

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE GEOTECNICHE

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-ALBACINA

GEOTECNICA

Relazione tecnico-descrittiva del piano di monitoraggio

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I R O E 0 0 R 1 1 R H G E 0 0 0 6 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	V. La Torre	Dic 2021	G.Meneschincheri	Dic 2021	C. Urciuoli	Dic 2021	L. Berardi Lug 2022
B	EMISSIONE ESECUTIVA	V. La Torre	Lug 2022	G.Meneschincheri	Lug 2022	C. Urciuoli	Lug 2022	



File: IR0E00R11RHGE0006001B.doc

n. Elab.:

## Sommario

1	PREMESSA .....	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	3
3	DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI INTERVENTI INCLUSI NEL PROGETTO .....	4
3.1	EDIFICI IN ADIACENZA ALLE NUOVE OPERE FERROVIARIE E STRADALI .....	6
3.1.1	VALUTAZIONE DEL DANNO .....	10
3.2	TRINCEE FERROVIARIE .....	16
3.3	RILEVATI FERROVIARI .....	18
4	INDICAZIONI PER IL MONITORAGGIO .....	19
4.1	MONITORAGGIO SPOSTAMENTI E DEFORMAZIONI EDIFICI .....	19
4.2	MONITORAGGIO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI .....	20
4.3	MONITORAGGIO DEGLI SPOSTAMENTI DELLE OPERE DI SOSTEGNO .....	20
4.4	FREQUENZA DELLE MISURE .....	20
4.4.1	FASE DI ESECUZIONE LAVORI .....	20
4.4.2	FASE POST INTERVENTO .....	21
4.5	VALORI ATTESI E DI SOGLIA DEI PRINCIPALI PARAMETRI MONITORATI .....	21
4.6	SINTESI DELLA STRUMENTAZIONE PREVISTA .....	22

### 1 PREMESSA

## 1 PREMESSA

Nell'ambito del potenziamento infrastrutturale della Linea ferroviaria Orte-Falconara, il presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica riguarda il raddoppio della tratta PM228-Albacina.

Il PFTE si basa sullo studio di fattibilità redatto da RFI nel 2020 e sugli input di base comunicati dalla committenza nei mesi scorsi

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [1]. Relazione geotecnica generale e suscettibilità a liquefazione - IR0E00R11GEGE0006001A
- [2]. Relazione predimensionamento Opere di Sostegno – IR0E00R11CLRI0005001A
- [3]. Relazione di predimensionamento rilevati e trincee ferroviarie – IR0E00R11CLGE0006001A
- [4]. Planoprofilo geotecnico di linea - IR0E00R11F5GE0006001A
- [5]. Sezioni Geotecniche - IR0E00R11W8GE0006001A
- [6]. Opere di sostegno - Sezioni tipologiche Tav.1-IR0E00R11WZRI0005001A
- [7]. Opere di sostegno - Sezioni tipologiche Tav.2-IR0E00R11WZRI0005002A
- [8]. Planoprofilo su cartografia - IR0E00R14L5IF0001001A
- [9]. Planoprofilo su ortofoto - IR0E00R14L5IF0001002A

### 3 DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI INTERVENTI INCLUSI NEL PROGETTO

L'intervento inizia dal PM228, posto alla progressiva Km 228+014, il progetto prevede un raddoppio in stretto affiancamento alla Linea storica per circa 4 Km.

È prevista una viabilità sostitutiva per la soppressione del PL posto alla progressiva Km 229+436.

Successivamente il tracciato prosegue sempre con raddoppio in affiancamento realizzato per fasi, con un'alternanza di tratti in rilevato e in trincea.

Si arriva infine alla stazione di Albacina nella quale viene previsto un nuovo PRG per rispondere alle richieste funzionali della Committenza; verrà realizzato un nuovo sovrappasso, dei collegamenti perdonali (rampe scale ed ascensori), e nuovi marciapiedi L utile pari a 250 m e H=55 cm.

I marciapiedi verranno dotati di nuove pensiline ferroviarie. Nella stazione verranno creati i percorsi per le PMR percorsi tattili e segnaletica.

Saranno previsti inoltre, dal punto di vista impiantistico nella stazione di Genga:

- illuminazione punte scambi;
- impianti RED;
- illuminazione scale, banchine
- impianti IaP e DS

Nell'area della stazione verrà realizzato un Fabbricato Tecnologico con annesso locale di Consegna ENEL.

Successivamente il tracciato prosegue a semplice binario e si collega con la linea esistente che prosegue, da un lato verso Falconara, e dall'altro verso Macerata.

Nei pressi della stazione di Albacina viene prevista anche l'adeguamento della Cabina TE realizzata da RFI e necessaria per gestire il corretto assetto delle protezioni della LdC e garantire l'equipotenzialità delle condutture, visto che la linea, come detto in precedenza, prosegue a semplice binario.

Infine, sono previsti lungo il tracciato tratti di barriere antirumore di lunghezza complessiva pari a circa 1.200 m (tra BD e BP) e di altezza mediamente pari a 5,5 metri.

Lungo il tracciato sono state risolte due interferenze stradali:

NV01: in prossimità di Via Ermanno Casoli;

NV02: a valle dell'area di servizio della sovrastante S.S.76;

Sono inoltre previste le seguenti Nuove Viabilità di accesso ai Piazzali di Manutenzione:

NVP01: che si sviluppa parallelamente alla linea fino alla pk 0+609.869, per l'accesso al Posto di Manutenzione PM228;

NVP02: accesso al Posto di Manutenzione di Albacina, alla pk 2+173.224;

Nel seguito sono descritte le caratteristiche salienti delle opere per le quali è stata valutata la necessità di prevedere un sistema di monitoraggio. In particolare, oltre che per gli edifici posti in stretta adiacenza alle infrastrutture di progetto, la opportunità di prevedere un piano di monitoraggio è stata valutata anche per le opere previste in progetto. Nei tratti in trincea, il piano di monitoraggio dovrà prevedere il controllo degli spostamenti delle paratie, mentre, nei tratti in rilevato, si analizzeranno i cedimenti nelle sezioni di raddoppio in affiancamento per valutarne gli effetti sul binario esistente in esercizio.

### **3.1 Edifici in adiacenza alle nuove opere ferroviarie e stradali**

Il raddoppio dell'attuale tratta compresa tra la zona industriale est di Fabriano e la Stazione di Albacina e le viabilità ad essa connesse vengono inseriti in aree poco antropizzate. L'area oggetto dell'intervento, infatti, in virtù della morfologia prevalentemente pianeggiante del territorio, è caratterizzata dalla presenza di pochi insediamenti a prevalente carattere industriale (Cartiere di Fabriano) e da alcune arterie stradali, tra cui la S.S.76.

Tuttavia, sebbene l'area sia caratterizzata da un territorio a bassa densità insediativa, nei casi che di seguono si illustrano, le infrastrutture sono collocate in stretta adiacenza all'edificato esistente.

Tra le progressive 0+700 e 1+150 circa, si individua la nuova viabilità NV01, necessaria a garantire gli accessi alle abitazioni intercluse dal torrente Giano e dalla linea ferroviaria che, in questo tratto, si sviluppa in trincea. La NV01 si stacca da Via Ermanno Casoli tra il ponte ed il passaggio a livello, sottopassa la S.S.76 in corrispondenza del viadotto esistente, si affianca alla ferrovia e raggiunge il gruppo di case da Nord-Ovest. Si è posta l'attenzione sulla possibile interferenza degli interventi previsti sugli edifici esistenti nel tratto indicato. La sede ferroviaria in tale punto è sostanzialmente a raso, mentre l'altezza del rilevato costituente la sezione trasversale della viabilità è di modesta entità. Pertanto, non essendo previsti né scavi, né ricariche importanti di materiale in stretta adiacenza, non si prevedono effetti indotti dalla costruzione delle opere sugli edifici indicati.



*Figura 1 – NV01 – collegamento Via Ermanno Cosoli e gruppo di case intercluso dalla linea ferroviaria ed il torrente Esino*

Tra le progressive 2+700 e 2+920 circa, la nuova linea ferroviaria interferisce con la strada esistente a valle dell'area di servizio della sovrastante S.S.76: l'interferenza è risolta con la realizzazione di un nuovo tratto di viabilità (NV02), che prevede lo spostamento del tracciato esistente più a monte, compatibilmente con la presenza dell'area di servizio.



Figura 2 – NV02- Viabilità a valle dell'area di servizio della sovrastante S.S.76

La soluzione prevista ha comportato l'esigenza di inserire tre ordini di opere di sostegno, a presidio della linea ferroviaria e della viabilità: il primo, a monte della linea ferroviaria, di tipo TP-A, costituito da una doppia paratia a sbalzo con pali di diametro 1200mm, lunghezza 19.00m ed interasse longitudinale e trasversale 1.40m; il secondo, a monte della viabilità, di tipo TP-B, costituito da una paratia pluritirantata, con pali di diametro 1200mm, lunghezza 20.00m ed interasse 1.40m, il terzo sempre a monte della viabilità, tipo TP-B, costituito da una paratia a sbalzo con pali di diametro 1200mm, lunghezza 20.00m ed interasse 1.40m.

Per le opere a presidio della viabilità, tra le progressive 0+290 e 0+546 della NV02, la paratia di tipo TP-B si sviluppa in stretta adiacenza all'area di servizio (Figura 4). In particolare, tra le progressive 0+290 e

0+345 della NV02, ovvero a cavallo dell'autogrill (Figura 5), la soluzione adottata è del tipo TP-B1 per altezze di scavo massime di circa 4.30m, per evitare interferenze tra fondazioni e tiranti di ancoraggio. In particolare, alla progressiva 0+328.49 essa viene realizzata in adiacenza alle fondazioni dell'autogrill. E' proprio in questa sezione, considerata la più critica in virtù della posizione ravvicinata tra autogrill ed opere di sostegno, che si sono studiati gli effetti indotti dagli interventi previsti sull'edificio attraverso una stima dei cedimenti ed una successiva valutazione del possibile danno.

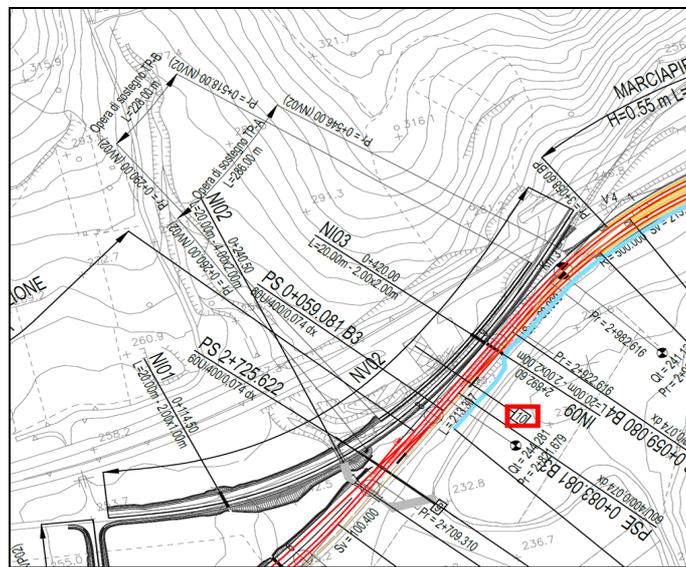


Figura 3 – NV02 – Individuazione sezione di studio effetti indotti su area di servizio

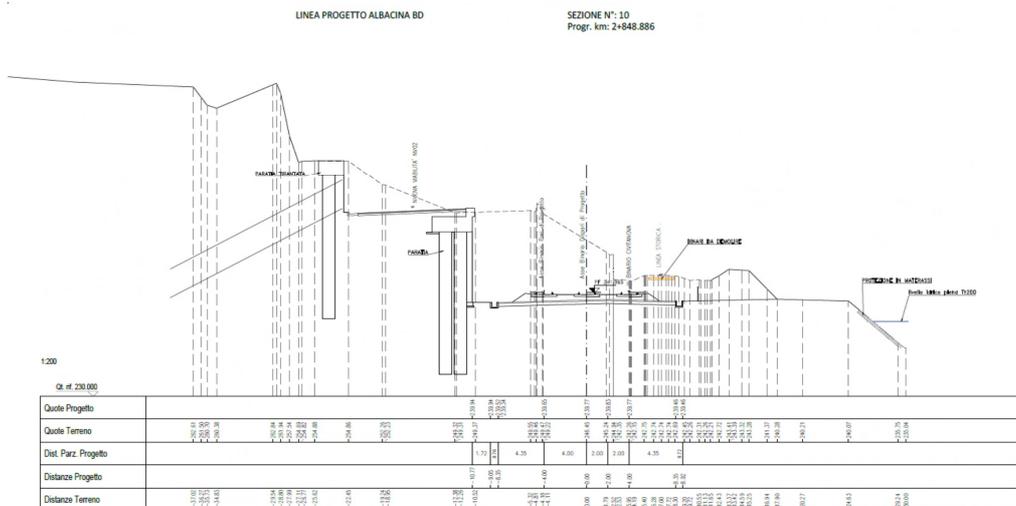


Figura 4 – NV02 – Individuazione sezione di studio effetti indotti su area di servizio

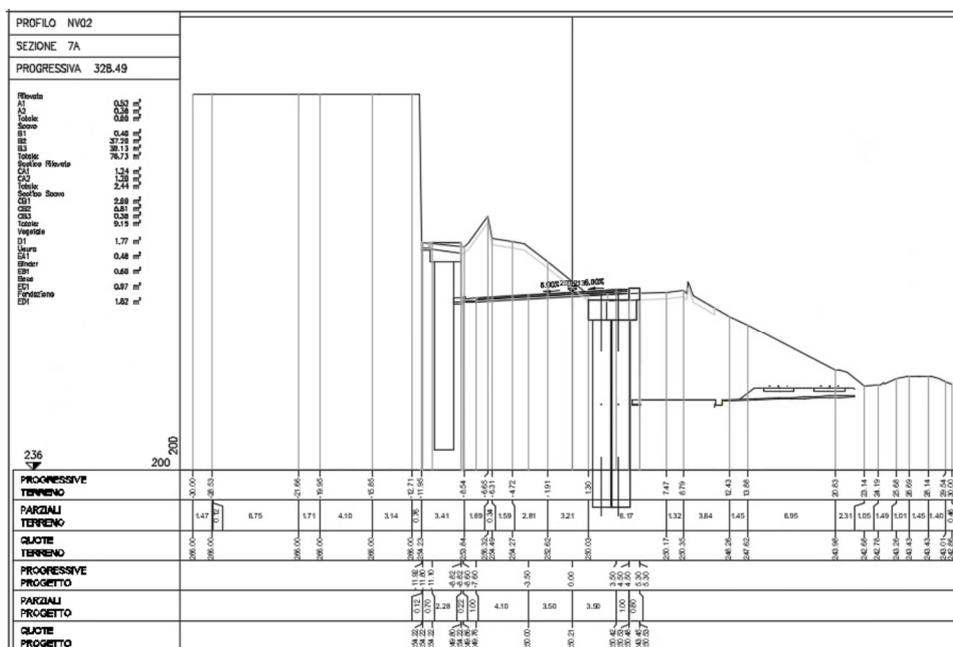


Figura 5 – NV02-Sezione di studio effetti indotti su area di servizio a cavallo dell'autogrill

### 3.1.1 Valutazione del danno

Per valutare il rischio di danneggiamento degli edifici determinato da scavi eseguiti in prossimità è anzitutto necessario classificare le possibili tipologie di danno. La stima di un danno può essere fortemente soggettiva, condizionata dall'esperienza locale e dal tipo di approccio del professionista che la esegue.

La più semplice classificazione oggettiva di danni sulle strutture prevede 3 categorie di danno:

- 1) danni che inficiano l'aspetto estetico;
- 2) danni che compromettono la funzionalità della struttura;
- 3) danni che compromettono la stabilità della struttura.

Al crescere dei cedimenti il danno sull'edificio aumenta, passando dalla categoria 1 alla categoria 3.

Il sistema di classificazione attualmente più utilizzato è quello riportato nella Tabella 1, basato sulla facilità di riparazione del danno visibile. La classificazione definisce 6 categorie di danno (0-5) di severità crescente. Le prime 3 (0,1 e 2) sono riferite a danni di carattere estetico, la 3 e 4 a danni che influenzano la funzionalità dell'opera, mentre la 5 descrive danni che incidono sulla stabilità dell'edificio.

Categoria di danno	Grado di severità	Descrizione
0	Trascurabile	Fessure capillari con apertura $\leq 0.1\text{mm}$
1	Molto lieve	Fessure sottili cui si rimedia facilmente con lavori di tinteggiatura. Il danno è in genere limitato agli intonaci delle pareti esterne. Fessure alle pareti esterne rilevabili con attento esame. Tipica apertura delle lesioni $\leq 1\text{mm}$
2	Lieve	Fessure facilmente stuccabili, tinteggiatura necessaria. Le fessure ricorrenti possono essere mascherate con opportuni rivestimenti. Fessure visibili anche dall'esterno: può essere necessaria qualche ripresa della stillatura per garantire l'impermeabilità. Possibili difficoltà nell'apertura di porte e finestre. Tipica apertura delle lesioni $\leq 5\text{mm}$
3	Moderata	Le fessure richiedono cucì e scuci della muratura. Anche all'esterno sono necessari interventi sulla muratura. Possibile blocco di porte e finestre. Rottura di tubazioni. Spesso l'impermeabilità non è garantita. Tipica apertura delle lesioni 5-15mm oppure numero elevato di lesioni con apertura $\leq 3\text{mm}$
4	Severa	Necessarie importanti riparazioni, completa demolizione e ricostruzione di parti di muri, specie al di sopra di porte e finestre. I telai di porte e di finestre si distorcono: percepibile pendenza dei pavimenti. Muri inclinati o spanciati; qualche perdita d'appoggio di travi. Tubazioni distrutte. Tipica apertura delle lesioni 15 – 25mm, dipendente anche dal numero di lesioni.
5	Molto Severa	Richiesti importanti lavori con parziale o totale demolizione e ricostruzione. Le travi perdono l'appoggi, i muri si inclinano fortemente e richiedono puntellatura. Pericolo di instabilità. Tipica apertura delle lesioni $\leq 25\text{mm}$ , dipendente anche dal numero di lesioni.

Tabella 1: Classificazione del danno

Il passaggio tra le categorie 2 e 3 rappresenta una importante frontiera. Lo studio di numerosi casi reali ha mostrato che i danni che ricadono nelle categorie 0, 1 e 2 possono derivare sia da effetti propri delle strutture (ritiro, effetti termici) sia dai movimenti del terreno; individuare la vera causa è molto difficile. Per le categorie superiori le cause sono frequentemente associate a movimenti del terreno.

Diversi autori si sono occupati del problema della valutazione del danno indotto sugli edifici dallo scavo delle gallerie O A cielo aperto ed hanno proposto metodi semplificati dello studio di interazione. In numerosi criteri proposti la deformata di una fondazione viene definita attraverso i valori di alcune grandezze caratteristiche: il cedimento massimo,  $w_{\max}$ , il cedimento differenziale,  $\delta$ , l'inflessione,  $\Delta$ , la rotazione relativa o distorsione angolare,  $\beta$ , il rapporto di inflessione o curvatura,  $\Delta/L$ . La valutazione del danno si basa sull'entità di queste grandezze attese in condizioni di green-field, stimate con relazioni empiriche.

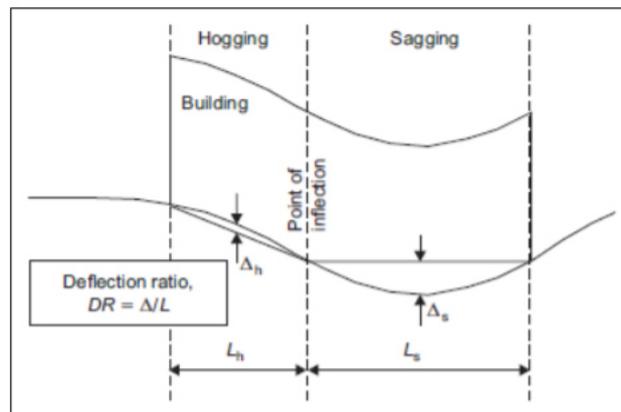
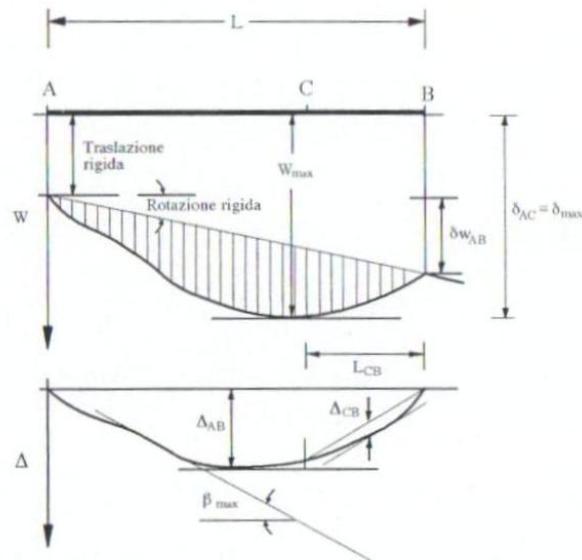


Figura 6: Parametri per definire la deformata di una fondazione

Skempton e McDonald (1956), sulla base dell'evidenza sperimentale, affermavano che per  $\beta \leq 1/300$  non si erano verificate in nessun caso apprezzabili fessurazioni delle murature portanti o di tamponature; per osservare danni a strutture portanti in c.a. occorreva invece che  $\beta$  raggiungesse il valore di  $1/150$ .

Polshin e Tokar indicarono invece un valore massimo ammissibile di  $\beta$  di  $1/500$  per edifici intelaiati in c.a. con pannelli e tamponature; per telai aperti, il limite di danneggiamento veniva indicato in  $\beta \geq 200$ .

Nella successiva tabella sono riportate queste ed altre indicazioni fornite da diversi autori sul valore ammissibile di  $\beta$  e del rapporto di inflessione  $\Delta/L$ .

Struttura	Tipo di danno	Valori ammissibili di $\beta$			
		Skempton e McDonald (1956)	Meyerhof (1974)	Polshin e Tokar (1957)	Bjerrum (1973)
Strutture intelaiate e murature armate	Alle strutture	1/150	1/250	1/200	1/150
	Ai tompagni	1/300	1/500	1/500	1/500
	Valori ammissibili di $\Delta/L$				
Murature portanti non armate	Deformata con concavità verso l'alto	0,4x10 <sup>-3</sup>	0,3+0,4x10 <sup>-3</sup> (L/H ≤ 3)	Burland e Wroth (1975)	
	Deformata con concavità verso il basso			0,4x10 <sup>-3</sup> (L/H = 1) 0,8x10 <sup>-3</sup> (L/H = 5)	0,2x10 <sup>-3</sup> (L/H = 1) 0,4x10 <sup>-3</sup> (L/H = 5)

Tabella 2: Valori ammissibili della rotazione relativa  $\beta$  e del rapporto di inflessione  $\Delta/L$  delle strutture

I valori ritenuti ammissibili sono alquanto variabili; in genere si tende a ritenere validi i valori più restrittivi se prevalgono i criteri di carattere estetico e funzionale e si ha a che fare con edifici nuovi e/o pregiati (edifici per civili abitazioni e per uso pubblico). I valori più elevati vengono ritenuti invece accettabili per gli edifici industriali.

Utilizzando alcune correlazioni è possibile trasformare le prescrizioni su  $\beta$  in indicazioni sul valore ammissibile del cedimento assoluto, anche se osservazioni su casi reali evidenziano che di per sé quest'ultimo non è molto dannoso se non accompagnato da distorsioni. Nella Tabella 3 è riportata un recente serie di indicazioni di carattere generale sui movimenti delle strutture.

Tipo di movimento	Fattore di limitazione	Valore ammissibile
Cedimento (cm)	Collegamento a reti di servizi	15 + 30
	Accessibilità	30 + 60
	Probabilità di cedimenti differenziali	
	Murature portanti	2,5 + 5
	Strutture intelaiate	5 + 10
	Ciminiere, silos	7,5 + 30
Inclinazione $\delta/L$	Stabilità al ribaltamento	Da verificare (cap. 16)
	Rotazione di ciminiere e torri	$\delta/H \leq 0,04$
	Operatività di macchine	
	Macchine tessili	0,003
	Turbogeneratori	0,0002
	Gru a ponte	0,003
	Drenaggio di superfici pavimentate	0,01 + 0,02
Rotazione relativa $\beta$	Murature portanti multipiano	0,0005 + 0,001
	Murature portanti ad un piano	0,001 + 0,02
	Lesioni di intonaci	0,001
	Telai in c.a.	0,0025 + 0,004
	Pareti di strutture a telaio in c.a.	0,003
	Telai in acciaio	0,002
	Strutture semplici di acciaio	0,005

NB: L = distanza tra due pilastri adiacenti; H = altezza di ciminiere e torri. I valori ammissibili più elevati si riferiscono a strutture più flessibili ed a condizioni di sottosuolo uniformi; i valori più ridotti a strutture rigide e condizioni di sottosuolo irregolari

Tabella 3: Valori ammissibili dei movimenti delle strutture

In riferimento al caso in esame, al fine di valutare il rischio di danno indotto sull'autogrill dagli interventi di progetto, si è condotta in primo luogo una stima preliminare dei cedimenti. Essa è stata effettuata tramite modellazione agli elementi finiti della sezione precedentemente indicata (Figura 5), attraverso il Software PLAXIS. Gli effetti, in termini di cedimento, sono stati valutati in riferimento alla quota di -3.00m rispetto al cordolo della paratia a monte della viabilità, coincidente con il piano di fondazione dell'edificio, considerando che è presente anche un piano interrato. Si riportano, dunque, i cedimenti ottenuti:

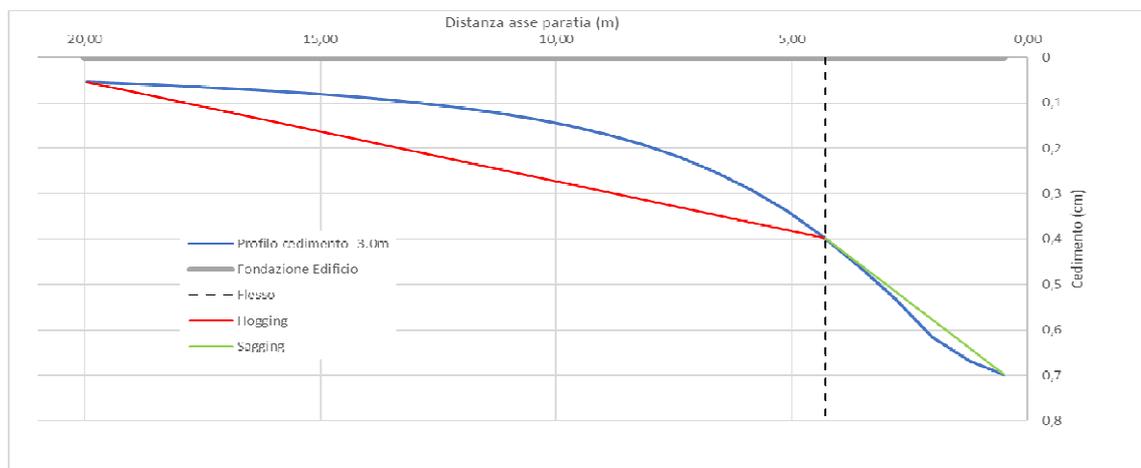


Figura 7: Cedimenti al piano di fondazione dell'Autogrill S.S.76

Si precisa che tali risultati sono stati ottenuti nell'ipotesi, a vantaggio di sicurezza, che fino alla quota di - 3.00m dal cordolo della paratia a monte della viabilità il terreno contribuisca alla spinta sull'opera di sostegno. In realtà, essendo presente un piano interrato, è possibile affermare che non ci sono spinte sui primi 3m di opera.

Si è proceduto successivamente alla valutazione degli altri parametri cinematici che definiscono la deformata della fondazione dell'edificio. Si riporta un quadro di sintesi dei parametri di deformazione massimi calcolati e quelli ritenuti ammissibili, con riferimento alle due zone della curva:

- Primo tratto: deformata di Sagging –  $\Delta s/L_s$ ;  $\beta_s$
- Secondo tratto: deformata di Hogging –  $\Delta h/L_h$ ;  $\beta_h$

<b>Cedimento (cm)</b>		
	Valore calcolato	Valore ammissibile
Sagging zone	0,698	5
Hogging zone	0,397	5
<b>Distorsione angolare <math>\beta</math></b>		
	Valore calcolato	Valore ammissibile
Sagging zone	0,00029	0,0025
Hogging zone	0,00062	0,0025
<b>Rapporto di inflessione <math>\Delta/L</math></b>		
	Valore calcolato	Valore ammissibile
Sagging zone	8,8E-05	0,0004
Hogging zone	8,2E-05	0,0004

Tabella 4: Confronto parametri di deformazione massimi calcolati e ammissibili

Si nota che tutti i parametri di deformazione massimi calcolati sono inferiori a quelli ammissibili.

### 3.2 Trincee ferroviarie

Il tracciato della linea PM228 – Albacina si sviluppa per intero nella valle del torrente Giano, affluente del fiume Esino. La morfologia del territorio è, dunque, prevalentemente pianeggiante.

Per tale motivo, sono pochi e brevi i tratti in cui l’inserimento della ferrovia e delle nuove viabilità ha condotto a prevedere trincee di altezza considerevole. Per il sostegno delle scarpate, nelle sezioni più gravose, sono stati previsti i seguenti interventi tipologici:

WBS	Progressiva		Tipologico	Altezza massima (m)	Sviluppo (m)
	da (km)	a (km)			
TR01 (sx)	0+300	0+340	TP-E	3.0	40
TR01 (sx)	0+340	0+640	TP-D	7.0	300
TR01 (sx)	0+640	0+740	TP-E	3.0	100
TR02 (sx)	1+630	1+720	TP-C	7.0	90
TR06 (sx)	3+730	3+840	TP-F	3.0	110
NV02 (dx)	0+260	0+546	TP-A	7.5	286
NV02 (sx)	0+290	0+518	TP-B	7.0	228

*Tabella 5 – Tipologici di intervento sulle scarpate*



### 3.3 Rilevati ferroviari

La tratta PM228-Albacina si configura per tutta la sua estensione in un intervento di raddoppio ferroviario in stretto affiancamento. Per tale motivo, laddove il tracciato si sviluppa in rilevato, la sezione tipologica di riferimento è sempre quella rappresentata dal tipologico in Figura 10.

I rilevati ferroviari sono realizzati con scarpate aventi pendenza 3H:2V e con altezze contenute, inferiori ai 6m. Nella Figura 11 si rappresenta la configurazione più critica per l'intervento in oggetto ed analizzata nel documento di riferimento N.**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

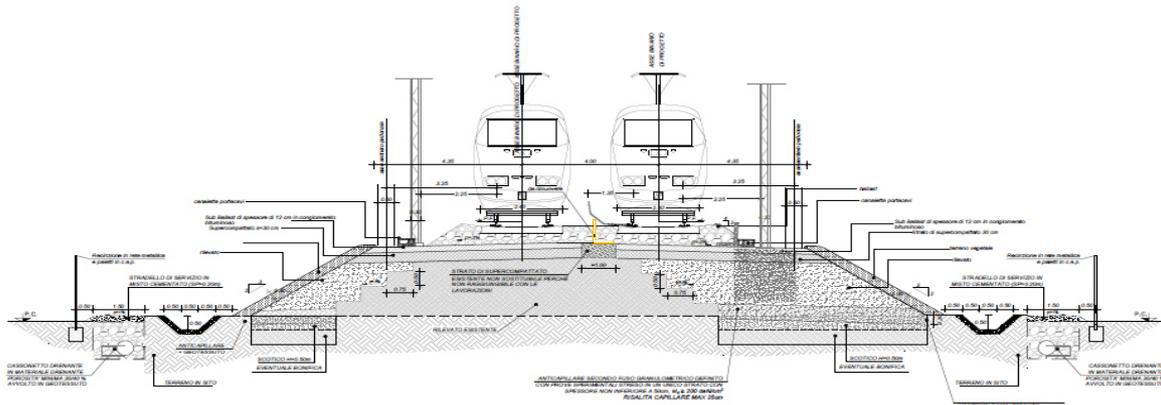


Figura 10 – Sezione tipo rilevato ferroviario

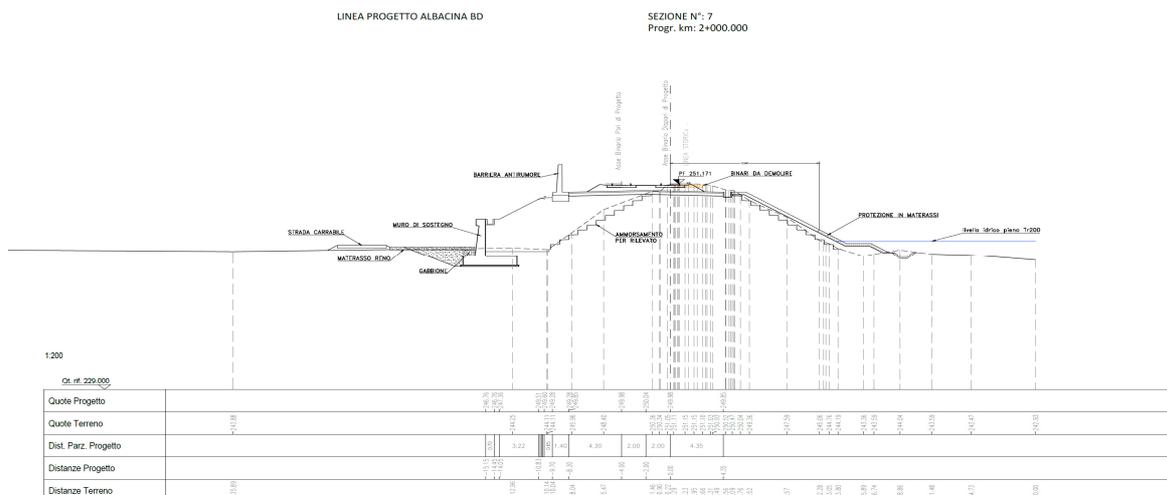


Figura 11 – Sezione trasversale alla pk 2+000

#### 4 INDICAZIONI PER IL MONITORAGGIO

Il piano di monitoraggio di cui si delineano nel seguito le caratteristiche fondamentali è sostanzialmente finalizzato al controllo del comportamento di:

- Edifici preesistenti in prossimità delle nuove infrastrutture;
- Trincee ferroviarie e stradali sostenute mediante opere di sostegno, in corrispondenza delle sezioni più critiche;
- Rilevati ferroviari realizzati in stretto affiancamento rispetto alla linea ferroviaria esistente, in corrispondenza delle sezioni più critiche.

L'analisi e l'interpretazione dei dati di misura consentirà di validare le ipotesi formulate in sede di progetto ed i modelli impiegati per il dimensionamento degli interventi delle scarpate.

Di seguito si illustrano le tipologie di misure e strumentazioni che si ritengono idonee ad essere utilizzate per il monitoraggio delle opere in esame e una possibile configurazione del piano di monitoraggio per le opere incluse in progetto è sintetizzata nel paragrafo § 4.6.

Quanto riportato è da intendersi una prima ipotesi che dovrà essere valutata e integrata nell'ambito dei fisiologici approfondimenti da operare nelle successive fasi progettuali.

##### 4.1 Monitoraggio spostamenti e deformazioni edifici

Il controllo degli spostamenti indotti sugli edifici interferenti viene effettuata con:

- stazioni totali robotizzate con trasmissione a distanza delle misure;
- mire ottiche disposte sulle facciate degli edifici posizionati nell'area di subsidenza della galleria;
- fessurimetri (eventuali) disposti sulle fessure esistenti di particolare rilevanza strutturale, eventualmente remotizzabili.

Il numero delle mire dipende dai seguenti fattori:

lunghezza dell'edificio;

posizione dell'edificio da monitorare rispetto al profilo di cedimento;

possibilità pratica di rilievo.

L'installazione delle mire ottiche e il rilievo degli spostamenti devono essere effettuati lungo muri perimetrali che siano accessibili e comunque monitorabili. Si precisa che la posizione ottimale dei target ai fini del monitoraggio è orientativamente fra i 2.5 e 3 m dal piano di calpestio e cioè al di fuori della immediata accessibilità. Tale criterio è ovviamente soggetto alle limitazioni dovute alla presenza di ostacoli e alla possibilità di traguardare con i teodoliti automatici.

Eventuali fessurimetri verranno posizionati a cavallo delle preesistenti fessure degli edifici in modo tale da permettere il rilievo degli spostamenti relativi tra i lembi della fessura.

#### **4.2 Monitoraggio dei cedimenti dei rilevati**

L'entità dei cedimenti indotti, in particolare nelle sezioni di raddoppio in affiancamento per valutare gli effetti sul binario esistente in esercizio, sarà verificata mediante il monitoraggio topografico di capisaldi posti in corrispondenza della piattaforma ferroviaria.

#### **4.3 Monitoraggio degli spostamenti delle opere di sostegno**

Per il controllo degli effetti indotti dallo scavo sulle strutture delle opere di sostegno si procederà al posizionamento, sul cordolo di coronamento delle paratie, di mire topografiche per il controllo dello spostamento orizzontale in testa alla paratia.

Tale strumentazione dovrà essere inserita in alcune sezioni ritenute rappresentative delle condizioni critiche presenti lungo le trincee di progetto.

#### **4.4 Frequenza delle misure**

Si riportano di seguito i criteri generali in merito alla frequenza di misure necessaria nelle due fasi di esecuzioni lavori e post operam.

##### **4.4.1 Fase di esecuzione lavori**

Le misure previste per la fase di esecuzione dovranno essere effettuate per tutta la fase dei lavori fino al completamento degli stessi.

Per le misure previste in questa fase si prevede la seguente frequenza di misura:

- Monitoraggio topografico edifici/opere di sostegno: 2 volte a settimana nelle fasi di esecuzione degli scavi;
- Monitoraggio dei cedimenti (sezioni di raddoppio in stretto affiancamento): le misure andranno eseguite con giornaliera per i primi 6 mesi dal completamento del rilevato e settimanale nei successivi 6 mesi.

La frequenza delle letture indicata costituisce una prima indicazione che dovrà trovare conferma nelle successive fasi della progettazione. Si osserva in ogni caso che, nella definizione del piano di monitoraggio definitivo, deve essere tenuta in conto la necessità di prevedere una intensificazione delle letture nel caso di superamento dei limiti di attenzione.

#### 4.4.2 Fase post intervento

Le misure previste per la fase successiva al completamento delle opere verranno eseguite per un periodo di 12 mesi, al termine dei quali si valuterà se proseguire ulteriormente le misure, in funzione dei risultati ottenuti nel primo periodo.

Qualora in fase di costruzione non si siano evidenziate criticità, in questa fase, potranno essere eseguite le misure con la seguente frequenza:

- Monitoraggio topografico edifici/opere di sostegno: 1 volta al mese;
- Monitoraggio dei cedimenti: le misure andranno eseguite con cadenza mensile durante tutto il tempo necessario per arrivare al grado di avanzamento del processo di consolidazione stabilito in progetto (pari al 95%).

#### 4.5 Valori attesi e di soglia dei principali parametri monitorati

I parametri monitorati ritenuti significativi per l'individuazione e la gestione delle soglie sono:

- Il valore dello spostamento massimo indotto sugli edifici nonché il controllo della formazione di possibili fessure;
- Il valore dello spostamento massimo del cordolo delle paratie;
- Il valore del cedimento massimo indotto sul binario in esercizio (raddoppio in stretto affiancamento).

Per ciascun parametro verrà definito il valore identificato come “**soglia di attenzione**”, definito con una percentuale prossima al 75 % del valore atteso nella specifica fase costruttiva (calcolato mediante analisi numeriche); il superamento della soglia di attenzione prevederà lo svolgimento di un’analisi dei fenomeni in atto (back-analysis) e ad un aumento delle frequenze di misura, al fine di comprendere se la tendenza al valore atteso rispetti quanto previsto o se sia necessaria la predisposizione di interventi integrativi, da adottare comunque al superamento della “**soglia di allarme**”.

La “soglia di allarme” si considera coincidente con l’estremo superiore del campo di valori attesi (valori di calcolo); il superamento della stessa dovrà comportare una taratura delle soluzioni progettuali individuate.

Prima dell’attivazione, il sistema di monitoraggio sarà sottoposto ad un periodo di osservazione per verificarne la corretta funzionalità e stabilità. A seguito dell’esame dei dati potranno essere riviste le modalità di gestione degli allarmi.

#### **4.6 Sintesi della strumentazione prevista**

Nel caso del monitoraggio degli edifici preesistenti, ciascun edificio ritenuto sensibile agli effetti degli scavi delle opere in progetto, dovrà essere dotato di un numero minimo di 3 mire ottiche per ogni parete perimetrale ricadente, anche solo in parte, nella zona soggetta a cedimenti.

Nel caso di strutture a telaio in c.a. sarà installata almeno una mira in corrispondenza di ciascun elemento strutturale verticale visibile o comunque rilevabile.

Nel caso del monitoraggio del comportamento delle opere di sostegno e dei rilevati in stretto affiancamento, si prevederà un numero di mire omogeneamente distribuite lungo lo sviluppo di interesse ad interasse trasversale 15m.