



COMUNE DI GENOVA



Servizio di Progettazione di Fattibilità Tecnica ed Economica e definitiva (per appalto integrato) nonché del coordinamento della sicurezza in fase di progettazione delle “Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del rio Maltempo, affluente del torrente Polcevera” PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Roberto Valcalda

PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTE:

Dott.ssa Claudia Pizzinato

RESPONSABILE DELLE INTEGRAZIONI DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: Ing. Simone Venturini

TITOLO:
MONITORAGGIO
RELAZIONE SUL MONITORAGGIO

CODICE ESTESO ELABORATO:

II151F-PD-MON-R001_0

SCALA:

-

DATA:

09/2022

NOME FILE:

II151F-PD-MON-R001_0.docx

ELABORAZIONE
PROGETTUALE:

Ing. SIMONE VENTURINI
Ordine degli ingegneri
Della Provincia di Verona
N. A2515

REVISIONI

REV.	DATA	MOTIVO	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	09.2022	Emissione	A.RIZZO	G.MASSERA	S.VENTURINI



INDICE

	Pag.
1. PREMESSA	3
2. OGGETTO E SCOPO	7
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	9
5. MONITORAGGIO VIBRAZIONI E SPOSTAMENTI	11
5.1 Vibrazioni	11
5.1.1 Livelli ammissibili	11
5.1.2 Vibrazioni attese. Scavo con martello demolitore	12
5.2 Monitoraggio vibrometrico e fonometrico.....	13
5.3 Monitoraggio degli spostamenti.....	16
5.3.1 Opere interessate	17
5.3.2 Rilievi geologici.....	21
5.3.3 Monitoraggio strumentale	22
5.3.4 Grandezze misurate	23
5.3.5 Categorie di danno	24
5.3.6 Valori soglia.....	24
5.4 Gestione dei dati.....	30
5.5 Strumentazione prevista	31



INDICE DELLE FIGURE

	Pag.
Figura 1.1: Rio Maltempo – In blu a sud il bacino del Rio Maltempo; in verde a nord quello del Torrente Torbella. In rosso il tratto tombato	3
Figura 1.2: Nuova galleria idraulica con il bacino del Torrente Torbella e la quota scolmata del Rio Maltempo (in verde)	4
Figura 1.3: Opere principali. In rosso il tratto tombato del Rio Maltempo, in giallo la nuova galleria scolmatrice	4
Figura 1.4 Scatolare con cui il Rio Maltempo supera lo sbarramento	5
Figura 4.1 Corografia a grande scala con ubicazione della galleria idraulica di derivazione del Rio Maltempo (Geoportale Regionale).....	10
Figura 5.1 DIN 4150-3. Limiti vibrazionali ammissibili espressi in velocità.....	12
Figura 5.2 SN 640312. Limiti vibrazionali ammissibili espressi in velocità.....	12
Figura 5.3 Relazione fra valori di velocità di picco indotta dalla demolizione con martello demolitore e distanza.....	13
Figura 5.4 Opere esistenti interessate dal monitoraggio delle vibrazioni.....	14
Figura 5.5 Opere esistenti interessate dal monitoraggio degli spostamenti.....	18
Figura 5.6 Ponti esistenti lungo il torrente Torbella interessati dal monitoraggio degli spostamenti.....	18
Figura 5.7 Muri esistenti lungo il torrente Torbella interessati dal monitoraggio degli spostamenti.....	19
Figura 5.8 Opere provvisorie interessate dal monitoraggio degli spostamenti.....	20
Figura 5.9 Stima del bacino di subsidenza della galleria.....	21
Figura 5.10 Definizione dei parametri di controllo per il danneggiamento di edifici soggetti a cedimenti.....	23
Figura 5.11 Categorie di danno (numerate progressivamente da 0 a 5 dall'alto verso il basso) e relativi valori indicativi di apertura delle fessure (Burland 1995 modificato).....	24



1. PREMESSA

Il Comune di Genova ha affidato a Technital il Progetto di Fattibilità Tecnica Economica ed il Progetto Definitivo per appalto integrato delle opere di sistemazione idraulica e adeguamento della capacità idraulica del Rio Maltempo, affluente in sinistra idrografica del Torrente Polcevera, del quale è nota l'insufficienza della sezione a convogliare le portate aventi tempo di ritorno di 200 anni. Tale insufficienza idraulica è imputabile, fra le altre cose, all'estesa urbanizzazione che ha portato alla copertura del tratto terminale del corso d'acqua. Copertura che peraltro allo stato attuale risulta degradata, caratterizzata da dimensioni non costanti, e ristretta in più punti per l'inserimento di numerosi sottoservizi.

La soluzione proposta al fine di risolvere le criticità idrauliche esistenti prevede la realizzazione di una galleria scolmatrice che raccoglie le acque provenienti dalla parte più a monte e non antropizzata del bacino del Rio Maltempo per coltarle nel tratto terminale del Torrente Torbella, che con decorso circa parallelo rimane più a nord.

Per una prima identificazione dei luoghi in figura seguente si riporta uno stralcio di corografia con i limiti del bacino idrografico del Torrente Torbella, che scorre interamente a cielo aperto, e del Rio Maltempo il cui alveo è a cielo aperto a monte, e tombato nel tratto finale di attraversamento dell'urbanizzato.



Figura 1.1: Rio Maltempo – In blu a sud il bacino del Rio Maltempo; in verde a nord quello del Torrente Torbella. In rosso il tratto tombato

Ad un livello di maggiore dettaglio il progetto prevede: la realizzazione di un'opera di presa sul Rio Maltempo a monte del viadotto autostradale ①, un pozzo di dissipazione che collega l'opera di presa con la galleria scolmatrice ②, una galleria scolmatrice del diametro di circa 4 m e lunghezza circa 538 m che sottopassa lo spartiacque fra Rio Maltempo e Torrente Torbella ③ dotata di un pozzo di aerazione intermedio, l'opera di confluenza nel Torrente Torbella ④, la sistemazione idraulica del Torrente Torbella fra l'opera di confluenza e il Torrente Polcevera con il rifacimento del ponte stradale di Via Rossini ed una



passerella pedonale ⑤).

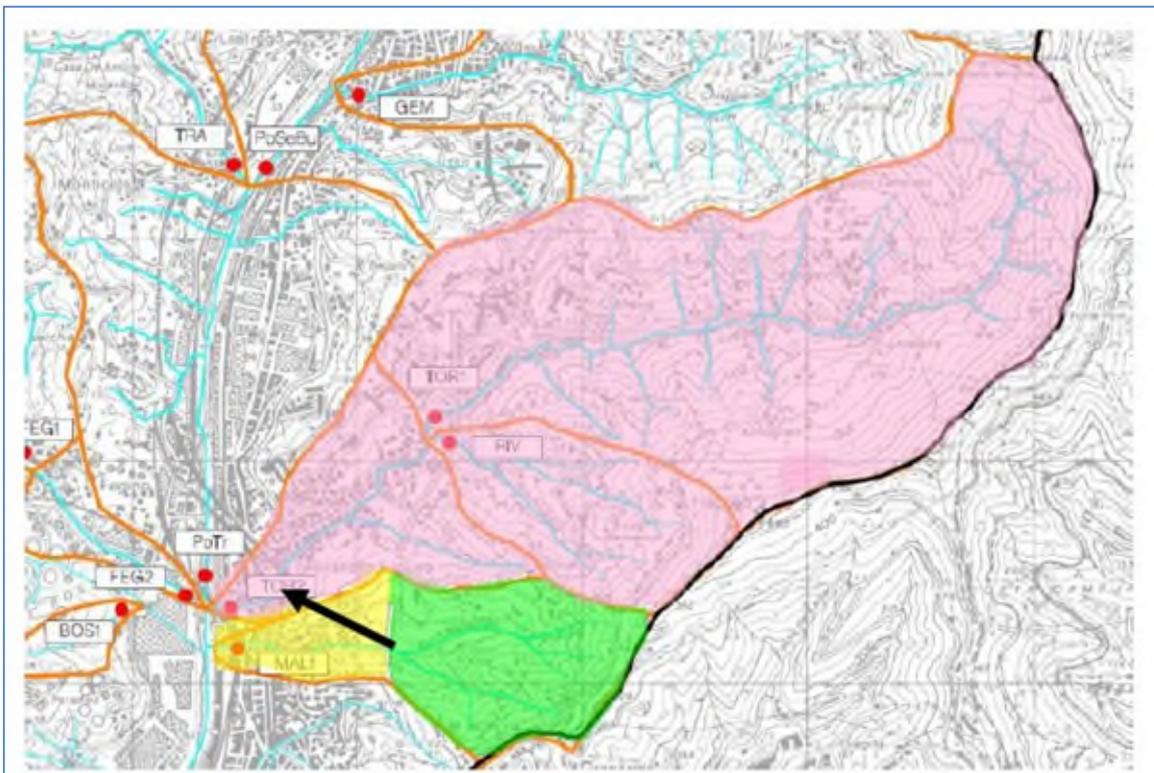


Figura 1.2: Nuova galleria idraulica con il bacino del Torrente Torbella e la quota scolmata del Rio Maltempo (in verde)

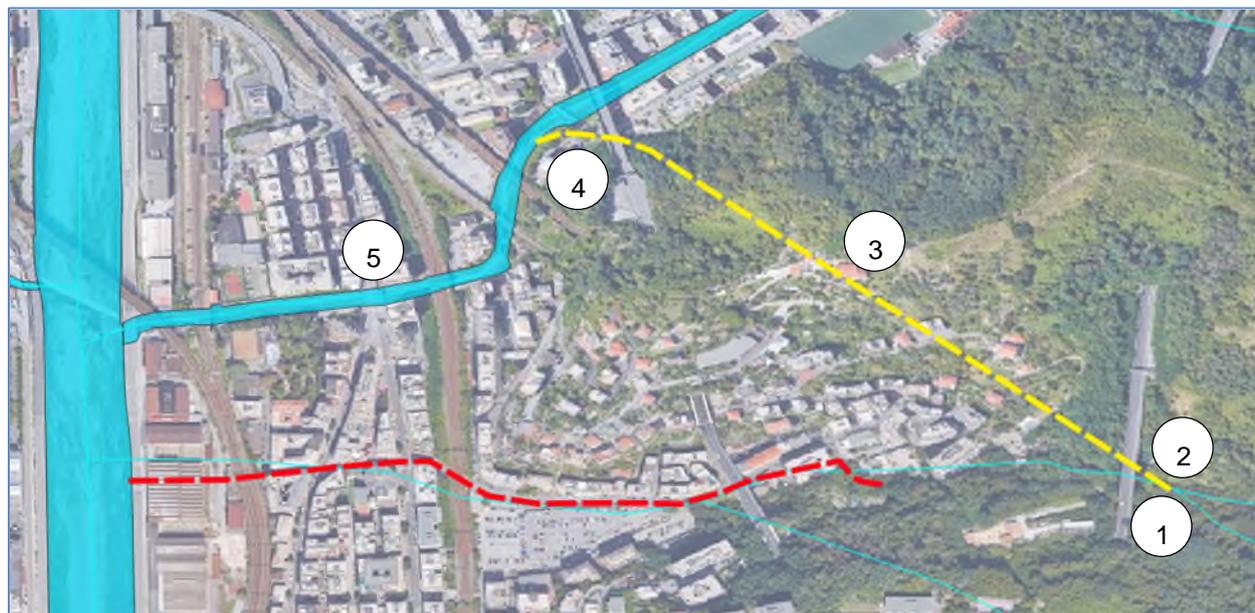


Figura 1.3: Opere principali. In rosso il tratto tombato del Rio Maltempo, in giallo la nuova galleria scolmatrice

All'altezza del ponte dell'autostrada il Rio Maltempo è attraversato e sbarrato da una colmata realizzata con materiale di riporto sopra alla quale è stata posta la viabilità locale; uno scatolare in calcestruzzo



realizzato sul fondo alveo, parzialmente occultato dalla fitta vegetazione e dalle ripide pendenze delle scarpate, permette all'acqua di superare tale sbarramento.



Figura 1.4 Scatolare con cui il Rio Maltempo supera lo sbarramento

Dato che la presenza della colmata costituisce un ostacolo al naturale deflusso delle acque si è posizionata l'opera di presa della galleria scolmatrice a monte di essa.

Pertanto ed in sintesi il progetto comprende le seguenti opere/parti di opere:

- pulizia dell'alveo del rio Maltempo a monte dell'opera di presa, in modo da ridurre i rischi di intasamento per effetto della vegetazione (alberi ed arbusti);
- vasca di calma e di sghiaimento con manufatto di imbocco e di ripartizione delle portate. Il materiale flottante di grosse dimensioni verrà intercettato da un pettine posto a monte della vasca. Segue il manufatto di ripartizione che convoglia le portate eccedenti la capacità della tombinatura verso la galleria scolmatrice;



- pozzo di caduta che collega l'opera di presa con la galleria idraulica;
- galleria idraulica accessibile da valle lunga 538 m, avente pendenza inferiore al 5 per mille, dotata di canale a pelo libero in corrente lenta di adeguata sezione ed altezza per consentire una manutenzione da valle, ed un aeroforo intermedio;
- manufatto di sbocco dotato di panconi per manutenzione;
- opere di protezione dell'alveo del Torrente Torbella alla confluenza, e di protezione di pile e spalle dei ponti ferroviari esistenti;
- opere di adeguamento, miglioramento spondale e riprofilatura dell'alveo del Torbella;
- rifacimento del ponte stradale su Via Rossini, la cui ridotta sezione e la presenza di una pila in alveo ostacolando il deflusso delle piene, e rifacimento di una passerella pedonale;
- lungo il tratto tombato del Rio Maltempo, a valle della galleria scolmatrice, saranno rimosse le interferenze dei sottoservizi in modo da garantire il ripristino completo dell'attuale sezione idraulica. Inoltre si prevede la pulizia e la manutenzione straordinaria della superficie interna nelle zone particolarmente degradate o soggette ad erosione.



2. OGGETTO E SCOPO

Il presente documento, unitamente agli elaborati grafici che lo accompagnano, costituisce la relazione geotecnica del Progetto Definitivo delle opere di adeguamento idraulico del Rio Maltempo a Genova.

Oggetto del lavoro è la caratterizzazione dei terreni presenti nell'area d'interesse progettuale, la definizione del modello geotecnico del sottosuolo, la valutazione dell'interazione opere terreni in relazione agli interventi previsti. La presente relazione si basa sui risultati delle indagini geognostiche pregresse disponibili e sui risultati delle indagini specificamente eseguite nei primi mesi del 2022.

Il quadro informativo disponibile illustrato nel testo ed integrato dagli elaborati grafici allegati permette di rappresentare tutta la gamma di informazioni geotecniche finalizzate alla corretta progettazione delle opere.



3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (11 marzo 1988) "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).
- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione". (Pres. Cons. Superiore — Servizio Tecnico Centrale).
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14/01/2008 pubblicate sulla G.U. n° 29 del 04.02.2008.
- Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 14/01/2008. Circolare 02/02/2009 n° 617 C.S.LL.PP.
- Piano di Tutela delle Acque (PTU) della Regione Liguria approvato con Delibera 11 del 29/03/2016.
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018 pubblicate sulla G.U. del 20.02.2018.
- Circolare 21/01/2019 n 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018.



4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in studio ricade nella porzione occidentale della città di Genova in corrispondenza del quartiere di Rivarolo, in sinistra idrografica del torrente Polcevera.

La morfologia generale è collinare, tipica del genovese. Nell'ambito del sedime in studio la collina è interrotta al piede dall'ampia spinata alluvionale del torrente Polcevera, larga in questo tratto fino a 900 m, avente orientazione circa nord sud ed il cui corso è regimato e delimitato da argini artificiali.

I rilievi collinari sono solcati dagli affluenti dello stesso torrente Polcevera, che nell'ambito dell'area di intervento sono il Rio Maltempo e il Torrente Torbella, entrambi aventi direzione circa E-W o NE-SW e posti in sinistra idrografica.

Il Rio Maltempo, come molti altri corsi d'acqua della città, è tombato nella parte più urbanizzata, circa dalla confluenza nel Polcevera per circa 600 m verso monte. Il Torrente Torbella scorre invece a cielo aperto con alveo spesso delimitato da muri e/o argini artificiali.

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare (IGM) l'area in studio ricade nella tavoletta 82-II-NE in scala 1:25.000 "Sestri Ponente". Nella Carta Tecnica Regionale (CTR) della Liguria in scala 1:10.000 ricade nel foglio 213150.

In figura seguente si riporta una corografia a grande scala tratta dal Geoportale della Regione Liguria con la posizione della galleria scolmatrice rispetto al reticolo idrografico principale.

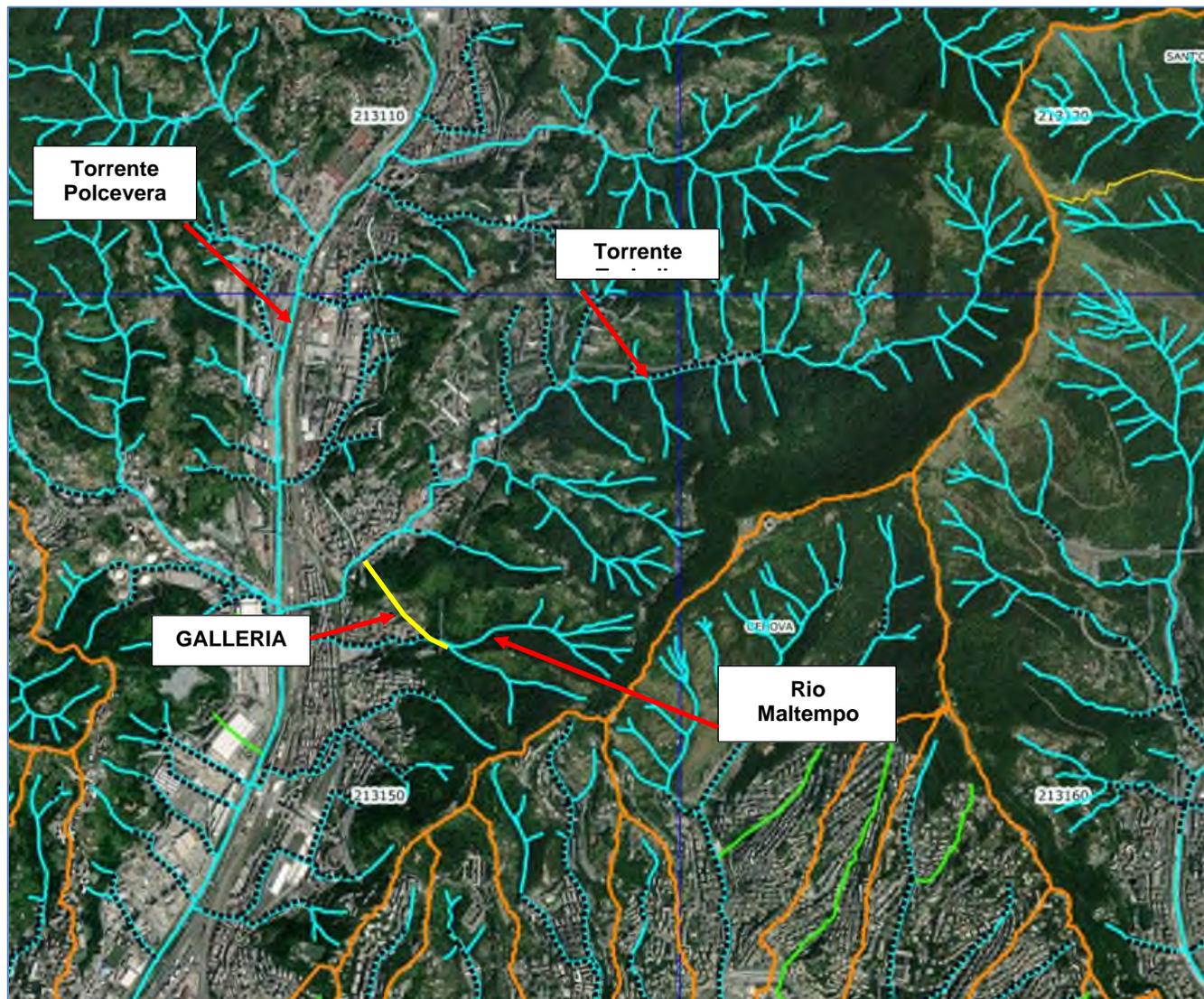


Figura 4.1 Corografia a grande scala con ubicazione della galleria idraulica di derivazione del Rio Maltempo (Geoportale Regionale)



5. MONITORAGGIO VIBRAZIONI E SPOSTAMENTI

5.1 Vibrazioni

5.1.1 Livelli ammissibili

Le vibrazioni sono ad oggi una delle cause prevalenti delle lamentele derivanti da lavori condotti in aree antropizzate e il monitoraggio strumentale rappresenta una possibile soluzione a questo problema al fine di:

- documentare la variazione dei livelli di vibrazione rispetto all'ante-operam;
- verificare il rispetto dei limiti normativi;
- svolgere azione preventiva e di controllo nel caso di superamento degli standard normativi.

Nella definizione delle soglie di sismicità si fa riferimento alla Norma UNI 9916, che tratta l'argomento delle vibrazioni indotte all'intorno dall'esecuzione dei lavori, ed ai limiti ammissibili in velocità ed accelerazione di cui alle tabelle allegate alla DIN 4150-3 "Vibrazioni nelle costruzioni - Parte 3 - Effetti sui manufatti". In tali tabelle, di seguito riportate in Figura 5.1, per la categoria "edifici residenziali e simili", considerando un campo di frequenze compreso fra 10 – 50 Hz, i limiti ammissibili di velocità di vibrazione sono:

$$V_{p \text{ adm}} = 5-15 \text{ mm/sec}$$

per vibrazioni di breve durata cioè tali da escludere problemi di fatica e amplificazione dovuti a risonanza.

Tale velocità è espressa in termini di velocità di picco di una componente puntuale (p.c.p.v – peak component particle velocity) definita come il valore massimo del modulo di una delle tre componenti ortogonali misurate simultaneamente.

Per le vibrazioni provocate nelle costruzioni dallo scoppio di mine, dalle attività di macchine di cantiere e dal traffico su strada e ferroviario la norma UNI 9916 rimanda alla Normativa Svizzera SN 640312 riportata in Figura 5.2. La grandezza di riferimento è la velocità p.p.v. cioè il picco nel tempo del modulo del vettore velocità:

Facendo cautelativamente riferimento a basse frequenze, nell'ordine di 10 Hz, si ottengono i seguenti limiti per edifici di classe C (normalmente sensibili):

$V_{p \text{ adm}} \text{ SN 640312} = 15 \text{ mm/s}$ per eventi occasionali;

$V_{p \text{ adm}} \text{ SN 640312} = 6 \text{ mm/s}$ per eventi frequenti;

In tale contesto si ritiene di assumere per il caso in studio, come peraltro già fatto nell'ambito del progetto esecutivo della galleria del Fereggiano recentemente ultimata, il seguente valore limite per le vibrazioni misurate al piano di fondazione dei fabbricati:

$V_{p \text{ adm}} = 10 \text{ mm/s}$



LIMITI AMMISSIBILI ESPRESI IN VELOCITA'

Categoria	Tipi di strutture	Velocità di vibrazione in mm/s *			
		Misura alla fondazione			Misura al pavimento dell'ultimo piano
		Campi di frequenza (Hz)			
		<10	10-50	50-100**	Frequenze diverse
1	Edifici commerciali industriali	20	20-40	40-50	40
2	Edifici residenziali e simili	5	5-15	15-20	15
3	Strutture sensibili, non rientranti nelle precedenti	3	3-8	8-10	8

* Si intende la massima delle tre componenti della velocità nel punto di misura
 ** Per frequenze maggiori di 100 Hz possono applicarsi i valori riportati in questa colonna.

Figura 5.1 DIN 4150-3. Limiti vibrazionali ammissibili espressi in velocità.

Classe	Tipo di costruzione	Esposizione	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.p.v. in mm/s		
			Da 8 a 30 Hz	Da 30 a 60 Hz	Da 60 a 150 Hz
A	Costruzioni molto poco sensibili (per es. ponti, gallerie, fondazioni di macchine)	Occasionale	Fino a tre volte i	Fino a tre volte	Fino a tre volte i
		Frequente	Valori	i valori	Valori
B	Costruzioni poco sensibili (per es. edifici industriali in cemento armato o metallici) costruiti a regola d'arte e con manutenzione adeguata	Occasionale	Fino a due volte i	Fino a due volte	Fino a due volte i
		Frequente	valori	volte i valori	Valori
C	Costruzioni normalmente sensibili (per es. edifici di abitazione in muratura di cemento, cemento armato o mattoni, edifici amministrativi, scuole, ospedali, chiese in pietra naturale o mattoni intonacati) costruiti a regola d'arte e con manutenzione adeguata	Occasionale	15	20	30
		Frequente	6	8	12
D	Costruzioni particolarmente sensibili (per es. monumenti storici e soggetti a tutela, case con soffitti in gesso, edifici della classe C nuovi o ristrutturati di recente)	Occasionale	3	4	6
		Frequente			
		Permanente	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà

Figura 5.2 SN 640312. Limiti vibrazionali ammissibili espressi in velocità.

5.1.2 Vibrazioni attese. Scavo con martello demolitore

Le vibrazioni indotte dal martello demolitore presentano campi di frequenza intorno ai 5-10 Hz. Anche per demolitori di classe alta l'energia immessa per colpo è tale che la vibrazione è rilevante solo a distanza (D)



sufficientemente ravvicinata, e comunque tale che il problema dell'interferenza tra i colpi ravvicinati non si pone nella concretezza operativa. Nel caso di interferenza fra scavi e strutture superficiali si possono utilizzare le seguenti relazioni empiriche, che permettono di stimare il modulo della velocità di picco indotta dalla demolizione:

$$v_p \text{ (mm/s)} = 150 \cdot D^{-1.58}$$

$$v_p \text{ (mm/s)} = 250 \cdot D^{-1.58}$$

I risultati espressi per entrambe le relazioni (dove 150 può applicarsi ad una roccia superficiale alterata, fratturata e meno trasmissiva, e 250 ad una roccia più sana) sono riepilogati in Figura 5.3.

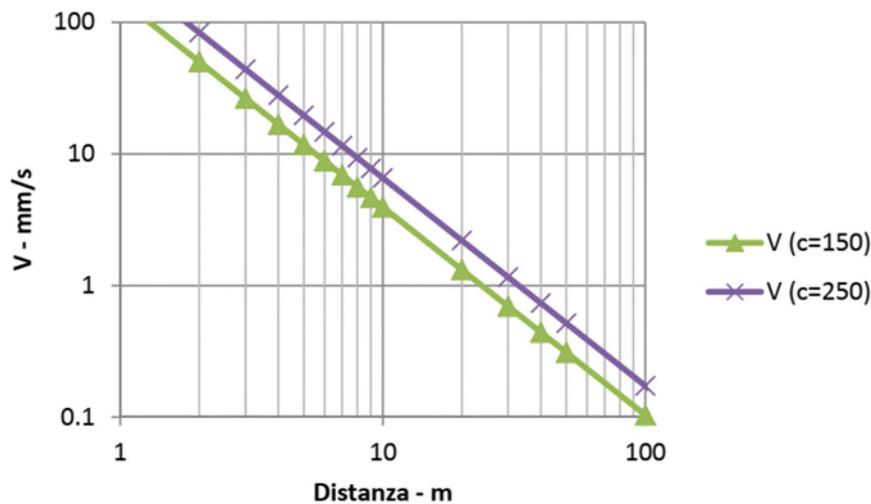


Figura 5.3 Relazione fra valori di velocità di picco indotta dalla demolizione con martello demolitore e distanza.

Può quindi essere stimato un possibile superamento del valore soglia di 10 mm/s ad una distanza dalla sorgente puntuale inferiore a 5.5 m in presenza di roccia fratturata e di 7.5 m per roccia più sana. Trattasi comunque di relazioni empiriche la cui validità dipende non solo dalla resistenza della roccia ma anche dal locale grado di fratturazione ed alterazione, dalla giacitura, dalla stratificazione e dalla potenza del martello demolitore adottato.

In tale contesto e preso atto della prossimità di alcuni edifici e strutture al sedime dei lavori è necessario prevedere:

- il sistematico monitoraggio delle vibrazioni indotte dagli scavi in superficie in corrispondenza delle strutture poste nell'intorno delle aree d'intervento;

5.2 Monitoraggio vibrometrico e fonometrico

Stante quanto esposto ai paragrafi precedenti il progetto prevede un monitoraggio vibrometrico e fonometrico continuativo per lunghi periodi tramite strumentazione multicanale completa di piattaforma di



registrazione, catena accelerometrica per misure triassiali e software con capacità di multi-analisi in real time, in grado di registrare sia le vibrazioni che il rumore. La stazione vibrometrica/fonometrica sarà di tipo automatico gestita in remoto tramite modem GSM/GPRS con i dati resi disponibili entro 12-24 ore.

Misure ante-operam permetteranno di stabilire i valori di fondo di vibrazione e rumore prima dell'inizio dei lavori. Gli strumenti per le misure dovranno essere posizionati al piano terra degli edifici (o interrato ove presente) presso la facciata anteriore rivolta verso i lavori.

Il monitoraggio, che nell'ambito dell'intero cantiere si avvarrà dell'utilizzo simultaneo di n° 3 vibrometri, sarà condotto su n.1 edificio (S1) che si affaccia lungo Via Fasciotti, sul viadotto dell'autostrada A7 (A1) e sul viadotto dell'autostrada E80 (A2) (figura 5.4).



Figura 5.4 Opere esistenti interessate dal monitoraggio delle vibrazioni.



Il valore ammissibile per la velocità di vibrazione è quello definito in precedenza ovvero:

$$V_{p \text{ adm}} = 10 \text{ mm/s (p.p.v.)}$$

Dato che i lavori interessano un'area urbanizzata è opportuno fare riferimento anche alla UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo", che disciplina le condizioni di benessere fisico degli occupanti degli edifici soggetti a vibrazioni prevedendo la valutazione delle accelerazioni rispetto a determinati valori di riferimento brevemente riepilogati di seguito:

- ambiente abitativo periodo diurno: 7.22 mm/s²
- ambiente abitativo periodo notturno: 3.60 mm/s²
- luoghi lavorativi: 14 mm/s²
- ospedali e case di cura: 2 mm/s²
- asili e case di riposo: 3.6 mm/s²

Nella maggior parte dei casi i recettori sono rappresentati da edifici residenziali; con lavori eseguiti nel periodo diurno il riferimento sarà quindi una accelerazione max di 7.22 mm/s². Un superamento dei valori di accelerazione, con conseguente disturbo per gli occupanti delle abitazioni, può essere previsto lungo il tratto di scavo all'aperto della vasca di valle e dello scatolare di collegamento al torrente Torbella durante l'impiego dei diversi mezzi di cantiere (macchine per micropali, escavatori, autocarri e betoniere). Questo vale per Via Fasciotti e Via Compagnoni, dove i lavori si svolgono in prossimità degli edifici.

Per il rumore percepito entro gli edifici residenziali si deve tener conto del fatto che l'areale di progetto secondo il Piano di Zonizzazione Acustica vigente ricade in una zona III "area di tipo misto", dove il livello massimo di immissione è 60 dB(A) in periodo diurno e 50 dB(A) in notturno.

Considerate le attrezzature previste (macchine per micropali, escavatori con martello demolitore o benna, autocarri e betoniere) per gli scavi della camera di dissipazione di valle e dello scatolare di collegamento al torrente Torbella, in prossimità di Via Fasciotti e Via Compagnoni, si può facilmente prevedere un superamento dei limiti, specie per i recettori più prossimi ai lavori. In questo caso l'appaltatore potrà richiedere una deroga dei limiti come previsto dal regolamento acustico comunale ai sensi dell'art 6 comma 1 lettera h della legge 26.10.1995 n° 447 già art.1 comma 4 del DPCM 01.03.91. Il massimo valore concesso in deroga dal Comune di Genova è di 80 dB(A).

Nessun superamento dei limiti acustici è invece atteso per i lavori in sotterraneo. In relazione ai risultati ottenuti con il monitoraggio le contromisure da prendere a seguito di un eventuale superamento dei limiti saranno nell'ordine le seguenti:

- manutenzione delle attrezzature mantenendole in buona efficienza evitando altresì utilizzi impropri;
- rispetto del criterio di riposo dei residenti evitando/limitando i lavori potenzialmente impattanti in orario notturno;
- nella terebrazione dei micropali delle paratie abbassare il livello di vibrazione e/o rumore adottando localmente tecniche di perforazione a sola rotazione in luogo della percussione. Tale accorgimento sarà da adottarsi in particolare laddove le paratie sono poste in fregio a



strutture esistenti;

- in superficie laddove fossero superati i livelli acustici adottando (ove ragionevolmente possibile) barriere fonoassorbenti mobili;
- in superficie e in sotterraneo adozione di un sistema di scavo a ridotto/nullo sviluppo di vibrazioni e rumore, come ad esempio il cuneo frangiroccia o cementi espandenti.

Tali accortezze avranno come ripercussione diretta una contestuale riduzione delle velocità di avanzamento.

Risulta altresì importante da parte dell'appaltatore e del Committente garantire prima dell'inizio dei lavori una capillare attività informativa per fare in modo che i residenti tollerino più facilmente le vibrazioni ed il rumore prodotti dall'attività di cantiere.

5.3 Monitoraggio degli spostamenti

Il monitoraggio geotecnico consiste nell'esecuzione di misure ripetute nel tempo, con strumenti adeguati a supporto dell'ingegneria geotecnica, con la finalità di ridurre il rischio associato al raggiungimento della condizione di collasso (SLU) o alle limitazioni d'uso dell'opera (SLE).

Le Norme Tecniche per le Costruzioni stabiliscono al paragrafo 6.2.4 che nei casi in cui, a causa della particolare complessità della situazione geotecnica e dell'importanza e impegno dell'opera, dopo estese ed approfondite indagini permangano documentate ragioni di incertezza risolvibili solo in fase costruttiva, la progettazione può essere basata sul metodo osservazionale.

Nell'applicazione di tale metodo si deve seguire il seguente procedimento:

- devono essere stabiliti i limiti di accettabilità dei valori di alcune grandezze rappresentative del comportamento del complesso manufatto-terreno;
- si deve dimostrare che la soluzione prescelta è accettabile in rapporto a tali limiti;
- devono essere previste soluzioni alternative, congruenti con il progetto, e definiti i relativi oneri economici;
- deve essere istituito un adeguato sistema di monitoraggio in corso d'opera, con i relativi piani di controllo, tale da consentire tempestivamente l'adozione di una delle soluzioni alternative previste, qualora i limiti indicati siano raggiunti.

Il sistema di monitoraggio previsto nel presente progetto risponde alle esigenze normative di cui sopra verificando l'effettiva interazione fra le opere ed i terreni, con particolare riferimento per gli effetti derivanti dagli scavi nei confronti di deformazioni e/o vibrazioni che possano ripercuotersi sulle strutture esistenti.

I parametri di controllo possono inoltre essere suddivisi in funzione della tipologia di opera da monitorare:

Strutture in costruzione

- deformazioni e spostamenti delle opere di sostegno lungo i tratti in scavo;
- sollecitazioni sulle paratie/opere di sostegno;
- sollecitazioni negli elementi orizzontali (provvisori e/o permanenti) delle opere di sostegno;

Strutture esistenti in superficie



- deformazioni del terreno nelle vicinanze e sulla verticale delle opere;
- lesioni, spostamenti e rotazioni a carico degli edifici e delle strutture esistenti;
- vibrazioni a carico delle strutture esistenti (vedi paragrafo precedente).

Il sistema di monitoraggio delle paratie/opere di sostegno contempla

- rilievo geologico, idrogeologico e geotecnico durante le diverse fasi di scavo e la perforazione dei micropali;
- monitoraggio delle opere di sostegno durante le progressive fasi di scavo;
- monitoraggio del terreno, degli edifici e delle strutture nell'intorno delle opere da realizzare.

5.3.1 Opere interessate

Le opere esistenti poste nell'immediato intorno del cantiere di costruzione della camera di dissipazione di valle, dello scatolare di collegamento al torrente Torbella e nella zona di imbocco della galleria, per i quali è stato previsto un monitoraggio con strumentazione a lettura manuale, sono costituite da n. 3 edifici (sigla da S1 ÷ S3), n.2 tratti di viadotto autostradale A7 e E80 (A1 e A2), n.1 ponticello (P1) di via Fasciotti sul torrente Torbella e n.1 muro di sponda (M1) del torrente Torbella, (figura 5.5).



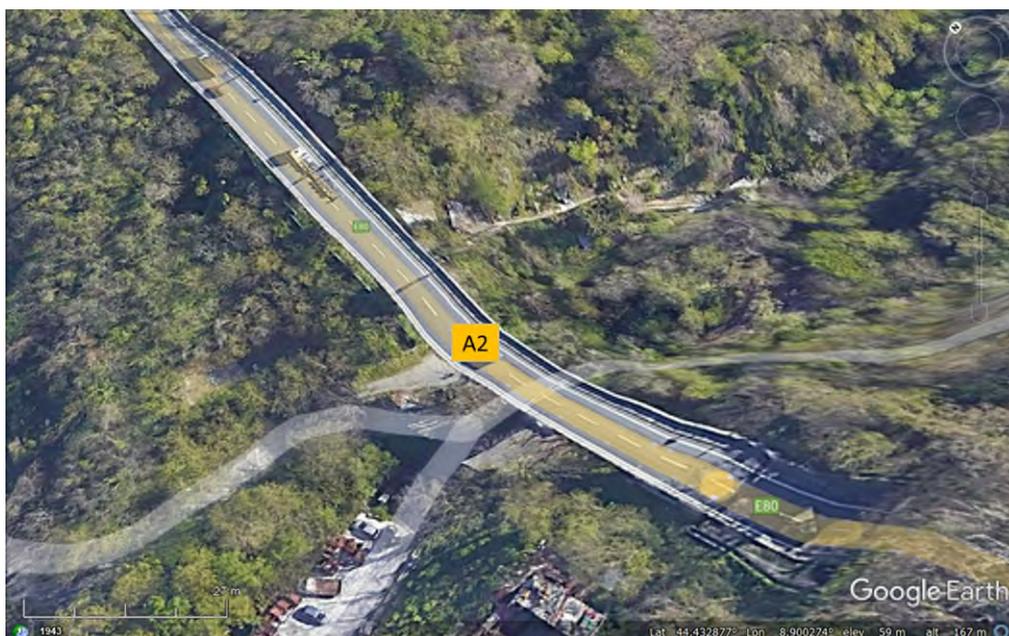


Figura 5.5 Opere esistenti interessate dal monitoraggio degli spostamenti.

Sono inoltre sottoposti a monitoraggio anche i ponti (P2-P6) esistenti lungo il corso del torrente Torbella interessati dai lavori di consolidamento ed i muri di sponda (M2-M11) del Torbella interessati dai lavori di riprofilatura dell'alveo (figure 5.6 e 5.7).

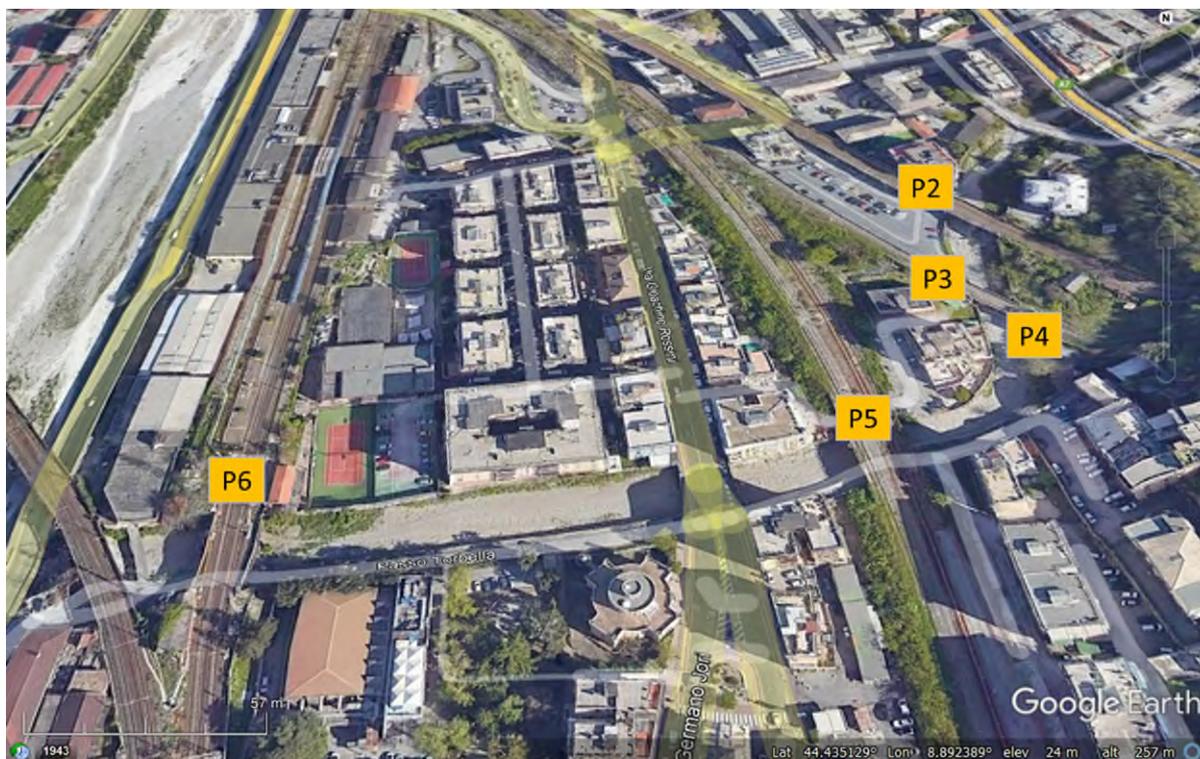


Figura 5.6 Ponti esistenti lungo il torrente Torbella interessati dal monitoraggio degli spostamenti.



Figura 5.7 Muri esistenti lungo il torrente Torbella interessati dal monitoraggio degli spostamenti.

Per quanto riguarda le opere provvisorie di sostegno degli scavi relativi alla camera di dissipazione di valle ed allo scatolare di collegamento al torrente Torbella (figura 5.8) è prevista l'installazione di caposaldi topografici sui cordoli di collegamento delle berlinesi da disporsi a coppie, trasversalmente rispetto all'asse longitudinale. In corrispondenza dell'edificio S1 i caposaldi saranno installati anche a tergo dell'opera di sostegno ed in corrispondenza del viadotto autostradale (A1) oltre ai caposaldi a tergo dell'opera saranno installati anche due inclinometri. I caposaldi dovranno essere posizionati nella parte di cordolo non interessata dall'azione dei puntoni di contrasto.

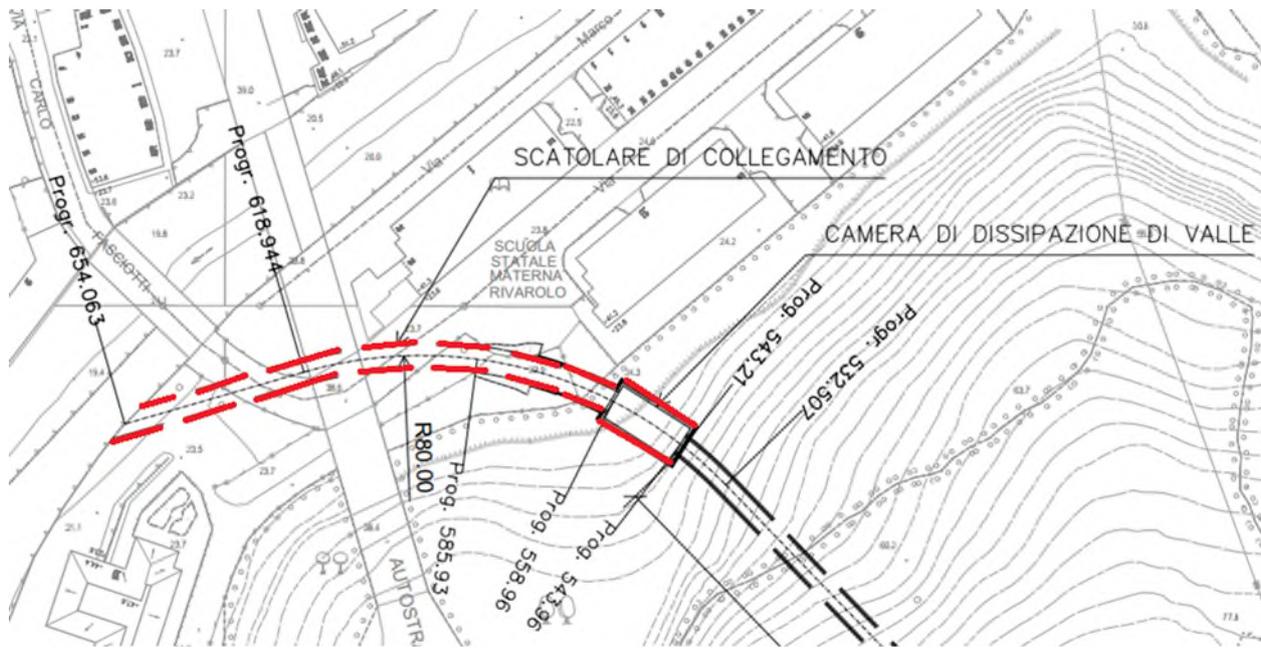


Figura 5.8 Opere provvisorie interessate dal monitoraggio degli spostamenti.

Prima dell'avvio dei lavori su tutte le opere esistenti sarà effettuato a cura dell'appaltatore uno stato di consistenza volto a definirne l'effettiva condizione ante-operam. Tale attività è prevista a tutela della stazione appaltante, dell'impresa esecutrice e dei proprietari dei fabbricati.

A seguito dello stato di consistenza l'appaltatore dovrà trasmettere alla Direzione Lavori il piano particolareggiato di monitoraggio redatto in congruenza con il proprio cronoprogramma dei lavori.

Per quanto riguarda gli scavi in sotterraneo l'effetto primario correlato alle convergenze in galleria è quello dello sviluppo in superficie di un bacino di subsidenza, caratterizzato da un cedimento che risulta massimo in asse all'opera e va poi diminuendo all'aumentare della distanza dall'asse della stessa. Al fine di stimare il bacino di subsidenza è stata eseguita una simulazione agli elementi finiti dello scavo della galleria, ipotizzando cautelativamente una copertura minima di 20 m e l'assenza di centinature provvisorie. Il valore massimo del cedimento calcolato in superficie è pari a 0.5 mm (figura 5.9), tale valore si può ritenere trascurabile ai fini di eventuali effetti sugli edifici, inoltre considerando il fatto che gli edifici presenti lungo il tracciato si trovano in corrispondenza di coperture superiori a 30 m si ritiene non necessario il monitoraggio di tali edifici.

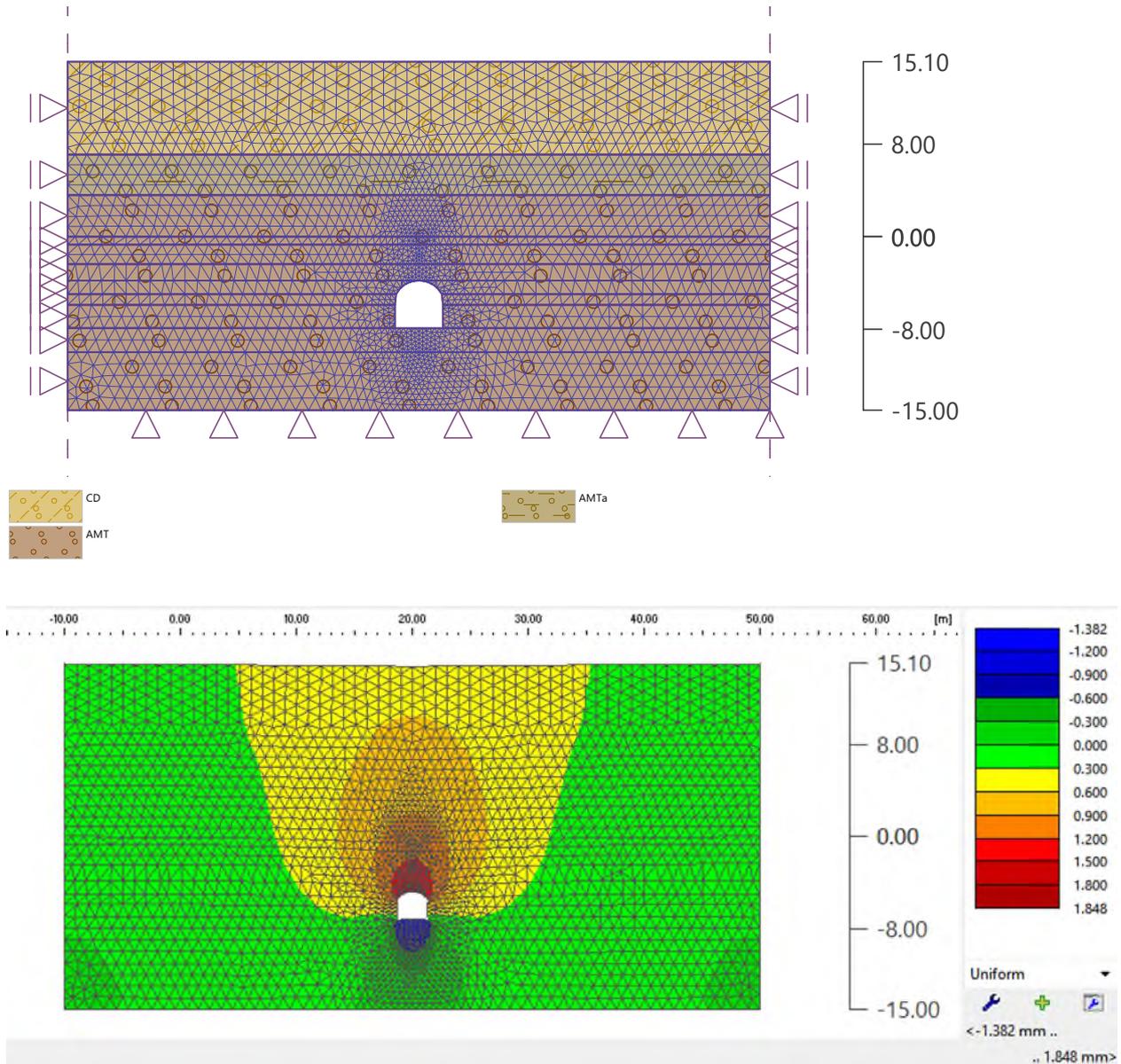


Figura 5.9 Stima del bacino di subsidenza della galleria.

5.3.2 Rilievi geologici

In corso d'opera dovranno essere previsti sistematici rilievi geologici, geomeccanici e idrogeologici dei fronti di scavo, oltre a riscontri derivanti dalla perforazione dei micropali che costituiscono le opere di sostegno.

A seguito dei sopralluoghi saranno redatti specifici verbali, controfirmati da impresa e DL., nei quali saranno descritte caratteristiche e spessori dei terreni attraversati, la posizione della falda, la quantità di acqua drenata e le eventuali difformità di tali parametri rispetto alle previsioni progettuali. Nel corso dei lavori saranno annotate le fasi esecutive verificandone costantemente la tempestività e la congruenza in relazione alle specifiche progettuali. Eventuali variazioni significative dovranno essere evidenziate verificando le possibili ricadute sull'interazione di opere e terreni.



I verbali redatti potranno essere raccolti e allegati alla documentazione di collaudo statico e/o tecnico amministrativo.

5.3.3 Monitoraggio strumentale

Come rappresentato graficamente nella tavola "Opere di presidio e monitoraggio - Planimetrie e schemi", a valle dello stato di consistenza si precederà con l'installazione della strumentazione sinteticamente elencata nel seguito:

- caposaldi topografici e punti di livellazione superficiale di precisione, per verificare eventuali spostamenti del piede degli edifici e/o del terreno nell'intorno dell'asse di progetto. Saranno costituiti da un chiodo metallico o da una barra in acciaio ad aderenza migliorata con testa emisferica di appoggio della stadia, cementata in foro e protetta da pozzetto a raso;
- mire ottiche e/o mini prismi da installare a diverse quote sui fabbricati esistenti, sui muri, e sulle opere di sostegno provvisori degli scavi;
- fessurimetri meccanici (a reticolo), per il monitoraggio delle crepe e fessure esistenti individuate nell'ambito dello stato di consistenza, e di quelle eventualmente comparse nel corso dei lavori;
- piastre metalliche sulle murature (edifici e muri) per letture manuali attraverso un tilt-metro portatile, per verificare eventuali perdite/variazioni di verticalità delle strutture.
- inclinometri da installare in corrispondenza dei micropali che costituiscono le paratie provvisori in corrispondenza del viadotto autostradale (A1)

Per gli inclinometri le letture sono settimanali nel periodo fra l'inizio e la fine delle operazioni di scavo, successivamente e raggiunta comunque la stabilizzazione delle misure la lettura sarà mensile sino al getto del rivestimento definitivo.

Per il tilt-metro e fessurimetri la lettura è settimanale.

Per mire ottiche e punti di livellazione topografica sugli edifici la frequenza di letture varia da 1 lettura al mese prima dell'avvio dei lavori ad 1 lettura al giorno.

Contesti di locale criticità segnalati in corso d'opera dalla Direzione Lavori anche a valle dello stato di consistenza potranno richiedere un maggiore passo delle letture.

In ogni caso la frequenza delle misure sarà incrementata (almeno raddoppiata) al raggiungimento dei valori di soglia indicati nel seguito.

Alla strumentazione sopra elencata si integra il monitoraggio vibrometrico ed acustico descritto al capitolo precedente con impiego simultaneo e acquisizione in continuo di almeno di tre vibrometri fissi.

Tutte le misure una volta acquisite dovranno essere prontamente elaborate e condivise con la DL e la stazione appaltante.

Il sistema di monitoraggio potrà essere adeguato in corso d'opera in base all'evoluzione delle attività ed ai risultati via via emergenti, ad esempio integrando il numero di strumenti e/o la frequenza di lettura laddove fosse evidenziato il superamento dei valori di soglia, o ancora installando strumentazioni caratterizzate da maggiore sensibilità laddove sorgessero ragionevoli dubbi interpretativi.



Nel caso in cui alcuni strumenti venissero danneggiati durante il corso dei lavori, o giungano a fine vita utile strumentale, o a fondo scala, dovranno essere sostituiti ovvero dovrà esserne repentinamente ripristinata la funzionalità.

In corso d'opera e con cadenza almeno mensile saranno condotti sopralluoghi periodici, cui parteciperanno appaltatore e Direzione Lavori, volti alla verifica dello stato dei luoghi, al controllo della strumentazione installata e alla verifica qualitativa dello stato di consistenza di fabbricati e strutture lungo i lavori. Di tali sopralluoghi e delle eventuali decisioni a seguito scaturite, saranno redatti opportuni verbali.

5.3.4 Grandezze misurate

Le grandezze misurate dovranno permettere il calcolo di alcuni parametri rappresentativi dell'andamento delle operazioni di scavo e dei relativi effetti sulle opere in superficie che sono (cfr. figura 5.10):

- l'inflessione relativa Δ , che rappresenta la distanza del punto (A, B, C) rispetto alla retta congiungente i due punti posti alle estremità;
- il rapporto di inflessione (Δ/L), significativo soprattutto per gli edifici in muratura e che rappresenta il rapporto fra l'inflessione relativa e la lunghezza totale ($L = L_{AD}$);
- la deformazione angolare (α), che può essere positiva quando ha concavità verso l'alto (sagging) e negativa con concavità verso il basso (hogging), e rappresenta la rotazione totale in un punto;
- rotazione relativa o distorsione angolare (β) per edifici in c.a., che rappresenta la rotazione della retta congiungente due punti rispetto alla retta congiungente i punti di estremità;
- cedimento assoluto (S) e cedimento differenziale massimo (ΔS_{max}) sia per edifici che per altri manufatti;
- rotazione rigida, ω (sia per edifici che per altri manufatti).

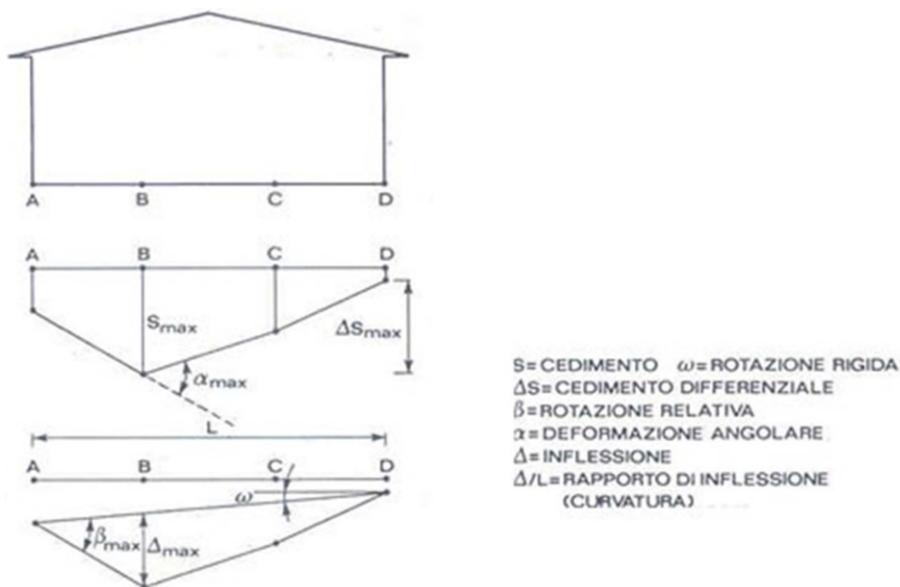


Figura 5.10 Definizione dei parametri di controllo per il danneggiamento di edifici soggetti a cedimenti.



5.3.5 Categorie di danno

La letteratura tecnica di settore identifica diverse categorie di danno ordinate in base alla facilità di ripristino della configurazione non danneggiata, come brevemente e schematicamente riepilogato in Figura 5.11. In particolare le categorie comprese tra 0 e 2 sono associate a danni estetici facilmente riparabili, mentre le categorie 3 e 4 indicano danni strutturali con ingenti lavori di risanamento. La classe 5 rappresenta lesioni strutturali profonde con problemi di stabilità degli edifici che necessitano la parziale o totale ricostruzione degli stessi.

I valori soglia riportati nel seguito della trattazione sono intesi come valori tali per cui il danno atteso sarà di "classe 0" (trascurabile) e "classe 1" (molto lieve) o 2 (lieve) sugli edifici che non presentano progressi ed importanti quadri fessurativi.

Laddove dovessero comparire delle lesioni esse si evolveranno in modo non significativo e comunque senza compromettere la funzionalità degli edifici stessi (classe di danno "1" o "2").

Categoria di danno	Descrizione del danno tipico	Apertura delle fessure (mm)
Trascurabile	Fessure capillari	< 0,1
Molto lieve	Sottili fessure che possono essere riparate in normali interventi di manutenzione e pitturazione. Possibili modeste fessure isolate. I muri esterni di mattoni a vista presentano fessure rilevabili con esame attento.	1
Lieve	Le fessure possono essere facilmente sigillate; di norma è necessario il ripristino degli intonaci o almeno delle pitture. Presenti numerose modeste fessure all'interno; alcune sono visibili anche dall'esterno e può essere richiesta qualche riparazione esterna per assicurare l'impermeabilità. Possibili difficoltà nell'apertura di porte e finestre.	3
Moderato	Le fessure richiedono l'allargamento e la riparazione da parte di un muratore; all'esterno può essere necessario il rifacimento di piccole porzioni di muratura. Le fessure ricorrenti possono essere mascherate con opportuni rivestimenti. Porte e finestre si bloccano; le tubazioni dei servizi possono rompersi; l'impermeabilità non è assicurata.	5 + 15 ovvero numerose fessure ≤ 3
Intenso	Necessari importanti lavori di riparazione con rimozione e sostituzione di zone di muratura, specialmente al di sopra di porte e finestre. I telai di porte e finestre sono distorti; i pavimenti visibilmente inclinati; i muri fuori piombo o spancati. Possibili perdite di appoggio delle travi. Tubazioni dei servizi distrutte.	15 - 25 ma comunque dipendente dal numero di fessure
Molto intenso	Richiesti importanti lavori di riparazione con demolizione e ricostruzione parziale o totale dell'edificio. Le travi perdono appoggio; i muri si inclinano sensibilmente e richiedono puntelli. Le finestre si rompono. Pericolo di crollo.	In genere > 25 ma comunque dipendente dal numero di fessure

Figura 5.11 Categorie di danno (numerate progressivamente da 0 a 5 dall'alto verso il basso) e relativi valori indicativi di apertura delle fessure (Burland 1995 modificato).

5.3.6 Valori soglia

Tutti i parametri dovranno essere costantemente controllati ed in caso di superamento del valore di



attenzione o del valore di allarme si dovrà procedere ad aumentare la frequenza di rilievo.

Si ritiene utile segnalare che il superamento puntuale di un valore di attenzione di un singolo parametro può essere da solo di poca importanza, perché dovuto per esempio a cause locali, e solo un attento esame di tutti i dati provenienti dall'intero "volume di controllo", e soprattutto l'evolversi nel tempo di tali valori, potrà dare un quadro coerente degli eventuali fenomeni in atto.

Il progetto è stato sviluppato al fine di garantire il raggiungimento di spostamenti attesi modesti, i quali hanno permesso di escludere ripercussioni sull'esistente. Fermo restando gli esiti delle verifiche numeriche per alcuni parametri sono stati individuati valori soglia indipendenti dal calcolo che traggono origine dalla letteratura disponibile.

Con questi presupposti la logica adottata nell'individuazione dei valori soglia è la seguente:

- valore di attenzione: assunto pari al valore atteso del parametro.
- valore di allarme: corrisponde al valore raccomandato dalla letteratura per evitare danni significativi agli elementi strutturali.

Fattore chiave nel controllo e nella limitazione dei cedimenti in superficie è la massima attenzione nelle tecniche costruttive ed il fedele rispetto delle fasi esecutive allo scopo di ridurre al minimo le eventuali perdite di terreno. Ciò si traduce in attrezzature adeguate, limitazione delle vibrazioni, posa in opera dei sostegni evitando o limitando scavi non sostenuti o non immediatamente contrastati. Peck (1969) fra le altre cose suggerisce l'esecuzione di scavi a campione, approccio questo che dovrà adottarsi comunque al superamento dei valori attenzione.

Dal momento che la stabilità dello scavo è garantita dalle opere di sostegno è ai suoi spostamenti che va dedicata la massima attenzione in quanto da essi dipende l'evoluzione dei cedimenti del terreno a tergo e gli spostamenti a carico delle strutture più prossime al ciglio di scavo.

Le grandezze che permetteranno di stabilire l'aderenza alle previsioni progettuali sono le vibrazioni, gli spostamenti delle opere di sostegno ed i cedimenti del terreno e dei punti posti in corrispondenza o prossimità degli edifici. Fintanto che queste grandezze restano all'interno delle attese progettuali la soglia di attenzione non è superata.

È importante sottolineare che il superamento dei valori soglia costituisce motivo di allerta e/o di allarme solo nel caso in cui si abbia un comportamento di gruppo della strumentazione installata, che deve indicare una deformazione del volume significativo di terreno in rapporto alle dimensioni dell'opera che si sta realizzando.

Ne deriva che anomalie di punti singoli non supportate né dai vicini punti di monitoraggio né dai dati delle lavorazioni di cantiere non dovranno essere considerate di riferimento per intraprendere le azioni correttive.

I restanti strumenti posizionati sulle strutture consentiranno via via di verificare l'apertura delle fessure e calcolare i cedimenti differenziali e le distorsioni angolari, elementi questi utili a stabilire se le deformazioni a carico delle opere possano aver in qualche modo influito sulla integrità statica degli edifici. Naturalmente queste valutazioni sono fortemente influenzate dal grado di conoscenza dello schema statico dell'edificio stesso, ed in quanto tali è opportuno siano accompagnate da aggiornamenti successivi dello stato di consistenza da eseguirsi nel caso in cui si vengano a raggiungere e superare le soglie di attenzione.



Spostamenti delle paratie

Spostamento atteso in testa	4	Tilt (mm/m)	3
Spostamento a 4 m da p.c. (mm)	10		
Soglia di attenzione in testa	>4	Soglia di attenzione (mm/m)	3
Soglia di attenzione a 4 m (mm)	>10		
Soglia di allarme in testa	>6	Soglia di allarme (mm/m)	4.5
Soglia di allarme a 4 m. (mm)	>15		

Tabella 5.1 Spostamenti paratie.

Nei tratti di scavo all'aperto il sostegno degli scavi è garantito dalle opere di sostegno (paratie). Il parametro fondamentale di controllo e verifica delle previsioni progettuali è lo spostamento orizzontale della paratia, i cui valori di soglia sono definiti in tabella 5.1. Gli spostamenti attesi derivano dalla relazione di calcolo delle opere di sostegno. La soglia di attenzione è quella desunta nella configurazione e posizione più gravosa, mentre la soglia di allarme è incrementata del 50%. Al superamento della soglia di attenzione va informata la DL, va riverificato lo stato di consistenza delle strutture vicine, va aumentata la frequenza di monitoraggio, lo scavo deve procedere per campioni di estensione ed altezza contenuta. Il superamento della soglia di allarme determina la sospensione dei lavori, che potranno riprendere solo una volta determinata la causa delle deformazioni e siano individuate le soluzioni correttive.

Rapporto di inflessione per edifici

Sulla scorta delle analisi numeriche condotte sono attesi spostamenti (e dunque deformazioni) assai modesti. Congruamente sono stati individuati valori di soglia indipendenti dal calcolo che traggono origine dalla numerosa letteratura disponibile.

Si noti che i valori di soglia così definiti, in quanto intrinsecamente conservativi (maggiori dei valori attesi), non sono differenziati in funzione della tipologia di struttura e dunque della sua vulnerabilità. In altre parole, tutti i limiti sono tarati sulle deformazioni ammissibili per gli edifici maggiormente vulnerabili.



PARAMETRO DI RIFERIMENTO	DEFINIZIONE VALORE	VALORE	AZIONI
Rapporto di Inflexione Δ/L (-)	valore atteso	$\leq \pm 1/1.500$	Le operazioni di scavo procedono normalmente; La frequenza dei rilievi dei parametri monitorati non viene variata; La velocità e le modalità di avanzamento dello scavo è adeguata.
	valore di attenzione	$> \pm 1/1.500$	Deve essere informata la DL; l'appaltatore riferisce quali misure intraprende per arrestare l'evoluzione delle deformazioni e, se ritenuto necessario al fine di garantire la piena funzionalità delle strutture, rientrare al di sotto della soglia di attenzione. E' necessaria una verifica del modello geologico di progetto; Si procede con una verifica dello stato di consistenza della struttura; La frequenza di acquisizione dei parametri monitorati deve essere aumentata; Riduzione della velocità di scavo, controllo/verifica della stabilità del dato, avanzamento per conci; Potranno essere svolte analisi più approfondite al fine di stabilire se le deformazioni siano compatibili con requisiti di funzionalità/estetici accettabili per la committenza.
	valore di allarme	$> \pm 1/800$	L'appaltatore deve immediatamente informare la DL e riferire quali misure intende attuare per arrestare l'evoluzione delle deformazioni; L'avanzamento viene interrotto sino all'identificazione delle cause che hanno determinato la deformazione. Ove necessario si procede alla messa in sicurezza delle opere; La frequenza dei rilievi dei parametri monitorati deve essere ulteriormente aumentata; Ove ritenuto opportuno si procede con una messa in sicurezza delle opere e degli scavi; I lavori riprendono a seguito dell'individuazione di soluzioni alternative/correttive per l'avanzamento, la cui validità viene comunque verificata costantemente.

Tabella 5.2 Rapporto di inflessione per edifici.

Distorsione angolare

Sulla scorta delle analisi numeriche condotte si sono previsti anche in questo caso spostamenti (e dunque deformazioni) contenuti.



PARAMETRO DI RIFERIMENTO	DEFINIZIONE VALORE	VALORE	AZIONI
Distorsione angolare (-)	valore atteso	$\leq \pm 1/500$	Le operazioni di scavo procedono normalmente; La frequenza dei rilievi dei parametri monitorati non viene variata; La velocità e le modalità di avanzamento dello scavo è adeguata.
	valore di attenzione	$> \pm 1/500$	Deve essere informata la DL; l'appaltatore riferisce quali misure intraprende per arrestare l'evoluzione delle deformazioni e, se ritenuto necessario al fine di garantire la piena funzionalità delle strutture, rientrare al di sotto della soglia di attenzione. E' necessaria una verifica del modello geologico di progetto; Si procede con una verifica dello stato di consistenza della struttura; La frequenza di acquisizione dei parametri monitorati deve essere aumentata; Riduzione della velocità di scavo, controllo/verifica della stabilità del dato, avanzamento per conci; Potranno essere svolte analisi più approfondite al fine di stabilire se le deformazioni siano compatibili con requisiti di funzionalità/estetici accettabili per la committenza.
	valore di allarme	$> \pm 1/250$	L'appaltatore deve immediatamente informare la DL e riferire quali misure intende attuare per arrestare l'evoluzione delle deformazioni; L'avanzamento viene interrotto sino all'identificazione delle cause che hanno determinato la deformazione. Ove necessario si procede alla messa in sicurezza delle opere; La frequenza dei rilievi dei parametri monitorati deve essere ulteriormente aumentata; Ove ritenuto opportuno si procede con una messa in sicurezza delle opere e degli scavi I lavori riprendono a seguito dell'individuazione di soluzioni alternative/correttive per l'avanzamento, la cui validità viene comunque verificata costantemente.

Tabella 5.3 Distorsione angolare.

Cedimento verticale assoluto

Questa grandezza in sé può non avere ricadute particolari perché il cedimento verticale misurato in un punto non necessariamente comporta un cedimento differenziale e una distorsione angolare in una struttura. Ne consegue che il superamento della soglia di attenzione e di allarme del cedimento verticale di un unico punto può comportare un aumento della frequenza di monitoraggio ma, se non accompagnato dal superamento delle soglie, anche in altre grandezze rilevate sulle strutture, non comporta necessariamente una interruzione dei lavori. Per le soglie di attenzione ed allarme si stabiliscono i medesimi criteri adottati per gli altri parametri di controllo.



PARAMETRO DI RIFERIMENTO	DEFINIZIONE VALORE	VALORE	AZIONI
Cedimento assoluto verticale S (mm)	valore atteso	≤ 20.0mm	Le operazioni di scavo procedono normalmente; La frequenza dei rilievi dei parametri monitorati non viene variata; La velocità e la modalità di avanzamento dello scavo è adeguata.
	valore di attenzione	> 20.0mm	Deve essere informata la DL; l'appaltatore riferisce quali misure intraprende per arrestare l'evoluzione delle deformazioni e, se ritenuto necessario al fine di garantire la piena funzionalità delle strutture, rientrare al di sotto della soglia di attenzione; E' necessaria una verifica del modello geologico di progetto; La frequenza dei rilievi dei parametri monitorati deve essere aumentata; Controllo/verifica della stabilità del dato, delle modalità esecutive degli scavi e di posa dei sostegni/rivestimenti; Potranno essere svolte analisi più approfondite al fine di stabilire se le deformazioni siano compatibili con requisiti di funzionalità/estetici accettabili per la committenza.
	valore di allarme	> 40.0 mm	L'appaltatore deve immediatamente informare la DL e riferire quali misure intende attuare per arrestare l'evoluzione delle deformazioni; La frequenza dei rilievi dei parametri monitorati deve essere ulteriormente aumentata; Si procede con una verifica dello stato di consistenza delle strutture attigue e con un controllo della rispondenza degli altri parametri di controllo;

Tabella 5.4 Cedimento verticale assoluto.

Rotazione rigida

Per gli edifici (siano essi intelaiati in c.a. o in muratura) non si prevede di correlare direttamente la rotazione rigida all'attivazione di soglie di attenzione o di allarme che, comunque, sono state indicate. Questa grandezza, infatti, è meno rappresentativa di quelle sopra descritte nel caso di strutture sottoposte a spostamenti dell'ordine di grandezza di quelli attesi.



PARAMETRO DI RIFERIMENTO	DEFINIZIONE VALORE	VALORE	AZIONI
Rotazione assoluta muro di contenimento (fuori piano) (mm/m)	valore atteso	$\leq 0.25\text{mm/m}$	Le operazioni di scavo procedono normalmente; La frequenza dei rilievi dei parametri monitorati non viene variata; La velocità e le modalità di avanzamento dello scavo è adeguata.
	valore di attenzione	$>0.25\text{mm/m}$	Deve essere informata la DL; l'appaltatore riferisce quali misure intraprende per arrestare l'evoluzione delle deformazioni e, se ritenuto necessario al fine di garantire la piena funzionalità delle strutture, rientrare al di sotto della soglia di attenzione. E' necessaria una verifica del modello geologico di progetto; Si procede con una verifica dello stato di consistenza della struttura; La frequenza di acquisizione dei parametri monitorati deve essere aumentata; Riduzione della velocità di scavo, controllo/verifica della stabilità del dato, avanzamento per conci;; Incremento dei punti di monitoraggio lungo il muro posti a diverse quote e progressive.
	valore di allarme	$> 0.5 \text{ mm/m}$	L'appaltatore deve immediatamente informare la DL non appena il parametro ha superato la soglia di allarme e riferire quali misure intende attuare per arrestare l'evoluzione delle deformazioni e rientrare al di sotto della soglia di attenzione; La frequenza dei rilievi dei parametri monitorati deve essere ulteriormente aumentata; L'avanzamento deve essere interrotto sino all'identificazione delle cause che hanno determinato la deformazione; Si procede con una messa in sicurezza delle opere e degli scavi I lavori riprendono a seguito dell'individuazione di soluzioni alternative per l'avanzamento, la cui validità viene comunque verificata costantemente.

Tabella 5.5 Rotazione rigida.

5.4 Gestione dei dati

I dati acquisiti dal sistema di monitoraggio dovranno essere gestiti e rappresentati in modo da fornire, in modo rapido e completo, tutti gli elementi necessari ad una corretta valutazione dell'effettiva situazione in corso d'opera e della possibile evoluzione nel tempo, così da garantire un'efficace possibilità di intervento qualora ci sia uno scostamento rispetto alle previsioni progettuali e/o ai limiti prefissati.

Per una totale trasparenza e per garantire la massima efficacia all'azione di controllo è necessario che la raccolta e l'elaborazione dei dati avvenga in breve tempo e comunque nei limiti temporali stabiliti.

Tutte le schede tecniche e di taratura degli strumenti di monitoraggio, le certificazioni di accompagnamento e tutte le misure effettuate saranno archiviate in un'unica banca-dati messa a disposizione della DL e delle altre strutture di controllo al fine di effettuare i necessari approfondimenti.



5.5 Strumentazione prevista

Di seguito di riportano le tabelle riassuntive della strumentazione concernente il monitoraggio, si rimanda alle tavole "Opere di presidio e monitoraggio - Planimetrie e schemi" per ulteriori dettagli.

STRUTTURA	POSIZIONE	TIPOLOGIA STRUMENTO					
		CTC	L	CLP	FSM	VB3	INCL
EDIFICIO S1	FACCIATA	6	3	3	6	1	-
	EVENT.FACCIATA LAT.	4	2	2	4	-	-
EDIFICIO S2	FACCIATA	6	3	3	6	-	-
	EVENT.FACCIATA LAT.	4	2	2	4	-	-
EDIFICIO S3	FACCIATA	6	3	3	6	-	-
	EVENT.FACCIATA LAT.	4	2	2	4	-	-
VIADOTTO A1	PILA	2	1	1	3	1	-
VIADOTTO A2	PILA	2	1	1	3	1	-
PONTE P1	SPALLE	2	2	-	3	-	-
MURO M1	SPONDA SX	2	2	2	3	-	-
OPERE SOSTEGNO SCAVI	CORDOLO DI TESTA	-	22	-	-	-	2

Legenda :

CTC - Mira ottica per misure topografiche 3D a puntamento manuale

L - Punto di controllo per livellazioni topografiche di precisione

CLP - Clinometro a piastra da parete

FSM - Fessurimetro meccanico (a reticolo)

VB3 - Vibrometro triassiale

INCL - Inclinometro

Tabella 5.6 Tabella riassuntiva strumentazione zona imbocco e sbocco galleria e opere di sostegno provvisionali.



STRUTTURA	POSIZIONE	TIPOLOGIA STRUMENTO					
		CTC	L	CLP	FSM	VB3	INCL
PONTI LUNGO IL TORBELLA (P2 - P6)	SPALLE/PILE	15	-	10	10	-	-
MURI LUNGO IL TORBELLA (M2 - M11)	PARAMENTO	20	-	20	20	-	-

Legenda :

CTC - Mira ottica per misure topografiche 3D a puntamento manuale

CLP - Clinometro a piastra da parete

FSM - Fessurimetro meccanico (a reticolo)

Tabella 5.7 Tabella riassuntiva strumentazione opere lungo il torrente Torbella.