

**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 Costruttivo 2: Bologna - Politecnico**


<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		 <b>INFRATRASPORTI S.r.l.</b>												
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	<b>SUBSIDENZE, PRESIDIO E MONITORAGGI</b> CONSOLIDAMENTI PROPEDEUTICI ALLO SCAVO DELLA GALLERIA TBM RELAZIONE GENERALE SUGLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO												
		ELABORATO								REV.		SCALA	DATA	
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A2	D	PRC	GT0	R	004	0	2	-	04/10/2022

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	15/04/22	VMa	PDm	FRI	RCr
1	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	25/11/22	VMa	PDm	FRI	RCr
2	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>75</td> <td>MTL2T1A2D</td> <td>PRCGT0R004</td> </tr> </table>	LOTTO 2	CARTELLA	10	75	MTL2T1A2D	PRCGT0R004	<p align="center"><b>STAZIONE APPALTANTE</b></p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozzi</p>
LOTTO 2	CARTELLA	10	75	MTL2T1A2D	PRCGT0R004		

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

## INDICE

<b>1.</b>	<b>OGGETTO E PREMESSA</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>ELABORATI PRODOTTI NELL'AMBITO DEL PROGETTO DEFINITIVO</b>	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>11</b>
<b>3.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>TUBI DI INIEZIONE</b>	<b>12</b>
3.1.1	TUBI À MANCHETTES DA INSTALLARE IN PERFORAZIONI T.O.C. CURVILINEE	12
3.1.2	TUBI À MANCHETTES DA INSTALLARE IN PERFORAZIONI CONVENZIONALI RETTILINEE SUBORIZZONTALI O VARIAMENTE INCLINATE CON LUNGHEZZA > 30 M	12
3.1.3	TUBI À MANCHETTES DA INSTALLARE IN PERFORAZIONI CONVENZIONALI RETTILINEE SUBVERTICALI CON LUNGHEZZA ≤ 30 M	12
<b>3.2</b>	<b>CHIODATURE IN VTR</b>	<b>13</b>
3.2.1	ELEMENTO STRUTTURALE A PIATTI	13
<b>3.3</b>	<b>MISCELE PER LE INIEZIONI DI PERMEAZIONE</b>	<b>13</b>
3.3.1	MISCELA DI GUAINA	13
3.3.2	MISCELE DI INIEZIONE A BASE CEMENTIZIA AD ELEVATA PENETRABILITÀ	13
3.3.3	MISCELA DI INIEZIONE INTEGRATIVA A BASE SILICATICA	14
<b>3.4</b>	<b>MISCELA CEMENTIZIA PER JET GROUTING</b>	<b>14</b>
<b>3.5</b>	<b>MISCELA CEMENTIZIA PER SOLIDARIZZAZIONE ARMATURE JET GROUTING E CHIODATURE AL FRONTE</b>	<b>15</b>
<b>4.</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</b>	<b>16</b>
<b>5.</b>	<b>TECNOLOGIE PER IL CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI</b>	<b>20</b>
<b>5.1</b>	<b>SELEZIONE DELLE TECNOLOGIE PER IL CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI</b>	<b>20</b>
<b>5.2</b>	<b>IN MERITO ALL'ESECUZIONE DELLE INIEZIONI DI PERMEAZIONE</b>	<b>27</b>
<b>5.3</b>	<b>IN MERITO ALL'ESECUZIONE DEL JET GROUTING BIFLUIDO</b>	<b>29</b>
<b>5.4</b>	<b>IN MERITO ALL'ESECUZIONE DEL JET GROUTING MONOFLUIDO</b>	<b>30</b>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

## **6. TECNOLOGIA DELLA TRIVELLAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA (T.O.C.) 32**

**6.1 GENERALITÀ SULLA TECNOLOGIA T.O.C. 32**

**6.2 LA TECNOLOGIA T.O.C. APPLICATA AI CONSOLIDAMENTI PROPEDEUTICI ALLO SCAVO DELLA GALLERIA CON TBM DELLA MTL2 40**

## **7. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PROPEDEUTICI ALLO SCAVO DELLA GALLERIA CON TBM 43**

**7.1 CONSOLIDAMENTO TIPO C1 43**

**7.2 CONSOLIDAMENTO TIPO C2 45**

**7.3 CONSOLIDAMENTO TIPO C3 47**

**7.4 CONSOLIDAMENTO TIPO C4 49**

**7.5 CONSOLIDAMENTO TIPO C5 50**

**7.6 CONSOLIDAMENTO TIPO C6 52**

**7.7 CONSOLIDAMENTO TIPO C7 55**

**7.8 CONSOLIDAMENTO TIPO C8 59**

**7.9 CONSOLIDAMENTO TIPO C9 62**

**7.10 CONSOLIDAMENTO TIPO C10 64**

**7.11 CONSOLIDAMENTO TIPO C11 67**

**7.12 CONSOLIDAMENTO TIPO C12 69**

**7.13 CONSOLIDAMENTO TIPO C13 72**

## **8. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PROPEDEUTICI ALLO SCAVO DEI CUNICOLI DI SERVIZIO 76**

**8.1 CONSOLIDAMENTO PER IL CUNICOLO PS-GT5 76**

**8.2 CONSOLIDAMENTO PER IL CUNICOLO PS-GT6 79**

## **INDICE DELLE FIGURE**

Figura 1.	Planimetria generale della linea 2 - Tratta funzionale Politecnico-Rebaudengo.	6
Figura 2.	Gruppo n. 1 dei fusi granulometrici (Unità 2).	18
Figura 3.	Gruppo n. 2 dei fusi granulometrici (Unità 2).	18
Figura 4.	Curve di iniettabilità dei terreni dell'Unità 2 (anche 3 e 4) - Gruppo n. 1.	22

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Figura 5.	Curve di iniettabilità dei terreni dell’Unità 2 (anche 3 e 4) - Gruppo n. 2.	22
Figura 6.	Esempio di interventi “a capanna” e “a cortina subverticale”.	24
Figura 7.	Esempi di interventi “a capanna” sotto edifici al di fuori del centro storico.	25
Figura 8.	Esempio di intervento al contorno della costruenda galleria, eseguito da sotterraneo con perforazioni parallele all’asse della galleria.	26
Figura 9.	Esempi di interventi “a cortina suborizzontale” eseguiti da sotterraneo.	26
Figura 10.	Esempio di intervento “a capanna” da sotterraneo.	27
Figura 11.	Fasi operative di una perforazione teleguidata nella sua accezione classica.	33
Figura 12.	Schema di applicazione del metodo walk over.	34
Figura 13.	Tipica postazione dell’ingegnere di guida.	35
Figura 14.	Schemi tipici di batterie di perforazione ad asimmetria trasversale e longitudinale.	36
Figura 15.	Tipico utensile di perforazione “a becco di flauto”, in gergo chiamato jetting bit.	37
Figura 16.	Tipica punta “a becco di flauto”, modificata con speciali picchi al carburo di tungsteno.	37
Figura 17.	Tipico assemblaggio di tricono su <i>bent sub</i> .	38
Figura 18.	Tipico <i>downhole mud motor</i> .	39
Figura 19.	Tipici rivestimenti <i>wash pipe</i> .	40
Figura 20.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C1.	43
Figura 21.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C2.	45
Figura 22.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C3.	47
Figura 23.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C4.	49
Figura 24.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C5.	51
Figura 25.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C6: sezione longitudinale.	53
Figura 26.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C6: sezione trasversale tipica.	53
Figura 27.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C7: sezione longitudinale.	55
Figura 28.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C7: sezione trasversale tipica.	56
Figura 29.	Planimetria dell’area in cui è ubicato il pozzo PS-GT4.	57
Figura 30.	Planimetria dell’area in cui è ubicato il pozzo PS2-GT7.	58
Figura 31.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C8: sezione longitudinale.	59
Figura 32.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C8: sezione trasversale tipica.	59
Figura 33.	Planimetria dell’area in cui è ubicato il cunicolo PS-GT5.	61
Figura 34.	Planimetria dell’area in cui è ubicato il cunicolo PS-GT6.	61
Figura 35.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C9: sezione longitudinale.	62
Figura 36.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C9: sezione trasversale tipica.	63
Figura 37.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C10: sezione longitudinale.	65
Figura 38.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C10: sezioni trasversali tipiche.	65
Figura 39.	Planimetria dell’area in cui è ubicato il cunicolo CS-GT6.	67
Figura 40.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C11.	68
Figura 41.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C12: vista in pianta.	70
Figura 42.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C12: sezione tipica.	70
Figura 43.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C13: sezione longitudinale.	72
Figura 44.	Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C13: sezioni trasversali tipiche.	73

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Figura 45. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT5: sezione corrente	76
Figura 46. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT5: sezione di tampone.	77
Figura 47. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT5: sezione longitudinale.	77
Figura 48. Sequenza esecutiva del trattamento jet grouting da superficie per il cunicolo PS-GT5.	78
Figura 49. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT5: maglia di progetto delle colonne Ø 1.20m	78
Figura 50. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT6: sezione trasversale.	80
Figura 51. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT6: sezione longitudinale.	80
Figura 52. Particolare elemento strutturale in VTR.	81

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Sintesi dei parametri geotecnici che caratterizzano il terreno	16
Tabella 2. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C1.	45
Tabella 3. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C2.	47
Tabella 4. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C3.	49
Tabella 5. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C4.	50
Tabella 6. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C5.	52
Tabella 7. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C6.	55
Tabella 8. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C7.	58
Tabella 9. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C8.	62
Tabella 10. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C9.	64
Tabella 11. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C10.	67
Tabella 12. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C11.	69
Tabella 13. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C12.	71
Tabella 14. Riepilogo zona di applicazione della tipologia di consolidamento C13.	75



CITTA' DI TORINO

**Metropolitana di Torino – Linea 2  
Tratta: Politecnico – Rebaudengo  
Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico**

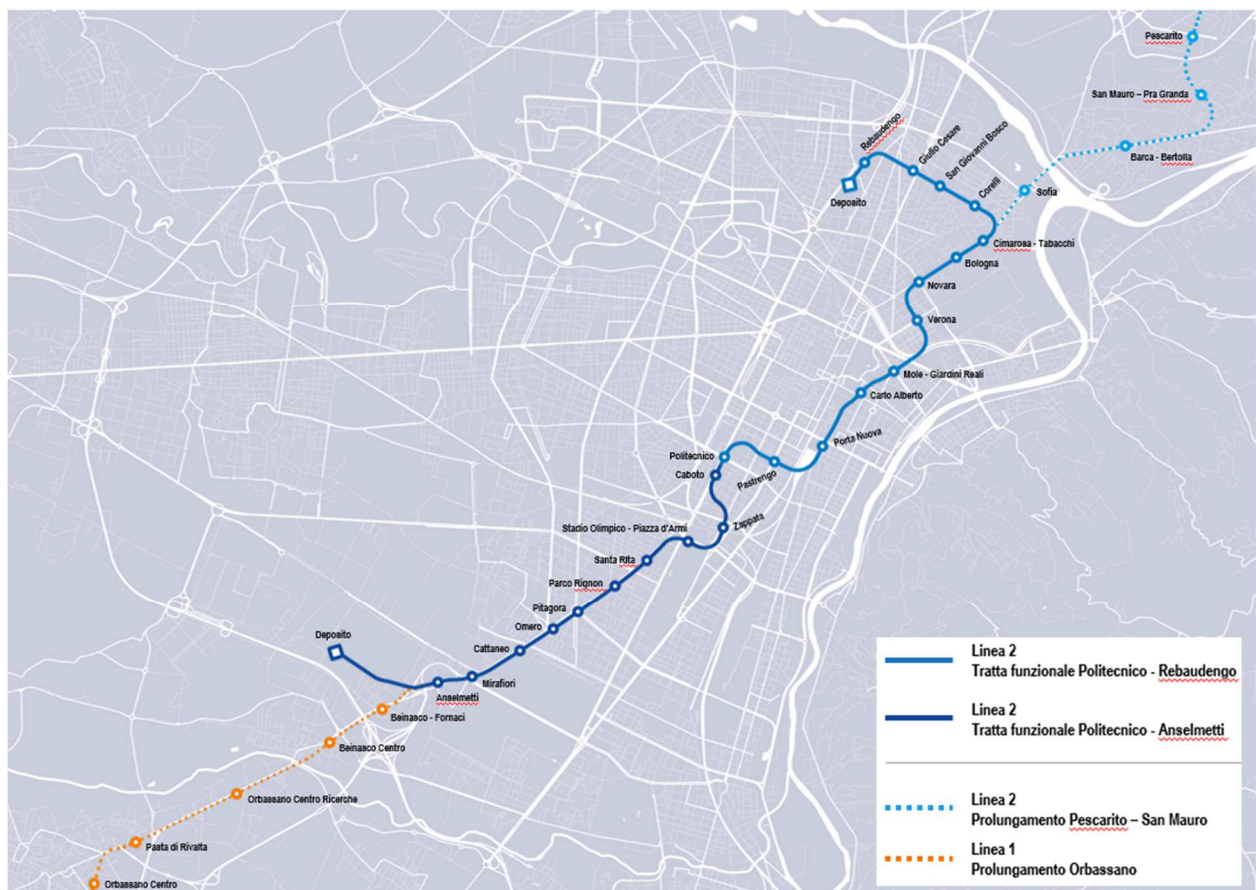
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.

75\_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

## 1. OGGETTO E PREMESSA

La presente relazione si inserisce nel quadro dell'affidamento dei servizi di ingegneria relativi alla Progettazione Definitiva della Tratta Politecnico-Rebaudengo della Linea 2 della Metropolitana di Torino, disciplinato dal Contratto tra la Città di Torino e la società Infratrasporti.TO s.r.l., ed ha per oggetto la progettazione degli interventi di consolidamento dei terreni propedeutici allo scavo della galleria mediante TBM EPB, al fine di mitigare il rischio di cedimento su alcuni degli edifici sotto-attraversati nell'ambito della realizzazione dell'opera nel 2° Lotto Funzionale.

Il lotto generale (0) è incluso tra le stazioni Rebaudengo e Politecnico (Figura 1), si colloca interamente nel territorio comunale di Torino e presenta una lunghezza di circa 9,7 km.



**Figura 1. Planimetria generale della linea 2 - Tratta funzionale Politecnico-Rebaudengo.**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Il lotto generale è costituito dalle seguenti opere:

- 13 stazioni sotterranee;
- 12 pozzi di intertratta aventi funzione di ventilazione, uscita di emergenza ed accesso dei soccorsi;
- la galleria di linea costituita da:
  - un tratto in galleria naturale realizzato con scavo tradizionale per una lunghezza di 135 m circa, che va dal manufatto di retrostazione Rebaudengo alla Stazione Rebaudengo;
  - un tratto di galleria artificiale in cut & cover ad uno o due livelli, per una lunghezza complessiva di circa 3,0 km che collega le stazioni Rebaudengo, Giulio Cesare, San Giovanni Bosco, Corelli, Cimarosa/Tabacchi, Bologna fino al manufatto in retrostazione Bologna che include anche il pozzo Novara;
  - un tratto in galleria naturale realizzato con scavo meccanizzato mediante una TBM (Tunnel Boring Machine) avente diametro di circa 10,00 m, che scaverà la galleria di linea dal manufatto in retrostazione Bologna fino al tronchino in retrostazione Politecnico per una lunghezza complessiva di circa 5,6 km;
  - un pozzo terminale di fine tratta funzionale per l'estrazione della TBM, posto all'estremità del tronchino in retrostazione Politecnico;
  - il manufatto in retrostazione Rebaudengo, avente la funzione di deposito-officina, per la manutenzione ordinaria programmata sui treni, oltre che il parcheggio di 7 treni in stalli predisposti e complessivamente di 10 treni a fine servizio;
  - la predisposizione per la realizzazione del manufatto di bivio nella diramazione nord verso San Mauro Torinese.

Il 1° lotto funzionale inizia dalla stazione di corrispondenza con la stazione F.S. Rebaudengo-Fossata e, procedendo da nord verso sud, si sviluppa dapprima lungo la ex trincea ferroviaria posta tra via Gottardo e via Sempione. Il tracciato, a partire dalla fermata Corelli passa lungo via Bologna, al fine di servire meglio gli insediamenti dell'area interessata esistenti e futuri con le fermate intermedie Cimarosa-Tabacchi e Bologna.

Il 2° lotto funzionale ha inizio dopo la fermata Bologna ed è completamente in sotterraneo. Il tracciato scorre lungo via Bologna, raggiunge la fermata Novara, dopodiché si allontana dall'asse di Via Bologna mediante una curva in direzione sud-est e si immette sotto l'asse di corso Verona fino alla fermata Verona ubicata in largo Verona. Dopo la fermata Verona, sotto attraversato il fiume Dora e Corso Regina Margherita, la linea entra nel centro storico della città con le fermate

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2


Mole/Giardini Reali e Carlo Alberto, portandosi poi in corrispondenza di via Lagrange, sino ad arrivare alla stazione Porta Nuova, posta lungo via Nizza, che sarà di corrispondenza sia con la linea F.S. che con la Linea 1 della metropolitana di Torino. Dalla fermata Porta Nuova il tracciato prosegue verso sud, per poi curvare in direzione ovest sottopassando il parco ferroviario di Porta Nuova; il tracciato prosegue poi lungo l'allineamento di via Pastrengo, raggiunge la fermata Pastrengo, prosegue lungo lo stesso asse, per poi portarsi, con una curva verso sud, su corso Duca degli Abruzzi fino alla fermata Politecnico.

Lungo l'intero tracciato del 2° lotto funzionale della Linea 2, lo scavo della galleria verrà realizzato mediante TBM EPB, che sotto-attraverserà le strade cittadine, ma anche il fiume Dora, il parco ferroviario di Porta Nuova e numerosissimi edifici, del centro storico e dell'area semicentrale. Al fine di mitigare il rischio di cedimento su alcuni degli edifici sotto-attraversati, sono stati studiati interventi di consolidamento propedeutici al passaggio della TBM. La scelta degli edifici necessitanti interventi di consolidamento preventivo è stata effettuata in funzione dei risultati di una specifica analisi di rischio, basata sui cedimenti attesi ricavati dalle analisi di subsidenza e sugli indici di vulnerabilità degli edifici.

La presente relazione è così strutturata.

- Capitolo 2** ha come oggetto i documenti di riferimento: elaborati prodotti nell'ambito del progetto definitivo e le normative di riferimento.
- Capitolo 3** riporta le caratteristiche dei materiali impiegati per le opere di consolidamento dei terreni.
- Capitolo 4** richiama sinteticamente l'inquadramento geotecnico.
- Capitolo 5** descrive le tecnologie prescelte per gli interventi di consolidamento propedeutici allo scavo della galleria con TBM e allo scavo dei cunicoli di servizio.
- Capitolo 6** descrive, dapprima in linea generale, la tecnologia della Trivellazione Orizzontale controllata (T.O.C.) e, a seguire, la sua applicazione ai consolidamenti propedeutici allo scavo della galleria con TBM della linea 2 della metropolitana.
- Capitolo 7** descrive gli interventi di consolidamento propedeutici allo scavo della galleria con TBM oggetto della progettazione definitiva;
- Capitolo 8** descrive gli interventi di consolidamento propedeutici allo scavo dei cunicoli di servizio.




 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Elaborati prodotti nell'ambito del Progetto Definitivo

- |      |                              |   |
|------|------------------------------|---|
| [1]  | MTL2T1A0DGEOGENR002:         | Relazione geotecnica.   |
| [2]  | MTL2T1A0DGEOGENT003.1 ÷ 3.6: | Profilo geotecnico.   |
| [3]  | MTL2T1A2DPRCGT0K001:         | Planimetria con individuazione dei consolidamenti propedeutici allo scavo della galleria con TBM.           |
| [4]  | MTL2T1A2DPRCGT0T001.1 ÷ 1.3: | Profilo longitudinale con individuazione dei consolidamenti propedeutici allo scavo della galleria con TBM. |
| [5]  | MTL2T1A2DPRCGT0T002:         | Schemi tipologici dei consolidamenti propedeutici allo scavo della galleria con TBM.                        |
| [6]  | MTL2T1A2DPRCGT0T003:         | Interventi di consolidamento tipo C1 lungo via Bologna – Galleria GT1.                                      |
| [7]  | MTL2T1A2DPRCGT0T004:         | Interventi di consolidamento tipo C2 lungo via Bologna – Gallerie GT1 e GT2.                                |
| [8]  | MTL2T1A2DPRCGT0T005:         | Interventi di consolidamento tipo C3 in corrispondenza dell'edificio VRNO31 – Galleria GT2.                 |
| [9]  | MTL2T1A2DPRCGT0T006:         | Interventi di consolidamento tipo C4 da pozzo PVR – Galleria GT2.   |
| [10] | MTL2T1A2DPRCGT0T007:         | Interventi di consolidamento tipo C2 lungo corso Verona – Galleria GT2.                                     |
| [11] | MTL2T1A2DPRCGT0T008:         | Interventi di consolidamento tipo C5 per l'edificio MOVR12 – Galleria GT3.                                  |
| [12] | MTL2T1A2DPRCGT0T009:         | Interventi di consolidamento tipo C6 da SMO per galleria GT3.   |
| [13] | MTL2T1A2DPRCGT0T010:         | Interventi di consolidamento tipo C7 da pozzo PS-GT4 – Galleria GT4.  |
| [14] | MTL2T1A2DPRCGT0T011:         | Interventi di consolidamento tipo C11 da pozzo PCA – Galleria GT4.  |

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

- [15] MTL2T1A2DPRCGT0T012: Interventi di consolidamento tipo C6 da SCA per galleria GT4.
- [16] MTL2T1A2DPRCGT0T013: Interventi di consolidamento tipo C6 da SCA per galleria GT5.
- [17] MTL2T1A2DPRCGT0T014: Interventi di consolidamento tipo C8 da cunicolo PS-GT5 - Galleria GT5.
- [18] MTL2T1A2DPRCGT0T015: Interventi di consolidamento tipo C1 lungo via Lagrange – Galleria GT5.
- [19] MTL2T1A2DPRCGT0T016: Interventi di consolidamento tipo C13 da SPN per galleria GT5.
- [20] MTL2T1A2DPRCGT0T017: Interventi di consolidamento tipo C6 da SPN per galleria GT6.
- [21] MTL2T1A2DPRCGT0T018: Interventi di consolidamento tipo C8 da cunicolo PS-GT6 - Galleria GT6.
- [22] MTL2T1A2DPRCGT0T019: Interventi di consolidamento tipo C12 da pozzo PPA – Galleria GT6.
- [23] MTL2T1A2DPRCGT0T020: Interventi di consolidamento tipo C1 lungo via Pastrengo – Gallerie GT6 e GT7.
- [24] MTL2T1A2DPRCGT0T021: Interventi di consolidamento tipo C9 da PPO – Galleria GT7.
- [25] MTL2T1A2DPRCGT0T022: Interventi di consolidamento tipo C10 da pozzo PS1-GT7 – Galleria GT7.
- [26] MTL2T1A2DPRCGT0T023: Interventi di consolidamento tipo C7 da pozzo PS2-GT7 – Galleria GT7.
- [27] MTL2T1A2DPRCGT0T024: Interventi di consolidamento per scavo cunicolo di servizio PS-GT5.
- [28] MTL2T1A2DPRCGT0T025: Interventi di consolidamento per scavo cunicolo di servizio PS-GT6.
- [29] MTL2T1A2DPRCGT0T026: Opere provvisionali pozzo di servizio PS-GT4.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

- [30] MTL2T1A2DPRCGT0T027: Opere provvisionali pozzo di servizio PS-GT5.
- [31] MTL2T1A2DPRCGT0T028: Opere provvisionali cunicolo di servizio PS-GT5.
- [32] MTL2T1A2DPRCGT0T029: Fasi esecutive pozzo di servizio PS-GT5.
- [33] MTL2T1A2DPRCGT0T030: Opere provvisionali pozzo di servizio PS-GT6.
- [34] MTL2T1A2DPRCGT0T031: Fasi esecutive pozzo di servizio PS-GT6.
- [35] MTL2T1A2DPRCGT0T032: Opere provvisionali pozzo di servizio PS1-GT7.
- [36] MTL2T1A2DPRCGT0T033: Fasi esecutive pozzo di servizio PS1-GT7.
- [37] MTL2T1A2DPRCGT0T034: Opere provvisionali pozzo di servizio PS2-GT7.
- [38] MTL2T1A2DPRCGT0T035: Fasi esecutive pozzo di servizio PS2-GT7.
- [39] MTL2T1A2DPRCGT0T036: Pozzi di servizio. Dettagli costruttivi opere provvisionali.
- [40] MTL2T1A2DPRCGT0T037: Cunicoli di servizio. Dettagli costruttivi opere provvisionali.
- [41] MTL2T1A2DPRCGT0R006: Relazione di calcolo pozzi di servizio e cunicoli tipologici.

## 2.2 Normative 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 12715:2021 Esecuzione di lavori geotecnici speciali: Iniezioni.
- [E] UNI EN 12716:2019 Esecuzione di lavori geotecnici speciali: Jet grouting.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 Tubi di iniezione

##### 3.1.1 Tubi à manchettes da installare in perforazioni T.O.C. curvilinee

Materiale	PVC;
Diametro nominale	$\geq 2''$ ;
Spessore	$\geq 12.5$ mm o, comunque, tale da sopportare gli sforzi che si generano durante tutte le fasi del processo, dato l'andamento parzialmente curvilineo e l'eccellenza della loro lunghezza;
Tipo di valvole à manchettes	esterne al tubo, con coppia di anelli di ritegno;
Interasse valvole à manchettes	50 cm.

##### 3.1.2 Tubi à manchettes da installare in perforazioni convenzionali rettilinee suborizzontali o variamente inclinate con lunghezza > 30 m

Materiale	PVC;
Diametro nominale	$\geq 1'' \frac{1}{2}$ ;
Spessore	$\geq 7.5$ mm;
Tipo di valvole à manchettes	esterne al tubo, con coppia di anelli di ritegno;
Interasse valvole à manchettes	50 cm.

##### 3.1.3 Tubi à manchettes da installare in perforazioni convenzionali rettilinee subverticali con lunghezza $\leq 30$ m

Materiale	PVC;
Diametro nominale	$\geq 1'' \frac{1}{8}$ ;
Spessore	$\geq 5$ mm;
Tipo di valvole à manchettes	esterne al tubo, con coppia di anelli di ritegno;
Interasse valvole à manchettes	50 cm.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

## 3.2 Chiodature in VTR

### 3.2.1 Elemento strutturale a piatti

Componenti resistenti	3 piatti in VTR 40x6 mm;
Componenti accessori	tubo à manchette in PVC, distanziatori, elementi di fissaggio dei piatti;
Carico nominale di rottura	$\geq 720$ kN;

## 3.3 Miscele per le iniezioni di permeazione

### 3.3.1 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	$0.4 \div 0.5$ ( $A/C = 2.5 \div 2.0$ );
Rapporto Bentonite/Acqua	$4 \div 5\%$ ;
Densità	teorica + 2% / -1%;
Viscosità Marsh	$\geq 40$ s;
Resa volumetrica	$\geq 99\%$ .

Le composizioni sono da intendersi indicative e dovranno essere meglio definite dall'Appaltatore mediante specifici campi prova.

### 3.3.2 Miscela di iniezione a base cementizia ad elevata penetrabilità

Cemento	CEM I, classe 52.5 (ad elevata finezza di macinazione);
Bentonite	limite liquido 300-400 e adeguata alla miscelazione con cemento;
Additivi	dispersante/antiflocculante 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	$0.33 \div 0.67$ ( $A/C = 3.0 \div 1.5$ );

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Rapporto Bentonite/Acqua	3 ÷ 6%;
Rapporto Additivo/Acqua	0.3 ÷ 0.6%;
Densità	teorica + 2% / -1%;
Viscosità Marsh	≤ 38 s;
Resa volumetrica	≥ 99%;
Resistenza a compressione 28gg	≥ 0.8 MPa.

Le composizioni sono da intendersi indicative e dovranno essere meglio definite dall'Appaltatore mediante specifici campi prova.

### 3.3.3 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 idrosilicati di calcio aventi struttura cristallina, stabile nel tempo, analoga a quella che si ottiene nella fase di idratazione e presa dei leganti idraulici;
Viscosità	≤ 10 cP (mPaxs);
Densità	≥ 1.30 kg/l;
Tempo di presa	45÷90 min;
Resistenza a compressione	≥ 0.5 MPa.

### 3.4 Miscela cementizia per jet grouting

Componenti	acqua e cemento
Tipo di cemento	qualsiasi CEM che soddisfa la UNI EN 197-1;
Rapporto Cemento/Acqua	1.00 ÷ 1.25 (A/C = 1.0 ÷ 0.8);
Densità	teorica + 2% / -1%;
Viscosità Marsh	≤ 35 s;
Resa volumetrica	≥ 80%;

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Le composizioni sono da intendersi indicative e dovranno essere meglio definite dall'Appaltatore mediante specifici campi prova.

### **3.5 Miscela cementizia per solidarizzazione armature jet grouting e chiodature al fronte**

Componenti	acqua e cemento
Tipo di cemento	qualsiasi CEM che soddisfa la UNI EN 197-1;
Rapporto Cemento/Acqua	1.67 ÷ 2.00 (A/C = 0.6 ÷ 0.5);
Densità	teorica + 2% / -1%;
Viscosità Marsh	≤ 120 s;
Resa volumetrica	≥ 98%.

Le composizioni sono da intendersi indicative e dovranno essere meglio definite dall'Appaltatore mediante specifici campi prova.



## 4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

L'analisi geotecnica ha evidenziato come i tratti oggetto di studio siano interessati dalle seguenti unità geotecniche:

- Unità 1: Terreno superficiale. Comprende riporti antropici superficiali, costituiti prevalentemente da ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa scarsamente addensati.
- Unità 2: Deposito fluvio-glaciale con ghiaia e sabbia da sciolta a debolmente cementata (cementazione compresa tra 0 e 25%).
- Unità 3: Deposito fluvio-glaciale con ghiaia e sabbia da debole a media cementazione (cementazione compresa tra 25 e 50%).
- Unità 4: Deposito fluvio-glaciale con ghiaia e sabbia da media ad alta cementazione (cementazione compresa tra 50 e 75%).
- Unità 5: Argille Azzurre. Limo argilloso-sabbioso-ghiaioso.
- Unità 6: Depositi del Villafranchiano. Limo sabbioso debolmente argilloso.
- Unità 7: Marne di S. Agata. Argille limose molto compatte e localmente litificate.

Nella Tabella 1 che segue si riporta la parametrizzazione geotecnica delle suddette unità, rimandando per maggiori dettagli alla specifica relazione geotecnica di progetto (doc. [1]):

**Tabella 1. Sintesi dei parametri geotecnici che caratterizzano il terreno**

Unità	Geologia	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Coesione c' (kPa)	Angolo di resistenza al taglio - $\phi'$ (°)	Modulo Elastico E (MPa)	Coeff. di Poisson (-)	Coefficiente permeabilità (m/s)
1	UID	18÷19	0	29÷31	12÷16	0.30	2·10 <sup>-5</sup> a 8·10 <sup>-6</sup>
2	AFR-INS	18÷19	10÷15	36÷38	150÷170	0.30	2·10 <sup>-5</sup> a 8·10 <sup>-6</sup>
3	AFR-INS	19÷20	30÷50	38÷40	170÷200	0.30	8·10 <sup>-6</sup> a 5·10 <sup>-6</sup>
4	AFR-INS	19÷20	50÷100	38÷40	200÷260	0.30	8·10 <sup>-6</sup> a 5·10 <sup>-6</sup>
5	FAA	19÷21	35÷40	22÷26	50÷80	0.35	2÷6·10 <sup>-9</sup>
6	SFR	18÷20	15÷25	30÷32	90÷100	0.35	5·10 <sup>-6</sup>
7	SAF	20÷21	25÷50	26÷28	100÷200	0.35	2÷6·10 <sup>-9</sup>



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

**NOTE relative alla Tabella 1:**

- 1) Il valore del coefficiente di permeabilità nell'Unità 1 (UID) è assimilato a quello degli strati immediatamente inferiori, tenuto conto della sua elevata variabilità granulometrica.
- 2) Lo stesso parametro per l'Unità 2 (AFR e INS) va inteso come valore minimo e per direzione di flusso orizzontale; per direzione di flusso verticale è di circa un ordine di grandezza inferiore.
- 3) Il valore di k nell'Unità 6 (SFR) è stimato in base alla granulometria del terreno.
- 4) Il valore di k per le Unità 5 e 7 (FAA e SAF) si basa sui risultati delle prove edometriche, con riferimento al terreno sovraconsolidato.

I terreni attraversati dalla galleria TBM EPB, che si estende per 5,6 km tra le progressive 6000 e 11600 circa, sono prevalentemente costituiti dalle sabbie e ghiaie delle Unità 2, 3 e 4 (che si differenziano tra loro per il differente grado di diffusione della cementazione), con l'eccezione solo della tratta tra le progressive 9300 e 10400, dove la galleria entra parzialmente o completamente (solo in corrispondenza del sottoattraversamento del fiume Dora) nelle argille limose molto compatte e localmente litificate (Marne di S. Agata) dell'Unità 7 (cfr. Profilo Geotecnico nel doc. [2]).

Nell'ambito dell'Unità 2, la sottounità 2B riportata sul Profilo Geotecnico individua corpi lenticolari, caratterizzati da sabbie e sabbie-limose addensate alternate a meno frequenti ghiaie. Dati i ridotti spessori, dell'ordine decimetrico, e le possibili variazioni latero-verticali di spessore e litologia, questa sottounità non è stata ritenuta rilevante dal punto di vista meccanico e deformativo e pertanto non è stata differenziata dall'Unità 2 ai fini della caratterizzazione geotecnica. Tuttavia, è da tenere in evidenza per la presenza di fini che possono avere una significativa influenza sulle problematiche esecutive.

In considerazione del fatto che: (a) sulla base dei risultati della specifica analisi di rischio basata sui cedimenti attesi ricavati dalle analisi di subsidenza e sugli indici di vulnerabilità degli edifici, tra le progressive 9775 e 10725 circa non sono stati individuati edifici che richiedono un consolidamento preventivo allo scavo della galleria con TBM; e che (b) tra le progressive 9300 e 9775 la galleria non si immerge per più di metà sezione nelle argille limose dell'Unità 7; si può dedurre che i terreni interessati dai consolidamenti propedeutici al passaggio della TBM lungo tutta la tratta sono esclusivamente costituiti dalle sabbie e ghiaie delle Unità 2, 3 e 4.

Dal punto di vista granulometrico, i terreni delle Unità 2, 3 e 4 presentano un fuso molto ampio. Atteso che la frazione prevalente è quella sabbioso-ghiaiosa, non è tuttavia trascurabile la frazione fine, che risulta variabile tra il 2% e il 30% nel gruppo 1 con 194 determinazioni (Figura 2) e tra il 5% e il 28% nel gruppo 2 con 62 determinazioni (Figura 3).



GHIAIE CON SABBIE DEBOLMENTE LIMOSE

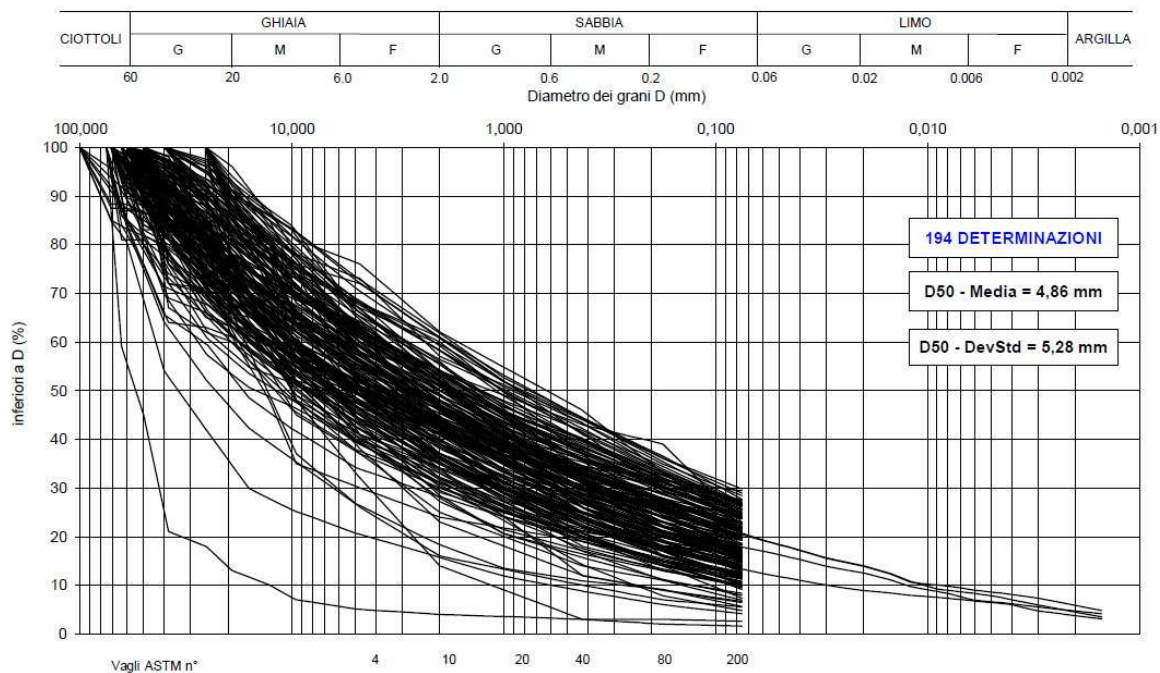


Figura 2. Gruppo n. 1 dei fusi granulometrici (Unità 2).

GHIAIE CON SABBIE DEBOLMENTE LIMOSE

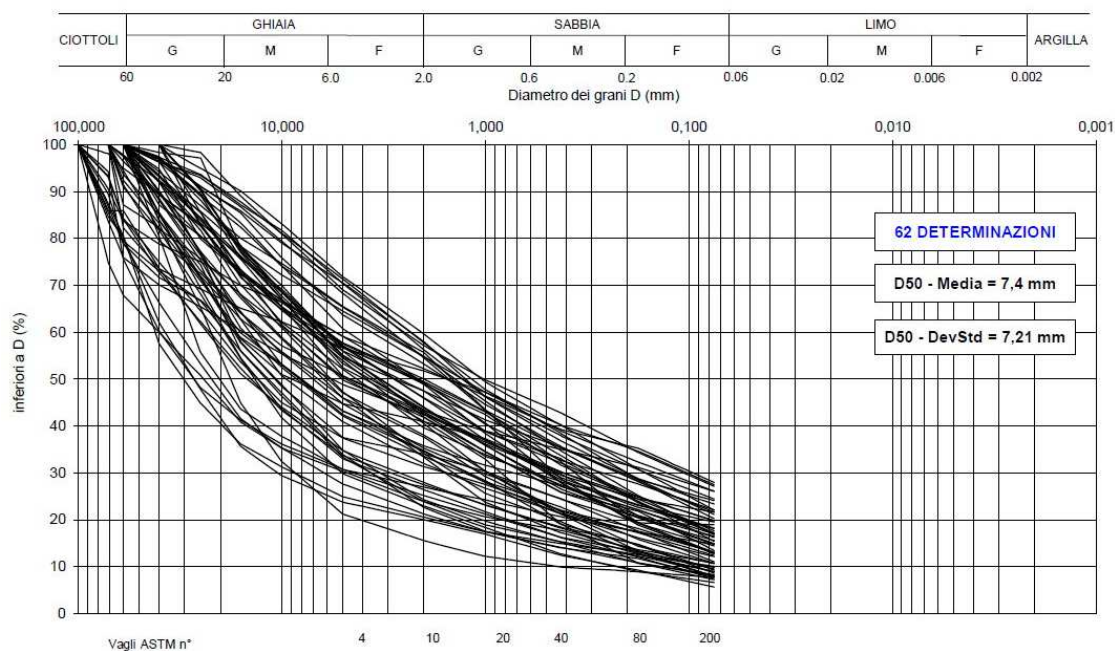


Figura 3. Gruppo n. 2 dei fusi granulometrici (Unità 2).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Le analisi granulometriche sono state tutte effettuate sui terreni dell'Unità 2, ma possono essere considerate rappresentative anche per le Unità 3 e 4, essendo le tre unità differenziate tra loro solamente per il grado di cementazione, ma non per la distribuzione granulometrica.

Per quanto concerne il coefficiente di permeabilità dei terreni delle Unità 2, 3 e 4, risulta che esso non sia particolarmente differenziato tra le 3 unità: in generale esso varia da  $2 \cdot 10^{-5}$  a  $8 \cdot 10^{-6}$  m/s. Inoltre, non viene individuata una variazione significativa dei valori di k in funzione della profondità.

Granulometria e permeabilità fungono da discriminante per la selezione della tecnologia più adeguata al consolidamento dei terreni.

Per quanto concerne il livello di falda, nello sviluppo del progetto delle opere di consolidamento si è fatto riferimento al livello di falda 2018.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

## 5. TECNOLOGIE PER IL CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI

### 5.1 Selezione delle tecnologie per il consolidamento dei terreni

Al fine di mitigare il rischio di cedimenti provocati dallo scavo della galleria con TBM, è concettualmente necessario:

- a) contenere al minimo il volume perso
- b) o, quantomeno, evitare che gli effetti del volume perso si propaghino fino alla fondazione degli edifici soprastanti da proteggere.

La soluzione a) rappresenta certamente la soluzione alla radice del problema, che garantisce il maggiore livello di sicurezza, per cui dovrebbe sempre essere selezionata ogni volta sia possibile o, comunque, quando la criticità del problema lo richieda. Vi sono tuttavia casi in cui non è possibile adottare questa soluzione, per cui si ricorre alla soluzione b); questa può anche essere selezionata nei casi in cui il livello di criticità non sia tale da richiedere necessariamente l'adozione di interventi che garantiscano il massimo della sicurezza.

La scelta delle tecnologie di consolidamento dei terreni è stata condizionata sia dalle caratteristiche dei terreni da trattare, sia dalle condizioni logistiche dei siti.

Sono state prese in esame le possibilità di adottare le tecnologie sia delle iniezioni per permeazione che del jet grouting. L'applicabilità della prima è prevalentemente condizionata da granulometria e permeabilità dei terreni, mentre per la seconda l'applicabilità è prevalentemente condizionata dal grado di addensamento e dalla cementazione dei terreni granulari e dalla compattezza dei terreni a grana fine.

Come discusso nel precedente § 4, i terreni delle Unità 2, 3 e 4 (che sono quelli interessati dai consolidamenti propedeutici allo scavo della galleria con TBM) presentano un fuso granulometrico molto ampio, con una frazione prevalente sabbioso-ghiaiosa, ma anche una non trascurabile percentuale di frazione fine, variabile tra il 2% e il 30%. Il coefficiente di permeabilità dei terreni delle Unità 2, 3 e 4 risulta variabile tra  $2 \cdot 10^{-5}$  a  $8 \cdot 10^{-6}$  m/s. Ambedue i parametri (granulometria e permeabilità) mettono in evidenza che i terreni in oggetto risultano ancora adeguati ad essere trattati mediante iniezioni di permeazione, ma a condizione che si utilizzino miscele cementizie ad elevata penetrabilità e, in particolare, miscele integrative a base silicatica.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Infatti, come si può osservare dai grafici riportati in Figura 4 e Figura 5, dove insieme ai fusi granulometrici dei terreni in situ sono riportate tre differenti curve limite di iniettabilità (per miscela cementizia standard, miscela cementizia ad elevata penetrabilità e miscela integrativa a base silicatica), risulta che relativamente ai terreni in situ delle Unità 2, 3 e 4:

- sono agevolmente iniettabili con una miscela cementizia standard solo quelli indentificati dalle curve granulometriche della parte inferiore del fuso;
- sono sostanzialmente iniettabili con una miscela cementizia ad elevata penetrabilità, confezionata con cemento 52.5 e additivo disperdente e antiflocculante, quelli indentificati dalle curve granulometriche contenute al di sotto della parte mediana del fuso;

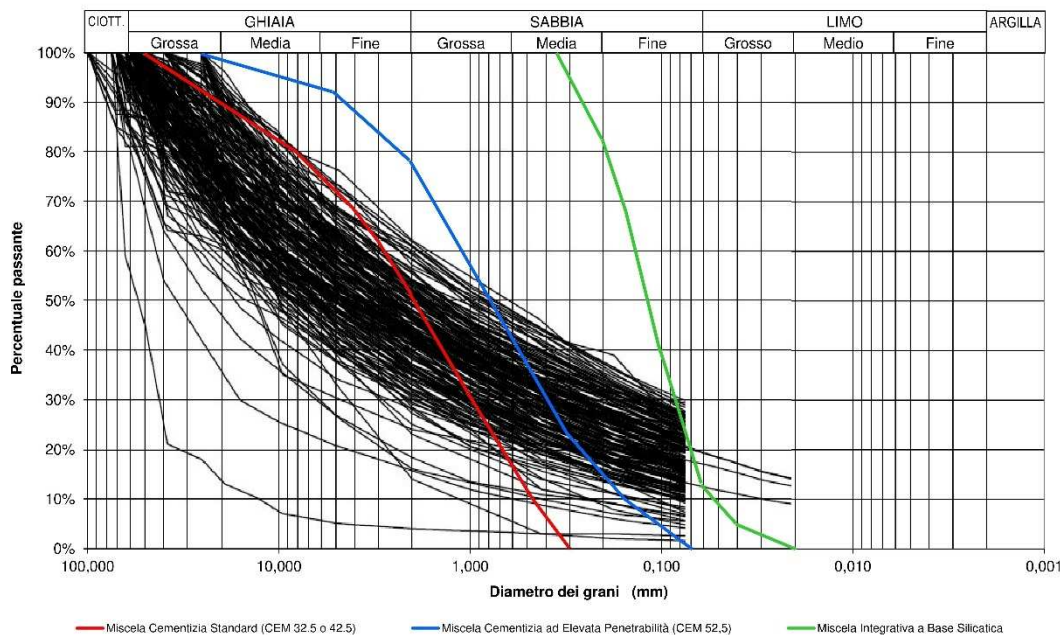
Se ci riferiamo ai terreni identificati dalle curve granulometriche della parte alta del fuso, che sono quelle più limitative in termini di iniettabilità, risulta che questi terreni:

- non sono iniettabili con una miscela cementizia standard (il 70-100% della curva rossa ha tratti di curve granulometriche della parte alta del fuso alla propria destra);
- sono difficilmente iniettabili con una cementizia ad elevata penetrabilità, confezionata con cemento 52.5 e additivo disperdente e antiflocculante, (il 45-55% della curva blu ha tratti di curve granulometriche della parte alta del fuso alla propria destra);
- sono sostanzialmente iniettabili con una miscela integrativa a base silicatica (anche se il 28-30% della curva verde ha ancora tratti di curve granulometriche della parte alta del fuso alla propria destra).

Data la significativa variabilità di granulometria incontrata tra i vari campioni prelevati lungo il percorso della linea, a varie profondità, e analizzati in laboratorio, è ragionevole adottare un approccio prudente e, pertanto, calibrare la scelta delle miscele di iniezione sulla base della fascia più alta del fuso granulometrico, ovvero quella più limitativa in termini di iniettabilità. Si è pertanto optato per una iniezione di permeazione eseguita:

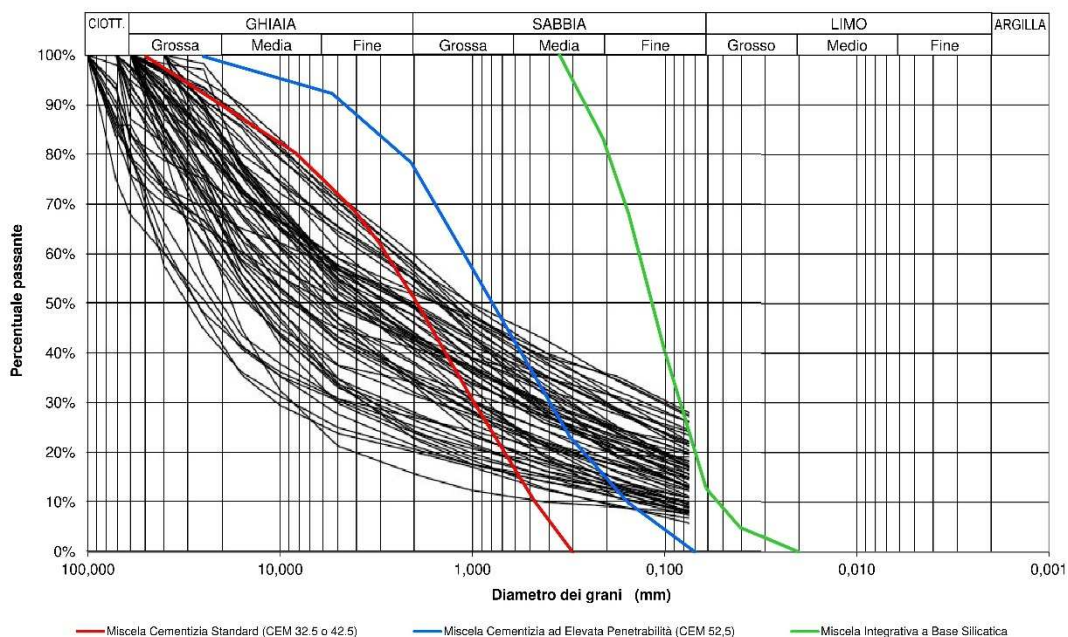
- in prima battuta, con una miscela cementizia ad elevata penetrabilità, che nei casi più sfavorevoli è certamente ai limiti della iniettabilità;
- in seconda battuta con una miscela integrativa a base silicatica, che invece risulta sostanzialmente iniettabile anche nei casi più sfavorevoli, rappresentati dalle curve granulometriche della fascia alta del fuso.

**Curve di iniettabilità dei terreni - GRUPPO 1**



**Figura 4. Curve di iniettabilità dei terreni dell'Unità 2 (anche 3 e 4) - Gruppo n. 1.**

**Curve di iniettabilità dei terreni - GRUPPO 2**



**Figura 5. Curve di iniettabilità dei terreni dell'Unità 2 (anche 3 e 4) - Gruppo n. 2.**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

D'altra parte, l'iniettabilità dei terreni granulari di Torino con miscele cementizie ad elevata penetrabilità e miscele integrative a base silicatica è confermata dalle precedenti esperienze maturate nei lavori della Linea 1 della metropolitana.

Per quanto concerne il jet grouting, esso può essere considerato applicabile ai terreni delle Unità 2, 3 e 4, con l'unica limitazione che i livelli cementati possono creare il cosiddetto "effetto ombra", ovvero in corrispondenza di livelli cementati le colonne non si possono formare (e, di fatto, non è necessario che si formino), ma ciò potrebbe inibire il consolidamento del terreno sciolto posto ai margini del livello di terreno cementato. Infatti, come noto, nel terreno di Torino la presenza della cementazione non è distribuita secondo livelli predefiniti, ma è assolutamente casuale, quindi possiamo normalmente trovare alternanza casuale di terreno cementato e non cementato, sia in senso verticale che orizzontale.

Anche in questo caso, le precedenti esperienze maturate nei lavori della Linea 1 della metropolitana ne confermano l'adeguatezza per il consolidamento dei terreni granulari di Torino.

Il secondo elemento discriminante per la scelta della più opportuna tecnologia di consolidamento è la condizione logistica dei siti oggetto di intervento. Possiamo grossolanamente distinguere i seguenti casi principali:

- la galleria passa al di sotto di una strada su cui si affacciano edifici su ambedue i lati o su uno dei due lati; in questo caso, quindi, gli edifici da proteggere non si trovano sulla verticale della galleria da scavare, ma ai lati;
- la galleria passa al di sotto di edifici al di fuori del centro storico, dove gli spazi in superficie sono relativamente ampi;
- la galleria passa al di sotto di edifici del centro storico, dove gli spazi in superficie tra gli edifici sono ridotti.

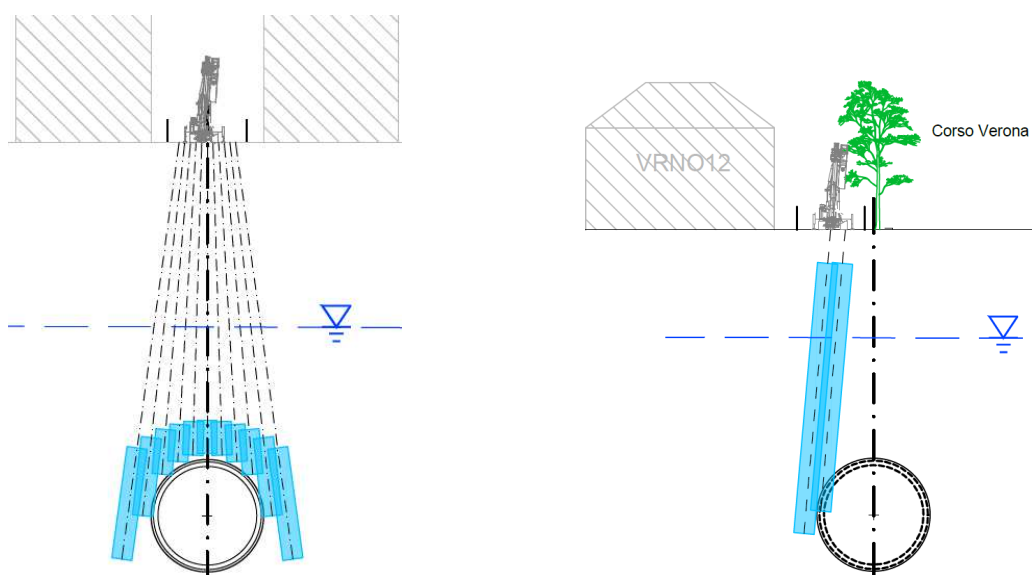
Vi sono due principali possibilità di intervento:

- a) Per minimizzare il volume perso si può ricorrere ad un guscio di protezione con terreno consolidato, immediatamente al contorno della galleria; in tal modo, la TBM scava all'interno di un terreno dotato di coesione, appunto fornita dal consolidamento, per cui risulta stabile in modo sufficiente da non provocare i franamenti che sono di norma all'origine del volume perso.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

b) Per evitare che gli effetti del volume perso si propaghino fino alla fondazione degli edifici soprastanti da proteggere, si può fare affidamento su opportune barriere (o cortine) di terreno consolidato che separino fisicamente le fondazioni degli edifici dalla galleria in scavo. Queste barriere possono essere realizzate sia in subverticale che in suborizzontale.

Quando il tracciato della galleria non passa al di sotto di edifici, ma sotto strade su cui si affacciano edifici, è stato possibile prevedere interventi da superficie, sia nel centro storico che al di fuori del 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 stati previsti 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. Un esempio delle due tipologie di intervento è rappresentato in Figura 6.



**Figura 6. Esempio di interventi "a capanna" e "a cortina subverticale".**

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, è stato ancora possibile prevedere interventi dalla superficie "a capanna". Scopo di questa tipologia di intervento è senza dubbio contenere al minimo il volume perso. Due possibili esempi di questa tipologia di intervento sono rappresentati in Figura 7.



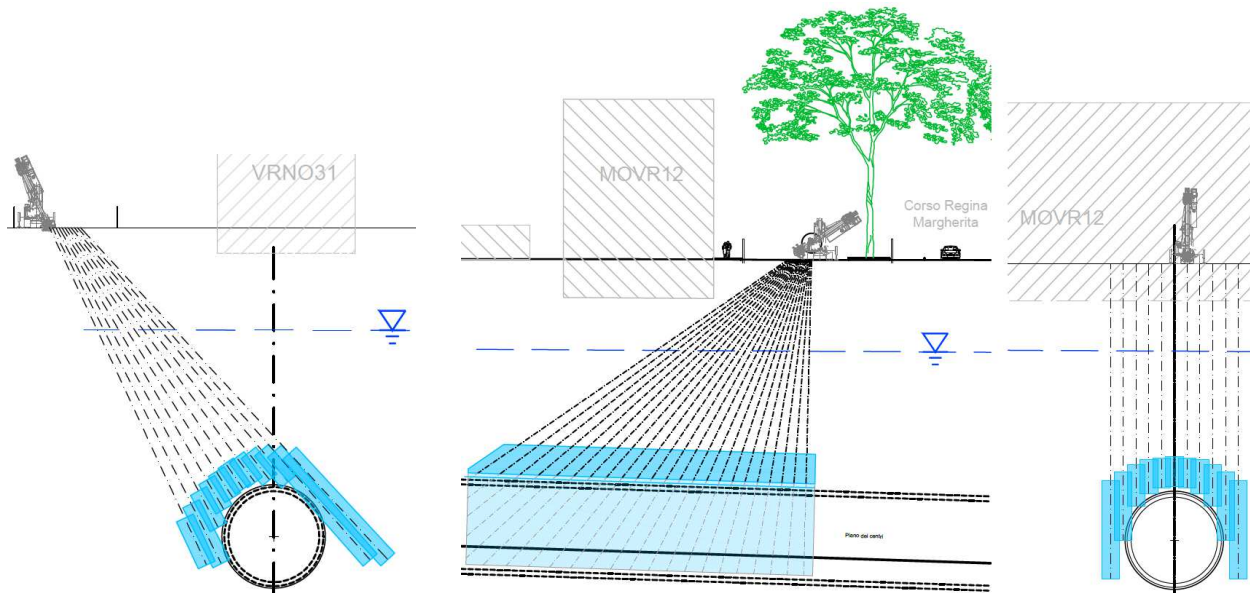
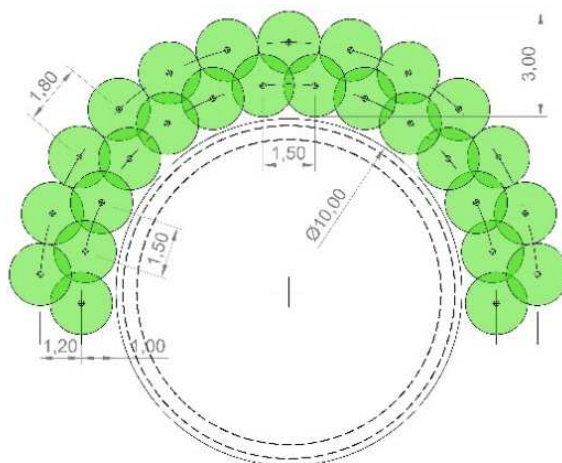


Figura 7. Esempi di interventi "a capanna" sotto edifici al di fuori del centro storico.

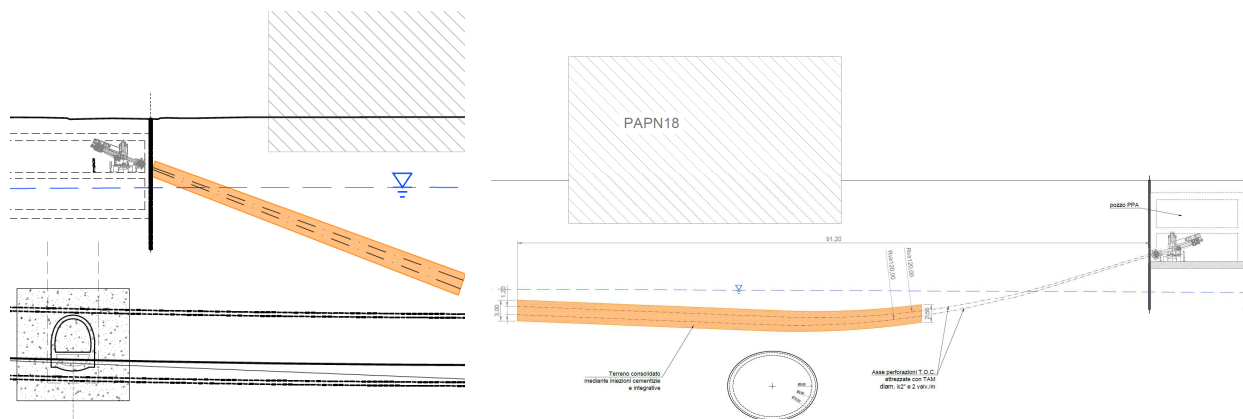
Nei casi in cui, invece, la galleria passa al di sotto di edifici del centro storico, dove gli spazi in superficie tra gli edifici sono ridotti e non consentono interventi dalla superficie, è stato necessario prevedere interventi da sotterraneo. A tale scopo, come punto di partenza per perforazioni e 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 aggiuntivi a carattere temporaneo: pozzi e cunicoli. Da questi manufatti (sia in progetto che aggiuntivi), quando sono ubicati in asse alla galleria, sono stati progettati interventi di consolidamento al contorno della galleria, eseguiti con perforazioni parallele al suo asse e disposte a doppia coronella sopra la calotta, fino almeno al piano dei centri. 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 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.

Scopo di questa tipologia di intervento è senza dubbio contenere al minimo il volume perso. Un esempio di questa tipologia di intervento è rappresentato in Figura 8.



**Figura 8. Esempio di intervento al contorno della costruenda galleria, eseguito da sotterraneo con perforazioni parallele all'asse della galleria.**

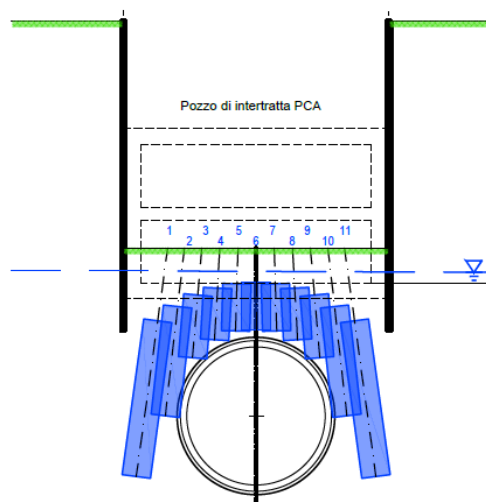
Nei casi in cui il manufatto non è in asse alla costruenda galleria, non è stato possibile adottare una geometria come quella appena descritta, ma si è dovuto ricorrere ad una geometria a cortina suborizzontale. È del tutto evidente che lo scopo di questa tipologia di intervento non è il contenimento al minimo del volume perso, ma la separazione fisica con una barriera di terreno consolidato tra fondazione degli edifici e galleria in fase di scavo. Due esempi di questa tipologia di intervento sono rappresentati in Figura 9.



**Figura 9. Esempi di interventi "a cortina suborizzontale" eseguiti da sotterraneo.**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

In un caso, da uno dei manufatti di intertratta è stato necessario prevedere un trattamento “a capanna” (Figura 10).




**Figura 10. Esempio di intervento “a capanna” da sotterraneo.**

Per tutti gli interventi da sotterraneo, alla luce delle geometrie molto complicate e delle straordinarie lunghezze delle perforazioni suborizzontali, si è optato per scartare la tecnologia del jet grouting (non applicabile in quelle condizioni) e si è scelta quella delle iniezioni di permeazione. Per uniformità, la stessa tecnologia è stata scelta anche per i trattamenti in subverticale da superficie.

Il jet grouting è invece stato selezionato per il consolidamento propedeutico allo scavo di due cunicoli di servizio a carattere temporaneo, la cui progettazione è stata necessaria per coprire con gli interventi di consolidamento aree altrimenti non raggiungibili in alcun modo. Per uno dei due cunicoli è stato previsto un trattamento “a capanna” dalla superficie con jet grouting bifluido, mentre per il secondo cunicolo è stato previsto un trattamento “a coronella in avanzamento dal fronte di scavo”, con jet grouting monofluido.

## 5.2 In merito all’esecuzione delle iniezioni di permeazione

Il Progetto Esecutivo delle iniezioni dovrà essere garantito e referenziato per quanto concerne sia i requisiti di iniettabilità ed efficacia del trattamento, sia la durabilità e stabilità nel tempo, sia la compatibilità con le vigenti norme di tutela ambientale.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Le iniezioni saranno realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio *packer* da posizionare su ciascuna valvola à manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive. È prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi à manchettes (TAM) saranno distinti come minimo in primari e secondari; talvolta si potranno prevedere anche fori terziari o addirittura quaternari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM della serie primaria adiacenti; allo stesso modo per gli eventuali terziari e quaternari, che non potranno essere perforati se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM della serie precedente adiacenti.

L'obiettivo minimo delle iniezioni sarà saturare la porosità del terreno con un volume unitario di miscele pari ad almeno il 15% del volume teorico del terreno da consolidare (somma tra cementizia e integrativa).

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

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

- l'iniezione cementizia di ciascuna valvola sarà arrestata quando si sia raggiunto 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 sarà 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.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

### 5.3 In merito all'esecuzione del jet grouting bifluido

Le perforazioni sono previste realizzate con metodo convenzionale e saranno tutte rettilinee e ad andamento subverticale o variamente inclinate. Esse saranno eseguite con gli utensili più appropriati alle caratteristiche dei terreni da attraversare, anche in considerazione della probabile diffusa presenza di "puddinga".

Per la perforazione, sarà impiegato un sistema di misura, acquisizione e registrazione dei parametri; saranno 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.

Per la realizzazione delle previste colonne di terreno consolidato con diametro nominale 1.20 m sarà adottato il metodo bifluido (miscela cementizia + aria compressa).


La sequenza esecutiva prevederà la suddivisione delle colonne in primarie, secondarie e terziarie; saranno eseguite dapprima tutte le colonne primarie; una colonna secondaria non potrà essere eseguita se non sarà stata completata la realizzazione di tutte le colonne primarie adiacenti; allo stesso modo, una colonna terziaria non potrà essere eseguita non sarà stata completata la realizzazione di tutte le colonne secondarie adiacenti.

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

Il livello di energia specifica di disgregazione e il contenuto specifico di cemento da adottare per la formazione delle colonne di progetto dovranno essere preventivamente definiti dall'Appaltatore mediante specifico campo prova.

Per la jet-iniezione sarà impiegato un sistema di misura, acquisizione e registrazione dei parametri; saranno 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, portata dell'aria compressa.

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.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Saranno adottati tutti gli accorgimenti necessari per contenere la dispersione del refluo sulla superficie e nell'ambiente circostante, aspetto particolarmente critico a causa della presenza dell'aria compressa come coadiuvante della miscela cementizia per la disgregazione del terreno.

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

#### **5.4 In merito all'esecuzione del jet grouting monofluido**

Le perforazioni sono previste realizzate con metodo convenzionale, operando da un piano di lavoro posto al di sopra della falda, e saranno tutte rettilinee e ad andamento suborizzontale (per le colonne al contorno) o inclinate (per le colonne sotto il piede delle centine). Esse saranno eseguite con gli utensili più appropriati alle caratteristiche dei terreni da attraversare, anche in considerazione della probabile diffusa presenza di "puddinga".

Per la perforazione sarà impiegato un sistema di misura, acquisizione e registrazione dei parametri; saranno 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.

Per la realizzazione delle previste colonne di terreno consolidato con diametro nominale 0.80 m sarà adottato il metodo monofluido (miscela cementizia sia come agente disgregante che stabilizzante).

Il trattamento di consolidamento al contorno del costruendo cunicolo è previsto con colonne disposte su doppia coronella. Sotto il piede delle centine, le colonne sono disposte su tre allineamenti paralleli, per ciascun piedritto.

La sequenza esecutiva per il trattamento al contorno prevederà la suddivisione delle colonne di ciascuna coronella in primarie, secondarie e terziarie; saranno eseguite dapprima tutte le colonne primarie (una ogni 4), poi, a seguire, tutte le colonne secondarie (una ogni 4 intermedie alle precedenti) e infine le colonne terziarie (una ogni 2, intermedie tra primarie e secondarie).

Nell'esecuzione del trattamento sotto il piede delle centine, per ciascun piedritto saranno eseguite dapprima le colonne degli allineamenti esterni e, a seguire quelle dell'allineamento centrale. Per ciascun allineamento si prevederà la suddivisione delle colonne in primarie e secondarie; saranno eseguite dapprima tutte le colonne primarie (una ogni 2), poi, a seguire, le colonne secondarie (una ogni due, intermedie alle precedenti).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

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

Il livello di energia specifica di disgregazione e il contenuto specifico di cemento da adottare per la formazione delle colonne di progetto dovranno essere preventivamente definiti dall'Appaltatore mediante specifico campo prova.

Per la jet-iniezione sarà impiegato un sistema di misura, acquisizione e registrazione dei parametri; saranno 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.

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.

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

Le colonne per il consolidamento al contorno saranno parzialmente armate (L=10 m). L'armatura dovrà essere installata mediante riperforazione della colonna, una volta che la miscela abbia completato presa. Le colonne sotto il piede delle centine saranno non armate.

Per il consolidamento al contorno, essendo le colonne ad andamento suborizzontale, prevalentemente con inclinazione verso l'alto, al termine della fase di jet-iniezione si dovrà provvedere alla installazione a bocca foro di un opportuno tappo di tenuta, al fine di evitare fenomeni di svuotamento della colonna.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

## 6. TECNOLOGIA DELLA TRIVELLAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA (T.O.C.)

### 6.1 Generalità sulla tecnologia T.O.C.

La tecnologia T.O.C. (Trivellazione Orizzontale Controllata o, in inglese, HDD – *Horizontal Directional Drilling*) è una metodologia alternativa *trenchless*, nata e sviluppata per consentire l'installazione in sotterraneo di condotte, offrendo numerosi vantaggi rispetto al metodo classico di posa con scavo a cielo aperto, in particolare quando si tratta di sottoattraversare corsi d'acqua, canali marittimi, vie di comunicazione, centri abitati, ecc.

La tecnologia T.O.C. si basa sul principio per cui:

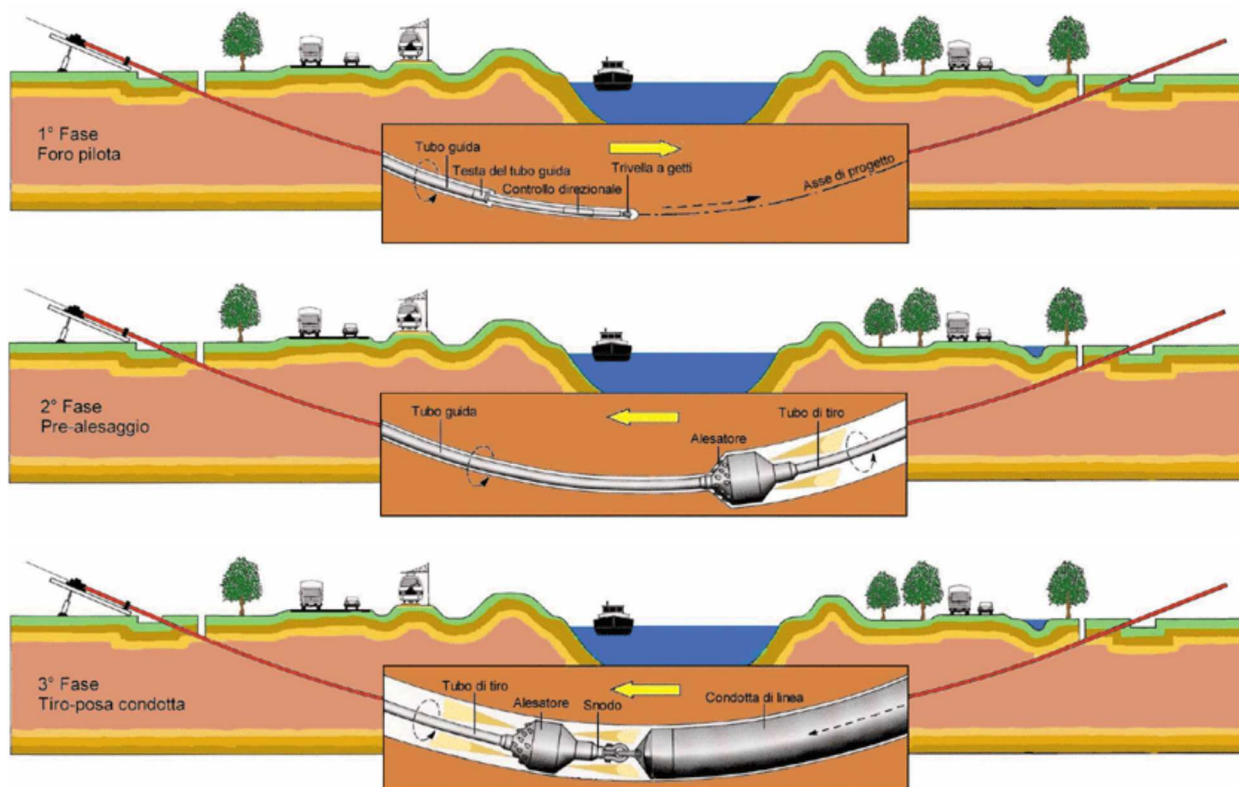
- la posizione dell'utensile di perforazione e la traiettoria da esso percorsa possono essere misurate e conosciute in tempo reale;
- la direzione può essere corretta mediante speciali utensili e punte di perforazione.

In tal modo, è possibile sia correggere eventuali deviazioni dall'asse teorico di progetto (che nelle perforazioni convenzionali è generalmente rettilineo), sia provocare intenzionalmente deviazioni dall'asse rettilineo per ottenere perforazioni ad andamento curvilineo, seguendo un'opportuna traiettoria di progetto.

La tecnologia delle perforazioni teleguidate, nella sua accezione classica, prevede le seguenti fasi operative (Figura 11):

- 1) trivellazione teleguidata di un foro pilota, seguendo la traiettoria di progetto fino al punto di uscita in superficie previsto;
- 2) alesatura del foro pilota, anche in più fasi, fino al diametro richiesto per l'installazione della condotta definitiva, a partire dal punto di uscita, tramite recupero della batteria di aste di perforazione equipaggiata in punta con opportuno alesatore;
- 3) installazione mediante tiro della condotta definitiva all'interno del foro pulito e integro così realizzato, a partire dal punto di uscita.






**Figura 11. Fasi operative di una perforazione teleguidata nella sua accezione classica.**

La localizzazione in tempo reale dell'utensile entro il terreno durante l'avanzamento della perforazione, e quindi la misura della posizione e la determinazione della traiettoria percorsa, può essere effettuata mediante diversi sistemi di guida, in funzione della profondità dal piano campagna, delle condizioni al contorno e della precisione richiesta. I principali sono:

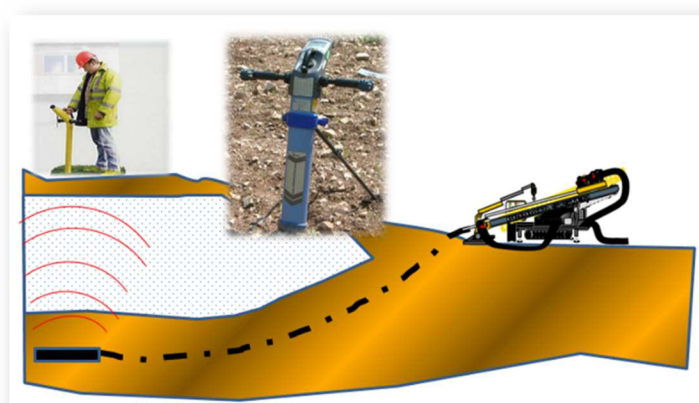
- sistemi di guida *walk over*
- sistemi di guida magnetici (MGS, acronimo di *Magnetic Guidance System*).

I sistemi *walk over*, più semplici, meno precisi e applicabili solo per profondità limitate e con particolari condizioni al contorno, si basano tipicamente sull'impiego di un trasmettitore radio, montato all'interno di un'asta dietro la punta di perforazione (*sond housing*), e di un opportuno ricevitore, manovrato in superficie da un operatore che, muovendosi in prossimità della verticale del trasmettitore di fondo foro (da qui il nome di sistema *walk-over*), rileva le onde radio generate dalla sonda in profondità (Figura 12).

Questi sistemi, che si distinguono per la semplicità di impiego ed il basso costo di acquisto ed utilizzo, hanno decisamente una bassa precisione, soffrono di possibili interferenze tra la sonda e

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

l'antenna ricevente dovuta a materiali, cavi elettrici, infrastrutture ed elementi metallici ed hanno come limite sostanziale la profondità di utilizzo. Se infatti l'antenna ricevente viene mossa (*walk over*) ad una distanza superiore i 15/25 metri, le onde radio trasmesse dalla sonda in profondità non riescono ad essere captate dal ricevitore in superficie e quindi la posizione della stessa non può essere riconosciuta.



**Figura 12. Schema di applicazione del metodo walk over.**

I sistemi magnetici (MGS - *Magnetic Guidance System*), più versatili e precisi, sfruttano per la misura i dati inviati da una speciale sonda, contenente una sofisticata sensoristica e alloggiata all'apice delle aste di perforazione, si orientano grazie ad un campo magnetico indotto artificialmente nei pressi della perforazione.

La sonda di misura è alloggiata all'interno di collari di perforazione amagnetici che, appositamente privati del magnetismo, allontanano per quanto possibile le interferenze di natura magnetica proprie dei materiali metallici di cui sono composte le aste di perforazione (poiché il sistema di guida necessita di una misurazione indisturbata del campo magnetico terrestre); la sonda è assicurata alle aste tramite due stabilizzatori che ne garantiscono la preservazione dalle vibrazioni.

La sonda di misura registra e trasmette, tramite filo, in continuo, tutti dati relativi alla sua posizione azimutale e zenitale all'ingegnere di guida (il tecnico incaricato della guida della perforazione).

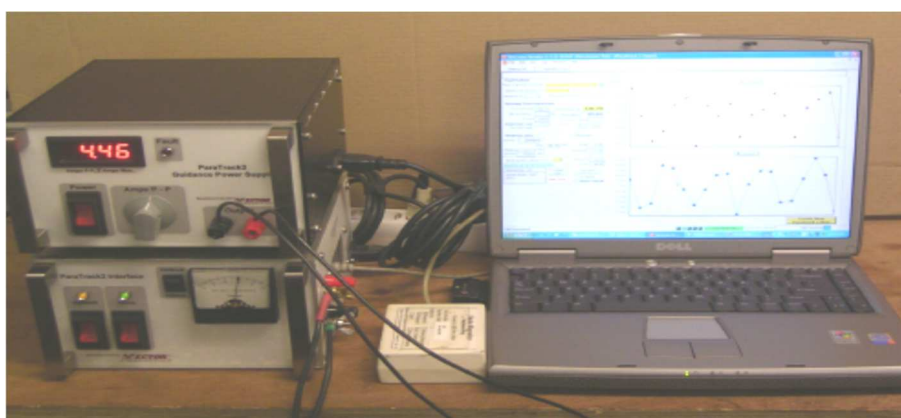
La sonda di misura è predisposta con una coppia di accelerometri tridimensionali 3G e 10G, che definiscono la corretta inclinazione per il foro pilota. Per definire invece la sua posizione nel piano (il destra/sinistra per intendersi) la sonda è dotata di un doppio controllo che ne garantisce l'assoluta fruibilità. Essa possiede infatti una bussola interna, in grado di rilevare il campo

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

magnetico terrestre, ed un magnetometro, che permette di individuare la sua posizione spaziale grazie al campo magnetico generato intenzionalmente da una apposita fonte magnetica.

Il collegamento della sonda di misura con la bocca foro è assicurato mediante uno speciale cavo per la trasmissione dei dati, alloggiato nella prima asta di perforazione e progressivamente allungato man mano che la lunghezza di perforazione si incrementa. Esso viene disconnesso, prolungato e riconnesso nuovamente ad ogni aggiunta di ulteriore asta. I dati viaggiano lungo il cavo e raggiungono l'unità di interfaccia e il computer portatile, dove la posizione dell'utensile di perforazione viene calcolata e visualizzata sullo schermo dell'operatore.

La tipica postazione dell'ingegnere di guida è illustrata in Figura 13, dove sono visibili due unità, entrambe collegate al computer: quella superiore, denominata "*Guidance Power Supply*", ha la funzione di energizzare tramite corrente alternata il conduttore generatore di campo magnetico; quella inferiore, denominata "*Interface Unit*", ha la funzione di fornire l'alimentazione di corrente alla sonda di misura.



**Figura 13. Tipica postazione dell'ingegnere di guida.**

Il campo magnetico, in funzione della distanza del sensore della sonda e delle condizioni al contorno, può essere indotto da un circuito chiuso adagiato su una superficie adiacente alla perforazione, oppure da una sorgente magnetica localizzabile ed inserita all'interno di un apposito foro sacrificale, pseudo-parallelo ai fori teleguidati da realizzare, la cui traiettoria effettiva può essere determinata a posteriori mediante misure con sistemi ottici e/o inclinometrici.

I suddetti metodi, ove applicabili, consentono all'ingegnere di guida di localizzare in tempo reale la posizione dell'utensile di perforazione, mediante controllo incrociato dei dati ricevuti dalla strumentazione di misura, e di fornire le necessarie informazioni all'operatore della perforatrice per guidare la perforazione.

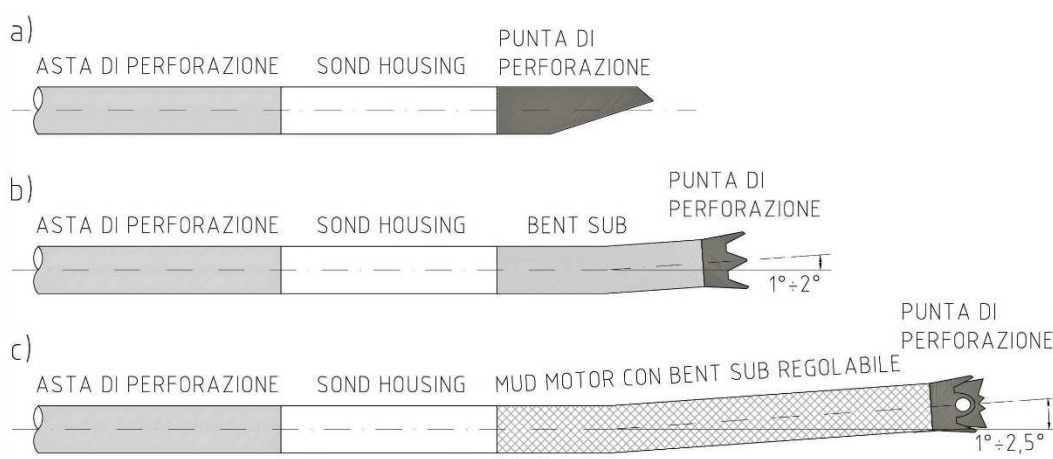
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

L'insieme delle misure consente la determinazione dell'angolo azimutale, dell'inclinazione sull'orizzontale, della posizione planimetrica e dell'orientamento della punta di perforazione (*tool face orientation*). Conoscendo in tempo reale la posizione temporanea della punta, è possibile in qualsiasi momento correggere o guidare la traiettoria, quando necessario.

Successivamente, le traiettorie misurate dei fori possono anche essere rielaborate e rappresentate in un modello 3D, consentendo di controllare la loro adeguatezza in rapporto ai requisiti richiesti dal progetto.

Per la realizzazione delle perforazioni teleguidate vengono utilizzati utensili di perforazione direzionabili, che devono la loro manovrabilità alla caratteristica asimmetria assiale; l'asimmetria può essere di due tipi: trasversale o longitudinale.

L'asimmetria trasversale è una caratteristica dell'utensile di perforazione, che tipicamente presenta in punta una superficie inclinata rispetto al suo asse di rotazione (Figura 14a): punte "a becco di flauto" o eccentriche. Per deviare è necessario interrompere temporaneamente la rotazione della batteria di perforazione, orientare opportunamente la punta e procedere esclusivamente a spinta: la deviazione avviene in virtù di tale asimmetria, perché durante la penetrazione senza rotazione, al contatto tra la superficie inclinata dell'utensile e terreno, si generano reazioni che, non agendo lungo l'asse longitudinale della batteria, danno origine a momenti flettenti di estremità ad azione deviante (momenti devianti).



**Figura 14. Schemi tipici di batterie di perforazione ad asimmetria trasversale e longitudinale.**

L'asimmetria longitudinale consiste invece in una distorsione (una deviazione angolare) del tratto terminale della batteria di perforazione rispetto all'asse longitudinale (Figura 14b e c). La distorsione si ottiene per interposizione di un giunto angolare (*bent sub*) con angolo predefinito

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

( $0^\circ \div 2.5^\circ$ ) tra aste e punta di perforazione. Questo elemento consente di selezionare la direzione di lavoro della punta. Orientando opportunamente la stessa mediante la batteria di aste, la perforazione può procedere a spinta e senza rotazione, avendo la punta operante nella nuova direzione da seguire. Questo tipo di asimmetria può essere utilizzato sia nella perforazione a rotazione (Figura 14b), sia nella perforazione idromeccanica, con *downhole mud motor* (Figura 14c), grazie alla capacità stessa dell'utensile di liberare la rotazione continua del tricono e la sua direzionalità.

L'utensile di perforazione viene selezionato in funzione del tipo di materiale da attraversare (terreni più o meno consistenti/compatti/addensati o rocce più o meno tenaci).

In presenza di terreni limo-argilloso-sabbiosi, si impiega normalmente un utensile "a becco di flauto" con ugello in punta per la disgregazione idrodinamica del terreno da attraversare, in gergo chiamato *jetting bit*, specifico appunto per terreni soffici (Figura 15)




**Figura 15. Tipico utensile di perforazione "a becco di flauto", in gergo chiamato jetting bit.**

In presenza di terreni più consistenti e compatti, viene di norma impiegato lo stesso tipo di punta, ma modificata con speciali picchi al carburo di tungsteno (Figura 16).



**Figura 16. Tipica punta "a becco di flauto", modificata con speciali picchi al carburo di tungsteno.**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

In presenza di terreni più tenaci e/o di consistenza litoide, può essere impiegata una punta composta da un tricono connesso da un *bent sub* o gomito (Figura 17). Questo tipo di assemblaggio è molto efficace nell'avanzamento, non incuneandosi nel terreno, e allo stesso tempo è capace di direzionare il foro grazie al gomito su cui è installato.



**Figura 17. Tipico assemblaggio di tricono su *bent sub*.**

Quando invece la consistenza dei terreni e/o la presenza di roccia non permette l'avanzamento in spinta e, pertanto, per le dovute correzioni sia necessario procedere mediante rotazione dell'utensile, si dovrà ricorrere alla perforazione idromeccanica con *downhole mud motor* o motore a fango (Figura 18). Si tratta di uno speciale motore idraulico a turbina, in grado di convertire l'energia idraulica fornita dal fluido di perforazione in energia meccanica alla punta. Ciò consente la rotazione della punta senza la necessità di ruotare le aste. Fondamentalmente, un *mud motor* consiste in uno statore a forma di spirale contenente un rotore a conformazione sinusoidale. La circolazione forzata del fluido di perforazione impartisce una rotazione al rotore, che è a sua volta collegato rigidamente alla punta di perforazione; quest'ultima, ruotando, taglia e disgrega meccanicamente il terreno e la roccia.



**Figura 18. Tipico downhole mud motor.**

Per tutte le applicazioni di perforazioni teleguidate, le aste devono essere specifiche per la tecnologia, realizzate in acciai speciali ad alta resistenza, con giunti di collegamento adeguati a sopportare le sollecitazioni indotte dal moto composto in presenza delle curvature di progetto.

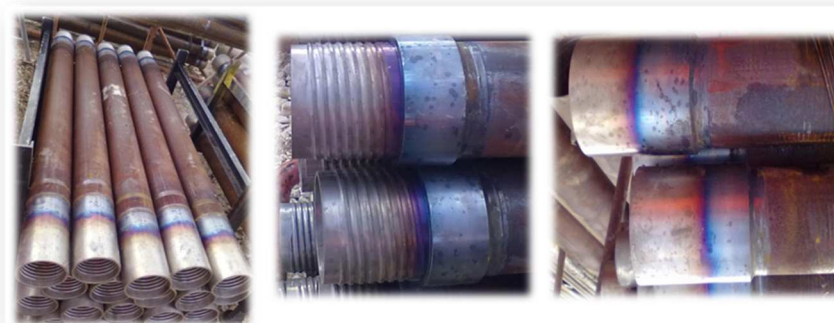
Nelle perforazioni teleguidate può essere necessario il rivestimento provvisorio del foro, per sostenere il terreno durante l'installazione della condotta e consentirne il libero scorrimento; in tal caso, un tubo di sezione adeguata può essere inserito:

- alla fine della perforazione, in estrazione simultaneamente all'estrazione delle aste di perforazione, quando il foro è passante;
- man mano che la perforazione avanza o al termine della perforazione, in avanzamento con il metodo *washing over* all'esterno della batteria di perforazione e ad essa concentrico, quanto il foro è cieco.

Qualora il rivestimento provvisorio del foro dovesse essere necessario per evitare eccessivi attriti sulle aste e/o sostenere il terreno durante la perforazione, deve essere sempre installato con il metodo *washing over*, anche nel caso del foro passante.

I rivestimenti speciali, in gergo denominati *wash pipe*, grazie ai particolari manicotti al cromo-molibdeno (Figura 19), riescono a copiare metro per metro la curva impostata precedentemente dal foro pilota, così rivestendo le aste a garantire il sostegno del foro pilota e l'inserimento finale del tubo/elemento specifico richiesto.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2



**Figura 19. Tipici rivestimenti *wash pipe*.**

## **6.2 La tecnologia T.O.C. applicata ai consolidamenti propedeutici allo scavo della galleria con TBM della MTL2**


Solo in tempi relativamente recenti l'applicazione della tecnologia T.O.C., nata per l'installazione di condotte in sotterraneo, si è estesa ad altri settori dell'ingegneria civile, con particolare riferimento ai lavori in sotterraneo, quali il consolidamento e il miglioramento delle caratteristiche dei terreni e delle rocce. Può quindi essere utilizzata per installare all'interno del terreno tubi drenanti, *tubi à manchettes* per iniezioni, sonde congelatrici, ecc., in funzione della tecnica di consolidamento prescelta in progetto.

L'applicazione della tecnologia T.O.C. al consolidamento dei terreni presenta alcune significative differenze rispetto all'applicazione classica per l'installazione di condotte:

- nella maggior parte dei casi le perforazioni non sono passanti, con fuoriuscita in superficie al punto di arrivo, ma cieche, ovvero si arrestano nel terreno in profondità; ciò implica complicazioni di non poco conto nell'installazione degli elementi necessari alle successive operazioni di consolidamento;
- i diametri dei tubi da installare sono sensibilmente più contenuti rispetto ai casi di installazione di condotte, per cui non è generalmente necessaria l'alesatura della perforazione pilota;
- di norma è necessario il rivestimento provvisorio del foro, per sostenere il terreno durante l'installazione degli elementi necessari alle successive operazioni di consolidamento.

Per le perforazioni T.O.C. previste in questo progetto per consentire l'installazione all'interno del terreno di *tubi à manchettes* (TAM), potranno essere utilizzate sia perforatrici specificamente progettate per le T.O.C., sia perforatrici di tipo convenzionale. Le prime sono più veloci sia nella realizzazione del foro pilota che nell'installazione del rivestimento, ma necessitano di maggiori



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

spazi di lavoro a disposizione e consentono di realizzare perforazioni con un angolo di incidenza rispetto all'orizzontale  $\leq 16-18^\circ$ . Le seconde, oltre a richiedere spazi più contenuti, consentono di impostare perforazioni con angoli di ingresso di qualsiasi tipo.

Le perforatrici specificamente progettate per le T.O.C. potrebbero essere più adatte ad operare dall'interno delle previste stazioni in costruzione (quando anche gli angoli di ingresso di progetto delle perforazioni siano compatibili con i loro cinematismi), mentre le perforatrici convenzionali potrebbero essere più adatte ad operare dall'interno di pozzi (di intertratta in progetto o di servizio aggiuntivi a carattere temporaneo) e cunicoli (di servizio a carattere temporaneo).

Qualsiasi sia la scelta, le perforatrici impiegate per le T.O.C. dovranno avere peso e potenza adeguati a realizzare le perforazioni con i diametri e le lunghezze previste in progetto.


Le perforazioni T.O.C. in progetto sono generalmente previste ad andamento parzialmente curvilineo. Le perforazioni dei tratti curvilinei nel piano verticale avranno un raggio di curvatura verticale  $R_v \geq 120$  m. Nei casi in cui vi sia simultaneamente una curvatura nel piano verticale e una curvatura planimetrica, il raggio combinato  $R_c$  sarà  $\geq 105$  m.

Il metodo costruttivo consiste nella realizzazione di una perforazione pilota, seguita dall'installazione del rivestimento provvisorio del foro, entro il quale sarà successivamente installato il TAM, previa estrazione della batteria di aste di perforazione.

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

Il rivestimento provvisorio del foro potrà essere installato o contestualmente alla realizzazione del foro pilota, man mano che il foro pilota avanza, o al completamento della perforazione pilota, qualora la stabilità del foro sia sufficientemente garantita dal fluido di perforazione stabilizzante. Il rivestimento provvisorio consisterà in tubi camicia o *wash pipe*, nella sua installazione sarà guidato dalle aste di perforazione già presenti nel foro. Il suo diametro interno sarà tale da consentire correttamente, e senza incastri, la successiva manovra di estrazione della batteria di perforazione del foro pilota e l'installazione del TAM.

Il fluido di perforazione è una delle peculiarità di questa applicazione; viene normalmente utilizzata una sospensione di bentonite o una sospensione di bentonite/polimero appositamente

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

messe a punto per lo scopo. Sarà compito dell'Appaltatore progettare la miscela con la composizione più opportuna.

La perforazione pilota sarà "filoguidata" per tutta la sua lunghezza, con l'assistenza continua di un ingegnere di guida. La localizzazione in tempo reale dell'utensile entro il terreno durante l'avanzamento della perforazione, e quindi il tracciamento della posizione e la determinazione della traiettoria percorsa, saranno effettuati mediante un sistema di guida di tipo magnetico MGS di ultima generazione.

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.

Il sistema di guida magnetico può essere applicabile con campo magnetico indotto o tramite stendimenti in superficie, quando praticabili, 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.

Completata la perforazione del foro pilota e con il foro completamente rivestito, si procederà all'estrazione della batteria di aste utilizzate per la realizzazione del foro pilota.

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

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

## 7. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PROPEDEUTICI ALLO SCAVO DELLA GALLERIA CON TBM

Gli interventi di consolidamento sono concepiti secondo svariate geometrie, studiate caso per caso in funzione delle condizioni al contorno e degli spazi disponibili in superficie. Sono previste 13 diverse tipologie di intervento, illustrate nella Tavola MTL2T1A2DPRCGT0T002 (doc. [5]) e descritte nei capitoli che seguono. L'applicazione delle varie tipologie di consolidamento lungo l'intera tratta oggetto della progettazione definitiva è rappresentata nelle Tavole MTL2T1A2DPRCGT0K001 (doc. [3]) e MTL2T1A2DPRCGT0T001 (doc. [4]), rispettivamente la planimetria e il profilo longitudinale con l'individuazione dei consolidamenti.

### 7.1 Consolidamento tipo C1

La tipologia di consolidamento C1 consiste in un trattamento a capanna, eseguito dalla superficie, mediante iniezioni di permeazione attraverso TAM installati tramite perforazioni subverticali (Figura 20).

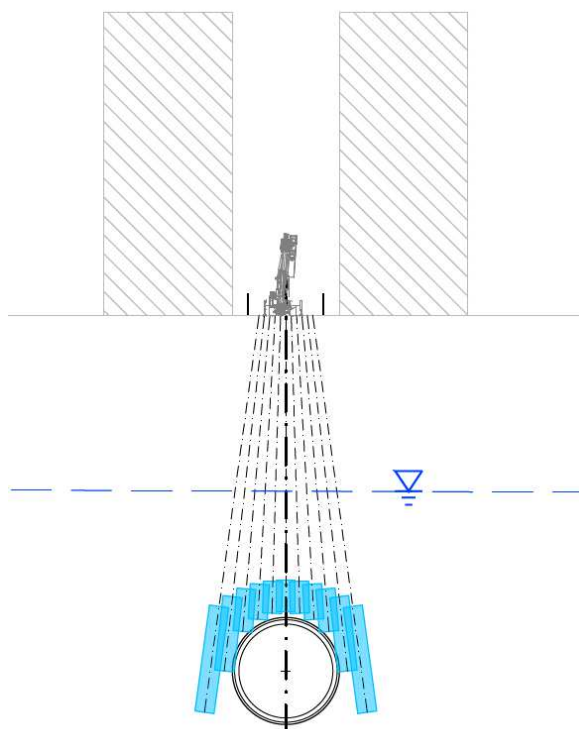


Figura 20. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C1.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Operando dalla superficie, alcune perforazioni potranno interferire con eventuali sottoservizi esistenti e non soggetti a deviazione, il cui esercizio dovrà essere mantenuto attivo. Si adotteranno preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione esecutiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di evitare e preservare i sottoservizi interferiti, i quali dovranno essere individuati preventivamente mediante scavi, rilievi e indagini da eseguirsi anche con l'ausilio di idonea strumentazione.

Le perforazioni saranno eseguite con metodo convenzionale, saranno tutte rettilinee e ad andamento subverticale.

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

Completata la perforazione, saranno estratte le aste di perforazione. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno foro e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

Le iniezioni saranno realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio *packer* da posizionare su ciascuna valvola à manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive. È prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi à manchettes sono previsti posizionati in modo tale da formare una capanna di protezione sulla costruenda galleria TBM. I TAM saranno distinti in primari, secondari, terziari e quaternari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti; allo stesso modo, un TAM terziario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM secondari adiacenti e un TAM quaternario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM terziari adiacenti.

La tipologia di consolidamento C1 è stata prevista in alcuni tratti di via Bologna, in via Lagrange e in via Pastrengo. Il dettaglio delle zone, delle progressive e dell'estensione delle tratte di applicazione della tipologia C1 è riepilogato nella Tabella 2.

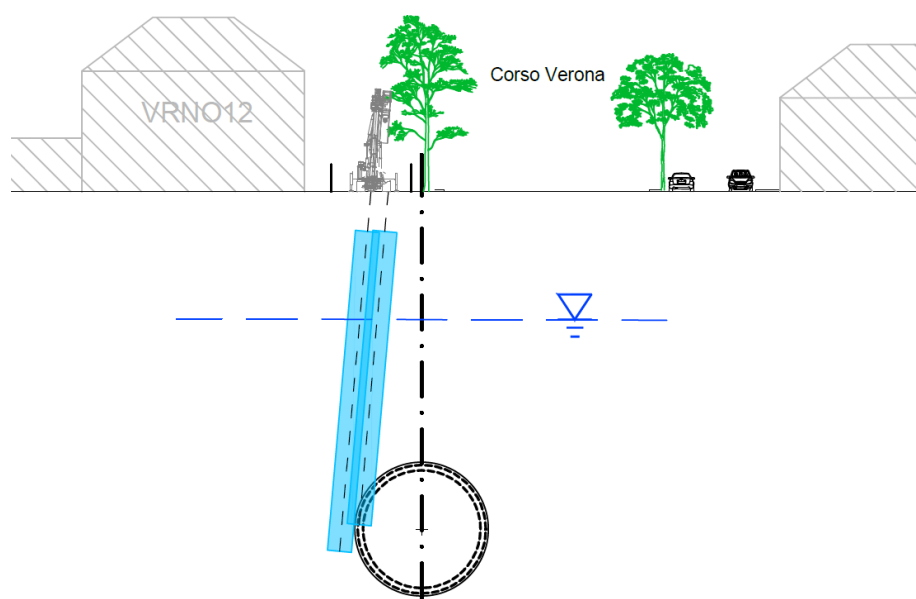
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

**Tabella 2. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C1.**


galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT1	11461,93	11588,34	126,41	via Bologna	MTL2T1A2DPRCGT0T003
	11377,21	11447,83	70,62	via Bologna	
	11310,42	11346,66	36,24	via Bologna	
GT5	8543,35	8606,30	62,95	via Lagrange	MTL2T1A2DPRCGT0T015
	8184,12	8530,35	346,23	via Lagrange	
GT6	7119,24	7349,20	229,96	via Pastrengo	MTL2T1A2DPRCGT0T020
GT7	6877,40	7022,84	145,44	via Pastrengo	

## 7.2 Consolidamento tipo C2

La tipologia di consolidamento C2 consiste in un trattamento a cortina subverticale, eseguito dalla superficie, mediante iniezioni di permeazione attraverso TAM installati tramite perforazioni subverticali (Figura 21).



**Figura 21. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C2.**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Anche in questo caso, operando dalla superficie, alcune perforazioni potranno interferire con eventuali sottoservizi esistenti e non soggetti a deviazione, il cui esercizio dovrà essere mantenuto attivo; si adotteranno preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione esecutiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di evitare e preservare i sottoservizi interferiti, i quali dovranno essere individuati preventivamente mediante scavi, rilievi e indagini da eseguirsi anche con l'ausilio di idonea strumentazione.

Le perforazioni saranno eseguite con metodo convenzionale, saranno tutte rettilinee e ad andamento subverticale.

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

Completata la perforazione, saranno estratte le aste di perforazione. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno foro e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

Le iniezioni saranno realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio *packer* da posizionare su ciascuna valvola à manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive. È prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi à manchettes sono previsti posizionati su due allineamenti subverticali paralleli. I TAM di ciascun allineamento saranno distinti in primari e secondari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti. In linea generale, l'allineamento di TAM esterno sarà iniettato per primo; i TAM dell'allineamento interno potranno essere perforati e iniettati soltanto al completamento dell'iniezione di quello esterno.

La tipologia di consolidamento C2 è stata prevista in alcuni tratti di via Bologna e di corso Verona. Il dettaglio delle zone, delle progressive e dell'estensione delle tratte di applicazione della tipologia C2 è riepilogato nella Tabella 3.

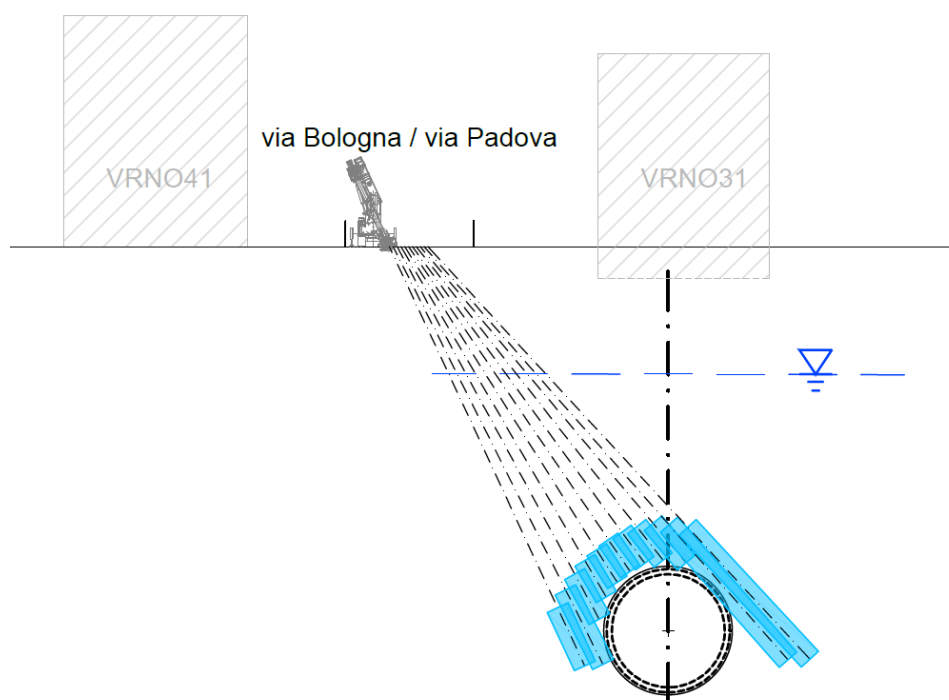
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

**Tabella 3. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C2.**

galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT1	11447,83	11461,93	14,10	via Bologna	MTL2T1A2DPRCGT0T004
	11346,66	11377,21	30,55	via Bologna	
	11288,36	11310,42	22,06	via Bologna	
GT2	11177,78	11191,96	14,18	via Bologna	
	11103,09	11141,27	38,18	via Bologna	
	10727,93	10821,70	93,77	corso Verona	MTL2T1A2DPRCGT0T007

### 7.3 Consolidamento tipo C3

La tipologia di consolidamento C3 consiste in un trattamento a capanna eseguito dalla superficie, mediante iniezioni di permeazione attraverso TAM installati tramite perforazioni variamente inclinate (Figura 22).



**Figura 22. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C3.**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Anche in questo caso, operando dalla superficie, alcune perforazioni potranno interferire con eventuali sottoservizi esistenti e non soggetti a deviazione, il cui esercizio dovrà essere mantenuto attivo; si adotteranno preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione esecutiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di evitare e preservare i sottoservizi interferiti, i quali dovranno essere individuati preventivamente mediante scavi, rilievi e indagini da eseguirsi anche con l'ausilio di idonea strumentazione.

Le perforazioni saranno eseguite con metodo convenzionale e saranno tutte rettilinee e variamente inclinate, per formare raggiere tra loro parallele ad avvolgere con il consolidamento la costruenda galleria di linea.

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


Completata la perforazione, saranno estratte le aste di perforazione. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno foro e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

Le iniezioni saranno realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio *packer* da posizionare su ciascuna valvola a manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive. È prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi a manchettes sono previsti posizionati in modo tale da formare una capanna di protezione sulla costruenda galleria TBM. I TAM saranno distinti in primari, secondari, terziari e quaternari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti; allo stesso modo, un TAM terziario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM secondari adiacenti e un TAM quaternario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM terziari adiacenti.

La tipologia di consolidamento C3 è stata prevista in un breve tratto di via Bologna, al di sotto dell'edificio VRNO31. Il dettaglio della zona, delle progressive e dell'estensione della tratta di applicazione della tipologia C3 è riepilogato nella Tabella 4.



 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

**Tabella 4. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C3.**

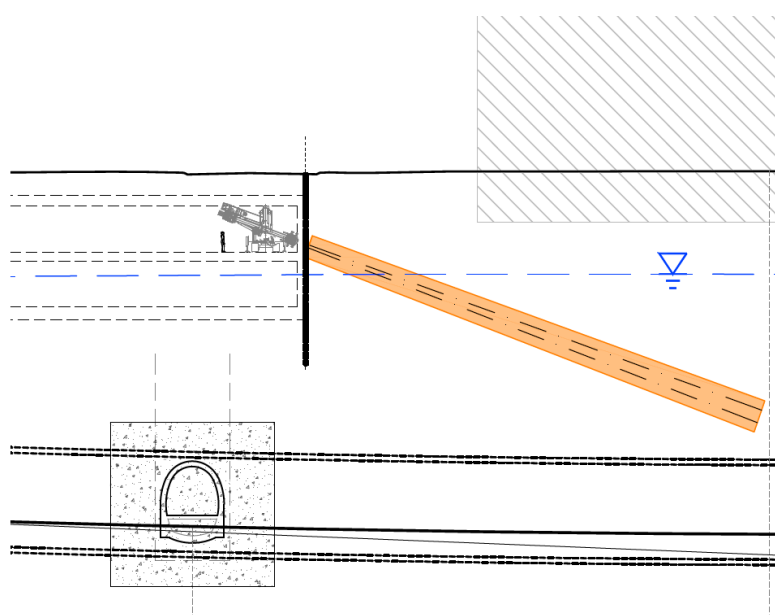
galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT2	11015,83	11051,52	35,69	via Bologna per edificio VRNO31	MTL2T1A2DPRCGT0T005

## 7.4 Consolidamento tipo C4

La tipologia di consolidamento C4 consiste in un trattamento a cortina inclinata, eseguito da pozzo di intertratta, mediante iniezioni di permeazione attraverso TAM installati tramite perforazioni convenzionali (Figura 23). Si opererà sempre da un piano di lavoro posto al di sopra della falda.

Le perforazioni attraverseranno l'opera di sostegno perimetrale del pozzo, costituita da una berlinese di micropali, la cui stabilità dovrà risultare comunque garantita. Si adotteranno preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione esecutiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di non tagliare i micropali della berlinese, in modo tale da non produrre un indebolimento dell'opera di sostegno.

Le perforazioni saranno eseguite con metodo convenzionale, saranno tutte rettilinee e con inclinazione di 20° rispetto all'orizzontale.



**Figura 23. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C4.**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

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

Completata la perforazione, saranno estratte le aste di perforazione. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno foro e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

Le iniezioni saranno realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio *packer* da posizionare su ciascuna valvola a manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive. È prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi a manchettes sono previsti posizionati su due livelli. I TAM di ciascun livello saranno distinti in primari e secondari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti. In linea generale, il livello di TAM superiore sarà iniettato per primo; i TAM del livello inferiore potranno essere perforati e iniettati soltanto al completamento dell'iniezione del livello superiore.

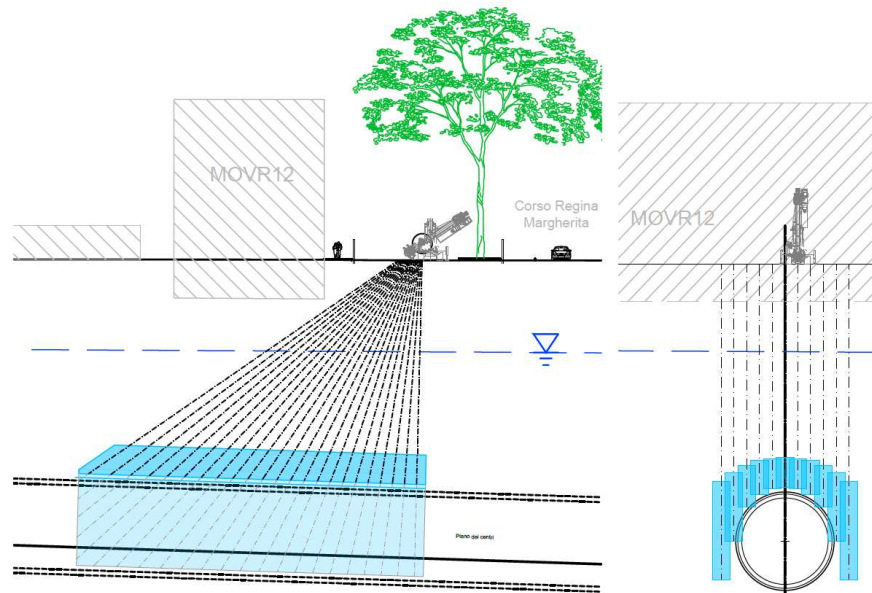
La tipologia di consolidamento C4 è stata prevista a partire dal pozzo di intertratta PVR, al di sotto di parte dell'edificio VRNO25, ubicato in via Carlo Pedrotti. Il dettaglio della zona, delle progressive e dell'estensione della tratta di applicazione della tipologia C4 è riepilogato nella Tabella 5.

**Tabella 5. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C4.**

galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT2	10890,45	10931,71	41.26	Da PVR per edificio VRNO25	MTL2T1A2DPRCGT0T006

## 7.5 Consolidamento tipo C5

La tipologia di consolidamento C5 consiste in un trattamento a capanna, eseguito da superficie, mediante iniezioni di permeazione attraverso TAM installati tramite perforazioni disposte su raggiere inclinate e a ventaglio (Figura 24).



**Figura 24. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C5.**

Operando dalla superficie, alcune perforazioni potranno interferire con eventuali sottoservizi esistenti e non soggetti a deviazione, il cui esercizio dovrà essere mantenuto attivo; si adotteranno preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione esecutiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di evitare e preservare i sottoservizi interferiti, i quali dovranno essere individuati preventivamente mediante scavi, rilievi e indagini da eseguirsi anche con l'ausilio di idonea strumentazione.

Le perforazioni saranno eseguite con metodo convenzionale, saranno tutte rettilinee e variamente inclinate, per formare raggiere tra loro parallele ad avvolgere con il consolidamento la costruenda galleria di linea e ad andamento subverticale.

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

Completata la perforazione, saranno estratte le aste di perforazione. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno foro e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi à manchettes sono previsti posizionati in modo tale da formare una capanna di protezione sulla costruenda galleria TBM. I TAM saranno distinti in primari, secondari, terziari e quaternari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti; allo stesso modo, un TAM terziario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM secondari adiacenti e un TAM quaternario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM terziari adiacenti.

La tipologia di consolidamento C5 è stata prevista al di sotto di parte dell'edificio MOVR12, per la parte prospiciente corso Regina Margherita. Il dettaglio della zona, delle progressive e dell'estensione della tratta di applicazione della tipologia C5 è riepilogato nella Tabella 6.

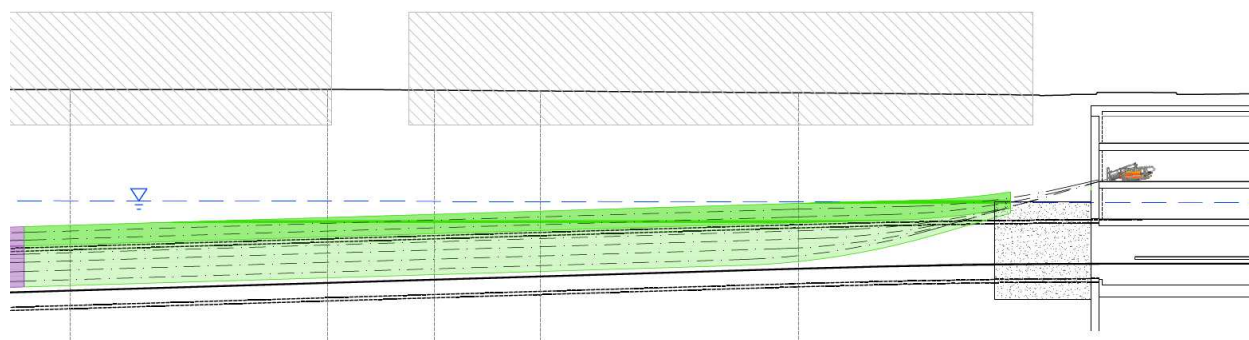
**Tabella 6. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C5.**

galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT3	9739,19	9774,51	35,32	c.so Regina Margherita per edificio MOVR12	MTL2T1A2DPRCGT0T008

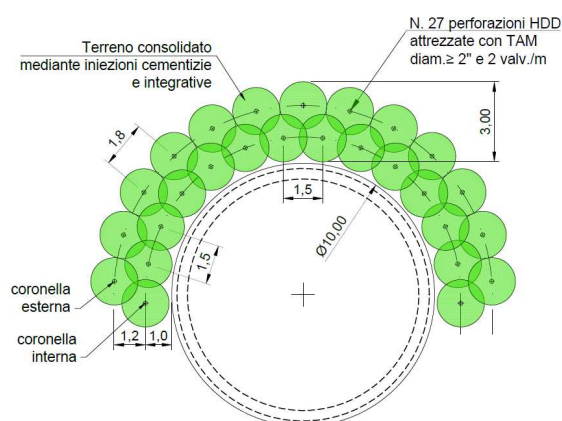
## 7.6 Consolidamento tipo C6

La tipologia di consolidamento C6 consiste in un trattamento di calotta eseguito da stazione, mediante iniezioni di permeazione attraverso TAM installati tramite perforazioni T.O.C. (Trivellazione Orizzontale Controllata) curvilinee nella loro parte iniziale (Figura 25). Il consolidamento del terreno sarà ottenuto mediante una doppia coronella di TAM, quella interna costituita da 14 fori e quella esterna da 13 (Figura 26).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2




**Figura 25. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C6: sezione longitudinale.**



**Figura 26. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C6: sezione trasversale tipica.**

Tutte le perforazioni previste per questa tipologia di consolidamento saranno eseguite dal solaio di stazione più profondo disponibile sopra falda; tale solaio è dimensionato per sopportare il peso di attrezzature fino a 25 t.

Le perforazioni attraverseranno il diaframma perimetrale, la cui stabilità dovrà risultare comunque sempre garantita. Si dovranno pertanto adottare preliminarmente tutti gli accorgimenti, fin dalla fase della progettazione esecutiva delle gabbie d'armatura, per evitare il taglio di barre di armatura con conseguente indebolimento della sezione resistente del diaframma. In sede di PE le gabbie di armatura dovranno essere progettate in modo tale che, alle profondità a cui sono previste le perforazioni di consolidamento, siano verificate le seguenti condizioni: (a) l'interspazio tra le barre di armatura sia tale da consentire il passaggio delle previste perforazioni; (b) gli interspazi lato terreno siano speculari rispetto a quello previsti lato scavo. In fase esecutiva, prima di procedere con il carotaggio del diaframma si eseguirà localmente la scarifica del copriferro, in modo da posizionare le perforazioni negli interspazi liberi dalle armature.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Le perforazioni saranno teleguidate mediante tecnologia T.O.C., 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 rivestimento provvisorio del foro potrà essere installato o contestualmente alla realizzazione del foro pilota, man mano che il foro pilota avanza, o al completamento della perforazione pilota, qualora la stabilità del foro sia sufficientemente garantita in corso di perforazione dal fluido stabilizzante.

Completata la perforazione del foro pilota e con il foro completamente rivestito, si procederà all'estrazione della batteria di aste utilizzate per la realizzazione del foro pilota. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno del rivestimento provvisorio e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

Le iniezioni saranno realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio *packer* da posizionare su ciascuna valvola a manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive. È prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi a manchettes sono previsti posizionati su due coronelle concentriche. I TAM di ciascuna coronella saranno distinti in primari e secondari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti. In linea generale, la coronella esterna sarà iniettata per prima; i TAM di quella interna potranno essere perforati e iniettati soltanto al completamento dell'iniezione della coronella esterna.

La tipologia di consolidamento C6 è stata prevista a partire da un lato della stazione Mole - Giardini Reali e da ambedue i lati delle stazioni Carlo Alberto e Porta Nuova. Il dettaglio delle zone, delle progressive e dell'estensione delle tratte di applicazione della tipologia C6 è riepilogato nella Tabella 7.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

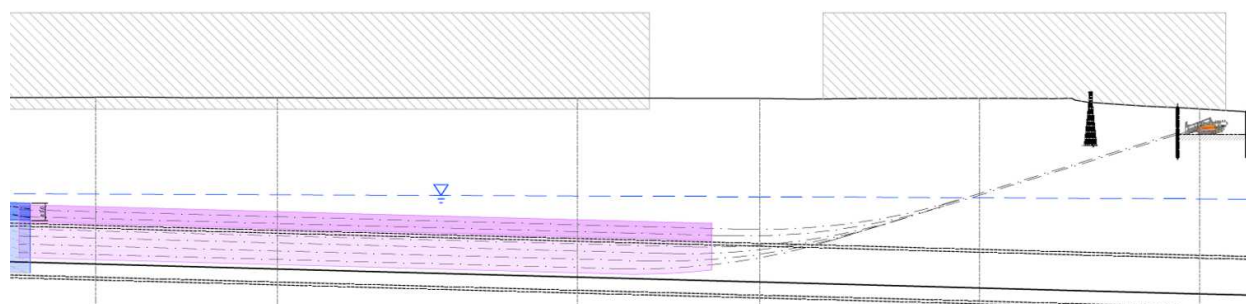
**Tabella 7. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C6.**

galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT3	9556,62	9719,36	162,74	da SMO verso Nord	MTL2T1A2DPRCGT0T009
GT4	8986,07	9124,77	138,70	da SCA verso Nord	MTL2T1A2DPRCGT0T012
GT5	8732,55	8887,47	154,92	da SCA verso Sud	MTL2T1A2DPRCGT0T013
GT6	7874,42	7906,62	32,20	da SPN verso Sud-1	MTL2T1A2DPRCGT0T017
	7767,23	7805,23	38,00	da SPN verso Sud-2	

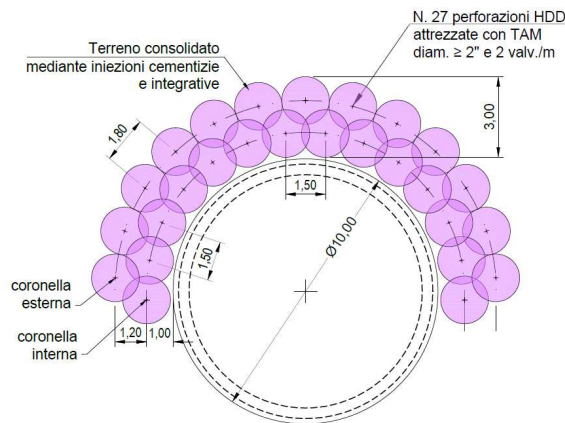
## 7.7 Consolidamento tipo C7

La tipologia di consolidamento C7 consiste in un trattamento di calotta eseguito da pozzo aggiuntivo a carattere temporaneo, mediante iniezioni di permeazione attraverso TAM installati tramite perforazioni T.O.C. curvilinee nel loro tratto iniziale. (Figura 27).

Il consolidamento del terreno sarà ottenuto mediante una doppia coronella di TAM, quella interna costituita da 14 fori e quella esterna da 13 (Figura 28).



**Figura 27. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C7: sezione longitudinale.**



**Figura 28. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C7: sezione trasversale tipica.**

Si opererà sempre da un piano di lavoro posto al di sopra della falda.

Le perforazioni attraverseranno l'opera di sostegno perimetrale del pozzo, costituita da una berlinese di micropali, la cui stabilità dovrà risultare comunque sempre garantita. Si adotteranno preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione costruttiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di non tagliare i micropali della berlinese, in modo tale da non produrre un indebolimento dell'opera di sostegno.

Le perforazioni saranno teleguidate mediante tecnologia T.O.C., 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 rivestimento provvisorio del foro potrà essere installato o contestualmente alla realizzazione del foro pilota, man mano che il foro pilota avanza, o al completamento della perforazione pilota, qualora la stabilità del foro sia sufficientemente garantita in corso di perforazione dal fluido stabilizzante.

Completata la perforazione del foro pilota e con il foro completamente rivestito, si procederà all'estrazione della batteria di aste utilizzate per la realizzazione del foro pilota. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno del rivestimento provvisorio e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

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

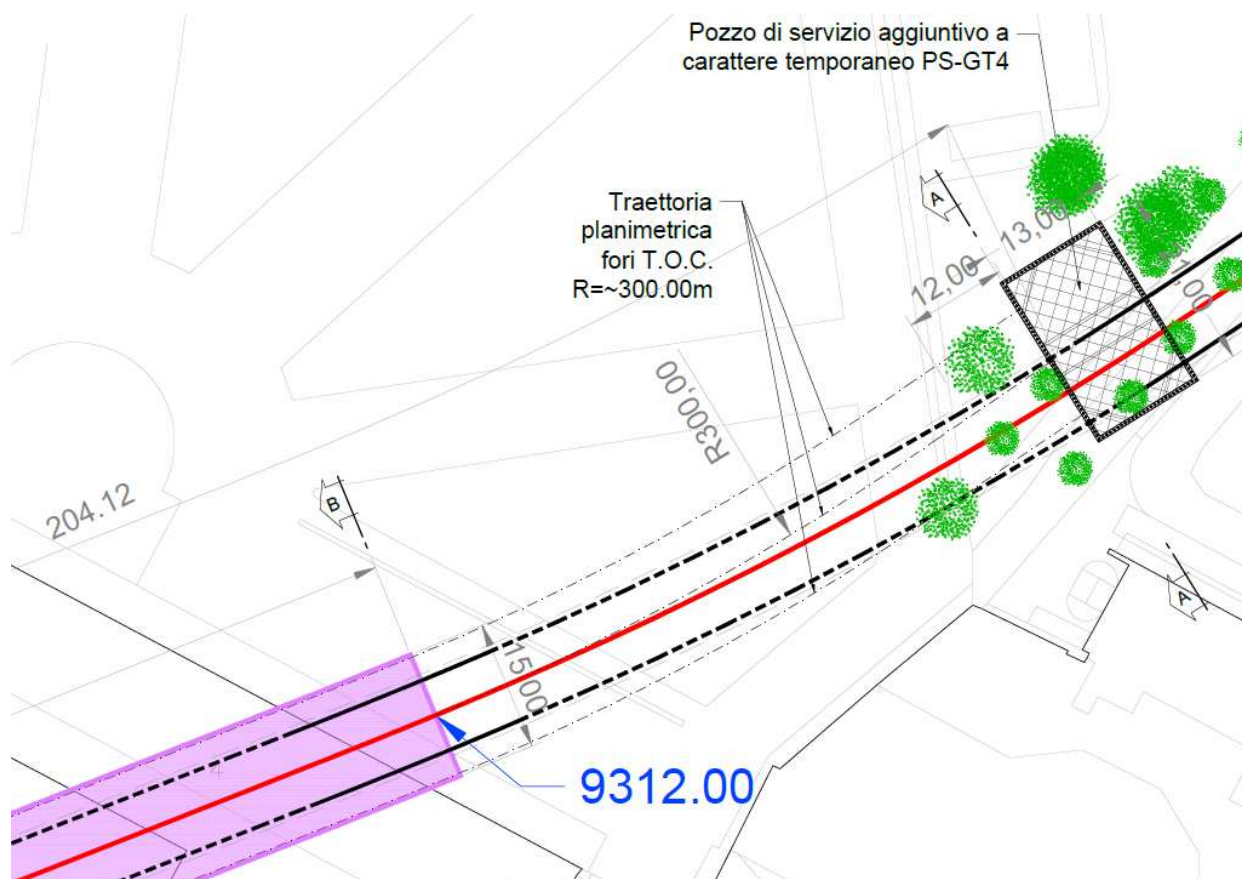


 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi à manchettes sono previsti posizionati su due coronelle concentriche. I TAM di ciascuna coronella saranno distinti in primari e secondari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti. In linea generale, la coronella esterna sarà iniettata per prima; i TAM di quella interna potranno essere perforati e iniettati soltanto al completamento dell'iniezione della coronella esterna.

La tipologia di consolidamento C7 è stata prevista a partire dai pozzi aggiuntivi a carattere temporaneo PS-GT4, ubicato in prossimità di piazza Carlo e Sigismondo Rossaro (Figura 29), e PS2-GT7, ubicato in piazzale Duca d'Aosta (Figura 30).



**Figura 29. Planimetria dell'area in cui è ubicato il pozzo PS-GT4.**

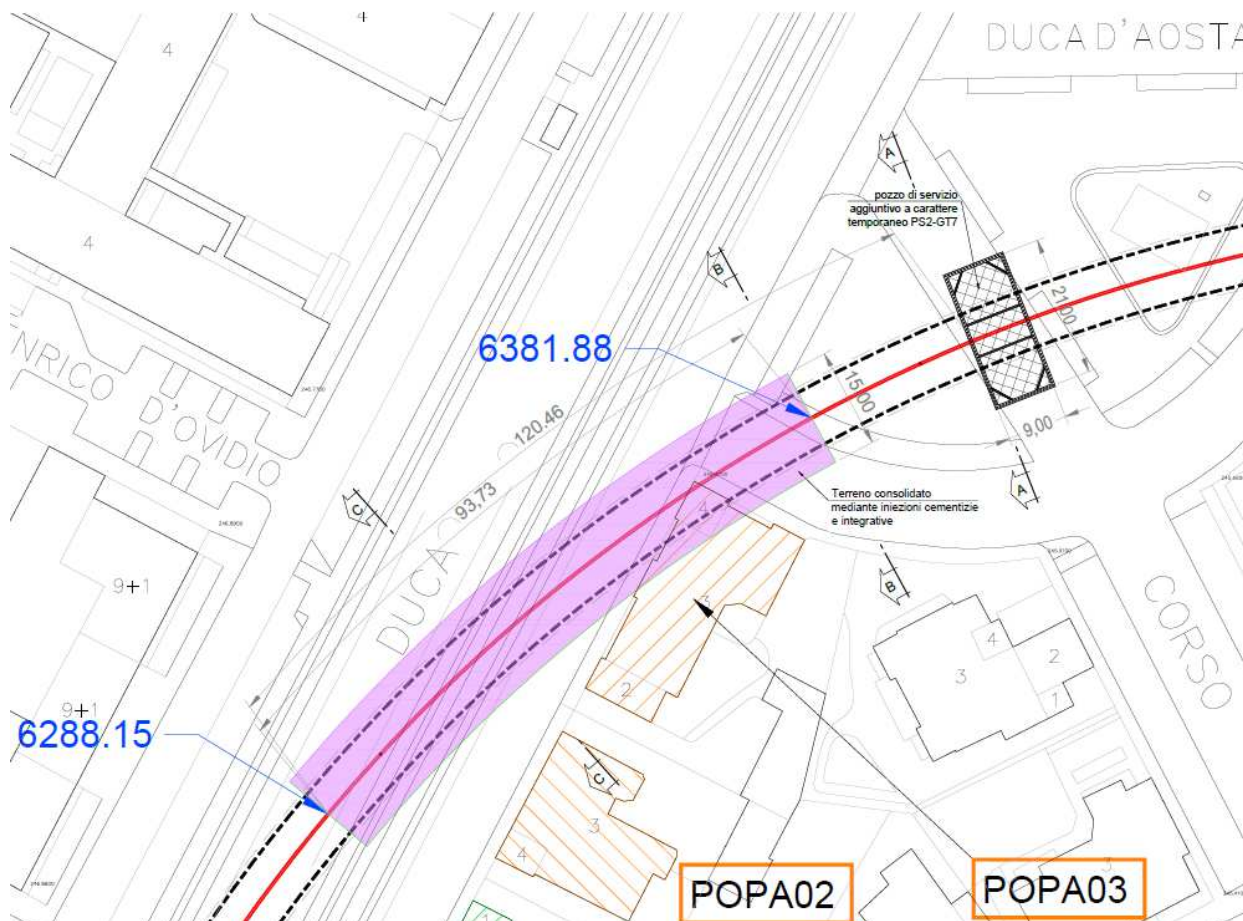


Figura 30. Planimetria dell'area in cui è ubicato il pozzo PS2-GT7.

Il dettaglio delle zone, delle progressive e dell'estensione delle tratte di applicazione della tipologia C7 è riepilogato nella Tabella 8.

Tabella 8. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C7.

galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT4	9190,00	9312,00	122,00	da PS-GT4	MTL2T1A2DPRCGT0T010
GT7	6288,15	6381,88	93,73	da PS2-GT7	MTL2T1A2DPRCGT0T023



## 7.8 Consolidamento tipo C8

La tipologia di consolidamento C8 consiste in un trattamento di calotta eseguito da cunicolo di servizio a carattere temporaneo, mediante iniezioni di permeazione attraverso TAM installati tramite perforazioni T.O.C. curvilinee nel loro tratto iniziale (Figura 31).

Il consolidamento del terreno sarà ottenuto mediante una doppia coronella di TAM, quella interna costituita da 14 fori e quella esterna da 13 (Figura 32).

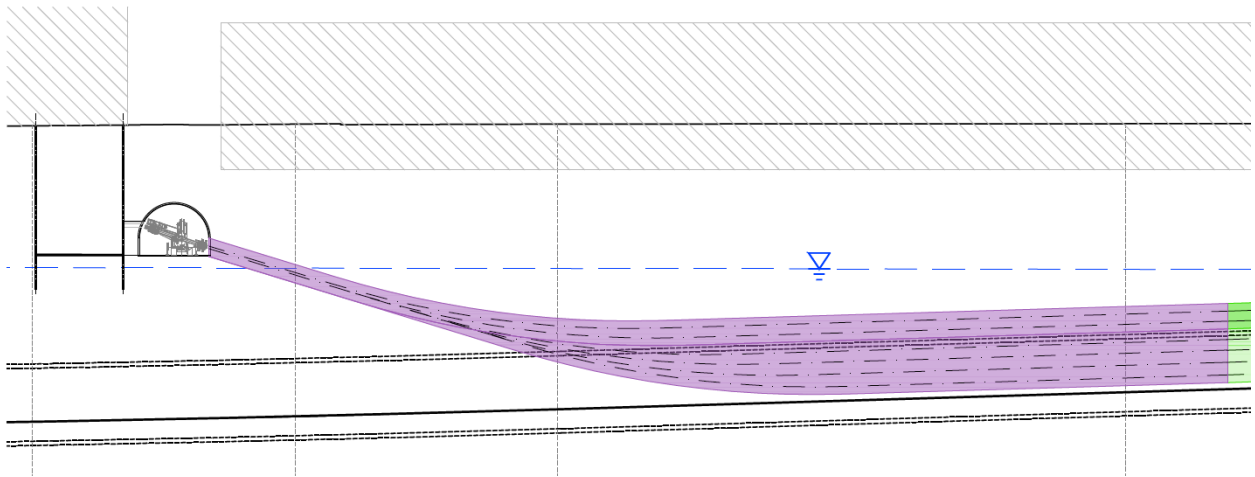


Figura 31. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C8: sezione longitudinale.

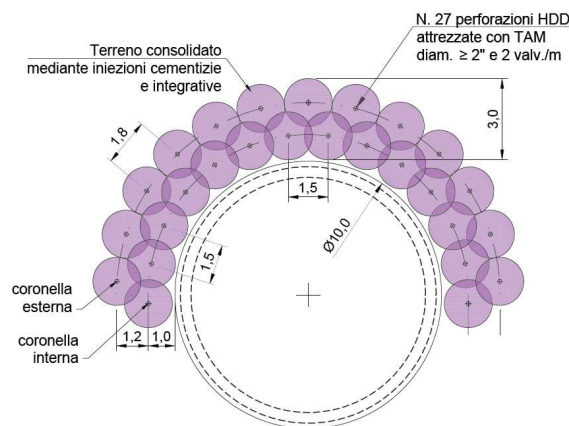


Figura 32. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C8: sezione trasversale tipica.

Le perforazioni attraverseranno il rivestimento in centine e spritz beton della galleria, la cui stabilità dovrà risultare comunque sempre garantita. Si adotteranno preliminarmente tutti gli

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

accorgimenti nella progettazione costruttiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di non tagliare le centine, con conseguente indebolimento della sezione resistente del rivestimento.

Si opererà sempre da un piano di lavoro posto al di sopra della falda.

Le perforazioni saranno teleguidate mediante tecnologia T.O.C., 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 rivestimento provvisorio del foro potrà essere installato o contestualmente alla realizzazione del foro pilota, man mano che il foro pilota avanza, o al completamento della perforazione pilota, qualora la stabilità del foro sia sufficientemente garantita in corso di perforazione dal fluido stabilizzante.

Completata la perforazione del foro pilota e con il foro completamente rivestito, si procederà all'estrazione della batteria di aste utilizzate per la realizzazione del foro pilota. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno del rivestimento provvisorio e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

Le iniezioni saranno realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio *packer* da posizionare su ciascuna valvola a manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive. È prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi a manchettes sono previsti posizionati su due coronelle concentriche. I TAM di ciascuna coronella saranno distinti in primari e secondari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti. In linea generale, la coronella esterna sarà iniettata per prima; i TAM di quella interna potranno essere perforati e iniettati soltanto al completamento dell'iniezione della coronella esterna.

La tipologia di consolidamento C8 è stata prevista a partire dai cunicoli di servizio a carattere temporaneo PS-GT5, ubicato in via Giolitti angolo via Lagrange (Figura 33) e PS-GT6, ubicato in zona via Nizza all'interno dell'area ferroviaria della stazione di Porta Nuova (Figura 34).

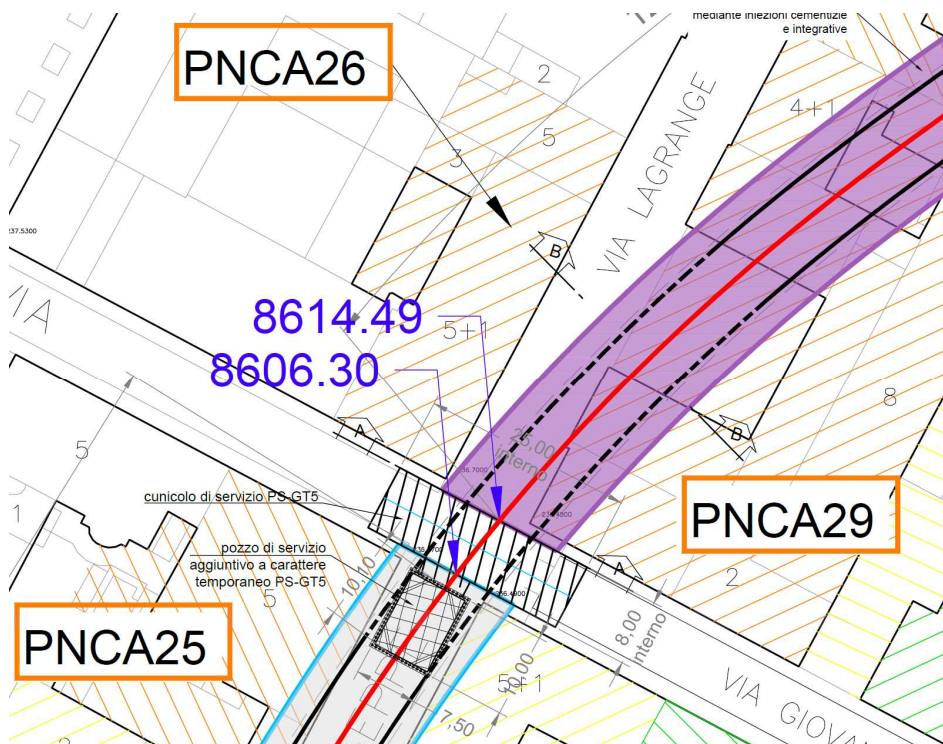


Figura 33. Planimetria dell'area in cui è ubicato il cunicolo PS-GT5.

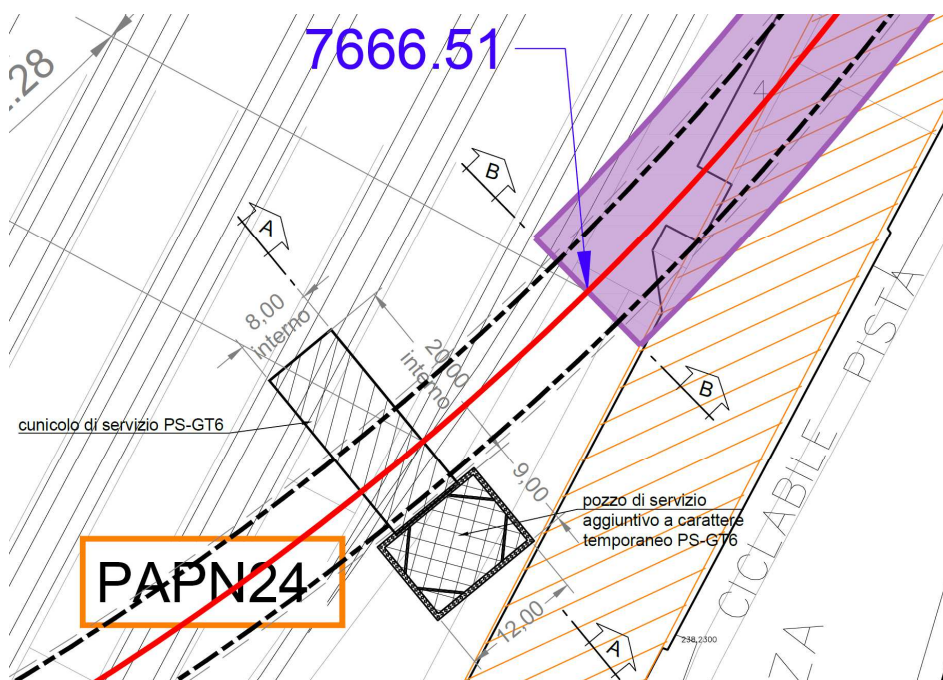



Figura 34. Planimetria dell'area in cui è ubicato il cunicolo PS-GT6.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Il dettaglio delle zone, delle progressive e dell'estensione delle tratte di applicazione della tipologia C8 è riepilogato nella Tabella 9.

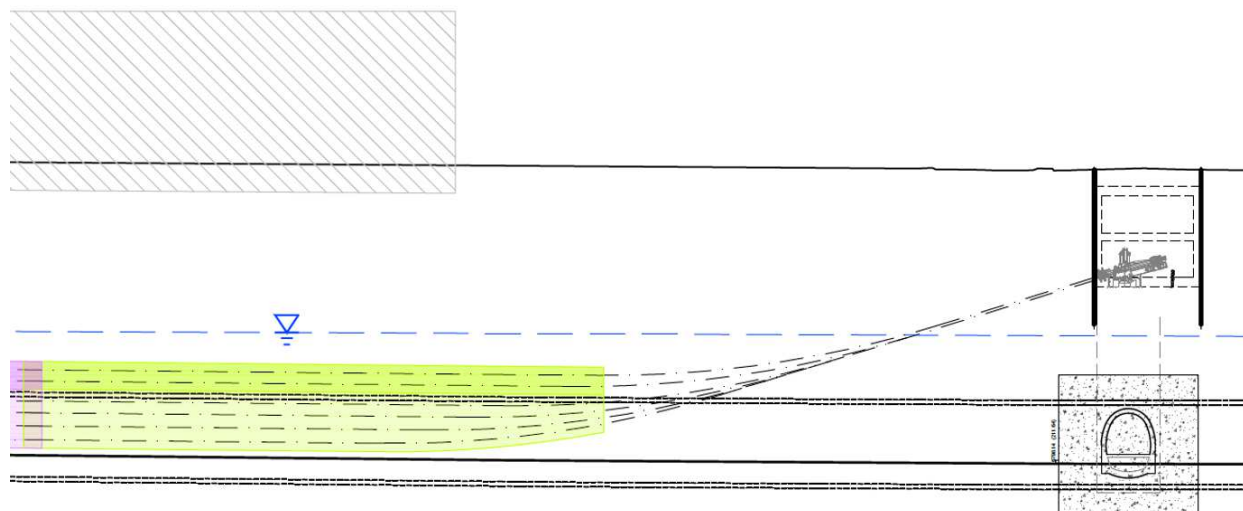
**Tabella 9. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C8.**

galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT5	8614,49	8734,55	120,06	da PS-GT5	MTL2T1A2DPRCGT0T014
GT6	7666,51	7769,23	102,72	da PS-GT6	MTL2T1A2DPRCGT0T018

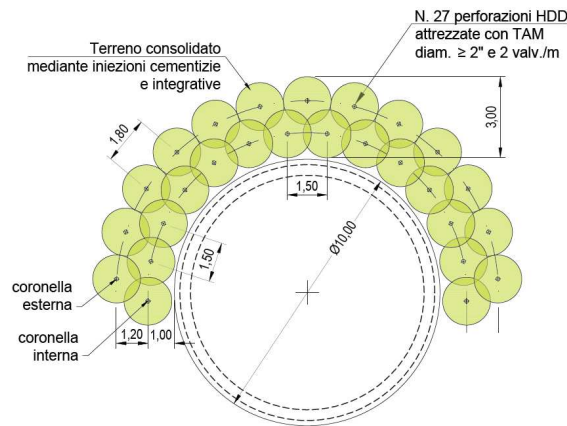
## 7.9 Consolidamento tipo C9

La tipologia di consolidamento C9 consiste in un trattamento di calotta eseguito da pozzo di intertratta, mediante iniezioni di permeazione attraverso TAM installati tramite perforazioni T.O.C. curvilinee nella loro parte iniziale (Figura 35).

Il consolidamento del terreno sarà ottenuto mediante una doppia coronella di TAM, quella interna costituita da 14 fori e quella esterna da 13 (Figura 36).



**Figura 35. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C9: sezione longitudinale.**



**Figura 36. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C9: sezione trasversale tipica.**

Le perforazioni attraverseranno l'opera di sostegno perimetrale del pozzo, costituita da una berlinese di micropali, la cui stabilità dovrà risultare comunque sempre garantita. Si adotteranno preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione costruttiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di non tagliare i micropali della berlinese, in modo tale da non produrre un indebolimento dell'opera di sostegno.

Si opererà sempre da un piano di lavoro posto al di sopra della falda.

Le perforazioni saranno teleguidate mediante tecnologia T.O.C., 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 rivestimento provvisorio del foro potrà essere installato o contestualmente alla realizzazione del foro pilota, man mano che il foro pilota avanza, o al completamento della perforazione pilota, qualora la stabilità del foro sia sufficientemente garantita in corso di perforazione dal fluido stabilizzante.

Completata la perforazione del foro pilota e con il foro completamente rivestito, si procederà all'estrazione della batteria di aste utilizzate per la realizzazione del foro pilota. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno del rivestimento provvisorio e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

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

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi à manchettes sono previsti posizionati su due coronelle concentriche. I TAM di ciascuna coronella saranno distinti in primari e secondari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti. In linea generale, la coronella esterna sarà iniettata per prima; i TAM di quella interna potranno essere perforati e iniettati soltanto al completamento dell'iniezione della coronella esterna.

La tipologia di consolidamento C9 è stata prevista a partire dal pozzo di intertratta PPO, ubicato in corso Galileo Ferraris in corrispondenza di corso Duca d'Aosta e via Pastrengo. Il dettaglio della zona, delle progressive e dell'estensione della tratta di applicazione della tipologia C9 è riepilogato nella Tabella 10.

**Tabella 10. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C9.**

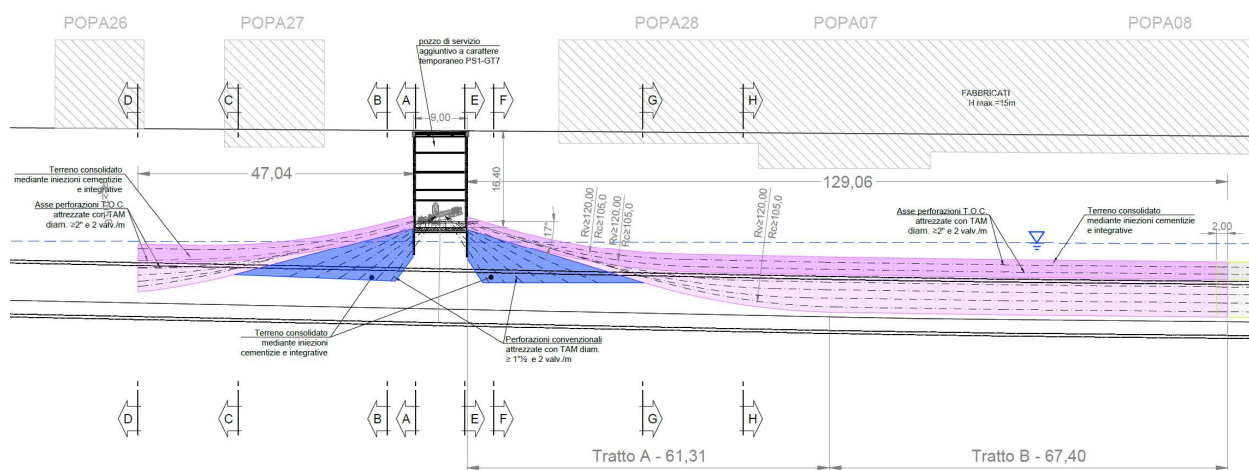
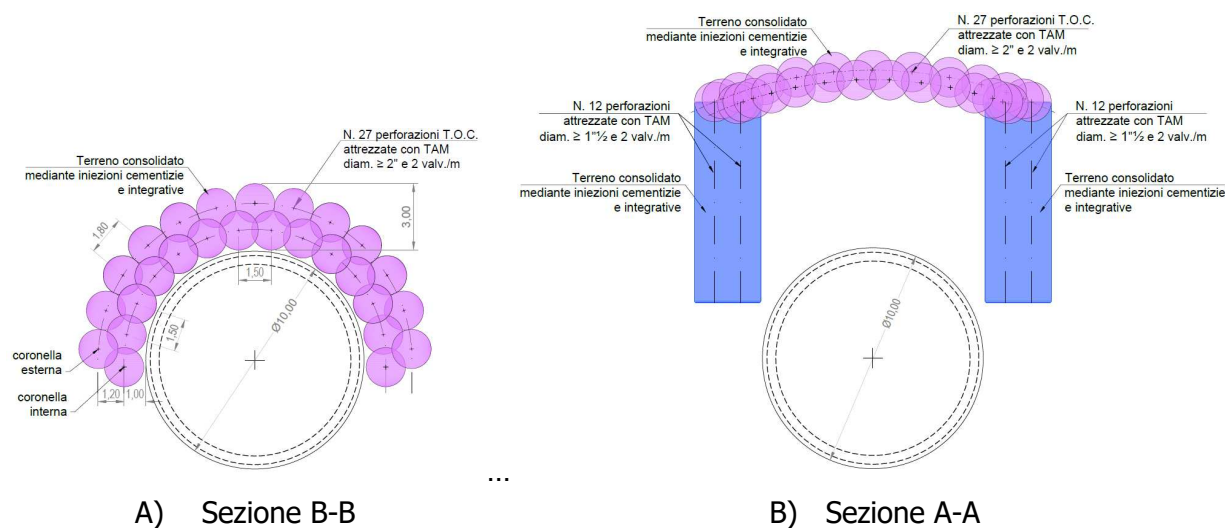
galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT7	6686,86	6749,40	62,54	da PPO	MTL2T1A2DPRCGT0T021

## 7.10 Consolidamento tipo C10

La tipologia di consolidamento C10 consiste in un trattamento di calotta a protezione della costruenda galleria TBM, integrato con trattamenti di piedritto verticali nella zona iniziale, in cui i TAM installati per il trattamento di calotta non garantiscono una sufficiente protezione. Tutti i trattamenti sono eseguiti da pozzo di servizio aggiuntivo a carattere temporaneo, operando da un piano di lavoro posto al di sopra della falda. L'intervento di consolidamento è previsto su ambedue i lati del pozzo, sia verso est che verso ovest (Figura 37). Anche in questo caso sono previste iniezioni di permeazione attraverso TAM. Per la calotta i TAM sono installati tramite perforazioni T.O.C. curvilinee nella parte iniziale; per i piedritti sono invece installati tramite perforazioni convenzionali disposte su raggiere inclinate a ventaglio.


Il trattamento di calotta sarà ottenuto mediante una doppia coronella di TAM, quella interna costituita da 14 fori e quella esterna da 13 (Figura 38-A). L'integrazione sui piedritti è concepita con una coppia di ventagli verticali, paralleli all'asse della galleria, per ciascun piedritto (Figura 38-B).




**Figura 37. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C10: sezione longitudinale.**

**Figura 38. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C10: sezioni trasversali tipiche.**

Le perforazioni attraverseranno l'opera di sostegno perimetrale del pozzo, costituita da una berlinese di micropali, la cui stabilità dovrà risultare comunque sempre garantita. Si adotteranno preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione costruttiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di non tagliare i micropali della berlinese, in modo tale da non produrre un indebolimento dell'opera di sostegno.

La maggior parte delle perforazioni sarà teleguidata mediante tecnologia T.O.C., 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.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

La rimanente parte delle perforazioni sarà ad andamento rettilineo; esse saranno eseguite con metodo convenzionale e avranno inclinazione variabile rispetto alla verticale.

Le perforazioni per il consolidamento di calotta dovranno essere eseguite per prime; le perforazioni per il consolidamento dei piedritti potranno avere luogo solo al completamento del consolidamento (perforazioni + iniezioni) di calotta.

Man mano che la perforazione avanza, si procederà contestualmente all'installazione del rivestimento provvisorio. Nel caso delle T.O.C., il rivestimento provvisorio del foro potrà essere installato o contestualmente alla realizzazione del foro pilota o al completamento della perforazione pilota, qualora la stabilità del foro sia sufficientemente garantita in corso di perforazione dal fluido stabilizzante.


Completata la perforazione e con il foro completamente rivestito, si procederà all'estrazione della batteria di aste utilizzate per la realizzazione del foro. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

Le iniezioni saranno realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio *packer* da posizionare su ciascuna valvola à manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive. È prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

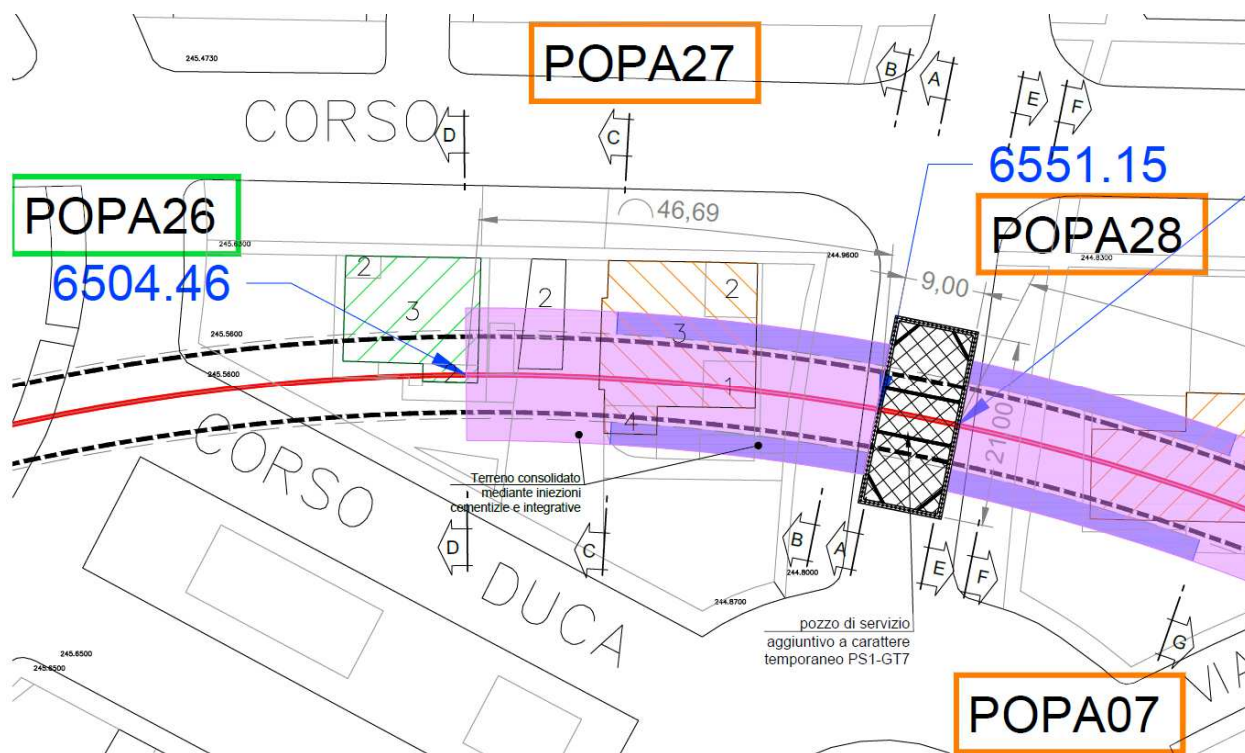
Il consolidamento di calotta sarà eseguito per primo; il consolidamento dei due piedritti avrà luogo solo al completamento del consolidamento di calotta.

I tubi à manchettes per il trattamento di calotta sono previsti posizionati su due coronelle concentriche. I TAM di ciascuna coronella saranno distinti in primari e secondari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti. In linea generale, la coronella esterna sarà iniettata per prima; i TAM di quella interna potranno essere perforati e iniettati soltanto al completamento dell'iniezione della coronella esterna.

I tubi à manchettes per il trattamento dei due piedritti sono previsti posizionati su due ventagli verticali paralleli per ciascun piedritto. I TAM di ciascun ventaglio saranno distinti in primari e secondari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti. In linea generale, gli allineamenti esterni saranno iniettati per primi; i TAM degli allineamenti interni potranno essere perforati e iniettati soltanto al completamento dell'iniezione della coronella esterna.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

La tipologia di consolidamento C10 è stata prevista a partire dal pozzo aggiuntivo a carattere temporaneo PS1-GT7, ubicato in corso Generale Giuseppe Govone (Figura 39).



**Figura 39. Planimetria dell'area in cui è ubicato il cunicolo CS-GT6.**

Il dettaglio delle zone, delle progressive e dell'estensione delle tratte di applicazione della tipologia C10 è riepilogato nella Tabella 11.

**Tabella 11. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C10.**

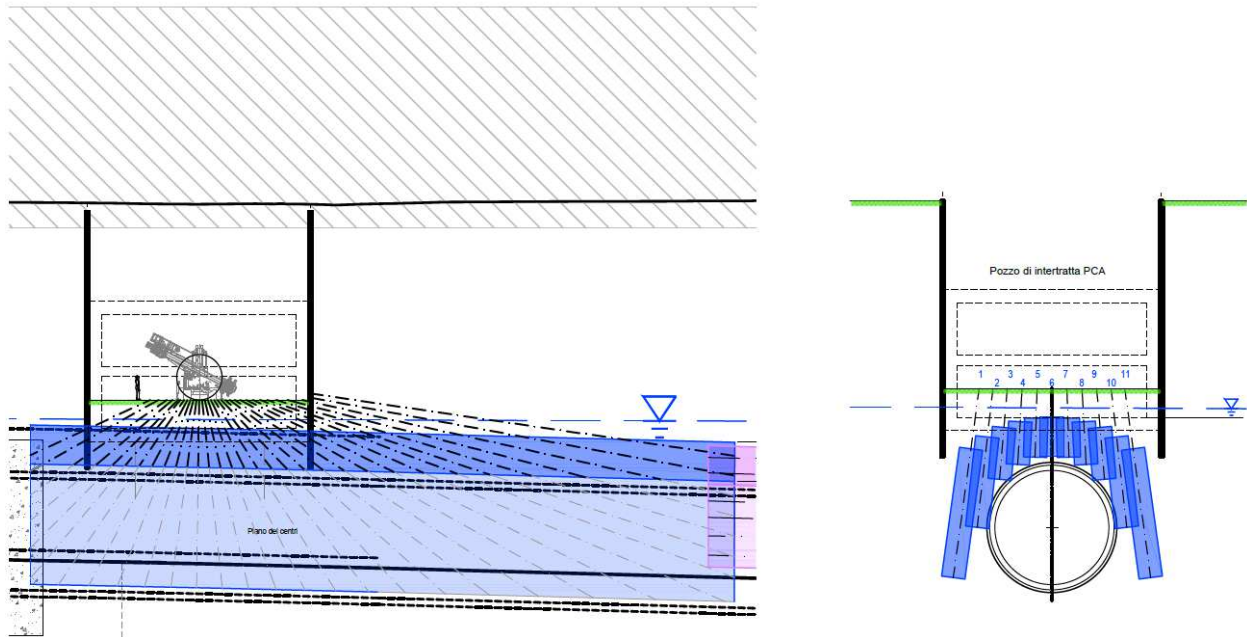
galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT7	6504,46	6551,15	46,69	da PS1-GT7 verso est	MTL2T1A2DPRCGT0T022
	6560.15	6688,86	128,71	da PS1-GT7 verso ovest	

### 7.11 Consolidamento tipo C11

La tipologia di consolidamento C11 consiste in un trattamento a capanna, eseguito da pozzo di intertratta, mediante iniezioni di permeazione attraverso TAM installati tramite perforazioni



convenzionali disposte su raggiere inclinate e a ventaglio (Figura 40). Si opererà da un piano di lavoro posto al di sopra della falda.



**Figura 40. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C11.**

Le perforazioni attraverseranno l'opera di sostegno perimetrale del pozzo, costituita da una berlinese di micropali, la cui stabilità dovrà risultare comunque sempre garantita. Si adotteranno preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione costruttiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di non tagliare i micropali della berlinese, in modo tale da non produrre un indebolimento dell'opera di sostegno.

Le perforazioni saranno eseguite con metodo convenzionale e saranno tutte rettilinee e variamente inclinate.

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

Completata la perforazione, saranno estratte le aste di perforazione. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno foro e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Le iniezioni saranno realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio *packer* da posizionare su ciascuna valvola à manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive. È prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi à manchettes sono previsti posizionati in modo tale da formare una capanna di protezione sulla costruenda galleria TBM. I TAM saranno distinti in primari, secondari, terziari e quaternari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti; allo stesso modo, un TAM terziario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM secondari adiacenti e un TAM quaternario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM terziari adiacenti.

La tipologia di consolidamento C11 è prevista a partire dal pozzo di intertratta PCA, ubicato in via Virginio Giovanni angolo via Giuseppe Verdi, in direzione Nord, al di sotto di parte dell'edificio CAMO15. Il dettaglio della zona, delle progressive e dell'estensione della tratta di applicazione della tipologia C11 è riepilogato nella Tabella 12.

**Tabella 12. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C11.**

galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT4	9137,77	9192,00	54,23	da PCA verso Nord	MTL2T1A2DPRCGT0T011

## 7.12 Consolidamento tipo C12

La tipologia di consolidamento C12 consiste in un trattamento a cortina suborizzontale, eseguito da pozzo di intertratta, mediante iniezioni di permeazione attraverso TAM installati tramite perforazioni T.O.C. curvilinee nella tratta iniziale (Figura 41 e Figura 42). Si opererà da un piano di lavoro posto al di sopra della falda.

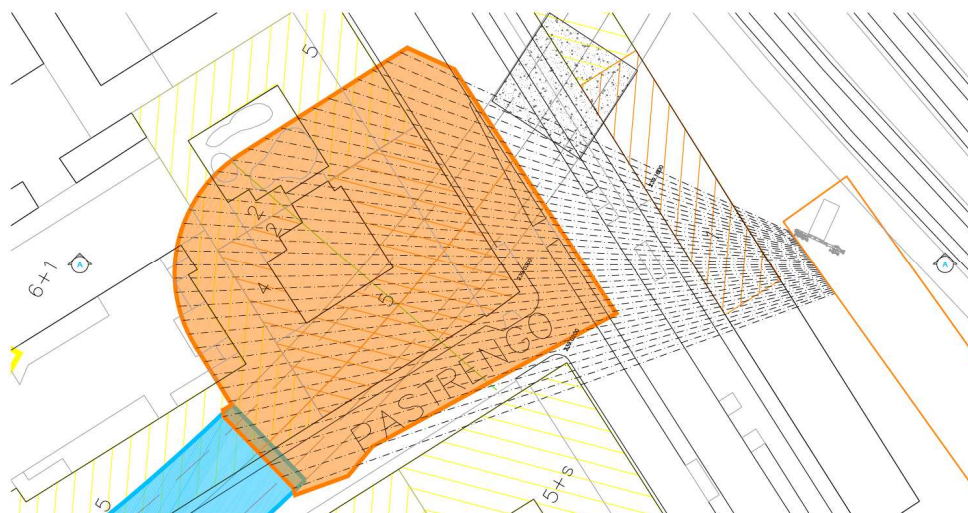


Figura 41. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C12: vista in pianta.

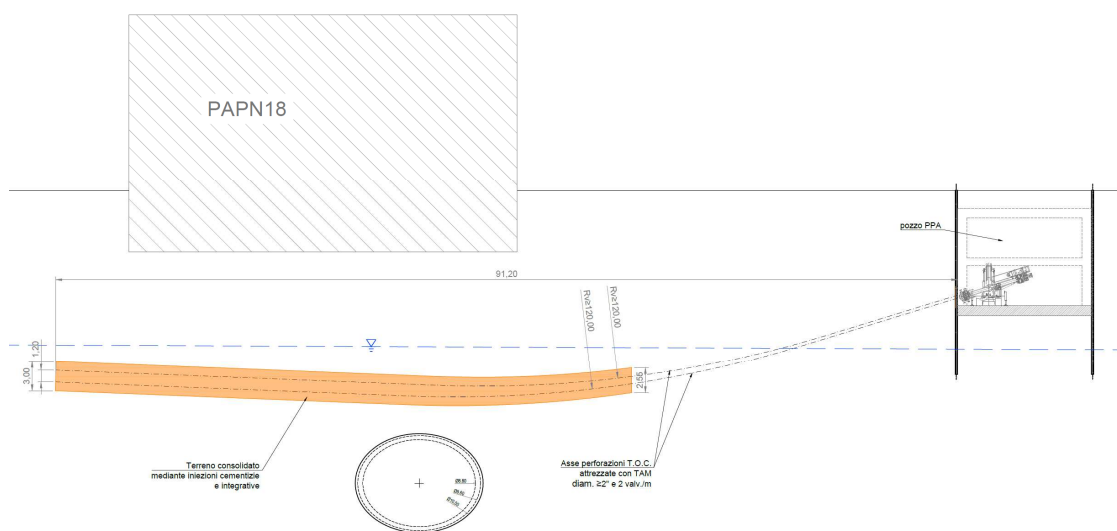


Figura 42. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C12: sezione tipica.

Le perforazioni attraverseranno l'opera di sostegno perimetrale del pozzo, costituita da una berlinese di micropali, la cui stabilità dovrà risultare comunque sempre garantita. Si adotteranno preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione costruttiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di non tagliare i micropali della berlinese, in modo tale da non produrre un indebolimento dell'opera di sostegno.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Le perforazioni saranno teleguidate mediante tecnologia T.O.C., 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 rivestimento provvisorio del foro potrà essere installato o contestualmente alla realizzazione del foro pilota, man mano che il foro pilota avanza, o al completamento della perforazione pilota, qualora la stabilità del foro sia sufficientemente garantita in corso di perforazione dal fluido stabilizzante.

Completata la perforazione del foro pilota e con il foro completamente rivestito, si procederà all'estrazione della batteria di aste utilizzate per la realizzazione del foro pilota. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM all'interno del rivestimento provvisorio e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

Le iniezioni saranno realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio *packer* da posizionare su ciascuna valvola a manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive. È prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

I tubi a manchettes sono previsti posizionati su due livelli suborizzontali. I TAM di ciascun livello saranno distinti in primari e secondari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti. In linea generale, il livello di TAM superiore sarà iniettato per primo; i TAM del livello inferiore potranno essere perforati e iniettati soltanto al completamento dell'iniezione sul livello superiore.

La tipologia di consolidamento C12 è prevista a partire dal pozzo di intertratta PPA, ubicato in zona via Sacchi, all'interno dell'area ferroviaria della stazione di Porta Nuova. Il dettaglio della zona, delle progressive e dell'estensione della tratta di applicazione della tipologia C12 è riepilogato nella Tabella 13.

**Tabella 13. Riepilogo zone di applicazione della tipologia di consolidamento C12.**

galleria	progressive		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
	da	a			
GT6	7347,20	7402,74	55,54	da PPA verso Ovest	MTL2T1A2DPRCGT0T019



### 7.13 Consolidamento tipo C13

La tipologia di consolidamento C13 consiste in un trattamento di calotta a protezione della costruenda galleria TBM, eseguito a partire dalla Stazione di Porta Nuova in direzione nord (per la galleria GT5), integrato con trattamenti di piedritto verticali nella zona iniziale, al di sotto della galleria della linea 1 della metropolitana, in cui i TAM installati per il trattamento di calotta non garantiscono una sufficiente protezione (cfr. Figura 43). Anche in questo caso sono previste iniezioni di permeazione attraverso TAM. Per la calotta i TAM sono installati tramite perforazioni T.O.C. curvilinee nella parte iniziale; per i piedritti sono invece installati tramite perforazioni convenzionali disposte su raggiere inclinate a ventaglio.

Il trattamento di calotta sar  ottenuto mediante una doppia coronella di TAM, quella interna costituita da 14 fori e quella esterna da 13 (Figura 44-A). L'integrazione sui piedritti   concepita con una coppia di ventagli verticali, paralleli all'asse della galleria, per ciascun piedritto (Figura 38-B).

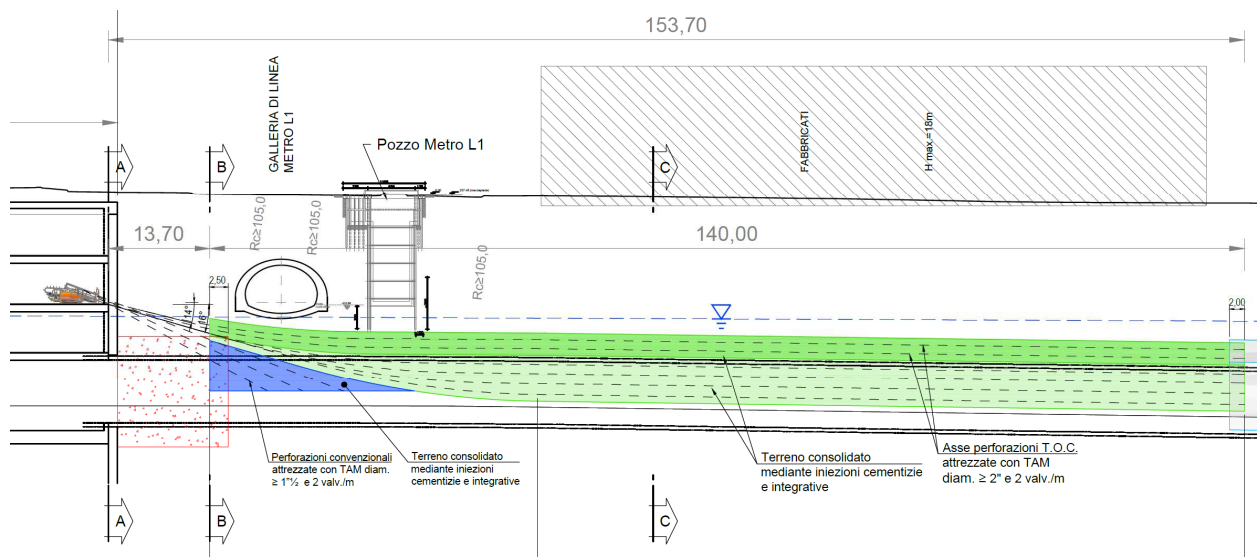


Figura 43. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C13: sezione longitudinale.



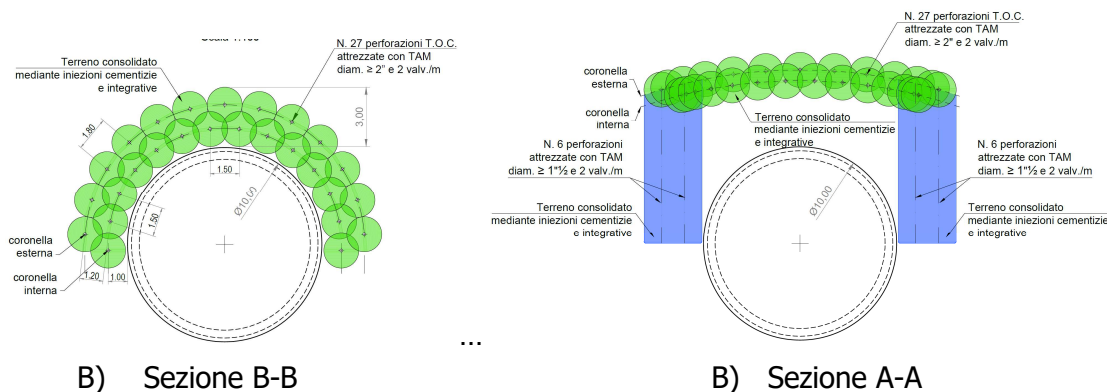


Figura 44. Schema tipologico relativo al consolidamento tipo C13: sezioni trasversali tipiche.


Tutte le perforazioni previste per questa tipologia di consolidamento saranno eseguite dal solaio di stazione più profondo disponibile sopra falda; tale solaio è dimensionato per sopportare il peso di attrezzature fino a 25 t.

Le perforazioni attraverseranno il diaframma perimetrale, la cui stabilità dovrà risultare comunque sempre garantita. Si dovranno pertanto adottare preliminarmente tutti gli accorgimenti, fin dalla fase della progettazione esecutiva delle gabbie d'armatura, per evitare il taglio di barre di armatura con conseguente indebolimento della sezione resistente del diaframma. In sede di PE le gabbie di armatura dovranno essere progettate in modo tale che, alle profondità a cui sono previste le perforazioni di consolidamento, siano verificate le seguenti condizioni: (a) l'interspazio tra le barre di armatura sia tale da consentire il passaggio delle previste perforazioni; (b) gli interspazi lato terreno siano speculari rispetto a quello previsti lato scavo. In fase esecutiva, prima di procedere con il carotaggio del diaframma si eseguirà localmente la scarifica del copriferro, in modo da posizionare le perforazioni negli interspazi liberi dalle armature.

La maggior parte delle perforazioni sarà teleguidata mediante tecnologia T.O.C., 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.

La rimanente parte delle perforazioni sarà ad andamento rettilineo; esse saranno eseguite con metodo convenzionale e avranno inclinazione variabile rispetto alla verticale.

Le perforazioni per il consolidamento di calotta dovranno essere eseguite per prime; le perforazioni per il consolidamento dei piedritti potranno avere luogo solo al completamento del consolidamento (perforazioni + iniezioni) di calotta.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Man mano che la perforazione avanza, si procederà contestualmente all'installazione del rivestimento provvisorio. Nel caso delle T.O.C., il rivestimento provvisorio del foro potrà essere installato o contestualmente alla realizzazione del foro pilota o al completamento della perforazione pilota, qualora la stabilità del foro sia sufficientemente garantita in corso di perforazione dal fluido stabilizzante.

Completata la perforazione e con il foro completamente rivestito, si procederà all'estrazione della batteria di aste utilizzate per la realizzazione del foro. Dopodiché si procederà all'installazione del TAM e alla formazione della guaina mediante opportuna miscela cementizia. Infine, sarà estratto il rivestimento provvisorio e rabboccata la guaina con ulteriore miscela cementizia.

Le iniezioni saranno realizzate con il procedimento selettivo e ripetuto: doppio *packer* da posizionare su ciascuna valvola a manchettes e fasi (passate) di iniezioni multiple successive. È prevista l'iniezione, in sequenza, di miscele a base cementizia e di miscele integrative a base silicatica.

Il consolidamento di calotta sarà eseguito per primo; il consolidamento dei due piedritti avrà luogo solo al completamento del consolidamento di calotta.

I tubi a manchettes per il trattamento di calotta sono previsti posizionati su due coronelle concentriche. I TAM di ciascuna coronella saranno distinti in primari e secondari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti. In linea generale, la coronella esterna sarà iniettata per prima; i TAM di quella interna potranno essere perforati e iniettati soltanto al completamento dell'iniezione della coronella esterna.

I tubi a manchettes per il trattamento dei due piedritti sono previsti posizionati su due ventagli verticali paralleli per ciascun piedritto. I TAM di ciascun ventaglio saranno distinti in primari e secondari. Un TAM secondario non potrà essere perforato se non sarà stata completata l'iniezione di tutti i TAM primari adiacenti. In linea generale, gli allineamenti esterni saranno iniettati per primi; i TAM degli allineamenti interni potranno essere perforati e iniettati soltanto al completamento dell'iniezione della coronella esterna.

Il dettaglio della zona, delle progressive e dell'estensione della tratta di applicazione della tipologia C13 è riepilogato nella Tabella 14.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

**Tabella 14. Riepilogo zona di applicazione della tipologia di consolidamento C13.**

galleria	progressive da   a		lunghezza tratta (m)	zona	tavola di progetto
GT5	8046,12	8186,12	140,00	da SPN verso Nord	MTL2T1A2DPRCGT0T016



## 8. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PROPEDEUTICI ALLO SCAVO DEI CUNICOLI DI SERVIZIO

Nell'ambito del Progetto Definitivo, sono stati progettati due cunicoli di servizio a carattere temporaneo, necessari per coprire con gli interventi di consolidamento aree altrimenti non raggiungibili in alcun modo. Il primo, denominato PS-GT5 è ubicato sotto via Giolitti, all'incrocio con via Lagrange; il secondo, denominato P-GT6, è ubicato in zona via Nizza, all'interno dell'area ferroviaria della stazione di Porta Nuova. Per ambedue i cunicoli, è stato necessario progettare interventi di consolidamento propedeutici al loro scavo.

### 8.1 Consolidamento per il cunicolo PS-GT5

Il cunicolo di servizio a carattere temporaneo PS-GT5 sarà realizzato a partire dall'omonimo pozzo di servizio aggiuntivo a carattere temporaneo, con accesso per il tramite di un tronchino di 2 m di lunghezza, essendo l'asse del cunicolo perpendicolare all'asse NE-SO del pozzo.

La tipologia di consolidamento prescelta è quella del trattamento "a capanna" eseguito dalla superficie (Figura 45). Il guscio di terreno consolidato è stato previsto con uno spessore  $\geq 3$  m in calotta e  $\geq 2$  m sui piedritti. Questo trattamento è funzionale anche allo scavo del tronchino di collegamento. Poiché il piano di calpestio del costruendo cunicolo si trova sopra il livello di falda, non è previsto alcun trattamento in arco rovescio.

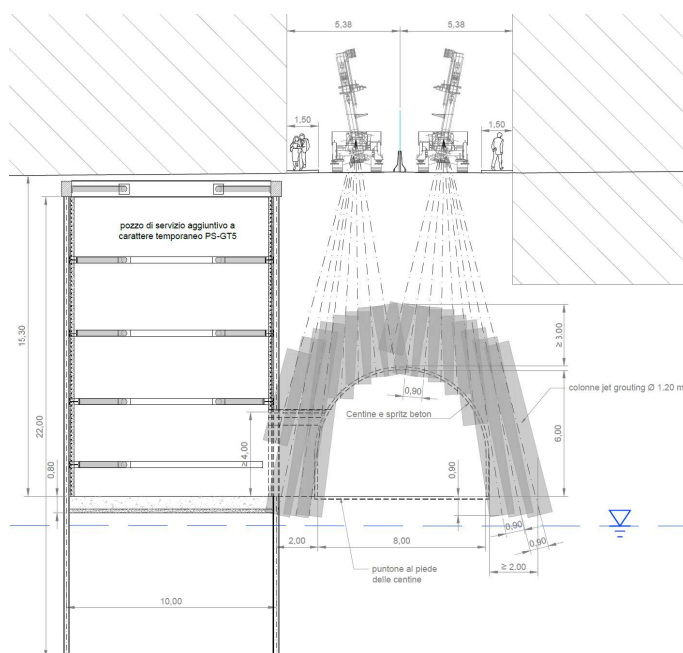


Figura 45. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT5: sezione corrente



Sulle due testate è stata prevista la realizzazione di un tampone "pieno" di spessore almeno 5 m (Figura 46 e Figura 47), al fine di consentire il mantenimento dei due fronti di estremità verticali, anche con l'ausilio di un timpano in calcestruzzo proiettato armato con rete elettrosaldata.

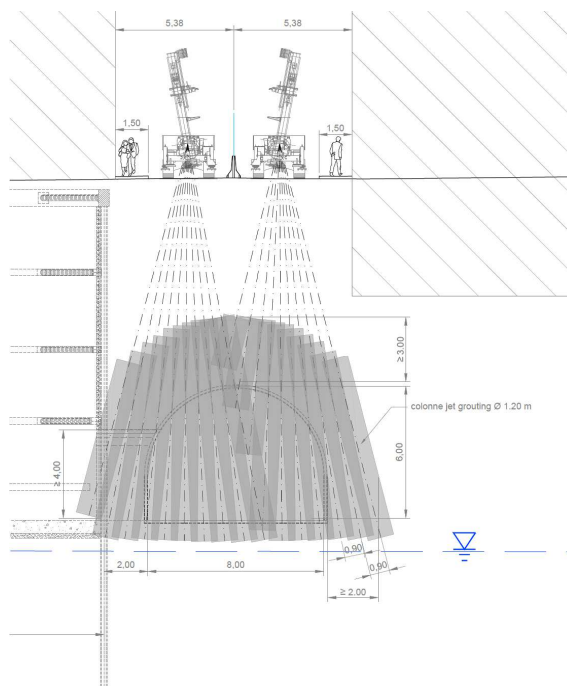


Figura 46. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT5: sezione di tampone.

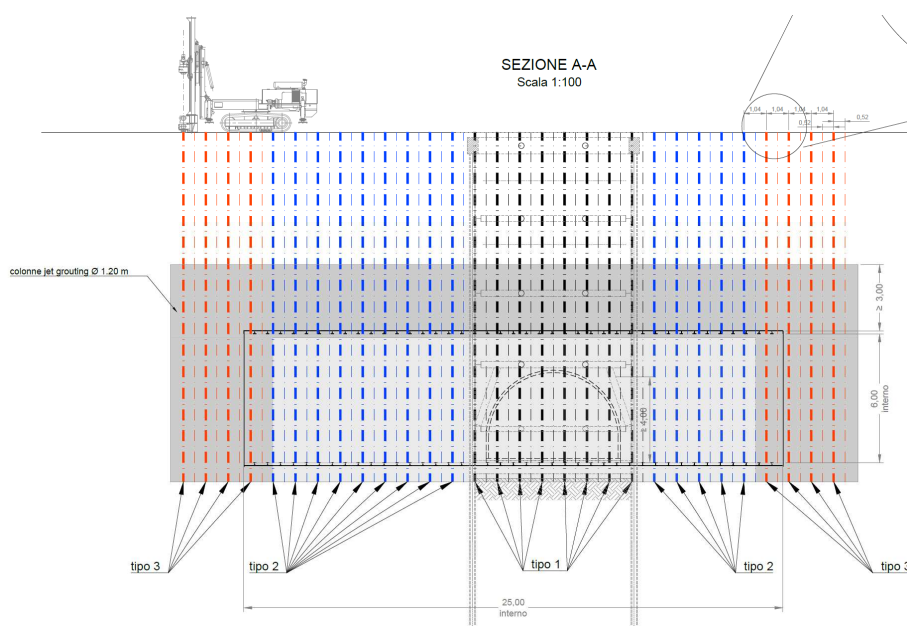


Figura 47. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT5: sezione longitudinale.



Il trattamento jet grouting è previsto eseguito dal piano strada di via Giolitti. Poiché non è possibile prevedere la chiusura completa di via Giolitti, ma solo la parzializzazione del traffico ad una corsia di percorrenza (peraltro via Giolitti è a senso unico), il trattamento di consolidamento è previsto sia eseguito in due fasi distinte, con la chiusura alternata delle due corsie (Figura 48).

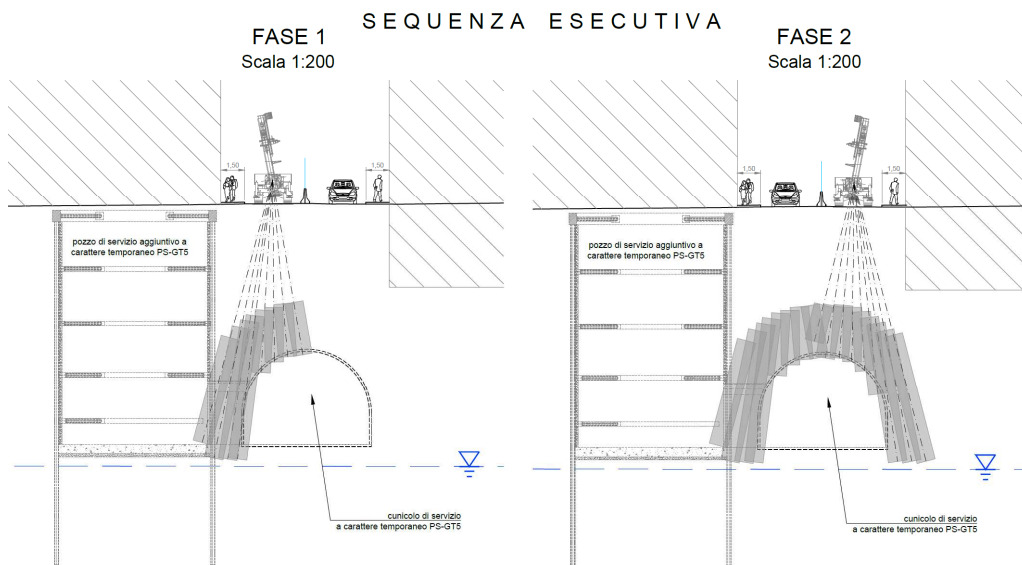


Figura 48. Sequenza esecutiva del trattamento jet grouting da superficie per il cunicolo PS-GT5.

Il trattamento jet grouting è stato previsto con colonne diam. 1.20 m, da eseguirsi con metodologia bifluido, disposte su maglia triangolare equilatera di lato 1.04 m ( $b \times h = 1.04 \times 0.90$ ), per compensare le possibili e indesiderate, quanto inevitabili, deviazioni delle perforazioni (Figura 49).

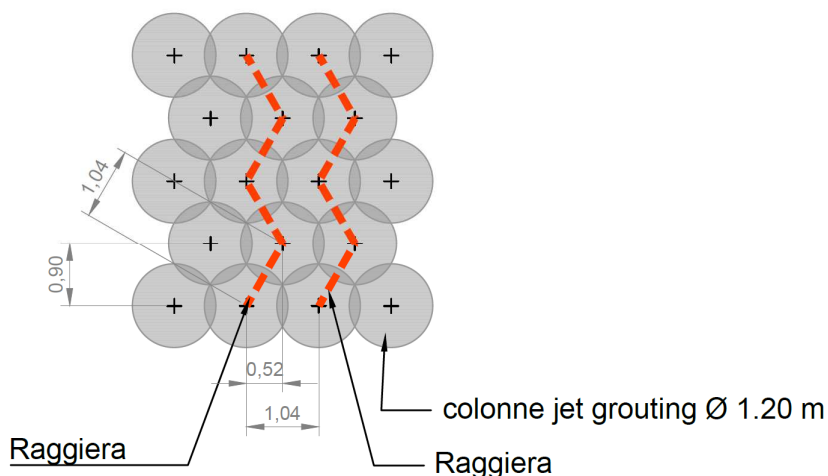


Figura 49. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT5: maglia di progetto delle colonne Ø 1.20m

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

Tutte le perforazioni previste per l'esecuzione del jet grouting al cunicolo PS-GT5 saranno eseguite operando da un piano di lavoro posto in superficie. Esse potranno interferire con eventuali sottoservizi esistenti e non soggetti a deviazione, il cui esercizio dovrà essere mantenuto attivo; si adotteranno preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione esecutiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di evitare e preservare i sottoservizi interferiti, i quali dovranno essere individuati preventivamente mediante scavi, rilievi e indagini da eseguirsi anche con l'ausilio di idonea strumentazione..

## 8.2 Consolidamento per il cunicolo PS-GT6

Il cunicolo di servizio a carattere temporaneo PS-GT6 sarà realizzato a partire dall'omonimo pozzo di servizio aggiuntivo a carattere temporaneo. L'asse del cunicolo si trova sul prolungamento dell'asse NO-SE del pozzo.

La tipologia di consolidamento del terreno, preventivo allo scavo del cunicolo di servizio, prescelta è quella del trattamento a coronella, con colonne jet grouting eseguite in avanzamento dal fronte di scavo, integrato con chiodatura del fronte mediante elementi strutturali in VTR.

Le colonne jet grouting e le chiodature del fronte saranno eseguite:

- a. per il primo campo a partire dal pozzo;
- b. per i campi successivi dall'interno del cunicolo, su fronti a progressive predeterminate.

Il trattamento di coronella è previsto in doppia fila (Figura 50):

- c. per il primo campo ottenuta realizzando a tutti gli effetti due coronelle, quella interna di lunghezza 16 m e quella esterna, distanziata radialmente di 0.67 m, di lunghezza 9 m;
- d. per i campi successivi sfruttando, oltre alla coronella eseguita nel campo, anche la coronella proveniente dal campo precedente, essendo di lunghezza 16 m, quando il campo di scavo ha lunghezza 7 m (l'ultimo 6 m); si veda la sezione longitudinale riportata in Figura 51.

È previsto inoltre un trattamento al piede delle centine. Poiché il piano di calpestio del costruendo cunicolo si trova sopra il livello di falda, non è previsto alcun trattamento in arco rovescio.

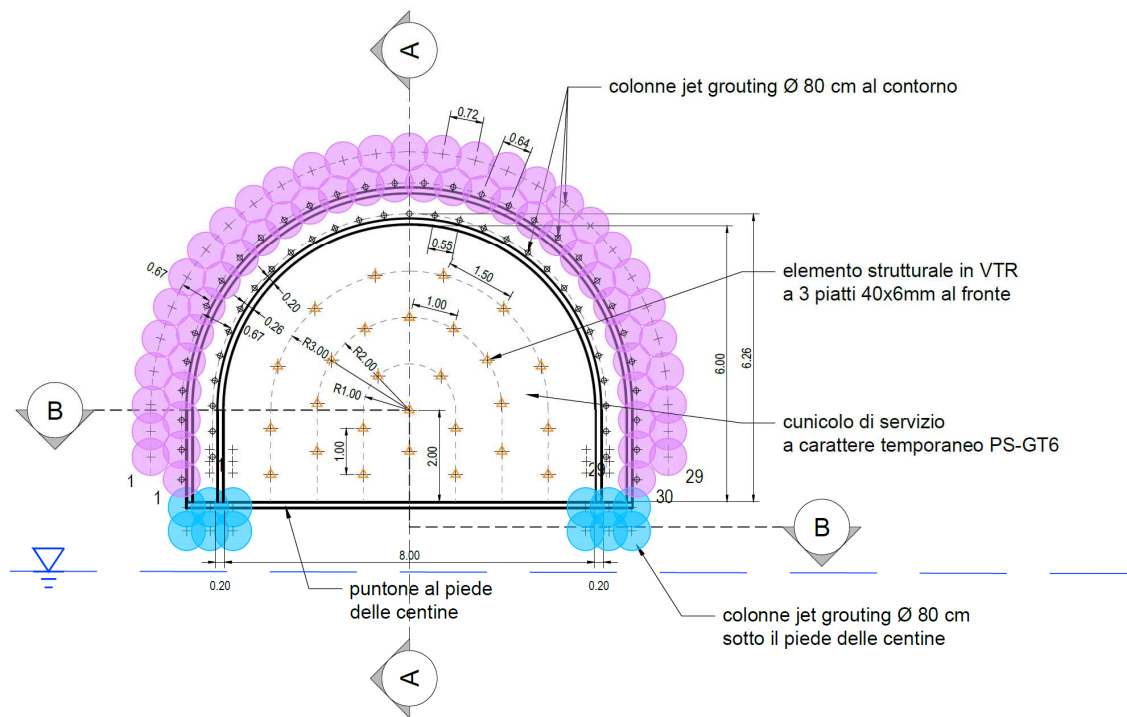


Figura 50. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT6: sezione trasversale.

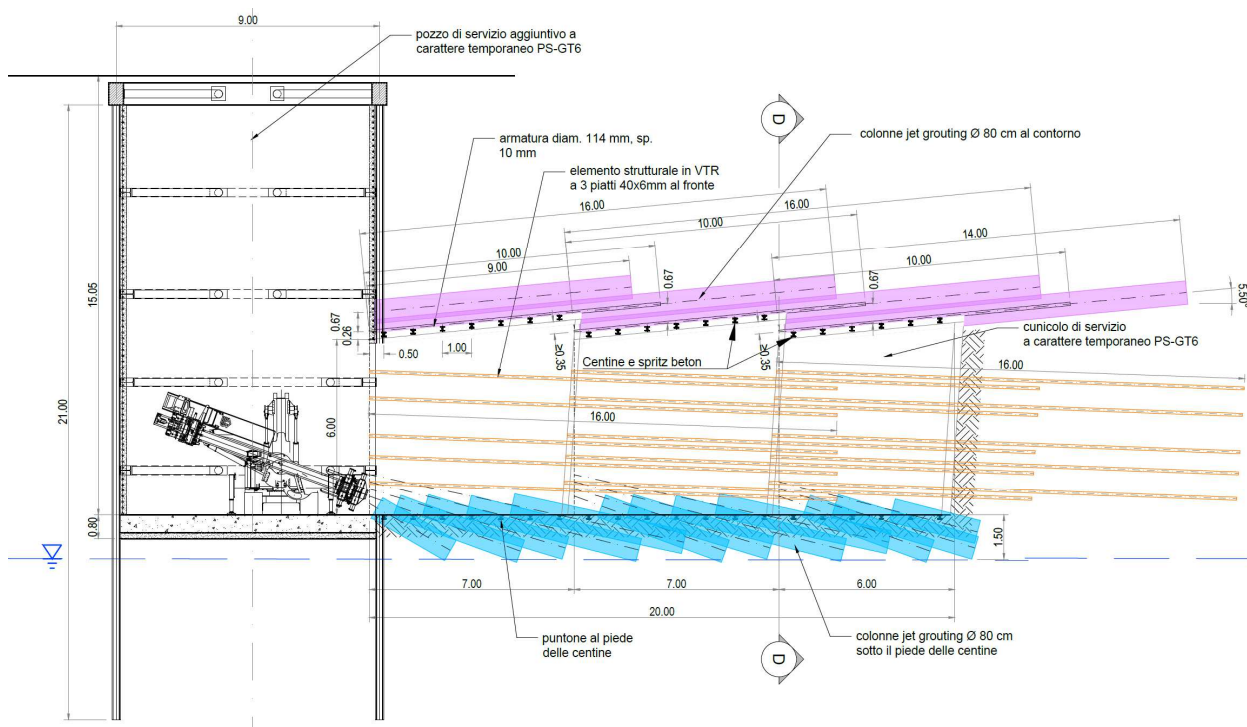


Figura 51. Trattamento jet grouting per il cunicolo PS-GT6: sezione longitudinale.

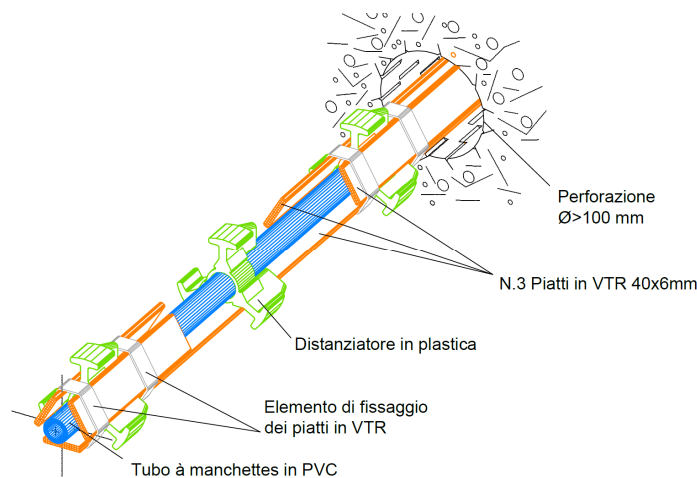




Le colonne jet grouting per il trattamento al contorno e sotto il piede delle centine sono previste con diametro 0.80 m, da eseguirsi con metodologia monofluido. Le colonne al contorno sono disposte a interasse 0.64 m sulla coronella interna e 0.72 m sulla coronella esterna, per compensare le possibili e indesiderate, quanto inevitabili, deviazioni delle perforazioni; le due coronelle sono distanziate tra loro radialmente di 0.67 m. Le colonne sotto il piede delle centine sono disposte su maglia quadrata con spaziatura a fondo foro pari a 0.50 m.

Le perforazioni del primo campo dovranno attraversare su un lato l'opera di sostegno perimetrale del pozzo, costituita da una berlinese di micropali, la cui stabilità dovrà risultare comunque sempre garantita; si dovranno adottare preliminarmente tutti gli accorgimenti nella progettazione costruttiva delle perforazioni e nel loro tracciamento, al fine di non tagliare i micropali della berlinese, in modo tale da non produrre un indebolimento dell'opera di sostegno.

Il consolidamento per la stabilizzazione del fronte è previsto mediante 27 elementi strutturali in VTR a 3 piatti 40x6 mm (Figura 52).



**Figura 52. Particolare elemento strutturale in VTR.**

Le colonne per il consolidamento al contorno saranno parzialmente armate (L=10 m). L'armatura sarà installata mediante riperforazione della colonna, una volta che la miscela abbia completato la presa. La solidarizzazione delle armature sarà eseguita immediatamente dopo la loro installazione, con la prevista specifica miscela cementizia. Le colonne sotto il piede delle centine saranno non armate.

Per il consolidamento al contorno, essendo le colonne jet grouting ad andamento suborizzontale, prevalentemente con inclinazione verso l'alto, al termine della fase di jet-iniezione si provvederà

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2</b> <b>Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b> <b>Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico</b>
Relazione generale sugli interventi di consolidamento.	75_MTL2T1A2DPRCGT0R004-0-2

alla installazione a bocca foro di un opportuno tappo di tenuta, al fine di evitare fenomeni di svuotamento della colonna.

Per la realizzazione delle chiodature al fronte, le perforazioni sono previste con una leggera inclinazione verso il basso. Esse saranno eseguite con il rivestimento provvisorio del foro. L'elemento strutturale in VTR sarà inserito all'interno del rivestimento, che potrà essere estratto soltanto quando l'elemento in VTR sia in opera. La solidarizzazione dell'elemento strutturale sarà eseguita immediatamente dopo la sua installazione e l'estrazione del rivestimento provvisorio, con la prevista specifica miscela cementizia.