

**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		 INFRATRASPORTI S.r.l.												
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA													
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S	Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K	SUBSIDENZE, PRESIDIO E MONITORAGGI BACINO SUBSIDENZA E IMPATTO SULLE PRE-ESISTENZE – GALLERIE ARTIFICIALI RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI EFFETTI INDOTTI DAGLI SCAVI												
		ELABORATO									REV.		SCALA	DATA
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A1	D	PRC	GA0	R	001	0	0	-	25/11/2022

AGGIORNAMENTI Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	25/11/22	TUN	PDM	FRI	CROVA
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 1</td> <td>CARTELLA</td> <td>10</td> <td>38</td> <td>MTL2T1A1D</td> <td>PRCGA0R001</td> </tr> </table>						LOTTO 1	CARTELLA	10	38	MTL2T1A1D	PRCGA0R001	STAZIONE APPALTANTE DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro					
LOTTO 1	CARTELLA	10	38	MTL2T1A1D	PRCGA0R001												

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo - Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
BACINO SUBSIDENZA ED IMPATTO SULLE PRE-ESISTENZE – GALLERIE ARTIFICIALI – Relazione di calcolo sugli effetti indotti dagli scavi	38_MTL2T1A1DPRCGA0R001-0-0

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	CARATTERISTICHE GENERALI DELLE GALLERIE ARTIFICIALI	6
3.	DEFORMAZIONI E CEDIMENTI INDOTTI DAGLI SCAVI	10
3.1	METODOLOGIA DI CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI	10
3.2	EFFETTI INDOTTI SUGLI EDIFICI	11
3.2.1	CLASSIFICAZIONE DI DANNO E CONCETTO DI RISCHIO	13
3.2.2	INDICE DI VULNERABILITÀ	14
3.3	EFFETTI INDOTTI IN SUPERFICIE	17
4.	INDICAZIONI SUL SISTEMA DI MONITORAGGIO DURANTE LE FASI COSTRUTTIVE	19
4.1	MONITORAGGIO EDIFICI	20

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Key-plan linea 2 della Metropolitana di Torino	4
Figura 2.	Esempio di sezione trasversale della galleria artificiale GA01-GA02-GA03	7
Figura 3.	Esempio di sezione trasversale della galleria artificiale GA04	7
Figura 4.	Esempio di sezione trasversale della galleria artificiale GA05	8
Figura 5.	Esempio di sezione trasversale della galleria artificiale GA06	9
Figura 6.	Principali parametri per la valutazione del danneggiamento degli edifici	12
Figura 7.	Cedimento totale GA01-GA02-GA03	17
Figura 8.	Cedimento totale GA04	17
Figura 9.	Cedimento totale GA05	18
Figura 10.	Cedimento totale GA06	18
Figura 11.	Diagramma di flusso relativo alla metodologia di progettazione flessibile	19

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo - Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
BACINO SUBSIDENZA ED IMPATTO SULLE PRE- ESISTENZE – GALLERIE ARTIFICIALI – Relazione di calcolo sugli effetti indotti dagli scavi	38_MTL2T1A1DPRCGA0R001-0-0

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Classificazione del danno secondo Burland (1977)	13
Tabella 2. Classificazione del danno secondo Rankine (1988)	14
Tabella 3. Indice di Vulnerabilità	15
Tabella 4. Correzione degli intervalli di valori del parametro di controllo della Classificazione di rischio attraverso la Vulnerabilità Iv caratteristica dell'edificio	16



1. PREMESSA

La presente relazione si inserisce nell'ambito della progettazione definitiva della Metropolitana Automatica di Torino – Linea 2, con lo scopo di valutare le subsidenze dovute alla realizzazione delle gallerie artificiali GA01, GA02, GA03, GA04, GA05 e GA06 e dei rispettivi pozzi di intertratta, al fine di definire un adeguato sistema di monitoraggio per gli edifici e i manufatti esistenti lungo la tratta.

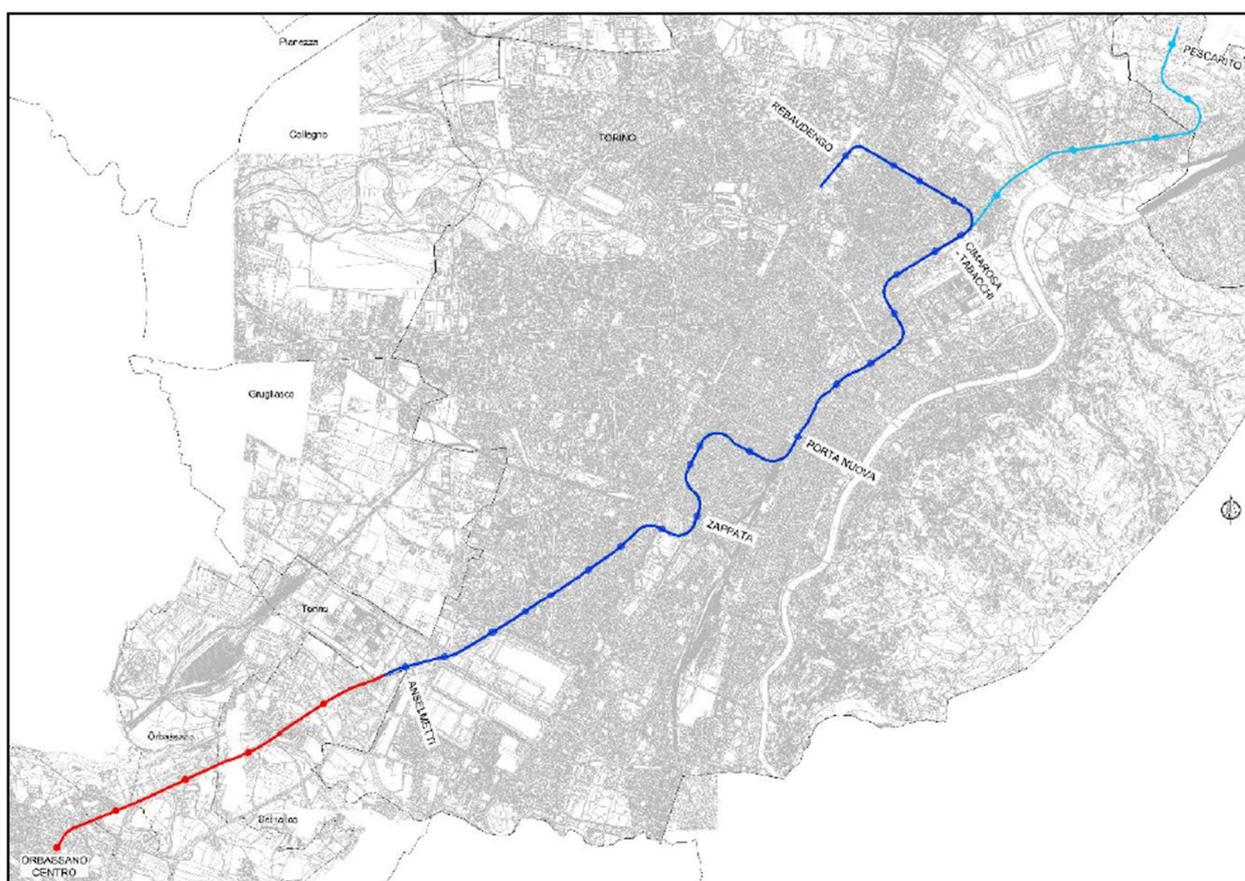


Figura 1.Key-plan linea 2 della Metropolitana di Torino

Il 1° lotto costruttivo 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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo - Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
BACINO SUBSIDENZA ED IMPATTO SULLE PRE-ESISTENZE – GALLERIE ARTIFICIALI – Relazione di calcolo sugli effetti indotti dagli scavi	38_MTL2T1A1DPRCGA0R001-0-0

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 costruttivo è costituito dalle seguenti opere:

- 6 stazioni sotterranee
- 6 pozzi intertratta aventi funzione di ventilazione ed accesso dei soccorsi
- La galleria di linea costituita da:
 - 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;
 - Un tratto in galleria artificiale in Cut&Cover ad uno o due livelli, per una lunghezza complessiva di circa 3,0km che collega le stazioni Rebaudengo, Giulio Cesare, San Giovanni Bosco, Corelli, Cimarosa/Tabacchi, Bologna fino al manufatto in retrostazione Bologna che include anche il pozzo Novara;
- il manufatto in retrostazione Rebaudengo, avente la funzione di deposito-officina, per la manutenzione ordinaria programmata sui treni, oltre che il parcheggio di 7 treni in stalli predisposti e complessivamente di 10 treni a fine servizio;
- la predisposizione per la realizzazione del manufatto di bivio nella diramazione nord verso San Mauro Torinese.

Nella presente relazione saranno trattati i seguenti argomenti:

- caratteristiche generali delle sezioni oggetto di studio;
- metodologia di calcolo dei cedimenti indotti dagli scavi e dei relativi effetti sulle preesistenze;
- cedimenti delle opere oggetto di studio;
- indicazioni sul sistema di monitoraggio durante le fasi costruttive.



Figura 2. Esempio di sezione trasversale della galleria artificiale GA01-GA02-GA03

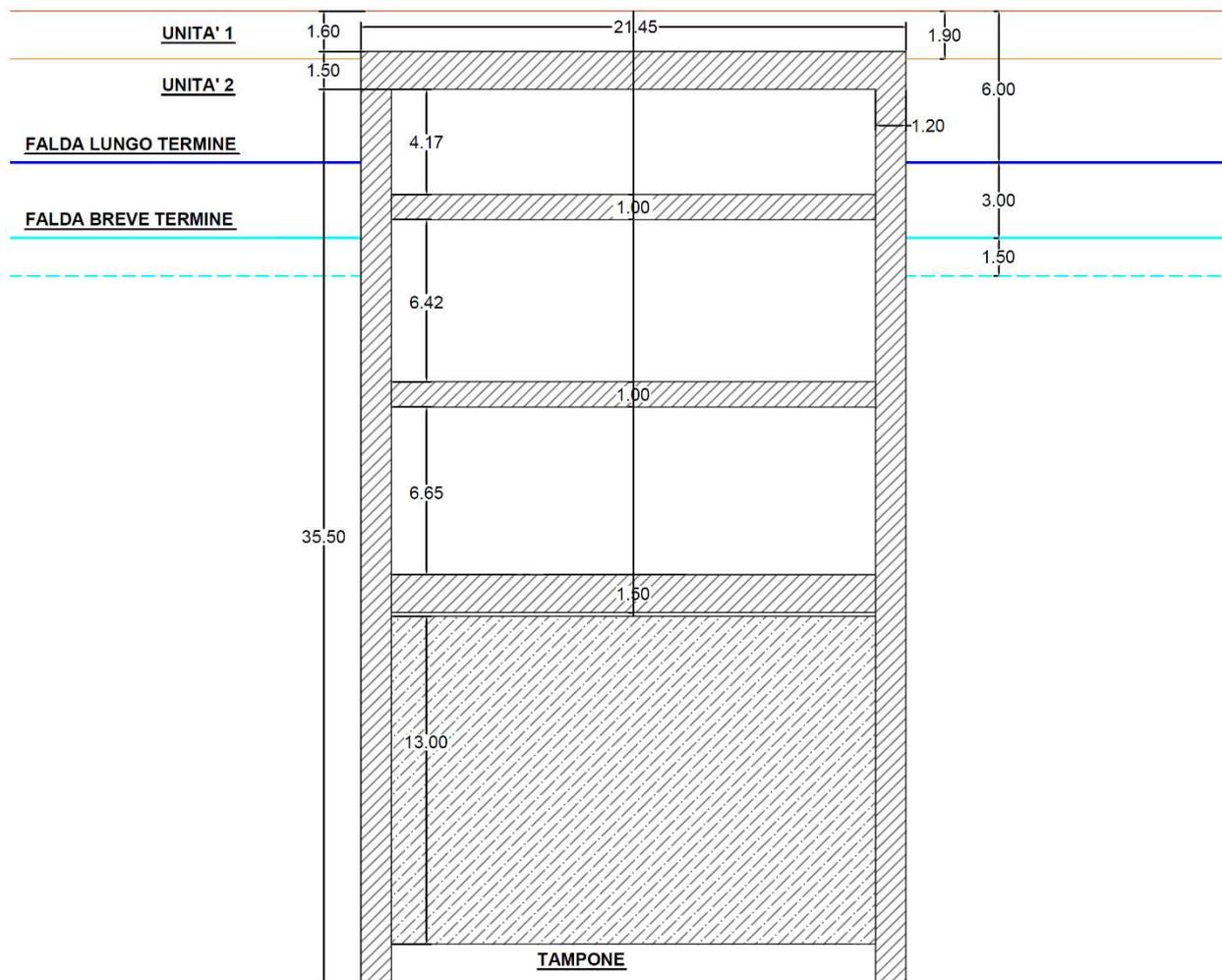


Figura 3. Esempio di sezione trasversale della galleria artificiale GA04

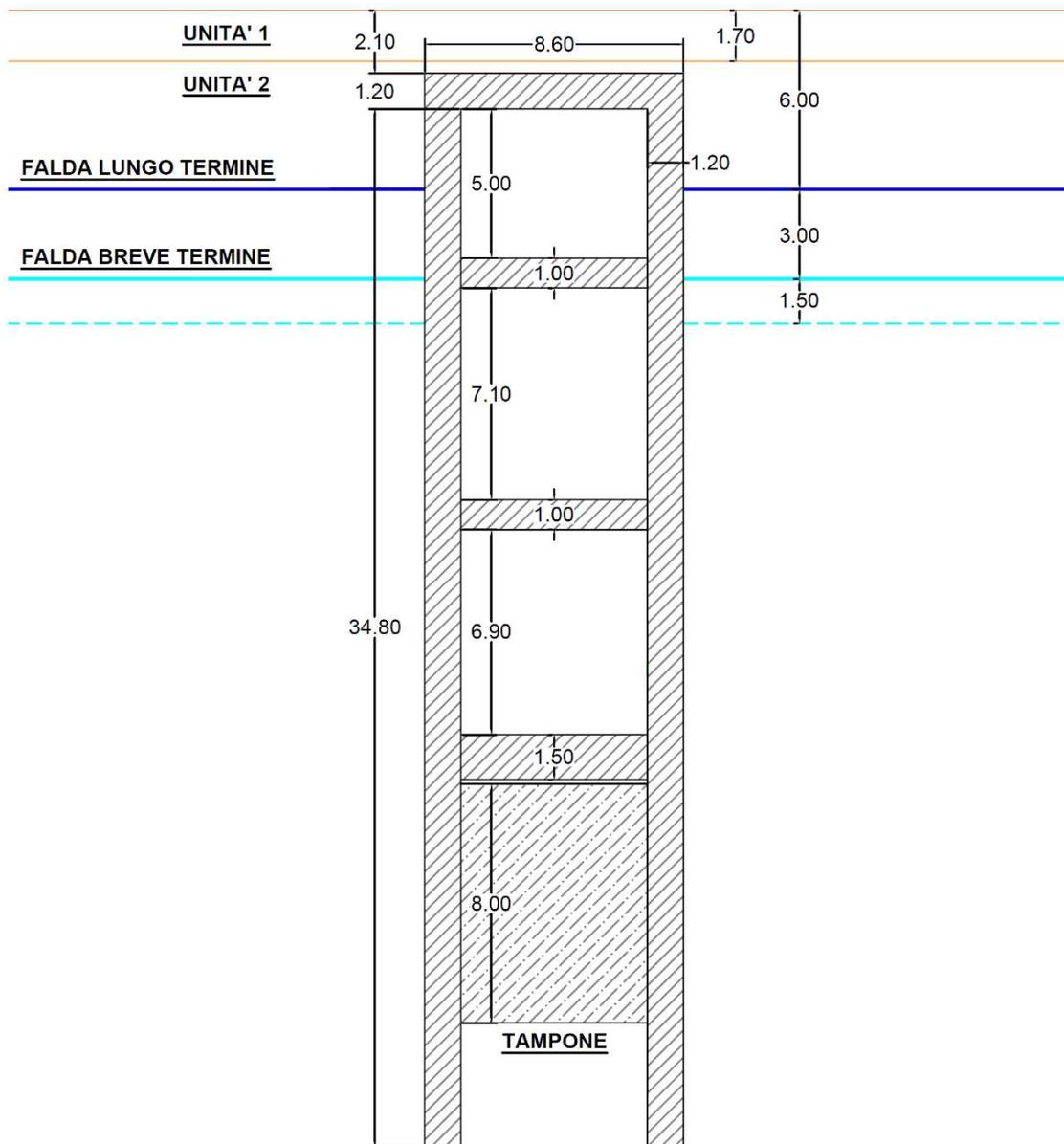


Figura 4. Esempio di sezione trasversale della galleria artificiale GA05

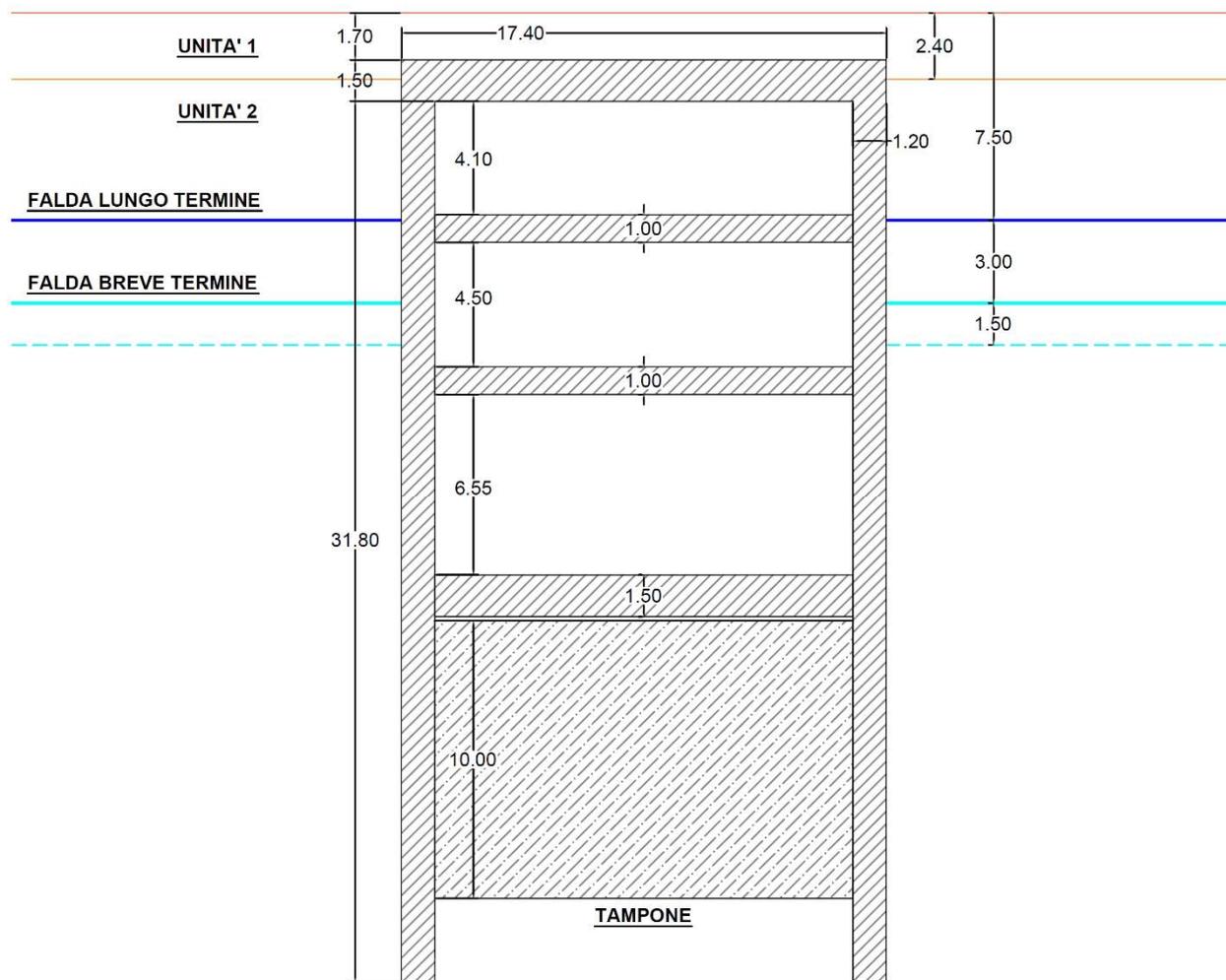


Figura 5. Esempio di sezione trasversale della galleria artificiale GA06

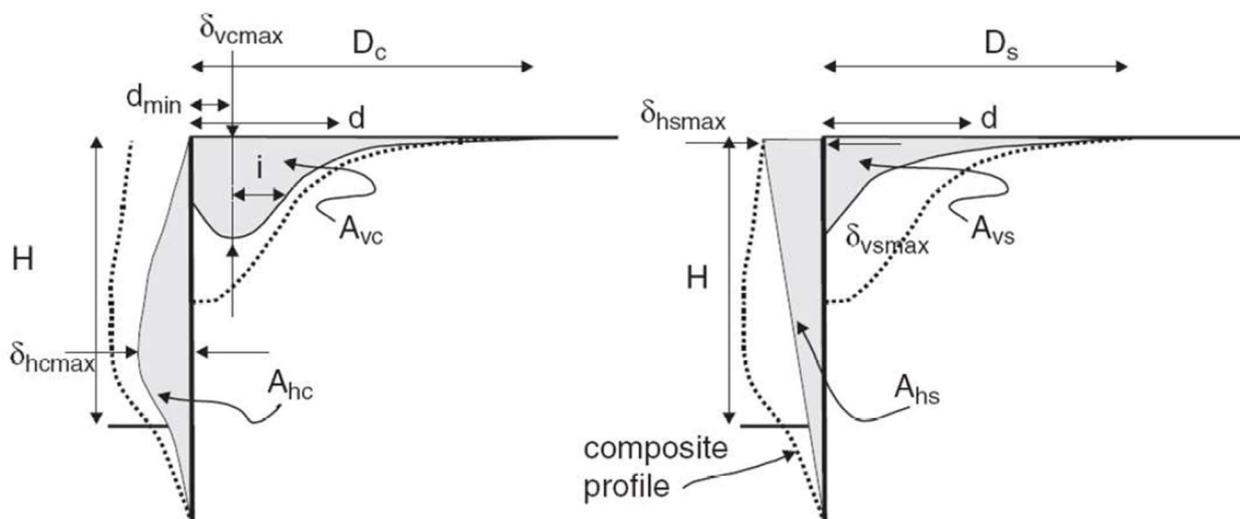


3. DEFORMAZIONI E CEDIMENTI INDOTTI DAGLI SCAVI

3.1 Metodologia di calcolo delle deformazioni

Per le gallerie artificiali in oggetto le deformazioni indotte dallo scavo sono state ottenute mediante il software di calcolo Paratie Plus 2019 di CeAS. Paratie Plus è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

In particolare, per la stima dei cedimenti si è impiegato il Metodo di Boone & Westland (2006). Boone & Westland propongono un metodo per stimare gli spostamenti sia laterali sia verticali indotti da uno scavo profondo, e lo traducono in un insieme di equazioni in forma chiusa. Il metodo può essere riassunto nei seguenti passi:



1. Sulla base della geometria dell'opera e delle caratteristiche del terreno, si calcolano il massimo spostamento laterale della parete $\delta_{h,max}$ e della superficie $\delta_{hs,max}$;
2. La deformata della parete viene suddivisa in due contributi principali, ossia uno spostamento rigido e una deformazione convessa legata alla deformabilità della parete. Per ciascun contributo viene calcolata l'area sottesa al diagramma delle deformazioni (A_{hs} e A_{hc}) attraverso opportune equazioni;
3. I cedimenti verticali, a loro volta suddivisi in due contributi apportati dalle due componenti della deformata, vengono stimati a partire dal calcolo dell'area sottesa a ciascuno di essi

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo - Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
BACINO SUBSIDENZA ED IMPATTO SULLE PRE-ESISTENZE – GALLERIE ARTIFICIALI – Relazione di calcolo sugli effetti indotti dagli scavi	38_MTL2T1A1DPRCGA0R001-0-0

(A_{vs} per la componente rigida e A_{vc} per quella convessa), come un'opportuna percentuale di A_{hs} o A_{hc} ;

4. Noti A_{vs} e A_{vc} , i massimi cedimenti $\delta_{vs,max}$ e $\delta_{vc,max}$ sono calcolati sulla base di andamenti noti lungo la superficie;
5. Infine, il cedimento totale, nel generico punto in superficie ad una distanza "d" dalla parete, è calcolato sommando i due contributi: $\delta_v(d) = \delta_{vs}(d) + \delta_{vc}(d)$.

3.2 Effetti indotti sugli edifici

Per quanto riguarda lo scavo delle gallerie realizzate fra diaframmi in calcestruzzo e ciò che riguarda i pre-scavi realizzati mediante paratie di micropali, l'andamento dei cedimenti del terreno a tergo dell'elemento di confinamento dello scavo dipende essenzialmente dalla rigidità dell'elemento strutturale stesso. Le deformazioni attese si ripercuotono sul terreno, corrispondendo ad una diminuzione del volume di terreno a tergo della paratia o del diaframma legato a quello teoricamente richiamato nell'area di scavo. Definite tutte le caratteristiche di forma e ampiezza del bacino di subsidenza, è necessario analizzare il fenomeno di interferenza tra i movimenti subiti dal terreno e le strutture in superficie.

Nella metodologia di analisi agli stati limite di esercizio, al fine di stabilire il potenziale danneggiamento cui è sottoposto un manufatto, le norme propongono dei valori ammissibili dei più comuni parametri d'identificazione dello stato deformativo di un edificio soggetto a cedimenti differenziali in fondazione. Parimenti è disponibile un'ampia documentazione bibliografica sull'argomento che permette di determinare, sulla base di osservazioni sperimentali ed esperienze condotte sul campo, delle categorie di danno delimitate da valori caratteristici dei parametri identificativi dello stato deformativo indotto. Per definire in maniera più precisa il comportamento degli edifici nei confronti della subsidenza e, quindi, per individuare i parametri che maggiormente inducono il danneggiamento delle strutture, è necessario effettuare una prima distinzione sulla base della tipologia delle fondazioni:

- **fondazioni continue:** in questa categoria ricadono tutti gli edifici fondati su platea, su plinti in pietra, su palificate in legno e, in qualche caso, su palificate in calcestruzzo armato;
- **fondazioni isolate:** in questa categoria ricadono tutti gli edifici fondati su plinti in calcestruzzo armato, e, in qualche caso, su palificate in calcestruzzo armato.

È quindi necessario dapprima individuare i parametri identificativi dello stato deformativo indotto in funzione della tipologia strutturale e delle fondazioni, e associare a questi delle "categorie di rischio" delimitate da valori caratteristici. In sintesi, questi parametri identificativi possono essere identificati secondo i seguenti punti:



- per strutture caratterizzate da fondazioni continue, il parametro di valutazione del danno è dato dalla **deformazione massima di trazione** subita dall'edificio (ε_{max}), che è funzione dell'inflessione relativa massima (Δ_{max}) subita dall'edificio. La deformazione massima di trazione deve essere confrontata con la deformazione limite (ε_{lim}) di trazione fornita dalle classificazioni.
- per strutture su fondazioni isolate il danneggiamento è causato principalmente dal cedimento differenziale fra i plinti. I parametri più importanti, in questo caso, sono la **distorsione angolare massima** β_{max} e il cedimento massimo S_{max} subito dall'edificio.

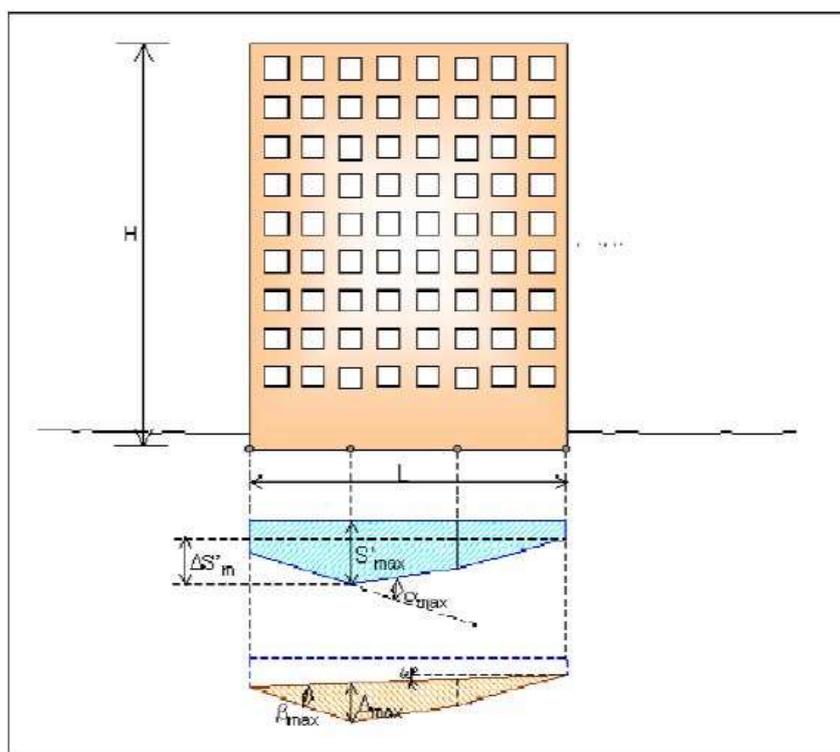


Figura 6. Principali parametri per la valutazione del danneggiamento degli edifici

Per ciò che riguarda l'entità del danneggiamento, i danni indotti possono essere classificati secondo le seguenti categorie:

- *danni estetici*: riguardano lievi fessurazioni o dislocamenti in tamponamenti, pareti divisorie, pavimentazioni, e finiture in genere. Questi effetti possono essere tollerati in quanto eventualmente facilmente riparabili, soprattutto per fabbricati ordinari;
- *danni funzionali*: riguardano la perdita di funzionalità di alcune parti della struttura o di strumentazioni in essa alloggiate, senza che sia messa in pericolo l'integrità o la sicurezza

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo - Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
BACINO SUBSIDENZA ED IMPATTO SULLE PRE-ESISTENZE – GALLERIE ARTIFICIALI – Relazione di calcolo sugli effetti indotti dagli scavi	38_MTL2T1A1DPRCGA0R001-0-0

della struttura stessa. L'interruzione di funzionalità può, però, avere gravi conseguenze commerciali sulla vita dell'immobile;

- *danni strutturali*: riguardano la fessurazione (strutture in c.a.) o l'eccessiva deformazione (strutture in muratura portante) di elementi strutturali. L'entità delle deformazioni subite dall'edificio o parte di esso può portare al collasso di singoli elementi strutturali, alla connessione di questi e, al limite, al collasso dell'intero edificio.

3.2.1 Classificazione di danno e concetto di rischio

Per le strutture aventi tipologia di *fondazione* definita come *continua*, i valori di riferimento per il parametro di valutazione del possibile danneggiamento (la deformazione limite di trazione) sono forniti dalla classificazione di Burland (classificazione di rischio 1, 1977), che individua diverse categorie di rischio, in funzione dello stato fessurativo della struttura. La seguente tabella associa ad ogni categoria di rischio una descrizione visiva del potenziale danno alla struttura.

Tabella 1. Classificazione del danno secondo Burland (1977)

CATEGORIA DI RISCHIO	TIPO DI DANNO	DESCRIZIONE DEL DANNO
0 (estetico)	Irrilevante, non visibile	Crepe a "corda di crine".
1 (estetico)	Molto lieve	Crepe leggere. Eventuali fessurazioni isolate all'interno degli edifici. Crepe nei tavolati in laterizio osservabili con attente ispezioni.
2 (estetico)	Lieve	Molte fessurazioni all'interno dell'edificio: crepe visibili, possibili infiltrazioni dovute all'umidità. Le porte e le finestre possono svergolarsi.
3 (estetico/funzionale)	Medio	Danni a porte e finestre. Danni da infiltrazioni di umidità. Possibili danneggiamenti alle tubature.
4 (funzionale)	Elevato	Onde e rigonfiamenti sulle pavimentazioni e sui muri. Perdita della capacità portante delle travature.
5 (strutturale)	Molto elevato	Notevole perdita della capacità portante delle travature. Pericolo d'instabilità strutturali.

Per gli edifici caratterizzati da *fondazioni isolate*, è la classificazione di Rankine (classificazione di rischio 2, 1988) che stabilisce i limiti base in funzione dei parametri di riferimento cedimento e deformazione angolare e quindi permette l'individuazione delle diverse categorie di rischio. In tabella è presentata la descrizione del danno per tale classificazione.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo - Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
BACINO SUBSIDENZA ED IMPATTO SULLE PRE-ESISTENZE – GALLERIE ARTIFICIALI – Relazione di calcolo sugli effetti indotti dagli scavi	38_MTL2T1A1DPRCGA0R001-0-0

Tabella 2. Classificazione del danno secondo Rankine (1988)

CATEGORIA DI RISCHIO	TIPO DI DANNO	DESCRIZIONE DEL DANNO
1 (estetico)	Irrilevante, non visibile	Improbabile danno superficiale.
2 (estetico)	Lieve	Possibile danno superficiale senza conseguenze strutturali
3 (funzionale)	Medio	Probabile danno superficiale e possibile danno strutturale ed alle tubature
4 (strutturale)	Elevato	Probabile danno strutturale ed alle tubature

Le classificazioni utilizzate per la valutazione del rischio di danneggiamento potenziale (sia quella di Burland che quella di Rankine), si riferiscono agli effetti provocati dalla subsidenza su edifici in buone condizioni. Le modifiche ai valori di riferimento in funzione delle condizioni degli edifici sono apportate sulla base del parametro Indice di Vulnerabilità dell'edificio. Nel seguito sono riportate le classificazioni di rischio con i relativi valori dei parametri limiti di riferimento per le varie categorie, integrate in funzione della vulnerabilità caratteristica degli edifici.

3.2.2 Indice di vulnerabilità

La realizzazione di strutture sotterranee può causare nell'edificio modi di deformazione differenti da quelli che esso più comunemente sperimenta e che sono relazionabili ai cedimenti del terreno di fondazione indotti dal peso proprio della struttura e dall'imposizione dei carichi strutturali. Pertanto, le nuove deformazioni potenzialmente indotte dalla realizzazione degli scavi vanno a sommarsi alle deformazioni preesistenti, tanto che una piccola deformazione addizionale può provocare effetti critici non proporzionali alla sua entità se le deformazioni preesistenti hanno già raggiunto un livello molto prossimo alla soglia critica.

Risulta quindi indispensabile disporre di una quantificazione, sebbene approssimata ed empirica, delle condizioni preesistenti dell'immobile. A tale scopo si definisce vulnerabilità una caratteristica intrinseca dell'edificio (dipendente dalla sua storia ma indipendente dai fattori esterni che possono indurre cedimenti differenziali a quota delle sue fondazioni), che esprime di quanto l'edificio si allontana dalle condizioni di perfetta conservazione e, quindi, quanto è vulnerabile. Maggiore risulta la vulnerabilità dell'edificio, minore è la sua capacità di tollerare ulteriori deformazioni indotte da eventi esterni.

La vulnerabilità viene espressa attraverso un indice, che prende appunto il nome di indice di vulnerabilità Iv.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo - Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
BACINO SUBSIDENZA ED IMPATTO SULLE PRE-ESISTENZE – GALLERIE ARTIFICIALI – Relazione di calcolo sugli effetti indotti dagli scavi	38_MTL2T1A1DPRCGA0R001-0-0

Tabella 3.Indice di Vulnerabilità

INDICE DI VULNERABILITÀ	CLASSE DELL'EDIFICIO
0-20	Irrilevante
20-40	Basso
40-60	Medio
60-80	Alto
80-100	Elevato

L'indice di vulnerabilità viene utilizzato per stabilire un fattore riduttivo dei valori limite dei parametri di controllo che compaiono nelle classificazioni di rischio, le quali sono generalmente riferite a fabbricati in buono stato di conservazione, proprio per tenere in conto la particolarità della storia di ogni edificio che, nel corso del tempo, ne può ridurre la capacità di risposta. In funzione della classe di appartenenza di Iv, si stabilisce un coefficiente riduttivo (FR) dei valori limite dei parametri di controllo (ϵ_{lim} , Δ_{max} , β_{max} , S_{max}) variabile da 1.0 a 2.0.

Al fine della definizione del livello soglia si esclude a tutti gli effetti che tale danno possa essere 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 'lieve' (categoria 2).



Tabella 4. Correzione degli intervalli di valori del parametro di controllo della Classificazione di rischio attraverso la Vulnerabilità Iv caratteristica dell'edificio

		IRRILEVANTE	BASSO	MEDIO	ALTO	ELEVATO
		0<lv<2	2<lv<4	4<lv<6	6<lv<8	8<lv<10
		Fr=1.0	Fr=1.25	Fr=1.5	Fr=1.75	Fr=2.0
		Parametri di controllo				
Categorie di Rischio	1	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]
		β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]
		<10	<8	<6.7	<5.7	<5
		<1/500	<1/625	<1/750	1/875	<1/1000
		c_{lim} [%]	c_{lim} [%]	c_{lim} [%]	c_{lim} [%]	c_{lim} [%]
		min	min	min	min	min
		max	max	max	max	max
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,050	0,040	0,033	0,029	0,025
		0,075	0,060	0,050	0,043	0,038
	2	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]
		β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]
		10-50	8-40	6.7-33.3	5.7-28.6	5-25
		1/200	1/250	1/300	1/350	1/400
		ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]
		min	min	min	min	min
	max	max	max	max	max	
	0,075	0,060	0,050	0,043	0,038	
	0,150	0,120	0,100	0,086	0,075	
3	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	
	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	
	50-75	40-60	33.3-50	28.6-42.9	25-37.5	
	1/50	1/62.5	1/75	1/87.5	1/100	
	ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]	
	min	min	min	min	min	
	max	max	max	max	max	
	0,150	0,120	0,100	0,086	0,075	
	0,300	0,240	0,200	0,171	0,150	
4	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	S_{max} [mm]	
	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	β_{lim} [%]	
	>75	>60	>50	>42.9	>37.5	
	>1/50	>1/62.5	>1/75	>1/87.5	>1/100	
	ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]	ϵ_{lim} [%]	
	min	min	min	min	min	
	>0.300	>0.240	>0.200	>0.171	>0.150	



3.3 Effetti indotti in superficie

Si riportano nelle seguenti figure gli spostamenti gli spostamenti verticali ottenuti per ogni singola sezione di calcolo analizzata. Questi ultimi sono ottenuti come sovrapposizione degli effetti dovuti in prima fase dallo scavo sostenuto dalla berlinese di micropali per raggiungere la quota di imposta dei diaframmi e in seconda fase dalla realizzazione della galleria artificiale.

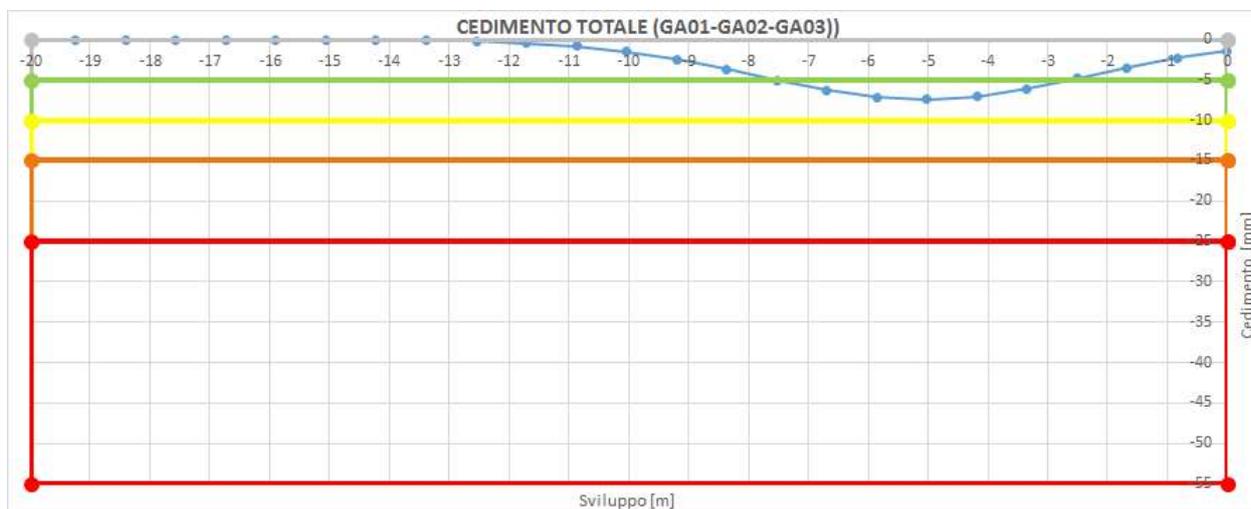


Figura 7.Cedimento totale GA01-GA02-GA03

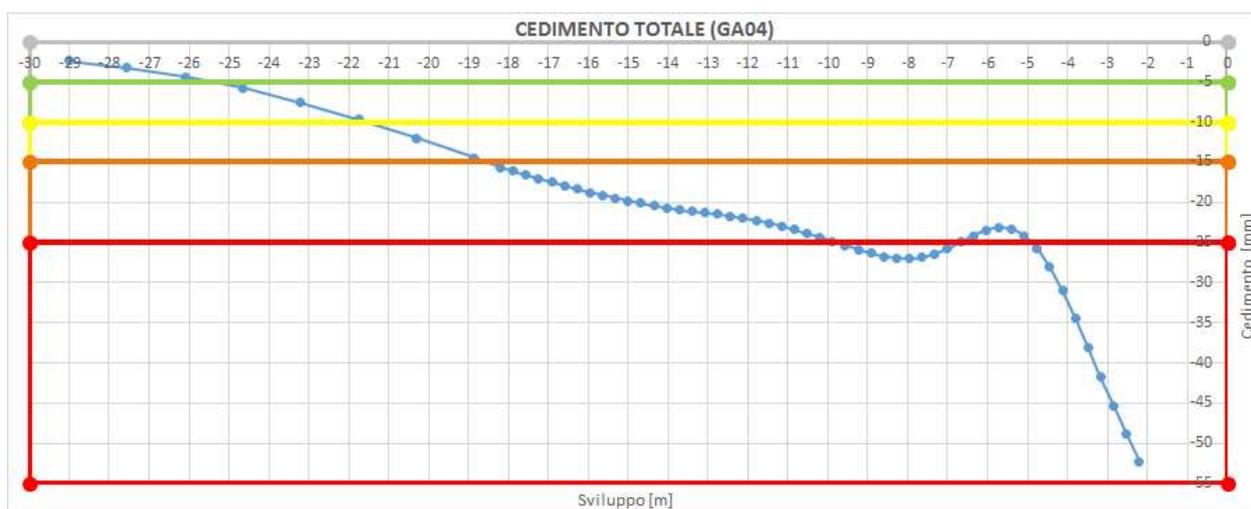


Figura 8.Cedimento totale GA04

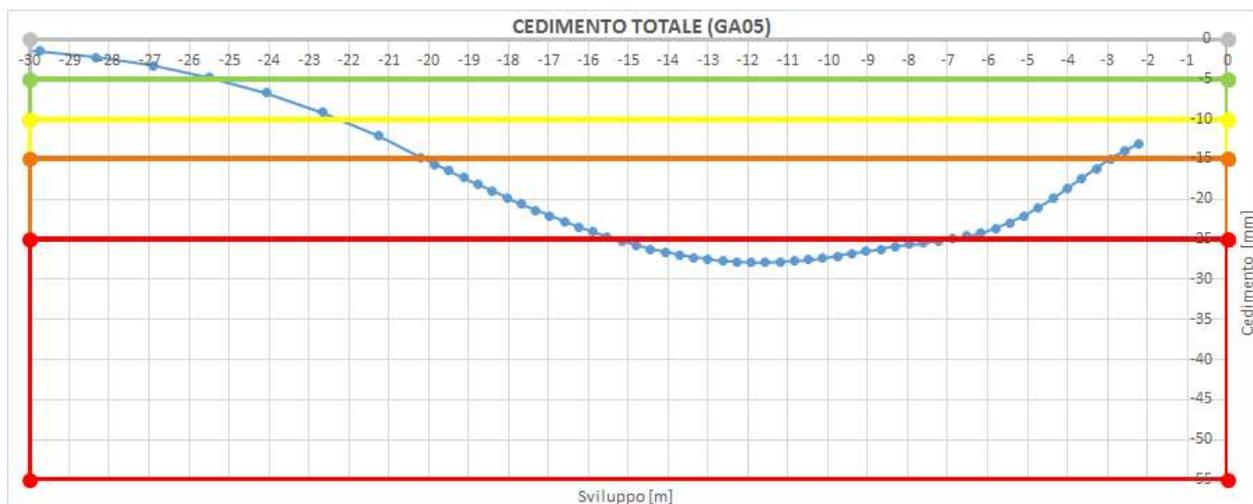


Figura 9.Cedimento totale GA05

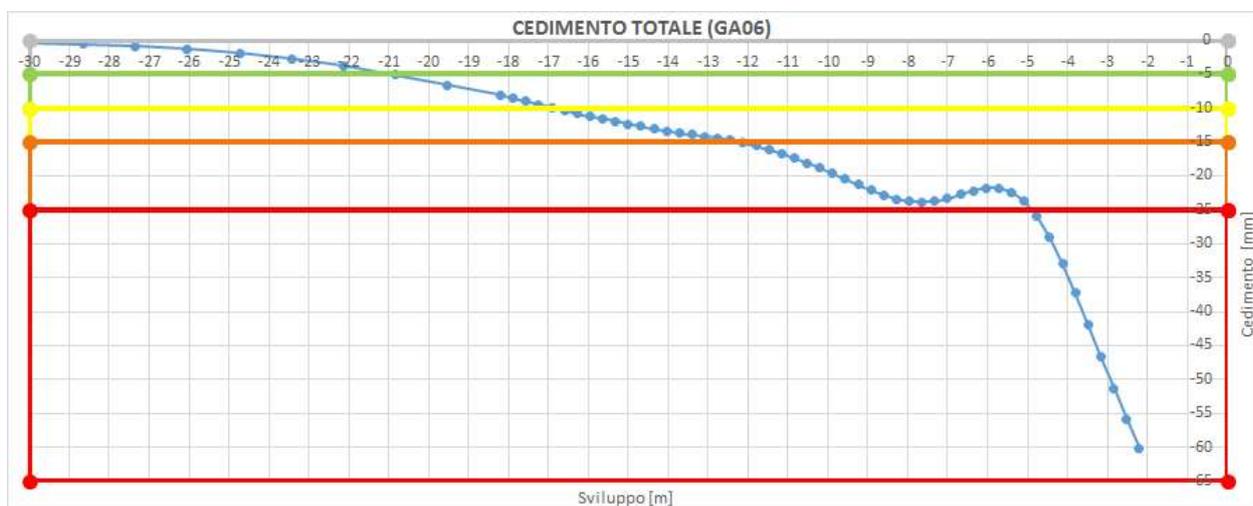


Figura 10.Cedimento totale GA06

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo - Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
BACINO SUBSIDENZA ED IMPATTO SULLE PRE-ESISTENZE – GALLERIE ARTIFICIALI – Relazione di calcolo sugli effetti indotti dagli scavi	38_MTL2T1A1DPRCGA0R001-0-0

4. INDICAZIONI SUL SISTEMA DI MONITORAGGIO DURANTE LE FASI COSTRUTTIVE

Durante le fasi costruttive di un'opera, le operazioni di monitoraggio consentono la validazione dei parametri utilizzati per la definizione dei metodi di stabilizzazione dello scavo e permettono di confermare le scelte effettuate oppure di apportare le necessarie modifiche in corso d'opera, in modo da poter gestire in anticipo gli eventuali imprevisti legati allo scavo.

A tal fine, è necessario predefinire valori soglia dei parametri chiave, la cui comparazione con i risultati del monitoraggio dovrà permettere l'applicazione di opportune contromisure, garantendo la sicurezza dello scavo, delle persone e delle strutture circostanti.

La metodologia adottata segue il principio di progettazione "osservazionale", correntemente applicato nel campo dell'ingegneria geotecnica e per le opere in sotterraneo.

Tale metodo prevede il controllo sistematico dei lavori attraverso un piano di monitoraggio dei parametri che influenzano il comportamento dell'opera e del terreno circostante, al fine di confrontare le ipotesi di progetto e, dove necessario, adattarle alla situazione locale per garantire le condizioni di sicurezza previste, il rispetto dei tempi di esecuzione e la gestione delle aleatorietà.

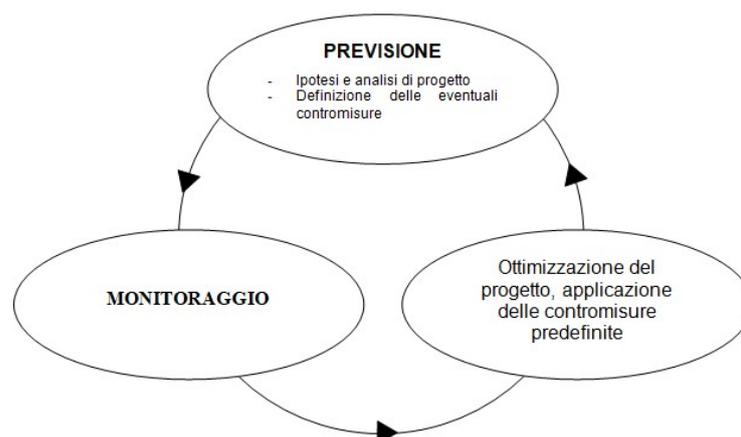


Figura 11. Diagramma di flusso relativo alla metodologia di progettazione flessibile

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo - Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
BACINO SUBSIDENZA ED IMPATTO SULLE PRE-ESISTENZE – GALLERIE ARTIFICIALI – Relazione di calcolo sugli effetti indotti dagli scavi	38_MTL2T1A1DPRCGA0R001-0-0

Il progetto specifico del sistema di monitoraggio comprende i seguenti elementi:

- definizione dei parametri chiave del monitoraggio;
- definizione delle sezioni tipo di monitoraggio e della tipologia di strumentazione da mettere in opera, sia per le strutture che per i manufatti preesistenti;
- localizzazione delle sezioni tipo e dei manufatti cui applicare le strumentazioni;
- definizione della frequenza delle letture;
- definizione dei valori (limiti) di attenzione e allarme per le grandezze monitorate;
- definizione delle contromisure da attuare in caso di superamento dei valori di allarme definiti.

4.1 Monitoraggio edifici

Obiettivo del monitoraggio sugli edifici e i manufatti esistenti è il controllo e la salvaguardia delle stesse durante l'esecuzione dei lavori.

Il piano di monitoraggio prevede il controllo del comportamento deformativo dei fabbricati. In accoppiamento con le sezioni di livellazione superficiale previste per le stazioni, la strumentazione in opera dovrà permettere la definizione del quadro deformativo generale nell'intorno degli scavi, ed in particolare la zona di influenza degli scavi e la tipologia del profilo di subsidenza indotto.

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 molto "pesante", 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.

Per ogni tipo di misurazione andranno fissati dei valori limite in funzione dei risultati previsti (in termini di spostamento, deformazione, tensioni, ecc.) dai calcoli di progetto.

Questi limiti sono definiti, per ogni grandezza monitorata, come:

- **limite di attenzione:** una quota parte delle risultanze dei calcoli in progetto. Il superamento di questo limite implica l'incremento della frequenza delle misure, allo scopo di stabilire e monitorare la velocità con la quale il fenomeno si evolve, in modo da valutare

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo - Lotto Costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
BACINO SUBSIDENZA ED IMPATTO SULLE PRE- ESISTENZE – GALLERIE ARTIFICIALI – Relazione di calcolo sugli effetti indotti dagli scavi	38_MTL2T1A1DPRCGA0R001-0-0

la tendenza ad instaurarsi di fenomeni ad evoluzione rapida che potrebbero, in particolari situazioni, divenire potenzialmente incontrollabili;

- **limite di allarme:** funzione del livello deformativo, tensionale, ecc. più gravoso per una determinata situazione di scavo. Il suo superamento implica la valutazione dell'attuazione di opportune contromisure.

Le contromisure da adottare in caso di superamento dei limiti di allarme hanno lo scopo di riportare la situazione reale entro i limiti previsti in progetto, ovvero rinforzare le strutture perché possano risultare comunque stabili.