

**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 1: Rebaudengo - Bologna**

PROGETTO DEFINITIVO		 INFRA.TO <i>infrastrutture per la mobilità</i>										INFRATRASPORTI S.r.l.		
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA													
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 60385	Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K	SUBSIDENZE, PRESIDIO E MONITORAGGI BACINO SUBSIDENZA E IMPATTO SULLE PRE-ESISTENZE RELAZIONE TECNICA												
		ELABORATO								REV.		SCALA	DATA	
		Int.	Est.									-	30/11/2022	
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A1	D	PRC	G00	R	001	0	1	-	30/11/2022

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1


REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	18/03/22	TUN	PDM	FRI	CROVA
1	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	30/11/22	GQU	PDM	F. Rizzo	R. Crova
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 1</td> <td>CARTELLA</td> <td>10</td> <td>1</td> <td>MTL2T1A1D</td> <td>PRCG00R001</td> </tr> </table>						LOTTO 1	CARTELLA	10	1	MTL2T1A1D	PRCG00R001	<p align="center">STAZIONE APPALTANTE</p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozzi</p>						
LOTTO 1	CARTELLA	10	1	MTL2T1A1D	PRCG00R001													

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

INDICE


1.	PREMESSA	5
1.1	SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	5
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
2.1	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
2.2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	7
2.3	ALTRI DOCUMENTI	7
3.	RICHIAMO DELLE CONDIZIONI GEOLOGICO-TECNICHE	8
3.1	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	8
3.2	CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE	10
4.	APPROCCIO PROGETTUALE	10
5.	METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CEDIMENTI	11
5.1	LA ZONA D'INFLUENZA	11
5.1.1	LA ZOI PER IL PIANO DI CONTROLLO SUGLI EDIFICI – BCS PLAN	12
5.1.2	ZOI PER IL PIANO DI MONITORAGGIO	12
5.2	CALCOLO DEI CEDIMENTI PER LO SCAVO DI UN TUNNEL	13
5.2.1	CEDIMENTI VERTICALI $S(y)$	13
5.2.2	DISTORSIONE ANGOLARE $[1/B]$	16
5.2.3	DEFORMAZIONE ORIZZONTALE $[EH]$	16
5.3	DETERMINAZIONE DELLA PERDITA DI VOLUME E DELLA FORMA DELLA CURVA DEI CEDIMENTI	16
5.4	CALCOLO DEI CEDIMENTI PER SCAVO CON C&C (CUT AND COVER)	17
5.4.1	METODO DI BOONE E WESTLAND	19
6.	FASI PER LA VALUTAZIONE DEL DANNO A EDIFICI	21
6.1	CRITERI DI DANNO	25
6.1.1	INDICE DI VULNERABILITÀ	26
6.2	CONSIDERAZIONI AGGIUNTIVE PER IL PROGETTO IN ESAME	29
7.	RISULTATI DELL'ANALISI DELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO	30

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

7.1	PRIMA FASE DELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO	30
7.1.1	STIMA DEI CEDIMENTI GENERATI DALLO SCAVO DELLA GALLERIA	31
7.1.2	STIMA DEI CEDIMENTI INDOTTI DALLO SCAVO DELLE STAZIONI	33
7.1.3	CONCLUSIONI DELLA PRIMA FASE DI ANALISI DEL RISCHIO	33
7.2	SECONDA FASE DELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO	34
7.2.1	CONCLUSIONI DELLA SECONDA FASE DI ANALISI DEL RISCHIO	36
7.3	PROTEZIONE AGLI EDIFICI E MISURE DI MITIGAZIONE PER LO SCAVO DELLA GALLERIA CON METODI TRADIZIONALI	36
8.	CONCLUSIONI	39
9.	APPENDICE 1	40
10.	APPENDICE 2	41

INDICE DELLE FIGURE


Figura 1.	Key-plan della linea 2 – Lotto funzionale 1 – Rebaudengo - Bologna	6
Figura 2.	Esempio di ZOI per il BCS.	12
Figura 3.	Zona d’influenza per lo scavo della galleria.	13
Figura 4.	Zona d’influenza per lo scavo del pozzo.	13
Figura 5.	Curva dei cedimenti (asse del tunnel posizionato sul lato destro).	14
Figura 6.	Esempio di curva dei cedimenti per un tunnel circolare.	16
Figura 7.	Tipologie di profilo dei cedimenti ipotizzate, causato dallo scavo in C&C.	18
Figura 8.	Aree definite dagli spostamenti della componente a sbalzo e dalla componente immersa.	18
Figura 9.	Definizione dei parametri di deformazione orizzontale e verticale: tipologia concave a sinistra, e a triangolare a destra. Estratto da [20.].	19
Figura 10.	Parametri ed equazioni utilizzati per il calcolo con metodo di Boone e Westland (2005). Estratto da [20.]	20
Figura 11.	Zone di “Hogging” e “Sagging” (Burland 1995).	23
Figura 12.	Esempio di calcolo dell’Indice di Vulnerabilità (Chiriotti et al., 2000).	28
Figura 13.	Esempio di mappa cromatica funzione dei cedimenti generati.	31
Figura 14.	Stima dei valori massimi dei cedimenti dovuti allo scavo del tunnel ($V_p = 1\%$).	32
Figura 15.	Stima dei valori massimi di distorsione angolare dovuti allo scavo del tunnel ($V_p = 1\%$).	32
Figura 16.	Profilo tratta in esame Planimetria tratta in esame	36
Figura 17.	Tipologico sezione tipo 1 di scavo con consolidamento dall’alto	37

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

- Figura 18. Tipologico sezione tipo 2 di scavo con consolidamenti in avanzamento a geometria troncoconica 38
- Figura 19. Identificazione di edifici interessati. 40

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche	9
Tabella 2. Metodologia della valutazione del rischio per danno agli edifici.	21
Tabella 3. Categorie di danno. Fase 1. Senza considerare I_v .	21
Tabella 4. Categorie di danno. Fase 1. Considerando l'indice di vulnerabilità (I_v).	22
Tabella 5. Categorie di danno. Fase 2. Non considerando l'indice di vulnerabilità (I_v).	23
Tabella 6. Categorie di danno. Fase 2 Considerando l'indice di vulnerabilità (I_v).	24
Tabella 7. Relazione tra categorie e tipo di danno [Burland et al. (1977)].	25
Tabella 8. Criteri di danno per edifici e strutture.	26
Tabella 9. Range di cedimenti considerati nei disegni.	30
Tabella 10. Stima dei valori massimi dei cedimenti e di distorsione angolare dovuti allo scavo del tunnel ($V_p=1\%$).	33
Tabella 11. Stima dei cedimenti massimi indotti dallo scavo delle stazioni	33
Tabella 12. Risultati ottenuti dalla seconda fase della valutazione del rischio per edifici rappresentativi considerando una Perdita di volume $V_L = 1\%$.	35
Tabella 13. Applicazione sezioni tipo	38

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

1. PREMESSA


1.1 Scopo e campo di applicazione

La presente relazione tecnica si inserisce nell'ambito dell'affidamento dei servizi di ingegneria relativi alla Progettazione Definitiva della Tratta Politecnico-Rebaudengo della Linea 2 della Metropolitana, disciplinato dal Contratto tra la Città di Torino e la società Infratrasporti.TO s.r.l., ed ha per oggetto l'analisi delle subsidenze indotte dalle opere di linea (gallerie scavate in modo tradizionale e gallerie artificiali, stazioni e pozzi) e l'impatto che queste possono avere sulle pre-esistenze.

Il 1° lotto funzionale della Linea 2 della Metropolitana di Torino, incluso tra le stazioni Rebaudengo e Bologna, si colloca interamente nel territorio comunale di Torino, presenta una lunghezza di circa 4.0 km, e, procedendo da nord verso sud, si sviluppa a partire dalla stazione di corrispondenza con la stazione F.S. Rebaudengo-Fossata, proseguendo poi 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 e finisce con il Pozzo Novara.

Il 1° lotto funzionale è costituito dalle seguenti opere:

- 6 stazioni sotterranee;
- 6 pozzi intertratti aventi funzione di ventilazione, uscita di emergenza ed accesso dei soccorsi;
- La galleria di linea costituita da:
 - o Un tratto in galleria naturale realizzato con scavo tradizionale per una lunghezza di 277m circa, che va dal manufatto di retrostazione Rebaudengo alla Stazione Rebaudengo e prosegue oltre fino a sottopassare via Toscanini per ulteriori 293m circa;
 - o Un tratto in galleria artificiale in Cut&Cover ad uno o due livelli, per una lunghezza complessiva di circa 3,0 km che, partendo da via Toscanini collega le stazioni, Giulio Cesare, San Giovanni Bosco, Corelli, Cimarosa/Tabacchi, Bologna fino al manufatto in retrostazione Bologna che include anche il pozzo Novara;
- Un pozzo terminale di fine tratta, ossia il Pozzo Novara funzionale per il calaggio della TBM per lo scavo della galleria del Lotto funzionale successivo;
- 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;

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

- la predisposizione per la realizzazione del manufatto di bivio nella diramazione nord verso San Mauro Torinese.

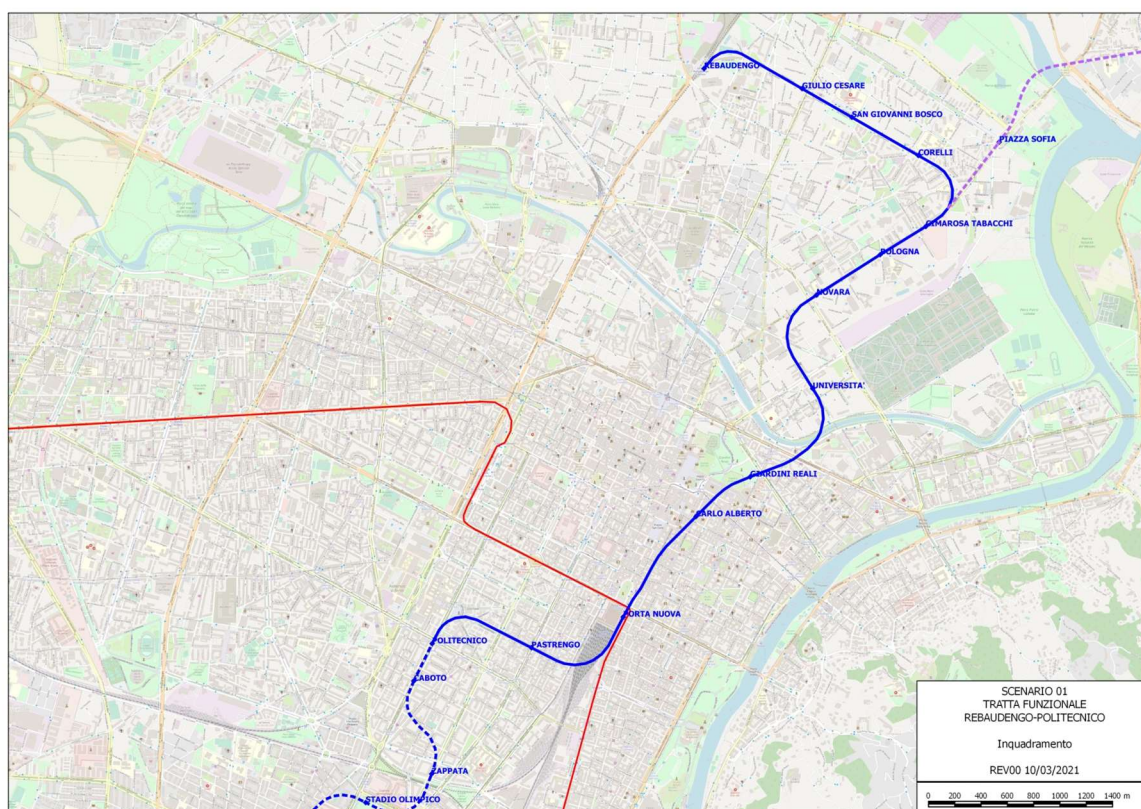



Figura 1. Key-plan della linea 2 – Lotto funzionale 1 – Rebaudengo - Bologna

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documenti di riferimento

Per lo sviluppo dei calcoli di subsidenza si è fatto riferimento agli elaborati di progetto che contengono le informazioni sul tracciato e sulla geologia.

- [1.] 01_MTL2T1A0DGEOGENT003.1 → 01_MTL2T1A0DGEOGENT003.6: Profilo geotecnico
- [2.] 02_MTL2T1A0DINDGENT001.1 → 02_MTL2T1A0DINDGENT001.6: Planimetria con indicazioni dei sondaggi
- [3.] 07_MTL2T1A0DGEOENR002: Relazione geotecnica e sismica
- [4.] 03_MTL2T1A1DSTRGN0T001: Galleria naturale a foro cieco – Sezione Tipo 1 – Scavo consolidamento e fasi esecutive

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

- [5.] 06_MTL2T1A1DSTRGN0T004: Galleria naturale a foro cieco – Sezione Tipo 2 – Scavo consolidamento e fasi esecutive

2.2 Normative di riferimento


La progettazione è stata realizzata facendo riferimento alle Normative Nazionali sotto elencate:

- [6.] Legge n°1086 del 05/11/1971: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"
- [7.] DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni" (GU n.42 del 20/02/2018);

2.3 Altri documenti

Infine, è stata considerata la seguente normativa tecnica.

- [8.] Attewell, P.B., Yeates, J., 1984. "Tunnelling in soil" in: Ground Movements and their Effects on Structures, Eds P.B. Attewell et al. University Press, London.
- [9.] "Guidance on embedded retaining wall design" (2017), CIRIA C760.
- [10.] Settlement induced by Tunnelling in soft ground", ITA, 2006.
- [11.] "Settlements Induced by Tunnelling", AFTES, 1999.
- [12.] Bowles J. E. (1988). "Foundation analysis and design. 4th Ed". McGraw-Hill, New York.
- [13.] Hsieh P. G. and Ou C. Y. (1998). "Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation" Canadian Geotechnical Journal. 35(6), 1004-1017.
- [14.] Chiriotti, E. Marchionni, V. and Grasso, P. 2000. Porto light metro system, Lines C, S and J. Compendium to the Methodology Report on Building Risk Assessment Related to Tunnel Construction. Normetro – Transmetro. Internal technical report
- [15.] "Mechanized tunneling in Urban areas", Vittorio Guglielmetti, Piergiorgio Grasso, Ashraf Mahtab & Shulin Xu, 2007.
- [16.] Attewell, P.B. and Farmer, I.W., 1974. Ground disturbance caused by shield tunnelling in a stiff, overconsolidated clay. Eng. Geol., 8: 361–381.
- [17.] Burland, J.B., Broms, B. and De Mello, V.F.B., 1977. Behaviour of foundations and structures. SOA Report, Session 2, Proc. 9th Int. Conf. SMFE, Tokyo, 2:495-546
- [18.] Mair, R.J., Taylor, R.N., Burland, J.B., 1996. Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due to bored tunnelling. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Eds. Mair & Taylor.
- [19.] New, B.M. & O'Reilly, M.P. 1991. Tunnelling induced ground movements; predicting their magnitude and effects, 4th International Conference on Ground Movements and Structures, Cardiff, pp. 671-697, Pentech Press.
- [20.] Oteo Mazo, C., Rodríguez Ortiz, J.M., Mendaña Saavedra, F., 2003. Geotechnical design systems and parameters in the Madrid Underground extension. Revista de Obras Públicas, N° 3429.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

- [21.] Chiriotti, E. Marchionni, V. and Grasso, P. 2000. Porto light metro system, Lines C, S and J. Compendium to the Methodology Report on Building Risk Assessment Related to Tunnel Construction. Normetro – Transmetro. Internal technical report.
- [22.] Boone, S.J. & Westland, J. 2005. Estimating displacements associated with deep excavations.

3. RICHIAMO DELLE CONDIZIONI GEOLOGICO-TECNICHE

L'area lungo la quale si svilupperà il Progetto della Linea 2 si ubica nella cosiddetta "Pianura piemontese settentrionale" delimitata a Nord-Ovest dalle Alpi e verso Sud-Est dai rilievi collinari della Collina di Torino e del Monferrato. Tale struttura è caratterizzata da una potente serie di età pliocenico superiore – olocenica formata dagli apporti successivi di due ampi conoidi fluvio-glaciali appartenenti al fiume Dora Riparia e torrente Stura di Lanzo. I materiali di natura continentale sono sovrapposti ad una serie marina pliocenica composta da depositi sabbiosi, sabbioso-limosi fino a totalmente limosi. Ad ulteriore profondità si rinvengono formazioni marine di età terziaria di natura prevalentemente marnosa ed arenaceo-conglomeratica costituenti la Collina di Torino.

Nello specifico possiamo affermare che l'assetto geologico generale della zona d'interesse è costituito per i primi 150 m circa di profondità dal piano campagna in tre complessi litostratigrafici:

- depositi fluvio-glaciali e fluviali: sabbie e ciottoli in matrice limosa;
- depositi lacustri e fluviolacustri: limi argillosi e livelli sabbioso ghiaiosi;
- depositi d'ambiente marino, limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie grigio azzurre con fossili.

Nel complesso i terreni interessati dallo scavo delle gallerie sono costituiti prevalentemente da un deposito ghiaioso-sabbioso ben addensato, caratterizzato dalla presenza di livelli e/o lenti di materiale cementato. La cementazione si presenta per lo più con disomogenea distribuzione verticale e scarsa continuità orizzontale, in accordo alla genesi stessa del deposito naturale.


3.1 Caratteristiche geotecniche

La caratterizzazione geotecnica delle unità interessate dagli scavi si può descrivere come segue.

Unità geotecnica U1: terreno superficiale

Rappresenta l'orizzonte superiore del profilo stratigrafico e si presenta con potenza variabile. Granulometricamente risulta composta da limi sabbioso-argillosi, limi, e limi argillosi, sabbie con ghiaie, inglobanti materiali derivanti da demolizioni quali frammenti di laterizi e calcestruzzo.

Unità geotecnica U2-U3-U4: depositi fluvio-glaciali Rissiani (ghiaie con sabbie da sciolte a cementazione media-elevata)

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

Le unità U2-U3-U4 sono riconducibili ai depositi fluvioglaciali, costituiti da ghiaie eterometriche da fini a grosse, con clasti poligenici (di dimensioni variabili da centimetrici a metrici) immersi in matrice sabbioso-limosa.

- U2 - Ghiaie eterometriche da fini a grosse con presenza di clasti poligenici centimetrici in matrice sabbiosolimosa ed intercalazioni di sabbie fini (a) e livelli a ciottoli (b). Grado di cementazione da nullo a medio. Depositi fluvioglaciali.
- U3 - Depositi fluvioglaciali con un grado di cementazione da debole a medio.
- U4 - Depositi fluvioglaciali con un grado di cementazione da media a elevata.

Unità geotecnica U5: Argille Azzurre

Questa unità è formata da limi argillosi e argille limose grigie e grigio-azzurre, molto compatte, plastiche, con livelli centimetrici sabbioso – limosi e ghiaioso – limosi con rari ciottoli. Depositi di ambiente marino con associazione a nanfossili calcarei riferibili alla biozona MNN16A.

Unità geotecnica U6: depositi Villafranchiani

I depositi del Villafranchiano intercettati dalle indagini eseguite per il progetto preliminare di L2 sono maggiormente costituiti da sabbie giallo - brune a grigie, da fini a grosse e ghiaie fini, addensate, generalmente alterate nella parte superiore.

Unità geotecnica U7: marne di Sant'Agata


Questa unità, costituita da argille limose di colore grigio molto compatte e localmente litificate, di ambiente deposizionale marino con associazione a nanfossili calcarei riferibili alla biozona MNN11A.

Nella Tabella 1 sono sintetizzati gli intervalli di variabilità dei valori delle caratteristiche geotecniche delle unità individuate da cui sono stati derivati i parametri assunti per i calcoli.

Tabella 1. Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche

Unità geotecnica	γ_{nat}	Φ'	c'	E	ν
	[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[MPa]	[-]
U1	19	29	0	15	0,3
U2-U3-U4	19	36	10	150	0,3
U5	20	23	40	65	0,3
U6	19	31	20	90	0,35
U7	20.4	28	25	150	0,35

dove:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

- γ' : peso di volume unitario
- E : modulo di deformabilità
- ν' : coefficiente di Poisson
- ϕ' : angolo di attrito
- c' : coesione apparente
- Cu : coesione non drenata

3.2 Condizioni idrogeologiche

Ai fini del calcolo ed in considerazione delle valutazioni in merito alla tendenza evolutiva della profondità della superficie libera della falda, si assume che per quanto concerne il tracciato della linea 2, essa possa essere collocata ad una profondità dal piano campagna variabile tra circa 29 m e 8 m. L'oscillazione del livello freatico a scala annuale può aggirarsi intorno ai 2 metri.

4. APPROCCIO PROGETTUALE


Obiettivo del presente report è la definizione delle interferenze degli scavi con le pre-esistenze che si esplicita nei seguenti passaggi di studio come prescritto dalle raccomandazioni ITA (International Tunneling Association) e meglio descritte al capitolo 6:

- definizione dei cedimenti
- stima dell'impatto dei cedimenti sulle pre-esistenze
- attivazione di contromisure (opere di presidio) per ridurre gli impatti

Tale sequenza è sviluppata con approfondimenti di calcolo via via più importanti man mano che il progetto avanza di livello e le informazioni di base sono disponibili in quantità e qualità maggiore.

In particolare, si riconoscono tre livelli di approfondimento:

- Fase 1 in cui si stimano i cedimenti in modo empirico utilizzando formule analitiche di comprovata validità e che consentono di definire il bacino di subsidenza lungo il tracciato in condizione cosiddette di "green field", cioè senza considerare la presenza degli edifici; sulla base delle caratteristiche geometriche di detto bacino (valore massimo di cedimento e distorsione) si stima quali possono essere gli impatti sugli edifici presenti, sempre considerando dati di letteratura.
- Fase 2 in cui il bacino di subsidenza è puntualmente imposto su ogni singolo edificio interessato dal tracciato, di cui è disponibile la scheda di rilievo, per verificare, in base alle sue specifiche caratteristiche, quale impatto possa subire dagli scavi; l'impatto è tradotto

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

inserendo l'edificio in una specifica categoria di danno derivata sempre dalla letteratura tecnica di riferimento.

- Fase 3 in cui gli edifici maggiormente impattati o ritenuti sensibili, quindi degni di particolare attenzione, sono ulteriormente verificati con specifiche analisi numeriche per comprovare che il danno empiricamente stimato sia effettivo e, in caso affermativo, verificare che le contromisure di progetto individuate siano sufficienti a ridurre l'impatto, cioè il danno, a valori accettabili.

La presente relazione tratta lo stage 1, 2 e 3 in cui vengo presentate le analisi numeriche pertinenti e validata l'efficacia delle contromisure.

5. METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CEDIMENTI

Il metodo di calcolo adottato per la stima dei cedimenti in seguito allo scavo delle gallerie, stazioni e pozzi è basato su un metodo semi-empirico definito dalla letteratura scientifica di riferimento e largamente confermato da molteplici esperienze dirette; esso consente di definire lo sviluppo trasversale e la forma del bacino di subsidenza in condizioni di campo libero, il cosiddetto "greenfield".

La planimetria con le curve di iso-cedimento viene definita in base al calcolo dei cedimenti su sezioni trasversali; ponendo questa mappa sulla topografia disponibile si possono individuare tutte quelle strutture che potrebbero presentare dei profili di rischio per danno indotto dai cedimenti.


Tali strutture potenzialmente a rischio sono analizzate con diversi gradi di approfondimento ma mano che il livello di progettazione avanza partendo dalle schede di rilievo delle condizioni attuali di ognuno di essi.

5.1 La zona d'influenza

Nell'ambito del progetto della linea 2 di Metro Torino sono state definite due zone d'influenza (ZOI):

- Per il piano di monitoraggio la ZOI è definita come quell'area entro la quale le opere civili possono indurre dei cedimenti.
- Per il controllo degli edifici potenzialmente a rischio (l'area entro cui eseguire il cosiddetto Building Condition Survey – BCS) si considera invece un'area più estesa a cavallo dell'asse dell'opera per la galleria ed a distanza predefinita dal bordo delle altre opere che raggiungono la superficie.

Il controllo di tutte le strutture pre-esistenti potenzialmente a rischio è sviluppato secondo la procedura descritta nel proseguo del presente paragrafo e considerando tutti gli edifici che ricadono nella ZOI di riferimento per il BCS.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

5.1.1 La ZOI per il piano di controllo sugli edifici – BCS plan

In base ai dati di letteratura ed esperienza diretta questa zona 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



Figura 2. Esempio di ZOI per il BCS.

5.1.2 ZOI per il piano di monitoraggio

La zona di influenza per lo scavo della galleria con metodo convenzionale è comunemente definite come quella compresa tra la galleria ed un cono verso la superficie che si apre a 45° (basato sulla teoria di Attewell e Yeates, 1984[8.]).

Per le strutture tipo cut&cover la ZOI si definisce come 2 volte la profondità dello scavo come definite in [9.].

Le figure che seguono visualizzano queste due geometrie.

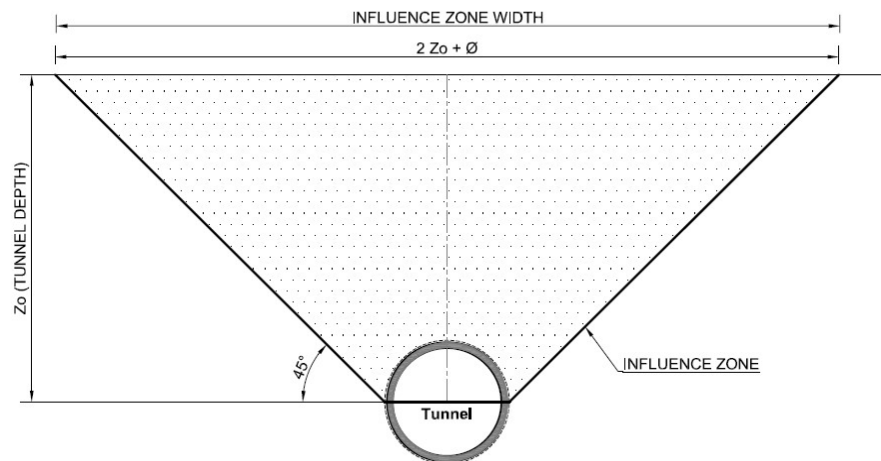


Figura 3. Zona d'influenza per lo scavo della galleria.

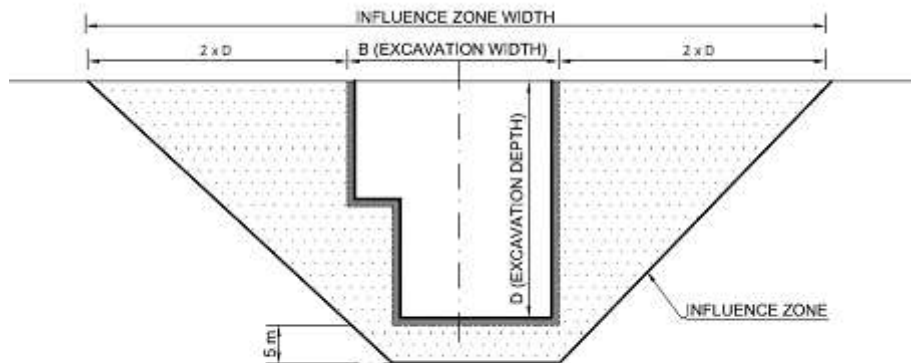



Figura 4. Zona d'influenza per lo scavo del pozzo.

5.2 Calcolo dei cedimenti per lo scavo di un Tunnel

Di seguito, vengono descritte le equazioni e la metodologia utilizzata per il calcolo delle deformazioni del suolo a seguito degli scavi.

5.2.1 Cedimenti verticali $S(y)$

Indipendentemente dalle condizioni del terreno e dal tipo di metodo di scavo, lo sviluppo dei cedimenti del sottosuolo in una sezione perpendicolare rispetto all'asse del tunnel può essere rappresentato da una curva gaussiana (poiché la forma dei cedimenti può essere ben

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

rappresentata da una gaussiana o da una curva di distribuzione normale) con l'espressione (Peck 1969):

$$S = S_{\max} \cdot e^{-\left(\frac{y^2}{2(Kz)^2}\right)}$$

dove S è il cedimento verticale di un punto ad una distanza verticale (z) e orizzontale (y) rispetto all'asse del tunnel. S_{\max} è il cedimento massimo sull'asse alla distanza (z) considerata " k " è una costante empirica definita di seguito.

Secondo Attewell e Farmer (1974), Burland et Al. (1977), Burland, O'Really e New (1991), Mair, Taylor e Burland (1996), l'ipotesi di cui sopra (la forma gaussiana della linea dei cedimenti) è debitamente confermata da misurazioni sul campo.

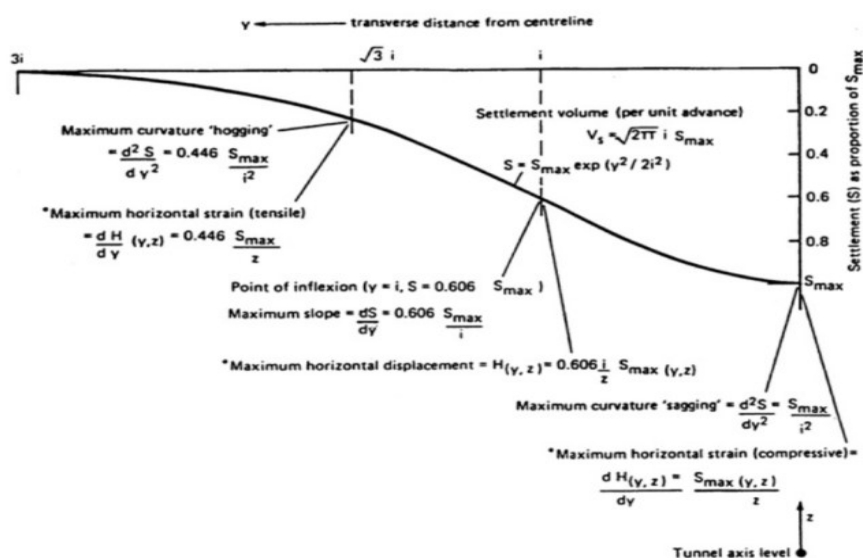



Figura 5. Curva dei cedimenti (asse del tunnel posizionato sul lato destro).

Per valutare la distanza " i " del punto di flesso della curva dall'asse del tunnel, sono state proposte diverse formule in letteratura (Schmidt, 1969; Peck, 1969).

Il punto di flesso " i " è l'ampiezza della curva dei cedimenti, che rappresenta la distanza dal punto di flessione della curva dall'asse (corrispondente a una deviazione standard della curva di distribuzione normale) ed è determinata dalle condizioni del terreno come descritto a seguire.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

O'Reilly & New (1982) hanno dimostrato che, per una copertura maggiore del diametro del tunnel, si può ipotizzare una relazione di proporzionalità diretta tra "i" e la profondità dell'asse z del tunnel secondo la formula:

$$i = K \cdot z$$

K è un coefficiente che dipende dalle condizioni e dal tipo di sottosuolo; definisce la forma della superficie dei cedimenti e si può considerare costante con la profondità.

Il volume totale della curva dei cedimenti ΔV può essere poi ottenuto integrando su z la formula generalizzata del cedimento ed è pari a:

$$\Delta V = \sqrt{2\pi} \cdot S_{max} \cdot Kz$$

Il valore S_{max} si può ottenere ipotizzando il valore atteso ΔV , denominato "volume perso":


$$S_{max} = \frac{\Delta V}{\sqrt{2\pi} \cdot Kz}$$

Il volume perso (ΔV) viene calcolato come una percentuale del volume V_L (%) di scavo teorico su un metro di avanzamento per un tunnel circolare con un raggio R:

$$\Delta V = V_L \cdot \pi R^2$$

Quindi, noto il volume perso, il tipo di suolo e la copertura del tunnel, si può calcolare il cedimento massimo e tutti i punti della ipotetica curva di cedimento al piano campagna per un tunnel circolare:

$$S_{max} = \frac{\pi R^2 V_L}{\sqrt{2\pi} \cdot Kz} = 1.2533 \frac{R^2}{Kz} V_L$$

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

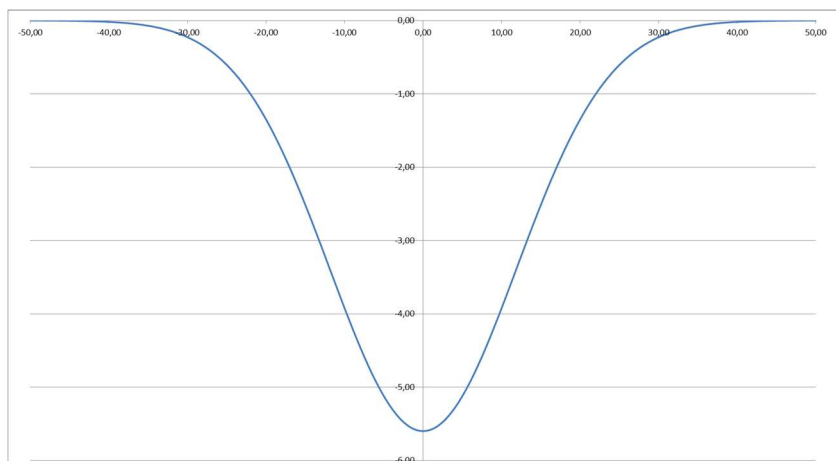


Figura 6. Esempio di curva dei cedimenti per un tunnel circolare.

5.2.2 Distorsione angolare [$1/\beta$]

La distorsione angolare rappresenta la pendenza della curva dei cedimenti. Viene calcolata come la differenza dei cedimenti verticali di due punti, diviso la loro distanza. Pertanto, la distorsione angolare massima viene registrata nel punto di flesso. Questo parametro serve per valutare la risposta strutturale dell'edificio in quanto determina il movimento verticale relativo tra due punti dell'edificio.

5.2.3 Deformazione orizzontale [ϵ_h]


La deformazione orizzontale ϵ_h (%) può essere calcolata come la variazione dello spostamento orizzontale tra due punti, diviso la loro distanza. Questo parametro serve per valutare la risposta strutturale dell'edificio in quanto determina il comportamento di compressione o trazione del medesimo.

5.3 Determinazione della perdita di volume e della forma della curva dei cedimenti

Il parametro fondamentale che caratterizza tutti i metodi semi-empirici per la stima della curva dei cedimenti nello scavo di un tunnel è la perdita di volume. Può essere definito come il rapporto tra il volume addizionale di terreno rimosso (V_s) rispetto al volume teorico del tunnel (V_0).

I principali fattori che influiscono sulla perdita di volume sono il tipo di terreno e il metodo di scavo.

La scelta del valore per la perdita di volume è assunta sulla base dell'esperienza e della letteratura scientifica disponibile.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

In prima istanza, per i calcolo delle subsidenze indotte dallo scavo della galleria con metodo tradizionale, è stato considerato:

- $V_L = 1\%$ in tutta la tratta, assunto come valore limite di riferimento superiore (soglia di allerta).

Sulla base dell'esperienza in progetti simili, è stato osservato che ottenere un $V_L = 0,5\%$ (o anche inferiore) in queste condizioni geologiche è molto probabile. Tuttavia, è sempre consigliabile considerare una gamma più ampia di possibilità per situazioni inaspettate considerando anche valori di V_L maggiori che possono essere un riferimento più corretto in fase di progettazione con lo scopo di definire gli opportuni interventi di presidio.

Per quanto riguarda il coefficiente di forma K da considerare al fine di stimare il punto di flesso "i", è stato utilizzato un valore di $K = 0,4$, considerando le condizioni tra argilla rigida / sabbiosa ($K = 0,5$) e sabbie poco rigide/ghiaie ($K = 0.3$).


5.4 Calcolo dei cedimenti per scavo con C&C (Cut and Cover)

L'entità e la distribuzione dei cedimenti dovuti allo scavo con metodologia Cut&Cover sono legati a molti fattori quali la qualità della costruzione, le condizioni del sottosuolo, le pressioni neutre, la profondità e geometria dello scavo, la procedura di scavo e il sistema di contenimento degli scavi ed i suoi contrasti. In questa fase preliminare viene riportato il metodo per il calcolo dei cedimenti per la realizzazione degli scavi con metodo C&C.

Nelle successive fasi di progettazione, i calcoli dei cedimenti e la valutazione di rischio dovranno essere effettuati sulla base di una progettazione di dettaglio e considerando i risultati della campagna geotecnica che eventualmente verrà eseguita per ogni specifico sito.

Due tipi di curva dei cedimenti possono essere ottenuti attraverso i modelli empirici (vedi **Figura 7**):

- Tipologia triangolare: dove il massimo cedimento superficiale avviene molto vicino alla parete della struttura di contenimento (principalmente tipico del muro di sostegno a mensola).
- Tipologia concava: dove il massimo cedimento superficiale avviene a una certa distanza dalla parete (principalmente tipico delle strutture di contenimento con ancoraggi o puntoni).

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

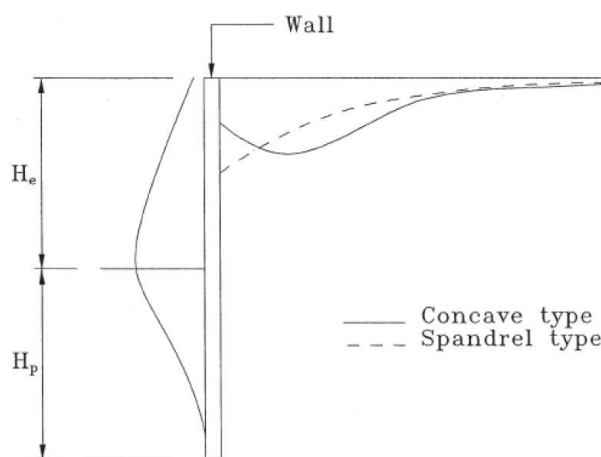


Figura 7. Tipologie di profilo dei cedimenti ipotizzate, causato dallo scavo in C&C.

Il tipo di curva dei cedimenti può essere correlato alla grandezza degli spostamenti orizzontali della componente a sbalzo rispetto alla grandezza degli spostamenti della parte infissa della struttura di contenimento durante le diverse fasi di costruzione.

Per ipotizzare correttamente il tipo di curva dei cedimenti da modellare, per ogni fase di costruzione, la deformazione totale della parete può essere scomposta nell'area definita dagli spostamenti della parte infissa della struttura (A_s) e nell'area definita dagli spostamenti della componente a sbalzo (A_c), come mostrato in **Figura 8**. Quest'ultimo è definito come segue:

A_{c1} e A_{c2} sono le aree definite dagli spostamenti della componente a sbalzo associate rispettivamente alle fasi di scavo iniziale e finale. La curva dei cedimenti è di tipo concavo tanto più $A_s \geq 1.6A_c$.

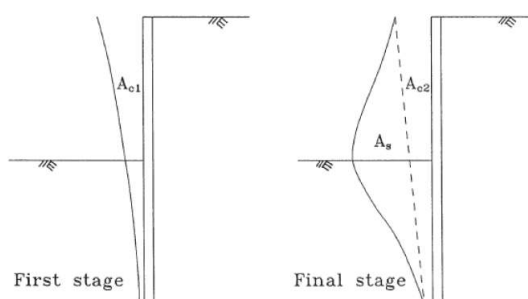



Figura 8. Aree definite dagli spostamenti della componente a sbalzo e dalla componente immersa.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

Per il presente progetto, è stato utilizzato il metodo di Boone e Westland (2005, [22.]) in tutte le stazioni C&C, che combina entrambi i tipi di profilo.

Per le stazioni di Pastrengo, Mole-Giardini Reali e Novara, i risultati della parte C&C (usando il metodo Boone e Westland) sono stati combinati con i risultati ottenuti dalle analisi del modello FEM (Plaxis) utilizzato per lo studio delle sezioni delle caverne.

5.4.1 Metodo di Boone e Westland

In accordo con [22.], questo metodo consiste nell'utilizzare un modello semi-empirico per studiare l'interazione tra struttura e suolo circostante. Il metodo proposto permette la distinzione tra le varie tipologie di strutture di contenimento, considerando diverse variabili costruttive e consente la stima dell'ampiezza e della forma della curva delle deformazioni.

Le seguenti equazioni e i seguenti parametri vengono utilizzati per il calcolo.

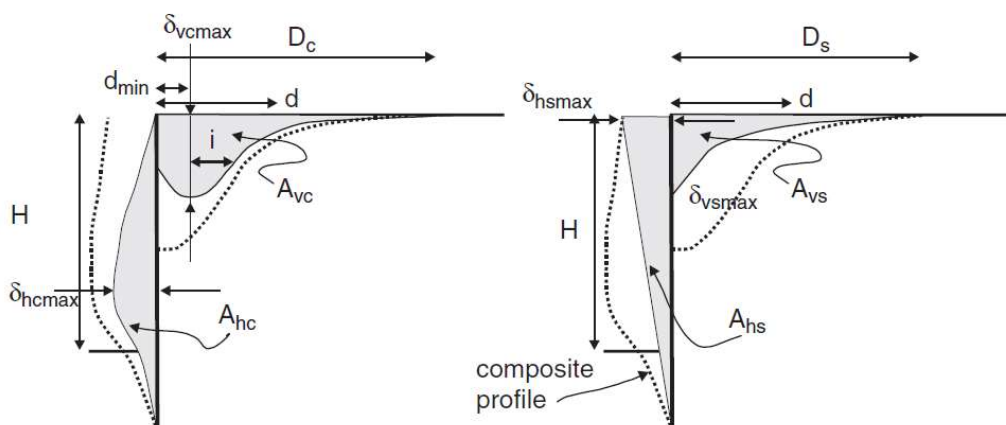



Figura 9. Definizione dei parametri di deformazione orizzontale e verticale: tipologia concave a sinistra, e a triangolare a destra. Estratto da [22.].



Characteristic	Condition	Equation
<i>Maximum lateral displacement</i>		
maximum unfactored lateral displacement, δ_{hmax}^*	support installation and removal	$\delta_{hmax}^* = (8.5S_r + 0.4)FS^{-1.7}$
construction Stage, α_{CS}	supports removed	$\alpha_{CS} = 1$
	tiebacks remaining stressed	$\alpha_{CS} = 1 - \frac{(E_{ur}/p_a)}{3000/S_r^{0.3} + (E_{ur}/p_a)}$
preloading, α_{PL}	percent of preload maintained	$\alpha_{PL} = e^{-(PL/(60+4S_r))}$
excavation width, α_B		$\alpha_B = 0.75 + H/(4B)$
strut stiffness, α_S		$\alpha_S = 0.3(e^{S_r/1000} + e^{S_r/200}) + 0.7$
soil modulus, α_M		$\alpha_M = 6.67E_{ur}^{-2/3}$
max. lateral displacement, δ_{hmax}		$\delta_{hmax} = \delta_{hmax}^* \alpha_M \alpha_S \alpha_{PL} \alpha_B \alpha_{CS}$
<i>Ground surface displacements</i>		
maximum lateral displacement at surface, $\delta_{hsurface}$	Supports remain in place	$\frac{\delta_{hsurface}}{\delta_{hmax}} = \frac{(E_{ur}/p_a)}{500 + (E_{ur}/p_a)S_r^{0.2}}$
	supports removed	$\frac{\delta_{hsurface}}{\delta_{hmax}} = \frac{(E_{ur}/p_a)}{700} \leq 1.0$
<i>Lateral displacement areas</i>		
Area of lateral spandrel displacement, A_{hs}		$A_{hs} = \delta_{hsurface}(H + H_p)/2$
Ratio of spandrel displacement to total displacement, A_{hs}/A_{ht}	End of excavation stage	$\frac{A_{hs}}{A_{ht}} = \frac{(E_{ur}/p_a)}{1,600 + (E_{ur}/p_a)S_r^{0.35}}$
Area of convex displacement, A_{hc}	After support removal	$\frac{A_{hs}}{A_{ht}} = \frac{(E_{ur}/p_a)}{300 + (E_{ur}/p_a)}$ $A_{hc} = 1 - A_{hs}/A_{ht}$
<i>Ratios of vertical and lateral displacement areas</i>		
Ratio of vertical and horizontal displacement areas	Cantilever walls	$A_{vs}/A_{hs} = A_{vc}/A_{hc} = A_{vt}/A_{ht} = 1$
	Supports remain in place	$A_{vs}/A_{hs} = A_{vc}/A_{hc} = A_{vt}/A_{ht} = 0.85$
	Supports removed	$A_{vs}/A_{hs} = A_{vc}/A_{hc} = A_{vt}/A_{ht} = 1.1$ (no dilation)
<i>Spandrel portion of settlement trough</i>		
Maximum settlement, δ_{vsmax}		$\delta_{vsmax} = 3A_{vs}/D_s$; $D_s \approx 1.2H$ to $1.5H$
Settlement at any point, δ_{vs}		$\delta_{vs} = \delta_{vsmax} 3[(D_s - d)/D_s]^2$; $D_s \approx 1.2H$ to $1.5H$
<i>Concave settlement portion of settlement trough</i>		
Maximum settlement, δ_{vcmax}		$\delta_{vcmax} = \frac{A_{vc}}{[1 - \Phi(0, d_{min}, i)]\sqrt{2\pi} i}$
Settlement at any point, δ_{vc}		$\delta_{vc} = e^{-\frac{(d - d_{min})^2}{2i^2}}$
	D_c = twice the distance from the wall top to the position of the load resultant i = inflection point, defined as $(D_c - d_{min})/\text{constant}$, where the constant ≈ 4 to 5 Φ = area of standard normal distribution function, with random variable = 0 (wall position), mean = d_{min} , and standard deviation = i	
<i>Complete settlement profile</i>		
Total settlement at any point		$\delta_v = \delta_{vc} + \delta_{vs}$

Figura 10. Parametri ed equazioni utilizzati per il calcolo con metodo di Boone e Westland (2005). Estratto da [22.]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

6. FASI PER LA VALUTAZIONE DEL DANNO A EDIFICI

Richiamando quanto anticipato al capitolo 4, nel seguito sono esplicitate più dettagliatamente le metodologie impiegate nelle varie fasi di verifica.

La metodologia per la valutazione del rischio dei danni alle strutture, edifici e servizi pubblici segue le specifiche dell'ITA (International Tunneling Association) seguendo tre livelli di valutazione e approfondimento in base ai risultati stimati a ciascun livello. La metodologia è riassunta di seguito.

Tabella 2. Metodologia della valutazione del rischio per danno agli edifici.

Fase 1. Valutazione del rischio preliminare		
<p>La fase 1 (Stage 1) della valutazione si basa sul calcolo dei cedimenti in condizioni di campo libero (greenfield) e sulla distorsione angolare degli edifici esistenti in base alla zonazione della deformazione della superficie.</p> <p>Gli edifici con cedimenti minori di valori limite (danno lieve) possono essere considerati con un rischio trascurabile di danno e saranno esclusi da ulteriori studi. Gli edifici che raggiungono i valori limite, invece, saranno soggetti alla seconda fase di valutazione.</p> <p>La seguente tabella definisce i valori ammissibili considerati per i cedimenti e per le distorsioni angolari per la fase 1 della valutazione, quando non viene considerata alcuna vulnerabilità (edifici in buone condizioni senza difetti iniziali):</p>		
Tabella 3. Categorie di danno. Fase 1. Senza considerare I_v.		
<i>Categoria di danno</i>	<i>Massimo cedimento [S_{max} (mm)]</i>	<i>Massima distorsione angolare [1/β]</i>
0 - 1 Trascurabile a molto lieve	<10 mm	< 1/500
2 Lieve	10 – 50 mm	1/200 – 1/500
3 Moderato	50 – 75 mm	1/50 – 1/200
4 Severo	> 75 mm	1/50 – 1/200
5 Molto grave	> 75 mm	> 1/50
<p>La classificazione deve essere corretta per adattarsi alle condizioni reali degli edifici variando i valori massimi di cedimento e distorsione angolare per ciascuna categoria di danno in base ai valori dell'indice di vulnerabilità. La seguente tabella definisce i valori ammissibili dei cedimenti e distorsioni angolari per la fase 1 della valutazione, quando viene preso in considerazione l'indice di vulnerabilità.</p>		



Tabella 4. Categorie di danno. Fase 1. Considerando l'indice di vulnerabilità (I_v).

Vulnerabilità	Edifici normali in condizioni standard (I _v <75)		Edifici sensibili (I _v >75, edifici protetti e patrimonio, edifici pubblici, etc)	
	S _{max} (mm)	1/β	S _{max} (mm)	1/β
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
4	>75	1/50 – 1/200	>37.5	1/100– 1/400
5	>75	> 1/50	>37.5	> 1/100

Fase 2. Valutazione del rischio in base alle curve di cedimento specifica sotto l'edificio

La seconda fase (Stage 2) dell'analisi si basa sulle sollecitazioni di trazione massima calcolate per ciascun edificio che, nella fase precedente, rientra in una categoria di danno che va da "lieve" (2) a "molto severa" (5).

La metodologia per la stima delle tensioni di trazioni negli edifici segue l'approccio della trave equivalente [Burland & Worth (1974) e Burland et al (1977)]. Questo modello rappresenta l'edificio come una semplice trave rettangolare, elastica, senza peso, soggetta a modalità di deformazione con la parte appoggiata al terreno che assume una forma concava o convessa. Questo approccio dà facilmente un'idea dei meccanismi di fessurazione e consente il calcolo della deformazione di trazione critica, che è il massimo tra la deformazione a trazione dovuta alla flessione (ε_b) e la deformazione a trazione dovuta a taglio (Successivamente, Boscardin e Cording (1989) hanno proposto una modifica del modello, per tenere conto della tensione di trazione orizzontale ε_h aggiungendola a ε_b e ε_d. In base alla posizione dell'edificio rispetto alla curva dei cedimenti, si svilupperanno deformazioni angolari, (positiva per concavità verso l'alto – sagging – e negativa per concavità verso il basso – hogging).

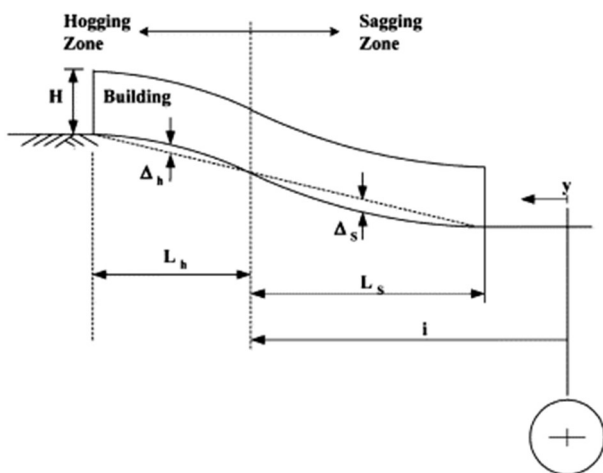


Figura 11. Zone di "Hogging" e "Sagging" (Burland 1995).

I valori massimi di deformazione saranno confrontati con i valori limite (fare riferimento a **Tabella 5** e **Tabella 6**); in questo modo viene fornita una categoria di danno per ciascuno edificio.

La tabella seguente riporta la categoria di danno per la fase 2 nel caso in cui l'indice di vulnerabilità non sia considerato (per edifici in buone condizioni senza difetti iniziali).

Tabella 5. Categorie di danno. Fase 2. Non considerando l'indice di vulnerabilità (I_v).

Categoria di danno	Massima deformazione di trazione (%)
0 Trascurabile	< 0.05
1 Molto lieve	0.05 - 0.075
2 Lieve	0.075 - 0.15
3 Moderato	0.15 - 0.3
4 - 5 Grave a molto grave	> 0.3

La classificazione deve essere corretta per adattarsi alle condizioni reali degli edifici variando i valori di deformazione a trazione limite per ciascuna categoria di danno in base ai valori dell'indice di vulnerabilità. Di seguito viene mostrata la categoria di danno per la fase 2 quando viene preso in considerazione l'indice di vulnerabilità.

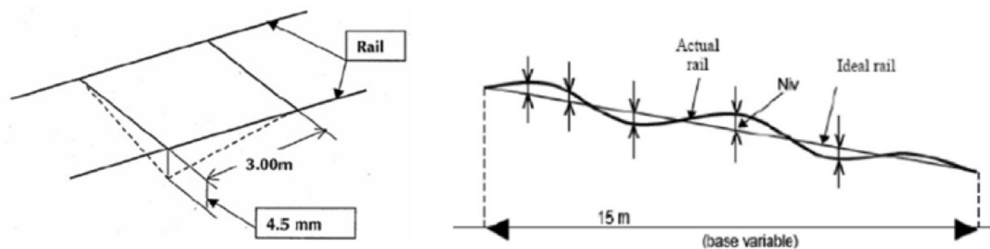


Tabella 6. Categorie di danno. Fase 2 Considerando l'indice di vulnerabilità (I_v).


Vulnerabilità	Edifici normali in condizioni standard (I _v <75)		Edifici sensibili (I _v >75, edifici protetti e patrimonio, edifici pubblici, etc)	
	ε _{lim min} (%)	ε _{lim max} (%)	ε _{lim min} (%)	ε _{lim max} (%)
0	0	0.050	0	0.025
1	0.050	0.075	0.025	0.038
2	0.075	0.150	0.038	0.075
3	0.150	0.300	0.075	0.150
4-5	>0.300		>0.150	

Quando l'interferenza è legata ad opere ferroviarie o gallerie esistenti si adottano invece i criterio di seguito indicati:

- Per le linee operative, l'abbassamento relativo del tracciato non deve superare 4.5 mm per 3 m di lunghezza e la variazione massima di cedimento longitudinale non deve superare 5 mm per 15 m di lunghezza.



- Per i tunnel esistenti, la massima distorsione indotta ammissibile è 0.5%.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

Fase 3: Valutazione dettagliata del rischio

Questa fase viene eseguita per gli edifici che non rispettano, cioè superano, nella seconda fase dell'analisi di valutazione del rischio, i criteri di danno definiti (vedere Tabella 8). Nonostante i risultati della valutazione di rischio, gli edifici con fondazioni molto vicini alla galleria (con una distanza inferiore a un diametro dal tunnel) devono essere sottoposti alla terza fase della valutazione del rischio al fine di individuare l'eventuale effettiva necessità di misure di mitigazione adeguate.

In questa fase, ogni edificio deve essere considerato a sé stante e richiede un'indagine strutturale dettagliata e un'analisi FEM considerando la sequenza di costruzione, le condizioni geotecniche e geometriche, la tipologia strutturale degli edifici, la tipologia di Fondazione, storia dei cedimenti, variazione del livello dell'acqua, ecc.

Se i risultati dell'analisi mostrano ancora danni elevati sugli edifici esistenti, verranno proposti trattamenti di consolidamento.

Il risultato della valutazione del rischio definita nel complesso della Tabella 1 qui in alto, permette di ottenere una categoria di danno per ciascun edificio all'interno della zona di influenza. Un range di categorie di danno da trascurabile a grave è poi proposto in base al tipo di danno (estetico, funzionale e strutturale).

Tabella 7. 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

In funzione dei risultati ottenuti dalla valutazione del rischio, possono essere poi proposte misure di mitigazione e un piano di monitoraggio.

6.1 Criteri di danno

Al fine di stabilire i criteri di danno per la valutazione di edifici e strutture preesistenti a rischio, sono state definite due categorie di edifici:

- Edifici normali in condizioni medie (edifici con vulnerabilità media $I_v < 75$, ovvero: con crepe sparse che non sono state causate da una specifica modalità di deformazione).

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

- Edifici sensibili includendo anche edifici speciali e/o protetti, edifici con strumentazioni speciali, edifici storici, scuole ed edifici pubblici, ospedali, edifici religiosi, etc. All'interno di questa categoria sono inclusi anche gli edifici caratterizzati da un alto indice di vulnerabilità ($I_v > 75$).

Per la valutazione degli edifici e delle strutture a rischio nell'ambito di questo progetto, verranno seguiti i seguenti criteri di danno In base alla **Tabella 8**:

Tabella 8. Criteri di danno per edifici e strutture.

	EDIFICI NORMALI	EDIFICI SENSIBILI
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 ϵ	$\epsilon \leq 0.075$	$\epsilon \leq 0.038$

Questi limiti sono definiti dalla categoria di danno Leggero (2) (che colpisce tutti gli edifici e le strutture che rientrano nelle categorie 2 e 5).

Nel caso in cui i suddetti valori siano superati nella fase di analisi dettagliata della valutazione del rischio (fase 3 della valutazione del rischio) verranno proposte misure di mitigazione e un sistema di monitoraggio speciale.

6.1.1 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.

In fase di progetto definitivo sarà necessario calcolare l'Indice di Vulnerabilità (I_v) in base alle schede predisposte per ogni edificio da indagare.



A. STRUCTURAL BEHAVIOUR OF THE BUILDING					
Maximum value: 25	Characteristic		Index	Assumed value	
	A.1. Horizontal structural elements				
	A.1.1. Wood structure		6	6	x
	A.1.2. Reinforced concrete		0		
	A.1.3. Mixed structure		3		
A.2. Vertical structural elements					
	A.2.1. Masonry elements		6	6	x
	A.2.2. Steel elements		0		
	A.2.3. Reinforced concrete elements		3		
	A.2.4. Mixed elements		4		
A.3. Foundations - source of information					
	A.3.1. Direct (drawings, contractor)		0		
	A.3.2. Indirect (property owner, inhabitants, for similarity with known structures, assessed)		4	4	x
A.4. Type of refurbishment, if any					
	A.4.1. Unknown		2		
	A.4.2. Increasing opening in the façade (or bearing walls)		6		
	A.4.3. Modifications maintaining the construction method		0		
	A.4.4. Modifications improving the construction method		3		
	A.4.5. Consolidation (bearing structure or foundations)		5		
	A.4.6. Adding floors		4	4	x
	A.4.7. Small interior works		0		
State of the refurbishment works (*)					
	A.4.a. Done or in progress		1	0	x
	A.4.b. Designed		0	1	
A.5. Presence of basement levels					
	A.5.1. No		0		
	A.5.2. Yes		3	3	x
PARTIAL TOTAL A.					23


(*) correction factor

B. ORIENTATION AND POSITION OF THE BUILDING						
Maximum value: 25	Characteristic		Index		Assumed value	
	B.1. Orientation					
	B.1.1. $L1 / L2 < 0.5$		S.T. 5	L.T. 10	5	10
	B.1.2. $0.5 < L1 / L2 < 2$		6	6		
	B.1.3. $L1 / L2 > 2$		10	5		
B.2. Group effect of buildings						
	B.2.1. Isolated building Type A ($L1, L2 < 2D$)		15			
	B.2.2. Isolated building Type B ($L1, L2 > 2D$)		5			
	B.2.3. Isolated building Type C ($L1 < 2D; L2 > 2D$)		10			
	B.2.4. Isolated building Type D ($L1 > 2D; L2 < 2D$)		10			
	B.2.5. Grouped buildings parallel to the tunnel axis		0	7	0	7
	B.2.6. Grouped buildings perpendicular to the tunnel axis		7	0		
B.3. Position (relative to tunnel) factor multiplying B1 and B2						
	B.3.1. $x/D < 1$		1		1	x
	B.3.2. $1 < x/D < 3$		0.5			
	B.3.1. $x/D > 3$		0			
PARTIAL TOTAL B.					5	17



Max. value: 10	C. FUNCTIONAL BEHAVIOUR OF THE BUILDING			
	<i>Characteristic</i>	<i>Index</i>	<i>Assumed value</i>	
	C.1 Use of the building			
	C.1.1. Highly sensitive building (hospital, building with sensitive instrumentations, monument, historical building) etc.)	10	10	x
	C.1.3. Low sensitive building (parkings, abandoned buildings)	0		
			PARTIAL TOTAL C.	10
Maximum value: 20	D. AESTHETIC FEATURES OF THE BUILDING			
	<i>Characteristic</i>	<i>Index</i>	<i>Assumed value</i>	
	D.1. Historic / artistic heritage			
	D.1.1. No	0		
	D.1.2. Yes	12	12	x
	D.2. Internal not bearing walls			
	D.2.1. Wood	1	1	x
	D.2.2. Bricks	4		
	D.2.3. Cartongesso	3		
	D.2.4. Alluminium and glass	2		
	D.3. External finishes			
	D.3.1. Artistic tailing	4	4	x
	D.3.2. Ordinary tailing	3		
D.3.3. Plaster	2			
D.3.4. Other	1			
			PARTIAL TOTAL D.	17
Max.v.: 20	E. STATE OF THE BUILDING			
	<i>Characteristic</i>	<i>Index</i>	<i>Assumed value</i>	
	E.1. General visual conditions			
	E.1.1. Good	0		
	E.1.2. Medium	4	4	x
	E.1.3. Bad	8		
	E.2. Signals of settlements in the surrounding area			
	E.2.1. Yes	4	4	x
	E.2.2. No	0		
	E.3. Cracks			
E.3.1. Major cracks and extensive patterns	8			
E.3.2. Cracks and some patterns	5	5	x	
E.3.3. Isolated minor cracks	3			
			PARTIAL TOTAL E.	13
LEGEND				
L1: average dimension in the direction parallel to the tunnel alignment				
L2: average dimension in the direction perpendicular to the tunnel alignment				
S.T. = short term				
L.T. = long term				
x = distance of the building from the tunnel axis				
D = tunnel diameter				
Long-term vulnerability index:		80		
Shaort-term vulnerability index:		68		

Figura 12. Esempio di calcolo dell'Indice di Vulnerabilità (Chiriotti et al., 2000).

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

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

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


La scala dell'Indice di vulnerabilità (I_v) può essere utilizzata per adeguare la classificazione dei danni attesi riducendo i limiti massimi di cedimento e distorsione angolare nella fase 1 (Tabella 4) e i limiti di deformazione di trazione nella fase 2 (Tabella 6) per le categorie di danno; 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.

6.2 Considerazioni aggiuntive per il progetto in esame

Nel contesto del progetto Linea Metro 2 di Torino, diversi edifici rappresentativi sono stati valutati prima calcolando cedimenti e distorsioni angolari secondo la metodologia esposta nella Fase 1 della valutazione del rischio, ed in seguito calcolando le deformazioni di trazione per una valutazione in accordo alla Fase 2. A valle della Fase 2 sono stati individuati gli edifici che devono essere sottoposti alla Fase 3, ovvero gli edifici che subiscono danni moderati o addirittura gravi, al fine di poter individuare le opportune misure di presidio tramite analisi numerica.

Inoltre, 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.

Tutti questi fattori sono stati presi in considerazione per applicare i criteri di danno definiti nella Tabella 8 e valutare se le limitazioni, riportate nella Seconda Fase della Valutazione del Rischio, vengano soddisfatte. In alcuni casi sono state necessarie ulteriori valutazioni ed in alcune parti del tracciato sono previste delle misure di mitigazione come descritto nei capitoli successivi.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

7. RISULTATI DELL'ANALISI DELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

7.1 Prima fase della valutazione del rischio

Per l'analisi dei cedimenti in accordo alla prima fase, sono stati considerati i seguenti intervalli per dividere l'area in zone aventi lo stesso range di cedimento. In questo modo, gli edifici e le strutture a rischio possono essere identificati con precisione nelle planimetrie di progetto.

Tabella 9. Range di cedimenti considerati nei disegni.

CEDIMENTO (mm)	COLORE
5-10	Green
10-15	Yellow
15-25	Orange
>25	Red

Una volta ottenuti i risultati dei cedimenti indotti dallo scavo delle gallerie e stazioni/pozzi, è possibile elaborare una mappa cromatica, evidenziando le aree dei cedimenti in base agli intervalli definiti nella precedente tabella. La **Figura 13** mostra un esempio della mappa cromatica in funzione dei cedimenti generati.

Gli elaborati grafici connessi alla presente relazione mostrano i risultati ottenuti nei due casi di applicazione di un volume perso V_L differente a parità di fattore di forma K .


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX



Figura 13. Esempio di mappa cromatica funzione dei cedimenti generati.

7.1.1 Stima dei cedimenti generati dallo scavo della galleria

L'analisi dei cedimenti generati dall'esecuzione del tunnel è stata eseguita ogni 25 m lungo il tracciato considerando un diametro di scavo costante della galleria, lo strato di copertura corrispondente, il parametro K menzionato in precedenza (principalmente $K=0,4$) e con $V_L = 1\%$, come già menzionato nel **Paragrafo 5.3**.

Le figure successive mostrano i valori massimi stimati per i cedimenti e le distorsioni angolari lungo il tracciato, considerando i parametri menzionati nel paragrafo precedente.

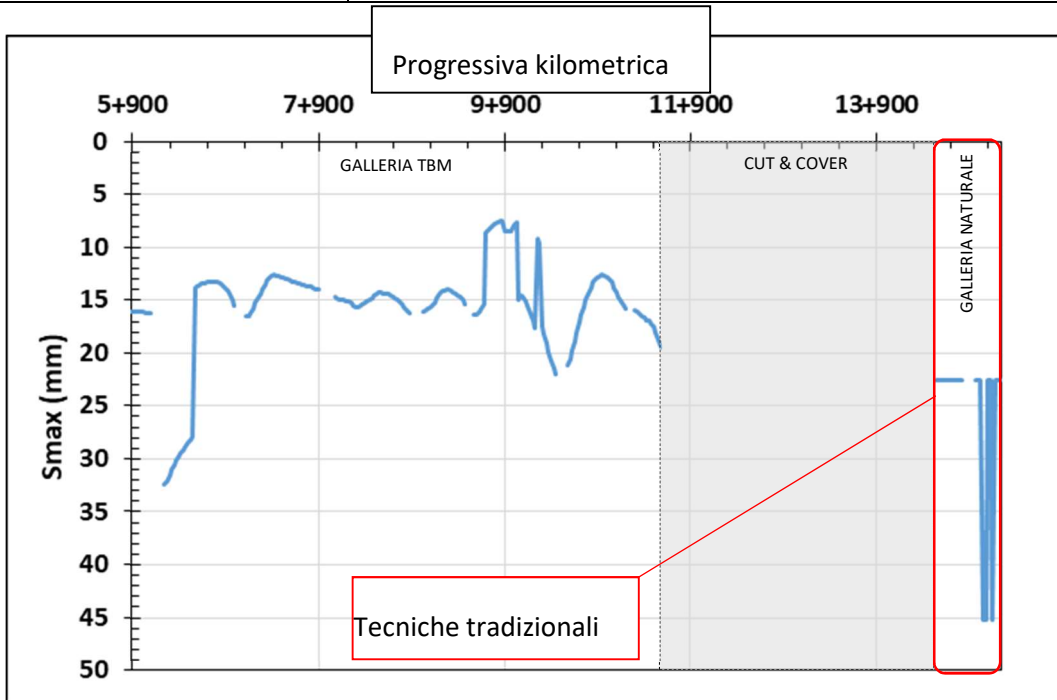


Figura 14. Stima dei valori massimi dei cedimenti dovuti allo scavo del tunnel (V_p = 1%).

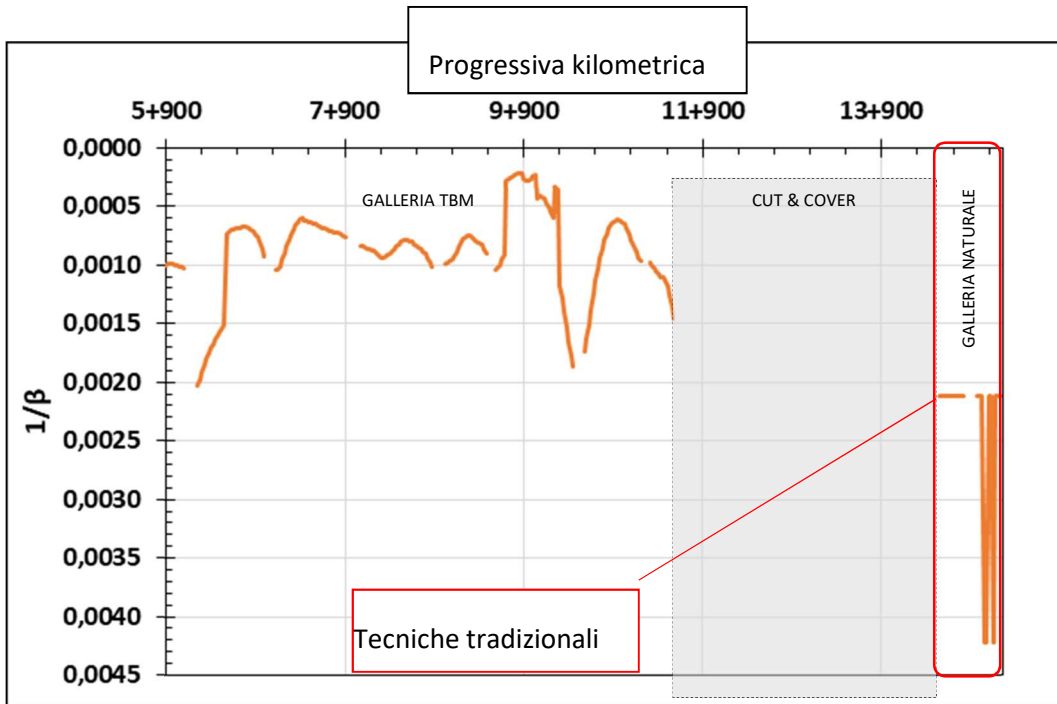



Figura 15. Stima dei valori massimi di distorsione angolare dovuti allo scavo del tunnel (V_p = 1%).

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

Nella seguente tabella sono riportati i valori massimi dei cedimenti e di distorsione angolare calcolati.

Tabella 10. Stima dei valori massimi dei cedimenti e di distorsione angolare dovuti allo scavo del tunnel (Vp=1%).

TRATTA	PROGRESSIVA	S_{max} (mm)	1/β	εh(%)
GALLERIA NATURALE				
REBAUDENGO	14+550 a 15+250	45.14	1/237	0.28%

7.1.2 Stima dei cedimenti indotti dallo scavo delle stazioni

I calcoli di tutte le stazioni sono basati sul metodo di Boone and Westland (2005) [22.]. I risultati ottenuti dai calcoli dei cedimenti per scavi di stazioni/pozzi sono presentati in **Tabella 11**.


Tabella 11. Stima dei cedimenti massimi indotti dallo scavo delle stazioni

STATIONE	S_{max} (mm)
Bologna	12.7
Cimarosa - Tabbachi	14.1
Corelli	4.6
S. Giovanni Bosco	4.6
Giulio Cesare	4.6
Rebaudengo	12.7

7.1.3 Conclusioni della prima fase di analisi del rischio

In base ai risultati ottenuti nella fase 1 dell'analisi di rischio, risulta necessario per diversi edifici, una valutazione secondo la fase 2, in quanto vengono superati i limiti stabiliti nella Tabella 3.

Tale attività è stata di fatto condotta per tutti gli edifici presenti lungo la tratta di cui fosse disponibile il BCS.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

7.2 Seconda fase della valutazione del rischio

Come descritto sopra, in questa fase sono stati calcolati i valori massimi di deformazione a trazione per tutti gli edifici che ricadono nella ZOI per i quali si dispone di una scheda derivata da un'attività di BCS.

Sono stati considerati anche alcuni edifici sensibili/speciali che, pur ricadendo al di fuori della ZOI, comunque meritano una valutazione di rischio.

Le tabelle seguenti mostrano i risultati della seconda fase di valutazione del rischio considerando, uno scenario con $V_p = 1.0 \%$, che, sulla base di dati di letteratura e degli input progettuali della Linea 1, rappresenta il valore di riferimento per la determinazione degli interventi preventivi sulle costruzioni ed è stato individuato come soglia di allarme nel progetto di monitoraggio.

Nel seguito sono riportati i risultati delle analisi condotte applicando un volume perso $V_t = 1\%$ in modo generalizzato su tutto il tracciato.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna

Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica

01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

Tratta	Dati fabbricati											Parametri di calcolo			Indice di vulnerabilità			Analisi del rischio						
	Codice edificio	Tipo str. M/C	pk sezione di calcolo [m]	Quota asse galleria [m]	Quota ultimo sotterraneo [m]	Copertura [m]	Copertura rispetto ad asse	numero piani	numero livelli sotterranei	H edificio [m]	Distanza estremo y_{1a} [m]	Distanza estremo y_{2a} [m]	D scavo [m]	k	V_L [%]	Breve termine	Lungo termine	Fattore di riduzione Fr	Ced. max terreno [mm]	Ced. max edificio [mm]	Dist. angol 1/p	Edifici sensibili (a/schede IV)	Burland et al (1989)	
REBAUDENGO - BORGATE	GCRE01	C**	15+000	215,70	227,05	18,17	11,35	1	0	15,7	-92,8	-7,5	9,6	0,40	1,00%	28	33	1,25	45	23	240	NO	2	Lieve
	GCRE02	M/C**	15+075	215,70	225,55	14,87	9,85	2	1	11,9	-26,4	0,1	9,6	0,40	1,00%	58	51	1,50	50	50	185	SI	3	Moderato
	GCRE03	M/C**	15+150	215,70	227,05	18,17	11,35	1	0	5,7	-14,5	8,8	9,6	0,40	1,00%	51	58	1,50	50	50	185	NO	3	Moderato
	GCRE07	C**	14+800	215,70	223,95	13,07	8,25	2	1	8,6	0,0	12,3	9,6	0,40	1,00%	42	35	1,50	48	48	208	NO	3	Moderato
	GCRE08	C**	14+750	215,70	227,05	18,17	11,35	1	0	3,2	-1,0	8,0	9,6	0,40	1,00%	36	29	1,25	45	45	237	NO	1	Molto lieve
	GCRE09	M**	14+800	215,70	227,05	18,17	11,35	1	0	2,9	9,8	24,8	9,6	0,40	1,00%	54	42	1,50	45	14	317	NO	3	Moderato

Tabella 12. Risultati ottenuti dalla seconda fase della valutazione del rischio per edifici rappresentativi considerando una Perdita di volume $V_L = 1\%$.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Lotto funzionale 1: Rebaudengo - Bologna
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

7.2.1 Conclusioni della seconda fase di analisi del rischio

Come riportato nella **Tabella 12** sono state identificate alcuni edifici che ricadono in categorie di danno moderato che pertanto risultano essere a rischio di danneggiamento, quando il V_L atteso si dovesse attestare su valori prossimi a 1%.

In questi casi, sono necessarie misure di mitigazione per assicurare che lo scavo della galleria di linea in prossimità di essi, risulti sicuro e senza generazione di danni.

7.3 Protezione agli edifici e misure di mitigazione per lo scavo della galleria con metodi tradizionali

La tratta di Linea scavata con metodi tradizionali, è ubicata in una zona del tracciato in cui la superficie è principalmente occupata da aree verdi, strutture sportive e sostanzialmente priva di sottoservizi rilevanti.

La livelletta è piuttosto superficiale collocandosi a circa 17m sotto il piano campagna attuale e l'opera sarà ubicata all'interno di un orizzonte di terreno incoerente in cui la falda si pone a circa -13m circa da piano campagna come meglio precisato nel seguito.

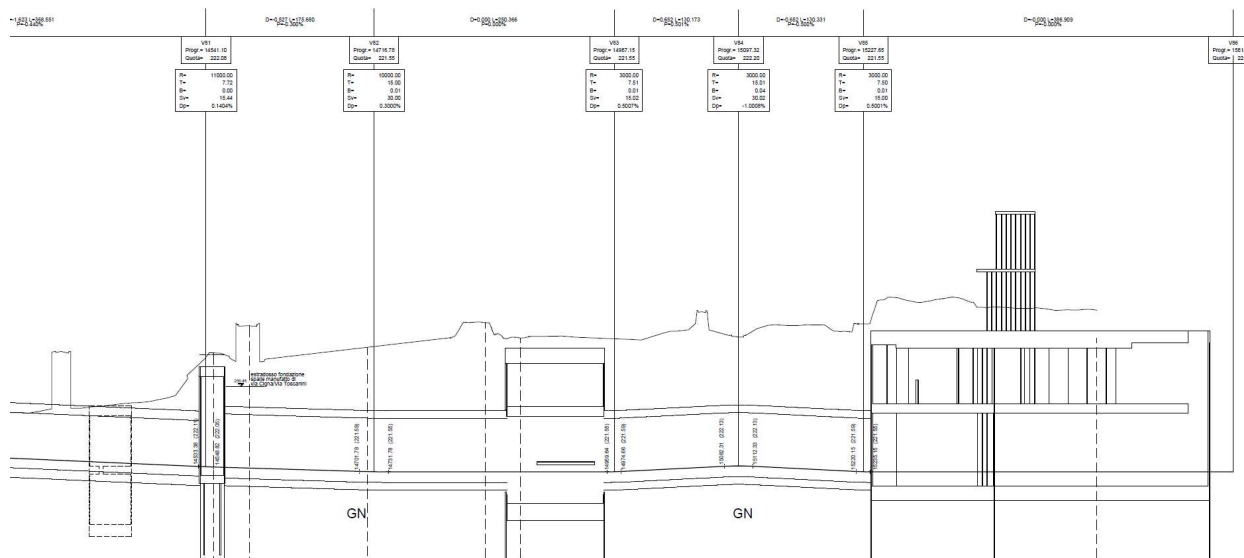



Figura 16. Profilo tratta in esame Planimetria tratta in esame

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

Tali evidenze geometriche e geotecniche hanno fatto propendere per la realizzazione di questo tratto di linea mediante uno scavo a foro cieco con metodo tradizionale la cui sezione geometrica è rappresentata nella figura seguente che considera anche la presenza di una curva di raggio pari a 200m.

In queste condizioni, potendo facilmente implementare tecniche di consolidamento dalla superficie, lo scavo predilige un avanzamento di forma cilindrica all'interno di un blocco consolidato dall'alto mediante jet-grouting a forma di capanna, secondo gli schemi rappresentati nella figura che segue (Sezione Tipo 1 – vedi documento allegato MTL2T1A1D STRGN0T001).

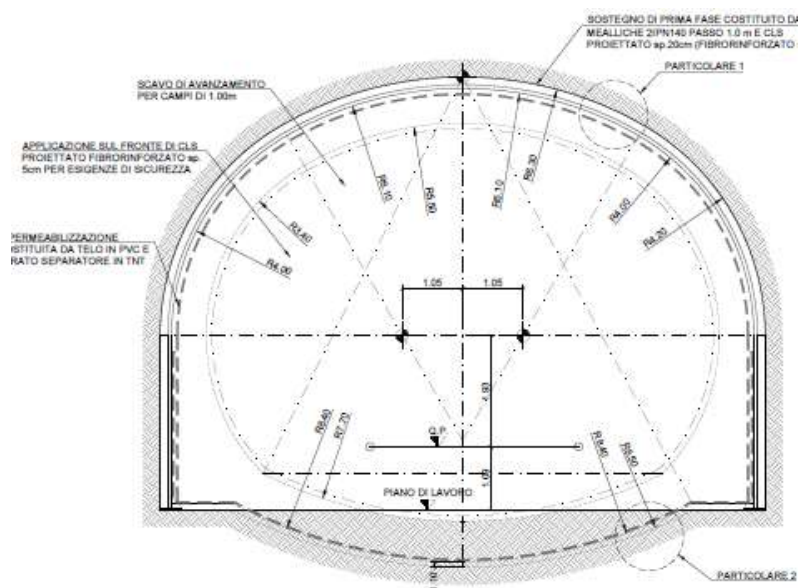


Figura 17. Tipologico sezione tipo 1 di scavo con consolidamento dall'alto

Nell'ambito della tratta in questione esistono però alcuni punti singolari in cui non è possibile eseguire misure di consolidamento dal piano campagna a causa di ostacoli costituiti da fabbricati esistenti che si vogliono preservare; lungo tali tratti verrà realizzato un consolidamento in avanzamento mediante:

- presostegno in calotta costituito da bulloni autoperforanti iniettati con resine bicomponenti a base di silicati e sostenuti da centine metalliche disposte a passo ravvicinato con raggio di curvatura crescente
- esecuzione di consolidamento del fronte con VTR

Inoltre, per limitare al minimo gli effetti dello scavo della galleria a foro cieco sui cedimenti previsti in superficie, lo scavo verrà parzializzato in due fasi separate (Sezione Tipo 2 – vedi documento allegato MTL2T1A1D STRGN0T004), opzione che consente anche di eseguire i trattamenti



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Funzionale 1:
Politecnico – Rebaudengo

Bacino di Subsidenza e impatto
sulle Pre-Esistenze – Relazione
Tecnica

01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

d'impermeabilizzazione dal piano dello scavo di calotta della galleria invece che dalla superficie per quelle porzioni di linea in cui la falda si colloca in sezione.

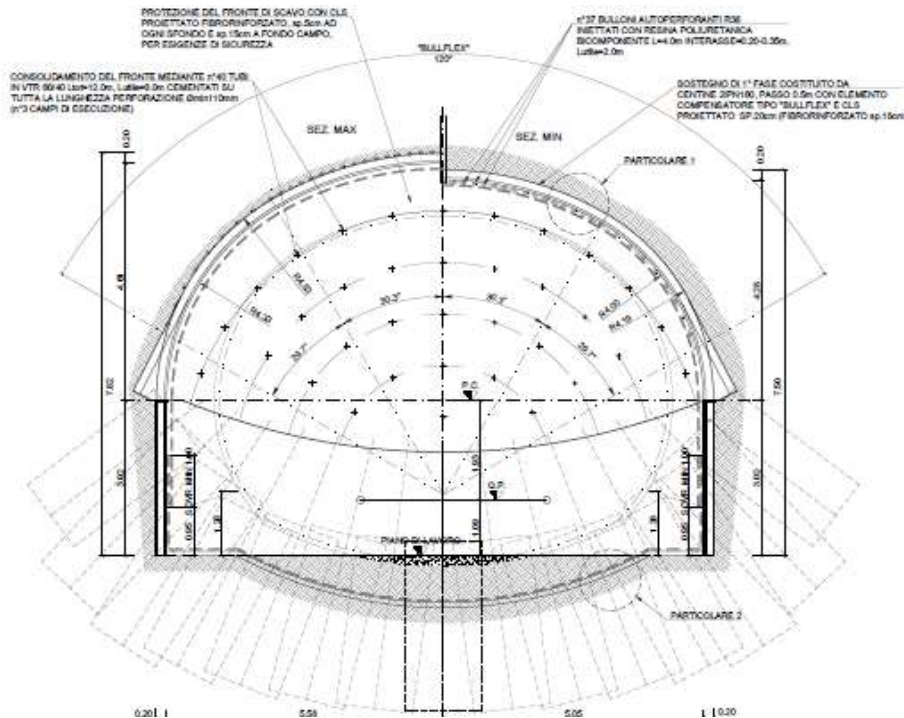



Figura 18. Tipologico sezione tipo 2 di scavo con consolidamenti in avanzamento a geometria troncoconica

In sintesi, l'applicazione delle sezioni tipo seguirà l'alternanza indicata in **Tabella 13** ed è dettagliata negli elaborati grafici di riferimento MTL2T1A1DSTRGN0T004.

Tabella 13. Applicazione sezioni tipo

PK inizio [km]	PK fine [km]	Sezione tipo	Lunghezza applicazione [m]
14+561	14+726	1	165
14+726	14+806	2	80
14+806	14+857	1	51
14+857	14+956	Stazione REBAUDENGO (L ≈ 100 m)	
14+956	15+046	1	90
15+046	15+096	2	50
15+096	15+150	1	54
15+150	15+174	2	24
15+174	15+236	1	62

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

Riepilogo	
Sezione tipo 1	422
Sezione tipo 2	154
Totale galleria	676 (576 al netto della stazione REBAUDENGO)

8. CONCLUSIONI

Lo scopo di questa relazione è stato quello di stimare i cedimenti prodotti in superficie in seguito alla realizzazione del tunnel di linea eseguito con scavo convenzionale e C&C e delle stazioni realizzate con metodologia C&C.


Sono stati quindi valutati ed analizzati gli effetti su edifici e strutture preesistenti, debitamente classificati in base al BCS condotto.

La metodologia adottata, definita come Building Risk Assessment, consiste in tre fasi distinte che vengono caratterizzate ognuna da una specifica serie di parametri limite per il danno provocato a causa degli scavi. Quando i limiti di danno vengono superati in una fase, è necessaria la valutazione nella fase successiva.

Dai risultati ottenuti si può osservare che alcuni edifici e strutture mostrano un livello di danno atteso già nella prima fase della valutazione del rischio (>10 mm di cedimento per edifici normali e >5 mm per edifici sensibili) e tale da richiedere il passaggio alla seconda fase di valutazione del rischio.

Nella presente fase di progetto è stata eseguita la seconda fase di valutazione del danno per tutti gli edifici interessati e dotati di una scheda a seguito di BCS.


Nell'ambito della presente relazione sono stati indicati gli edifici che si stima debbano essere specificatamente protetti e/o monitorati durante gli scavi.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

9. APPENDICE 1

Figura 19. Identificazione di edifici interessati.

Tratta	Codice edificio	Tipo str. M/C	pk sezione di calcolo[m]	Copertura [m]	numero piani	numero livelli sotterraneo	H edificio [m]	Breve termine	Lungo termine
REBAUDENGO - RRB	GCRE01	C**	15+000	6,53	1	0	15,7	28	33
	GCRE02	M/C**	15+075	5,03	2	1	11,9	58	51
	GCRE03	M/C**	15+150	6,53	1	0	5,7	51	56
	GCRE07	C**	14+600	13,07	2	1	6,6	42	35
	GCRE08	C**	14+750	16,17	1	0	3,2	36	29
	GCRE09	M**	14+800	16,17	1	0	2,9	54	42

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 – Lotto Funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
Bacino di Subsidenza e impatto sulle Pre-Esistenze – Relazione Tecnica	01_MTL2T1A1DPRCG00R001-0-1.DOCX

10. APPENDICE 2

SCHEDA DI VALUTAZIONE DI DANNO IN FASE 2 PER GLI EDIFICI DELLA TRATTA REBAUDENGO-BOLOGNA

DATI INPUT EDIFICIO

Codice Edificio	[ID]	GCRE01
Progressiva	[pk]	15+000
Ubicazione		Via Cigna 209
Posizione rispetto ad asse galleria [1]		Sinistra*
Indice di vulnerabilità "lv"	Breve termine	28
	Lungo termine	33
Fattore di riduzione categorie di danno	"Fr"	1,25
Tipo struttura [2]		C**
Destinazione d'uso		Insedimento industriale
Presenza di fratture		No
Grado di conservazione		Ragionevole
Altezza rispetto al p.c	[m]	15,72
Profondità fondazioni al di sotto del p.c	[m]	0,00
Numero di piani fuori terra	[n°]	1
Numero di piani interrati [n°]	[n°]	0
Lunghezza edificio L ₂ [3]	[m]	85,34
Distanza bordo dall'asse x1	[m]	-92,80
Distanza bordo dall'asse x2	[m]	-7,46
Quota sotterraneo	[m]	227,05
Quota asse galleria	[m]	210,88
Copertura rispetto a calotta galleria [4]	[m]	11,35
Rapporto moduli di deformazione [5]	E/G	12,5

Planimetria con edifici interferenti

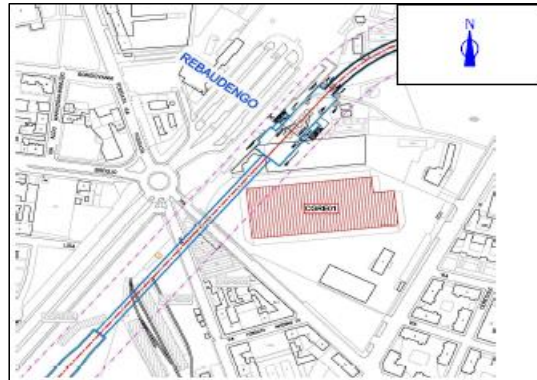


Foto edificio GCRE01



SPOSTAMENTI E DISTORSIONI ANGOLARI

Diametro di scavo galleria	[m]	9,64
Parametro di forma K	[-]	0,40
Volume perso Vp	[%]	1,00%
Perdita di volume	[m ³ /m]	72,99
Distanza flesso "i"	[m]	6,47
Picco curva subsidenza (in green field)	[mm]	45
Lunghezza max area di Hogging "B _{hmax} "	[m]	8,7
Lunghezza area di Sagging "Bs"	[m]	0,0
Cedimento massimo Edificio "Smax"	[mm]	23
Distorsione angolare massima (1/β)	[-]	240
Spostamento orizzontale max. "Umax"	[mm]	10,69
Def orizzontale max in Hogg ε _h [6]	[%]	0,100
Def orizzontale max in Sagg ε _s [7]	[%]	0,000

CATEGORIA DI DANNO

Deformaioni orizzontali (con ε_h ≠ 0)

Def. di trazione max hogg ε _{max,h}	[%]	0,1150
Def. di trazione max sagg ε _{max,s}	[%]	

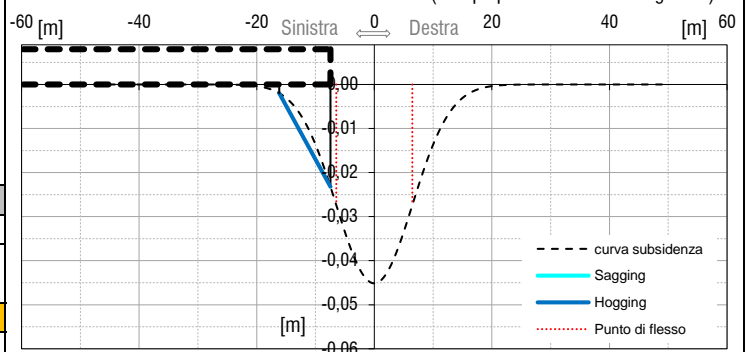
Valutazione del danno: **lieve** **2**

Deformaioni orizzontali (con ε_h = 0)

Def. di trazione max hogg (%):	0,0466
Def. di trazione max sagg (%):	

Valutazione del danno: **molto lieve** **1**

Grafico curva di subsidenza e deformazioni edificio (sez. perpendicolare ad asse galleria)



Determinazione classe di danno

Categorie di danno	Indice di vulnerabilità dell'edificio										ε _{lim} [%]
	Trascurabile		Basso		Lieve		Medio		Alto		
	0 < lv < 20		20 < lv < 40		40 < lv < 60		60 < lv < 80		80 < lv < 100		
Fattore di riduzione	Fr = 1.00										0,240
	Fr = 1.25										
Parametro di controllo	ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{max} = 0,115
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
0	0.000	0.050	0.000	0.040	0.000	0.033	0.000	0.029	0.000	0.025	
1	0.050	0.075	0.040	0.060	0.033	0.050	0.029	0.043	0.025	0.038	
2	0.075	0.150	0.060	0.120	0.050	0.100	0.043	0.086	0.038	0.075	
3	0.150	0.300	0.120	0.240	0.100	0.200	0.086	0.171	0.075	0.150	
Da 4 a 9	> 0.300		> 0.240		> 0.200		> 0.171		> 0.150		

Legenda:

- [1] *: Posizione rispetto alla direzione di avanzamento della TBM
- [2] **: [C]=cemento armato, [M]=muratura, [M/C]=struttura mista
- [3] Dimensione nella direzione perpendicolare all'asse della galleria
- [4] Copertura in calotta rispetto alla quota fondazione
- [5] 12.5 per fabbricati in c.a. o misti e 2.6 per fabbricati in muratura
- [6] Def. orizzontale max in Hogging calcolata tra i bordi dell'edificio
- [7] Def. orizzontale max in Sagging posta pari a 0 a vantaggio di sicurezza

DATI INPUT EDIFICIO

Codice Edificio	[ID]	GCRE02
Progressiva	[pk]	15+075
Ubicazione		Via Fossata 82, 80/G
Posizione rispetto ad asse galleria [1]		In asse galleria
Indice di vulnerabilità "Iv"	Breve termine	58
	Lungo termine	51
Fattore di riduzione categorie di danno	"Fr"	1,5
Tipo struttura [2]		M/C**
Destinazione d'uso		Insedimento industriale / Magazzino
Presenza di fratture		Si
Grado di conservazione		Ragionevole
Altezza rispetto al p.c	[m]	11,94
Profondità fondazioni al di sotto del p.c	[m]	1,50
Numero di piani fuori terra	[n°]	2
Numero di piani interrati [n°]	[n°]	1
Lunghezza edificio L ₂ [3]	[m]	26,5
Distanza bordo dall'asse x1	[m]	-26,40
Distanza bordo dall'asse x2	[m]	0,10
Quota sotterraneo	[m]	225,55
Quota asse galleria	[m]	210,88
Copertura rispetto a calotta galleria [4]	[m]	9,85
Rapporto moduli di deformazione [5]	E/G	12,5

Planimetria con edifici interferenti

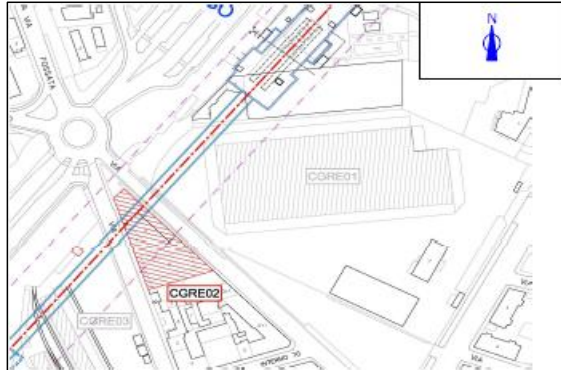


Foto edificio GCRE02



SPOSTAMENTI E DISTORSIONI ANGOLARI

Diametro di scavo galleria	[m]	9,64
Parametro di forma K	[-]	0,40
Volume perso Vp	[%]	1,00%
Perdita di volume	[m³/m]	72,99
Distanza flesso "i"	[m]	5,87
Picco curva subsidenza (in green field)	[mm]	50
Lunghezza max area di Hogging "B _{hmax} "	[m]	8,8
Lunghezza area di Sagging "Bs"	[m]	6,0
Cedimento massimo Edificio "Smax"	[mm]	50
Distorsione angolare massima (1/β)	[-]	195
Spostamento orizzontale max. "U _{max} "	[mm]	12,06
Def orizzontale max in Hogg ε _h [6]	[%]	0,112
Def orizzontale max in Sagg ε _s [7]	[%]	0,000

CATEGORIA DI DANNO

Deformaioni orizzontali (con ε_h ≠ 0)

Def. di trazione max hogg ε _{max,h}	[%]	0,1335
Def. di trazione max sagg ε _{max,s}	[%]	0,0719

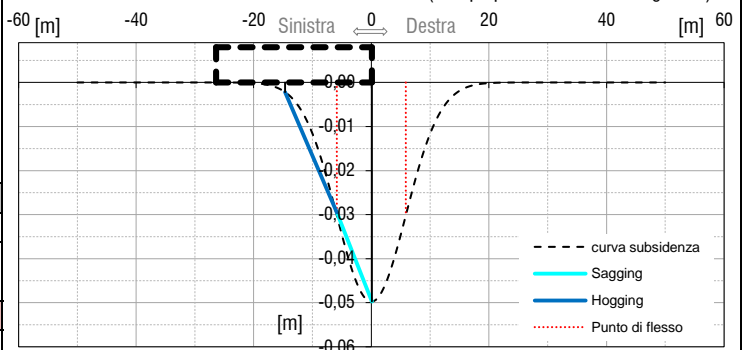
Valutazione del danno: **Moderato** **3**

Deformaioni orizzontali (con ε_h = 0)

Def. di trazione max hogg (%)	0,0598
Def. di trazione max sagg (%)	0,0719

Valutazione del danno: **lieve** **2**

Grafico curva di subsidenza e deformazioni edificio (sez. perpendicolare ad asse galleria)



Determinazione classe di danno

Categorie di danno	Indice di vulnerabilità dell'edificio										ε _{lim} [%]
	Trascurabile		Basso		Lieve		Medio		Alto		
	0 < I _v < 20	20 < I _v < 40	40 < I _v < 60	60 < I _v < 80	80 < I _v < 100						
Fattore di riduzione	Fr = 1.00		Fr = 1.25		Fr = 1.50		Fr = 1.75		Fr = 2.00		← e _{max} = 0,134
	ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		
Parametro di controllo	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	0,200 0,100 0,050 0,033 0,00
	0	0.000	0.050	0.000	0.040	0.000	0.033	0.000	0.029	0.000	
1	0.050	0.075	0.040	0.060	0.033	0.050	0.029	0.043	0.025	0.038	
2	0.075	0.150	0.060	0.120	0.050	0.100	0.043	0.086	0.038	0.075	
3	0.150	0.300	0.120	0.240	0.100	0.200	0.086	0.171	0.075	0.150	
Da 4 a 5	> 0.300	> 0.240	> 0.200	> 0.171	> 0.150						

Legenda:

- [1] *: Posizione rispetto alla direzione di avanzamento della TBM
- [2] **: [C]=cemento armato, [M]=muratura, [M/C]=struttura mista
- [3] Dimensione nella direzione perpendicolare all'asse della galleria
- [4] Copertura in calotta rispetto alla quota fondazione
- [5] 12.5 per fabbricati in c.a. o misti e 2.6 per fabbricati in muratura
- [6] Def. orizzontale max in Hogging calcolata tra i bordi dell'edificio
- [7] Def. orizzontale max in Sagging posta pari a 0 a vantaggio di sicurezza

DATI INPUT EDIFICIO

Codice Edificio	[ID]	GCRE03
Progressiva	[pk]	15+150
Ubicazione		Via Fossata 75
Posizione rispetto ad asse galleria [1]		In asse galleria
Indice di vulnerabilità "lv"	Breve termine	51
	Lungo termine	56
Fattore di riduzione categorie di danno	"Fr"	1,5
Tipo struttura [2]		M/C**
Destinazione d'uso		Edificio RFI Ex Officina
Presenza di fratture		No
Grado di conservazione		Mediocre
Altezza rispetto al p.c	[m]	5,65
Profondità fondazioni al di sotto del p.c	[m]	0,00
Numero di piani fuori terra	[n°]	1
Numero di piani interrati [n°]	[n°]	0
Lunghezza edificio L ₂ [3]	[m]	23,34
Distanza bordo dall'asse x1	[m]	-14,50
Distanza bordo dall'asse x2	[m]	8,84
Quota sotterraneo	[m]	227,05
Quota asse galleria	[m]	210,88
Copertura rispetto a calotta galleria [4]	[m]	11,35
Rapporto moduli di deformazione [5]	E/G	12,5

Planimetria con edifici interferenti

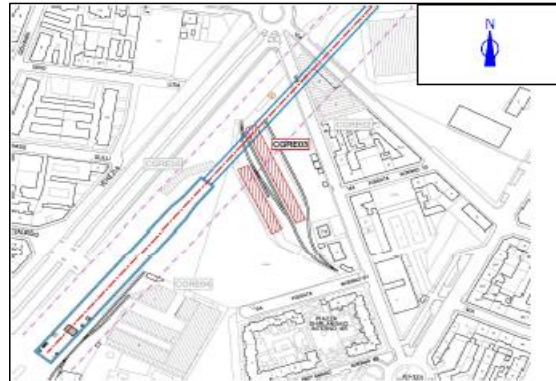


Foto edificio GCRE03



SPOSTAMENTI E DISTORSIONI ANGOLARI

Diametro di scavo galleria	[m]	9,64
Parametro di forma K	[-]	0,40
Volume perso Vp	[%]	1,00%
Perdita di volume	[m³/m]	72,99
Distanza flesso "i"	[m]	6,47
Picco curva subsidenza (in green field)	[mm]	50
Lunghezza max area di Hogging "B _{hmax} "	[m]	8,0
Lunghezza area di Sagging "Bs"	[m]	12,9
Cedimento massimo Edificio "Smax"	[mm]	50
Distorsione angolare massima (1/β)	[-]	195
Spostamento orizzontale max. "U _{max} "	[mm]	12,06
Def orizzontale max in Hogg ε _h [6]	[%]	0,120
Def orizzontale max in Sagg ε _s [7]	[%]	0,000

CATEGORIA DI DANNO

Deformaioni orizzontali (con ε_h ≠ 0)

Def. di trazione max hogg ε _{max,h}	[%]	0,1377
Def. di trazione max sagg ε _{max,s}	[%]	0,1378

Valutazione del danno: **Moderato** **3**

Deformaioni orizzontali (con ε_h = 0)

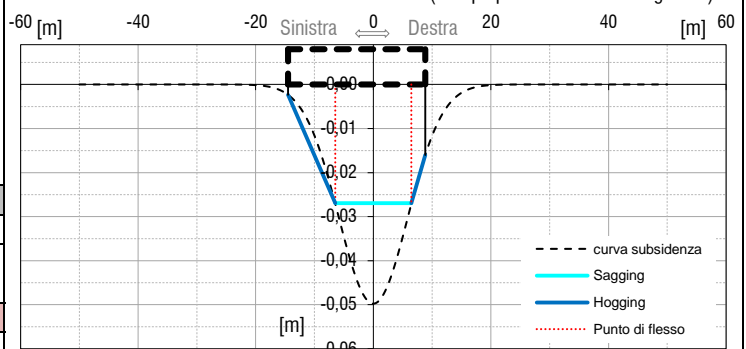
Def. di trazione max hogg (%):	0,0559
Def. di trazione max sagg (%):	0,1378

Valutazione del danno: **Moderato** **3**

Legenda:

- [1] *: Posizione rispetto alla direzione di avanzamento della TBM
- [2] **: [C]=cemento armato, [M]=muratura, [M/C]=struttura mista
- [3] Dimensione nella direzione perpendicolare all'asse della galleria
- [4] Copertura in calotta rispetto alla quota fondazione
- [5] 12.5 per fabbricati in c.a. o misti e 2.6 per fabbricati in muratura
- [6] Def. orizzontale max in Hogging calcolata tra i bordi dell'edificio
- [7] Def. orizzontale max in Sagging posta pari a 0 a vantaggio di sicurezza

Grafico curva di subsidenza e deformazioni edificio (sez. perpendicolare ad asse galleria)



Determinazione classe di danno

Categorie di danno	Indice di vulnerabilità dell'edificio										ε _{lim} [%]
	Trascurabile		Basso		Lieve		Medio		Alto		
	0 < lv < 20	20 < lv < 40	40 < lv < 60	60 < lv < 80	80 < lv < 100						
Fattore di riduzione	Fr = 1.00		Fr = 1.25		Fr = 1.50		Fr = 1.75		Fr = 2.00		← e _{max} = 0,138
	ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		
Parametro di controllo	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	0,200 0,100 0,050 0,033 0,00
	0	0.000	0.050	0.000	0.040	0.000	0.033	0.000	0.029	0.000	
1	0.050	0.075	0.040	0.060	0.033	0.050	0.029	0.043	0.025	0.038	0,050 0,033
	2	0.075	0.150	0.060	0.120	0.050	0.100	0.043	0.086	0.038	
3	0.150	0.300	0.120	0.240	0.100	0.200	0.086	0.171	0.075	0.150	0,00
	Da 4 a 5	> 0.300	> 0.240	> 0.200	> 0.171	> 0.150					

DATI INPUT EDIFICIO

Codice Edificio	[ID]	GCRE07
Progressiva	[pk]	14+600
Ubicazione		Via Gottardo 10
Posizione rispetto ad asse galleria [1]		In asse galleria
Indice di vulnerabilità "lv"	Breve termine	42
	Lungo termine	35
Fattore di riduzione categorie di danno	"Fr"	1,5
Tipo struttura [2]		C**
Destinazione d'uso		Uffici/Segreteria Ass.Sport.
Presenza di fratture		No
Grado di conservazione		Ragionevole
Altezza rispetto al p.c	[m]	6,58
Profondità fondazioni al di sotto del p.c	[m]	3,10
Numero di piani fuori terra	[n°]	2
Numero di piani interrati [n°]	[n°]	1
Lunghezza edificio L ₂ [3]	[m]	12,34
Distanza bordo dall'asse x1	[m]	0,00
Distanza bordo dall'asse x2	[m]	12,34
Quota sotterraneo	[m]	223,95
Quota asse galleria	[m]	210,88
Copertura rispetto a calotta galleria [4]	[m]	8,25
Rapporto moduli di deformazione [5]	E/G	12,5

Planimetria con edifici interferenti

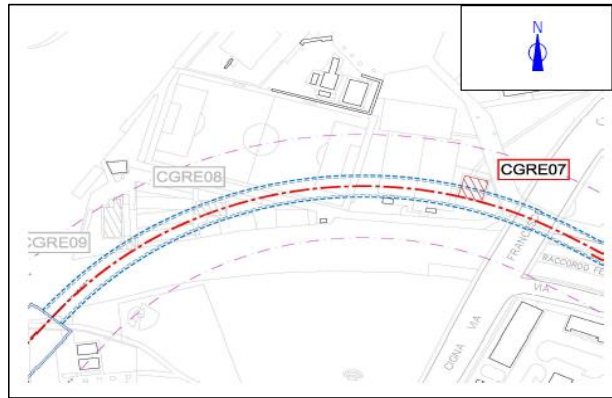


Foto edificio GCRE07



SPOSTAMENTI E DISTORSIONI ANGOLARI

Diametro di scavo galleria	[m]	9,64
Parametro di forma K	[-]	0,40
Volume perso Vp	[%]	1,00%
Perdita di volume	[m³/m]	72,99
Distanza flesso "i"	[m]	5,23
Picco curva subsidenza (in green field)	[mm]	48
Lunghezza max area di Hogging "B _{hmax} "	[m]	7,1
Lunghezza area di Sagging "Bs"	[m]	5,2
Cedimento massimo Edificio "Smax"	[mm]	48
Distorsione angolare massima (1/β)	[-]	208
Spostamento orizzontale max. "Umax"	[mm]	11,67
Def orizzontale max in Hogging ε _h [6]	[%]	0,089
Def orizzontale max in Sagging ε _s [7]	[%]	0,000

CATEGORIA DI DANNO

Deformaioni orizzontali (con ε_h ≠ 0)

Def. di trazione max hogg ε _{max,h}	[%]	0,1019
Def. di trazione max sagg ε _{max,s}	[%]	0,0567

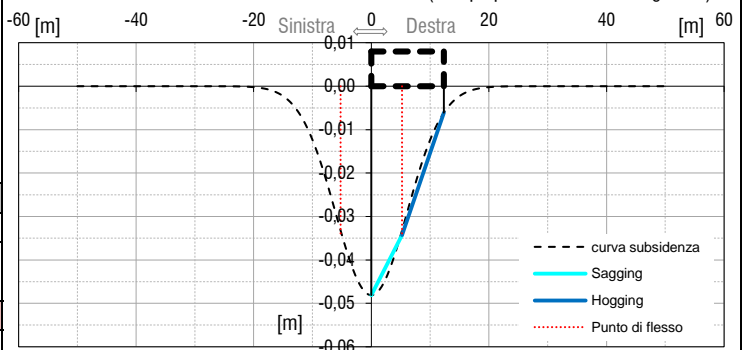
Valutazione del danno: **Moderato** **3**

Deformaioni orizzontali (con ε_h = 0)

Def. di trazione max hogg (%)	0,0405
Def. di trazione max sagg (%)	0,0567

Valutazione del danno: **lieve** **2**

Grafico curva di subsidenza e deformazioni edificio (sez. perpendicolare ad asse galleria)



Determinazione classe di danno

Categorie di danno	Indice di vulnerabilità dell'edificio										ε _{lim} [%]					
	Trascurabile		Basso		Lieve		Medio		Alto							
	0 < lv < 20	20 < lv < 40	40 < lv < 60	60 < lv < 80	80 < lv < 100	Fr = 1.00		Fr = 1.25		Fr = 1.50		Fr = 1.75		Fr = 2.00		
Parametro di controllo	ε _{tm} [%]		ε _{tm} [%]		ε _{tm} [%]		ε _{tm} [%]		ε _{tm} [%]		ε _{tm} [%]		ε _{tm} [%]		ε _{tm} [%]	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
0	0.000	0.050	0.000	0.040	0.000	0.033	0.000	0.029	0.000	0.025	0.000	0.025	0.000	0.025	0.000	0.025
1	0.050	0.075	0.040	0.060	0.033	0.050	0.029	0.043	0.025	0.038	0.025	0.038	0.025	0.038	0.025	0.038
2	0.075	0.150	0.060	0.120	0.050	0.100	0.043	0.086	0.038	0.075	0.038	0.075	0.038	0.075	0.038	0.075
3	0.150	0.300	0.120	0.240	0.100	0.200	0.086	0.171	0.075	0.150	0.075	0.150	0.075	0.150	0.075	0.150
Da 4 a 9	> 0.300	> 0.240	> 0.200	> 0.171	> 0.150	> 0.150	> 0.150	> 0.150	> 0.150	> 0.150	> 0.150	> 0.150	> 0.150	> 0.150	> 0.150	> 0.150

Legenda:

- [1] *: Posizione rispetto alla direzione di avanzamento della TBM
- [2] **: [C]=cemento armato, [M]=muratura, [M/C]=struttura mista
- [3] Dimensione nella direzione perpendicolare all'asse della galleria
- [4] Copertura in calotta rispetto alla quota fondazione
- [5] 12.5 per fabbricati in c.a. o misti e 2.6 per fabbricati in muratura
- [6] Def. orizzontale max in Hogging calcolata tra i bordi dell'edificio
- [7] Def. orizzontale max in Sagging posta pari a 0 a vantaggio di sicurezza

DATI INPUT EDIFICIO

Codice Edificio	[ID]	GCRE08
Progressiva	[pk]	14+750
Ubicazione		Via Gottardo 10
Posizione rispetto ad asse galleria [1]		In asse galleria
Indice di vulnerabilità "lv"	Breve termine	36
	Lungo termine	29
Fattore di riduzione categorie di danno	"Fr"	1,25
Tipo struttura [2]		C**
Destinazione d'uso		Bar Associazione Sportiva
Presenza di fratture		No
Grado di conservazione		Ragionevole
Altezza rispetto al p.c	[m]	3,17
Profondità fondazioni al di sotto del p.c	[m]	0,00
Numero di piani fuori terra	[n°]	1
Numero di piani interrati [n°]	[n°]	0
Lunghezza edificio L ₂ [3]	[m]	9
Distanza bordo dall'asse x1	[m]	-1,00
Distanza bordo dall'asse x2	[m]	8,00
Quota sotterraneo	[m]	227,05
Quota asse galleria	[m]	210,88
Copertura rispetto a calotta galleria [4]	[m]	11,35
Rapporto moduli di deformazione [5]	E/G	12,5

Planimetria con edifici interferenti

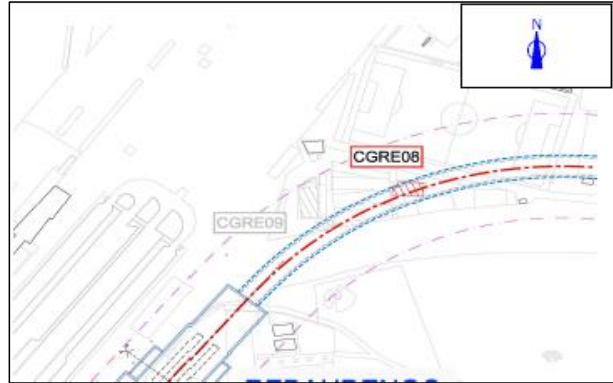


Foto edificio GCRE08



SPOSTAMENTI E DISTORSIONI ANGOLARI

Diametro di scavo galleria	[m]	9,64
Parametro di forma K	[-]	0,40
Volume perso Vp	[%]	1,00%
Perdita di volume	[m³/m]	72,99
Distanza flesso "i"	[m]	6,47
Picco curva subsidenza (in green field)	[mm]	45
Lunghezza max area di Hogging "B _{hmax} "	[m]	1,5
Lunghezza area di Sagging "Bs"	[m]	7,5
Cedimento massimo Edificio "Smax"	[mm]	45
Distorsione angolare massima (1/β)	[-]	237
Spostamento orizzontale max. "Umax"	[mm]	10,95
Def orizzontale max in Hogg ε _h [6]	[%]	0,036
Def orizzontale max in Sagg ε _s [7]	[%]	0,000

CATEGORIA DI DANNO

Deformaioni orizzontali (con ε_h ≠ 0)

Def. di trazione max hogg ε _{max,h}	[%]	0,0366
Def. di trazione max sagg ε _{max,s}	[%]	0,0557

Valutazione del danno: **molto lieve** **1**

Deformaioni orizzontali (con ε_h = 0)

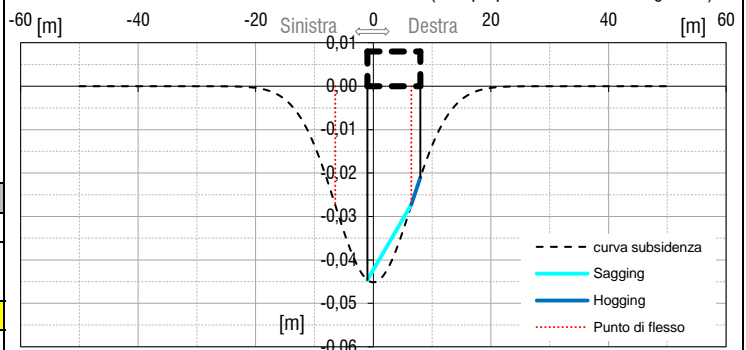
Def. di trazione max hogg (%):	0,0026
Def. di trazione max sagg (%):	0,0557

Valutazione del danno: **molto lieve** **1**

Legenda:

- [1] *: Posizione rispetto alla direzione di avanzamento della TBM
- [2] **: [C]=cemento armato, [M]=muratura, [M/C]=struttura mista
- [3] Dimensione nella direzione perpendicolare all'asse della galleria
- [4] Copertura in calotta rispetto alla quota fondazione
- [5] 12.5 per fabbricati in c.a. o misti e 2.6 per fabbricati in muratura
- [6] Def. orizzontale max in Hogging calcolata tra i bordi dell'edificio
- [7] Def. orizzontale max in Sagging posta pari a 0 a vantaggio di sicurezza

Grafico curva di subsidenza e deformazioni edificio (sez. perpendicolare ad asse galleria)



Determinazione classe di danno

Categorie di danno	Indice di vulnerabilità dell'edificio										ε _{lim} [%]
	Trascurabile		Basso		Lieve		Medio		Alto		
	0 < lv < 20		20 < lv < 40		40 < lv < 60		60 < lv < 80		80 < lv < 100		
Fattore di riduzione	Fr = 1.00		Fr = 1.25		Fr = 1.50		Fr = 1.75		Fr = 2.00		
Parametro di controllo	ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
0	0.000	0.050	0.000	0.040	0.000	0.033	0.000	0.029	0.000	0.025	
1	0.050	0.075	0.040	0.060	0.033	0.050	0.029	0.043	0.025	0.038	
2	0.075	0.150	0.060	0.120	0.050	0.100	0.043	0.086	0.038	0.075	
3	0.150	0.300	0.120	0.240	0.100	0.200	0.086	0.171	0.075	0.150	
Da 4 a 9	> 0.300		> 0.240		> 0.200		> 0.171		> 0.150		

DATI INPUT EDIFICIO

Codice Edificio	[ID]	GCRE09
Progressiva	[pk]	14+800
Ubicazione		Via Gottardo 10
Posizione rispetto ad asse galleria [1]		Destra*
Indice di vulnerabilità "lv"	Breve termine	54
	Lungo termine	42
Fattore di riduzione categorie di danno	"Fr"	1,5
Tipo struttura [2]		M**
Destinazione d'uso		Magazzino / Spogliatoi
Presenza di fratture		No
Grado di conservazione		Mediocre
Altezza rispetto al p.c	[m]	2,85
Profondità fondazioni al di sotto del p.c	[m]	0,00
Numero di piani fuori terra	[n°]	1
Numero di piani interrati [n°]	[n°]	0
Lunghezza edificio L ₂ [3]	[m]	15
Distanza bordo dall'asse x1	[m]	9,80
Distanza bordo dall'asse x2	[m]	24,80
Quota sotterraneo	[m]	227,05
Quota asse galleria	[m]	210,88
Copertura rispetto a calotta galleria [4]	[m]	11,35
Rapporto moduli di deformazione [5]	E/G	2,6

Planimetria con edifici interferenti

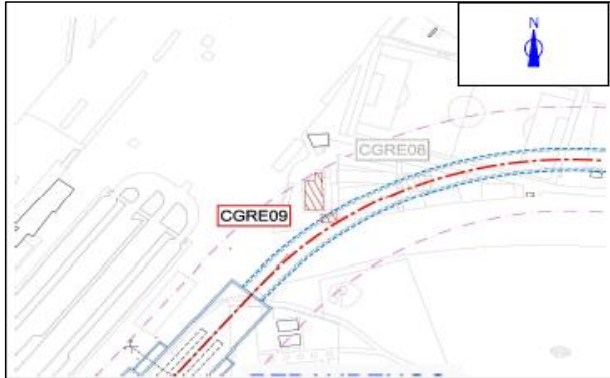


Foto edificio GCRE09



SPOSTAMENTI E DISTORSIONI ANGOLARI

Diametro di scavo galleria	[m]	9,64
Parametro di forma K	[-]	0,40
Volume perso Vp	[%]	1,00%
Perdita di volume	[m³/m]	72,99
Distanza flesso "i"	[m]	6,47
Picco curva subsidenza (in green field)	[mm]	45
Lunghezza max area di Hogging "B _{hmax} "	[m]	6,4
Lunghezza area di Sagging "Bs"	[m]	0,0
Cedimento massimo Edificio "Smax"	[mm]	14
Distorsione angolare massima (1/β)	[-]	317
Spostamento orizzontale max. "Umax"	[mm]	8,45
Def orizzontale max in Hogg ε _h [6]	[%]	0,105
Def orizzontale max in Sagg ε _s [7]	[%]	0,000

CATEGORIA DI DANNO

Deformaioni orizzontali (con ε_h ≠ 0)

Def. di trazione max hogg ε _{max,h}	[%]	0,1489
Def. di trazione max sagg ε _{max,s}	[%]	

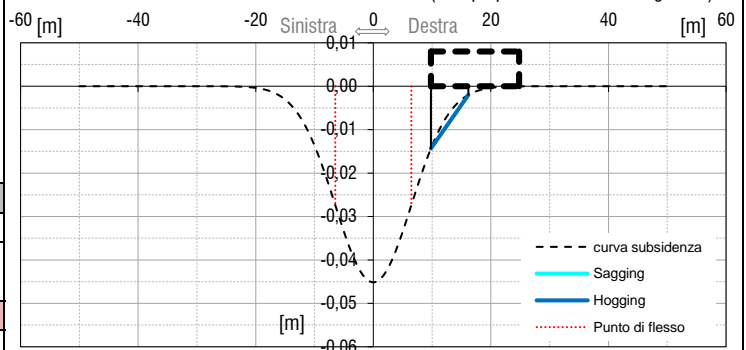
Valutazione del danno: **Moderato** **3**

Deformaioni orizzontali (con ε_h = 0)

Def. di trazione max hogg (%):	0,0439
Def. di trazione max sagg (%):	

Valutazione del danno: **molto lieve** **1**

Grafico curva di subsidenza e deformazioni edificio (sez. perpendicolare ad asse galleria)



Determinazione classe di danno

Categorie di danno	Indice di vulnerabilità dell'edificio										ε _{lim} [%]
	Trascurabile		Basso		Lieve		Medio		Alto		
	0 < lv < 20	20 < lv < 40	40 < lv < 60	60 < lv < 80	80 < lv < 100						
Fattore di riduzione	Fr = 1.00		Fr = 1.25		Fr = 1.50		Fr = 1.75		Fr = 2.00		
	Parametro di controllo										
0	ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		ε _{lim} [%]		← ε _{max} = 0,149
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
1	0.000	0.050	0.000	0.040	0.000	0.033	0.000	0.029	0.000	0.025	0.200
2	0.050	0.075	0.040	0.060	0.033	0.050	0.029	0.043	0.025	0.038	0.100
3	0.075	0.150	0.060	0.120	0.050	0.100	0.043	0.086	0.038	0.075	0.050
Da 4 a 9	0.150	0.300	0.120	0.240	0.100	0.200	0.086	0.171	0.075	0.150	0.033
	> 0.300		> 0.240		> 0.200		> 0.171		> 0.150		0.00

Legenda:

- [1] *: Posizione rispetto alla direzione di avanzamento della TBM
- [2] **: [C]=cemento armato, [M]=muratura, [M/C]=struttura mista
- [3] Dimensione nella direzione perpendicolare all'asse della galleria
- [4] Copertura in calotta rispetto alla quota fondazione
- [5] 12.5 per fabbricati in c.a. o misti e 2.6 per fabbricati in muratura
- [6] Def. orizzontale max in Hogging calcolata tra i bordi dell'edificio
- [7] Def. orizzontale max in Sagging posta pari a 0 a vantaggio di sicurezza