

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
 OBIETTIVO N. 443/01
 LINEA A.V. /A.C. TORINO-VENEZIA Tratta VERONA-PADOVA
 Lotto funzionale Verona-Bivio Vicenza
 PROGETTO ESECUTIVO
 PARTE GENERALE
 IDROLOGIA E IDRAULICA
 GENERALE
 RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA
IL PROGETTISTA Ing. Giovanni MALAYENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MESSINA n. 4503 Data: Maggio 2022	Consorzio Iricav Due ing. Paolo CARMONA Data: Maggio 2022			

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
I N 1 7	1 0	E	I 2	R H	I D 0 0 0 0	0 0 4	D	

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Ing. Alberto Levorato 	Maggio 2022

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	PRIMA EMISSIONE	P. Peretti	Marzo 2021	P. Peretti	Marzo 2021	P. Peretti	Marzo 2021	 Data: Maggio 2022
B	REVISIONE GENERALE	P. Peretti	Aprile 2021	P. Peretti	Aprile 2021	P. Peretti	Aprile 2021	
C	REVISIONE A SEGUITO INTERLOCUZIONE ITLF	P. Peretti	Ottobre 2021	P. Peretti	Ottobre 2021	P. Peretti	Ottobre 2021	
D	REVISIONE A SEGUITO RAPPORTO ITLF	P. Peretti	Maggio 2022	P. Peretti	Maggio 2022	P. Peretti	Maggio 2022	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1710E12RHID0000004D.DOCX Cod. origine: IN1710E12RHID0000004D
-----------------	----------------------	---



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

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

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 2 di 28	

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
5	INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO NELLE AREE ALLAGABILI	7
6	CARATTERISTICHE DEI VIADOTTI	10
6.1	VIADOTTO VI01 – Viadotto Fibbio	10
6.2	VIADOTTO VI02 – Viadotto Illasi.....	11
6.3	I terreni di fondazione	12
7	CARATTERISTICHE DELLE OPERE DI PROTEZIONE.....	17
7.1	Dimensioni delle pile dei viadotti.....	17
7.2	Verifica dello scalzamento delle pile come se fossero in alveo.....	17
7.3	Protezione dei rilevati	22
7.4	Verifica di stabilità del piede e della sponda del rilevato	25

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 3 di 28	

1 PREMESSA

Lo scopo del seguente elaborato è quello di illustrare le problematiche relative alla protezione dei rilevati ferroviari nelle aree allagabili nell'ambito della progettazione esecutiva della linea alta velocità Verona – Bivio Vicenza, 1° lotto funzionale compreso tra la progressiva pk 0+000 e pk 44+250, e i relativi criteri di dimensionamento delle opere di difesa.

Lo studio idraulico di inquadramento utilizzato per il dimensionamento delle protezioni dei rilevati è stato redatto tenendo conto delle prescrizioni effettuate da parte del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta (2016), derivanti dal quadro prescrittivo a seguito dell'approvazione del Progetto Definitivo e specificate nell'allegato 1 della Delibera Cipe con Delibera n.84 del 22.12.2017 e derivati dalle istruttorie ITF relative al Progetto Definitivo (2018-2019).

La presente relazione fa riferimento alla RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA - RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE (IN1710EI2RHID0000003B).

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 4 di 28	

2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

- Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- Presidenza del Consiglio dei ministri – Dipartimento della Protezione Civile – Commissario Delegato per l’Emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto. OPCM n.3621 del 18/10/2007 – Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l’individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento.
- Studio redatto da Nordest Ingegneria S.r.l. per Unione Veneta Bonifiche.
- Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta – Interferenze con la rete idrografica - Ipotesi di Ubicazione Opere Idrauliche Per Smaltimento Acque Meteoriche del 28/04/2015.
- Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta – PIANO GENERALE DI BONIFICA E DI TUTELA DEL TERRITORIO - L.R. 12/2009 ART. 23 - D.G.R. 102/2010
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, Distretto Idrografico delle Alpi.
- Piano Territoriale di Coordinamento e Pianificazione della Provincia di Verona approvato con deliberazione di Giunta Regionale n. 236 del 3 marzo 2015.
- RFI – MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE II - SEZIONE 3 – CORPO STRADALE, RFI DTC SI MA IFS 001 B del 22/12/2017
- RFI – MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE II - SEZIONE 2 – PONTI E STRUTTURE, RFI DTC SI MA IFS 001 B del 22/12/2017
- RFI – CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI – PARTE II -SEZIONE 9 – OPERE DI DIFESA DELLA SEDE FERROVIARIA, RFI DTC SI MA IFS 001 B del 22/12/2017

Seguendo il manuale Rfi, parte II sezione 3, si evidenzia innanzitutto che gli attraversamenti principali (in viadotto) non hanno pile in alveo. L’alveo è la fascia fluviale mappata nel PAI. Non può essere definito alveo l’area di esondazione, esterno alle arginature, durante le piene maggiori. Non può essere definito alveo l’aperta campagna. Nel manuale Rfi, parte II sezione 3, correttamente si riporta che gli approfondimenti idraulici da svolgere nelle aree di esondazione naturale sono quelli legati all’interferenza della linea con le aree di esondazione e alla definizione di interventi per eliminare eventuali aggravati del rischio idraulico.

Nel manuale Rfi, parte II sezione 2, si continua a fare riferimento allo scalzamento delle pile in alveo per i ponti. Secondo il manuale, le fondazioni superficiali delle opere civili in generale devono, inoltre, essere protette dall’erosione o scalzamento da parte delle acque di scorrimento superficiale, o ponendole a profondità sufficiente o difendendole: *“In situazioni nelle quali sono possibili fenomeni di erosione o di scalzamento da parte di acque di scorrimento superficiale, le fondazioni devono essere poste a profondità tale da non risentire di questi fenomeni o devono essere adeguatamente difese”*.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 5 di 28	

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- IDROLOGIA E IDRAULICA:
 - RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA - RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNIBIDIMENSIONALE (elaborato IN1710EI2RHID0000003B).
 - CARTA DI INQUADRAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI E SEZIONI TIPO (elaborato IN1710EI2PZID0000001B)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 6 di 28

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La linea AV/AC in esame si sviluppa da Verona a Vicenza ed appartiene alla linea AV/AC Torino-Venezia tratta Verona-Padova, interessando una fascia territoriale che, dal punto di vista idrografico, può essere ricondotta a due tipologie fondamentali caratterizzanti la pianura alluvionale: quella cosiddetta dell'alta pianura e quella della bassa pianura. La zona dell'alta pianura, a ridosso delle colline, è caratterizzata da detriti pesanti, come ciottoli e ghiaia, cosicché l'acqua piovana invece di rimanere in superficie, penetra nel sottosuolo fino a che non incontra uno strato impermeabile dando origine a falde acquifere. La zona della bassa pianura è caratterizzata da strati impermeabili di detriti leggeri e fini, come argilla e sabbia. Nel punto d'incontro tra l'alta e la bassa pianura ha origine la fascia delle risorgive, ovvero fasce di terra in cui parte dell'acqua sotterranea riemerge e continua il suo ciclo in superficie. In particolare, la fascia veneta delle risorgive corre in direzione nord-est/sud-ovest, dal confine orientale di regione fino ai Colli Euganei dove si interrompe, per riprendere ad occidente del fiume Guà e proseguire fino al fiume Mincio, individuando così nel territorio le due fasce caratteristiche della pianura alluvionale.

Il reticolo idrografico è quindi costituito da corsi d'acqua caratterizzati da alvei ghiaiosi e portate elevate ed incisioni di minore importanza per il drenaggio delle acque meteoriche. Inoltre, è presente una vasta rete di distribuzione delle acque irrigue (fossi e scoli di bonifica) che rende l'assetto idrografico particolarmente complesso.

Nel dettaglio, il tracciato in progetto interseca da Verona fino a San Bonifacio il sistema idrografico del Fiume Adige che comprende i corsi d'acqua: Valpantena, Fibbio, Illasi, Prognolo e il torrente Alpone che chiude la serie delle interferenze principali in provincia di Verona. La linea ferroviaria in progetto prosegue da Montebello Vicentino fino a Vicenza intersecando il sistema idrografico del bacino Brenta-Bacchiglione, ovvero l'unione dei bacini idrografici dei fiumi Brenta, Bacchiglione e Gorzone. Le interferenze principali con il tracciato in direzione ovest-est sono il Rio Acquetta e il fiume Guà.

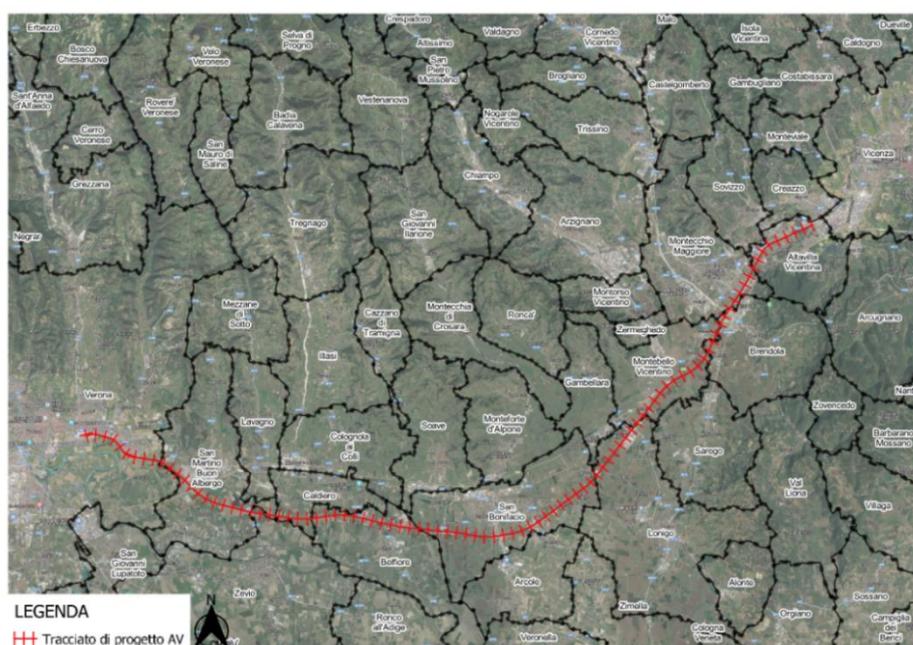


Figura 4.1 Inquadramento territoriale dell'intervento

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 7 di 28	

5 INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO NELLE AREE ALLAGABILI

In relazione allo studio delle aree allagabili attraversate dalla nuova linea AV/AC, sono state previste le seguenti opere e i seguenti interventi al fine di annullare il possibile impatto che la nuova linea potrebbe avere sul deflusso delle acque nel caso di esondazione:

- realizzazione di viadotti per l'attraversamento delle aree con maggiore rischio di allagamento e dei corsi d'acqua principali;
- protezione dei rilevati ferroviari con opere antierosione;
- realizzazione di fornic per mantenere la "trasparenza" dei rilevati ferroviari presenti all'interno di aree allagabili e consentire il naturale deflusso delle acque.

Lo studio dettagliato relativo all'analisi idraulica per i corsi d'acqua principali e secondari nella situazione ante operam e post operam è riportato nella "RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA - RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE" (IN1710EI2RHID0000003B).

Per impedire l'ostacolo al deflusso delle acque nelle zone a rischio di esondazione ed evitare la formazione di invasi con livelli idrici elevati che possono pregiudicare la stabilità dell'opera si sono previsti fornic di trasparenza, che consentono il naturale scorrimento delle acque superficiali.

Nel seguito sono indicati i fornic inseriti nel rilevato fra i viadotti del Fibbio e dell'Illasi.

Codice	Progressiva (m)	Dimensioni (m)	Quota fondo (m slm)
IN21	pk 10+323	5x2.5	28.65
IN84A	pk 10+586	5x2.5	27.76
IN84B	pk 10+616	5x2.5	27.71
IN84C	pk 10+650	5x2.5	27.71
IN84D	pk 10+689	5x2.5	27.75
IN22	pk 10+748.6	3x2 (doppio)	27.80
IN23	pk 11+050	5x2.5	29.44

Tabella 5.1 – Fornici di trasparenza tra i viadotti del Fibbio e dell'Illasi

In Figura 5.1, relativa all'elaborato CARTA DI INQUADRAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI E SEZIONI TIPO (IN1710EI2PZID0000001B), sono riportati i risultati del modello uni-bidimensionale per la situazione relativa ad un tempo di ritorno T_r di 300 anni. Sulla stessa tavola sono evidenziati a tratto continuo le parti di rilevato ferroviario che sono interessate dagli allagamenti, considerando la situazione più cautelativa che si riferisce all'involuppo degli scenari 1, 2 e 3, relativi alle ipotesi di rottura arginale dei corsi d'acqua a monte della linea ferroviaria.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 9 di 28	

Si vede che secondo i risultati del modello 1D2D (Figura 5.1, allagamenti per $T_r=300$ anni) i viadotti che insistono nelle aree di allagamento sono il viadotto Fibbio (VI01) e il viadotto Illasi (VI02). Il viadotto Alpone (VI05) è esterno alle aree di allagamento (situazione dopo interventi sulle arginature del t. Chiampo e t. Alpone successivi alla piena del 2010).

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 10 di 28	

6 CARATTERISTICHE DEI VIADOTTI

6.1 VIADOTTO VI01 – Viadotto Fibbio

Il Viadotto VI01 si estende tra le progressive 7+657 e 10+036. E' costituito da due spalle e da 90 pile. Le pile sono rettangolari dimensioni 3.6x9.40m, a spigoli arrotondati. Il dado di fondazione, di dimensione 8x12m e spesso 2m, è posto sotto piano campagna ad una profondità variabile tra 0.5÷1.0m. I dadi delle pile del tratto ad arco (con funzione di spalla) hanno copertura di circa 2m. L'interasse delle pile è variabile tra 22 e 25m. Fanno eccezione n. 4 campate che sono da 40m e la campata del ponte ad arco che è di 78m. L'altezza libera tra pc e intradosso impalcati è ovunque compresa tra 5 e 6m e garantisce l'ingresso della luce solare diretta e per diffusione. La distanza tra piede arginale del f. Fibbio e pile di appoggio del ponte ad arco è ampiamente superiore a 10m.

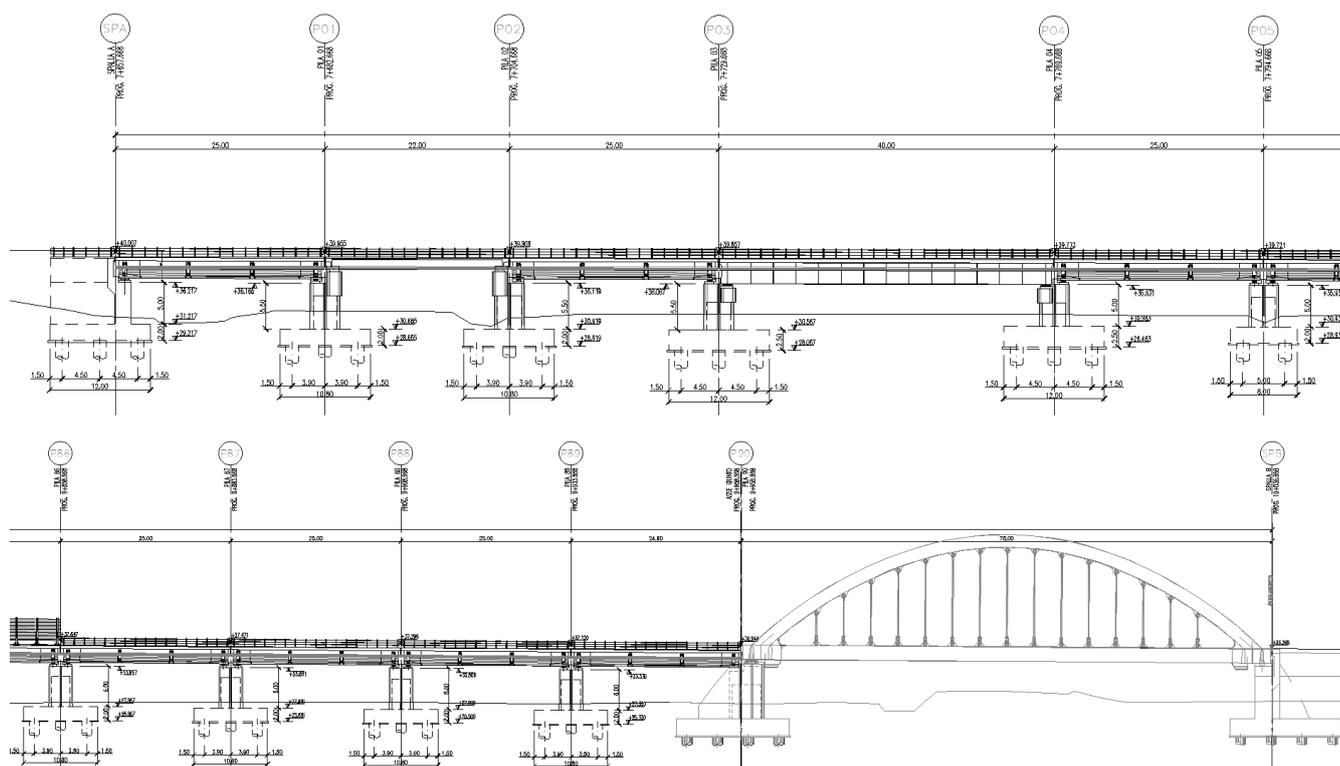


Figura 6.1 – profilo longitudinale del viadotto VI01

Lo scavo per realizzare i pali e quindi il dado si spinge fino ad almeno 2.5-3m sotto piano campagna. Circa 2/3 del terreno di scavo è sostituito dal cls del dado. Circa 1/3 del terreno di scavo (l'ultimo scavato) è utilizzato per coprire il dado.

Le aree sotto il viadotto sono a fine lavori sistemate dal punto di vista ambientale con stesa di terreno vegetale e successiva piantumazione/semimazione.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>				
<p>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento E12 RH ID0000 004</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 11 di 28</p>	

6.2 VIADOTTO VI02 – Viadotto Illasi

Il Viadotto VI02 si estende tra le progressive 11+395 e 11+817. E' costituito da due spalle e da 14 pile. Le pile sono rettangolari dimensioni 3.6x9.40m, a spigoli arrotondati. Il dado di fondazione, di dimensione 8x12m e spesso 2m, è posto sotto pc ad una profondità variabile tra 1÷1.4m in destra idrografica (P1-P3) e 0.5÷1m in sinistra idrografica (P6-P14). I dadi delle pile 5 e 6 (con funzione di spalla del tratto ad arco) hanno copertura di 1.6÷2m. L'interasse delle pile è variabile tra 22 e 25m. Fa eccezione l'interasse tra le pile 5 e 6, pile che sostengono il ponte ad arco e che presentano interasse di 75m. L'altezza libera tra pc e intradosso impalcati è ovunque compresa tra 5 e 6m e garantisce l'ingresso della luce solare diretta e per diffusione. La distanza tra piede arginale e pile di appoggio del ponte ad arco è superiore a 10m.

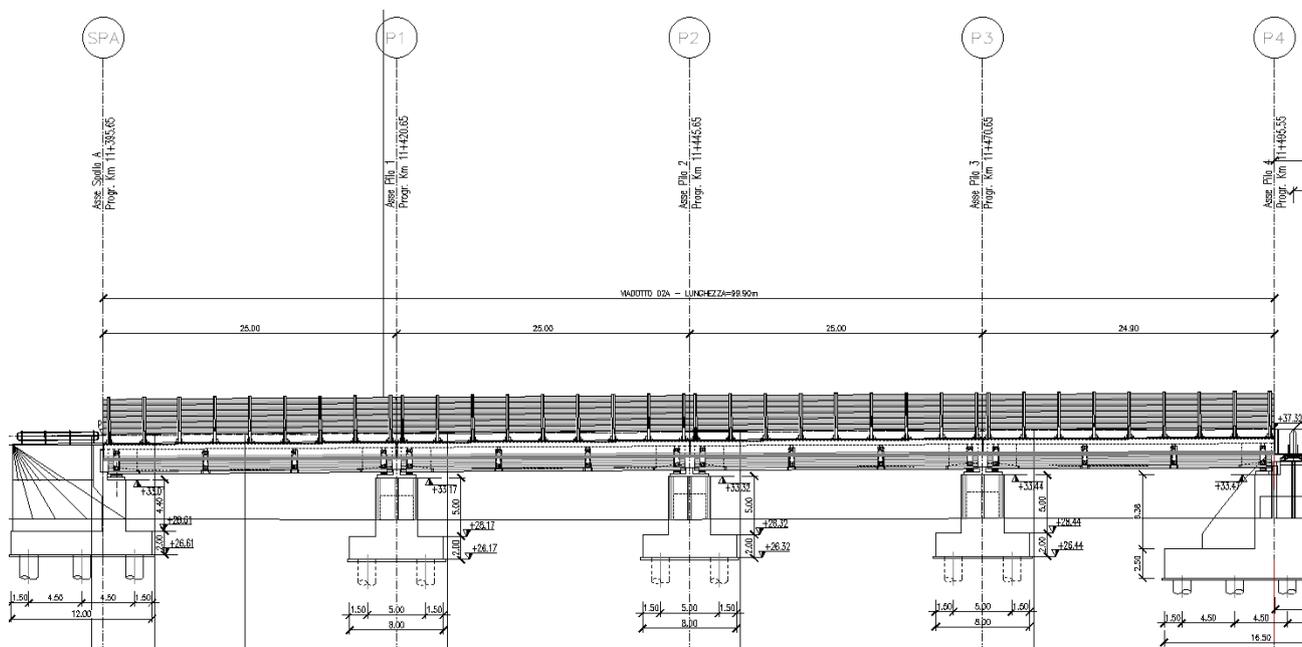


Figura 6.2 – Zoom parte ovest del profilo longitudinale del viadotto VI02 (estratto da IN1711E12P9VI02A0001A)

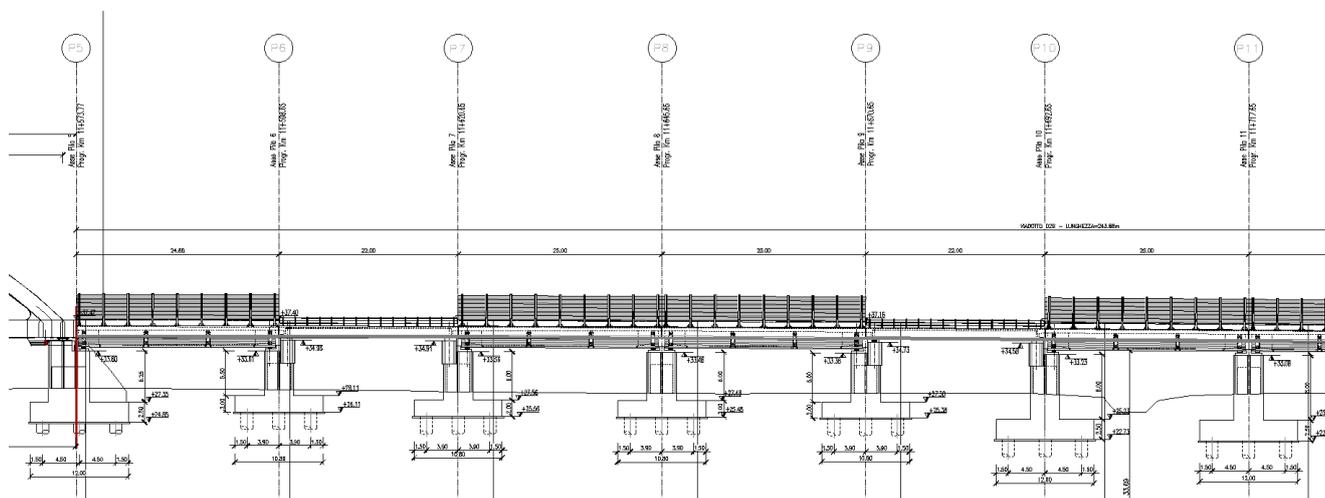


Figura 6.3 – Zoom parte est del profilo longitudinale del viadotto VI02 (estratto da IN1711E12P9VI02A0001A)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 12 di 28

Lo scavo per realizzare i pali e quindi il dado si spinge fino ad almeno 2.5-3m sotto pc. Circa 2/3 del terreno di scavo è sostituito dal cls del dado. Circa 1/3 del terreno di scavo (l'ultimo scavato) è utilizzato per coprire il dado. Le aree sotto il viadotto sono a fine lavori sistemate dal punto di vista ambientale con stesa di terreno vegetale e successiva piantumazione/semimazione.

6.3 I terreni di fondazione

Lungo il tracciato dei viadotti Fibbio e Illasi i terreni sono costituiti da uno strato superficiale prevalentemente a granulometria fine (2-3m) e quindi da importanti spessori di materiale ad elevato contenuto di ghiaia. Possono esserci delle discontinuità nello schema stratigrafico in prossimità degli alvei legati alla storica/naturale divagazione degli stessi ma lo schema litologico della zona tra Fibbio e Illasi è notoriamente quella descritta. Le figure e tabella sottostante riportano un riepilogo delle litologie e granulometrie attraversate. È indicato anche schematicamente lo spessore del dado di fondazione per evidenziare le litologie attraversate.

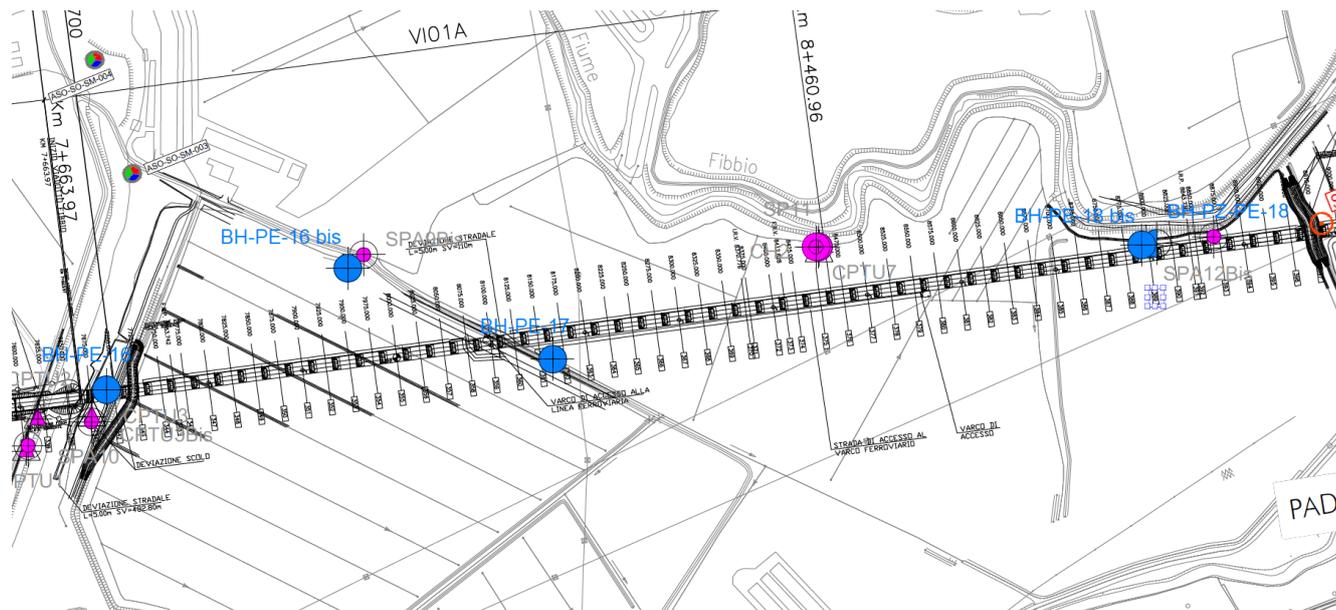


Figura 6.4 – Inquadramento indagini disponibili tratto ovest viadotto Fibbio (estratto da IN1710E12LZGE0000013B)



Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche lame, rocce e prove in situ
Via Calesanese, 3 - San Vito del Lido (PR)
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° V5845/21 BH PE 16 bis del 04/02/2021 Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020	
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 16 bis
Riferimento: Integrazione AV/AC VR-VI	Data: 18/01/2021-20/01/2021
Coordinate: 45° 24' 14.35" N - 11° 06' 35.34" E	Quota: 32,581 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV 1200, prog. km 21+580	

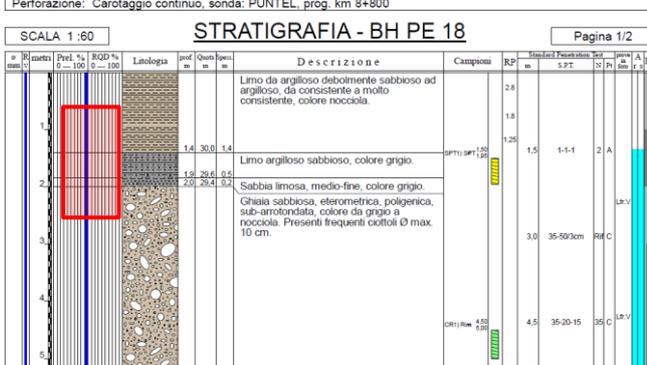


Figura 6.5 – Dettagli stratigrafie e cassette tratto viadotto Fibbio (estratto da IN1710E12PRGE0000003A)

Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 17
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 30/11/2020 - 04/12/2020
Coordinate: 45° 24' 08.68" N - 11° 06' 42.63" E	Quota: 31,389 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. km 43+375	

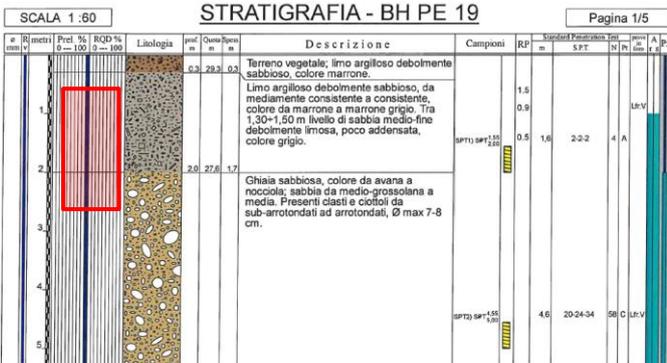


Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 18
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 26/11/2020 - 27/11/2020
Coordinate: 45° 24' 04.23" N - 11° 07' 10.70" E	Quota: 31,436 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: PUNTEL, prog. km 8+800	





Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 19
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 12/12/2020 - 15/12/2020
Coordinate: 45° 23' 56.52" N - 11° 07' 43.06" E	Quota: 29,567 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. km 9+580	



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00

Figura 6.6 – Dettagli stratigrafie e cassette tratto viadotto Fibbio (estratto da IN1710E12PRGE0000003A)

Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 20 bis
Riferimento: Integrazione AV/AC VR-VI	Data: 16/01/2021-19/01/2021
Coordinate: 45° 23' 55.94" N - 11° 08' 06.02" E	Quota: 29,114 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. km 9+900	

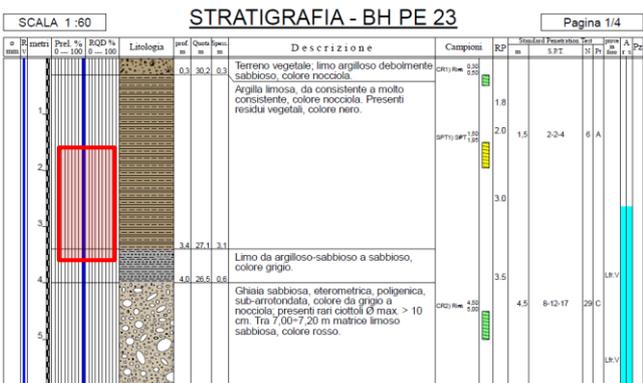


Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00

Figura 6.7 – Dettagli stratigrafie e cassette tratto viadotto Fibbio (estratto da IN1710E12PRGE0000003A)

INIZIO VIADOTTO ILLASI

Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 23
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 27/11/2020 - 03/12/2020
Coordinate: 45° 23' 50.01" N - 11° 09' 04.95" E	Quota: 30,454 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A66, prog. km 11+395	



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 24
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 23/11/2020 - 23/11/2020
Coordinate: 45° 23' 48.76" N - 11° 09' 17.68" E	Quota: 28,028 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: PUNTEL, prog. km 11+600	

STRATIGRAFIA - BH PE 24

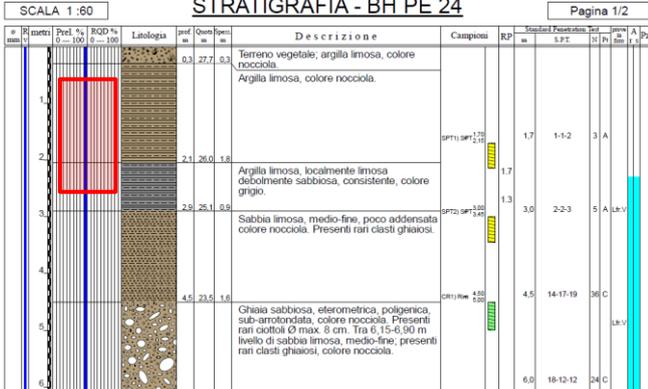


Figura 6.8 – Dettagli stratigrafie e cassette tratto viadotto Illasi (estratto da IN1710EI2PRGE000003A)

Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 25
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 18/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate: 45° 23' 46.65" N - 11° 09' 22.00" E	Quota: 28,068 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: PUNTEL, prog. km 11+700	

STRATIGRAFIA - BH PE 25

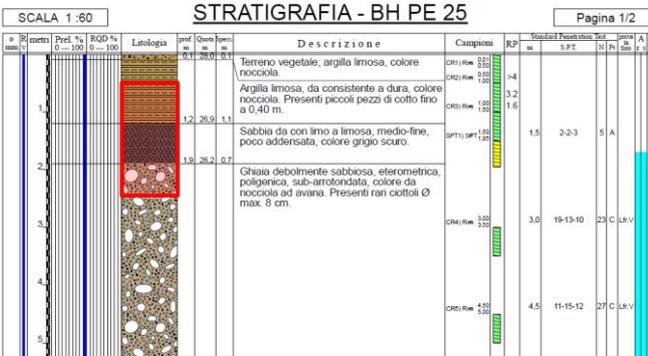


Figura 6.9 – Dettagli stratigrafie e cassette tratto viadotto Illasi (estratto da IN1710EI2PRGE000003A)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 16 di 28

WBS	DESCRIZIONE	PROFONDITA' DI SCAVO	BH-PE DISPONIBILI		Campioni disponibili	documento di riferimento	d_85 (mm)	d_50 (mm)
VI01A	Viadotto Fibbio dal km 7+657.67 al km 8+431.67	Spalla A e P1+P4, scavo massimo di 4.5 m (pila P3) P5+P15, P18+P30, massime profondità di scavo tra 3.3 e circa 3.7 m dal p.c; P16 e P17, scavo massimo di 6.4 m.	16	sabbia fine limosa fino alla max profondità di scavo	1.5 m	IN1710E12PRGE0000005 A, pag.19-26	0.116	0.025
					4.5 m		0.362	0.15
					3.0 m		-	-
					1.6 m		0.412	<0.06 (limo+argilla)
					4.6 m		-	-
7.6 m *	6.806	1.25						
VI01B	Viadotto Fibbio dal km 8+431.67 al km 9+186.67	P31+P50 e P53+P59, massime profondità di scavo tra 3.2 e circa 3.7 m dal p.c; P51+P52, scavo massimo di 4.5 m.	18	ghiaia (2 - 9 m)	1.5 m	IN1710E12PRGE0000009 A, pag.388-399	0.122	0.04
					2.4 m		28.096	8.00
					4.5 m		56.094	11.5
					7.5 m *		42.020	10.4
VI01C	Viadotto Fibbio dal km	P60+P61, scavo massimo di 4.5 m; P62+P89,	19	ghiaia (2 - 12 m)	-	-	-	-
VI01D	Viadotto Fibbio dal km 9+958.57 al km 10+036.67	Scavo massimo 5.3 m da p.c.	20	ghiaia (3,6 - 10,4 m)	1.5 m	IN1710E12PRGE0000005 A, pag.85-110	0.012	0.0027
					4.5 m		32.143	7.00
					7.5 m *		38.444	10.1
20 bis	ghiaia (2 - 10,5 m)	-	-	-	-	-		
VI02A	Viadotto Illasi - Prognolo dal km 11+395.65 al km 11+573.65	P1+P3 e spalla A, massima profondità di scavo circa 3.6 m dal p.c; P4 e P5, scavo massimo di 5.4 m (pila P4).	23	ghiaia (4,0 - 13,4 m)	1.5 m	IN1710E12PRGE0000009 A, pag. 425-433	0.038	0.0085
					2.4 m		-	-
					7.5 m *		38.564	10.0
					10.5 m *		45.159	8.5
VI02B	Viadotto Illasi - Prognolo dal km 11+573.65 al km 11+817.65	P6+P9, P12+P14 e spalla B, massima profondità di scavo circa 3.6 m dal p.c. P10 e P11 (in adiacenza al Prognolo), scavo massimo di 6 m.	24	Argilla limosa fino a 2.9 m da p.c; sabbia medio fine da 2,9 a 4, 5 m da p.c; ghiaia a profondità > 4,5 m.	-	IN1710E12PRGE0000009 B, pag 450-460	0.2	0.01
					0.8		0.05	
					25.0		10.0	
					1.5 m		0.721	0.3
					3.0 m		28.852	10.15
25	ghiaia (1,9 - 12,0 m)	4.5 m	39.244	10.0				
		6.0 m	34.753	10.15				

Tabella di riepilogo delle granulometrie delle ghiaie di fondazione (estratto da IN1710E12PRGE0000005B e IN 1710E12PRGE0000009B).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 17 di 28

7 CARATTERISTICHE DELLE OPERE DI PROTEZIONE

7.1 Dimensioni delle pile dei viadotti

Le opere di fondazione delle pile dei viadotti non interessano l'alveo dei corsi d'acqua e sono costituite da pali di diametro 1.5 m e profondità variabili, disposti in doppia fila con interasse 5 m, posti al di sotto di plinti di lunghezza 12 m, larghezza 8 m e spessore 2 m, vedi Figura 7.1. Le pile hanno dimensioni rettangolari con spigoli arrotondati di lunghezza 9.40 m e larghezza 3.6 m. Il piano di fondazione dei plinti è posto ad una quota tale per cui possa essere sempre presente uno strato minimo di terreno di ricoprimento di 50 cm.

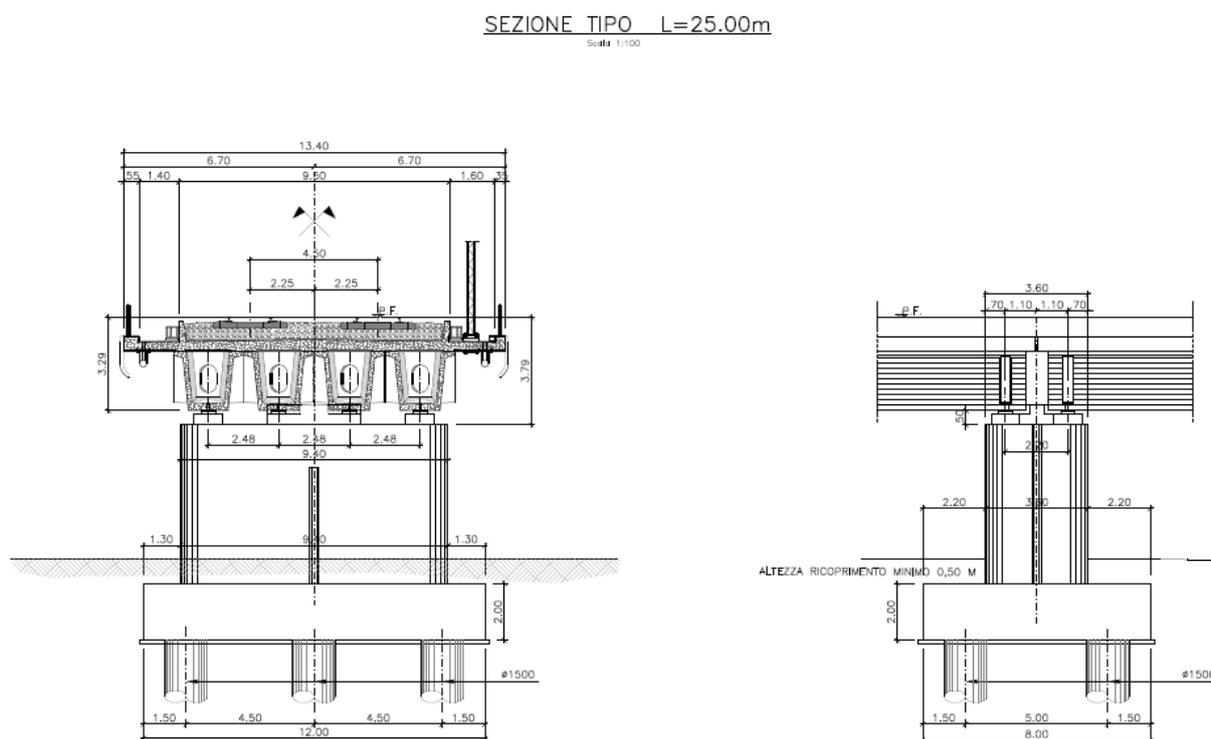


Figura 7.1 – Sezione tipo pila del viadotto

7.2 Verifica dello scalzamento delle pile come se fossero in alveo

Per il calcolo delle profondità di scalzamento delle pile dei viadotti del Fibbio e dell'Illasi, che sono esterne agli alvei dei due corsi d'acqua e che interessano aree di campagna agricole, si assume molto cautelativamente che esse si comportino come pile in alveo di piena. L'unica formula di letteratura che distingue in qualche modo tra

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 18 di 28	

alveo e golena (zona vegetata, erbata, terreni più coesivi, etc...) è la formula di Yaroslavtziev, che si ritiene la più adatta a questo contesto per il fatto che distingue con un parametro la presenza della pila in alveo o in golena. La formulazione sperimentale, elaborata sulla base di numerosi fenomeni di scalzamento verificatisi nell'ex Unione Sovietica, è la seguente:

$$S = K_v \cdot K_f \cdot (e + K_h) \cdot \frac{v_0^2}{g} - 30 \cdot D_{85}$$

dove:

S = profondità di scalzamento a partire dal fondo alveo medio locale;

K_v = funzione del rapporto tra il termine cinetico della corrente e la larghezza efficace della pila:

$$K_v = f\left(\frac{v_0^2}{g \cdot bl}\right)$$

K_h = funzione del rapporto tra l'altezza media della corrente e la larghezza efficace della pila:

$$K_h = f\left(\frac{Y_0}{bl}\right)$$

K_f = funzione del rapporto di forma della pila (lunghezza/larghezza) e dell'angolo di attacco della corrente:

$$K_f = f\left(\frac{l}{b}, \alpha\right)$$

v_0 = velocità della corrente;

Y_0 = altezza d'acqua della corrente;

b = larghezza della pila;

l = lunghezza della pila;

α = angolo di attacco della corrente;

bl = larghezza efficace della pila: $bl = (l - b)\sin\alpha + b$;

e = parametro che assume valore 1 per pile in alveo e 0.6 per pile in golena;

D_{85} = dimensione caratteristica del materiale di fondo.

Per l'applicazione della formula è necessario interpolare linearmente i valori della tabella di Yaroslavtziev che rappresentano l'espressione di K_f , e utilizzare le espressioni di K_v e di K_h a partire dai grafici riportati nella pubblicazione originaria dell'autore (da Magini, R & Remedea, G. "Fondazioni in alvei mobili. Scalzamento localizzato per sistemi di pile e tecniche di fondazione", XX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Padova, 1986).

Per K_v la formula risulta la seguente:

$$K_v = 10 \left[-0.283 \cdot \left(\frac{v_0^2}{g \cdot bl} \right)^{1/3} + 0.024 \right]$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 19 di 28	

Per K_h la formula risulta la seguente:

$$K_h = 10^{[-0.281 \cdot (\frac{Y_0}{bt}) + 0.096]}$$

Nel caso in esame, come indicato nelle tavole che riportano i risultati della modellazione bidimensionale in termini di velocità della corrente sul territorio allagato (evento $T_r=300$ anni con $T_p=24$ ore, scenario 0, tavole IN1710E12N3ID0000022B per i tiranti e IN1710E12N3ID0000025B per le velocità), i tiranti d'acqua (Y) in caso di piena sono dell'ordine di 0.6 m, associati a velocità di 0.6 m/s, e di 0.7 m in caso di velocità di 0.7 m/s. La zona dove si concentrano le sopracitate condizioni è quella tra le progressive 8+200 e 8+500 (sondaggi BH PE-17 e BH PE-18bis; cfr Figura 6.4). Tiranti più elevati sono associati a velocità molto più ridotte.

Lo sforzo tangenziale esplicito dalla corrente indisturbata ($\tau = \gamma * j * Y$) dove $j = \frac{V^2}{K_S^2 * Y^{4/3}}$ è pertanto, $\tau = \gamma * \frac{V^2}{K_S^2 * Y^3}$, dell'ordine di 40Pa. Si tratta di valori di ordini di grandezza inferiori alle resistenze offerte dal terreno superficiale vegetato (coesione e sistemi radicali).

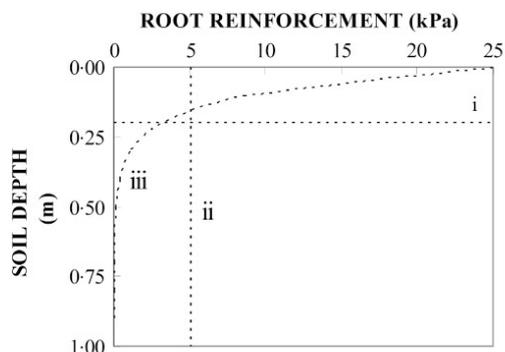


Figure 4. Different vertical distributions of root reinforcement: (i) roots concentrated in top layer of bank profile; (ii) roots uniformly distributed over top meter of bank profile and (iii) roots non-linearly distributed over top meter of bank profile. In all cases, average root reinforcement is 5 kPa over the top 1.0 m of soil. Collapse

Si osserva che la coesione di un terreno ad elevato contenuto limoso-argilloso (>50%) può essere dell'ordine dei 20 kPa (cfr: BH PE-20, $z=-150/-210$). Si osserva inoltre che uno dei criteri di dimensionamento dei canali di bonifica è quello di contenere la velocità a 1 m/s proprio per evitare possibili erosioni delle sponde vegetate. L'aver verificato che in caso di esondazione le velocità massime fuori alveo raggiungono al massimo valori di 0.6-0.7 m/s costituisce di per sé verifica sulla stabilità della fondazione superficiale della pila.

Continuando a ragionare in termini di scalzamento come se la pila si trovasse nell'alveo di un fiume, si osserva che nella formula di Yaroslavtziev, sulla base dei valori che assumono i parametri e (1,0.6) e K_h nel caso in esame, lo scavo in golena è il 20-30% minore rispetto al caso in cui le medesime condizioni idrauliche si verificassero in alveo.

La lavorazione di realizzazione dei dadi di fondazione produce un esubero di terreno di natura ghiaiosa, caratterizzato da un D85 che può variare da 15 a 32 mm, che viene utilizzato come ricoprimento di protezione (manuale Rfi, sezione 2 parte II) dei dadi di fondazione.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 20 di 28	

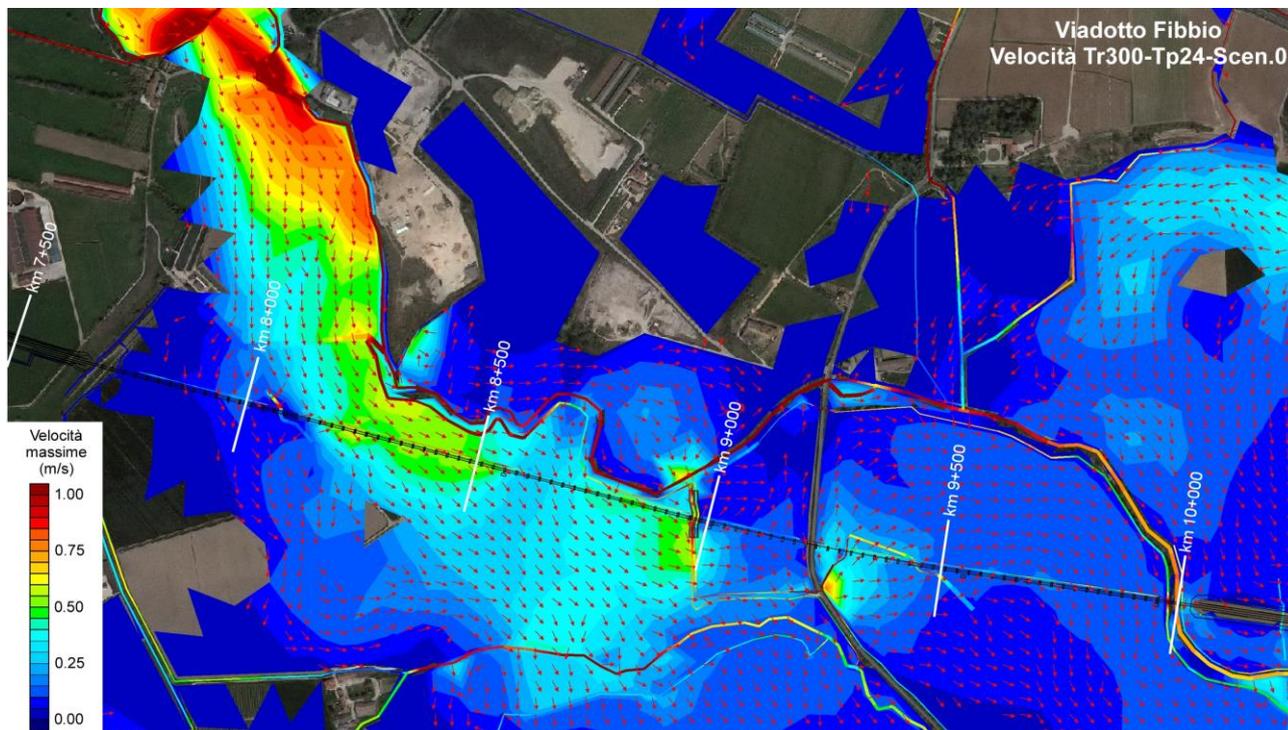


Figura 7.2 – Velocità e direzione del flusso in corrispondenza del viadotto del T. Fibbio, per Tr 300 e Scenario 0

Si assume, cautelativamente, che la pila sia un unico blocco di fondazione pari al plinto e che lo stesso plinto possa essere investito dalla corrente in direzione ortogonale, come può avvenire nel caso del Fibbio, (cfr. Figura 7.2). Non si considera presente, cautelativamente, il terreno vegetale superficiale, a non trascurabile contenuto coesivo, compattato, piantumato e vegetato per il ripristino ambientale delle aree e che quindi offre una resistenza all'erosione da parte della corrente (temporanea) sia da parte della coesione sia da parte degli apparati radicali. Si considera esposto alla corrente (temporanea) il solo materiale a matrice ghiaiosa più profondo proveniente dallo scavo per la realizzazione dei plinti, materiale che viene prescritto essere utilizzato per il riempimento sopra i plinti stessi. Applicando la formula di Yaroslavtziev si ottiene uno scavo che per i due casi considerati è valutabile in 7- 25 cm, quindi del tutto trascurabile. Le ipotesi assunte e le variabili adottate per l'applicazione della formula empirica sono riportate in Tabella 7.1.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 21 di 28	

Formula di Yaroslavtziev		
Larghezza massima pila (b)	(m)	12,00
Lunghezza massima pila (l)	(m)	8,00
Tirante Y0	(m)	0,60
V0 corrente	(m/s)	0,60
D85 (ghiaia)	(m)	0,015
Alfa incidenza	(°)	0,00
e (pila in golena)	-	0,60
larghezza efficace bl	12,00	
Kv	0,96	
Kh	1,21	
Kf	8,17	
Profondità scalzamento		
S	0,07	

Formula di Yaroslavtziev		
Larghezza massima pila (b)	(m)	12,00
Lunghezza massima pila (l)	(m)	8,00
Tirante Y0	(m)	0,70
V0 corrente	(m/s)	0,70
D85 (ghiaia)	(m)	0,015
Alfa incidenza	(°)	0,00
e (pila in golena)	-	0,60
larghezza efficace bl	12,00	
Kv	0,95	
Kh	1,20	
Kf	8,17	
Profondità scalzamento		
S	0,25	

Tabella 7.1 – Applicazione della formula di Yaroslavtziev con due diverse condizioni di velocità e tirante.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 22 di 28	

7.3 Protezione dei rilevati

Nei casi in cui il rilevato ferroviario attraversa aree allagabili per esondazione dei corsi d'acqua principali e secondari, il progetto prevede la realizzazione di opere di protezione del rilevato ferroviario. Protezioni volte ad evitare possibili fenomeni di erosione localizzata o eventi di scalzamento al piede del rilevato ferroviario causati dal dilavamento delle acque.

Le opere di protezione, lungo il tratto di linea interessata del rilevato, sono costituite da materassi tipo Reno per un'altezza variabile compresa fra 1.3 m e 2.4 m rispetto al piano campagna, ed al contempo rispettano il franco superiore ad 1 metro rispetto al livello della massima piena per un tempo di ritorno $T_r=300$ anni, considerando la situazione più cautelativa che si riferisce all'inviluppo degli scenari 1, 2 e 3, relativi alle ipotesi di rottura arginale dei corsi d'acqua a monte della linea ferroviaria.

Nelle tabelle seguenti, una per il binario pari e l'altra per il binario dispari, si riportano le progressive chilometriche dei tratti in cui si prevede la protezione dei rilevati, le relative altezze delle opere di rivestimento, la quota del piano di regolamento, la quota massima del livello idrico raggiunto per l'evento $T_r=300$ anni ed il franco idraulico rispetto al piano di regolamento.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 23 di 28

Lato binario pari (sud)						
da pk	a pk	Lunghezza tratto (m)	Altezza rivestimento misurata in verticale (m)	Quota minima piano di regolamento (m slm)	Quota massima livello idrico Tr=300 anni (m slm)	Franco idraulico rispetto al piano di regolamento (m)
10+050	11+050	1000	2.4	32.51	30.76	1.75
11+050	11+395	345	1.5	34.53	30.72	3.81
11+825	12+300	475	2.0	32.35	29.23	3.12
12+325	12+900	575	1.5	29.17	26.78	2.39
12+900	14+000	1100	1.3	28.17	26.62	1.55
14+000	15+125	1125	1.3	27.15	25.71	1.44
15+125	16+475	1350	1.5	26.29	24.66	1.63
16+525	16+625	100	1.5	27.77	23.46	4.31
16+625	16+825	200	1.5	26.00	22.92	3.08
16+825	17+900	1075	2.0	24.24	22.91	1.33
17+900	18+625	725	1.7	24.78	22.90	1.88
18+625	18+825	200	1.5	29.12	22.90	6.22
18+925	19+100	175	1.5	29.44	22.76	6.68
-	-	-	-	-	-	-
22+000	23+125	1125	1.5	31.65	27.26	4.39
-	-	-	-	-	-	-
25+325	26+150	825	2.0	32.56	29.37	3.19
26+150	26+575	425	1.3	33.79	29.33	4.46
26+575	27+300	725	1.3	34.31	29.91	4.40

Tabella 7.2 – Elenco dei tratti del rilevato ferroviario in cui sono previsti i rivestimenti lungo il binario pari (sud). Quote massime del livello idrico riferite all'involuppo degli scenari 1, 2 e 3.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 24 di 28

Lato binario dispari (nord)						
da pk	a pk	Lunghezza tratto (m)	Altezza rivestimento misurata in verticale (m)	Quota minima piano di regolamento (m slm)	Quota massima livello idrico Tr=300 anni (m slm)	Franco idraulico rispetto al piano di regolamento (m)
10+050	11+050	1000	2.4	32.51	30.80	1.71
11+050	11+395	345	1.5	34.53	30.80	3.73
11+825	12+300	475	2.0	32.35	29.48	2.87
12+325	12+900	575	1.5	29.17	26.92	2.25
12+900	14+000	1100	1.3	28.17	26.84	1.33
14+000	15+125	1125	1.3	27.15	24.82	2.33
15+125	16+475	1350	1.5	26.29	24.22	2.07
16+525	16+625	100	1.5	27.77	23.53	4.24
-	-	-	-	-	-	-
16+825	17+900	1075	2.0	24.24	22.93	1.31
17+900	18+625	725	1.7	24.78	22.93	1.85
18+625	18+825	200	1.5	29.12	22.93	6.19
18+925	19+100	175	1.7	29.44	22.87	6.57
19+100	20+225	1125	1.5	25.86	22.45	3.41
22+000	23+250	1250	1.5	31.65	26.8	4.85
23+550	24+875	1325	1.3	31.96	29.10	2.86
25+325	26+150	825	2.0	32.556	29.44	3.12
-	-	-	-	-	-	-
26+575	27+300	725	1.3	34.31	30.08	4.23

Tabella 7.3 – Elenco dei tratti del rilevato ferroviario in cui sono previsti i rivestimenti lungo il binario dispari (nord). Quote massime del livello idrico riferite all'involuppo degli scenari 1, 2 e 3.

Il rivestimento in pietrame tipo Reno viene appoggiato su un gabbione a scatola, secondo la sezione tipologica riportata in Figura 7.3 e in dettaglio nella Figura 7.4.

In generale il gabbione a scatola ha le dimensioni di un parallelepipedo lungo 3 m e sezione 1m x 1m, costituito da una rete a maglie romboidali 8x10 cm, mentre il materasso tipo Reno è lungo anch'esso 3 m, ma ha una sezione di 1 m x 0.30 m con maglia 6x8 cm.

Gabbioni e materassi vanno riempiti entrambi con pietrame del peso di 2400 kg/m³. Nel caso dei gabbioni il materiale deve avere pezzatura variabile tra 18 e 25 cm, mentre nel caso dei materassi si prevede una pezzatura inferiore, pari a 8-12 cm.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento E12 RH ID0000 004</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 25 di 28</p>

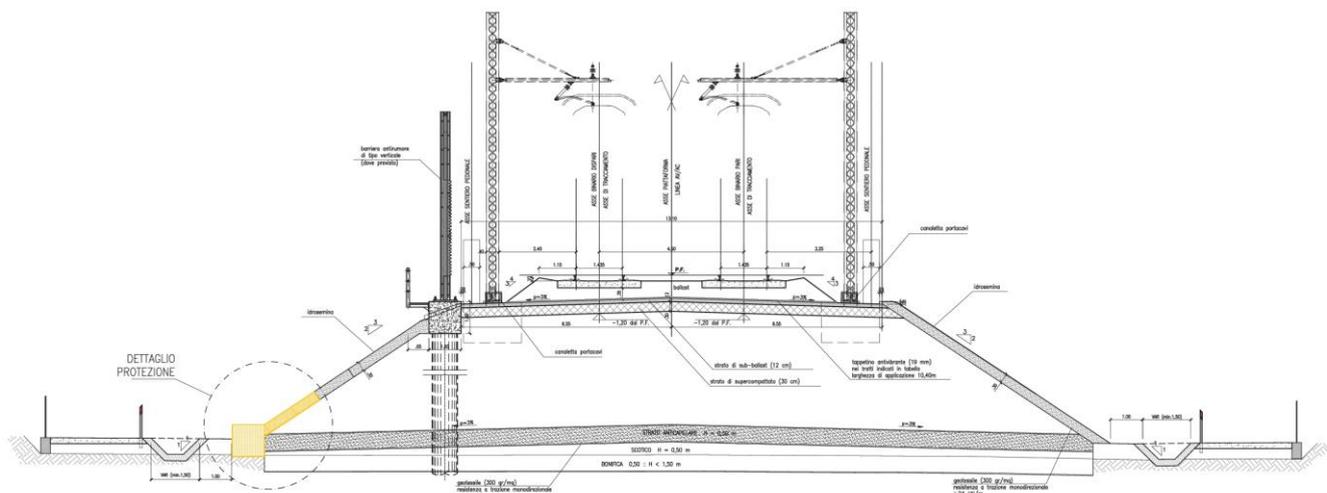


Figura 7.3 – Sezione tipologica di rivestimento al piede del rilevato ferroviario

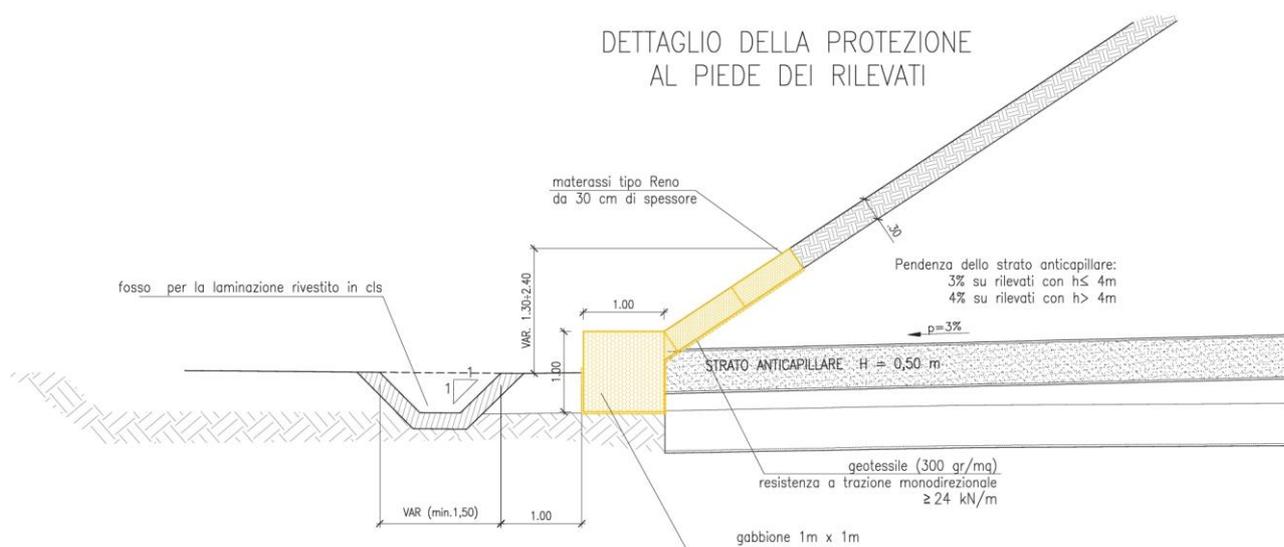


Figura 7.4 – Particolare

7.4 Verifica di stabilità del piede e della sponda del rilevato

In letteratura sono disponibili varie formule per la stima della stabilità dei materiali di assegnata granulometria sottoposti all'azione di trascinamento della corrente. Questi metodi si basano sulla determinazione dei valori critici della velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze.

Seguendo il criterio che si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale, la condizione di stabilità del fondo risulta quando $\tau_{cr} \geq \tau_0$, ovvero quando la tensione tangenziale critica è maggiore o uguale a quella esercitata dalla corrente.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 26 di 28	

La tensione tangenziale massima esercitata dalla corrente è espressa dalla relazione:

$$\tau_0 = \zeta \cdot \gamma_w \cdot R_H \cdot i$$

dove:

γ_w [N/m³] è il peso specifico dell'acqua;

R_H [m] è il raggio idraulico della sezione;

i [m/m] è la pendenza del fondo;

ζ coefficiente che tiene conto della distribuzione delle tensioni tangenziali, assunto pari a 1 per il fondo alveo e 0.75 in corrispondenza delle sponde, vedi Figura 7.5.

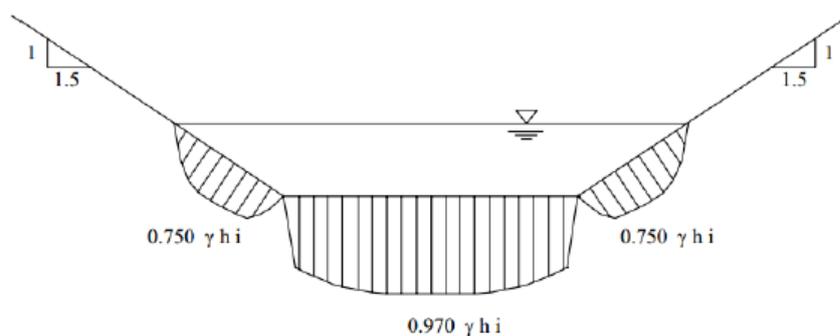


Figura 7.5 – Andamento tensioni tangenziali

I valori della τ_0 devono essere confrontati con le tensioni tangenziali critiche che mobilitano il materiale al piede e sulle sponde del rilevato.

Il valore critico τ_{cr} che mobilita un masso di diametro d con peso specifico γ_s in assenza di coesione ed in regime turbolento, secondo la teoria della tensione tangenziale critica (Shields, 1936), è esprimibile in modo generale mediante una condizione di equilibrio, attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma_w)d} = \theta(Re^*)$$

dove:

τ_{cr} = tensione tangenziale critica [N/m²]

γ_s = peso specifico materiale d'alveo N/m³

γ_w = peso specifico dell'acqua [N/m³]

d = diametro del masso [m]

θ = parametro adimensionale dipendente dalle caratteristiche dei granuli e del letto fluviale e dal numero di Reynolds di grano (Re^*) relativo alla velocità di attrito u^* :

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 27 di 28	

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_{cr}}{\rho}}$$

La suddetta condizione di equilibrio è stata tradotta in termini empirici da osservazioni sperimentali, ciascuna caratterizzata da limiti e campi di applicabilità specifici che ne condizionano l'utilizzo.

In particolare, alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro di Shields:

$\theta = 0,047$ nella espressione di Meyer-Peter, che considera nullo il termine relativo al trasporto solido;

$\theta = 0,058 \div 0,060$ nella espressione originale di Shields per $Re^* > 400$;

$\theta = 0,116$ nella espressione di Kalinske, che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante l'effetto di mutuo incastro delle particelle (utilizzabile per i materassi Reno).

Per le verifiche di stabilità delle sponde, la condizione di moto incipiente va espressa considerando le componenti attive del peso e della spinta idrodinamica in relazione alla pendenza della sponda (α) rispetto all'orizzontale.

Per tali verifiche viene normalmente utilizzata la seguente espressione (Lane 1953):

$$\tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \left[\cos \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \varphi}} \right]$$

dove τ_{cr} è la tensione critica sul fondo, α la pendenza del rilevato e φ l'angolo di attrito interno del materiale. La stabilità del sistema di protezione può essere giudicata sulla base di un confronto fra la tensione tangenziale ottenuta dal calcolo a quella massima ammissibile caratteristica dell'opera.

I risultati delle verifiche sono riportati di seguito e fanno riferimento al valore rappresentativo di massima velocità associata al corrispondente tirante, ottenuti con il modello bidimensionale.

Verifica protezione al piede		
γ_s	25000	N/m ³
γ_w	9810	N/m ³
R_H	0.70	m
i	0,002	m/m
V	0.70	m/s
θ	0,116	-
d	0,10	m
τ_0	13.72	N/m ²
τ_{cr}	176,20	N/m ²

Tabella 7.4 – Verifica di protezione al piede

Essendo che τ_{cr} risulta maggiore a τ_0 la verifica risulta soddisfatta e il materiale con diametro maggiore o pari a 0,1 m è appropriato per la protezione al piede.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 004	Rev. D	Foglio 28 di 28	

Verifica protezione di sponda		
γ_s	25000	N/m ³
γ_w	9810	N/m ³
R_H	0.7	m
i	0,002	m/m
V	0.70	m/s
θ	0,116	-
α	45	grad
φ	47	grad
d	0,10	m
τ_0	10.29	N/m ²
τ_{cr}	45,00	N/m ²

Tabella 7.5 – Verifica di protezione di sponda

Essendo che τ_{cr} risulta maggiore a τ_0 la verifica risulta soddisfatta e il materiale con diametro maggiore o pari a 0,1 m è appropriato per la protezione di sponda.