

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE GEOTECNICHE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

**LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA
 NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
 LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
 LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA**

PIANO PRELIMINARE DI MONITORAGGIO GEOTECNICO E STRUTTURALE

Relazione tecnico-descrittiva delle opere esistenti interferenti con l'infrastruttura ferroviaria

SCALA:

-

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

RC2A C1 R 11 RH OC0000 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	E.Sellari 	Dic-2021	L.Gianni-G.Spasserra 	Dic-2021	I.D'Amore 	Dic-2021	L.Berardi Lug-2023
B	Emissione esecutiva	E.Sellari 	Lug-2023	L.Gianni-G.Spasserra 	Lug-2023	I.D'Amore 	Lug-2023	



INDICE

1	PREMESSA	2
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
4	INTRODUZIONE	4
5	CRITERI PER LA STIMA DEI CEDIMENTI	5
6	PROCEDURA DI STIMA DELLE DEFORMAZIONI E DEFINIZIONE DEL PIANO DI MONITORAGGIO	9
6.1	INDIVIDUAZIONE DELLE OPERE DA ANALIZZARE	9
6.2	RACCOLTA DI INFORMAZIONI SUGLI EDIFICI DA ANALIZZARE.....	10
6.3	STIMA PRELIMINARE DELLE DEFORMAZIONI INDOTTE E DEL RISCHIO DI DANNI SUGLI EDIFICI.....	13
6.4	MONITORAGGIO E CONTROLLO IN CORSO D'OPERA	14
6.4.1	<i>Monitoraggio spostamenti del terreno</i>	<i>14</i>
6.4.2	<i>Monitoraggio degli spostamenti delle paratie.....</i>	<i>15</i>
6.4.3	<i>Monitoraggio spostamenti e deformazioni edifici</i>	<i>15</i>
6.4.4	<i>Lettura di zero e Frequenze di misura.....</i>	<i>16</i>
6.4.5	<i>Valori attesi e di soglia dei principali parametri monitorati</i>	<i>16</i>

1 PREMESSA

La presente progettazione di fattibilità tecnica ed economica ha ad oggetto il **lotto 1c Buonabitacolo – Praia**, parte finale del lotto 1.

Il progetto ferroviario del lotto 1C ha origine in corrispondenza del precedente lotto 1B (punta scambi estrema della stazione di Buonabitacolo lato Reggio Calabria). L'estesa complessiva dell'intervento è di circa 44,7 km con una velocità di tracciato di 300 km/h, mentre il collegamento a Praia a Mare è caratterizzato da una velocità di tracciato pari a 100km/h.

Il tracciato attraversa i territori di:

- Montesano sulla Marcellana, Casalbuono e Casaleto Spartano nella provincia di Salerno;
- Lagonegro, Rivello, Trecchina e Maratea nella provincia di Potenza;
- Tortora e Praia a Mare nella provincia di Cosenza.

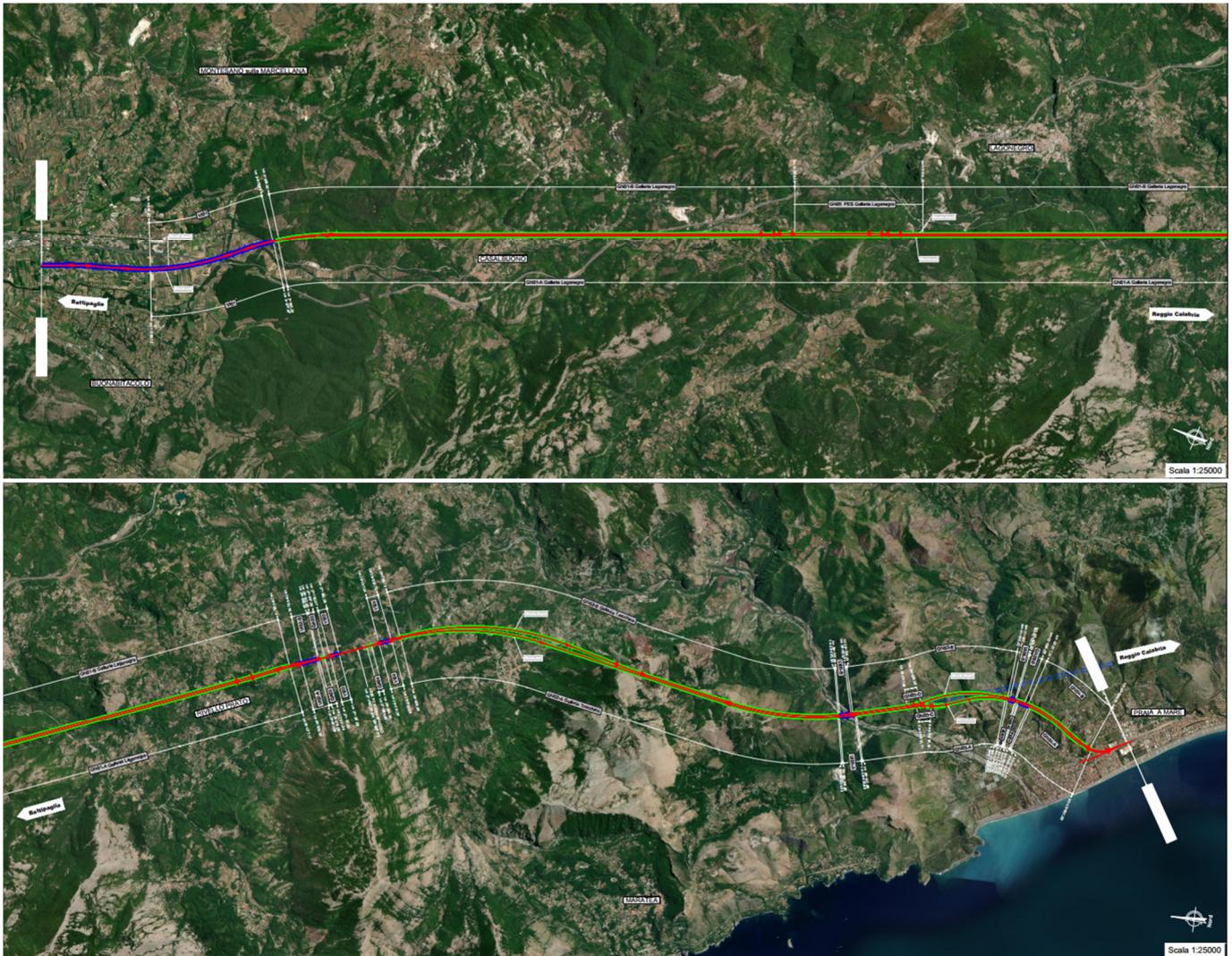


Figura 1 Lotto 1c Buonabitacolo – Praia. Corografia dell'intervento

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Gli elaborati grafici a cui si fa riferimento nella presente relazione sono:

- Planimetria delle opere esistenti interferenti con l'infrastruttura ferroviaria (RC2A.C.1.R.11.P6.OC.00.0.0.001)
- Schede di censimento degli edifici e delle strutture interferenti con l'opera (RC2A.C.1.R.11.SH.OC.00.0.0.001)
- GA03 - Planimetria di inquadramento galleria artificiale (RC2A.C.1.R.11.P7.GA.03.0.0.002)
- GA04 - Planimetria di inquadramento galleria artificiale (RC2A.C.1.R.11.P7.GA.04.0.0.002)
- Relazione di predimensionamento delle gallerie artificiali (RC2A.C.1.R.11.CL.GA.00.0.0.001)

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1]. Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30;
- [2]. Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- [3]. RFI DTC SI CS MA IFS 001 del 2021 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”;
- [4]. RFI DTC SI CS SP IFS 004 del 2021- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI.
- [5]. UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [6]. UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

4 INTRODUZIONE

Il tracciato della nuova linea ferroviaria si sviluppa a tratti in aree periurbane interferendo numerose opere esistenti (edifici, etc), pertanto assume notevole importanza la valutazione degli effetti prodotti dagli scavi sulla sicurezza e sulla funzionalità delle opere esistenti ricadenti nelle aree adiacenti alla nuova infrastruttura.

Lo studio rigoroso degli effetti, in termini di cedimenti indotti da scavi a cielo aperto, è difficile e incerto, poiché implica la conoscenza di dettaglio del modello geotecnico, la precisa successione e la tempistica delle fasi di realizzazione dell’opera, nonché l’utilizzo di leggi costitutive complesse e l’impiego di metodi di calcolo numerico. Un approccio di tal genere richiede la definizione di un modello che può essere calibrato in base ai dati derivanti da un monitoraggio dell’opera in costruzione, ma è difficilmente utilizzabile in fase di progetto e in particolar modo nell’ambito di un PFTE.

In questa fase della progettazione è tuttavia possibile ricorrere a metodi empirici e semi-empirici semplificati, basati sull’osservazione del comportamento di numerose opere in vera grandezza, allo scopo di ottenere una stima preliminare e approssimata, ma realistica, del cedimento e quindi del rischio ad esso associato.

Nel caso in esame lo studio dei cedimenti attesi a tergo delle strutture di sostegno e dei conseguenti effetti sugli edifici più prossimi agli scavi è stato articolato in più fasi. Sono state dapprima raccolte e ipotizzate una serie di informazioni preliminari sugli edifici che ricadono nel bacino di subsidenza indotto dallo scavo, anch’esso stimato. Le informazioni riguardano le principali dimensioni dell’edificio/opera, la posizione planimetrica rispetto all’asse

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO-PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione tecnico descrittiva sulla interferenza delle opere esistenti con l'infrastruttura ferroviaria	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO OC0000 001	REV. B

dello scavo, la tipologia strutturale e la presunta tipologia delle fondazioni. Per tutte le opere esistenti censite, sono stati stimati i cedimenti indotti dallo scavo.

Sebbene i risultati delle prime analisi sviluppate conducano a ritenere che gli effetti degli scavi sulle opere presenti nelle aree adiacenti siano molto contenuti, si è ritenuto opportuno definire le caratteristiche generali del piano di monitoraggio che dovrà essere in ogni caso predisposto durante la realizzazione delle opere ferroviarie. Nel corso della realizzazione delle opere ferroviarie infatti, il controllo di alcune grandezze significative consentirà di verificare le ipotesi progettuali e di adeguare, se necessario le modalità di scavo e la rigidità dei sostegni.

Quanto illustrato nel presente documento corrisponde a una prima valutazione dei fenomeni prodotti dalla realizzazione degli scavi delle opere ferroviarie. La stima dei cedimenti indotti dagli scavi dovrà essere aggiornata coerentemente ai fisiologici approfondimenti che il progetto maturerà all'avanzare delle fasi di progettazione, utilizzando preferibilmente metodi numerici, come analisi agli elementi finiti, che consentano di tener conto dei molteplici aspetti che influenzano l'interazione terreno-opera di sostegno, nonché prevedendo l'integrazione del rilievo delle caratteristiche geometriche e strutturali delle opere esistenti.

5 CRITERI PER LA STIMA DEI CEDIMENTI

Il profilo dei cedimenti del piano di campagna a tergo delle strutture di sostegno dipende, come detto, dalle condizioni geotecniche e idrogeologiche del sito, dal tipo di struttura di sostegno e dall'accuratezza delle lavorazioni di messa in opera degli eventuali contrasti (puntoni e tiranti) e di realizzazione degli scavi.

I movimenti del terreno a tergo della paratia vengono generalmente interpretati mediante i seguenti due cinematismi elementari.

- *Cinematismo tipo "a sbalzo"*

Nel caso di opere di sostegno non contrastate, ovvero nella fase iniziale degli scavi prima dell'installazione del primo livello di contrasti, la parete mostra la tipica deformata di strutture a sbalzo. In tali condizioni il terreno a tergo subisce degli spostamenti che risultano circa proporzionali all'inverso della distanza dalla parete, con una distribuzione circa triangolare.

- *Cinematismo tipo "profondo"*

Quando il movimento della parte superiore della struttura è impedito dalla presenza di uno o più livelli di supporti, la distribuzione degli spostamenti nel terreno è caratterizzata da movimenti profondi, al di sotto del piano di scavo. La deformata incrementale della parete presenta uno spanciamento con spostamenti

orizzontali massimi nell'intorno del fondo scavo (movimenti profondi). In tale circostanza i movimenti del piano campagna crescono con la distanza dalla parete fino ad un valore massimo per poi diminuire nuovamente ed annullarsi oltre una certa distanza limite.

La composizione di questi due cinematismi da luogo a cinematismi composti.

I metodi empirici attualmente disponibili in letteratura tendono a correlare gli spostamenti verticali massimi del piano campagna ($S_{v,max}$) con gli spostamenti orizzontali massimi della parete ($S_{w,max}$), questi ultimi di più facile determinazione.

La correlazione proposta da Mana & Clough (1981), successivamente modificata da Pane & Tamagnini (1997) è fatta sulla base di numerosi case-histories documentati in letteratura, con altezze di scavo comprese tra 6 m e 60 m, distinguendo le misure in base al cinematismo esibito dalla parete (tipo "a sbalzo" o "profondo").

L'interpolazione lineare dei dati sperimentali disponibili fornisce una relazione:

$$\frac{S_{v,max}}{S_{w,max}} \approx 0.94 \div 0.64 \quad (1)$$

Il limite superiore del rapporto si riferisce a strutture con cinematismo "profondo" e costituisce una correlazione molto soddisfacente dei risultati. Il valore inferiore fa riferimento a cinematismi di tipo "a sbalzo", i cui dati sperimentali sono meno numerosi e più dispersi. In generale si assume in via cautelativa:

$$\frac{S_{v,max}}{S_{w,max}} \approx 1.0 \div 0.7 \quad (2)$$

Noto lo spostamento verticale massimo, una stima dei movimenti al piano campagna può essere fatta mediante i profili di subsidenza normalizzati, espressi in termini di distanza relativa X/H pari al rapporto tra la distanza dalla parete di sostegno (X) e la profondità di scavo (H).

Per le strutture di sostegno non contrastate in cui prevale un comportamento deformativo “a sbalzo”, il profilo di subsidenza può essere determinato con una forma circa triangolare che si estende fino ad una distanza pari a circa $2 \cdot H$, ove H è la massima profondità di scavo. In questo caso, la distorsione angolare media a tergo della paratia sarà quindi la seguente:

$$\beta = \frac{S_{v,\max}}{2H} = \frac{0.7 S_{w,\max}}{2H} \quad (3)$$

Si riporta quello proposto sempre da Mana & Clough (1981), successivamente modificato da Pane & Tamagnini (1997) per strutture contrastate ovvero caratterizzate da cinematismi prevalentemente “profondi”. In questo caso le misure sperimentali sono ben approssimate da un inviluppo di forma trapezoidale che si estende fino ad una distanza pari a $2 \cdot H$ dalla parete e presenta un gradiente costante in corrispondenza della zona $0.75 \cdot H < X < 2 \cdot H$. Quindi la distorsione angolare media a tergo della paratia sarà la seguente:

$$\beta = \frac{S_{v,\max}}{1.25H} = \frac{S_{w,\max}}{1.25H} \quad (4)$$

Nel caso di edifici si dovrà quindi verificare che le distorsioni angolari non superino i valori ammissibili. In letteratura i valori di distorsioni angolari ammissibili per le strutture portanti sono indicati in $1/300 \div 1/250$ ($3.3 \div 4.0 \text{ ‰}$); mentre per le murature di tamponamento i valori scendono a $1/500 \div 1/300$ ($2.0 \div 3.0 \text{ ‰}$).

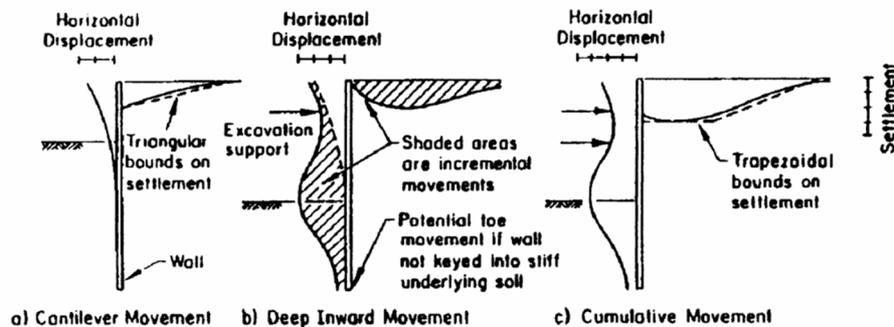


Figura 5-1– Cinematismi tipo (Clough & O'Rourke, 1990)

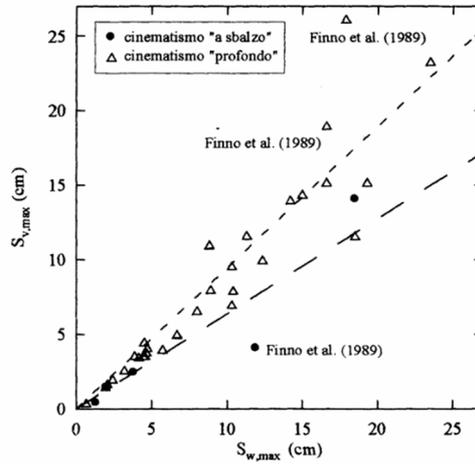


Figura 5-2– Correlazione tra cedimento massimo del piano campagna e spostamento max della parete (Pane e Tamagnini, 1997 dopo Mana & Clough, 1981)

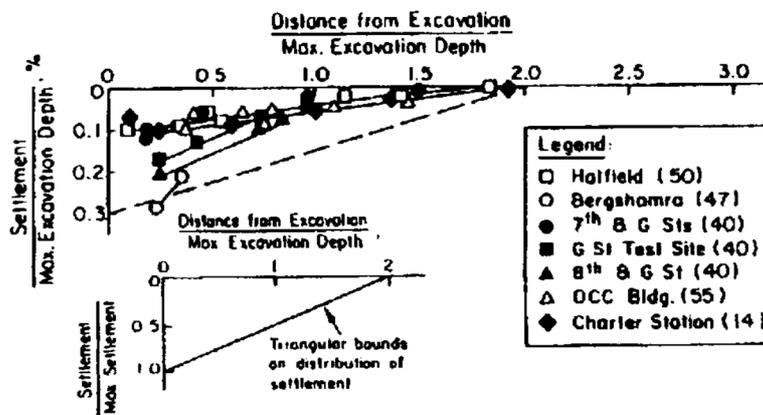


Figura 5-3– Spostamenti verticali misurati in funzione della distanza dalla parete (Clough & O'Rourke, 1990)

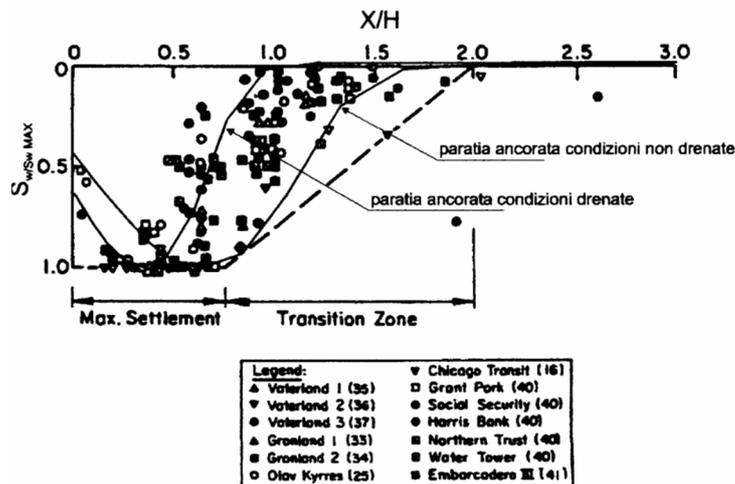


Figura 5-4– Profili di subsidenza normalizzati (Pane & Tamagnini, 1997 Mana & Clough, 1981)

6 PROCEDURA DI STIMA DELLE DEFORMAZIONI E DEFINIZIONE DEL PIANO DI MONITORAGGIO

Nel caso in esame la stima preliminare delle deformazioni indotte dagli scavi a cielo aperto e quindi del rischio associato di danni sulle opere ubicate nel bacino di subsidenza è stata condotta in più fasi:

- Valutazione preliminare dell'estensione del bacino di subsidenza ed individuazione degli edifici da analizzare
- Raccolta preliminare di informazioni sugli edifici ricadenti nel bacino di subsidenza;
- Stima preliminare delle deformazioni indotte e del rischio di danni sulle opere più significative in termini di vicinanza allo scavo, dimensioni e stato di conservazione.
- Individuazione delle opere che sulla base dei risultati di queste prime analisi dovranno essere sottoposte ad analisi di dettaglio nelle successive fasi progettuali
- Definizione preliminare di un piano di monitoraggio in corso d'opera.

6.1 Individuazione delle opere da analizzare

Per individuare le opere da analizzare, facendo riferimento ai grafici proposti da Pane & Tamagnini (Figura 5-4), si è ritenuta significativa la fascia compresa tra il ciglio dello scavo (o il bordo esterno della galleria) e, a favore di sicurezza, una distanza di 2.5 volte l'altezza di scavo H definita come in Figura 6-1.

Nella presente relazione, con altezza di scavo H si intende, nel caso delle gallerie artificiali, l'altezza complessiva dello scavo costituito dal prescavo necessario per arrivare a testa diaframmi (piano di lavoro) e dello scavo effettivo della galleria artificiale.

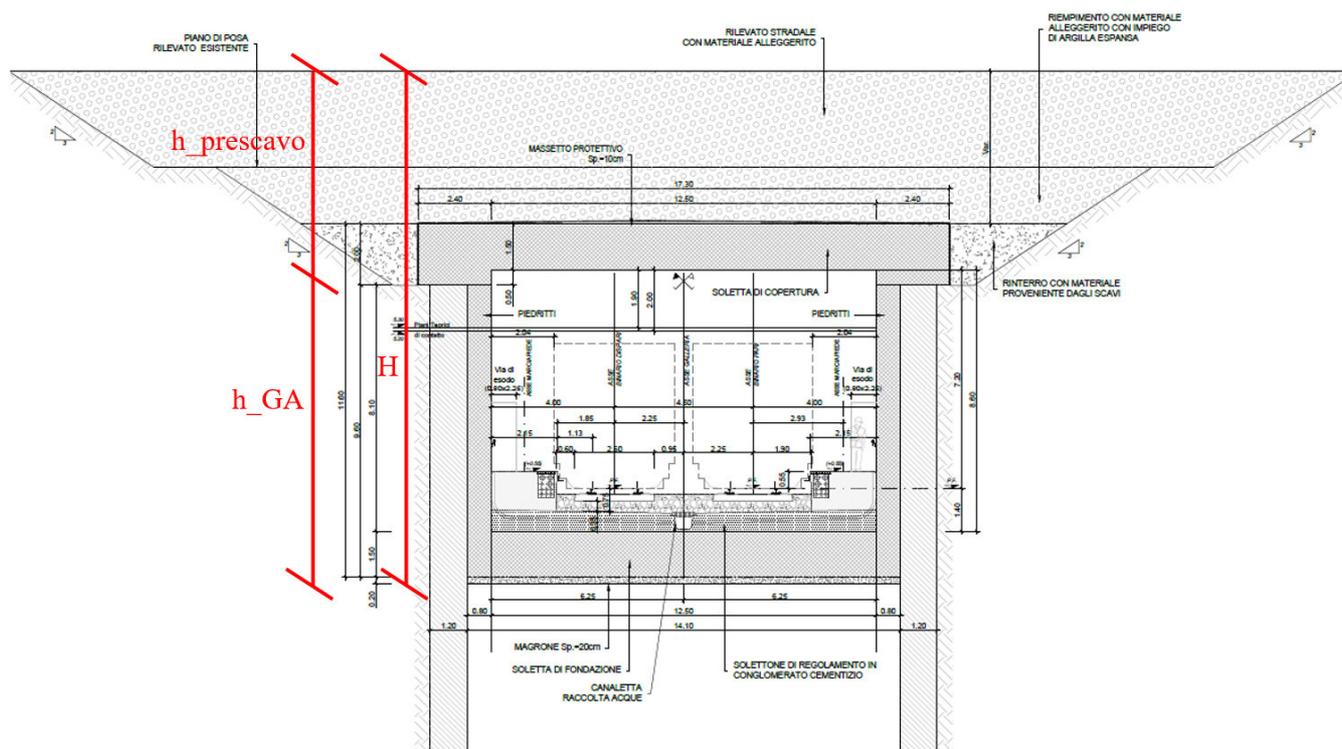


Figura 6-1 Altezza di scavo H considerata nei calcoli

Negli elaborati “Planimetria delle opere esistenti interferenti con l'infrastruttura ferroviaria” (RC2A.C.1.R.11.P6.OC.00.0.0.001) sono indicati tutti gli edifici ricadenti in questa fascia.

6.2 Raccolta di informazioni sugli edifici da analizzare

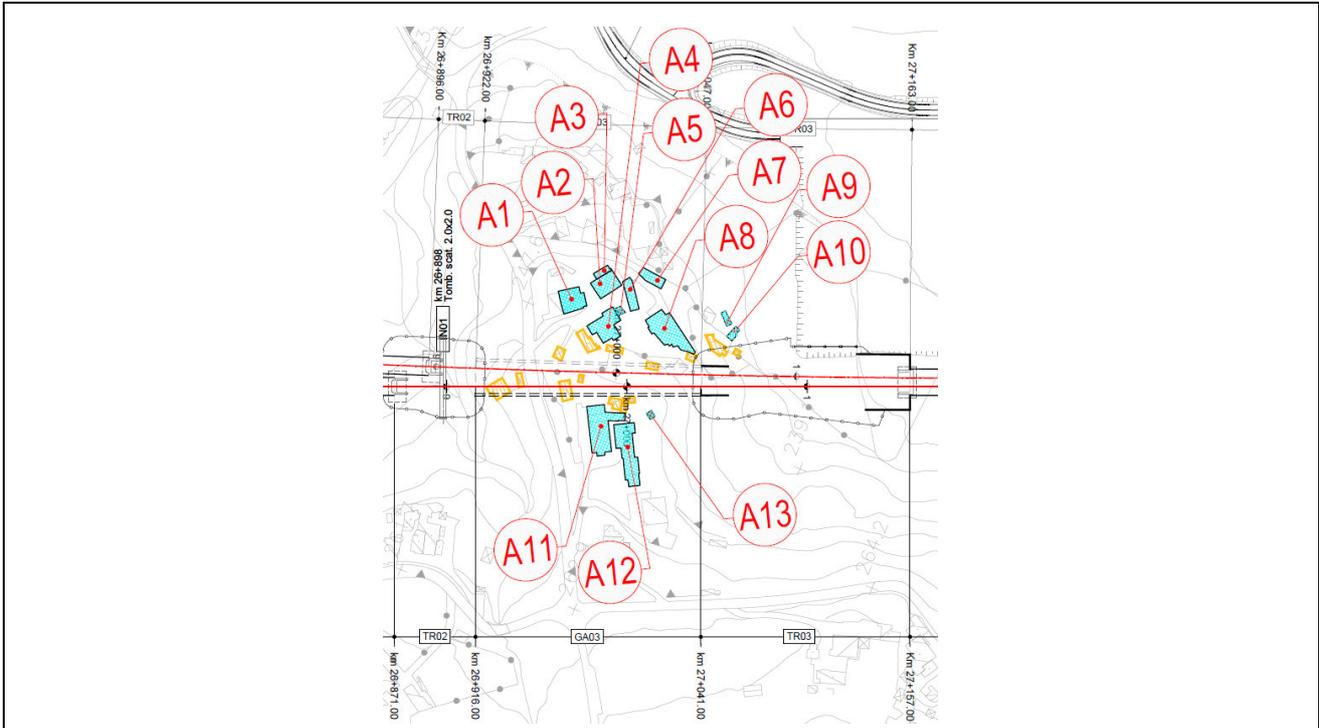
Per le opere esistenti censite si riportano una serie di informazioni che riguardano: le principali dimensioni, la destinazione d'uso, la posizione planimetrica rispetto all'asse dello scavo, una prima descrizione della tipologia strutturale (muratura, struttura in c.a., struttura mista), l'eventuale presenza di un piano interrato (desunto su quanto osservabile dall'esterno), la tipologia delle fondazioni (superficiali o profonde) ipotizzata sulla base delle tipologie costruttive utilizzate all'epoca della costruzione dell'opera. Si ritiene che ai fini del livello progettuale in atto, tali informazioni siano adeguate ai fini di una preliminare stima degli effetti degli scavi su tali opere. Tutti i dati riportati

nelle schede andranno opportunamente aggiornati e approfonditi nelle successive fasi di progettazione. Nella figura che segue è riportato un esempio delle schede compilate; per la consultazione delle schede relative alle singole opere si rimanda all'elaborato RC2A.C.1.R.11.SH.OC.00.0.0.001.

SCHEDE CENSIMENTO EDIFICI E STRUTTURE INTERFERENTI CON L'OPERA

EDIFICIO N° A12		
Ubicazione	Contrada Fiumicello	
Destinazione d'uso	Residenziale	
Periodo di costruzione presunto	Anni '80	
Tipologia strutturale presunta	Muratura	
Num. piani fuori terra	2	
Altezza fuori terra	6 m	
Piano interrato (ipotizzato)	Assente	
Tipologia fondazioni presunte	Non rilevate (ipotizzate superficiali)	
Delimitato da:	Libero su 4 lati	
Note:		

Stralcio planimetrico



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



6.3 Stima preliminare delle deformazioni indotte e del rischio di danni sugli edifici

La stima è stata effettuata sulla base delle relazioni riportate al capitolo 5.

Sono stati censiti e analizzati 18 edifici. Nella seguente tabella si riporta per ogni edificio: la WBS (opera ferroviaria) in cui ricadono, la distanza dall'asse della galleria o della trincea dal piano di fondazioni dell'edificio, la dimensione dell'edificio valutato nella direzione perpendicolare all'asse dell'opera, la distanza tra il ciglio dello scavo (o il bordo esterno della galleria) e l'estremo più vicino dell'edificio e tra il ciglio dello scavo (o il bordo esterno della galleria) e l'estremo più lontano, la tipologia di struttura ipotizzata (c.a., muratura, prefabbricato o acciaio), l'altezza massima di prescavo, lo spostamento orizzontale massimo ottenuto dal calcolo nella fase finale statica allo SLE (si rimanda alla "Relazione di predimensionamento delle gallerie artificiali" (RC2A.C.1.R.11.CL.GA.00.0.0.001), dove si riporta il calcolo per la GA03 e TR03, i cui risultati sono validi anche per le altre gallerie artificiali e trincee), il cedimento assoluto ottenuto dalla formula (2) e la distorsione angolare β data dalle formule (2) e (3) e il valore limite di β .

N. Ed.interferenza analizzata	WBS	Distanza asse galleria/trincea piano fondazioni edificio (m)	Dimensioni edificio		Posizione rispetto alla galleria/trincea		Tipologia struttura	Prescavo massimo (m)	H scavo totale (m)	spostamento orizzontale massimo da modello di calcolo (mm)	Cedimento assoluto (mm)	β (-)	β limite (-)
			Lunghezza (m)	Altezza (m)	Estremo più vicino (m)	Estremo più lontano (m)							
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(-)	(m)	(m)	(mm)	(mm)	(-)	(-)
A1	GA03	36.2	15.5	6	26.4	41.9	c.a.	10.5	21.2	15.0	10.5	0.0008	0.0033
A2	GA03	45.0	16.3	6	35.5	51.8	c.a.	10.5	21.2	15.0	10.5	0.0004	0.0033
A3	GA03	56.0	7.9	3	46.5	54.4	c.a.	10.5	21.2	15.0	10.5	0.0004	0.0033
A4	GA03	20.2	20.5	6	10.7	31.2	c.a.	10.5	21.2	15.0	10.5	0.0004	0.0033
A5	GA03	35.8	5.1	3	26.5	31.6	acciaio	10.5	21.2	15.0	10.5	0.0004	0.0033
A6	GA03	38.3	18.9	6	29.1	48.0	c.a.	10.5	21.2	15.0	10.5	0.0004	0.0033
A7	GA03	51.0	11.6	6	42.0	53.6	c.a.	10.5	21.2	15.0	10.5	0.0004	0.0033
A8	GA03	14.7	24.5	6	6.0	30.5	c.a.	10.5	21.2	15.0	10.5	0.0004	0.0033
A9	TR03	30.7	8.5	3	19.2	27.7	acciaio	-	10.0	54.6	54.6	0.0019	0.0033
A10	TR03	22.4	8.1	3	11.0	19.1	acciaio	-	10.0	54.6	54.6	0.0019	0.0033
A11	GA03	14.2	28.8	6	4.7	33.5	c.a.	10.5	21.2	15.0	10.5	0.0004	0.0033
A12	GA03	24.0	35.8	6	14.8	50.6	muratura	10.5	21.2	15.0	10.5	0.0004	0.0033
A13	GA03	17.2	4.9	3	8.1	13	acciaio	10.5	21.2	15.0	10.5	0.0004	0.0033
A14	GA04	12.3	34.9	6	4.7	39.6	c.a.	7.2	17.2	15.0	10.5	0.0005	0.0033
A15	TR06	15.3	14.6	3	22.8	37.4	muratura	-	11.2	54.6	54.6	0.0017	0.0033
A16	TR08-A	14.5	4.9	6	9.4	14.3	muratura	-	7.9	54.6	54.6	0.0024	0.0033
A17	TR08-A	22.9	8.1	6	18.3	26.4	muratura	-	7.9	54.6	54.6	0.0024	0.0033
A18	TR09-A	18.8	9.9	6	14.6	24.5	muratura	-	6.9	54.6	54.6	0.0028	0.0033

Tabella 1 – Dati degli edifici interferiti e risultati delle analisi

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO-PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione tecnico descrittiva sulla interferenza delle opere esistenti con l'infrastruttura ferroviaria	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO OC0000 001	REV. B

Sulla base dei risultati delle analisi preliminari svolte si evidenzia che le distorsioni angolari degli edifici analizzati non superano i valori ammissibili.

6.4 Monitoraggio e controllo in corso d'opera

Nella fase di realizzazione degli scavi a cielo aperto si ritiene fin da ora che sarà necessario prevedere la predisposizione di un sistema di monitoraggio che consenta di valutare in tempo reale il comportamento delle opere previste in progetto e di controllare le ripercussioni delle lavorazioni sul terreno circostante lo scavo e sugli edifici/opere più vicini.

In linea generale il piano di monitoraggio dovrà prevedere il controllo degli spostamenti delle paratie, il controllo delle deformazioni del terreno in superficie, sui fabbricati e sui manufatti in genere, nonché la variazione dei livelli di falda.

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 delle strutture e l'analisi dei cedimenti.

In questo paragrafo si illustrano i criteri generali per la progettazione del sistema di monitoraggio, per la scelta delle misure da eseguire e dei parametri da monitorare. 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.

6.4.1 Monitoraggio spostamenti del terreno

Le subsidenze e le deformazioni nel terreno devono essere monitorate in:

– sezioni trasversali all'asse della trincea/galleria artificiale, munite di caposaldi di superficie: il numero e l'interdistanza tra i caposaldi saranno funzione della profondità dello scavo e della posizione delle interferenze;

– sezioni trasversali all'asse della trincea/galleria artificiale con strumentazione geotecnica di profondità: La sezione è strumentata per la misura delle deformazioni del terreno a tergo della paratie per il controllo delle pressioni interstiziali. Gli strumenti da installare sono i seguenti:

- estenso-inclinometri (EI),
- piezometri Casagrande/celle piezometriche.

La distanza fra le diverse sezioni è variabile ed è funzione dei seguenti fattori:

- altezza dello scavo,
- sensibilità della zona agli effetti dei cedimenti,
- possibilità di collocazione della sezione e fattibilità del rilievo.

Nelle successive fasi della progettazione ed in fase realizzativa, il numero e la posizione delle sezioni di monitoraggio saranno definiti in dettaglio, in funzione delle interferenze, della possibilità d'installazione degli strumenti di misura e dell'accessibilità dei luoghi.

6.4.2 Monitoraggio degli spostamenti delle paratie

Per il controllo degli effetti indotti dallo scavo sulle paratie si procederà tramite installazione e lettura di inclinometri inseriti all'interno dei diaframmi/pali stessi. Nel tratto della Trincea, sul cordolo di coronamento delle paratie verranno posizionate mire topografiche per il controllo dello spostamento orizzontale in testa alla paratia. Inoltre sulla testa degli inclinometri verranno posti dei caposaldi topografici.

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

6.4.3 Monitoraggio spostamenti e deformazioni edifici

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

- 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 bacino di subsidenza;
- possibilità pratica di rilievo.

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 libera ricadente, anche solo in parte, nella fascia di influenza degli scavi.

Per edifici in muratura la distanza delle mire, compatibilmente con la presenza di ostacoli o di altri vincoli, non dovrà essere maggiore di 3-4 metri.

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.

In presenza di edifici accostati, in prossimità del giunto verrà posta in opera una mira su ciascun edificio.

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 trapiantare 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.

6.4.4 Lettura di zero e Frequenze di misura

Il monitoraggio degli effetti dello scavo inizia prima dell'esecuzione delle lavorazioni. Gli strumenti sugli edifici dovranno pertanto essere installati prima che inizino eventuali scavi di sbancamento per l'esecuzione dei piani di lavoro. La lettura di zero, condizione indisturbata, dovrà essere effettuata non appena lo strumento non risentirà più degli effetti delle operazioni di installazione.

La frequenza di misura dei caposaldi e della strumentazione geotecnica dipenderà dalle fasi costruttive previste per il raggiungimento del fondo scavo. Indicativamente per le misure andranno eseguite almeno una volta al giorno, durante le fasi di scavo di approfondimento e realizzazioni dei contrasti (tiranti puntoni), fino alla realizzazione del solettone di fondo.

6.4.5 Valori attesi e di soglia dei principali parametri monitorati

Nelle successive fasi progettuali e comunque prima dell'inizio del monitoraggio, sulla base dei risultati delle previsioni formulate mediante analisi dei risentimenti degli edifici (analisi deformazioni indotte) e con riferimento a comportamenti riscontrati in corso d'opera in contesti analoghi, verranno definiti gli intervalli dei valori attesi dei parametri da monitorare, ritenuti maggiormente significativi.

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 le 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; il superamento della stessa dovrà comportare una taratura delle soluzioni progettuali individuate, eseguendo ad esempio, un avanzamento per campi dello scavo di sbancamento e/o il contrasto delle paratie durante le fasi di scavo mediante strutture provvisorie di contrasto (puntoni/tiranti) sino al raggiungimento della quota di imposta del solettone di fondo e successivo getto dello stesso;

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.