva realizzando un numero ridotto di trattamenti in vera grandezza e verificandone gli effetti. Essi costituiscono un delicato e fondamentale momento di passaggio tra progetto ed esecuzione degli interventi, in quanto hanno l'obiettivo di sciogliere le incertezze che contraddistinguono la prima fase, impedendo che si ripercuotano negativamente sulla seconda. La significatività dei risultati dipende fortemente dalla similitudine delle condizioni geotecniche, delle attrezzature impiegate e delle modalità operative adottate nei campi prova con quelle dell'intervento da realizzare.

In quest'ottica, l'Appaltatore ha l'obbligo di eseguire prove tecnologiche preliminari a propria cura, per verificare che le attrezzature e le modalità di esecuzione da lui proposte permettano il conseguimento dei fini progettuali preposti.

Per ciascuna tipologia di trattamento scelto, l'Appaltatore – preliminarmente all'utilizzo delle medesime – dovrà eseguire uno o più campi prova, finalizzati alla verifica ed ottimizzazione dei parametri e delle tipologie di intervento, la cui geometria definitiva e le modalità esecutive saranno fissate in funzione delle necessità progettuali.

Con tali campi prova saranno testate più tipologie di interventi facendo variare per ognuno un solo elemento fra interasse delle perforazioni, composizione miscele, volumi, portate, pressioni, ecc..

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 in corso d'opera.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

Sarà cura dell'Appaltatore selezionare ed utilizzare attrezzature e modalità esecutive degli interventi di consolidamento adeguate alle condizioni ambientali, morfologiche, stratigrafiche ed 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 presenti Specifiche Tecniche.

Lo scopo di ciascun campo prova sarà quello di:

- a) Acquisire la necessaria conoscenza delle caratteristiche dei terreni da consolidare su cui tarare le scelte tecnologiche, metodologiche e dei prodotti di iniezione da impiegare. Saranno pertanto approfondite le conoscenze geologiche ed accertate tutte le caratteristiche geotecniche ed idrologiche dei terreni interessati dal trattamento: stratigrafia, granulometria, porosità e densità relativa, permeabilità, proprietà mineralogiche e chimiche e proprietà meccaniche.
- b) Valutare l'eventuale influenza della falda, in termini di carico idraulico e velocità di filtrazione, per la definizione delle tarature tecnologiche e dei prodotti da impiegare.
- c) Verificare – per ciascuna fase esecutiva (preparazione delle miscele di consolidamento, perforazioni, consolidamento, monitoraggi) - l' idoneità delle attrezzature previste alle condizioni ambientali, morfologiche, stratigrafiche ed idrogeologiche dei terreni da consolidare.
- d) Ottimizzare la scelta delle metodologie e dei prodotti di iniezione idonei ai trattamenti in progetto e quindi che garantiscano il conseguimento dei fini progettuali preposti nei tempi programmati.
- e) Valutare ogni possibile opportunità di definizione del progetto di dettaglio dei trattamenti, in termini di miscele, maglie, pressioni, portate, volumi e criteri realizzativi.

3.2 Campi prova jet grouting

Nell'ambito del Progetto Definitivo, è prevista la realizzazione di consolidamenti con jet grouting per tappi di fondo di scavi a cielo aperto tra diaframmi, tamponi IN/OUT TBM all'esterno dei diaframmi di testata delle stazioni, blocchi consolidati per il collegamento tra pozzi di ventilazione e galleria di linea e gusci consolidati propedeutici allo scavo di cunicoli di servizio a carattere temporaneo.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

I campi prova jet grouting dovranno essere almeno 4, andranno ubicati in aree interessate dalla stessa tipologia di terreni entro cui si dovranno eseguire gli interventi di progetto e dovranno essere realizzati in conformità con il relativo elaborato grafico di progetto (documento [1]).

3.2.1 Obiettivo e strategia dei campi prova jet grouting

I campi prova jet grouting hanno come obiettivo principale la scelta dei parametri operativi del trattamento, adeguati per ottenere colonne continue ed omogenee, con il diametro nominale di progetto, tra loro adeguatamente compenstrate (quando richiesto) e con le caratteristiche fisico-meccaniche richieste dal progetto.

Il progetto dei campi prova è basato sulla seguente strategia:

- le colonne di prova saranno realizzate con una geometria identica a quella prevista in progetto; esse saranno disposte con la maglia di progetto su di una rosetta di 7 colonne, con quelle perimetrali disposte sui vertici di un esagono regolare e la settima nel centro geometrico dell'esagono;
- le colonne di prova saranno realizzate alle stesse profondità previste per i consolidamenti jet grouting in progetto;
- saranno sperimentati almeno due set di parametri operativi del trattamento per ciascun diametro provato, realizzando almeno 2 rosette di colonne di prova per ciascun campo sperimentale;
- i risultati ottenuti saranno verificati in termini di continuità, omogeneità, diametro e caratteristiche fisico-meccaniche, mediante carotaggi a tutta profondità, prove in situ e ispezione visiva in testa colonne (quanto significativa).

3.2.2 Materiali

3.2.2.1 Cemento

Il cemento impiegato per il confezionamento della miscela cementizia di jet-iniezione dovrà essere scelto in relazione alle esigenze di resistenza richiesta al consolidamento ed alle caratteristiche ambientali considerando, in particolare, l'aggressività dell'ambiente esterno. Il cemento impiegato dovrà comunque soddisfare i requisiti previsti nella norma UNI EN 197-1.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

3.2.2.2 *Acqua*

L'acqua da utilizzarsi per il confezionamento delle miscele cementizia e silicatica dovrà essere dolce, limpida, priva di impurità, esente da tracce di cloruri o di solfati, non inquinata da materie organiche, o comunque dannose ai fini della presa, dell'indurimento e della durabilità dei leganti utilizzati

Le caratteristiche chimico-fisiche devono soddisfare i requisiti specificati nelle norme vigenti e devono rientrare nei limiti indicati in tabella, accertati dall'Appaltatore, preliminarmente all'inizio dei lavori presso un laboratorio ufficiale, mediante analisi chimica:

caratteristica	Limiti di accettabilità
pH	da 5,5 a 8,5
contenuto solfati (SO ₄ ⁻)	< 800 mg/litro
contenuto cloruri (Cl ⁻)	< 300 mg/litro
contenuto acido solfidrico	< 50 mg/litro
contenuto sali minerali	<3000 mg/litro
contenuto sostanze organiche	< mg/litro
contenuto sostanze solide sospese	< 2000 mg/litro

Analoga certificazione dovrà essere eseguita ad ogni cambio di fornitura od a richiesta della D.L.

3.2.2.3 *Miscela cementizia*

La miscela cementizia per la jet-iniezione sarà composta da acqua, cemento ed eventuali additivi. Essa dovrà soddisfare i seguenti requisiti:

- rapporto Acqua/Cemento ≤ 1.0;
- densità teorica + 2% / -1%;
- viscosità Marsh ≤ 35 s;
- resa volumetrica ≥ 80%;

La composizione della miscela cementizia dovrà essere definita nel dettaglio dall'Appaltatore in anticipo rispetto alle attività dei campi prova e sottoposta all'approvazione della D.L.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

3.2.3 Prescrizioni per l'esecuzione delle colonne di prova

Le colonne delle rosette previste nei campi prova (documento [1]) dovranno essere eseguite adottando sul perimetro una sequenza di primarie e secondarie, lasciando per ultima la colonna centrale, che sarà quindi una terziaria.

Su ciascuna rosetta non si dovranno eseguire più di 3 colonne al giorno e tutte della stessa tipologia (tutte primarie o tutte secondarie o la terziaria). Per ogni tipologia di colonna, a partire dalla seconda colonna della giornata la perforazione dovrà essere eseguita utilizzando come fluido di perforazione la stessa miscela cementizia prevista per il trattamento, al fine di non correre rischi di dilavamento della colonna adiacente già eseguita, ad opera di un diverso fluido di perforazione (acqua o sospensione bentonitica o polimerica).

Per la realizzazione delle colonne di prova sono prescritte:

- la registrazione dei parametri di perforazione;
- la misura della verticalità di tutte le colonne di prova, con un metodo affidabile e certificato;
- la registrazione dei parametri di jet-iniezione.

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").

In fase di perforazione dovranno essere misurati e registrati come minimo i seguenti parametri in funzione del tempo:

- profondità,
- velocità di avanzamento,
- velocità di rotazione,
- spinta,
- coppia,
- pressione del fluido di perforazione,
- portata del fluido di perforazione.

La jet-iniezione dovrà avere inizio immediatamente dopo il completamento della perforazione.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

In fase di jet-iniezione; dovranno essere misurati e registrati come minimo i seguenti parametri in funzione del tempo:

- profondità,
- velocità di estrazione o tempo di stazionamento per ciascuno step,
- velocità di rotazione,
- pressione della miscela,
- portata della miscela,
- pressione dell'aria compressa (quando pertinente),
- portata dell'aria compressa (quando pertinente).

In considerazione del fatto che le Specifiche Tecniche di progetto sono del tipo prestazionale, la scelta dei parametri operativi è di esclusiva competenza e responsabilità dell'Appaltatore.

La scelta dei parametri operativi per le colonne con diametro nominale di progetto dovrà comunque soddisfare le seguenti prescrizioni minime:

- Rapporto A/C della miscela cementizia ≤ 1.0 ;
- Energia Specifica di trattamento $\geq 24 \text{ MJ/m}^3$;
- Volume unitario di miscela cementizia $\geq 600 \text{ l/m}^3$;
- Quantitativo unitario di cemento $\geq 450 \text{ kg/m}^3$.

I parametri operativi da utilizzare nei campi prova dovranno essere definiti in anticipo dall'Appaltatore e sottomessi alla Direzione Lavori almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività di sperimentazione.

Durante la fase di jet-iniezione dovrà sempre essere garantito il libero efflusso del refluo a bocca foro, fondamentale sia per la buona riuscita del trattamento in termini dimensionali, sia per evitare effetti indotti negativi sulle preesistenze. Qualora si dovesse verificare un'interruzione del flusso di refluo, la jet-iniezione dovrà essere immediatamente sospesa e dovranno essere adottate tutte le misure necessarie per il suo ripristino prima della ripresa del trattamento.

Dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti necessari per contenere la dispersione del refluo sulla superficie e nell'ambiente circostante, aspetto particolarmente critico quando è presente l'aria compressa come coadiuvante della miscela cementizia per la disaggregazione del terreno.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

Dovranno inoltre essere adottati tutti gli accorgimenti necessari per la gestione e lo smaltimento del refluo in accordo con la normativa vigente.

L'Appaltatore, almeno 15 giorni prima dell'inizio di ciascun campo prova, dovrà sottomettere 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 delle colonne e la sequenza esecutiva che si intende adottare;
- attrezzature e modalità esecutive impiegate per la perforazione (tipo di perforatrice, tipo di utensile, diametro delle aste, diametro dell'utensile, tipo di fluido di perforazione, ecc...);
- esatta composizione e caratteristiche della miscela cementizia per il trattamento;
- attrezzature e modalità esecutive impiegate per la jet-iniezione (tipo di pompa ad alta pressione, numero, diametro e corsa dei pistoni, cilindrata idraulica, tipo e capacità del compressore per l'aria, diametro flessibili alta pressione, ecc...);
- parametri esecutivi prescelti per il trattamento (numero e diametro ugelli, pressione e portata della miscela cementizia, pressione e portata dell'aria compressa quando pertinente, velocità di risalita, velocità di rotazione delle aste, volume unitario di miscela, quantitativo unitario di cemento, Energia Specifica di jet-iniezione, ecc...);
- controllo di qualità in fase esecutiva (tipo di strumentazione per la registrazione dei parametri, rapportino di esecuzione, diagrafie dei parametri di perforazione e di jet-iniezione, controlli sulle caratteristiche della miscela fresca, che come minimo devono comprendere densità, viscosità Marsh, resa volumetrica);
- eventuali ulteriori informazioni utili.

3.2.4 Prove preliminari ante esecuzione colonne di prova

Le prove preliminari antecedenti l'esecuzione delle colonne di prova dovranno consistere come minimo in:

- n. 2 perforazioni a carotaggio continuo di lunghezza almeno uguale alla lunghezza delle perforazioni per le colonne di prova;
- prove penetrometriche SPT ogni 3 m su ambedue le perforazioni carotate;

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

- prove di permeabilità Lefranc ogni 3 m su ambedue le perforazioni carotate;
- selezione campioni per prove di caratterizzazione in laboratorio, ogni 6 m;
- 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";
- prove di laboratorio per la caratterizzazione del terreno naturale presente in sito.

Sarà facoltà della DL richiedere ulteriori prove oltre il "minimo" prescritto.

3.2.5 Prove di controllo finali post esecuzione colonne di prova

Le prove di controllo finali sul trattamento di prova, per ciascuna rosetta, dovranno consistere come minimo in:

- n. 3 perforazioni a carotaggio continuo verticali in corrispondenza delle intersezioni tra 3 e 2 colonne e su una colonna a metà del raggio;
- n. 2 perforazioni a carotaggio continuo inclinate ad attraversare completamente le rosette di prova, con lo scopo di verificare il diametro delle colonne in profondità;
- prove di permeabilità Lefranc ogni 3 m nelle perforazioni a carotaggio verticali;
- selezione campioni di terreno consolidato per prove di laboratorio ogni 3 m di carotaggio;
- installazione di tubazione inclinometrica sulle 3 perforazioni a carotaggio verticali;
- su tutti i tubi inclinometrici installati, 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;
- prove cross-hole tomografiche "post trattamento" tra i tubi inclinometrici installati;
- scavo al contorno delle colonne della rosetta per ispezione visiva (quando significativo);
- prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno trattato.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

Sarà facoltà della DL richiedere ulteriori prove oltre il “minimo” prescritto.

Per quanto concerne i carotaggi si specifica che:

- il carotiere da utilizzare dovrà essere del tipo “doppio”, T6S, con diametro ≥ 130 mm, in modo da produrre una carota con almeno 100 mm di diametro nominale, prevedendo anche l’impiego di corona diamantata;
- su tutti i fori carotati si dovranno eseguire le misure di deviazione dall'asse teorico mediante sistema affidabile e certificato;

Lo scavo al contorno della testa delle colonne, quando significativo, dovrà essere spinto fino alla profondità di almeno 4 m da p.c. La geometria e le dimensioni del gruppo di colonne dovranno essere rilevate per tutta l'altezza esposta e documentate mediante opportune sezioni verticali e orizzontali.

Sui campioni prelevati dai carotaggi si dovranno eseguire prove in laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche; si dovranno come minimo controllare la densità, il contenuto d’acqua, la resistenza a compressione semplice con misura continua delle deformazioni, il modulo elastico a rottura e a vari livelli di carico rispetto alla rottura e la permeabilità.

Al termine del campo prova 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 sulle colonne di prova.

3.3 Campi prova per le iniezioni di permeazione

Quando il tracciato della galleria di linea TBM non passa al di sotto di edifici, ma sotto strade su cui si affacciano edifici, il progetto prevede interventi di consolidamento da eseguirsi in subverticale o inclinato dalla superficie, sia al di fuori del centro storico che nel centro storico. A seconda della criticità dell’intervento, funzione dei risultati della specifica analisi di rischio eseguita (basata sui cedimenti attesi ricavati dalle analisi di subsidenza e sugli indici di vulnerabilità degli edifici), sono previsti in progetto interventi “a capanna”, nei casi più critici in cui si è ritenuto di dover contenere al minimo il volume perso, o interventi “a cortina subverticale”, nei casi meno critici in cui è stato giudicato sufficiente evitare che gli effetti del volume perso si propagassero fino alla fondazione degli edifici.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

Allo stesso modo, il progetto prevede interventi, in subverticale o inclinato dalla superficie, “a capanna” quando il tracciato della galleria passa al di sotto di edifici al di fuori del centro storico, dove gli spazi in superficie sono relativamente ampi e consentono l’operatività della perforatrice.

Nei casi in cui la galleria di linea con TBM passa al di sotto di edifici del centro storico, dove gli spazi tra gli edifici sono ridotti e non consentono interventi dalla superficie, il progetto prevede interventi di iniezioni di permeazione da sotterraneo. A tale scopo, come punto di partenza per perforazioni e consolidamenti, sono stati utilizzati alcuni dei manufatti in progetto: le stazioni e i pozzi di intertratta; è stato talvolta necessario prevedere anche la realizzazione di manufatti di servizio aggiuntivi a carattere temporaneo: pozzi e cunicoli. Da questi manufatti (sia in progetto che aggiuntivi), sono stati progettati interventi di consolidamento al contorno della galleria, eseguiti con perforazioni parallele al suo asse e disposte su doppia coronella sopra la calotta, fino almeno al piano dei centri, al fine di contenere al minimo il volume perso nello scavo della galleria. Data l’elevata distanza tra i vari manufatti in progetto, la dimensione degli isolati da attraversare, la notevole difficoltà a realizzare manufatti aggiuntivi nel centro storico e la necessità di realizzare perforazioni curvilinee, per questa tipologia di intervento si è imposta la necessità di adottare la tecnologia delle perforazioni teleguidate, denominata anche Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.). Con questa tecnologia sono state progettate perforazioni di consolidamento con lunghezza fino a 200 m, generalmente curvilinee nella parte iniziale, per raggiungere la quota della galleria, e rettilinee nella seconda parte, rimanendo parallele all’asse della galleria.

I campi prova relativi alle iniezioni di permeazione da eseguirsi attraverso TAM subverticali o inclinati da superficie dovranno essere almeno 4, mentre per le iniezioni di permeazione attraverso TAM suborizzontali o inclinati installati all’interno di perforazioni T.O.C. da sotterraneo ne dovrà essere realizzato almeno 1, eseguito però dalla superficie, per ragioni connesse al cronoprogramma lavori. I campi prova andranno ubicati in aree interessate dalla stessa tipologia di terreni entro cui si dovranno eseguire gli interventi di progetto.

3.3.1 Obiettivi e strategia dei campi prova iniezioni

I campi prova per le iniezioni di permeazione hanno 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. Nel caso di perforazioni T.O.C., il campo prova avrà tra gli obiettivi anche la messa a punto delle modalità operative più appropriate per la realizzazione delle perforazioni teleguidate.

Il progetto di campo prova è basato sulla seguente strategia:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

- per i trattamenti da superficie, le perforazioni per l'installazione dei TAM saranno realizzate in verticale;
- per i trattamenti da sotterraneo con T.O.C., le perforazioni teleguidate per l'installazione dei TAM saranno realizzate con una geometria simile a quella prevista in progetto, ma operando dalla superficie;
- per i trattamenti da superficie, la maglia di TAM sarà quella prevista in progetto per i previsti trattamenti a "capanna" e "a cortina subverticale";
- per i trattamenti da sotterraneo con T.O.C., la maglia di TAM sarà quella prevista in progetto per i trattamenti "a doppia coronella" 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, perforazioni di controllo all'interno della zona trattata e prove in situ.

3.3.2 Materiali

3.3.2.1 Tubi a manchettes

I *tubi a manchettes* (TAM) dovranno essere in PVC, con *manchettes* esterne al tubo, tenute in posizione da una coppia di anelli di ritegno, posizionate a interasse di 50 cm.

Per i trattamenti da superficie, il diametro dei tubi dovrà essere $\geq 1\frac{1}{8}$ " e lo spessore ≥ 5 mm.

Per i trattamenti con T.O.C., il diametro dei tubi dovrà essere ≥ 2 " e lo spessore ≥ 12.5 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.

3.3.2.2 Acqua

L'acqua da utilizzarsi per il confezionamento delle miscele cementizia e silicatica dovrà essere dolce, limpida, priva di impurità, esente da tracce di cloruri o di solfati, non inquinata da materie organiche, o comunque dannose ai fini della presa, dell'indurimento e della durabilità dei leganti utilizzati

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

Le caratteristiche chimico-fisiche devono soddisfare i requisiti specificati nelle norme vigenti e devono rientrare nei limiti indicati in tabella, accertati dall'Appaltatore, preliminarmente all'inizio dei lavori presso un laboratorio ufficiale, mediante analisi chimica:

caratteristica	Limiti di accettabilità
pH	da 5,5 a 8,5
contenuto solfati (SO ₄ ⁻)	< 800 mg/litro
contenuto cloruri (Cl ⁻)	< 300 mg/litro
contenuto acido solfidrico	< 50 mg/litro
contenuto sali minerali	<3000 mg/litro
contenuto sostanze organiche	< mg/litro
contenuto sostanze solide sospese	< 2000 mg/litro

Analoga certificazione dovrà essere eseguita ad ogni cambio di fornitura od a richiesta della D.L.

3.3.2.3 *Cemento*

I cementi impiegati per il confezionamento delle miscele di guaina e di iniezione dovranno essere scelti in relazione alle esigenze di resistenza richiesta ed alle caratteristiche ambientali considerando, in particolare, l'aggressività dell'ambiente esterno. Il cemento impiegato dovrà comunque soddisfare i requisiti previsti nella norma UNI EN 197-1.

In particolare, per le miscele di iniezione dovrà essere impiegato per il loro confezionamento un CEM I, classe 52.5 (ad elevata finezza di macinazione), anch'esso soddisfacente la norma UNI EN 197-1.

3.3.2.4 *Bentonite*

Per il confezionamento delle miscele cementizie dovrà essere impiegata una bentonite a bassa resa, con limite liquido 300-400 e adeguata alla miscelazione con cemento.

3.3.2.5 *Additivo disperdente*

Per il confezionamento delle miscele cementizie ad elevata penetrabilità dovrà essere impiegato un additivo disperdente/antiflocculante; esso dovrà anche possedere proprietà fluidificante e stabilizzante.

Eventuali ulteriori additivi potranno essere usati come complemento al primo, qualora necessari per conferire alla miscela i requisiti di progetto, previa verifica di compatibilità con i fornitori dei prodotti.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

3.3.2.6 Miscela cementizia di guaina

La miscela cementizia di guaina sarà composta da acqua, cemento e bentonite.

Essa sarà caratterizzata dai seguenti rapporti ponderali:

- rapporto Acqua/Cemento $2.0 \div 2.5$ ($C/A = 0.5 \div 0.4$);
- rapporto Bentonite/Acqua $4 \div 5\%$;

e dovrà soddisfare i seguenti requisiti:

- densità teorica + 2% / -1%;
- viscosità Marsh ≥ 40 s;
- resa volumetrica $\geq 99\%$.

I campi di variabilità dei rapporti ponderali tra i componenti qui menzionati sono da intendersi indicativi e dovranno essere definiti dall'Appaltatore in anticipo rispetto ai campi prova, ma comunque in modo da soddisfare i requisiti di progetto.

3.3.2.7 Miscela cementizia di iniezione ad elevata penetrabilità

La miscela cementizia di iniezione dovrà essere ad elevata penetrabilità e dovrà essere costituita da acqua, cemento ad elevata finezza di macinazione, bentonite e additivo disperdente.

Essa sarà caratterizzata dai seguenti rapporti ponderali:

- rapporto Acqua/Cemento $3.0 \div 1.5$ ($A/C = 0.33 \div 0.67$);
- rapporto Bentonite/Acqua $3 \div 6\%$;
- rapporto Additivo/Acqua $0.3 \div 0.6\%$;

e dovrà soddisfare i seguenti requisiti:

- densità teorica + 2% / -1%;
- viscosità Marsh ≤ 38 s;
- resa volumetrica $\geq 99\%$;
- resistenza a compressione 28gg ≥ 0.8 MPa.

I campi di variabilità dei rapporti ponderali tra i componenti qui menzionati sono da intendersi indicativi e dovranno essere definiti dall'Appaltatore in anticipo rispetto ai campi prova, ma comunque in modo da soddisfare i requisiti di progetto.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

3.3.2.8 Miscela di iniezione integrativa a base silicatica

La miscela integrativa a base silicatica dovrà essere composta da liquore di silice, reagente sodico alcalino e reagente inorganico minerale a base di calcio. Essa, nella reazione tra i componenti, dovrà produrre idrosilicati di calcio aventi struttura cristallina, stabile nel tempo, analoga a quella che si ottiene nella fase di idratazione e presa dei leganti idraulici.

La miscela integrativa dovrà soddisfare i seguenti requisiti:

- viscosità ≤ 10 cP (mPaxs);
- densità ≥ 1.30 kg/l;
- tempo di presa 45÷90 min;
- resistenza a compressione ≥ 0.5 MPa.

3.3.3 Prescrizioni per l'esecuzione delle perforazioni convenzionali

Tutte le perforazioni previste nei campi prova per iniezioni di permeazione, da eseguirsi attraverso TAM subverticali o inclinati installati mediante perforazioni convenzionali dall'alto, saranno eseguite operando da una piattaforma di lavoro posta in superficie. Esse saranno eseguite con metodo convenzionale e, in accordo con gli elaborati grafici di progetto (cfr. documento [3]), 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 avanzerà, si procederà contestualmente all'installazione del rivestimento provvisorio.

3.3.4 Prescrizioni per l'esecuzione delle perforazioni teleguidate

Le perforazioni pilota del campo prova per le iniezioni di permeazione, attraverso TAM suborizzontali e parzialmente curvilinei da sotterraneo, dovranno essere teleguidate mediante tecnica T.O.C. (Trivellazione Orizzontale Controllata). In accordo con l'elaborato grafico di progetto (cfr. documento [2]), esse saranno realizzate operando dalla superficie, con andamento curvilineo nella parte iniziale, per raggiungere la quota di trattamento di progetto, e rettilinee nella seconda parte, per simulare l'andamento parallelo all'asse della galleria previsto in progetto.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

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 la traiettoria da esso percorsa. I parametri misurati saranno registrati, restituiti su supporto cartaceo e informatico e consegnati giornalmente alla D.L.

Le perforazioni dovranno essere "filoguidate", 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 invia 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 "puddinga"); 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 avanzerà, 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 $R_v \geq 120$ m. Qualora vi fosse simultaneamente una curvatura nel piano verticale e una curvatura planimetrica, il raggio combinato R_c dovrà essere ≥ 105 m.

3.3.5 Prescrizioni per l'installazione dei TAM

Completata la perforazione, dovranno essere estratte le aste di perforazione interne al rivestimento provvisorio.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

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

Infine, dovrà essere estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

3.3.6 Prescrizioni per l'esecuzione delle iniezioni di permeazione

Le iniezioni di permeazione dovranno essere realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio packer da posizionare su ciascuna valvola *à 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".

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

- l'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 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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

I parametri di iniezione per ciascuna miscela e per ciascuna passata (portata, volume massimo, pressione di rifiuto, soglia minima di pressione da raggiungere) dovranno essere definiti in anticipo dall'Appaltatore e sottomessi alla D.L. per approvazione.

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 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 di ciascun campo prova, dovrà sottomettere 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 perforatrice, tipo di utensile, diametro delle aste, diametro dell'utensile, tipo di fluido di perforazione, tipo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

di strumentazione per la registrazione dei parametri di perforazione, tipo di strumentazione per la guida delle perforazioni quando pertinente, 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, tipo di strumentazione per il controllo, la misura e la registrazione dei parametri di iniezione, ecc...);
- parametri esecutivi prescelti per l'iniezione per ciascuna miscela e per ciascuna passata (portata, volume massimo, pressione di rifiuto, soglia minima di pressione, ecc...);
- il piano di controllo qualità in fase esecutiva;
- il piano di controllo qualità post trattamento;
- eventuali ulteriori informazioni utili.

3.3.7 Prove preliminari ante esecuzione trattamento di iniezioni

Per ciascun campo sperimentale, le prove preliminari antecedenti l'esecuzione delle colonne di prova dovranno consistere come minimo 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";

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

- 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.

Sarà facoltà della DL richiedere ulteriori prove oltre il “minimo” prescritto.

3.3.8 Prove di controllo finali post esecuzione trattamento di iniezioni

Le prove di controllo finali sul trattamento dovranno consistere come minimo in:

- analisi a posteriori dei parametri di iniezione registrati durante il processo di iniezione e, per il tramite di questi, predisposizione di sezioni trasversali e longitudinali delle zone di trattamento, riportando differenti colorazioni in funzione degli assorbimenti e delle pressioni di iniezione raggiunte, da confrontare con corrispondenti sezioni geologiche;
- 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 4 i 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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

Sarà facoltà della DL richiedere ulteriori prove oltre il “minimo” prescritto.

Per quanto concerne i carotaggi si specifica che:

- il carotiere da utilizzare dovrà essere del tipo “doppio”, T6S, con diametro ≥ 130 mm, in modo da produrre una carota con almeno 100 mm di diametro nominale, prevedendo anche l’impiego di corona diamantata;
- 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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

4. COLLAUDI

4.1 Jet grouting

4.1.1 Controlli finali

Completato l'intervento, l'idoneità dello stesso dovrà essere verificata per mezzo di prelievi di carote continue per l'intera lunghezza della colonna, al limite del diametro minimo richiesto.

Il centro della perforazione carotata dovrà essere posizionato a una distanza dal centro della colonna pari al raggio della colonna stessa meno 10 cm. I carotaggi dovranno essere eseguiti con doppio carotiere con almeno 100 mm di diametro nominale della carota estratta, prevedendo anche l'impiego di corona diamantata.

Per le colonne compenstrate il carotaggio dovrà avvenire in corrispondenza della zona di compenetrazione.

Il numero dei carotaggi dovrà essere non inferiore al 1÷2% delle colonne eseguite.

La percentuale di carotaggio estratto non dovrà risultare inferiore all'85% della lunghezza teorica della colonna e il recupero percentuale modificato (RPM) non dovrà essere inferiore al 50%.

Qualora la lunghezza carotata risultasse complessivamente inferiore all'85% della lunghezza teorica della colonna o si rivelasse non perfettamente compatta e/o omogenea, la D.L. avrà facoltà di richiedere all'Appaltatore l'esecuzione di ulteriori prove, che saranno eseguite anch'esse a cura e spese dell'Appaltatore stesso, anche mediante il coinvolgimento di laboratori esterni e/o ditte qualificate, scelte dall'Appaltatore ed approvate dalla D.L.

Qualora i risultati ottenuti evidenziassero delle discontinuità nel trattamento eseguito, l'Appaltatore dovrà sottoporre alla D.L. una proposta operativa atta a risanare la zona ritenuta inaccettabile. Eseguita l'integrazione, sulla zona saranno ripetute le prove necessarie per verificarne l'idoneità.

Su campioni scelti dalla D.L., ricavati dal predetto carotaggio continuo, e da preparare in laboratorio, con altezza pari a 1.0-1.25 volte il diametro della carota, dovranno essere eseguite le prove di compressione monoassiale, dalle quali si dovranno ottenere valori di resistenza cilindrica a rottura non inferiori al 95% della media dei valori riscontrati nelle carote prelevate dal campo prova.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

Qualora vengano richieste delle prove di permeabilità, nel caso di trattamenti per realizzare cortine impermeabili, il valore del coefficiente di permeabilità ottenuto dovrà risultare inferiore al limite imposto dal progetto, e comunque mai superiore a 1×10^{-6} m/s

Resistenze inferiori a quelle minime previste e/o valori di permeabilità superiori al valore limite richiesto determineranno l'inaccettabilità della colonna.

In tal caso l'indagine verrà estesa ad ulteriori colonne limitrofe per individuare la serie di colonne inaccettabili, che dovrà essere sostituita da una serie costruita in adiacenza.

Le carote estratte da ciascun sondaggio dovranno essere stoccate e conservate in apposite cassette. Ogni carotaggio eseguito dovrà essere corredato dalla seguente documentazione:

- descrizione stratigrafica con valutazione visiva della qualità delle carote estratte;
- indicazione della percentuale di carotaggio ottenuta;
- indicazione del recupero percentuale modificato (RPM);
- indicazione della lunghezza degli spezzoni di carota estratta;
- individuazioni di eventuali inclusioni di materiale non trattato e relativa valutazione percentuale.

Qualora le colonne di terreno consolidato vengano eseguite al fine di creare una fascia di terreno consolidato all'estradosso delle pareti di scavo in galleria, al fine di verificare, in sito, l'efficacia del trattamento medesimo, dovrà essere eseguita nel nucleo da scavare, una colonna consolidata della lunghezza utile di 4 m ogni 300 m o frazione di colonne consolidate eseguite.

4.1.2 Documentazione finale

Per ciascuna colonna l'Appaltatore dovrà fornire alla D.L., entro i tempi previsti (24÷36 ore dalla data di esecuzione della colonna), un rapporto riportante le seguenti informazioni:

- diagrafie dei parametri di perforazione, registrati in automatico;
- diagrafie dei parametri di jet-iniezione, registrati in automatico;
- n° e diametro degli ugelli;

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

- caratteristiche e controlli sulla miscela:
 - composizione;
 - densità;
 - viscosità;
 - decantazione.

Inoltre, durante l'esecuzione del campo prova e in tutti i casi in cui vengano richiesti dalla DL:

- materiali reflui:
 - valutazione visiva di colorazione, composizione e quantità;
 - analisi eseguite;
- controlli visivi in caso di scavo a ridosso della colonna:
 - rilievo fotografico e geometrico;
- carotaggi e campionamenti di colonna:
 - descrizione, numerazione ed ubicazione prelievi;
 - analisi di laboratorio;
 - rilievo fotografico;
- carotaggi e campionamenti di terreno attiguo:
 - descrizione, numerazione ed ubicazione prelievi;
 - analisi di laboratorio.

La presentazione della suddetta documentazione autorizzerà la contabilizzazione delle quantità eseguite nei termini contrattuali. Tutta la documentazione dovrà essere consegnata su carta e su supporto magnetico, redatta con i programmi di scrittura e di calcolo più comuni. Qualora la DL fosse sprovvista del programma, l'Appaltatore dovrà metterne a disposizione una copia ufficiale.

4.2 Iniezioni di permeazione

4.2.1 Controlli finali

Completato l'intervento, l'idoneità dello stesso dovrà essere verificata tramite prove di controllo finali sul trattamento che dovranno come minimo comprendere:

- analisi a posteriori dei parametri di iniezione registrati durante il processo di iniezione e, per il tramite di questi, predisposizione di sezioni trasversali e longitudinali delle zone di trattamento, riportando differenti colorazioni in funzione degli assorbimenti e delle pressioni di iniezione raggiunte, da confrontare con corrispondenti sezioni geologiche;

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

- perforazioni di controllo a carotaggio continuo nella zona del trattamento; tali perforazioni dovranno essere posizionate a coppie, o a gruppi, e a interasse opportuno, in modo da permettere la successiva esecuzione di prove cross-hole tomografiche;
- prove penetrometriche SPT, ogni 2 m all'interno dei fori di controllo verticali o subverticali, nella zona del trattamento; le prove SPT potranno essere omesse sui fori con inclinazione rispetto alla verticale $\geq 5^\circ$.
- prove di permeabilità Lefranc, ogni 2 m all'interno dei fori di controllo, nella zona del trattamento;
- eventuale videoispezione all'interno del foro di controllo;
- selezione dei campioni per le prove in laboratorio di caratterizzazione del terreno consolidato, ogni 2 m, alle profondità del trattamento;
- attrezzaggio di tutte le perforazioni di controllo con tubo inclinometrico;
- misura di deviazione dall'asse teorico di ciascun foro di controllo, mediante sonda inclinometrica, al fine di conoscere con precisione l'interdistanza, a ogni profondità, tra le coppie o i gruppi di fori di controllo;
- prove cross-hole tomografiche "post trattamento" nel terreno consolidato;
- prove di laboratorio per la caratterizzazione del terreno consolidato.

Sarà facoltà della DL richiedere ulteriori prove oltre il "minimo" prescritto.

Tutti i risultati ottenuti dalle prove di controllo "post trattamento" (SPT, permeabilità Lefranc, cross-hole tomografiche, ecc.) dovranno essere messi a confronto con i risultati ricavati nel terreno naturale "ante trattamento" e valutati i relativi incrementi prestazionali in relazione ai requisiti richiesti.

Il numero delle perforazioni di controllo dovrà essere non inferiore a una ogni 2000 m³ di terreno trattato, con un minimo di due (in modo da poter realizzare almeno una sezione cross-hole tomografica). Nel caso di perforazioni di controllo subparallele ai fori di iniezione curvilinei realizzati con tecnologia T.O.C., se di lunghezza a pari alla lunghezza del trattamento, sarà sufficiente eseguirne una coppia.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

4.2.2 Documentazione finale

Tutta la documentazione sotto indicata dovrà essere approntata a cura e spese dell'Appaltatore; per ogni asse di trattamento eseguito ed iniettato l'Appaltatore dovrà fornire schede di autocontrollo contenenti le seguenti indicazioni:

Rapporto N° 1 - perforazione

- n° del foro
- nominativi del caposquadra addetto e degli operatori (perforazione, gestione fanghi, posa tubazione, iniezioni, controlli in corso d'esecuzione, ecc.);
- identificazione dell'attrezzatura di perforazione e degli utensili adoperati a varie quote;
- lunghezza della perforazione;
- inclinazione e posizione;
- data di perforazione;
- tipo di utensile e diametro;
- fluido di perforazione, segnalando eventuali perdite e relative quote;
- rivestimenti adottati e diametro;
- indicazioni dall'osservazione dei detriti;
- diagrafie del sistema automatico di registrazione dei parametri di perforazione.

Rapporto N° 2 - posa canna di iniezione e formazione guaina:

- caratteristiche della canna di iniezione;
 - diametro;
 - lunghezza cieca e lunghezza valvolata;
 - n° totale di valvole e relativo passo;
- dati dell'iniezione di guaina:
 - data di posa;
 - composizione miscela e volume iniettato;
 - eventuali perdite e, se possibile, relative quote.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico-Rebaudengo Lotto Generale: Politecnico-Rebaudengo
Specifiche per esecuzione di campi prova e collaudi degli interventi di consolidamento del terreno.	05_MTL2T1A0DPRCGENR001-0-1

Rapporto N° 3 - iniezione:

- tabelle delle iniezioni selettive indicanti per ogni valvola e per ogni fase:
 - data
 - composizione della miscela utilizzata;
 - pressioni di apertura della valvola;
 - volumi di assorbimento;
 - pressioni raggiunte;
 - tabulati dal sistema automatico di registrazione dei parametri di iniezione.

La suddetta documentazione dovrà essere preparata dall'Appaltatore e fornita in copia alla D.L. entro il giorno successivo in cui l'operazione è avvenuta.

La presentazione della suddetta documentazione autorizzerà la contabilizzazione delle quantità eseguite nei termini contrattuali. Tutta la documentazione dovrà essere consegnata su carta e su supporto magnetico, redatta con i programmi di scrittura e di calcolo più comuni. Qualora la D.L. fosse sprovvista del programma, l'Appaltatore dovrà metterne a disposizione una copia ufficiale.