

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



**COMUNE DI TORINO**



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

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

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		 <span style="float: right;">INFRATRASPORTI S.r.l.</span>											
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>ELABORATI GENERALI</b> <b>Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati</b> Relazione illustrativa											
ELABORATO										REV.		SCALA	DATA
MT	L2	T1	A0	D	ZOO	GEN	R	005	Int.	Est.			
									0	1	-	19/10/2023	

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	14/02/23	F. Rizzo	R. Crova	F. Rizzo	R. Crova
1	EMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	19/10/23	P. De Martini	R. Crova	F. Rizzo	R. Crova
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 0</td> <td>CARTELLA</td> <td>1.1</td> <td>20</td> <td>MTL2T1A0D</td> <td>ZOGENR005</td> </tr> </table>	LOTTO 0	CARTELLA	1.1	20	MTL2T1A0D	ZOGENR005	<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 0	CARTELLA	1.1	20	MTL2T1A0D	ZOGENR005		
							

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>ELABORATI PRODOTTI NELL'AMBITO DEL PROGETTO DEFINITIVO</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>INDAGINE SUI FABBRICATI</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA ZOI (ZONA DI INFLUENZA) E BUILDING CONDITION SURVEY (BCS)</b>	<b>7</b>
3.1.1	INDICE DI VULNERABILITÀ	10
<b>3.2</b>	<b>EDIFICI SOTTOPOSTI A VINCOLI DELLA SOPRINTENDENZA (EDIFICI SENSIBILI)</b>	<b>15</b>
<b>4.</b>	<b>INTERVENTI DI MITIGAZIONE E PRESIDIO DEGLI EDIFICI SENSIBILI</b>	<b>23</b>
<b>5.</b>	<b>PIANO DI MONITORAGGIO</b>	<b>28</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>32</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Esempio di ZOI per il BCS.	8
Figura 2.	Esempio schede di rilevamento dei fabbricati.	9
Figura 3.	Carta dei vincoli paesaggistici e culturali	17
Figura 4.	Legenda Carta dei vincoli paesaggistici e culturali	18
Figura 5.	Posizione degli edifici sottoposti a vincoli culturali (retino rosso) – Zoom 1	18
Figura 6.	Posizione degli edifici sottoposti a vincoli culturali (retino rosso) – Zoom 2	19
Figura 7.	Posizione degli edifici sottoposti a vincoli culturali (retino rosso) – Zoom 3	20
Figura 8.	Posizione degli edifici sottoposti a vincoli culturali (retino rosso) – Zoom 4	21
Figura 9.	Posizione degli edifici sottoposti a vincoli culturali (retino rosso) – Zoom 5	22
Figura 10.	Esempio di interventi "a capanna" e "a cortina subverticale".	24
Figura 11.	Esempi di interventi "a capanna" sotto edifici al di fuori del centro storico.	25
Figura 12.	Esempio di intervento al contorno della costruenda galleria, eseguito da sotterraneo con perforazioni parallele all'asse della galleria.	26
Figura 13.	Esempi di interventi "a cortina suborizzontale" eseguiti da sotterraneo.	27
Figura 14.	Esempio di intervento "a capanna" da sotterraneo.	27
Figura 15.	Schema di monitoraggio per edifici vincolati dalla Soprintendenza	29
Figura 16.	Stralci planimetrici riportante gli edifici con monitoraggio di Tipo 2 (in rosa)	31

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione si inserisce nell'ambito del Progetto Definitivo della Linea 2 della Metropolitana di Torino – Tratta Rebaudengo – Politecnico e descrive le scelte progettuali condotte al fine di ottemperare l'osservazione al PFTE (progetto di fattibilità tecnico economica) formulata dalla Soprintendenza Archeologia Belle arti e Paesaggio per la Città Metropolitana di Torino (Allegato 4 al DD 2248 del 14/07/2020 - Fase di scoping) *"in riferimento alle possibili interferenze delle opere di scavo previste con la condizione strutturale di edifici assoggettati a tutela monumentale, si chiede, nelle successive fasi di progettazione, lo sviluppo di piani e soluzioni di abbattimento preventivo del rischio di danneggiamento strutturale in riferimento ai manufatti che, per posizione e condizione pregressa, si presentino maggiormente vulnerabili"*.

Come descritto al riscontro fornito nella matrice di ottemperanza fornita in allegato alla Relazione Generale, per lo sviluppo del Progetto Definitivo *"La prescrizione è stata presa in conto ed è perfettamente in linea con i criteri di progettazione di un'infrastruttura urbana sotterranea, come la metropolitana, caratterizzata da galleria di linea, stazioni e manufatti interrati. Nell'ambito degli studi, la progettazione si sviluppa in vari step, quali: identificazione di tutti gli edifici che ricadono all'interno della fascia di interferenza degli scavi (indicativamente una fascia di 60m a cavallo dell'asse del tracciato); esecuzione di indagini sugli edifici interessati, mediante sopralluoghi e ricerche di archivio per la caratterizzazione del tipo di struttura, numero di piani, presenza di aree di pertinenza, ecc...; conduzione di sopralluoghi nelle parti comuni, e laddove necessario anche all'interno, per il rilievo dell'effettivo stato di consistenza; determinazione dell'indice di vulnerabilità intrinseco di ogni edificio; valutazione mediante calcoli analitici, degli effetti indotti dagli scavi sulle preesistenti, in termini di cedimenti e deformazioni; determinazione della categoria di danno potenziale che potrebbe interessare ogni singolo edificio; definizione degli interventi di mitigazione del rischio di danneggiamenti (i.e. consolidamenti preventivi allo scavo); elaborazione del progetto di monitoraggio geotecnico degli edifici, dei manufatti e delle preesistenze in generale, con la definizione di soglie di attenzione e allarme al fine di controllare il comportamento tenso-deformativo durante le fasi di scavo e, se del caso, implementare delle contromisure di mitigazione dei rischi. L'approccio progettuale su descritto è applicato a tutte le tipologie di edifici interferenti, e, parimenti, anche a quelli soggetti a tutela monumentale."*

Nella presente relazione, è illustrato quindi l'approccio metodologico proposto nella presente fase di Progetto Definitivo, che si intende implementare per risolvere l'interferenza della Linea in progetto con gli edifici sottoposti a vincolo dalla Soprintendenza.

La presente relazione è articolata nei seguenti capitoli:

- Capitolo 1: Introduzione;
- Capitolo 2: Indagini sui fabbricati; ZOI e BCS; Analisi dello stato di fatto degli edifici (Indice di Vulnerabilità) e valutazione delle categorie di danno; Elenco degli edifici sottoposti a vincolo dalla Soprintendenza;
- Capitolo 3: Interventi di mitigazione; Consolidamenti dei terreni;
- Capitolo 4: Progetto di monitoraggio;
- Capitolo 5: Conclusioni.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

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

- |      |                        |  |
|------|------------------------|--|
| [1]  | MTL2T1A0DFABGENR001:   | Indagini sui Fabbricati – Relazione Tecnica  |
| [2]  | MTL2T1A0DFABGENT001:   | Indagini sui fabbricati – Planimetria con individuazione edifice e/o opera civili interferenti     |
| [3]  | MTL2T1A0DFABGENT002:   | Indagini sui fabbricati – Planimetria con individuazione Indice di vulnerabilità                   |
| [4]  | MTL2T1A0DFABGENT003:   | Indagini sui fabbricati – Planimetria con individuazione altezza degli edifici                     |
| [5]  | MTL2T1A0DFABGENT004:   | Indagini sui fabbricati – Planimetria con individuazione profondità degli edifice e/o opera civili |
| [6]  | MTL2T1A0DFABGENK001.1: | Indagini sui fabbricati – Schede edifice – Volume 1  |
| [7]  | MTL2T1A0DFABGENK001.2: | Indagini sui fabbricati – Schede edifice – Volume 2  |
| [8]  | MTL2T1A0DFABGENK001.3: | Indagini sui fabbricati – Schede edifice – Volume 3  |
| [9]  | MTL2T1A0DFABGENK001.4: | Indagini sui fabbricati – Schede edifice – Volume 4  |
| [10] | MTL2T1A0DFABGENK001.5: | Indagini sui fabbricati – Schede edifice – Volume 5  |
| [11] | MTL2T1A2DPRCG00R002:   | Relazione Tecnica Monitoraggio   |
| [12] | MTL2T1A2DPRCG00K001:   | Planimetria con individuazione categorie di danno  |
| [13] | MTL2T1A2DPRCG00T004:   | Monitoraggio edifici – Schemi tipologici   |
| [14] | MTL2T1A2DPRCG00T006.1: | Interventi di monitoraggio edifice e galleria di linea – Planimetria Tav.1/4                       |
| [15] | MTL2T1A2DPRCG00T006.2: | Interventi di monitoraggio edifice e galleria di linea – Planimetria Tav.2/4                       |
| [16] | MTL2T1A2DPRCG00T006.3: | Interventi di monitoraggio edifice e galleria di linea – Planimetria Tav.3/4                       |
| [17] | MTL2T1A2DPRCG00T006.4: | Interventi di monitoraggio edifice e galleria di linea – Planimetria Tav.4/4                       |

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

- [18] MTL2T1A2DPRCGT0R004: Relazione generale sugli interventi di consolidamento.
- [19] MTL2T1A2DPRCGT0K001: Planimetria con individuazione dei consolidamenti propedeutici allo scavo della galleria con TBM.
- [20] MTL2T1A2DPRCGT0T001.1 ÷ 1.3: Profilo longitudinale con individuazione dei consolidamenti propedeutici allo scavo della galleria con TBM.
- [21] MTL2T1A2DPRCGT0T002: Schemi tipologici dei consolidamenti propedeutici allo scavo della galleria con TBM.
- [22] MTL2T1A2DPRCGT0T003: Interventi di consolidamento tipo C1 lungo via Bologna – Galleria GT1.
- [23] MTL2T1A2DPRCGT0T004: Interventi di consolidamento tipo C2 lungo via Bologna – Gallerie GT1 e GT2.
- [24] MTL2T1A2DPRCGT0T005: Interventi di consolidamento tipo C3 in corrispondenza dell'edificio VRNO31 – Galleria GT2.
- [25] MTL2T1A2DPRCGT0T006: Interventi di consolidamento tipo C4 da pozzo PVR – Galleria GT2.
- [26] MTL2T1A2DPRCGT0T007: Interventi di consolidamento tipo C2 lungo corso Verona – Galleria GT2.
- [27] MTL2T1A2DPRCGT0T008: Interventi di consolidamento tipo C5 per l'edificio MOVR12 – Galleria GT3.
- [28] MTL2T1A2DPRCGT0T009: Interventi di consolidamento tipo C6 da SMO per galleria GT3.
- [29] MTL2T1A2DPRCGT0T010: Interventi di consolidamento tipo C7 da pozzo PS-GT4 – Galleria GT4.
- [30] MTL2T1A2DPRCGT0T011: Interventi di consolidamento tipo C11 da pozzo PCA – Galleria GT4.
- [31] MTL2T1A2DPRCGT0T012: Interventi di consolidamento tipo C6 da SCA per galleria GT4.
- [32] MTL2T1A2DPRCGT0T013: Interventi di consolidamento tipo C6 da SCA per galleria GT5.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

- [33] MTL2T1A2DPRCGT0T014: Interventi di consolidamento tipo C8 da cunicolo PS-GT5 - Galleria GT5.
- [34] MTL2T1A2DPRCGT0T015: Interventi di consolidamento tipo C1 lungo via Lagrange – Galleria GT5.
- [35] MTL2T1A2DPRCGT0T016: Interventi di consolidamento tipo C13 da SPN per galleria GT5.
- [36] MTL2T1A2DPRCGT0T017: Interventi di consolidamento tipo C6 da SPN per galleria GT6.
- [37] MTL2T1A2DPRCGT0T018: Interventi di consolidamento tipo C8 da cunicolo PS-GT6 - Galleria GT6.
- [38] MTL2T1A2DPRCGT0T019: Interventi di consolidamento tipo C12 da pozzo PPA – Galleria GT6.
- [39] MTL2T1A2DPRCGT0T020: Interventi di consolidamento tipo C1 lungo via Pastrengo – Gallerie GT6 e GT7.
- [40] MTL2T1A2DPRCGT0T021: Interventi di consolidamento tipo C9 da PPO – Galleria GT7.
- [41] MTL2T1A2DPRCGT0T022: Interventi di consolidamento tipo C10 da pozzo PS1-GT7 – Galleria GT7.
- [42] MTL2T1A2DPRCGT0T023: Interventi di consolidamento tipo C7 da pozzo PS2-GT7 – Galleria GT7.
- [43] MTL2T1A2DPRCGT0T024: Interventi di consolidamento per scavo cunicolo di servizio PS-GT5.
- [44] MTL2T1A2DPRCGT0T025: Interventi di consolidamento per scavo cunicolo di servizio PS-GT6.
- [45] MTL2T1A2DPRCGT0T026: Opere provvisionali pozzo di servizio PS-GT4.
- [46] MTL2T1A2DPRCGT0T027: Opere provvisionali pozzo di servizio PS-GT5.
- [47] MTL2T1A2DPRCGT0T028: Opere provvisionali cunicolo di servizio PS-GT5.
- [48] MTL2T1A2DPRCGT0T029: Fasi esecutive pozzo di servizio PS-GT5.
- [49] MTL2T1A2DPRCGT0T030: Opere provvisionali pozzo di servizio PS-GT6.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

- [50] MTL2T1A2DPRCGT0T031: Fasi esecutive pozzo di servizio PS-GT6.
- [51] MTL2T1A2DPRCGT0T032: Opere provvisionali pozzo di servizio PS1-GT7.
- [52] MTL2T1A2DPRCGT0T033: Fasi esecutive pozzo di servizio PS1-GT7.
- [53] MTL2T1A2DPRCGT0T034: Opere provvisionali pozzo di servizio PS2-GT7.
- [54] MTL2T1A2DPRCGT0T035: Fasi esecutive pozzo di servizio PS2-GT7.
- [55] MTL2T1A2DPRCGT0T036: Pozzi di servizio. Dettagli costruttivi opere provvisionali.
- [56] MTL2T1A2DPRCGT0T037: Cunicoli di servizio. Dettagli costruttivi opere provvisionali.
- [57] 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.

## 3. INDAGINE SUI FABBRICATI

### 3.1 Definizione della ZOI (Zona di influenza) e Building Condition Survey (BCS)

La realizzazione di opere in sotterraneo in ambito urbano in genere comporta dei rischi di cedimenti indotti sulle pre-esistenze nell'intorno delle opere in costruzione dovute alle tecniche di scavo. A tale scopo si introduce convenzionalmente un'area di influenza denominata ZOI (Zona di influenza), che è definita come quell'area entro la quale la costruzione delle opere civili possono indurre dei cedimenti ed è finalizzata al controllo degli edifici potenzialmente a rischio (l'area entro

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

cui eseguire il cosiddetto Building Condition Survey – BCS). Questa area è generalmente estesa a cavallo dell’asse dell’opera, per le gallerie di linea, ed a distanza predefinita dal bordo delle altre opere che raggiungono la superficie.

In base ai dati di letteratura ed esperienza diretta questa fascia include le strutture che ricadono all’interno di un corridoio così definito:

- Per la galleria, quando si trovano ad una distanza compresa entro 30m dall’asse.
- Per pozzi e stazioni la distanza maggiore tra 30m ed il doppio della profondità dello scavo definite a partire dal bordo dell’impronta delle strutture che delimitano lo scavo

Nello sviluppo del Progetto Definitivo della Linea 2 della Metropolitana di Torino pertanto è stato eseguito il controllo di tutte le strutture pre-esistenti che ricadono nella ZOI di cui sopra.



**Figura 1. Esempio di ZOI per il BCS.**

Nell’ambito di questa indagine legata al BCS (Building Condition Survey – BCS), sono stati individuati 336 edifici che sono potenzialmente a rischio. Per ciascun edificio è stata eseguita un’indagine dello stato di consistenza dei fabbricati ed è stata redatta una “Scheda di rilevamento dei fabbricati” come da esempio riportato di seguito.



METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO PROGETTO DEFINITIVO LINEA 2 - TRATTA POLITECNICO / REBAUDENGO			
SCHEDA EDIFICIO - LIVELLO 2			
Comune	TORINO	CODICE IDENTIFICATIVO EDIFICIO	CAM015
Indirizzo	Via Verdi 5, Piazzetta Accademia Militare		
Stralcio planimetrico		Vista facciata principale	
Data rilievo	09/06/2021		
Dati Catastali	Foglio 1247	Particella 111	
<b>PRESENTI AL RILIEVO</b>		<b>NOMINATIVO/I</b>	
Rilevatore/i	<input checked="" type="checkbox"/>	Ing. Silvio D'ANTUONO	
Proprietario	<input type="checkbox"/>		
Amministratore	<input type="checkbox"/>		
Inquilino	<input type="checkbox"/>		
Referente	<input checked="" type="checkbox"/>	Cecilia Di BLASI	
Portinaio	<input type="checkbox"/>		
Altro	<input type="checkbox"/>		
<b>Descrizione sintetica dell'edificio</b>			
Edificio costituito da un accesso pedonale/carraio da Via Verdi 5 e da Piazzetta A. Militare. L'edificio è composto da un piano terra, primo, secondo, terzo e sottotetto non abitabile. La manica di Via Verdi non è accessibile ai piani. La manica est al piano terra è adibita ad esposizione/mostra (museo). L'edificio è costituito da n. 2 piani interrati di cui il secondo non è accessibile a causa dei cedimenti del solaio del primo piano interrato. L'edificio è dismesso in relazione anche allo stato di conservazione interno. Il cortile interno e la manica interna sono al momento in concessione alla Società PRS (Paratissima) la quale conduce attività museale.			
Anno di costruzione	reale	stimato	1700
Vincoli	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
Tipo	Soprintendenza Beni Ambientali ed Architettonici	Note	
Fonte delle informazioni (relative alla storia edificio)			

Figura 2. Esempio schede di rilevamento dei fabbricati.

Al fine di individuare univocamente gli edifici rilevati, a ciascun fabbricato è stato assegnato un codice di identificazione definite dalla tratta di linea esaminata (individuate da due stazioni contigue) e da un numero progressivo come da scheda di rilevamento di esempio riportata in **Figura 2.**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

La valutazione degli immobili è stata condotta prendendo visione delle parti comuni dei fabbricati e raccogliendo informazioni relative alla storia degli edifici, interrogando a seconda dei casi e quali fonti di informazione, i proprietari dell'immobile, gli amministratori o loro referenti, direttamente i progettisti o i costruttori degli edifici in corso di costruzione/ristrutturazione.

### 3.1.1 Indice di vulnerabilità

Per caratterizzare le condizioni degli edifici esistenti prima dell'inizio dello scavo, è necessario eseguire un calcolo della vulnerabilità per gli edifici potenzialmente interessati. La condizione iniziale dell'edificio è espressa attraverso l'indice di vulnerabilità ( $I_v$ ), che viene calcolato dalle informazioni raccolte durante il Building Condition Survey (BCS) e attraverso l'esperienza ingegneristica. Valori di indici alti indicano che un edificio è più sensibile alle deformazioni imposte.

L'indice di vulnerabilità ( $I_v$ ) dipende dal comportamento strutturale dell'edificio, dall'orientamento e dalla sua posizione, dal suo comportamento funzionale, dalle sue caratteristiche estetiche e dalle sue condizioni generali. Lo scopo principale del calcolo dell'Indice di Vulnerabilità è identificare tutti gli edifici che sono sensibili o in cattive condizioni al fine di fornire un adeguato schema di monitoraggio e/o manutenzione degli edifici durante la costruzione del tunnel o delle opere di linea.

L'indice di vulnerabilità viene classificato secondo 5 categorie (utilizzando una scala da 1 a 100) come segue:

INDICE DI VULNERABILITÀ	GRADO DI VULNERABILITÀ
0-20	trascurabile
20-40	basso
40-60	lieve
60-80	moderato
80-100	alto

il presupposto è che un edificio con un alto indice di vulnerabilità subirà un danno maggiore di un edificio in buone condizioni con bassa vulnerabilità.

Di seguito se riporta a modo di esempio una scheda dell'indice di vulnerabilità compilato per un fabbricato della tratta CAMO con un indice di vulnerabilità moderato.



METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO  
 PROGETTO DEFINITIVO LINEA 2 - TRATTA POLITECNICO / REBAUDENGO

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DEL RILIEVO - Indice di Vulnerabilità

INDIRIZZO: PIAZZETTA ACCADEMIA MILITARE 3	CODICE EDIFICIO CAMO16	PAGINA 1/2
---	---------------------------	---------------

VALORE MASSIMO: 25	A. COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELL'EDIFICIO		INDICE		VALORE ASSUNTO	
	CARATTERISTICHE					
<b>A.1 ELEMENTI STRUTTURALI ORIZZONTALI</b>						
	A.1.1 STRUTTURE IN LEGNO	6				
	A.1.2 STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO	0				
	A.1.3 STRUTTURE MISTE	3	3			X
<b>A.2 ELEMENTI STRUTTURALI VERTICALI</b>						
	A.2.1 ELEMENTI IN MURATURA	6	6			X
	A.2.2 STRUTTURE IN ACCIAIO	0				
	A.2.3 STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO	3	3			X
	A.2.4 STRUTTURE MISTE	4				
<b>A.3 FONDAZIONI - FONTE DELL'INFORMAZIONE</b>						
	A.3.1 DIRETTA (DISEGNI DI PROGETTO, COSTRUTTORE)	0				
	A.3.2 INDIRETTA ( PROPRIETARIO, INQUILINO, PERSONALE AMMINISTRATIVO, PER SIMILITUDINE CON STRUTTURE NOTE, PER STIMA)	4	4			X
<b>A.4 TIPOLOGIA DI INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE, SE PRESENTE</b>						
	A.4.1 SCONOSCIUTO	2	2			X
	A.4.2 AUMENTO DELLE APERTURE SULLA FACCIATA (O SU STRUTTURE PORTANTI)	6				
	A.4.3 AMPLIAMENTO MANTENENDO IL SISTEMA COSTRUTTIVO	0				
	A.4.4 AMPLIAMENTO CON MODIFICA DEL SISTEMA COSTRUTTIVO	3				
	A.4.5 CONSOLIDAMENTI (STRUTTURE PORTANTI O FONDAZIONI)	5				
	A.4.6 SOPRAELEVAZIONI	4				
	A.4.7 PICCOLE MODIFICHE INTERNE	0				
STATO DELL'INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE (*)						
	A.4.8 ESEGUITO / IN CORSO D'OPERA	1	0			
	A.4.9 PROGETTATO / IN FASE DI APPROVAZIONE	0	1			
<b>A.5 PRESENZA DI PIANI INTERRATI</b>						
	A.5.1 NO	0				
	A.5.2 SI	3	3			X
					<b>TOTALE PARZIALE A.</b>	<b>18</b>

\* COEFFICIENTE MOLTIPPLICATIVO PER LA CORREZIONE DEL PESO DEGLI INTERVENTI

VALORE MASSIMO: 25	B. ORIENTAMENTO E POSIZIONE DELL'EDIFICIO		INDICE		VALORE ASSUNTO	
	CARATTERISTICHE		B.T.	L.T.	B.T.	L.T.
<b>B.1 ORIENTAMENTO</b>						
	B.1.1 L1 / L2 < 0,5	5	10			
	B.1.2 0,5 < L1 / L2 < 2	6	6	6	6	X
	B.1.3 L1 / L2 > 2	10	5			
<b>B.2 EFFETTO DI GRUPPO DEGLI EDIFICI</b>						
	B.2.1 EDIFICI ISOLATI TIPOLOGIA A (L1, L2 < 2D)	15				
	B.2.2 EDIFICI ISOLATI TIPOLOGIA B (L1, L2 > 2D)	5				
	B.2.3 EDIFICI ISOLATI TIPOLOGIA C (L1 < 2D; L2 > 2D)	10				
	B.2.4 EDIFICI ISOLATI TIPOLOGIA D (L1 > 2D; L2 < 2D)	10				
	B.2.5 GRUPPO DI EDIFICI PARALLELI ALL'ASSE DEL TUNNEL	0	7			
	B.2.6 GRUPPO DI EDIFICI PERPENDICOLARI ALL'ASSE DEL TUNNEL	7	0	7	0	X
<b>B.3 POSIZIONE (RELATIVA AL TUNNEL) FATTORE MOLTIPPLICATIVO B1 E B2</b>						
	B.3.1 X/D < 1	1		1		X
	B.3.2 1 < X/D < 3	0,5				
	B.3.3 X/D > 3	0				
					<b>TOTALE PARZIALE B.</b>	<b>13</b>
						<b>6</b>

**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO  
 PROGETTO DEFINITIVO LINEA 2 - TRATTA POLITECNICO / REBAUDENGO**
**INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DEL RILIEVO - Indice di Vulnerabilità**

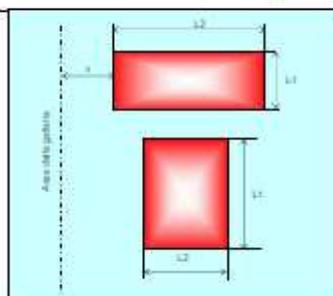
INDIRIZZO: PIAZZETTA ACCADEMIA MILITARE 3	CODICE EDIFICIO	PAGINA
	CAMO16	2/2

VALORE MAX: 10	<b>C. COMPORTAMENTO FUNZIONALE DELL'EDIFICIO</b>		
	CARATTERISTICHE	INDICE	VALORE ASSUNTO
	<b>C.1 DESTINAZIONE D'USO DELL'EDIFICIO</b>		
	C.1.1 EDIFICI AD ALTA SENSIBILITA' (OSPEDALI, EDIFICI CON STRUMENTAZIONE SENSIBILE, MONUMENTI, EDIFICI STORICO-ARTISTICI, ECC.)	10	10 X
	C.1.2 EDIFICI A MEDIA SENSIBILITA' (RESIDENZIALE, COMMERCIALE, ECC.)	5	
C.1.3 EDIFICI A BASSA SENSIBILITA' (PARCHEGGI, EDIFICI ABBANDONATI)	0		
<b>TOTALE PARZIALE C.</b>			<b>10</b>

VALORE MASSIMO: 20	<b>D. CARATTERISTICHE ESTETICHE DELL'EDIFICIO</b>		
	CARATTERISTICHE	INDICE	VALORE ASSUNTO
	<b>D.1 EDIFICIO STORICO / PATRIMONIO ARTISTICO</b>		
	D.1.1 NO	0	
	D.1.2 SI	12	12 X
	<b>D.2 PARETI INTERNE NON PORTANTI</b>		
	D.2.1 LEGNO	1	
	D.2.2 MATTONI/LATERIZI	4	4 X
	D.2.3 CARTONGESSO	3	
	D.2.4 ALLUMINIO E VETRO	2	
	<b>D.3 FINITURE ESTERNE</b>		
	D.3.1 RIVESTIMENTO ARTISTICO	4	
	D.3.2 RIVESTIMENTO ORDINARIO	3	3 X
	D.3.3 INTONACO	2	2 X
D.3.4 ALTRO	1		
<b>TOTALE PARZIALE D.</b>			<b>19</b>

VALORE MASSIMO: 20	<b>E. STATO DELL'EDIFICIO</b>		
	CARATTERISTICHE	INDICE	VALORE ASSUNTO
	<b>E.1 CONDIZIONI VISIVE GENERALI</b>		
	E.1.1 BUONE	0	
	E.1.2 MEDIE	4	4 X
	E.1.3 CATTIVE	8	
	<b>E.2 SEGNALE DI CEDIMENTO NELLE VICINANZE DELL'EDIFICIO</b>		
	E.2.1 SI	4	
	E.2.2 NO	0	0 X
	<b>E.3 FESSURE O CREPE</b>		
E.3.1 CREPE DIFFUSE DI MAGGIORE ENTITA'	8		
E.3.2 CREPE E/O PICCOLE FESSURAZIONI	5		
E.3.3 CREPE/FESSURE ISOLATE DI MINORE ENTITA'	3		
<b>TOTALE PARZIALE E.</b>			<b>4</b>

LEGENDA  
 L1: DIMENSIONE MISURATA IN DIREZIONE PARALLELA AL TRACCIATO  
 L2: DIMENSIONE MISURATA IN DIREZIONE PERPENDICOLARE AL TRACCIATO  
 B.T. = CONDIZIONE DI BREVE TERMINE  
 L.T. = CONDIZIONE DI LUNGO TERMINE  
 s = DISTANZA DELL'EDIFICIO DALL'ASSE DEL TRACCIATO  
 D = DIAMETRO DEL TUNNEL DI SCAVO



INDICE DI VULNERABILITA' LUNGO TERMINE	<b>57</b>
--	-----------

INDICE DI VULNERABILITA' BREVE TERMINE	<b>64</b>
--	-----------

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

Poiché le condizioni degli edifici e delle strutture presenti lungo il tracciato sono relativamente buone, non sono stati identificati edifici con un  $I_v$  al di sopra di 75, e quindi, gli unici edifici considerati "sensibili" sono quelli catalogati come edifici protetti, edifici patrimonio culturale, edifici pubblici, stazioni di servizio, scuole, ospedali, ecc.

Convenzionalmente, l'indice di vulnerabilità viene correlato con le «Categorie di danno» che associano a ciascuna categoria dei limiti di cedimento e distorsione dell'edificio (Classificazione di Burland 1977).

**Tabella 1. Relazione tra categorie e tipo di danno [Burland et al. (1977)].**

CATEGORIA DI DANNO	TIPO DI DANNO
0 Trascurabile	Estetica
1 Molto lieve	Estetica
2 Lieve	Estetica
3 Moderato	Funzionale
4 - 5 Grave a molto grave	Di Servizio & Strutturale

Al fine della definizione dei livelli di soglia ammissibile, si presuppone che i cedimenti indotti sugli edifici non causino danni di natura strutturale o che possa in qualche modo ledere la funzionalità degli impianti presenti, ovvero si accetta che l'edificio subisca al massimo un livello di danno definito 'Molto Lieve' (categoria 1).

L'indice di vulnerabilità viene utilizzato per stabilire un fattore riduttivo dei valori limite dei parametri di controllo (in termini di cedimenti assoluti, cedimenti relativi e distorsioni degli edifici) che compaiono nelle classificazioni di rischio, convenzionalmente utilizzate per la definizione delle subsidenze limite ammissibili. In funzione della classe di appartenenza di  $I_v$ , pertanto, si stabilisce un coefficiente riduttivo (FR) dei valori limite dei parametri di controllo ( $\epsilon_{lim}$ ,  $\Delta_{max}$ ,  $\beta_{max}$ ,  $S_{max}$ ) variabile da 1.0 a 2.0.

**Tabella 2. Valori limite dei parametri di controllo in funzione delle categorie di danno e considerando l'indice di vulnerabilità ( $I_v$ ).**

Categoria di danno	Edifici normali in condizioni standard ( $I_v < 75$ )		Edifici sensibili ( $I_v > 75$ , edifici protetti e patrimonio, edifici pubblici, etc)	
	$S_{max}$ (mm)	$1/\beta$	$S_{max}$ (mm)	$1/\beta$
0 - 1	<10	< 1/500	<5	< 1/1000
2	10-50	1/200 - 1/500	5-25	1/400 - 1/1000
3	50-75	1/50 - 1/200	25-37.5	1/100- 1/400

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

4	>75	1/50 – 1/200	>37.5	1/100– 1/400
5	>75	> 1/50	>37.5	> 1/100

Per la valutazione degli edifici e delle strutture a rischio nell'ambito di questo progetto, sono seguiti i seguenti criteri di danno in base alla **Tabella 3**:

**Tabella 3. Criteri di danno per edifici e strutture.**

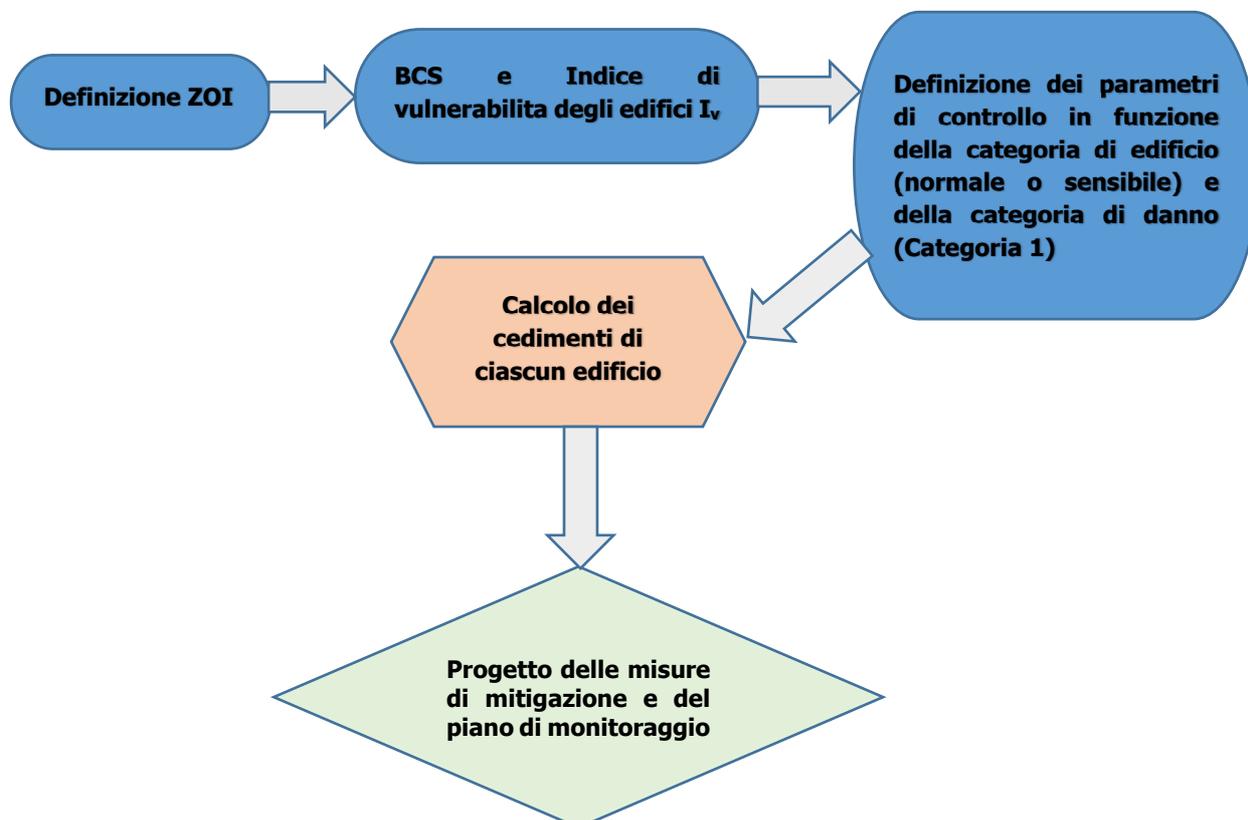
<b>PARAMETRI DI CONTROLLO</b>	<b>EDIFICI NORMALI (<math>I_V &lt; 75</math>)</b>	<b>EDIFICI SENSIBILI</b>
Cedimenti totali $S_{max}$	$\leq 10\text{mm}$	$\leq 5\text{mm}$
Distorsione angolare $1/\beta$	$1/\beta \leq 1/500$	$1/\beta \leq 1/1000$
Deformazione lungo l'edificio $\epsilon$	$\epsilon \leq 0.075$	$\epsilon \leq 0.038$

Questi limiti sono definiti dalla categoria di danno molto lievi (categoria 1). Pertanto, in funzione delle analisi effettuate lungo la linea sono state definite se sono individuate diverse tipologie di mitigazione dei cedimenti indotti. In particolare, per tutti gli edifici che rientrano nella categoria di danno atteso 0 e 1, non sono previste opere di presidio degli edifici ma è previsto un sistema di monitoraggio di tipo leggero (vedi anche i paragrafi successivi sui monitoraggi). Invece, per gli edifici che rientrano nelle categorie 2 e 4 e per la maggior parte gli edifici sensibili, sono previste delle misure di mitigazione specifiche (in genere interventi di consolidamento e presidio degli edifici) ed un sistema di monitoraggio più fitto, come descritto nei paragrafi successivi e dal diagramma di flusso riportato di seguito.

**Tabella 4. Numero di edifici per ciascuna categoria di danno atteso ipotizzando un  $V_L = 1.0\%$ .**

	Trascurabile	Molto lieve	Lieve	Moderato	Grave a Molto grave	Total
	0	1	2	3	4	
<b>n edifici</b>	75	41	104	10	1	231

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1



### 3.2 Edifici sottoposti a vincoli della Soprintendenza (Edifici Sensibili)

Tra i 336 edifici individuati all'interno della ZOI e censiti con le schede di Rilevamento, sono stati individuati, lungo il tracciato, anche 44 edifici sottoposti a vincolo dalla Soprintendenza (categoria dei beni culturali tutelati dall'art.10 D.Lgs. 42/2004). Si riporta di seguito l'elenco di questi edifici. Tale elenco di edifici sottoposti a vincolo è stato reperito sul Geoportale del Comune di Torino (sezione "Vincoli e prescrizioni sovraordinate" - "Beni culturali art.10 D. Lgs. 42/2004"), aggiornato ad agosto 2021. Si ricorda, inoltre, che gli immobili aventi più di 70 anni e di autore non vivente, di proprietà pubblica o di persone giuridiche private non aventi fini di lucro, (es. Onlus, Diocesi, parrocchie, Associazioni etc.), sono sottoposti a tutela anche se non inseriti nell'elenco, almeno fino a quando non venga effettuata la verifica prevista dall'art. 12 del D.Lgs. 42/2004.

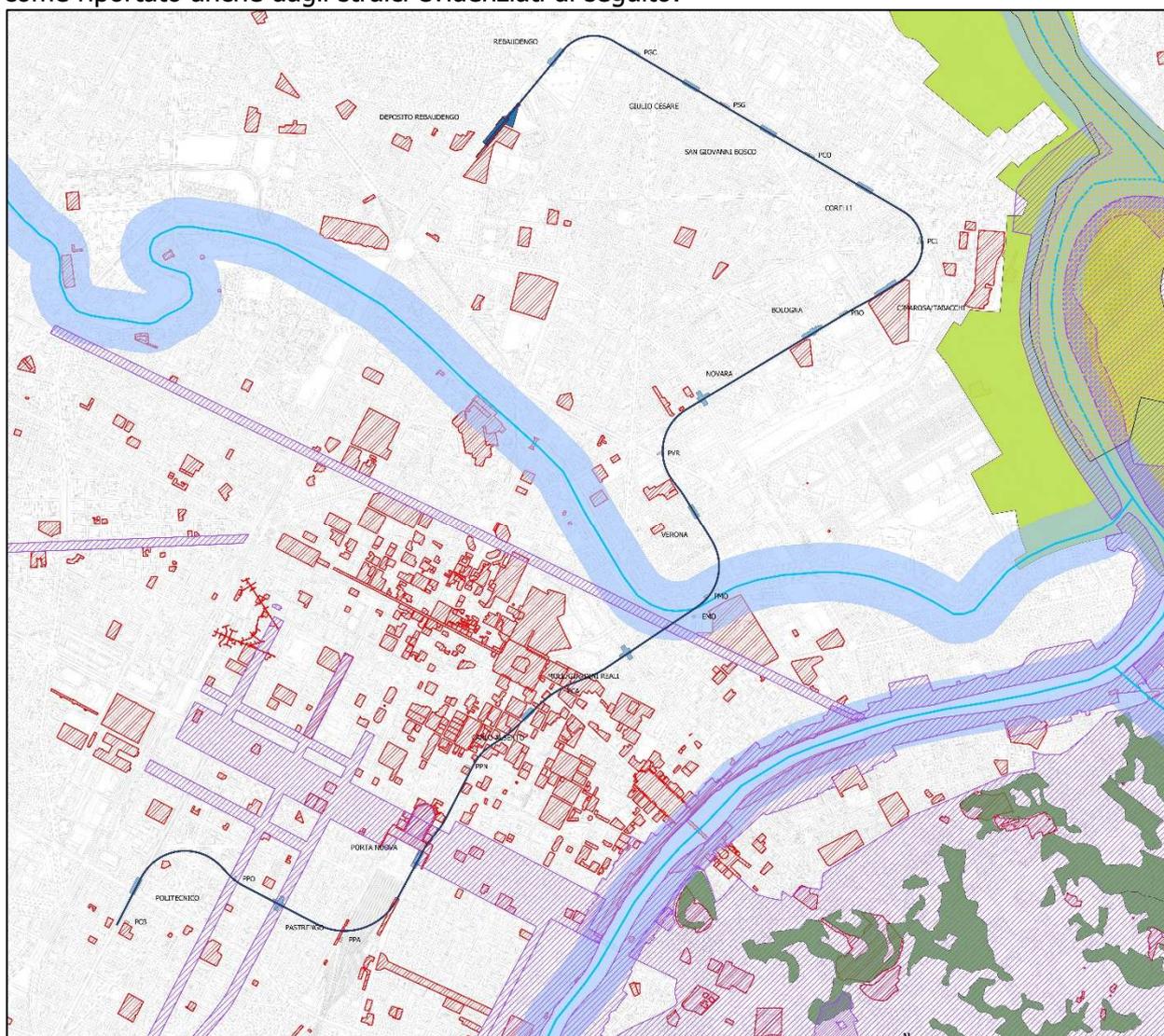
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

**Tabella 5. Elenco degli edifici sottoposti a vincoli culturali interferenti con la Linea e sigle delle schede di rilevamento di riferimento.**

Descrizione edificio	Indirizzo	Sigla degli edifici
Scuola dell'infanzia Borgo Crocetta	Corso Duca degli Abruzzi 50	CBPO02
Scuola primaria di I grado "Michele Coppino"	Via Cristoforo Colombo 36	CBPO01
Fabbricato Ex FS 2 - Ex Magazzino del Ferro	Via Paolo Sacchi dal 29 al 39	PAPN22/PAPN23
Edificio uso promiscuo Poste Italiane - Ferrovie dello Stato		PAPN24
(Palazzo delle Poste a Porta Nuova)	Via Nizza da 8 a 12 bis	PAPN32
Piazza inclusa area dei portici e spazio tra pavimento e volta, incluso tratto di C.so Vittorio compreso tra Via Sacchi	Piazza Carlo Felice	RM02
e Via Nizza e la parte di queste con termini la stazione di Porta Nuova, portici compresi		
Edificio (Facciata e portici) (ora Hotel Ligure)	Piazza Carlo Felice 85	RM04
Casa	Piazza Carlo Felice 35	RM08
Palazzo Cavour	Via Cavour 8	PNCA15
Palazzo Bricherasio	Via Giuseppe Luigi Lagrange 20 e 20 bis	PNCA20
Fabbricato	Via Giovanni Giolitti 2 bis	PNCA26
Palazzo già dei Marchesi Turinetti di Prisco	Via Giovanni Giolitti 1	PNCA25
Palazzo Ceriana-Mayneri	Via Giuseppe Luigi Lagrange 5, 7, 9	PNCA23, PNCA29, PNCA38
Palazzo Birago di Borgaro	Via Carlo Alberto 16	PNCA33
Palazzo Campana - già monastero del Complesso di San Filippo Neri	Via Carlo Alberto 10	PNCA43
Chiesa di S. Filippo, Oratorio di S. Filippo e Congregazione dell'Oratorio di S. Filippo Neri	Via Maria Vittoria 5-7	PNCA41/PNCA42
Casa	Via Cesare Battisti 17 (e limitrofi)	CAMO01, CAMO02, CAMO03, CAMO04, CAMO09, CAMO10
Palazzo	Via Po 4	CAMO05/CAMO06
Palazzo dell'Università	Via Po 13, 15, 17, 19	CAMO12, CAMO13, CAMO14
Complesso della Cavallerizza, Accademia Militare e pertinenze	Via Giuseppe Verdi 7, 9	CAMO16/CAMO17
Ex Accademia Militare ora Palazzo degli Archivi	Via Giuseppe Verdi 3, 5	CAMO15/CAMO23
Ex Smalterie Ballada	Corso Verona 14	VRNO10/VRNO11
Edifici facenti parte dell'Ex Nebiolo- ex Fonderie Subalpine	Via Bologna 55	VRNO37
Complesso dell'Istituto Zooprofilattico Sperimentale	Via Bologna 148	NOBO006, NOBO21, NOBO20
Magazzino di Artiglieria e Difesa Chimica, già Lanificio	Via Bologna 190	BOCI05
Fratelli Piacenza		BOCI06
Complesso Docks Dora	Via Valprato 68	GCRE04



L'elaborato cartografico MTL2T1A0DAMBGEN011 riporta gli edifici sottoposti a vincolo elencati nella tabella soprastante e il tracciato della Linea 2 da cui emergono le interferenze principali come riportato anche dagli stralci evidenziati di seguito:



**Figura 3. Carta dei vincoli paesaggistici e culturali**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

**LEGENDA**

- Linea 2
- TRACCIATO
  - POZZI
  - STAZIONI

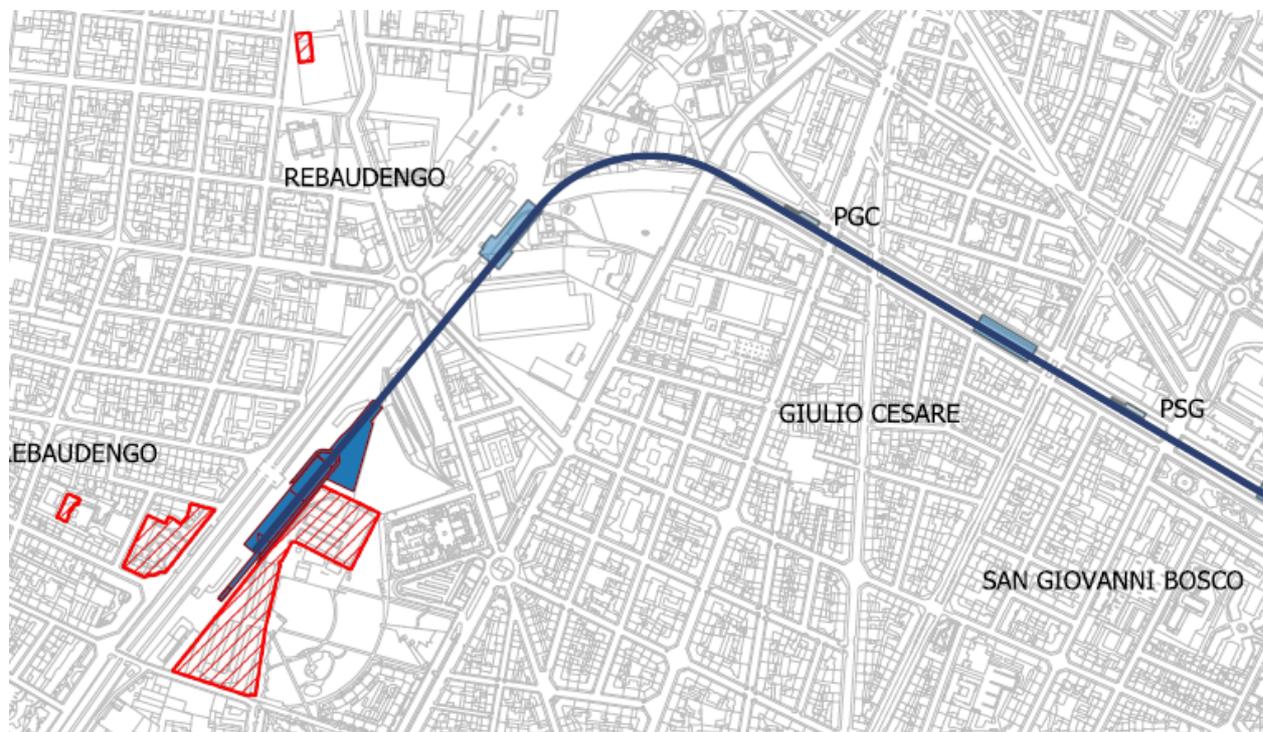
**VINCOLI PAESAGGISTICI**  
 (Piano Paesaggistico Regione Piemonte approvato con D.C.R. n. 233-35836 del 3 ottobre 2017 - Tavv. P2 e P5)  
 Fonte: Geoportale Regione Piemonte

- Corpi idrici  
ex D.lgs. 42/2004 - Comma I, art. 142, lettera c - Agg.2021
- ▨ Bene ex DDMM 1/8/1985 (Galassini) - Agg. 2021
- ▨ Bene ex L.1497/39 "Protezione delle bellezze naturali" - Agg. 2021

- ▨ Fasce di rispetto fluviali (150m)  
ex D.lgs. 42/2004 - Comma I, art. 142, lettera c - Agg.2021
- ▨ Foreste e boschi  
ex D.lgs. 42/2004 - Comma I, art. 142, lettera g - Agg.2021
- ▨ Parchi  
ex D.lgs. 42/2004 - Comma I, art. 142, lettera f - Agg.2021
- ▨ Aree ZPS - Agg. 2021
- ▨ Beni culturali - Art. 10 D.Lgs 42/2004 (ex.Vincoli 1089/39)

**Figura 4. Legenda Carta dei vincoli paesaggistici e culturali**

Si riportano di seguito le finestre di dettaglio evidenziate nella precedente immagine: in esse vengono indicati gli edifici sottoposti a vincoli culturali interferiti.



**Figura 5. Posizione degli edifici sottoposti a vincoli culturali (retino rosso) – Zoom 1**

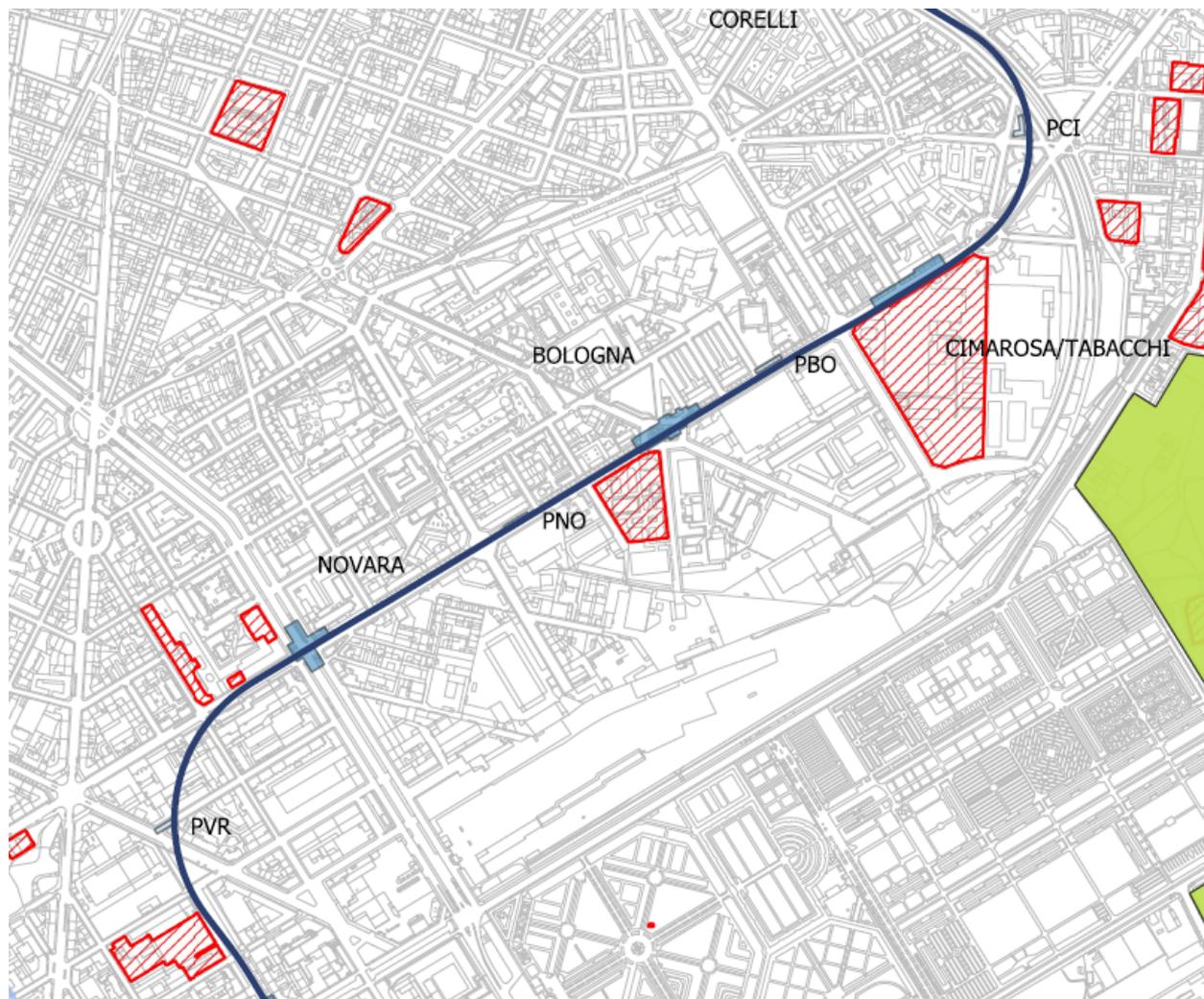
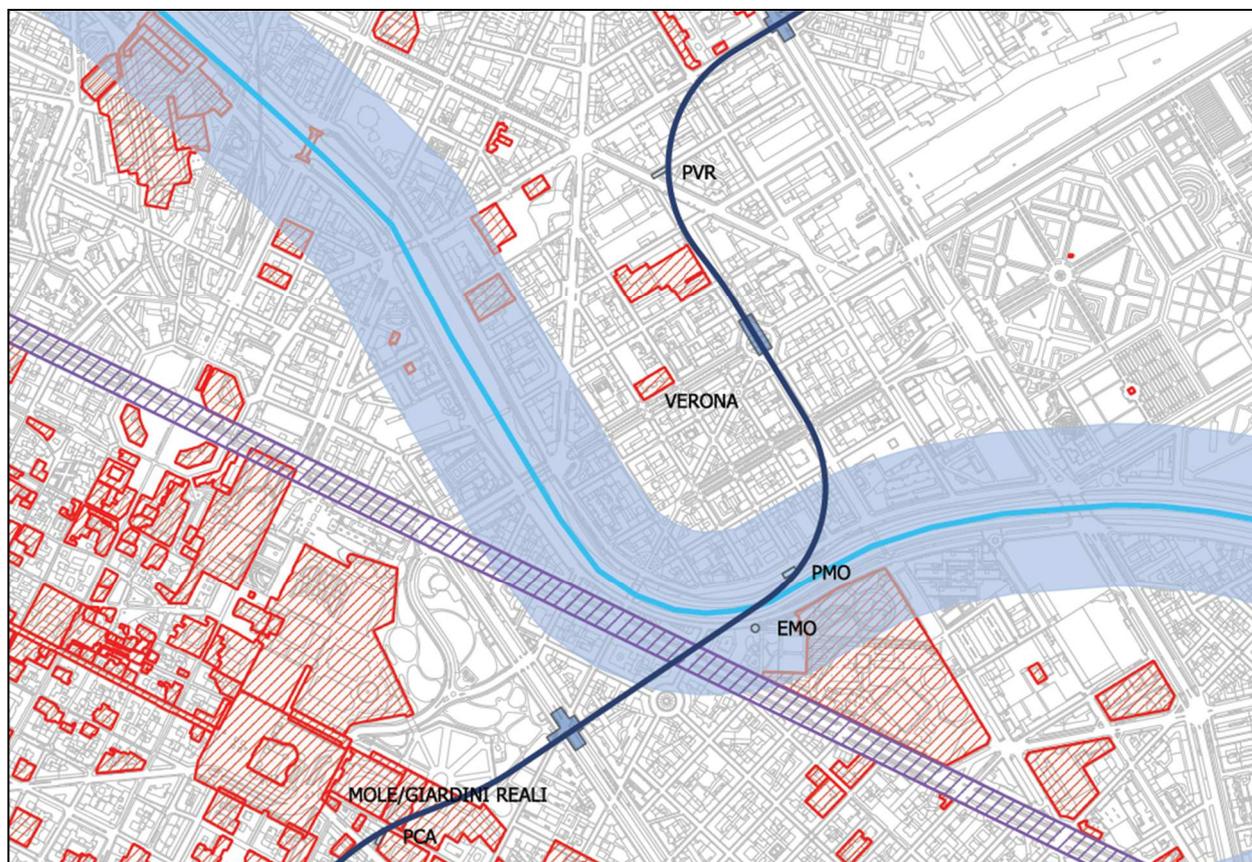


Figura 6. Posizione degli edifici sottoposti a vincoli culturali (retino rosso) – Zoom 2



**Figura 7. Posizione degli edifici sottoposti a vincoli culturali (retino rosso) – Zoom 3**

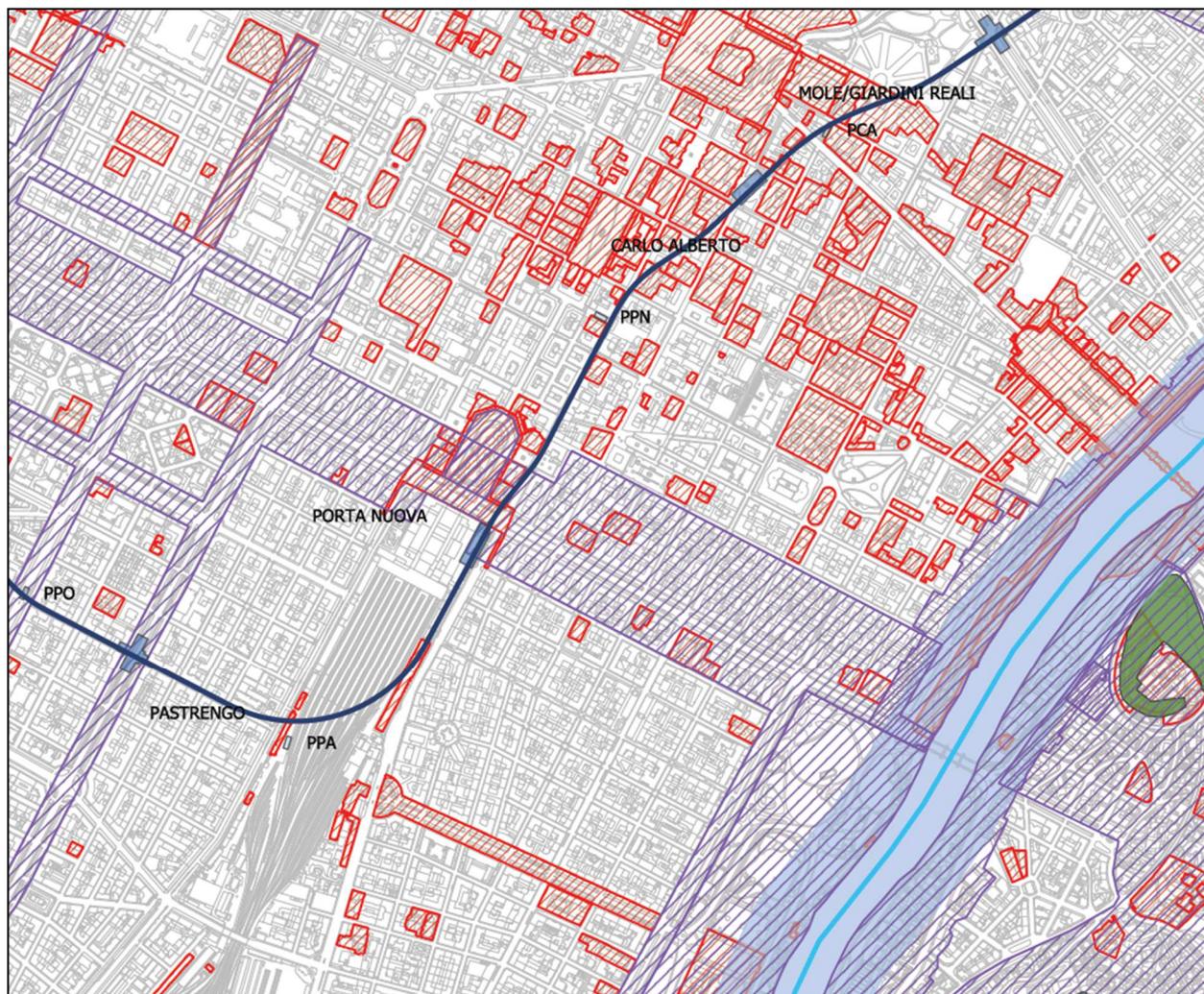


Figura 8. Posizione degli edifici sottoposti a vincoli culturali (retino rosso) – Zoom 4



**Figura 9.** Posizione degli edifici sottoposti a vincoli culturali (retino rosso) – Zoom 5

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

## 4. INTERVENTI DI MITIGAZIONE E PRESIDIO DEGLI EDIFICI SENSIBILI

La scelta progettuale utilizzata per la mitigazione dei cedimenti indotti sulle pre-esistenze in generale ha visto l'utilizzo estensivo di tecniche di consolidamento dei terreni in corrispondenza degli edifici da proteggere o in prossimità delle opere da scavare, associato ad un piano di monitoraggio che a seconda della sensibilità dell'edificio, può essere più o meno fitto. Come descritto al paragrafo successivo, sono state utilizzate 2 tipologie di sistema di monitoraggio, una più leggera ed una più fitta, che sono state applicate in funzione della sensibilità dell'edificio e della sua distanza dalle opere in costruzione. Come si vedrà successivamente per gli edifici sensibili e vincolati, è stato applicato il sistema di monitoraggio più fitto.

Lo scopo dei consolidamenti del terreno invece è quello di mitigare il rischio di cedimenti provocati dallo scavo delle opere civili di linea. A tal fine è concettualmente necessario:

- a. contenere al minimo il volume perso durante gli scavi
- 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.

Tra le opere di linea, lo scavo della galleria con TBM è sicuramente la parte di opera più impattante per l'estensione della galleria prevista in progetto e per il numero di edifici interferenti, anche vincolati, potenzialmente a rischio. Sono state previste in progetto, pertanto, diverse tipologie di intervento di consolidamento in funzione della condizione logistica dei siti oggetto di intervento. Possiamo grossolanamente distinguere i seguenti casi principali:

- a. 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;
- b. la galleria passa al di sotto di edifici al di fuori del centro storico, dove gli spazi in superficie sono relativamente ampi;
- c. 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:

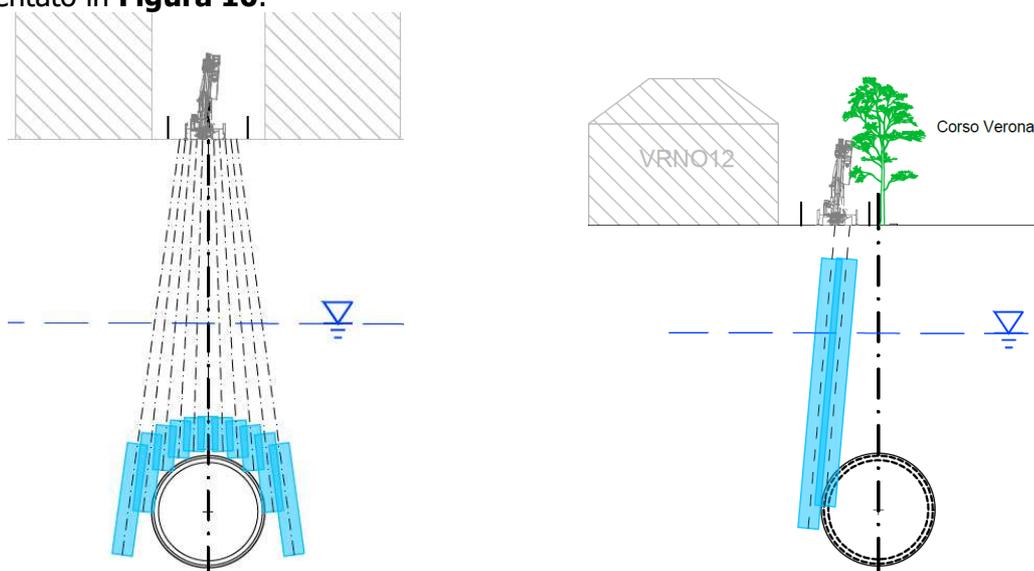
- a. Per minimizzare il volume perso si può ricorrere ad un guscio di protezione con terreno consolidato, immediatamente al contorno della galleria; in tal modo, la TBM scava all'interno di un terreno dotato di coesione, appunto fornita dal consolidamento, per



cui risulta stabile in modo sufficiente da non provocare i franamenti che sono di norma all'origine del volume perso.

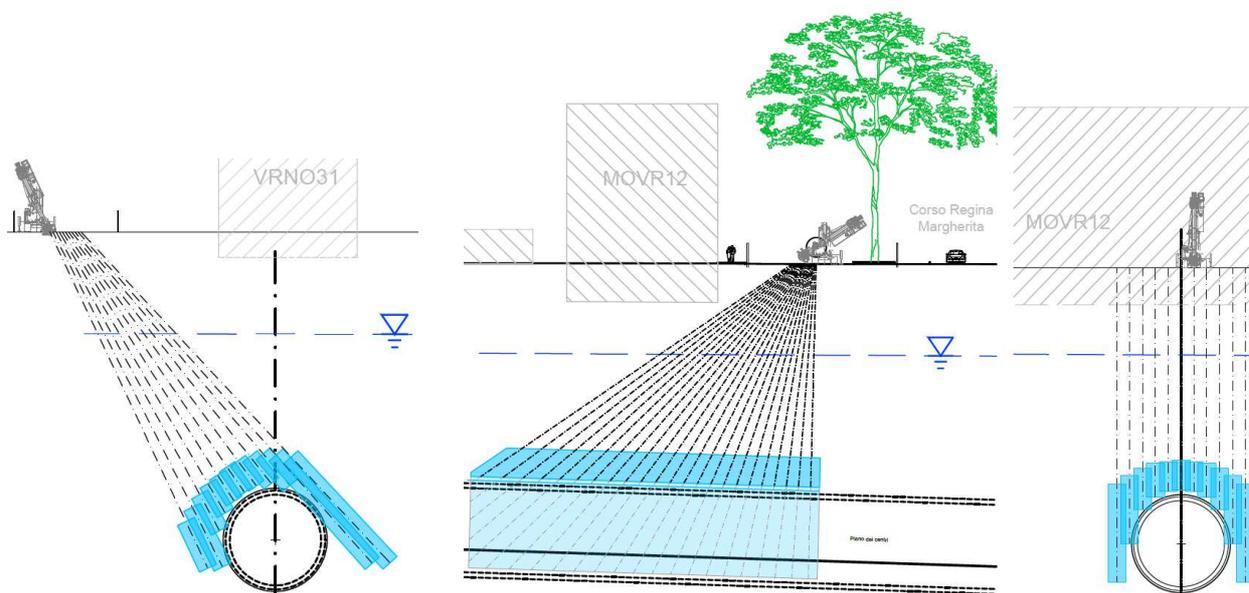
- b. Per evitare che gli effetti del volume perso si propaghino fino alla fondazione degli edifici soprastanti da proteggere, si può fare affidamento su opportune barriere (o cortine) di terreno consolidato che separino fisicamente le fondazioni degli edifici dalla galleria in scavo. Queste barriere 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 10**.



**Figura 10. 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 11**.



**Figura 11. 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 12**.

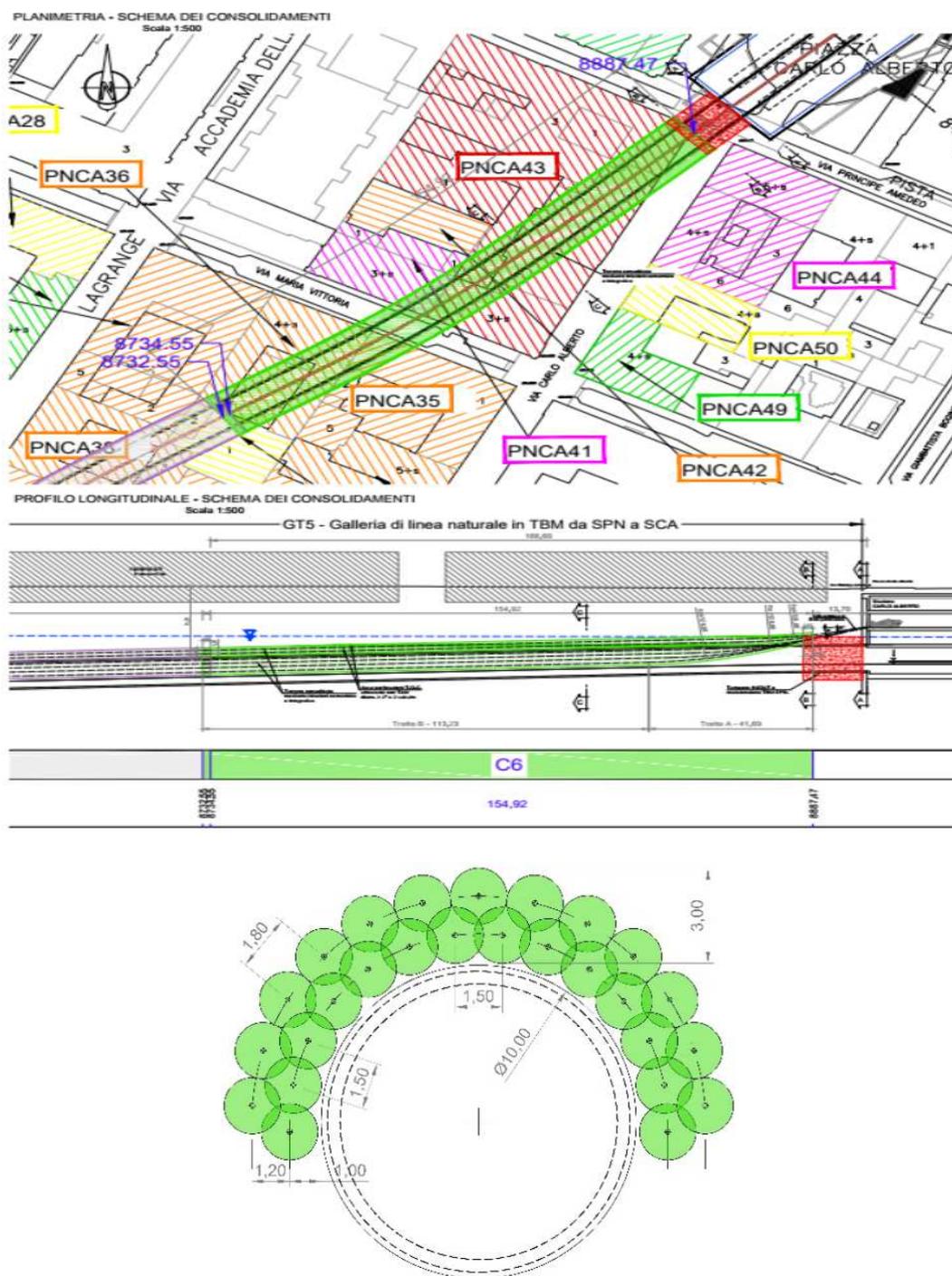
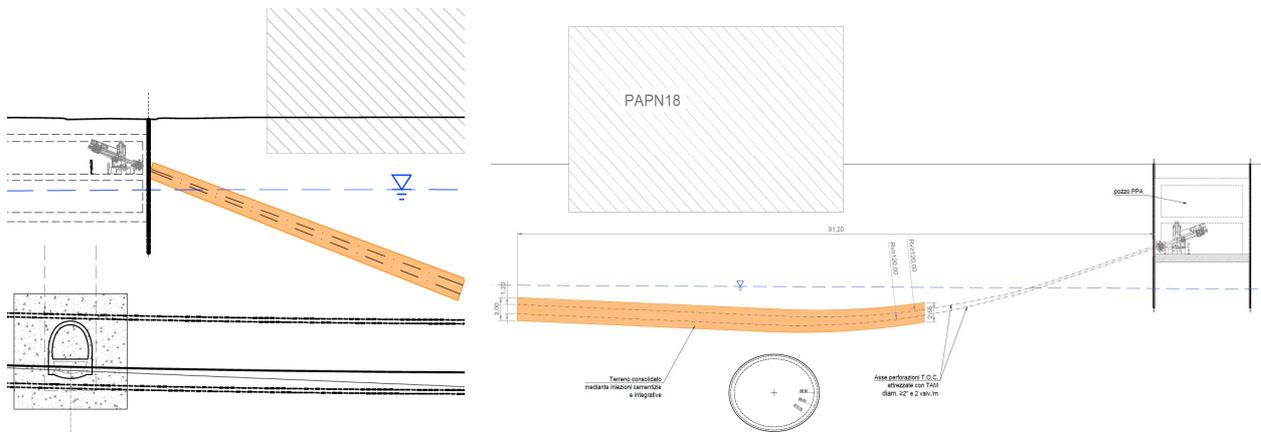


Figura 12. Esempio di intervento al contorno della costruenda galleria, eseguito da sottoraneo con perforazioni parallele all'asse della galleria.

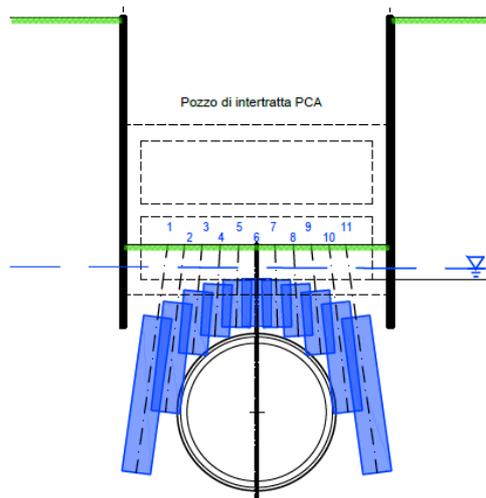


Nei casi in cui il manufatto non è in asse alla costruenda galleria, non è stato possibile adottare una geometria come quella appena descritta, ma si è dovuto ricorrere ad una geometria a cortina suborizzontale. È del tutto evidente che lo scopo di questa tipologia di intervento non è il contenimento 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 13**.



**Figura 13. Esempi di interventi "a cortina suborizzontale" eseguiti da sotterraneo.**

In un caso, da uno dei manufatti di intertratta è stato necessario prevedere un trattamento "a capanna" (**Figura 14**).



**Figura 14. 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.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

Per uniformità, la stessa tecnologia è stata scelta anche per i trattamenti in subverticale da superficie.

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 (denominate da C1 a C13), illustrate nella Tavola MTL2T1A2DPRCGT0T002 [21] 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 [19] e MTL2T1A2DPRCGT0T001 [20], rispettivamente la planimetria e il profilo longitudinale con l'individuazione dei consolidamenti.

## 5. PIANO DI MONITORAGGIO

Nel caso di edifici di altezza superiore a 5 piani fuori terra, edifici sensibili, edifici con un quadro fessurativo importante o vincolati dalla Soprintendenza ai beni culturali ai sensi del D.Lgs 42/2004, è necessaria una applicazione del sistema di monitoraggio più fitto (Tipo 2, secondo la definizione di Progetto descritta negli elaborati MTL2T1A2DPRCG00T004 [13] e MTL2T1A2DPRCG00T006.1/4 [14]-[17]), in modo da poter valutare tempestivamente qualsiasi condizione critica per l'edificio.

Essenzialmente si andranno a misurare:

- Le deformazioni;
- La variazione nell'apertura delle fessure se già presenti;
- Le rotazioni della facciata nel proprio asse o nel piano ad essa perpendicolare;
- Le vibrazioni.

Pertanto, gli schemi di monitoraggio proposti in questa fase di progetto prevedono:

- La predisposizione di controlli della situazione deformativa sui manufatti esistenti e sulla superficie del terreno attraverso:
  - punti di livellazione superficiale (CPL) opportunamente disposti per ogni fabbricato lungo il tracciato;
  - punti di controllo topografico (CTC e L) sulle pareti dei fabbricati presenti lungo il tracciato (gli strumenti L vanno posizionati sulle pareti del fabbricato a circa 1m di altezza da piano campagna, mentre gli strumenti CTC in corrispondenza delle pareti dei piani superiori).
  - La posa in opera di basi  $F_S$  per deformometro elettrico, al fine di valutare l'eventuale influenza dello scavo sulle fessure eventualmente presenti negli edifici.
  - La posa in opera di fessurimetri fissi  $F_{SE}$ , al fine di valutare l'eventuale influenza dello scavo su quelle eventuali fessure poste in punti dell'edificio difficilmente accessibili, voglia per quota o per altra ragione;
  - La posa in opera di clinometri CL al fine di valutare gli effetti degli interventi di consolidamento sugli edifici e gli effetti deformativi per edifici di interesse storico



e/o artistico, per edifici con stato di consistenza cattivo o lesionati, posti a distanza ravvicinata alle zone di scavo.

- posa in opera di vibrometro trassiale T in corrispondenza degli edifici, al fine di misurare l'entità eventuale delle vibrazioni cui possono essere sottoposti durante le fasi di scavo.

In merito ai fessurimetri, essi saranno individuati in numero e posizione appena prima dell'avvio della costruzione a seguito di sopralluoghi mirati.

Gli schemi proposti e la localizzazione degli strumenti per gli edifici vincolati dalla Soprintendenza sono indicati nella figura sottostante.

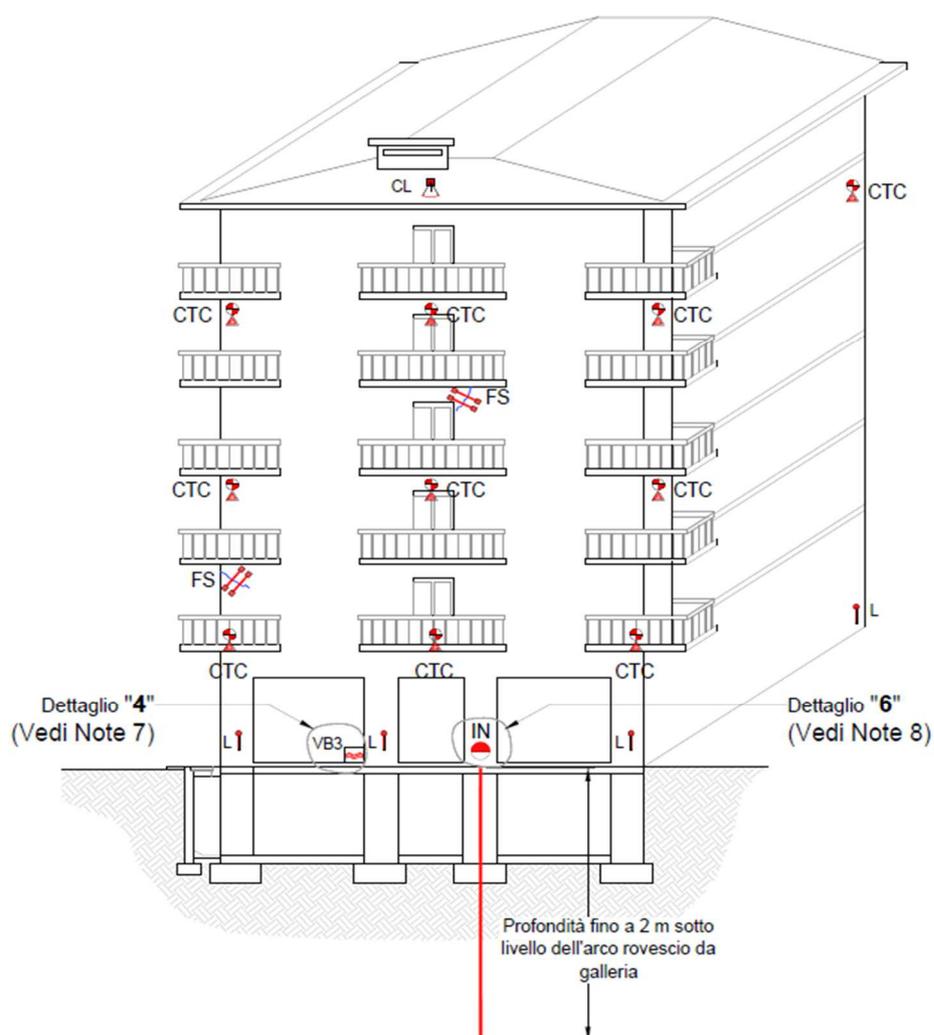


Figura 15. Schema di monitoraggio per edifici vincolati dalla Soprintendenza



Come buona prassi il monitoraggio dovrà essere gestito in un'ottica di analisi e gestione del rischio e pertanto in sede di Progettazione Esecutiva dovranno essere definite le soglie di attenzione ed allarme in base ai risultati dei calcoli sviluppati nell'ultima fase di Progetto. Indicativamente si ritiene opportuno utilizzare percentuali del 70% e 100% dei valori nominali di calcolo rispettivamente per la soglia di attenzione ed allarme.

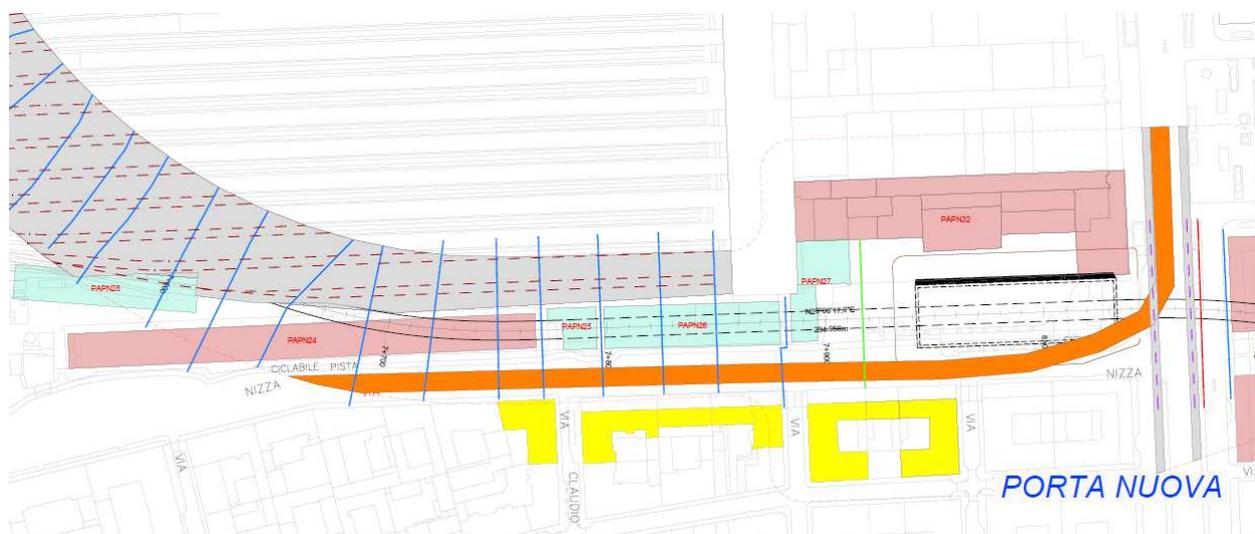
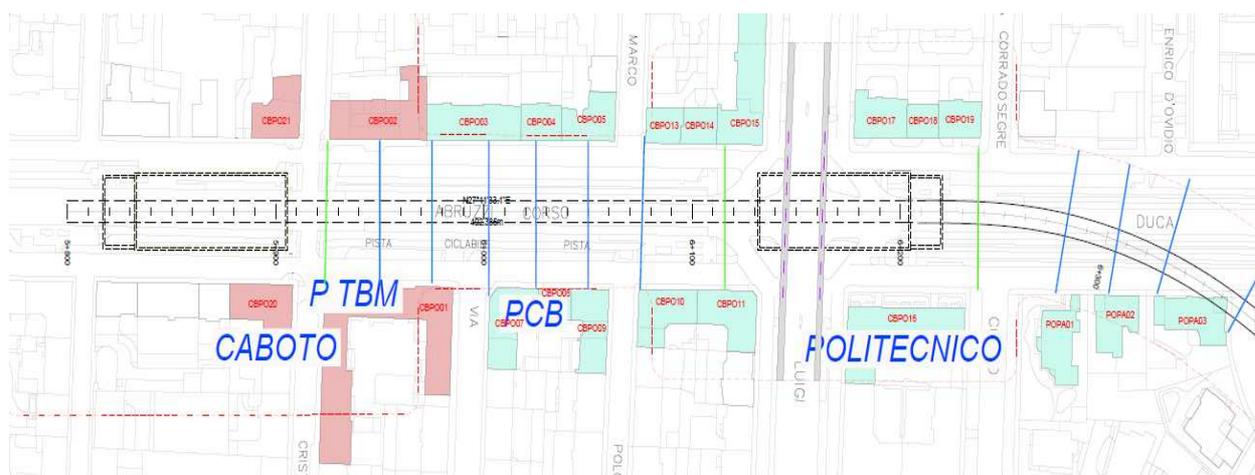




Figura 16. Stralci planimetrici riportante gli edifici con monitoraggio di Tipo 2 (in rosa)

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Generale: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione illustrativa – Interferenze delle opere di linea con gli edifici vincolati	20_MTL2T1A0DZOOGENR005-0-1

## 6. CONCLUSIONI

La presente relazione si inserisce nell'ambito del Progetto Definitivo della Linea 2 della Metropolitana di Torino – Tratta Rebaudengo – Politecnico ed ha descritto le scelte progettuali condotte al fine di mitigare gli effetti indotti dalla realizzazione delle opere di linea sulle pre-esistenze ed in particolare sugli edifici vincolati. Come descritto ai paragrafi precedenti, dove i calcoli eseguiti hanno evidenziato dei potenziali rischi, si è intervenuto con degli interventi di consolidamento a presidio degli edifici ed un sistema di monitoraggio tarato sul meccanismo deformativo atteso dell'edificio esaminato. Per gli edifici vincolati in genere, con eccezione degli edifici che ricadono al di fuori della ZOI, sono stati applicati dei sistemi di mitigazione e monitoraggio conservativi, a prescindere dai risultati ottenuti nei calcoli, per tenere conto della particolare sensibilità di questi fabbricati. Nella seguente tabella si riassumono gli interventi di mitigazione previsti ed il sistema di monitoraggio applicato su ciascun edificio vincolato individuato lungo la linea.

**Tabella 6. Elenco degli edifici sottoposti a vincoli culturali interferenti con la Linea ed interventi di mitigazione previsti**

Descrizione edificio	Indirizzo	Sigla degli edifici	Monitoraggio	Interventi di presidio degli edifici
Scuola dell'infanzia Borgo Crocetta	Corso Duca degli Abruzzi 50	CBPO02	Tipo 2	Non previsto
Scuola primaria di I grado "Michele Coppino"	Via Cristoforo Colombo 36	CBPO01	Tipo 2	Non previsto
Fabbricato Ex FS 2 - Ex Magazzino del Ferro	Via Paolo Sacchi dal 29 al 39	PAPN22/PAPN23	Tipo 2	Non previsto
Edificio uso promiscuo Poste Italiane - Ferrovie dello Stato	Via Nizza da 8 a 12 bis	PAPN24	Tipo 2	Consolidamento Tipo C8
(Palazzo delle Poste a Porta Nuova)		PAPN32	Tipo 2	Cortina di Micropali a protezione delle fondazioni
Piazza inclusa area dei portici e spazio tra pavimento e volta, incluso tratto di C.so Vittorio compreso tra Via Sacchi e Via Nizza e la parte di queste con termini la stazione di Porta Nuova, portici compresi	Piazza Carlo Felice	RM02	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C6
Edificio (Facciata e portici) (ora Hotel Ligure)				
Casa	Piazza Carlo Felice 35	RM08	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C1
Palazzo Cavour	Via Cavour 8	PNCA15	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C1
Palazzo Bricherasio	Via Giuseppe Luigi Lagrange 20 e 20 bis	PNCA20	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C1
Fabbricato	Via Giovanni Giolitti 2 bis	PNCA26	Tipo 2	Consolidamento Tipo C8
Palazzo già dei Marchesi Turinetti di Prisco	Via Giovanni Giolitti 1	PNCA25	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C1
Palazzo Ceriana-Mayneri	Via Giuseppe Luigi Lagrange 5, 7, 9	PNCA23, PNCA29, PNCA38	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C1 e C8
Palazzo Birago di Borgaro	Via Carlo Alberto 16	PNCA33	Tipo 2	Consolidamento Tipo C8
Palazzo Campana - già monastero del Complesso di San Filippo Neri	Via Carlo Alberto 10	PNCA43	Tipo 2	Consolidamento Tipo C6
Chiesa di S. Filippo, Oratorio di S. Filippo e Congregazione dell'Oratorio di S. Filippo Neri	Via Maria Vittoria 5-7	PNCA41/PNCA42	Tipo 2	Consolidamento Tipo C6
Casa	Via Cesare Battisti 17 (e limitrofi)	CAMO01, CAMO02, CAMO03, CAMO04, CAMO09, CAMO10	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C6
Palazzo	Via Po 4	CAMO05/CAMO06	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C6
Palazzo dell'Università	Via Po 13, 15, 17, 19	CAMO12, CAMO13, CAMO14	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C6 e C11
Complesso della Cavallerizza, Accademia Militare e pertinenze	Via Giuseppe Verdi 7, 9	CAMO16/CAMO17	Tipo 2	Consolidamento Tipo C8
Ex Accademia Militare ora Palazzo degli Archivi	Via Giuseppe Verdi 3, 5	CAMO15/CAMO23	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C11
Ex Smalterie Ballada	Corso Verona 14	VRNO10/VRNO11	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C2
Edifici facenti parte dell'Ex Nebiolo- ex Fonderie Subalpine	Via Bologna 55	VRNO37	Tipo 2	Consolidamenti Tipo C2
Complesso dell'Istituto Zooprofilattico Sperimentale	Via Bologna 148	NOBO006, NOBO21, NOBO20	Tipo 2	Cortina di Micropali a protezione delle fondazioni
Magazzino di Artiglieria e Difesa Chimica, già Lanificio	Via Bologna 190	BOCI05	Tipo 2	Cortina di Micropali a protezione delle fondazioni
Fratelli Piacenza		BOCI06	Tipo 2	Cortina di Micropali a protezione delle fondazioni
Complesso Docks Dora	Via Valprato 68	GCRE04	Tipo 2	Cortina di Micropali a protezione delle fondazioni