

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE  
OBIETTIVO N. 443/01  
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA      Tratta VERONA – PADOVA  
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza  
PROGETTO ESECUTIVO  
GA GALLERIE ARTIFICIALI  
GA01 GALLERIA ARTIFICIALE S.MARTINO  
GENERALE  
Opere sostegno degli scavi e tampone di fondo - Relazione di confronto PD/PE**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE Ing. Giovanni MALAVENDA Scritto all'ordine degli Ingegneri di Venezia n. 4289 Data: 28/04/21	Consorzio Iricav Due ing. Paolo Carmona Data:			

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    Progr.    REV.    FOGLIO

I	N	1	7	1	1	E	I	2	R	O	G	A	0	1	0	0	0	0	2	A	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	
A	EMISSIONE	R.CONFORTI <i>R. Conforti</i>	30/04/21	L.ALFIERI <i>L. Alfieri</i>	30/04/21	P.GALVANIN <i>P. Galvanin</i>	30/04/21	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1711EI2ROGA0100002A.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

TUTTI I DIRITTI DEL PRESENTE DOCUMENTO SONO RISERVATI: LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE E' VIETATA

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
<b>Opere sostegno degli scavi e tamponi di fondo - Relazione di confronto PD/PE</b>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento E12 RO GA 01 0 0 002	Rev. A	Foglio 2 di 9

## INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE DELLE MODIFICHE .....	5
2.1	Aspetti relativi alle opere di sostegno degli scavi .....	5
2.2	Aspetti relativi alle opere di impermeabilizzazione del fondo scavo e controllo delle quote di falda .....	6
2.3	Aspetti relativi alla progettazione strutturale .....	7

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>Opere sostegno degli scavi e tamponi di fondo - Relazione di confronto PD/PE</b>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RO GA 01 0 0 002	Rev. A	Foglio 3 di 9

## 1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Esecutivo della Galleria artificiale GA01 San Martino Buon Albergo della Linea AV/AC Verona Padova posta in corrispondenza del Primo Lotto Funzionale Verona – Bivio Vicenza, tra le progressive pk 4+942.53 e pk 6+842.53

Essa ha lo scopo di attestare la sostanziale rispondenza al progetto Definitivo ed alle eventuali prescrizioni dettate in sede di approvazione dello stesso, in particolare in attuazione a quanto prescritto nell' istruttoria di PD IN0D-RV-0000000751 e nella delibera Cipe 84/17.

Il confronto tra soluzioni di PE e di PD, di seguito presentato, è effettuato con specifico riferimento alle opere di sostegno e di impermeabilizzazione del fondo scavo delle prime WBS della galleria in costruzione: GA01-A, B, E.

La galleria artificiale Buon Albergo prevede lo scavo di una lunga trincea confinata tra diaframmi in calcestruzzo, coperta con una soletta su travi in c.a. prefabbricate: lo scavo della trincea interessa terreni sabbioso-ghiaiosi sotto un battente di falda massimo pari a circa 8 m rispetto al livello medio assunto per le fasi transitorie di cantiere. Lo scavo sottofalda avviene previa realizzazione di un tampone massivo in jet-grouting di altezza variabile in funzione della quota di falda rispetto al piano di imposta del solettone di fondo. Relativamente al tampone di fondo si nota che nel PD è stato concepito come opera provvisoria per ridurre almeno di due ordini di grandezza la permeabilità del terreno in sito in modo tale da eseguire lo scavo sotto falda e contrastare al piede i diaframmi durante le fasi di scavo. Nel PD approvato esso è stato dimensionato per la falda di costruzione, mentre per le escursioni eccezionali dovute ad eventi meteorici intensi è stato previsto un sistema di controllo della falda per limitare gli innalzamenti repentini del suo livello.

In sede di sviluppo del PE, il Consorzio IricavDue ha proseguito le proprie analisi e valutazioni al fine di indagare la possibilità di un affinamento progettuale delle modalità di iniezione del tampone di fondo, per ridurre i tempi complessivi di esecuzione delle opere e aumentare al contempo la facilità di gestione delle operazioni di scavo.

Sulla base degli approfondimenti geotecnici e idrogeologici derivanti dalla integrazione della campagna di indagini geognostiche avviata nella presente fase di sviluppo del progetto esecutivo, gli affinamenti progettuali apportati nell'attuale PE riguardano:

1. la possibilità di eseguire schemi di consolidamento del fondo scavo differenti rispetto a quelli previsti in sede di PD, anche non massivi, mantenendo inalterata la funzione di impermeabilizzazione e consolidamento del fondo scavo. Lo studio di ottimizzazione è stato approfondito per verificare l'efficacia del tampone di fondo nel contrastare la sottospinta idraulica in fase di scavo, anche in presenza di risalita della falda fino alla quota di breve termine, in assenza di sistemi di emungimento attivi di tipo profondo.
2. la possibilità di eliminare il tampone di fondo nei tratti delle trincee di approccio e nel tratto terminale della galleria GA01-E, il cui scavo si trova al di sopra della falda di breve termine, o sotto un battente modesto, facilmente aggottabile con un sistema di pompaggio.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
<b>Opere sostegno degli scavi e tamponi di fondo - Relazione di confronto PD/PE</b>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento E12 RO GA 01 0 0 002	Rev. A	Foglio 4 di 9

I precedenti due aspetti costituiscono i principali elementi di affinamento delle opere provvisorie necessarie per eseguire gli scavi della galleria, che non modificano in alcun modo gli schemi statici e le tipologie costruttive delle opere definitive previste nel PD approvato.

Per una descrizione generale delle opere e una disamina più approfondita delle ragioni progettuali a sostegno delle scelte effettuate, si rimanda alla relazione tecnica generale IN0R11EE2ROGA1101001.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>Opere sostegno degli scavi e tamponi di fondo - Relazione di confronto PD/PE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica Documento EI2 RO GA 01 0 0 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 5 di 9</p>

## 2 DESCRIZIONE DELLE MODIFICHE

Nello sviluppo del Progetto Esecutivo, oltre ai normali studi ed approfondimenti delle problematiche dell'opera e la miglior definizione di alcuni dettagli e particolari costruttivi, tipici di tale processo, sono stati apportati gli affinamenti e/o variazioni e rispetto al Progetto Definitivo descritti nel seguito con riferimento alle opere di sostegno degli scavi e risoluzione delle problematiche legate allo scavo sotto falda.

### 2.1 Aspetti relativi alle opere di sostegno degli scavi

Le principali modifiche tra le soluzioni previste nel progetto definitivo e quelle sviluppate nel progetto esecutivo in relazione alle opere di sostegno degli scavi definitive e provvisorie sono riassunte nella seguente tabella.

	<b>P.D.</b>	<b>P.E.</b>
<b>Tipologia di Opera di Sostegno definitive</b>	<p>Nel Progetto Definitivo le opere di sostegno degli scavi sono realizzate mediante diaframmi in calcestruzzo di spessore 1 m e altezza variabile lungo lo sviluppo della galleria in funzione della profondità del piano ferro rispetto al piano campagna. I diaframmi sono infissi al di sotto della quota di scavo per una altezza pari a contenere il terreno trattato, in modo tale che risulti soddisfatta le verifiche al galleggiamento/sifonamento del terreno compreso tra il fondo dello scavo ed il piede infisso dei diaframmi.</p>	<p>Le opere di sostegno della galleria artificiale (diaframmi in c.a) sono confermate in termini di tipologia realizzativa, spessore e massimo affondamento al di sotto della quota di fondo scavo. Tra gli affinamenti progettuali sono stati proposti i seguenti accorgimenti non presenti nel PD:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- impiego di giunti a coda di rondine tra i pannelli con profili water stop di tenuta idraulica;</li> <li>- la realizzazione di pannelli primari e secondari per conci di circa 5 m, invece degli usuali 2.5 m, per diminuire il numero dei giunti tra i pannelli e quindi diminuire le possibili problematiche di venute d'acqua in fase di scavo legate a difettosità dei giunti stessi. In prossimità di interferenze/opere provvisionali a tergo dei pannelli è utilizzata la larghezza standard dei pannelli pari a 2.50 m per evitare eccessivi detensionamenti del terreno in fase di scavo.</li> </ul>
<b>Tipologia di Opera di Sostegno provvisionali</b>	<p>Le opere di sostegno provvisionali lungo la galleria sono previste in corrispondenza di rilevati stradali, interferenze idrauliche o edifici. Nelle WBS A,B, in esame sono previste tre opere provvisionali denominate A, B, E realizzate con pali trivellati di diametro 600 mm (opere provvisionali A e B) o palancole (opera D). Non sono previste altre opere provvisionali di sostegno dello scavo.</p>	<p>In sede di PE le opere provvisionali di PD sono confermate in termini di tipologie e modalità esecutive, nonché sviluppi e quantità globali, ad eccezione dell'opera provvisionale B a protezione di un fabbricato esistente lungo nella WBS GA01-B. Il fabbricato sarà demolito prima della realizzazione degli scavi e quindi l'opera B è stata eliminata. Sono state aggiunte una serie di opere provvisionali minori tipo palancole che saranno infisse per delimitare gli scavi necessari per la realizzazione parziale dei singoli conci in funzione delle macrofasi costruttive della galleria previste per la risoluzione delle interferenze viarie e idrauliche. Queste opere saranno rimosse al termine del getto della soletta di copertura e del ritombamento della stessa. Le opere di sostegno sopra definite fanno parte del progetto delle singole WBS interferite</p>

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 					
<p>Opere sostegno degli scavi e tamponi di fondo - Relazione di confronto PD/PE</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="842 235 965 286">Progetto IN17</td> <td data-bbox="965 235 1061 286">Lotto 11</td> <td data-bbox="1061 235 1353 286">Codifica Documento EI2 RO GA 01 0 0 002</td> <td data-bbox="1353 235 1433 286">Rev. A</td> <td data-bbox="1433 235 1541 286">Foglio 6 di 9</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RO GA 01 0 0 002	Rev. A	Foglio 6 di 9
Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RO GA 01 0 0 002	Rev. A	Foglio 6 di 9		

## 2.2 Aspetti relativi alle opere di impermeabilizzazione del fondo scavo e controllo delle quote di falda

	P.D.	P.E.
<p><b>Tampone di fondo in jet grouting</b></p>	<p>Lo scavo sottofalda avviene previa realizzazione di un tampone massivo in jet-grouting di altezza variabile in funzione della quota di falda rispetto al piano di imposta del solettone di fondo. Il tampone è un'opera provvisoria per ridurre almeno di due ordini di grandezza la permeabilità del terreno in sito in modo tale da eseguire lo scavo sotto falda e contrastare al piede i diaframmi durante le fasi di scavo. Il tampone è stato dimensionato per falda di costruzione pari alla falda media definita mediante il monitoraggio piezometrico +0.5 m, mentre per le escursioni eccezionali dovute ad eventi meteorici intensi è stato previsto un sistema di controllo della falda per limitare gli innalzamenti repentini del suo livello.</p>	<p>Si è prevista la possibilità di sostituzione del tampone di fondo continuo previsto in sede di PD con due differenti schemi alternativi di tampone tipo 'sandwich' o a "singolo strato compensato". Il tampone di fondo ed i diaframmi sono dimensionati per la falda di breve termine in fase di costruzione in assenza di pozzi drenanti di emungimento della falda nel caso di innalzamento della stessa dal livello di riferimento in fase di costruzione alla quota di breve termine a seguito p.e. di un evento di pioggia particolarmente intenso. Tale sviluppo progettuale si è ritenuto necessario per i seguenti motivi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ricercare una soluzione intrinsecamente sicura dal punto di vista della gestione dello scavo: in altri termini, la sicurezza dell'opera (sia in termini di stabilità del fondo scavo, sia per quanto riguarda la stabilità strutturale e geotecnica dei diaframmi) non dipende dal sistema di pozzi con tutte le incognite legate sia alla efficienza degli stessi, sia all'effettivo tempo di reazione (inerzia del sistema) nel caso di innalzamento repentino del battente idraulico;</li> <li>- flessibilità esecutiva: il vantaggio conseguito con tale soluzione progettuale è apprezzabile laddove una volta ricoperta la galleria e ripristinata p.e. la viabilità stradale o autostradale al di sopra della soletta di copertura, risulterebbe difficile mantenere in esercizio e gestire un sistema di aggettamento provvisorio a servizio della galleria stessa. Allo stesso tempo si semplificano tutte le problematiche di gestione e scarico delle acque drenate, che risulterebbero presenti solo nelle zone di approccio alla galleria, per le quali è previsto l'emungimento della falda.</li> </ul>
<p><b>Drenaggio della falda</b></p>	<p>Sono previsti sistemi di aggettamento della falda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mediante sistemi well point o pozzi drenanti nel caso in cui il piano di lavoro per la realizzazione dei diaframmi o del tampone di fondo venga a trovarsi al di sotto del piano di lavoro a seguito di un innalzamento repentino della falda fino al livello di breve termine.</li> <li>- Mediante sistemi di pozzi drenanti in fase di scavo sotto copertura nel caso in cui la falda risalisse alla quota di breve termine</li> </ul>	<p>Il sistema di aggettamento con wellpoint è mantenuto come previsto in PD per la gestione temporanea della falda, nel caso di risalita della stessa oltre la quota del piano di lavoro dal quale sono eseguiti i diaframmi ed i trattamenti in jet grouting.</p> <p>Per la porzione di galleria GA01-E nella quale la falda di riferimento in fase di costruzione risulta posta ad una quota inferiore a 2 m rispetto al fondo scavo, è prevista l'eliminazione del tappo di fondo e la realizzazione di un sistema di dewatering con batterie di pozzi drenanti posti a lato dello scavo. Le tratte per le quali si propongono gli interventi di dewatering presentano in tutti i casi un battente di</p>

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 					
<p>Opere sostegno degli scavi e tamponi di fondo - Relazione di confronto PD/PE</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="845 235 965 286">Progetto IN17</td> <td data-bbox="965 235 1061 286">Lotto 11</td> <td data-bbox="1061 235 1348 286">Codifica Documento EI2 RO GA 01 0 0 002</td> <td data-bbox="1348 235 1428 286">Rev. A</td> <td data-bbox="1428 235 1541 286">Foglio 7 di 9</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RO GA 01 0 0 002	Rev. A	Foglio 7 di 9
Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RO GA 01 0 0 002	Rev. A	Foglio 7 di 9		

		<p>falda rispetto al fondo scavo molto modesto (max 2 m rispetto alla quota di riferimento in fase di costruzione) e quindi anche la perturbazione della piezometrica si esaurisce a distanze piuttosto modeste dalla zona degli scavi, Per tale ragione non sono preventivabili impatti significativi sulle preesistenze.</p> <p>Il sistema di pozzi è dimensionato per abbattere altezze di falda superiori a quelle di riferimento in fase di costruzione per tenere conto delle variazioni transitorie possibili (falda di breve termine). Il battente massimo di falda da abbattere è quindi stato stimato pari a 4.5 m.</p>
--	--	---

### 2.3 Aspetti relativi alla progettazione strutturale

Di seguito una sintesi delle principali modifiche tra le soluzioni previste nel progetto definitivo e di quelle sviluppate nel progetto esecutivo in relazione agli aspetti strutturali.

	P.D.	P.E.
<p><b>Elementi strutturali</b></p>	<p>Nel P.D. i diaframmi perimetrali erano verificati tenendo conto di un'unica sezione tipo rappresentativa dell'intera opera con uno schema di telaio continuo con incastro perfetto tra soletta di copertura e diaframmi.</p>	<p>Nel Progetto Esecutivo sono state inserite più sezioni di calcolo distribuite lungo linea per tenere conto dei diversi ricoprimenti e battenti idraulici. Ai fini del dimensionamento strutturale, la soletta di copertura è stata considerata con due differenti schemi di connessione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- copertura isostatica in semplice appoggio sui diaframmi perimetrali (vincolo di cerniera tra copertura e diaframmi);</li> <li>- telaio iperstatico a nodi continui nelle sezioni di estremità del solettone di copertura (vincolo di incastro tra copertura e diaframmi).</li> </ul> <p>La scelta di considerare lo schema a cerniera per il dimensionamento dei diaframmi e della copertura è stata dettata dalle seguenti considerazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le armature alla testa dei diaframmi saranno interessate dalle lavorazioni di "scapitozzatura" ciò che rende difficilmente proponibile la garanzia di un'adeguata giunzione per sovrapposizione delle barre del diaframma con quelle del solettone;</li> <li>- la copertura è realizzata con travi prefabbricate a "T" rovescio e soletta collaborante ciò che rende più difficile garantire una omogenea trasmissione delle sollecitazioni flettenti tra soletta e diaframmi in caso di assunzione di vincolo di continuità tra gli stessi.</li> </ul> <p>Tuttavia, non è escluso che una aliquota di momento possa essere trasmessa dal solettone ai diaframmi, in quanto la rotazione del nodo sarà limitata dallo spessore del diaframma, dal rapporto</p>

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 					
<b>Opere sostegno degli scavi e tamponi di fondo - Relazione di confronto PD/PE</b>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="845 232 965 286">Progetto IN17</td> <td data-bbox="965 232 1061 286">Lotto 11</td> <td data-bbox="1061 232 1348 286">Codifica Documento EI2 RO GA 01 0 0 002</td> <td data-bbox="1348 232 1428 286">Rev. A</td> <td data-bbox="1428 232 1541 286">Foglio 8 di 9</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RO GA 01 0 0 002	Rev. A	Foglio 8 di 9
Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RO GA 01 0 0 002	Rev. A	Foglio 8 di 9		

		<p>di rigidezza tra diaframma e solettone, dalla presenza in seconda fase del manufatto interno a "U" che limita ulteriormente la rotazione del nodo e dalla armatura di collegamento tra diaframmi e copertura comunque presente per rendere solidali le due strutture. Tali effetti sono stati messi in evidenza dalle modellazioni numeriche bidimensionali illustrate nella relazione IN1711EI2RHGA0101002A.</p> <p>Sulla base delle considerazioni precedenti, quindi, si sono sviluppati due set di modelli di calcolo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- con vincolo a cerniera tra solettone di copertura e diaframmi;</li> <li>- con vincolo di continuità tra solettone e diaframmi: questo secondo set è derivato direttamente dal precedente, verificando che la armatura minima di collegamento tra paratie e solettone sia tale da garantire il trasferimento del momento di continuità letto al nodo di attacco tra diaframmi e copertura.</li> </ul> <p>Nel dimensionamento finale delle armature dei pannelli si è quindi considerato l'involuppo delle sollecitazioni determinato con i due set di modelli strutturali sopra descritti.</p> <p>Sono, inoltre, stati sviluppati modelli numerici bidimensionali per simulare in modo completo l'interazione tra diaframmi e contropareti, nonché gli effetti di vincolo alla rotazione offerto dallo spessore del diaframma (anche in condizioni di semplice appoggio) e in fase finale, dopo la costruzione della struttura interna.</p>
<b>Tampone di fondo</b>	<p>Nel P.D. il tampone di fondo era verificata in forma semplificata tenendo conto di un'unica sezione tipo rappresentativa dell'intera opera.</p>	<p>Nel Progetto Esecutivo Considerato, considerato il livello di affinamento della soluzione progettuale - richiesto al fine di trarre la semplificazione gestionale del cantiere e l'ottimizzazione complessiva dei tempi di costruzione - gli schemi proposti per la realizzazione del tampone di fondo sono stati analizzati anche attraverso analisi numeriche atte a indagare i complessi meccanismi di interazione terreno-struttura in fase di scavo.</p> <p>Tali modelli hanno permesso di validare la procedura semplificata descritta al precedente paragrafo sia nei confronti della rottura del fondo scavo, sia nei confronti del sollevamento al variare delle quote di falda.</p> <p>L'analisi della risposta del tampone tipo "sandwich" o "compensato" al variare delle quote di falda attese ha consentito di confrontare i fattori di sicurezza della soluzione di PE con quelli assunti in sede di PD per la soluzione massiva prevista nel progetto originario, in modo da stabilirne l'equi-prestazione in termini di sicurezza nei confronti delle possibili incertezze legate alle escursioni anche improvvise della quota di falda.</p>
<b>Opere provvisorie</b>		<p>Nel progetto esecutivo le opere provvisorie sono verificate con gli stessi criteri del progetto esecutivo.</p>



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>Opere sostegno degli scavi e tamponi di fondo - Relazione di confronto PD/PE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica Documento E12 RO GA 01 0 0 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 9 di 9</p>

	<p>Nel P.D. erano presenti e verificate alcune opere provvisorie nelle WBS A, B, E denominate A, B, D. Non erano presenti opere provvisorie intermedie per la parzializzazione degli scavi</p>	<p>Sono state aggiunte le verifiche anche per le opere intermedie nelle singole WBS di riferimento per la risoluzione delle interferenze.</p>
--	--	---